



(10) **DE 11 2006 001 788 B4** 2015.10.15

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2006 001 788.8**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/CN2006/001770**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2007/030993**  
(86) PCT-Anmeldetag: **19.07.2006**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.03.2007**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **26.06.2008**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **15.10.2015**

(51) Int Cl.: **G01B 11/02 (2006.01)**  
**G01B 11/14 (2006.01)**  
**G01B 11/08 (2006.01)**

Innerhalb von neun 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).

(30) Unionspriorität:  
**200510102478.6 14.09.2005 CN**

(73) Patentinhaber:  
**HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Harbin,  
Heilongjiang, CN**

(74) Vertreter:  
**Riebling, Peter, Dipl.-Ing. Dr.-Ing., 88131 Lindau,  
DE**

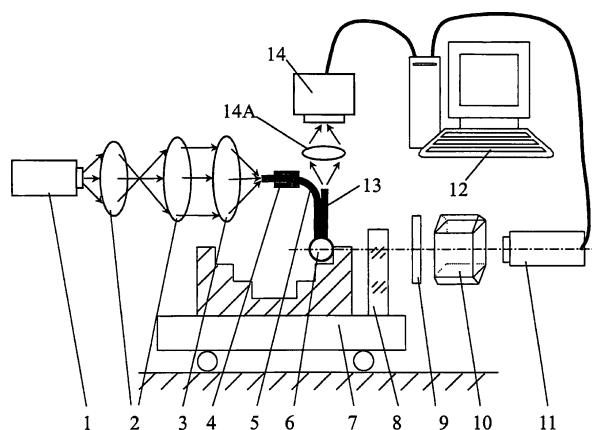
(72) Erfinder:  
**Tan, Jiubin, Harbin, Heilongjiang, CN; Cui, Jiwen,  
Harbin, Heilongjian, CN**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>102 58 283</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>198 05 892</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>29 808 683</b>	<b>U1</b>
<b>US</b>	<b>4 806 016</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 434 669</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Mikrovertiefungsmessvorrichtung und -verfahren basierend auf der Doppeloptofaserkopplung**

(57) Hauptanspruch: Messvorrichtung für Mikro-Ausnehmungen basierend auf einer Doppeloptofaserkopplung, welche einen Empfänger und einen Sender, eine Steuerung und eine Längenmessvorrichtung (8–11) aufweist, wobei die Messvorrichtung für Mikro-Ausnehmungen geringe Positionswechsel eines Objektes vom Messbeginn bis zum Messende des Senders und Empfängers erfasst, und der Sender und Empfänger ausgestattet ist mit einer Laserkopplungseinheit (1–3), einer Datenerhebungs- und -Verarbeitungseinheit (12, 12A, 14) und einer Doppeloptofaserverbindungs- einheit (5, 6, 13) mit Einstrom- (5) und Ausstromoptofasern (13), deren eine Enden an einem Koppler (6) befestigt sind, wobei der Koppler (6) sowohl als Lichtenergieumwandler als auch als Messempfänger verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, dass die einen Enden der Einstromoptofaser (5) und der Ausstromoptofaser (13) am Koppler (6) parallel zueinander sind und die Einstromoptofaser (5) in Form eines Orthogonalbogens und die Ausstromoptofaser (13) in Form einer geraden Linie ausgebildet sind.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet der Erfindung

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich auf eine Ausführung einer Messvorrichtung und eine Verfahren, wie im Anspruch 1 und 8 beschrieben, welches zur Messung von unregelmäßigen Mikrovertiefungen und im Einzelnen für „Sub-Makro“ Mikrovertiefungen verwendet wird und zusätzlich zur konventionellen Berührungs-Messung.

## Technischer Hintergrund

**[0002]** Die Anzahl von Bauteilen mit Mikrovertiefungen nimmt mit der Entwicklung von Hochtechnologieindustrien zu, wie beispielsweise in der Raumfahrtindustrie und der Autoindustrie. Die präzise Messung dieser Mikrovertiefungen wird zum „Engpass“ für die weitere Entwicklung dieser Hochtechnologieindustrien und dieses begründet die Notwendigkeit der Entwicklung einer vorteilhaften Messvorrichtung und eines Messverfahrens für Mikrovertiefungen.

**[0003]** Präzise Messungen der Dimensionen einer Mikrovertiefung ist ein neues Problem auf dem Gebiet der Messtechnik, und die Lösung dieses Problems umfasst viele Schlüsseltechnologien und auch die Fragestellung, wie der Widerspruch zwischen dem Erzielen hoher Genauigkeit, großem Messbereich und großer Tiefe minimiert werden kann. Ein größerer Bereich und eine größere Tiefe kann unter Einsatz eines Berührungs-Messverfahrens und eines längeren Messarms erzielt werden, während die Genauigkeit durch die Vergrößerung des Messarms verringert wird. Professor Zhang Guoxiong der Tianjin Universität erfand einen 3-D Messsensor mit einem Diaphragma, um dieses Problem zu lösen. In dem 3D Messsensor wird ein Kapazitätsmesssensor zur Erkennung der Störungen des Diaphragmas eingesetzt, und eine Elastizitäts-Dimensionskette wird zur Kompensation der Störung des Diaphragmas eingesetzt. Eine Sonde kann zur Erfüllung der Aufgabe der Messung eines Durchmessers von 0,2 mm bei einem Abbildungsmaßstab von 30:1 und bei einer Auflösung von besser als 1 µm verwendet werden. Im Vergleich mit dem Kontaktverfahren kann das optische Nichtkontaktverfahren verwendet werden, um die Aufgabe zur Messung von Bohrungen eines kleinen Durchmessers mit hoher Genauigkeit durchzuführen, jedoch kann dieses Verfahren lediglich zur Messung der Oberfläche einer Bohrung mit einer sehr niedrigen Tiefe eingesetzt werden und kann aufgrund der großen Abmessungen eines optischen Systems nicht dazu verwendet werden, die innenseitige Information der Bohrung aufgrund der sperrigen Abmessungen eines optischen Systems zu erhalten. Darüber hinaus kann die Messgenauigkeit aufgrund kleiner Fehler, wie zum Beispiel aufgrund von Graten in den Bohrungen, sinken. Das Vibrations-Scan-Ver-

fahren kann zur Messung des Durchmessers einer Mikro-Ausnehmung durch Erfassen des Spannungswechsels verwendet werden, welches auf den Abstand eines Messfühlers von der Wandung eines Objektes zurückzuführen ist.

**[0004]** Jedoch ist die Messgenauigkeit abhängig von dem Einfluss von Verunreinigungen, und der Messfühler kann durch überhöhte Vibrationen beschädigt werden. Damit ist der minimale Durchmesser und die Tiefe, die mit dieser Methode erreicht werden kann nicht groß genug, auch dann nicht, wenn ein Twin-Fühler oder ein langgestreckter Messfühler eingesetzt wird.

