



(10) **DE 10 2007 010 389 B4** 2011.03.10

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2007 010 389.3**
 (22) Anmeldetag: **03.03.2007**
 (43) Offenlegungstag: **04.09.2008**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **10.03.2011**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 9/02 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:
Polytec GmbH, 76337 Waldbronn, DE

DE 44 29 578 A1
DE 44 04 154 A1
US 61 95 168 B1
US 48 18 110 A

(74) Vertreter:
**Lemcke, Brommer & Partner, Patentanwälte,
 76133 Karlsruhe**

**Rembe, Ch. et al.: Laser-scanning confocal
 vibrometer microscope: Theory and experiments.
 Rev. Sci. Instrum. 77,083702 (2006)**

(72) Erfinder:
**Rembe, Christian, Dr., 76337 Waldbronn, DE;
 Dräbenstedt, Alexander, Dr., 76275 Ettlingen, DE;
 Siegmund, Georg, Dr., 76307 Karlsbad, DE**

**Preußner, T. et al.: Extracting Motion Velocities
 from 3D Image Sequences and Coupled Spatio-
 Temporal Smoothing. SPIE conference on
 Visualization and Data Analysis, Vol. 5009, 2003,
 181-192**

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

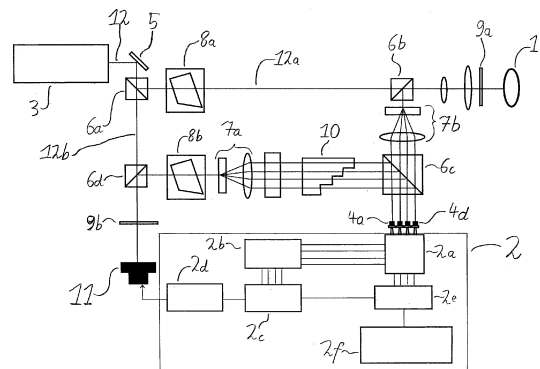
DE 197 33 890 C2
DE 197 21 883 C2
DE 41 08 944 C2
DE 101 31 779 B4
DE 100 47 495 B4
DE 10 2005 023212 A1

**Alvarez, L. et al.: A Scale-Space Approach to
 Nonlocal Optical Flow Calculations. Scale-Space
 1999, Lecture Notes in Computer Science, Vol.
 1682, 1999, 235-246**

**Papastathopoulos, E. et al.: Chromatic
 confocal spectral interferometry. Applied Optics
 Vol. 45, No. 3, 2006,8244-8252**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur optischen Vermessung eines Objekts**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur optischen Vermessung eines Objekts (1), umfassend eine Signalauswerteeinheit (2), sowie ein Interferometer mit einer Lichtquelle (3) und mit mindestens einem Detektor (4a, 4d), wobei das Interferometer derart ausgeführt ist, dass ein von der Lichtquelle (3) erzeugter Lichtstrahl (12) mindestens in einen Mess- (12a) und einen Referenzstrahl (12b) aufgespalten wird, wobei der Messstrahl (12a) auf das Objekt (1) auftrifft und der von dem Objekt zumindest teilweise reflektierte Messstrahl (12a) auf dem Detektor (4a, 4d) mit dem Referenzstrahl (12b) überlagert wird und die Signalauswerteeinheit (2) mit dem Detektor (4a, 4d) verbunden ist und eine Auswerteeinheit umfasst, wobei die Lichtquelle (3) derart ausgeführt ist, dass sie Licht mit einer Kohärenzlänge kleiner 1 cm erzeugt und wobei die Vorrichtung eine Fokussteuerung (2d) und eine von der Fokussteuerung gesteuerte Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge (11) umfasst, wobei die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge (11) derart...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur optischen Vermessung eines Objekts nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Solche Vorrichtungen umfassen ein Interferometer mit einer Lichtquelle und einem Detektor. Die Lichtquelle sendet einen Lichtstrahl aus, der in dem Interferometer typischerweise mittels eines Strahlteilers in einen Mess- und einen Referenzstrahl aufgespalten wird. Der Messstrahl wird – gegebenenfalls über weitere optische Komponenten wie Spiegel oder Linsen – auf einen Messpunkt auf dem zu vermessenden Objekt geleitet. An dem Objekt wird der Messstrahl zumindest teilweise reflektiert, tritt wieder in den Strahlengang des Interferometers ein und wird auf den Detektor geleitet.

[0003] Der Referenzstrahl wird ebenfalls auf den Detektor geleitet, so dass auf dem Detektor eine Interferenz zwischen Mess- und Referenzstrahl stattfindet.

[0004] Der Detektor ist mit einer Signalauswerteeinheit verbunden, welche aus den Messsignalen des Detektors Bewegungsdaten des Objekts ermittelt. Dies ist dadurch möglich, dass durch eine Bewegung des Objekts eine Beeinflussung des Messstrahls aufgrund des Doppler-Effektes stattfindet und daher durch Auswertung des Detektorsignals auf die Bewegung des Objekts, beispielsweise auf die Bewegungsgeschwindigkeit, rückgeschlossen werden kann. Solche Vorrichtungen werden üblicherweise als Laser-Doppler-Vibrometer oder lediglich als Vibrometer bezeichnet.

[0005] Weiterhin sind aus dem Stand der Technik Weißlichtinterferometer bekannt, die eine Fokusteuerung aufweisen:

DE 10 2005 023 212 A1 offenbart eine Vorrichtung zur Weißlichtinterferometrie bei der die optische Weglängendifferenz während der Aufnahme eines Bildes annähernd konstant gehalten wird mittels Änderung der optischen Weglänge im Referenz- oder Objektarm des Interferometers.

[0006] DE 197 33 890 offenbart ein Verfahren zum Vermessen eines Mediums unter Verwendung eines optischen interferometrischen Systems, bei dem Licht aus einer Lichtquelle des optischen interferometrischen Systems von einer Konvergenzlinse zur Konvergenz gebracht und auf das zu vermessende Objekt gestrahlt wird und das zu vermessende Objekt oder die Konvergenzlinse und der Referenzlichtspiegel zur Maximierung der Intensitäten verschoben werden.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Messqualität der bekannten Vibrometer zu verbessern, insbesondere durch Vermeidung von Stör-

signalen, sowie den Funktionsumfang der bekannten Vorrichtung zu erweitern. Weiterhin soll durch die Erfindung der Messvorgang vereinfacht und/oder beschleunigt werden.

[0008] Gelöst ist diese Aufgabe durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung finden sich in den Ansprüchen 2 bis 19.

[0009] Die Lichtquellen der aus dem Stand der Technik bekannten Vibrometer sind typischerweise als Laser ausgeführt, der einen im Wesentlichen kohärenten Lichtstrahl erzeugt. Dies bedeutet, dass nach Aufspalten des Lichtstrahls in Mess- und Referenzstrahl eine Interferenz der beiden Strahlen unabhängig davon möglich ist, ob die optischen Weglängen der beiden Strahlen identisch sind oder nicht.

[0010] Die erfindungsgemäße Vorrichtung unterscheidet sich somit grundsätzlich dadurch von den vorbekannten Vibrometern, dass die Lichtquelle Licht mit einer Kohärenzlänge kleiner 1 cm erzeugt.