**[0005]** Mit der Entwicklung der Optofasertechnik wurden einige neue Methoden entwickelt, die optische Fasern als Sensoren zur Messung der Dimensionen eines Mikro-Hohlraums verwenden. Allerdings ist es fast unmöglich, diese Methoden zur Messung von Mikro-Bohrungen mit einem Durchmesser von weniger als 1 mm einzusetzen.

**[0006]** Zwischen 1997 und 1998 wurde ein neues Messverfahren durch die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) und die Tianjin Universität entwickelt, welches eine einzelne Optofaser und eine CCD Bildverarbeitungstechnik verwendet. Dieses Verfahren kann eingesetzt werden, um die Messung von Mikrovertiefungen vorzunehmen, deren Mikrosphären auf einer CCD Kamera als Objekt abgebildet ist, worin die seitliche Auslenkung der Sonde in eine longitudinale Auslenkung der Mikrosphäre transformiert wird, worin die Bildsignalhelligkeit des durch die CCD Kamera eingefangenen Bildes angezeigt wird. Jedoch ist das Bild von der CCD Kamera derart schwach, dass es zu einer Bildverarbeitung ungeeignet ist, weil das meiste Licht in die Mikrosphäre durch die optische Faser und nicht in das Optoabbildungssystem eintritt. Folglich ist die Messtiefe wegen des Abschattungseffektes auf der Wand der Mikro-Bohrung sehr gering und somit ist das Verfahren für Abbildungsmaßstäbe größer als 10:1 nicht einsetzbar. Wenn die Mikrosphäre mit der Wand der Mikro-Bohrung in Kontakt kommt, ändert sich das Bild der CCD Kamera nicht, da die Feldtiefe des optischen Systems und somit die Intensität und die Genauigkeit, welche mit diesem Verfahren erzielt werden kann, nicht hinreichend gut ist. Zum Stand der Technik wird zudem auf die Druckschriften DE 102 58 283 A1 und US 4 806 016 A verwiesen.

## Ziel der Erfindung

**[0007]** Das Aufgabe der vorliegenden Erfindung bezieht sich auf eine Ausführung einer Messvorrichtung und eines -Verfahrens basierend auf der Doppeloptofaserkopplung zur Messung von Mikrovertiefungen mit vertikal geneigten Ebenen und auch zur Überwindung von Nachteilen von derzeit eingesetzten Mikro-

vertiefungsmessungsmethoden. Diese Aufgabe wird durch eine Messvorrichtung und ein Messverfahren gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

**[0008]** Zum besseren Erläuterung des oben genannten Zieles sei nachfolgend auf eine Messvorrichtung gemäß dieser Erfindung verwiesen, bestehend aus: Einem Empfänger und einem Sender, die Signale an ein automatisches Steuerungsprogramm des Gesamtmessprozesses senden, einer Längenmessvorrichtung, welche zur Aufnahme geringer Positionswechsel eines Objekts mit Bezug auf den Messfühler vom Messbeginn bis zum Messende des Senders und Empfängers ausgebildet ist. Die Messvorrichtung mit einem Empfänger und einem Sender besteht aus einer Laserkupplung, eine Datenerhebungs- und Verarbeitungseinheit, und eine doppelte Optofaserkopplung besteht aus Einstrom- und Ausstromoptofasern, die mit den Enden auf einen Koppler angeordnet sind.

**[0009]** Ein weiteres Ziel dieser Erfindung ist es, ein Mikro-Hohlraum-Messverfahren beruhend auf der Doppeloptofaserkopplung aufzuzeigen, das aus den folgenden Messschritten besteht:

**[0010]** Schritt 1. Die Sonde wird in die Mikrovertiefung eingeführt und zu einer Seite der Mikrovertiefung in die Messrichtung bewegt;

**[0011]** Schritt 2. Die Positionierung der Sonde wird in Hinblick auf den eindeutigen Kontakt mit einer Seite der Mikrovertiefung überprüft. Wenn die Sonde nicht in eindeutigen Kontakt mit einer Seite der Vertiefung steht, startet wiederum der Messprozess bei Schritt 1;

**[0012]** Schritt 3. Wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit einer Seite der Mikrovertiefung steht, sendet der Empfänger und der Sender ein Signal zur Längenmessvorrichtung, um diese zu veranlassen, dass die Position der Sonde als  $p_1$  aufgezeichnet wird;

**[0013]** Schritt 4. Die Steuerung verursacht die Bewegung der Sonde in eine Richtung, entgegengesetzt zur Messrichtung;

**[0014]** Schritt 5. Die Sonde wird dahingehend überprüft, ob sie in eindeutigen Kontakt mit der anderen Seite der Mikrovertiefung in entgegen gesetzter Richtung steht. Wenn die Sonde nicht in eindeutigen Kontakt mit der anderen Seite der Mikrovertiefung steht, startet der Messprozess wieder bei Schritt 4;

**[0015]** Schritt 6. Wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit der anderen Seite der Mikrovertiefung steht, sendet der Empfänger und der Sender ein Signal zur Längenmessvorrichtung, um zu Erzielen,

dass die Position der Sonde als  $p_2$  aufgenommen wird;

**[0016]** Schritt 7. Die Abmessungen der Mikrovertiefung können durch die Formel  $L = |p_1 - p_2| + d_0$  berechnet werden, worin  $d_0$  den Durchmesser der Messschritte bestimmt;

**[0017]** Schritt 1. Einstellung der Position der Mikro-Ausnehmung in Bezug auf den Arbeitstisch zur Erzielung einer akzeptierbaren Exzentrizität zwischen dem Zentrum der Mikro-Ausnehmung und dem Drehzentrum des Arbeitstisches;

**[0018]** Schritt 2. Einstellen der Position der Mikro-Ausnehmung mit Bezug auf die Sonde, zur Lokalisation im zu messenden Durchmesser der Mikro-Ausnehmung, und daraufhin Aufzeichnung der Position der Mikro-Ausnehmung vor der Rotation als  $r_{p0}$  und der Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{00}$ ;

**[0019]** Schritt 3. Überprüfen der Sonde zur Feststellung eines eindeutigen Kontakts mit der Wand der Mikro-Ausnehmung. Registrierung der Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{01}$ , wenn der Sensor in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikro-Ausnehmung steht;

**[0020]** Schritt 4. Nachdem die Steuerung den Sensor von der Wand der Mikro-Ausnehmung entfernt, wird die Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{10}$  aufgezeichnet;

**[0021]** Schritt 5. Der Arbeitstisch wird um den Drehwinkel  $r_{p1}$  gedreht. Nachdem der Sensor in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikro-Ausnehmung steht, wird die Position des Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{11}$  aufgezeichnet;

**[0022]** Schritt 6. Die Schritte, wie oben bezeichnet, werden wiederholt, bis die Messung des gesamten Umfangs durchgeführt wurde. Eine der Abschätzungsmethoden, wie beispielsweise LSE, MCE, wird eingesetzt, um die Rundheit der abgemessenen Mikro-Ausnehmung abzuschätzen.