[0011] Weiterhin ist das Interferometer der erfindungsgemäßen Vorrichtung als heterodynes Interferometer ausgeführt. Bei dem heterodynen Messverfahren werden die Frequenzen von Mess- und Referenzstrahl gegeneinander verstimmt, sodass aus dem Interferenzsignal nicht nur die Bewegungsgeschwindigkeit, sondern auch die Bewegungsrichtung ermittelt werden kann. Das heterodyne Interferometer weist eine Frequenzverschiebeeinheit auf, welche im Strahlengang des Mess- oder des Referenzstrahls angeordnet ist. Mittels der Frequenzverschiebeeinheit wird nun die Frequenz entweder des Mess- oder des Referenzstrahls verschoben, so dass aus dem Interferenzsignal die Bewegungsrichtung durch die Vibrometer-Auswerteeinheit ermittelt werden kann.

[0012] Die Angabe einer Kohärenzlänge ist ein typisches Maß für die Kohärenz. Die Kohärenzlänge wird dadurch definiert, dass die Intensität des vom Photodetektor aufgenommenen Interferenzsignals von Mess- und Referenzstrahl in Abhängigkeit der Weglängendifferenz der optischen Weglängen von Mess- und Referenzstrahl zwischen Lichtquelle und Detektor aufgetragen wird. Sind die Weglängen abgeglichen, das heißt, dass die optische Weglänge von Mess- und Referenzstrahl zwischen Lichtquelle und Detektor identisch ist, so ergibt sich eine maximale Interferenz und entsprechend ein maximales Interferenzsignal. Je größer der Unterschied zwischen den optischen Weglängen von Mess- und Referenzstrahl, desto geringer ist die Intensität des optischen Interferenzsignals.

[0013] Die wirksame Kohärenzlänge ist von der Bandbreite abhängig, innerhalb derer die Interferenzsignalstärke ermittelt wird. Für typische Vorrichtung

zur optischen Vermessung eines Objektes ist die Kohärenzlänge als die Wegdifferenz der optischen Weglänge zwischen Mess- und Referenzsignal definiert, bei der das Interferenzsignal ausgehend von einem Maximum auf $1/e^2$ des Maximalwerts abgefallen ist. Bei derzeitigen Laser-Doppler-Vibrometern werden Interferenzsignalstärken üblicherweise mit einer Bandbreite von 70 MHz gemessen, während die Kohärenzlänge üblicherweise mit einer Bandbreite für die Interferenzsignalstärke von < 50 Hz gemessen wird.

[0014] Die Verwendung von Licht mit einer Kohärenzlänge kleiner 1 cm weist den Vorteil auf, dass eine Selektion des Messbereichs durch die Kohärenzlänge möglich ist: Im Wesentlichen findet nur dann eine gut auswertbare Interferenz von Mess- und Referenzstrahl bei der Überlagerung auf dem Detektor statt, wenn die optischen Weglängen, welche Mess- und Referenzstrahl zwischen Lichtquelle und Detektor zurücklegen, sich um weniger als die Kohärenzlänge unterscheiden. Dadurch tragen jedoch solche Anteile des reflektierten Messstrahls nicht zu einem Interferenzsignal bei, welche eine wesentlich größere oder wesentlich kleinere optische Weglänge verglichen mit der des Referenzstrahls aufweisen.

[0015] Wird beispielsweise ein Objekt vermessen, so sind die Weglängen von Mess- und Referenzstrahl derart abgeglichen, dass ein von der Objekt Oberfläche reflektierter Messstrahl insgesamt (d. h. von der Lichtquelle über die Objektberfläche zum Detektor) in etwa die gleiche optische Weglänge aufweist wie der Referenzstrahl (von der Lichtquelle zum Detektor).

[0016] Werden nun Anteile des Messstrahls durch Störobjekte wie beispielsweise Staub oder eine Verkapselung eines zu vermessenden Objektes reflektiert, so ist im Allgemeinen die optische Weglänge von der Lichtquelle über das Störobjekt zu dem Detektor eine andere als die des Referenzstrahls, d. h. für diesen Anteil des Messstrahls sind die optischen Weglängen nicht abgeglichen. Daher trägt der von dem Störobjekt reflektierte Anteil des Messstrahls wie oben beschrieben nur unwesentlich zu dem Interferenzsignal bei und eine Verfälschung der Messung wird vermieden.

[0017] Somit gibt die Verwendung von Licht mit einer begrenzten Kohärenzlänge einen Messbereich vor, innerhalb dessen Messsignale zu dem Interferenzsignal beitragen, wohingegen außerhalb dieses Messbereiches Reflektionen des Messstrahls nur einen unwesentlichen Einfluss auf das Messergebnis haben.

[0018] Durch die Verwendung von Licht mit einer Kohärenzlänge kleiner 1 cm ist deshalb ein Abgleich der optischen Weglängen von Mess- und Referenzstrahl erforderlich. Die erfindungsgemäße Vorrichtung um-

fasst daher eine Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge. Mittels der Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge kann das Verhältnis der optischen Weglängen des Mess- und des Referenzstrahles verändert werden. Die Fokussteuerung steuert die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglängen derart, dass Mess- und Referenzstrahl abgeglichen sind, d. h. die gleiche optische Weglänge aufweisen.

[0019] Auf diese Weise ist gewährleistet, dass bei abgeglichenen optischen Weglängen zwischen Referenz- und Messstrahl gemessen wird und somit das Signal-Rauschverhältnis optimal für die Bewegungsmessung ist und dadurch Messfehler minimiert werden.

[0020] Der Abgleich der optischen Weglängen kann dabei auf unterschiedliche Weise erfolgen:

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge im Strahlengang des Referenzstrahls angeordnet. Die Fokussteuerung regelt die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge nun derart, dass die optische Weglänge des Referenzstrahls (Von der Lichtquelle zum Detektor) derart verändert wird, dass sie mit der optischen Weglänge des Messstrahls (von der Lichtquelle über das Objekt zum Detektor) übereinstimmt, so dass bei der Messung beide optische Weglängen abgeglichen sind. Die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge kann beispielsweise dadurch realisiert sein, dass im Strahlengang des Referenzstrahls ein Spiegel angebracht ist, welcher mittels eines Motors in Strahlrichtung verschoben werden kann, so dass durch eine Verschiebung des Spiegels die optische Weglänge des Referenzstrahls variiert werden kann.

[0021] In analoger Weise kann in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ein Abgleich der optischen Weglängen durch eine Anordnung der Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge im Strahlengang des Messstrahls erfolgen.

[0022] Ebenso liegt es auch im Rahmen der Erfindung, die Lage des Objekts relativ zu dem Interferometer mittels einer Objektträgerereinheit zu verändern, so dass die Fokussteuerung mittels der Objektträgerereinheit die Lage des Objekts relativ zu dem Interferometer und damit die optische Weglänge des Messstrahls verändern kann und dadurch in dieser bevorzugten Ausführungsform ein Abgleich der optischen Weglängen von Mess- und Referenzstrahl möglich ist.