**[0023]** Das weitere Ziel der Erfindung ist ein Messverfahren für die Zylindereigenschaft eines Mikro-Zylinders vorzuschlagen, basierend auf der Doppeloptofaserkopplung, welche aus den folgenden Messschritten besteht:

**[0024]** Schritt 1. Einstellung der Position der Mikro-Ausnehmung in Bezug auf den Arbeitstisch, zur Erzielung einer akzeptierbaren Exzentrizität zwischen dem Zentrum der Mikro-Ausnehmung und dem Drehzentrum des Arbeitstisches;

**[0025]** Schritt 2. Einstellen der Position der Mikro-Ausnehmung im Bezug auf die Sonde zur Lokalisation im zu messenden Querschnitt der Mikro-Ausnehmung, und daraufhin Aufzeichnungen der Position der Mikro-Ausnehmung vor der Rotation als  $r_{p0}$  und der Position des Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{00}$ ;

**[0026]** Schritt 3. Überprüfen der Sonde zur Feststellung eines eindeutigen Kontakts mit der Wand der Mikro-Ausnehmung. Registrierung der Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{01}$ , wenn der Sensor in eindeutigem Kontakt mit der Wand der Mikro-Ausnehmung steht;

**[0027]** Schritt 4. Nachdem die Steuerung den Sensor von der Wand der Mikro-Ausnehmung entfernt, wird die Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{10}$  aufgezeichnet;

**[0028]** Schritt 5. Die oben bezeichneten Schritte werden solange wiederholt, bis die Messung des gesamten Durchmessers des Mikro-Zylinders durchgeführt wurde. Eine der Abschätzungsmethoden, wie beispielsweise LSE, MCE, wird eingesetzt, um die Zylindereigenschaft des Mikro-Zylinders abzuschätzen.

**[0029]** Das weitere Ziel der Erfindung ist das Aufzeigen eines Messverfahrens zur Messung der relativen Position von unterschiedlichen Teilen eines Objekts, basierend auf der Doppeloctofaserkopplung, welches aus dem folgenden Messschritten besteht:

**[0030]** Schritt 1. Einstellung der Position der Mikro-Ausnehmung in Bezug auf den Arbeitstisch, zur Erzielung einer akzeptierbaren Exzentrizität zwischen dem Zentrum der Mikro-Ausnehmung und dem Drehzentrum des Arbeitstisches;

**[0031]** Schritt 2. Einstellen der Position der Mikro-Ausnehmung im Bezug auf die Sonde zur Lokalisation im zu messenden Durchmesser der Mikro-Ausnehmung, und daraufhin Aufzeichnungen der Position der Mikro-Ausnehmung vor der Rotation als  $r_{p0}$  und der Position des Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{00}$ ;

**[0032]** Schritt 3. Überprüfen der Sonde zur Feststellung eines eindeutigen Kontakts mit der Wand der Mikro-Ausnehmung. Registrierung der Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{01}$ , wenn der Sensor in eindeutigem Kontakt mit der Wand der Mikro-Ausnehmung steht;

**[0033]** Schritt 4. Nachdem die Steuerung den Sensor von der Wand der Mikro-Ausnehmung entfernt wird, wird die Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{10}$  aufgezeichnet;

**[0034]** Schritt 5. Die Schritte wie oben bezeichnet, werden wiederholt bis die Messung im erforderlichen Maß durchgeführt wurde. Die Software wird dann die Informationen auswerten und die relativen Positionen präsentieren.

**[0035]** Der Messvorgang, besteht aus einem Anvisieren und Messen der Detektion geringer Änderungen der Position eines Objekts mit Bezug auf die Sonde von dem Zeitpunkt, zu dem der Empfänger und der Sender ihre Funktion starten, bis zu dem Moment, wo der Empfänger und der Sender ihre Funktion beenden. Die Steuerung weist ein Programm zur automatischen Steuerung des gesamten Messungsprozesses auf.

**[0036]** Durch diese Erfindung wird das reflektierte Lichtsignal durch den Einsatz der Ausstromoptofaser erweitert; die minimale Dimensionierung der zu messenden Mikrovertiefung kann bis zu 0,01 mm betragen, wobei eine Begrenzung durch den optischen Faserkern gegeben ist, und der Abbildungsmaßstab kann bis zu 50:1 betragen, wenn ein Empfänger und ein Sender mit doppelter Ausstromoptofaserkopplung und beigefügter Längenmessvorrichtung verwendet wird.

**[0037]** Ein weiterer Vorteil der mit Einsatz einer CCD Kamera versehenen Messvorrichtung liegt in der Veränderungsmöglichkeit der Position des Lichtspots, wenn die doppelte Ausstromoptofaserkopplungseinheit in Kontakt mit der Wand einer Mikrovertiefung kommt, so dass die Erfindung zur Messung eines Objektes mit einer vertikalen oder abgeschrägten Wand eingesetzt werden kann.

**[0038]** Die Messvorrichtung kann unabhängig in anderen Einrichtungen eingesetzt werden, beispielsweise einer Koordinatenmessungsmaschine. Die Vorrichtung kann zusammen mit anderen Vorrichtungen zur Messung von Mikrovertiefungen und der Position von Mikrovertiefungen in einem speziellen Teil oder einer Komponente eingesetzt werden.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**[0039]** Fig. 1 zeigt die Konstruktion einer Messvorrichtung, basierend auf der Doppeloctofaserkopplung;

**[0040]** Fig. 2(a) zeigt ein Blockdiagramm eines Lasers, welcher in der Laserkopplungseinheit im Empfänger und Sender verwendet wird;

**[0041]** Fig. 2(b) zeigt ein Blockdiagramm einer LED, welcher in der Laserkopplungseinheit im Empfänger und Sender verwendet wird;

**[0042]** Fig. 3(a) zeigt ein Blockdiagramm einer CCD Kamera im Empfänger und Sender;

**[0043]** Fig. 3(b) zeigt ein Blockdiagramm einer CMOS Kamera im Empfänger und Sender;

**[0044]** Fig. 3(c) zeigt ein Blockdiagramm einer PSD Kamera im Empfänger und Sender;

**[0045]** Fig. 4(a) zeigt ein schematisches Diagramm eines linearen Gitters in der Längenmessvorrichtung;

**[0046]** Fig. 4(b) zeigt ein schematisches Diagramm eines Kapazitätssensors mit Makro- und Mikrokombination für unterschiedliche Bereiche;

**[0047]** Fig. 4(c) zeigt der schematisches Diagramm eines Induktionssensors mit Makro- und Mikrokombination für unterschiedliche Bereiche;

**[0048]** Fig. 5 zeigt eine profilierte oder abgeschrägte innere Wand einer Mikrovertiefung.

#### Bevorzugte Ausführungsform der Erfindung

**[0049]** Wie in Fig. 1–Fig. 4, dargestellt ist, besteht das Messgerät aus einem Laser (1), einem Strahlkollimator und einem Vergrößerer (2), einer optischer Faserkopplungslinse (3), einem Fixierungsblock (4), einer Einstromoptofaser (5), einem Koppler (6), einem Arbeitstisch (7), einem Reflektor (8), einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9), einem Polarisationslichtstrahlauflspalter (10), einem Doppelfrequenz-Interferometer (11), einem Computer (12), einer Ausstromoptofaser (13), und einer CCD-Kamera (14). Die Laserkopplungseinheit besteht aus einem Laser (1), einem Strahlkollimator und einem Vergrößerer (2), einer optischer Faserkopplungslinse (3), einem Fixierungsblock (4), worin der Laser (1), der Strahlkollimator und der Vergrößerer (2), die optische Faserkopplungslinse (3), und die Einstromoptofaser (5) koaxial sind. Die doppelte Optofaserkopplungseinheit besteht aus einem Ende der Einstromoptofaser (5) in der Form eines Orthogonalbogens, einem Koppler (6), und einer Ausstromoptofaser (13) in Form einer geraden Linie, worin die Enden der Einstromoptofaser und der Ausstromoptofaser auf einem Koppler (6) angeordnet sind, während die anderen Enden bündig sind. Der Koppler (6) wird sowohl als Lichtenergieumwandler als auch als Messempfänger verwendet, und ihre räumliche Position in der Mikrovertiefung kann über ein optoelektronisches Gerät bestimmt werden und das Signal kann von einer Datenerhebungs- und -Verarbeitungseinheit. verarbeitet werden. Die Datenerhebungs- und -Verarbeitungseinheit besteht aus einer Linse (14A) und einer CCD-Kamera (14), worin die Linse (14A), die CCD-Kamera (14), und die Ausstromoptofaser (13) koaxial sind.

**[0050]** Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8), einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9), einem Polarisationslichtstrahlauflspalter (10) und einen Doppelfrequenz-Interferometer (11) und worin

die  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9), der Polarisationslichtstrahlauflspalter (10) und das Doppelfrequenz-Interferometer (11) koaxial sind, der Reflektor (8) und das Messobjekt sind auf einem Arbeitstisch (7) befestigt und das Doppelfrequenz-Interferometer (11) ist mit einem Computer (12) verbunden. Wenn das Doppelfrequenz-Interferometer (11) das Startsignal von der Steuerung empfängt, wird diese die Position der Sonde als  $p_1$  aufnehmen und wenn diese das Stoppsignal von der Steuerungsvorrichtung empfängt, wird diese die Position der Sonde als  $p_2$  aufnehmen.

**[0051]** Der Computer (12) besteht aus einer Steuerungsvorrichtung (121) und einer Datenverarbeitungsvorrichtung (122) und während die Steuerungsvorrichtung (121) das Bild von der CCD Kamera (14) empfängt, wird das Messstart- und Stoppsignal an den Längenmessvorrichtung gesendet, abhängig von der Vollständigkeit des Bildes, und die Datenverarbeitungsvorrichtung (142) berechnet die Daten von der Längenmessvorrichtung.

**[0052]** Zwischen dem Reflektor (8) und der Koppung (9) ergibt sich in Messrichtung keine Relativbewegung. Der Lichtstrahl kommt aus einem Laser (1) wird durch einen Strahlkollimator und einen Vergrößerer (2) geführt, wird in einer optischen Koppungslinse (3) fokussiert, tritt in den Körper (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, tritt heraus durch Ausstromoptofaser (13) und wird dann mittels der CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgewandelt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) überführt und zur Erkennung der räumlichen Position des Kopplers (6) verarbeitet. Der Empfänger und der Sender senden ein Startsignal zu der Steuerung zur Steuerung des Betriebs der Längenmessvorrichtung, wenn der Koppler (6) in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung tritt. Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8), einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9), einem Polarisationslichtstrahlauflspalter (10) und einen Doppelfrequenz-Interferometer (11) und die Messungen, welche durch Längenmessvorrichtung aufgenommen werden, Daten werden direkt in den Computer (12) eingespeist.

**[0053]** In dieser Erfindung erkennt der Empfänger und der Sender die räumliche Position der Sonde in der Mikrovertiefung in Echtzeit und sendet ein Signal an die Steuerung, um den Betrieb der Längenmessvorrichtung zu starten oder zu beenden. Wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit einer Seite der Mikrovertiefung tritt, sendet der Empfänger und der Sender ein Signal zur Längenmessvorrichtung, zur Veranlassung des Betriebsstarts und zur Registrierung der Position der Sonde als  $p_1$ . Dann wird die Sonde zur anderen Seite der Mikrovertiefung geschoben, wobei die Verlagerung in Messrichtung durch die Messvorrichtung in Echtzeit aufgenommen wird und die Position innerhalb der Mikrovertiefung durch

den Empfänger und den Sender in Echtzeit ermittelt wird. Wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit der anderen Seite der Mikrovertiefung tritt, senden der Empfänger und Sender ein anderes Signal an die Längenmessvorrichtung zum Beenden des Vorgangs und zur Registrierung der Position der Sonde als  $p_2$ . Die Querschnittsdimension der Mikrovertiefung entspricht der Summe der Durchmesser der Sonde und der Sondenverlagerung, welche in der Mikrovertiefung durch die Längenmessvorrichtung aufgenommen wurde. Der Messprozess wird fortgeführt bis die Messung aller Abmessungen der Mikrovertiefung abgeschlossen wurde. Die Steuerung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Die Messschritte werden, entsprechend den oben angezeigten, wie folgt dargestellt, wenn der Durchmesser einer Mikro-Ausnehmung ermittelt wird, mit Ausnahme, dass ein Maximum  $\Delta_{\max}$  erlangt werden muss.