[0023] Weiterhin liegt es auch im Rahmen der Erfindung, dass die Vorrichtung mehrere Detektoren umfasst und Mess- und Referenzstrahl jeweils in mehrere Teilstrahlen aufgespaltet werden, wobei jeweils ein Mess- mit einem Referenzteilstrahl auf einem De-

tektor überlagert wird. In diesem Fall ist die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge im Strahlengang eines oder mehrerer Teilstrahlen des Mess- oder Referenzstrahls angeordnet, so dass die einzelnen Paare von Mess- und Referenzstrahlen jeweils ein unterschiedliches Verhältnis der optischen Weglängen aufweisen.

[0024] Die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge umfasst in diesem Fall eine Signalauswahleinheit, welche mit den Detektoren und mit der Signalauswerteeinheit verbunden ist. Die Fokussteuerung regelt die Signalauswahleinheit nun derart, dass das Signal des Detektors, bei dem die optischen Weglängen abgeglichen sind, an die Signalauswerteeinheit weitergeleitet wird. In dieser bevorzugten Ausführungsform findet somit kein adaptives Anpassen der optischen Weglänge statt, sondern der Abgleich erfolgt derart, dass aus mehreren Paaren von Mess- und Referenzstrahlen dasjenige Paar ausgewählt wird, welches abgeglichene optische Weglängen aufweist bzw. den geringsten Unterschied in den optischen Weglängen.

[0025] Selbstverständlich liegt es auch im Rahmen der Erfindung, zwei oder mehrere der oben aufgeführten Möglichkeiten in einer Vorrichtung zu kombinieren.

[0026] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Fokussteuerung derart ausgeführt, dass der Abstand des zu vermessenden Objektes zu dem Interferometer vorgegeben werden kann. Die optische Weglänge des Messstrahls innerhalb des Interferometers ist baulich vorgegeben und in der Fokussteuerung gespeichert. Die Fokussteuerung berechnet nun die optische Weglänge des Messstrahls (d. h. die optische Weglänge innerhalb des Interferometers zuzüglich des doppelten Abstandes zwischen Interferometer und Messobjekt) und steuert die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge derart, dass Mess- und Referenzstrahl abgeglichen sind.

[0027] Vorteilhafterweise wird der Abgleich der optischen Weglängen jedoch abhängig von dem Detektorsignal vorgenommen:

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Fokussteuerung mit dem Detektor verbunden und steuert abhängig von dem Messsignal des Detektors die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge derart, dass die optischen Weglängen von Mess- und Referenzstrahl abgeglichen werden.

[0028] Vorteilhafterweise wird in dieser Ausführungsform der Abgleich abhängig von einem Intensitätssignal, d. h. der Intensität des Interferenzsignals von Mess- und Referenzstrahl vorgenommen. Die Signalauswerteeinheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wertet das Messsignal des Detektors hinsichtlich der Intensität des Interferenzsignals von

Mess- und Referenzstrahl aus. Die Fokussteuerung regelt die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge derart, dass die Intensität maximal wird, denn bei maximaler Intensität des Interferenzsignals von Mess- und Referenzstrahl sind die optischen Weglängen der beiden Strahlen abgeglichen.

[0029] Die Berechnung der Intensität des Interferenzsignals aus dem Signal des Detektors kann dabei mit an sich bekannten Methoden erfolgen, wie beispielsweise in C. Rembe, A. Dräbenstedt, „The laser-scanning confocal vibrometer microscope: Theory and Experiments“, Rev. Sci. Instrum., 77 083702 (2006) beschrieben.

[0030] Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist das Interferenzsignal eine Frequenz auf, die der von der Frequenzverschiebeeinheit erzeugten Frequenzverschiebung entspricht. Entsprechend ist vorzugsweise die Signalauswerteeinheit derart ausgeführt, dass sie die Intensität des Interferenzsignals aus der Einhüllenden des Interferenzsignals, das heißt aus der Signalstärke des heterodyn Trägers des Interferenzsignals ermittelt, typischerweise mit einer Messbandbreite von 70 MHz.

[0031] Die Lichtquelle des Interferometers ist derart ausgeführt, dass sie Licht mit einer begrenzten Kohärenzlänge erzeugt. Wie vorhergehend beschrieben, findet bei der Überlagerung von Mess- und Referenzstrahl auf dem Detektor nur dann eine gut auswertbare Interferenz statt, wenn sich die optischen Weglängen von Referenz- und Messstrahl um weniger als die optische Kohärenzlänge unterscheiden. Die optische Kohärenzlänge gibt somit auch einen Tiefenbereich auf dem Objekt vor, innerhalb dessen der reflektierte Messstrahl zu einem Messsignal beiträgt.

[0032] Die Lichtquelle ist daher vorteilhafter Weise derart ausgeführt, dass sie einen Lichtstrahl mit einer Kohärenzlänge unter 50 μm erzeugt, so dass Störeffekte aufgrund von Streulicht nicht zu dem Interferenzsignal beitragen. Besonders vorteilhaft ist es, die Kohärenzlänge kleiner als 20 μm , insbesondere kleiner als 10 μm zu wählen.

[0033] Die Erzeugung von Licht mit einer vorgegebenen Kohärenzlänge kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Insbesondere ist es vorteilhaft, die Lichtquelle als Superlumineszenzdiode auszuführen. Ebenso ist es möglich, die Phase eines Lasers oder einer Laserdiode mit Rauschen zu beaufschlagen. Denkbar ist weiterhin die Verwendung eines Femtosekundenlasers.

[0034] Die erfindungsgemäße Vorrichtung eignet sich insbesondere dazu, verkapselte Objekte zu vermessen. Hierbei ist es vorteilhaft, die Lichtquelle derart zu wählen, dass der Lichtstrahl durch die Verkapselung nicht oder nur geringfügig absorbiert wird,

so dass der Messstrahl nahezu mit der Ausgangsintensität an dem verkapselten Objekt auftrifft. Insbesondere Mikrosysteme sind häufig in Silizium oder in Silizium enthaltenden Materialien verkapselt. Da die Absorption von Licht durch Silizium für Wellenlängen über 1.000 nm stark absinkt ist es vorteilhaft, die Lichtquelle derart auszuführen, dass sie Licht mit einer Wellenlänge größer 1.000 nm, insbesondere mit einer Wellenlänge zwischen 1.500 und 2.500 nm, höchst insbesondere mit einer Wellenlänge von 1.550 nm erzeugt.

[0035] Nach Abgleich der Weglängen können mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung nun drei Arten von Daten für den vermessenen Messpunkt abgespeichert werden:

Erstens kann der Weg, der mittels der Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge zum Abgleich von Mess- und Referenzstrahl notwendig war, abgespeichert werden. Zweitens können für den Messpunkt die ermittelten Bewegungsdaten abgespeichert werden und Drittens kann die Intensität des Messsignals für den Messpunkt abgespeichert werden.

[0036] Sofern das Messobjekt teiltransparent ist, das heißt eine mit der Tiefe variierende Brechungszahl gegenüber Licht aufweist, kann auch ein dreidimensionales Bild des Messobjekts mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung ermittelt werden:

Hierzu wird wie vorhergehend beschrieben ein bestimmter Messbereich „durchgefahren“, in dem für unterschiedlich vorgegebene Tiefenpositionen (d. h. verschiedene Abstände des Messbereiches von dem Interferometer) in dem Messobjekt jeweils Referenz- und Messstrahl abgeglichen werden. Es kann somit eine Messung in Abhängigkeit der Eindringtiefe durchgeführt werden, so dass die gemessenen Intensitätssignale ein dreidimensionales Bild des Messobjekts wiedergeben. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst somit die Funktionalität der optischen Kohärenztomographie.

[0037] Zusätzlich können an beliebigen Tiefenpositionen, insbesondere an Positionen, bei denen das Intensitätssignal ein lokales Maximum aufweist, Schwingungsmessungen wie vorhergehend beschrieben vorgenommen werden, so dass gleichzeitig ein dreidimensionales Bild des zu vermessenden Objekts, sowie Bewegungsdaten in Abhängigkeit der Tiefe des Messobjekts vorliegen.

[0038] Nach einem Abscannen mehrerer Messpunkte auf dem Objekt (z. B. mittels einer Scanner-Steuereinheit wie nachfolgend beschrieben) kann aus den Wegdaten ein Oberflächenprofil des vermessenen Objektes ermittelt werden, wobei für jeden vermessenen Punkt zusätzlich Bewegungsdaten vorliegen, so dass auch auf Bewegungsvorgänge in drei Dimensionen, d. h. insbesondere senkrecht („out of plane“) und parallel („in plane“) zum Messstrahl aus den Da-

ten mittels an sich bekannter Korrelationsmethoden errechnet werden können.

[0039] Für die Ermittlung der quantitativen Bewegungsinformation aus den Messdaten kann dabei auf bekannte Verfahren zur Analyse von In-Plane-Bewegungen zurückgegriffen werden, wie beispielsweise in T. Preußner, M. Rumpf, „Extracting Motion Velocities from 3D Image Sequences and Coupled Spatio-Temporal Smoothing“, SPIE Conferences on Visualization and Data Analyses, SPIE Vol. 5009, 2003, p. 181–192 und L. Alvarez, J. Weickert, J. Sánchez, „A scale-space approach to nonlocal optical flow calculations“, Scale-Space 1999, Corfu, Greece, Sept. 1999, Lecture Notes in Computer Science; 1682, pp. 235–246, Springer 1999, ausgeführt.

[0040] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die erfindungsgemäße Vorrichtung zur optischen Vermessung eines Objekts als Mehrstrahl-Interferometer ausgeführt. Hierbei ist sowohl im Strahlengang des Messstrahls, als auch im Strahlengang des Referenzstrahls ein Messstrahl-Strahlervielfältiger angeordnet, so dass Messstrahl und Referenzstrahl jeweils in mindestens zwei Teilstrahlen aufgespalten werden.

[0041] Das Interferometer umfasst ferner mindestens einen zweiten Detektor, wobei der erste und der zweite Detektor derart angeordnet sind, dass der erste Referenzstrahl mit dem ersten Messstrahl auf dem ersten Detektor und der zweite Referenzstrahl mit dem zweiten Messstrahl auf dem zweiten Detektor überlagert werden.

[0042] Die Signalauswerteeinheit ist sowohl mit dem ersten, als auch mit dem zweiten Detektor verbunden. Somit können die Messsignale beider Detektoren bezüglich der Intensität des jeweiligen Detektorsignals und bezüglich der Bewegungsdaten ausgewertet werden. Vorteilhafterweise ist die Signalauswerteeinheit dabei derart ausgeführt, dass die beiden Signale zeitgleich ausgewertet werden können.

[0043] In einer vorzugsweisen Ausführungsform treten die beiden Messstrahlen separat aus der erfindungsgemäßen Vorrichtung aus, so dass sie auf zwei ortsverschiedene Messpunkte auf dem zu vermessenden Objekt gerichtet werden können. In dieser Ausführungsform können somit gleichzeitig zwei unterschiedliche Punkte auf dem Objekt vermessen werden.

[0044] In einer vorteilhaften Weiterbildung des zuvor beschriebenen Mehrstrahl-Interferometers weist das Interferometer mindestens eine zweite Vorrichtung zur optischen Weglängenveränderung auf, welche im Strahlengang eines der Referenzteilstrahlen angeordnet ist. Bei dieser Ausführungsform ist es somit möglich, mit der ersten Vorrichtung zur optischen Weglängenveränderung die optische Weglänge bei-

der Referenzstrahlen gleichzeitig zu verändern, wohingegen mit der zweiten Vorrichtung zur optischen Weglängenveränderung die optische Weglänge lediglich eines der beiden Referenzstrahlen verändert wird, so dass eine Weglängendifferenz zwischen den Referenzstrahlen vorgegeben werden kann.

[0045] Hierbei ist es insbesondere vorteilhaft, wenn die erfindungsgemäße Vorrichtung derart ausgeführt ist, dass lediglich ein Messstrahlengang die erfindungsgemäße Vorrichtung verlässt. Dies kann dadurch erreicht werden, dass mindestens zwei Messstrahlen auf einem identischen Strahlengang die optische Vorrichtung verlassen und somit auch auf den ortsidentischen Messpunkt auf dem zu vermessenden Objekt auftreffen.

[0046] Vorteilhafterweise ist die Vorrichtung jedoch derart ausgeführt, dass der Messstrahl erst nach Wiedereintritt in das Interferometer aufgeteilt wird. Es wird somit ein Messstrahl erzeugt, welcher aus der Vorrichtung austritt, von dem Messobjekt zumindest teilweise reflektiert wird und anschließend wieder in die erfindungsgemäße Vorrichtung eintritt. Nach dem Wiedereintritt in die erfindungsgemäße Vorrichtung durchläuft der Messstrahl einen Strahlvervielfältiger und wird so in mindestens zwei Messstrahlen aufgespalten, welche jeweils mit einem korrespondierenden Referenzstrahl auf jeweils einen Detektor überlagert werden.

[0047] Diese Ausführungsform bietet den Vorteil, dass für einen Messpunkt auf dem Messobjekt an mindestens zwei Detektoren Interferenzsignale anliegen, wobei der Weglängenunterschied zwischen Mess- und Referenzstrahl für die beiden Detektoren unterschiedlich ist und dieser Unterschied durch die zweite Vorrichtung zur optischen Weglängenänderung vorgegeben werden kann.

[0048] Auf diese Weise liegen gleichzeitig zwei Messsignale mit einer unterschiedlichen Abstimmung der optischen Weglängen zwischen Referenz- und Messstrahl vor, ohne dass eine optische Weglänge wie vorhergehend beschrieben „durchgefahren“ werden müsste, das heißt ohne dass durch eine Variation der optischen Weglänge zeitlich hintereinander mehrere Messsignale ausgewertet werden müssten.

[0049] Es kann somit aus den beiden Detektorsignalen dasjenige mit der größeren Intensität ausgewählt werden, ohne dass ein zeitaufwändiges Durchfahren der optischen Weglänge zum Auffinden des maximalen Intensitätssignals notwendig ist.

[0050] Selbstverständlich ist auch eine Kombination der beiden Vorgehensweisen denkbar, in dem mit der ersten Vorrichtung zur optischen Weglängenveränderung in einer Grobeinstellung die optische Weglänge beider Referenzstrahlen abgeglichen wird und

anschließend die Signale beider Detektoren ausgelesen und hiervon das maximale Interferenzsignal ausgewertet wird.