**[0054]** Die Sonde wird in den Durchmesser der Mikro-Ausnehmung eingeführt und der Empfänger und der Sender senden ein Startsignal an den Wänden zur Messvorrichtung aus, um den Start der Verarbeitung anzuzeigen und die Position der Sonde als  $p_1$  aufzunehmen, wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit einer Seite der Mikro-Ausnehmung steht. Dann veranlasst die Steuerung, dass die Sonde zur anderen Seite der Mikro-Ausnehmung in Messrichtung bewegt wird und der Empfänger und der Sender senden ein Stoppsignal an die Längenmessvorrichtung, um die Beendigung der Verarbeitung anzuzeigen und die Position der Sonde als  $p_{21}$  aufzuzeichnen, sobald die Sonde in eindeutigen Kontakt mit der Seite der Mikro-Ausnehmung steht, worin die relative Verschiebung zwischen der Sonde und der Mikro-Ausnehmung unter Anwendung der Formel  $\Delta_1 = |p_1 - p_{21}|$  errechnet wird. Wenn die Mikro-Ausnehmung in vertikaler Richtung zu der Messrichtung bewegt wird, wird die Ebene gemessen und die Sonde wird dann bewegt, um in einen eindeutigen Kontakt mit der Mikro-Ausnehmung zu gelangen. Der Empfänger und der Sender senden ein Stoppsignal an die Längenmessvorrichtung aus, um die Beendigung der Verarbeitung zu bewirken und der Registrierung der Position der Sonde als  $p_1$  zu bewirken, wobei die relative Verlagerung zwischen der Sonde und der Mikro-Ausnehmung unter Einsatz der Formel  $\Delta_2 = |p_1 - p_{22}|$  errechnet wird. Der Messprozess wird fortgeführt bis ein Maximum  $\Delta_{\max}$  erreicht ist und der Durchmesser der Mikro-Ausnehmung durch die Formel  $d = \Delta_{\max} + d_0$  errechnet wird.

**[0055]** Die Messung wird mit den gleichen Schritten wie o. g. durchgeführt, wenn die Weite einer Mikro-Rille gemessen werden soll, mit der Ausnahme, dass ein Minimum  $\Delta_{\min}$  erreicht werden muss, wie es im folgenden dargestellt wird.

**[0056]** Die Sonde wird in den Querschnitt der Mikro-Rille eingeführt und der Empfänger und der Sender senden ein Startsignal an den Wänden zur Messvorrichtung aus, um den Start der Verarbeitung anzuzeigen und die Position der Sonde als  $p_1$  aufzunehmen, wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit einer Seite der Mikro-Rille steht. Dann veranlasst die Steuerung, dass die Sonde auf die andere Seite der Mikro-Rille in Messrichtung bewegt wird und der Empfänger und der Sender senden ein Stoppsignal an die Längenmessvorrichtung, um die Beendigung der Verarbeitung anzuzeigen und die Position der Sonde als  $p_{21}$  aufzuzeichnen, wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit der Seite der Mikro-Rille steht und die relative Verschiebung zwischen der Sonde und der Mikro-Rille kann dann unter Anwendung der Formel  $\Delta_1 = |p_1 - p_{21}|$  errechnet werden. Wenn die Mikro-Rille in vertikaler Richtung zu der Messrichtung bewegt wird, wird die Ebene gemessen, worin die Sonde dann bewegt wird, um in eindeutigen Kontakt mit der Mikro-Rille zu gelangen. Der Empfänger und der Sender senden ein Stoppsignal an die Längenmessvorrichtung aus, um die Beendigung der Verarbeitung zu bewirken und die Registrierung der Position der Sonde als  $p_1$  zu bewirken, worin die relative Verlagerung zwischen der Sonde und der Mikro-Rille unter Einsatz der Formel  $\Delta_2 = |p_1 - p_{22}|$  errechnet wird. Der Messprozess wird fortgeführt bis ein Minimum  $\Delta_{\min}$  erreicht ist, worin der Durchmesser der Mikro-Rille durch die Formel  $L = \Delta_{\min} + d_0$  errechnet wird.

**[0057]** Die Messschritte entsprechen den oben aufgeführten Messschritten, wobei die Rundheit einer Mikro-Ausnehmung gemessen wird, mit Ausnahme, dass die Koordinatenposition und eine Schätzungsmethode, gemäß der unten stehenden Beschreibung ausgewählt werden, Anpassung der Position der Mikro-Ausnehmung mit Bezug auf den Arbeitstisch, zum Erreichen einer zulässigen Exzentrizität zwischen dem Zentrum der Mikro-Ausnehmung und dem Drehzentrum des Arbeitstisches, dann Anpassen der Position der Mikro-Ausnehmung mit Bezug auf die Sonde, zur Einrichtung der Sonde in dem ersten Durchmesser in der Mikro-Ausnehmung und dann Aufnahme der Position in der Mikro-Ausnehmung vor der Drehung  $r_{p0}$  und Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{00}$ . Dann Überprüfung, ob die Sonde in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Vertiefung steht. Registrierung der Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{01}$ , wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikro-Ausnehmung steht. Dann bewegt die Steuerung die Sonde von der Wand der Mikro-Ausnehmung weg, wobei die Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{10}$  aufgenommen wird, wobei der Arbeitstisch um den Drehwinkel  $r_{p1}$  gedreht wird. Nachdem die Sonde im eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikro-Ausnehmung steht, wird die Position der Ausstromoptofaser-Endoberfläche der Sonde als  $p_{11}$  aufgenommen. Die

oben genannten Schritte werden solange wiederholt, bis die Messung des gesamten Umfangs durchgeführt wurde. Dann wird ein Schätzverfahren, wie beispielsweise LSE, MCE eingesetzt, um die Rundheit der Mikro-Ausnehmung zu messen.

**[0058]** Zur Messung der Zylindereigenschaft einer Mikro-Ausnehmung werden die o. g. Messschritte durchgeführt. Nach der Durchführung der Messung eines Abschnitts wird zeitgleich die vertikale Position des Abschnitts aufgezeichnet. Wenn die Messung aller Querschnitte abgeschlossen ist, wird eine Schätzmethode durchgeführt, um die Zylindereigenschaft der Mikro-Ausnehmung abzuschätzen.

**[0059]** Zur Bestimmung der Messung an individuellen Orten werden die Messschritte wie oben genannt durchgeführt, um die relative Position eines einzelnen Teils eines Objekts zu ermitteln. Nach der Durchführung der Messung an dem Objekt wird die Beziehung zwischen den verschiedenen Messungen zeitgleich aufgezeichnet. Wenn alle Messungen abgeschlossen sind, wird die Software die Informationen zusammenführen und das Ergebnis präsentieren.

**[0060]** Der Durchmesser eines Drehkörpers kann durch eine der drei anderen Messverfahren gemessen werden, welche in der Software dieser Erfindung vorgesehen sind, wobei eines der folgenden, geeigneten Messverfahren ausgewählt wird:

- 1) die Koordinatenposition von willkürlich ausgewählten drei Punkten des Rotationskörpers kann gemessen werden;
- 2) die Länge von zwei parallelen Sehnen und die Distanz dazwischen kann gemessen werden;
- 3) geeignet ausgewählte Koordinatenpunkte des Rotationskörpers können gemessen werden.

**[0061]** Die Dimensionen und Positionen einer Mikrovertiefung können durch die oben genannten Schritte gemessen werden, wenn die Messvorrichtung unabhängig von einer anderen Messvorrichtung verwendet wird, wie zum Beispiel eine Koordinatenmessvorrichtung. Die Messungen der Mikrovertiefung werden dann durch andere Messvorrichtungen ausgelesen.