[0051] Hierbei ist es insbesondere vorteilhaft, wenn Mess- und Referenzstrahl in eine größere Anzahl an Mess- und Referenzstrahlen aufgespalten werden, so dass sie auf einer entsprechend größeren Anzahl von Detektoren überlagert werden können. Die Referenzstrahlen werden jeweils in einer abfallenden Folge durch entsprechende Vorrichtungen zur optischen Weglängenveränderung mit einer unterschiedlichen optischen Weglänge versehen, so dass zeitgleich eine größere Anzahl von Messsignalen für unterschiedliche Weglängenverhältnisse zwischen Referenz- und Messstrahl von der Signalauswerteeinheit ausgewertet werden können. Hierdurch kann ein Auffinden des Interferenzsignals bei abgestimmten Mess- und Referenzstrahlen stattfinden, ohne dass mittels der ersten Vorrichtung zur optischen Weglängenveränderung eine Weglängenveränderung durchgeführt werden muss. Oder die durch die zweite Vorrichtung zur optischen Weglängenveränderung bewirkten Unterschiede sind eng gestaffelt, so dass nach einer Grobabstimmung mittels der ersten Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge eine feine Auflösung unterschiedlicher Verhältnisse von optischen Weglängen vorliegt.

[0052] Vorteilhafterweise umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung mindestens 50, insbesondere mindestens 100 Detektoren (und Mess- und Referenzstrahl werden in ebenso viele Strahlen aufgespalten), so dass gleichzeitig Messsignale mit 100 verschiedenen Abstimmungsverhältnissen zwischen Mess- und Referenzstrahl aufgenommen werden können.

[0053] Vorteilhafterweise ist die zweite Vorrichtung zur optischen Weglängenveränderung als optische Verzögerungseinheit ausgebildet. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass der jeweilige Referenzstrahl durch ein optisch dichteres Medium geleitet und somit verzögert wird. Im Vergleich zu dem unverzögerten Referenzstrahl ergibt sich somit ein Zeitunterschied, der äquivalent zu einer unterschiedlichen optischen Weglänge ist.

[0054] In einer weiteren vorzugsweisen Ausführungsform umfasst die Vorrichtung eine Verschiebeeinheit und eine Scanner-Steuereinheit. Hierdurch ist ein rasterartiges Vermessen mehrerer ortsverschiebener auf dem Messobjekt vorgegebener Messpunkte möglich:

Die Scanner-Steuereinheit steuert die Verschiebeeinheit derart, dass die relative Lage von dem zu vermessenden Objekt und dem Messstrahl verändert wird. Damit kann der Messstrahl auf mindestens zwei vorgegebene, ortsverschiedene Messpunkte auf dem Objekt gerichtet werden.

[0055] Die Verschiebeeinheit kann an dem Objekt angeordnet sein, beispielsweise in Form eines X-Y-Tisches, welcher das Objekt im Wesentlichen senkrecht zu dem Messstrahl in zwei Raumrichtungen verschieben kann. Ebenso ist es jedoch auch denkbar, die Verschiebeeinheit im Strahlengang des Messstrahls anzuordnen, derart, dass der Messstrahl auf vorgegebene Punkte des Messobjekts abgelenkt werden kann.

[0056] Bei dieser vorteilhaften Ausführungsform kann nach dem Abscannen des Objekts durch die für jeden Messpunkt abgespeicherten Wegdifferenzen zum Abgleich von Mess- und Referenzstrahl eine Oberflächentopographie des vermessenen Objekts erzeugt werden.

[0057] Insbesondere zur Vermessung von Objekten aus der Mikrotechnik, z. B. in Silizium verkapselte Drehrate-, Beschleunigungs- und Drucksensoren ist es vorteilhaft, wenn die Vorrichtung als konfokales Mikroskop ausgeführt ist. Der Messstrahl wird hierbei über ein Objektiv auf den Messpunkt auf dem zu vermessenden Objekt fokussiert. Der von dem Objekt zumindest teilweise reflektierte Messstrahl tritt wiederum über den Strahlengang des Objektivs in das konfokale Mikroskop ein. Die Vorrichtung weist ferner einen Raumfilter auf, welcher derart im Strahlengang des Messstrahls angeordnet ist, dass nicht-fokale Strahlen, welche von Punkten außerhalb des Fokus des Objektivs in das Objekt einfallen, im wesentlichen durch den Raumfilter ausgeblendet werden.

[0058] Typischerweise kann solch ein Raumfilter durch eine Lochblende realisiert sein, welche im Strahlengang des Messstrahls angeordnet ist.

[0059] Zwei Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher beschrieben und erläutert. Dabei zeigt:

[0060] [Fig. 1](#) ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur optischen Vermessung eines Objekts, bei der das Interferometer als Mehrstrahl-Interferometer ausgeführt ist und

[0061] [Fig. 2](#) ein Ausführungsbeispiel, bei dem durch ein optisches Aberrationselement unterschiedliche Abstimmungsverhältnisse zwischen Mess- und Referenzstrahl erzielt werden.

[0062] In [Fig. 1](#) ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur optischen Vermessung des Objektes **1** dargestellt. Sie umfasst eine Signalauswerteeinheit **2**, sowie ein Interferometer mit einer Lichtquelle **3** und insgesamt **100** Detektoren, von denen lediglich vier in einer waagrechten Reihe angeordneten dargestellt sind und die äußeren beiden mit den Bezugszeichen **4a** und **4d** gekennzeichnet sind.

[0063] Das Interferometer umfasst ferner einen Ablenkspiegel **5**, vier Strahlteiler **6a** bis **6d**, zwei Strahlvervielfältiger **7a** und **7b**, zwei Bragg-Zellen **8a** und **8b**, zwei $\lambda/4$ -Plättchen **9a** und **9b**, eine optische Verzögerungseinheit **10** und einen mittels eines Motors verschiebbaren Referenzspiegel **11**.

[0064] Die Lichtquelle **3** ist derart ausgeführt, dass sie Licht mit einer Kohärenzlänge von etwa $20 \mu\text{m}$ erzeugt. Der von der Lichtquelle ausgesandte Lichtstrahl **12** wird über den Ablenkspiegel **5** auf den Strahlteiler **6a** abgelenkt. Dort teilt er sich in einen Messstrahl **12a** und einen Referenzstrahl **12b** auf. Der Messstrahl **12a** durchläuft die Bragg-Zelle **8a**, den zweiten Strahlteiler **6b** und wird mittels Linsen über das $\lambda/4$ -Plättchen **9a** auf das Messobjekt **1** fokussiert.

[0065] Der von dem Objekt **1** zumindest teilweise reflektierte Messstrahl **12a** durchläuft wiederum das $\lambda/4$ -Plättchen **9a**, wird durch den zweiten Strahlteiler **6b** auf den Strahlvervielfältiger **7b** abgelenkt und trifft nach Durchlaufen des Strahlvervielfältigers **7b** und des dritten Strahlteilers **6c** auf die vier Detektoren **4a** bis **4d** auf.

[0066] Die Lichtquelle erzeugt ein polarisiertes Licht, so dass mittels der $\lambda/4$ -Plättchen **9a** und **9b** in Zusammenarbeit mit den Polarisations-Strahlteilern eine Umlenkung der Lichtstrahlen ohne Intensitätsverlust möglich ist.