**[0062]** Diese Erfindung kann in der 1. Weise ausgeführt werden:

Die Konstruktion der Messvorrichtung ist in **Fig. 1** dargestellt. Der Lichtstrahl kommt aus dem Laser (1), wird zu einem Strahlenkollimator und einem Vergrößerer (2) zugeführt, wird durch eine optische Kuppelungslinse (3) fokussiert, tritt in die Kopplung (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, Kommt durch die Ausstromoptofaser (13) und wird dann durch die CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgeformt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) eingespeist und bearbeitet, um die räumliche Position der Sonde zu ermitteln. Wenn sich die Sonde in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung befindet, sendet der Empfänger und der Sender ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9), einem Polarisationslichtstrahlauflöser (10) und einen Doppelfrequenz-Interferometer (11). Die Messungen werden durch die Längenmessvorrichtung direkt in einen Computer (12) übertragen, wo die Daten verarbeitet werden. Die Steuerung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Die Lichtquelle des Doppeloportofaserkopplungssystems ist ein Laser (1).

fung befindet, sendet der Empfänger und der Sender ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9), einem Polarisationslichtstrahlauflöser (10) und einen Doppelfrequenz-Interferometer (11). Die Messungen werden durch die Längenmessvorrichtung direkt in einen Computer (12) übertragen, wo die Daten verarbeitet werden. Die Steuerung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Die Lichtquelle des Doppeloportofaserkopplungssystems ist ein Laser (1).

**[0063]** Die Erfindung kann in einer 2. Weise realisiert werden.

Die Konstruktion der Messvorrichtung ist in **Fig. 1** dargestellt. Der Lichtstrahl kommt aus dem Laser (1) wird zu einem Strahlenkollimator und einem Vergrößerer (2) zugeführt, wird durch eine optische Kuppelungslinse (3) fokussiert, tritt in die Kopplung (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, kommt durch die Ausstromoptofaser (13) und wird dann durch die CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgeformt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) eingespeist und bearbeitet, um die räumliche Position der Sonde zu ermitteln. Wenn die Sonde sich in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung befindet, sendet der Empfänger und der Sender ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9) einem Polarisationslichtstrahlauflöser (10) und einen Doppelfrequenz-Interferometer (11). Die Messungen werden durch die Längenmessvorrichtung direkt in einen Computer (12) übertragen, wo die Daten verarbeitet werden. Die Steuerung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Als Lichtquelle des Doppeloportofaserkopplungssystems kann anstelle des Lasers (1) eine LED (15) verwendet werden.

**[0064]** Die Erfindung kann in einer 3. Weise realisiert werden:

Die Konstruktion der Messvorrichtung ist in **Fig. 1** dargestellt. Der Lichtstrahl kommt aus dem Laser (1) wird zu einem Strahlenkollimator und einem Vergrößerer (2) zugeführt, wird durch eine optische Kuppelungslinse (3) fokussiert, tritt in die Kopplung (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, kommt durch die Ausstromoptofaser (13) und wird dann durch die CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgeformt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) eingespeist und bearbeitet, um die räumliche Position der Sonde zu ermitteln. Wenn die Sonde sich in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung befindet, sendet der Empfänger und der Sender ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9), einem Polarisationslichtstrahlauflöser (10) und einen Doppelfrequenz-Interferometer (11). Die Messungen werden durch die Längenmessvorrichtung direkt in einen Computer (12) übertragen, wo die Daten verarbeitet werden. Die Steuerung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Die Lichtquelle des Doppeloportofaserkopplungssystems ist ein Laser (1).

tung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9) einem Polarisationslichtstrahl-aufspalter (10) und einen Doppelfrequenz-Interferometer (11). Die Messungen werden durch die Längenmessvorrichtung direkt in einen Computer (12) übertragen, wo die Daten verarbeitet werden. die Steuerung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Die photokonduktive Einheit des Doppeloptofaserkopplungssystems ist eine CCD Kamera (17).

**[0065]** Die Vorrichtungen in einer 4. Weise realisiert werden:

Die Konstruktion der Messvorrichtung ist in **Fig. 1** dargestellt. Der Lichtstrahl kommt aus dem Laser (1), wird zu einem Strahlenkollimator und einem Vergrößerer (2) zugeführt, wird durch eine optische Kopp-lungslinse (3) fokussiert, tritt in die Kopplung (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, kommt durch die Aus-stromoptofaser (13) und wird dann durch die CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgeformt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) eingespeist und bearbeitet, um die räumliche Positi-on der Sonde zu ermitteln. Wenn die Sonde sich in eindeutigem Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung befindet, sendet der Empfänger und der Sen-der ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrich-tung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9) einem Polarisationslichtstrahl-aufspalter (10) und einen Doppelfrequenz-Interfero-meter (11). Die Messungen werden durch die Längen-messvorrichtung direkt in einen Computer (12) übertragen, wo die Daten verarbeitet werden. die Steuerung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Die photo-konduktive Einheit des Doppeloptofaserkopplungs-systems ist eine CMOS Kamera (18).

**[0066]** Die Erfindung kann in einer 5. Weise durch-geführt werden:

Die Konstruktion der Messvorrichtung ist in **Fig. 1** dargestellt. Der Lichtstrahl kommt aus dem Laser (1), wird zu einem Strahlenkollimator und einem Vergrößerer (2) zugeführt, wird durch eine optische Kopp-lungslinse (3) fokussiert, tritt in die Kopplung (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, kommt durch die Aus-stromoptofaser (13) und wird dann durch die CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgeformt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) eingespeist und bearbeitet, um die räumliche Positi-on der Sonde zu ermitteln. Wenn die Sonde sich in eindeutigem Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung befindet, sendet der Empfänger und der Sender ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9) einem Polarisationslichtstrahl-aufspalter (10) und einen Doppelfrequenz-Interferome-ter (11). Die Messungen werden durch die Längen-

messvorrichtung direkt in einen Computer (12) über-tragen, wo die Daten verarbeitet werden. die Steue-rung weist ein Programm zum automatischen Steu-ern des gesamten Messprozesses auf. Die Photo-konduktivität des Doppeloptofaserkopplungssystem ist ein PSD Sensor (19).

**[0067]** Die Erfindung kann in einer 6. Weise durch-geführt werden:

Die Konstruktion der Messvorrichtung ist in **Fig. 1** dargestellt. Der Lichtstrahl kommt aus dem Laser (1), wird zu einem Strahlenkollimator und einem Vergrößerer (2) zugeführt, wird durch eine optische Kopp-lungslinse (3) fokussiert, tritt in die Kopplung (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, kommt durch die Aus-stromoptofaser (13) und wird dann durch die CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgeformt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) eingespeist und bearbeitet, um die räumliche Positi-on der Sonde zu ermitteln. Wenn die Sonde sich in eindeutigem Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung befindet, sendet der Empfänger und der Sender ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrich-tung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9) einem Polarisationslichtstrahl-aufspalter (10) und einen Doppelfrequenz-Interfero-meter (11). Die Messungen werden durch die Längen-messvorrichtung direkt in einen Computer (12) über-tragen, wo die Daten verarbeitet werden. die Steue-rung weist ein Programm zum automatischen Steu-ern des gesamten Messprozesses auf. Das lineare Gitter in der Längenmessvorrichtung ist dargestellt in **Fig. 4(a)** und eine relative Bewegung zwischen den beweglichen Gitter (20) und der Sonde möglich ist aus diesem Grunde möglich.

**[0068]** Die Erfindung kann in einer 7. Weise durch-geführt werden:

Die Konstruktion der Messvorrichtung ist in **Fig. 1** dargestellt. Der Lichtstrahl kommt aus dem Laser (1), wird zu einem Strahlenkollimator und einem Vergrößerer (2) zugeführt, wird durch eine optische Kopp-lungslinse (3) fokussiert, tritt in die Kopplung (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, kommt durch die Aus-stromoptofaser (13) und wird dann durch die CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgeformt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) eingespeist und bearbeitet, um die räumliche Positi-on der Sonde zu ermitteln. Wenn die Sonde sich in eindeutigem Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung befindet, sendet der Empfänger und der Sender ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9) einem Polarisationslichtstrahl-aufspalter (10) und einen Doppelfrequenz-Interferome-ter (11). Die Messungen werden durch die Längen-messvorrichtung direkt in einen Computer (12) über-tragen, wo die Daten verarbeitet werden. die Steue-



nung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Die Längenmessvorrichtung mit einem Kapazitätssensor mit Makro und Mikropositionskombination für unterschiedliche Bereiche ist in **Fig. 4(b)** dargestellt. Der bewegliche Block des Kapazitätssensors, auf welchem der Fixierungsblock (22) und die Polarisierungsplatte (23) befestigt sind, und der unbewegliche Block für den Kapazitätssensor, auf dem der Fixierungsblock (25) und die Polarplatte (24) befestigt sind, sind beide auf dem Messblock (26) für einen großen Messbereich positioniert und aus diesem Grunde gibt es eine relativ Bewegung zwischen den beweglichen und dem unbeweglichen Blocks.

**[0069]** Die Erfindung kann in einer 8. Weise durchgeführt werden:

Die Konstruktion der Messvorrichtung ist in **Fig. 1** dargestellt. Der Lichtstrahl kommt aus dem Laser (1), wird zu einem Strahlenkollimator und einem Vergrößerer (2) zugeführt, wird durch eine optische Kopplungslinse (3) fokussiert, tritt in die Kopplung (6) durch die Einstromoptofaser (5) ein, kommt durch die Ausstromoptofaser (13) und wird dann durch die CCD Kamera (14) in ein elektronisches Signal umgeformt. Das elektronische Signal wird in einen Computer (12) eingespeist und bearbeitet, um die räumliche Position der Sonde zu ermitteln. Wenn die Sonde sich in eindeutigen Kontakt mit der Wand der Mikrovertiefung befindet, sendet der Empfänger und der Sender ein Startsignal, wodurch die Steuerung die Arbeit der Messvorrichtung startet. Die Längenmessvorrichtung besteht aus einem Reflektor (8) einer  $\lambda/4$  Wellenlängenscheibe (9) einem Polarisationslichtstrahlauflöser (10) und einem Doppelfrequenz-Interferometer (11). Die Messungen werden durch die Längenmessvorrichtung direkt in einen Computer (12) übertragen, wo die Daten verarbeitet werden. Die Steuerung weist ein Programm zum automatischen Steuern des gesamten Messprozesses auf. Die Längenmessvorrichtung mit einem Induktionssensor mit Makro- und Mikropositionskombination für unterschiedliche Bereiche ist in **Fig. 4(c)** dargestellt. Der bewegliche Block des Induktionssensors, auf welchem der Fixierungsblock (22) und die Polarplatte (23) befestigt sind, und der unbewegliche Block für den Kapazitätssensor auf dem der Fixierungsblock (25) und die Polarplatte (24) befestigt sind, sind beide auf dem Messblock (26) für einen großen Messbereich positioniert und aus diesem Grunde gibt es eine relativ Bewegung zwischen den beweglichen und dem unbeweglichen Blocks. Der Induktionssensor mit Makro- und Mikro-Positionskombination für unterschiedliche Bereiche ist in **Fig. 4(c)** dargestellt, worin der Installations- (28) und der Eichmasskopf (27) des Induktionssensors auf den Fixierungsobjekten (29) befestigt ist und das Fixierungsobjekt (29) in dem Messungsbereich (30) für eine Großbereichsmessung positioniert ist.

**[0070]** Die Lichtquelle des Lasers kann durch eine LED oder andere Energie konzentrierende Beleuchtungskörper ersetzt werden, welche von der Form des Objekts und von der erforderlichen Messungsgenauigkeit geeignet sind.

**[0071]** Im Falle einer Vergrößerung eines Kollimators können sich selbstfokussierende Linsenkoppler oder jede andere Vorrichtung eine Vergrößerung und eine Kollimation ausführen, wie sie erforderlich ist und ersetzt werden. Die CCD Kamera kann durch eine CMOS Kamera oder einen PSD Positionssensor oder eine andere Optoelektronikvorrichtung ersetzt werden, die der Datensammlung und -verarbeitung dient. Das Doppelfrequenz-Interferometer in der Längenmessvorrichtung kann durch ein lineares Gitter, ein magnetisches Gitter, eine Kapazitätsgitter, einen Kapazitätssensor mit Makro-Mikro Kombination für verschiedene Messungsbereiche, eine Induktionssensor mit Makro-Mikro Kombination für verschiedene Messungsbereich und andere Längenmessvorrichtung ersetzt werden.

**[0072]** Die luftgelagerte Linearführung dieser Erfindung kann durch ein Reibrad, eine Präzisionsstellschraube oder anderer linear bewegliche Präzisionseinheiten ersetzt werden.

**[0073]** Der luftgelagerte Arbeitstisch, der zur Rotation vorgesehen ist, kann durch einen anderen Arbeitstisch, wie zum Beispiel einem Präzisionskugellager-Arbeitstisch oder andere Präzisionsarbeits-tische ersetzt werden.

**[0074]** Zusätzlich kann die Geometrie einer Mikrovertiefung konische Oberflächen aufweisen, wie es in **Fig. 5** dargestellt ist, welche durch die Messvorrichtung und die Messmethode ebenfalls ausgewertet werden können, durch die gleichen Schritte, wie auch für vertikal bewandete Mikrovertiefungen vorgesehen ist.