[0067] Das Interferometer des Ausführungsbeispiels ist als heterodynes Interferometer ausgeführt: Mittels der beiden Braggzellen **8a** und **8b** werden Messstrahl **12a** und Referenzstrahl **12b** hinsichtlich der Frequenz gegeneinander verstimmt.

[0068] Der Referenzstrahl **12b** durchläuft den vierten Strahlteiler **6d** und trifft auf den motorisch verschiebbaren Referenzspiegel **11**, wird dort reflektiert und von dem vierten Strahlteiler **6d** auf die zweite Bragg-Zelle **8b** abgelenkt. Anschließend wird der Referenzstrahl **12b** durch den Strahl-Vervielfältiger **7a** aufgefächert und durchläuft die optische Verzögerungseinheit **10**. Hierbei werden die einzelnen Teilstrahlen jeweils unterschiedlich verzögert, so dass jedem der Teilstrahlen nach Durchlaufen der optischen Verzögerungseinheit **10** eine unterschiedliche optische Weglänge zugeordnet werden kann.

[0069] Der aufgefächerte Referenzstrahl wird mittels des dritten Strahlteilers **6c** auf die 100 Detektoren (hier nur dargestellt: Detektoren **4a** bis **4d**) abgelenkt und dort mit dem aufgefächerten Messstrahl **12a** überlagert. Bei jedem Detektor liegt somit ein unterschiedliches Abstimmungsverhältnis zwischen Mess- und Referenzstrahl vor.

[0070] Die Signalauswerteeinheit **2** ist mit den Detektoren (dargestellt: Detektoren **4a** bis **4d**) und mit dem Motor des motorisch verstellbaren Referenzspiegels **11** verbunden. Die Signalauswerteeinheit umfasst folgende Komponenten: einen Signalteiler **2a**, eine Analog-Digital (AD)-Datenerfassung **2b**, eine Signalstärkenauswertung **2c**, eine Fokussteuerung **2d**, einen Multiplexer **2e** und eine Vibrometer-Auswerteeinheit **2f**.

[0071] Die Messsignale der Detektoren (dargestellt: **4a** bis **4d**) werden mittels des Signalteilers **2a** zum einen zur AD-Datenerfassung **2b** und zum anderen zu dem Multiplexer **2e** geleitet.

[0072] Die AD-Datenerfassung **2b** ist derart ausgeführt, dass die Signalstärke der Ausgangssignale jedes der Detektoren ermittelt und in ein digitales Signal umgewandelt wird. Signalstärke bedeutet hierbei, dass die momentane Stärke des Interferenzsignals aus der Einhüllenden des von den jeweiligen Detektoren erzeugten Ausgangssignals ermittelt wird.

[0073] Die digital vorliegenden Signalstärken werden in der Signalauswertung **2c** in mehrfacher Hinsicht ausgewertet:

Zum einen wird die Signalstärke des stärksten Signals an die Fokussteuerung **2d** weitergeleitet. Weiterhin wird die Kanalnummer, das heißt die Nummer des Detektors mit dem stärksten Signal an den Multiplexer **2e** weitergegeben.

[0074] Ein Messvorgang erfolgt nun folgendermaßen:

Jedem der Detektoren ist durch die optische Verzögerungseinheit **10** eine unterschiedliche Verzögerung des Referenzstrahls zugeordnet.

[0075] Mittels der Fokussteuerung **2d** wird der Motor des Referenzspiegels **11** derart gesteuert, dass ein maximales Messsignal an einem Detektor mit einer mittleren Verzögerung zwischen Mess- und Referenzstrahl anliegt. Für diesen Detektor sind damit Mess- und Referenzstrahl in etwa abgeglichen. Dadurch wird die Grobeinstellung vorgenommen.

[0076] Sobald dieser Abgleich der optischen Weglänge des Referenzstrahls erfolgte, gibt die Signalstärkenauswertung **2c** die Kanalnummer des Kanals mit dem stärksten Detektorsignal an den Multiplexer **2e** weiter. Der Multiplexer **2e** leitet das Interferenzsignal des Detektors, welcher das stärkste Interferenzsignal aufweist, an die Vibrometer-Auswerteeinheit **2f** weiter.

[0077] Die Vibrometer-Auswerteeinheit wertet das zu ihr weitergeleitete Interferenzsignal in an sich bekannter Weise aus, das heißt sie bestimmt die Bewegungsgeschwindigkeit und die Bewegungsrichtung

des vermessenen Messpunktes auf dem Objekt **1** und speichert diese Daten ab.

[0078] Mit der in [Fig. 1](#) dargestellten erfindungsgemäßen Vorrichtung lassen sich somit erstmals bei dem Objekt **1** sowohl die Intensität des Interferenzsignals vermessen, als auch die Bewegungsgeschwindigkeit und Bewegungsrichtung des vermessenen Messpunktes auf dem Objekt **1** ermitteln. Aufgrund der eingeschränkten Kohärenzlänge der Lichtquelle **3** tragen nur solche Lichtreflexionen des Messobjekts **1** zu einem Interferenzsignal auf einem der Detektoren **4a** bis **4d** bei, welche innerhalb der Kohärenzlänge von etwa 20 µm des mittels des Referenzspiegels **11** eingestellten Fokusbereichs stattfinden. Somit kann mittels des Referenzspiegels **11** ein Bereich eingestellt werden, innerhalb dessen Messsignale aufgenommen werden.

[0079] Die Lichtquelle **3** erzeugt Licht mit einer Wellenlänge von etwa 1550 nm. Hierdurch ist es möglich, auch bei in Silizium eingekapselten Messobjekten eine Messung vorzunehmen, da Silizium Licht dieser Wellenlänge kaum absorbiert und durch die Glasfaserübertragungstechnik geeignete optische Komponenten zur Verfügung stehen.

[0080] Ebenso liegt es auch im Rahmen der Erfindung, die oben beschriebenen verschiedenen Abstimmungsverhältnisse zwischen Mess- und Referenzstrahl mittels chromatischer Aberration zu erzeugen:

In [Fig. 2](#) ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, welches im Grundaufbau mit dem in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsbeispiel übereinstimmt. Auch der Mess- und Auswertevorgang wird wie oben beschrieben durchgeführt.

[0081] Ein wesentlicher Unterschied ist, dass Mess- und Referenzstrahl nicht wie in [Fig. 1](#) dargestellt mittels zweier Strahlervielfältiger **7a** und **7b** aufgespalten werden und dass keine optische Verzögerung durch ein Verzögerungselement **10** vorgenommen wird. Stattdessen weist das Ausführungsbeispiel in [Fig. 2](#) ein optisches Aberrationselement **20** und ein Translationsgitter **21** auf.

[0082] Der Messstrahl **12a** durchstrahlt das Aberrationselement **20** und trifft anschließend auf das zu vermessende Objekt **1**. Durch das Aberrationselement werden für unterschiedliche Wellenlängenanteile des Messstrahls unterschiedliche Foki erzeugt, d. h. abhängig von der Wellenlänge kann dem Messstrahl ein unterschiedlicher Fokusbereich zugeordnet werden.

[0083] Der von dem Objekt **1** zumindest teilweise reflektierte Messstrahl durchläuft wie auch bei [Fig. 1](#) das $\lambda/4$ -Plättchen **9a** und wird durch den zweiten Strahlteiler **6b** auf dritten Strahlteiler **6c** abgelenkt.

[0084] Nach Durchlaufen des dritten Strahlteilers **6c** trifft der mit dem Referenzstrahl **12b** überlagerte Messstrahl auf das Translationsgitter **21**. Hier werden unterschiedliche Wellenlängenanteile der überlagerten Mess- und Referenzstrahlen auf jeweils einen der Detektoren **4a** bis **4d** abgelenkt. Auch in [Fig. 2](#) sind von insgesamt 100 Detektoren lediglich vier beispielhaft dargestellt.

[0085] Wesentlich ist, dass durch das Translationsgitter jedem Detektor ein bestimmter Wellenlängenanteil der überlagerten Mess- und Referenzstrahlen zugeordnet werden kann, so dass aufgrund der unterschiedlichen Foki der Wellenlängenanteile des Messstrahles bei jedem Detektor ein unterschiedliches Abstimmungsverhältnis zwischen Mess- und Referenzstrahl vorliegt.

[0086] Der grundsätzliche Aufbau zur Erzeugung unterschiedlicher Abstimmungsverhältnisse mittels optischer Aberration ist in Papasathopoulos, Körner, Osten, „Chromatic confocal spectral interferometry“, Applied Optics, Vol 45, No. 32, 10 November 2006, pp. 8244–8252 beschrieben.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur optischen Vermessung eines Objekts **(1)**, umfassend eine Signalauswerteeinheit **(2)**, sowie ein Interferometer mit einer Lichtquelle **(3)** und mit mindestens einem Detektor **(4a, 4d)**, wobei das Interferometer derart ausgeführt ist, dass ein von der Lichtquelle **(3)** erzeugter Lichtstrahl **(12)** mindestens in einen Mess- **(12a)** und einen Referenzstrahl **(12b)** aufgespalten wird, wobei der Messstrahl **(12a)** auf das Objekt **(1)** auftrifft und der von dem Objekt zumindest teilweise reflektierte Messstrahl **(12a)** auf dem Detektor **(4a, 4d)** mit dem Referenzstrahl **(12b)** überlagert wird und die Signalauswerteeinheit **(2)** mit dem Detektor **(4a, 4d)** verbunden ist und eine Auswerteeinheit umfasst, wobei die Lichtquelle **(3)** derart ausgeführt ist, dass sie Licht mit einer Kohärenzlänge kleiner 1 cm erzeugt und wobei die Vorrichtung eine Fokussteuerung **(2d)** und eine von der Fokussteuerung gesteuerte Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge **(11)** umfasst, wobei die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge **(11)** derart angeordnet ist, dass die optische Weglänge von Mess- und/oder Referenzstrahl mittels der Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge **(11)** abhängig von den Steuersignalen der Fokussteuerung verändert wird und die Fokussteuerung derart ausgeführt ist, dass sie die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge derart steuert, dass die optischen Weglängen von Mess- und Referenzstrahl abgeglichen sind, **dadurch gekennzeichnet,**

dass die Auswerteeinheit eine Vibrometer-Auswerteeinheit **(2f)** ist, welche derart ausgeführt ist, dass sie aus den Messsignalen des Detektors **(4a, 4d)** Bewegungsdaten des Objektes **(1)** ermittelt und dass das Interferometer als heterodynes Interferometer ausgeführt ist, mit einer Frequenzverschiebeeinheit **(8a, 8d)**, welche im Strahlengang des Mess- **(12a)** und/oder Referenzstrahls **(12b)** angeordnet und derart ausgeführt ist, dass sie die Frequenz des Mess- oder Referenzstrahls verschiebt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge **(11)** im Strahlengang des Interferometers angeordnet ist, insbesondere im Strahlengang des Referenzstrahls **(12b)**.

3. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalauswerteeinheit derart ausgeführt ist, dass sie das Messsignal des Detektors hinsichtlich der Intensität des Interferenzsignals von Mess- **(12a)** und Referenzstrahl **(12b)** auswertet.

4. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokussteuerung mit der Signalauswerteeinheit verbunden und derart ausgeführt ist, dass sie die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge abhängig von dem Messsignal des Detektors steuert, insbesondere, dass sie die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge abhängig von der Intensität des Interferenzsignals von Mess- **(12a)** und Referenzstrahl **(12b)** steuert.

5. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vibrometer-Auswerteeinheit **(2f)** als heterodyne Vibrometer-Auswerteeinheit ausgeführt ist, derart, dass sie zu den Bewegungsdaten auch die Bewegungsrichtung des Objekts **(1)** ermittelt, insbesondere, dass die Signalauswerteeinheit **(2)** derart ausgeführt ist, dass sie die Intensität des Interferenzsignals von Mess- **(12a)** und Referenzstrahl **(12b)** aus der Trägerstärke des heterodynen Signals des Detektors ermittelt.

6. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle **(3)** derart ausgeführt ist, dass sie einen Lichtstrahl mit einer Kohärenzlänge unter 50 μm , insbesondere unter 20 μm , höchstensbesondere unter 10 μm erzeugt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle **(3)** derart ausgeführt ist, dass sie einen Lichtstrahl mit einem breitbandigen Frequenzspektrum erzeugt, derart, dass der Licht-

strahl eine Kohärenzlänge unter 50 μm , insbesondere unter 20 μm , höchstinsbesondere unter 10 μm besitzt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (3) derart ausgeführt ist, dass sie einen Lichtstrahl mit einer sich zeitlich ändernden Phase erzeugt, derart, dass der Lichtstrahl eine Kohärenzlänge unter 50 μm , insbesondere unter 20 μm , höchstinsbesondere unter 10 μm besitzt.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge als linear verschiebbarer optischer Referenzspiegel (11) ausgeführt und derart im Strahlengang des Referenzstrahls (12a) angeordnet ist, dass der Referenzspiegel in Richtung des Referenzstrahls (12a) verschoben werden kann.

10. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (3) derart ausgeführt ist, dass sie einen Lichtstrahl mit einer Wellenlänge größer 1000 nm, insbesondere mit einer Wellenlänge zwischen 1000 nm und 2500 nm, höchstinsbesondere mit einer Wellenlänge von 1550 nm erzeugt.

11. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalauswerteeinheit (2) einen Steuerausgang besitzt, welcher mit der Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge verbunden ist und diese derart steuert, dass für mindestens zwei vorgegebene optische Weglängen des Referenzstrahls (12a) die Intensität des Interferenzsignals von Mess- und Referenzstrahl ermittelt wird und für die optische Weglänge mit dem maximalen Interferenzsignal die Bewegungsdaten des Objekts mittels der Vibrometer-Auswerteeinheit (2f) ermittelt werden und/oder die Intensität des Interferenzsignals gesondert abgespeichert wird.

12. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Interferometer als Mehrstrahl-Interferometer ausgeführt ist, mit einem Messstrahl-Strahlteiler (7b), der im Strahlengang des Messstrahls (12b) angeordnet und derart ausgeführt ist, dass er den Messstrahl in mindestens zwei Teilstrahlen aufspaltet und einem Referenzstrahl-Strahlteiler (7a), der im Strahlengang des Referenzstrahls (12a) angeordnet und derart ausgeführt ist, dass er den Referenzstrahl in mindestens zwei Teilstrahlen aufspaltet, dass das Interferometer mindestens einen zweiten Detektor (4d) aufweist und derart ausgeführt ist, dass der erste Messstrahl mit dem ersten Referenzstrahl auf dem ersten Detektor (4a) und der zweite Messstrahl mit dem zweiten Referenzstrahl auf dem zweiten Detektor (4d) überlagert wird und

dass die Signalauswerteeinheit (2) sowohl mit dem ersten, als auch mit dem zweiten Detektor verbunden und derart ausgeführt ist, dass sie die Messsignale beider Detektoren auswertet, insbesondere, dass sie die Daten beider Detektoren zeitgleich auswertet.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Interferometer mindestens eine zweite Vorrichtung (10) zur optischen Weglängenveränderung aufweist, welche im Strahlengang eines der Referenz-Teilstrahlen oder eines der Mess-Teilstrahlen angeordnet ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Messstrahl-Strahlteiler im Strahlengang des Messstrahls (12b) zwischen Objekt (1) und Detektor (4a, 4d) angeordnet ist, derart, dass der Messstrahl unaufgespaltet auf das Messobjekt trifft und der vom Objekt zumindest teilweise reflektierte Messstrahl von dem Messstrahl-Strahlteiler (7b) in Teilstrahlen aufgespaltet wird.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Vorrichtung zur optischen Weglängenveränderung als optische Verzögerungseinheit (10) ausgebildet ist.

16. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine Verschiebeeinheit und eine Scanner-Steuereinheit umfasst, wobei die Scanner-Steuereinheit derart mit Verschiebeeinheit zusammenwirkend ausgeführt ist, dass die Scanner-Steuereinheit die Verschiebeeinheit mittels Steuersignalen derart steuert, dass die relative Lage von dem zu vermessenden Objekt und dem Messstrahl verändert wird, so dass der Messstrahl auf mindestens zwei vorgegebene, ortsverschiedene Messpunkte auf dem Objekt gerichtet werden kann.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Verschiebeeinheit als optische Ablenkeinheit ausgebildet ist, welche im Strahlengang des Messstrahls zwischen Lichtquelle und Objekt angeordnet und derart ausgebildet ist, dass der Messstrahl wahlweise in mindestens zwei vorgegebene Raumrichtungen abgelenkt wird, derart, dass der Messstrahl auf mindestens zwei ortsverschiedene, vorgegebene Messpunkte auf dem Objekt trifft.

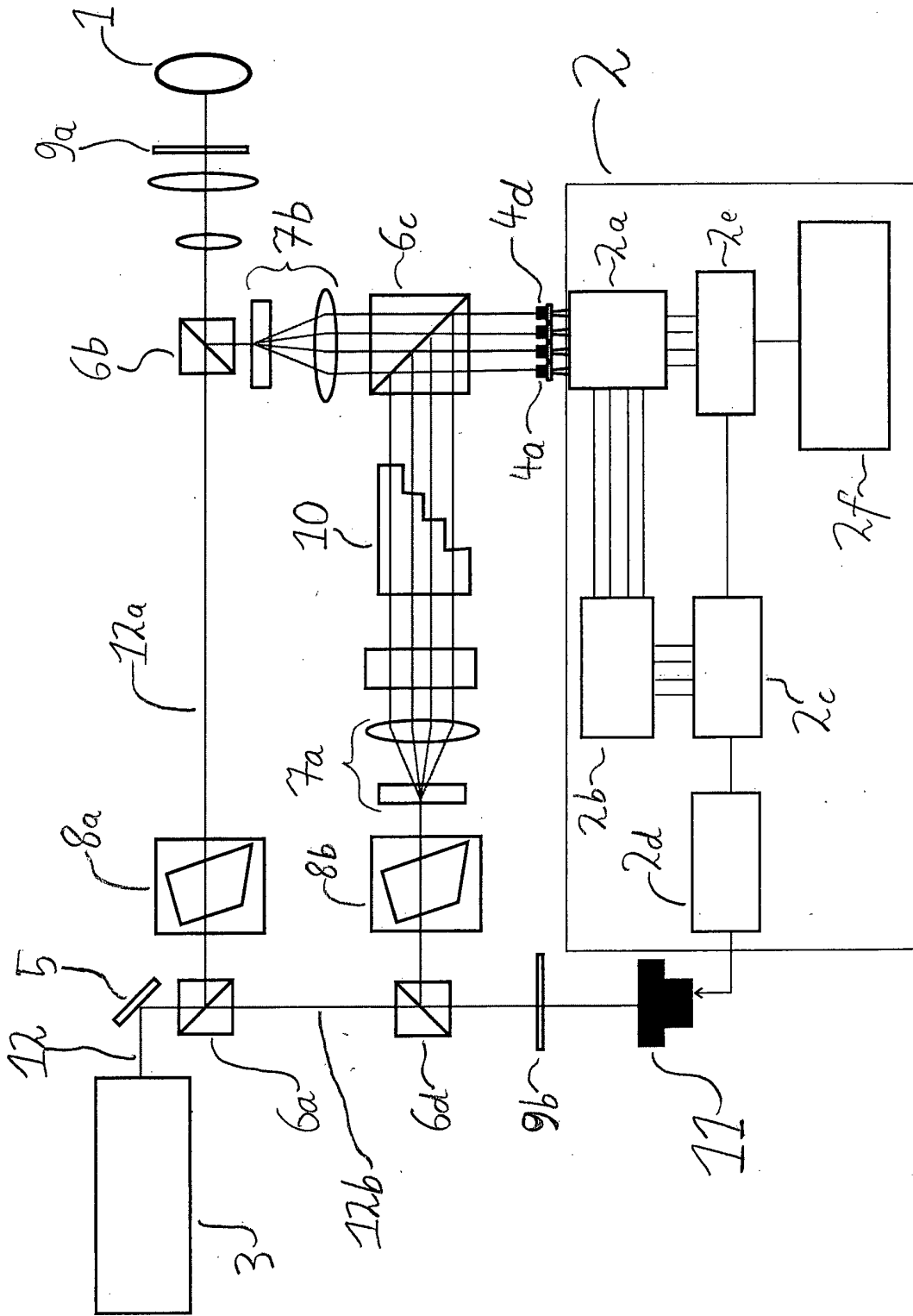
18. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung als konfokales Mikroskop ausgeführt ist, mit einem Objektiv und einem Raumfilter, wobei das Objektiv und der Raumfilter im Strahlengang des Messstrahls angeordnet sind, derart, dass nicht-fokale Strahlen, welche von Punkten außerhalb des Fokus des Objektivs in das Objekt einfallen,

im Wesentlichen durch den Raumfilter ausgeblendet werden.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokussteuerung derart ausgeführt ist, dass sie die Vorrichtung zur Änderung der optischen Weglänge derart steuert, dass für mehrere vorgegebenen Tiefenbereiche jeweils die Weglängen von Mess- und Referenzstrahl abgeglichen werden und dass die Vorrichtung derart ausgeführt ist, dass für jeden vorgegebenen Tiefenbereich die Intensität des Interferenzsignals von Mess- und Referenzstrahl ausgewertet wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Figur 1



Figur 2