## Patentansprüche

1. Messvorrichtung für Mikro-Ausnehmungen basierend auf einer Doppeloptofaserkopplung, welche einen Empfänger und einen Sender, eine Steuerung und eine Längenmessvorrichtung (8–11) aufweist, wobei die Messvorrichtung für Mikro-Ausnehmungen geringe Positionswechsel eines Objektes vom Messbeginn bis zum Messende des Senders und Empfängers erfasst, und der Sender und Empfänger ausgestattet ist mit einer Laserkopplungseinheit (1–3), einer Datenerhebungs- und -Verarbeitungseinheit (12, 12A, 14) und einer Doppeloptofaserverbindungseinheit (5, 6, 13) mit Einstrom- (5) und Ausstromoptofasern (13), deren eine Enden an einem Koppler (6) befestigt sind, wobei der Koppler (6) sowohl als Lichtenergieumwandler als auch als Messempfänger verwendet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ei-

nen Enden der Einstromoptofaser (5) und der Ausstromoptofaser (13) am Koppler (6) parallel zueinander sind und die Einstromoptofaser (5) in Form eines Orthogonalbogens und die Ausstromoptofaser (13) in Form einer geraden Linie ausgebildet sind.

2. Messvorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die anderen Enden der Einstromoptofaser (5) und der Ausstromoptofaser (13) koplanar zueinander sind.

3. Messvorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Längenmessvorrichtung einen Kapazitätssensor mit Makro- und Mikrokombination für unterschiedliche Bereiche aufweist.

4. Messvorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Längenmessvorrichtung einen Induktionssensor mit Makro und Mikrokombination für unterschiedliche Bereiche aufweist.

5. Messvorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laserkopplungseinheit aus einem Laser (1), einem Strahlkollimator und einem Vergrößerer (2), einer optischen Faserkopplungslinse (3), und einem Fixierungsblock (4) besteht, worin der Laser (1), der Strahlkollimator und der Vergrößerer (2), die optische Faserkopplungslinse (3) und das andere Ende der Einstromoptofaser (5) koaxial sind und die Datenerhebungs- und -Verarbeitungseinheit aus einer Linse (14A) und einer CCD-Kamera (14) besteht, wobei diese beiden Komponenten koaxial zu dem anderen Ende der Ausstromoptofaser (13) angeordnet sind, und bei Empfang eines Bildes von der CCD Kamera (14) die Steuerung ein Start- oder Stoppsignal an das Doppelfrequenz-Interferometer (11) sendet, wobei die Daten von einem Doppelfrequenz-Interferometer (11) dann in der Datenverarbeitungseinheit verarbeitet werden, und wobei die Längenmessvorrichtung (8–11) aus einem Reflektor (8), einer  $\lambda/4$ -Wellenlängenscheibe (9), einem Polarisationslichtstrahlaufspalter (10) und dem Doppelfrequenz-Interferometer (11) besteht, worin alle diese Komponenten zueinander koaxial sind und auf dem Arbeitstisch (7) angeordnet sind und das Doppelfrequenz-Interferometer (11) mit einem Computer (12) verbunden ist, und wenn das Doppelfrequenz-Interferometer (11) das Startsignal von der Steuerung empfängt, dieses die Position der Sonde als  $p_1$  aufnimmt und wenn diese das Stoppsignal von der Steuerungsvorrichtung empfängt dieses die Position der Sonde als  $p_2$  aufnimmt.

6. Messvorrichtung gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laser (1) durch eine LED (16) ersetzt ist.

7. Messvorrichtung gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die die CCD-Kamera (14) in

der Datenerhebungs- und -verarbeitungseinheit durch einen PSD Sensor (19) ersetzt ist.

8. Messverfahren für Mikro-Ausnehmungen basierend auf einer Doppeloptofaserkopplung mit einer Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1–7, welches aus den folgenden Schritten besteht:

Schritt 1. Die Sonde wird in die Mikrovertiefung eingeführt und zu einer Seite der Mikrovertiefung in die Messrichtung bewegt;

Schritt 2. Die Positionierung der Sonde wird im Hinblick auf den eindeutigen Kontakt mit einer Seite der Mikrovertiefung überprüft, wobei wiederum der Messprozess bei Schritt 1 startet, wenn die Sonde nicht in eindeutigen Kontakt mit einer Seite der Vertiefung steht;

Schritt 3. Wenn die Sonde in eindeutigem Kontakt mit einer Seite der Mikrovertiefung steht, sendet der Empfänger und der Sender ein Signal zur Längenmessvorrichtung, um diese zu veranlassen, dass die Position der Sonde als  $p_1$  aufgezeichnet wird;

Schritt 4. Die Steuerung verursacht die Bewegung der Sonde in eine Richtung, entgegengesetzt zur Messrichtung;

Schritt 5. Die Sonde wird dahingehend überprüft, ob sie in eindeutigem Kontakt mit der anderen Seite der Mikrovertiefung in entgegen gesetzter Richtung steht, wobei der Messprozess wieder bei Schritt 4 startet, wenn die Sonde nicht in eindeutigem Kontakt mit der anderen Seite der Mikrovertiefung steht;

Schritt 6. Wenn die Sonde in eindeutigem Kontakt mit der anderen Seite der Mikrovertiefung steht, sendet der Empfänger und der Sender ein Signal zur Längenmessvorrichtung, um zu Erzielen, dass die Position der Sonde als  $p_2$  aufgenommen wird;

Schritt 7. Die Abmessungen der Mikrovertiefung können durch die Formel  $L = |p_1 - p_2| + d_0$  berechnet werden, worin  $d_0$  der Durchmesser der Sonde ist.

9. Messverfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Vermessung einer Mikro-Ausnehmung der Messprozess fortgeführt wird bis ein Maximum  $\Delta p_{\max} = |p_1 - p_2|$  erreicht ist und der Durchmesser der Mikro-Ausnehmung durch die Formel  $d = \Delta p_{\max} + d_0$  errechnet wird.

10. Messverfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Maximum  $\Delta p_{\max}$  durch die folgenden Schritte erreicht wird:

1) die Sonde wird in den Querschnitt der Mikro-Ausnehmung eingeführt und der Empfänger und der Sender senden ein Startsignal bei Kontakt mit den Wänden an die Messvorrichtung aus, um den Start der Verarbeitung anzuzeigen und die Position der Sonde als  $p_1$  aufzunehmen, wenn die Sonde in eindeutigem Kontakt mit einer Seite der Mikro-Ausnehmung steht;

2) die Steuerung veranlasst, dass die Sonde zu der anderen Seite der Mikro-Ausnehmung in Messrichtung bewegt wird, und der Empfänger und der Sender senden ein Stoppsignal an die Längenmessvor-

richtung, um die Beendigung der Verarbeitung anzuzeigen und die Position der Sonde als  $p_{21}$  aufzuzeichnen, wenn die Sonde in eindeutigen Kontakt mit der Seite der Mikro-Ausnehmung steht;

3) die relative Verschiebung zwischen der Sonde und der Mikro-Ausnehmung wird dann unter Anwendung der Formel  $\Delta p_1 = |p_1 - p_{21}|$  errechnet;

4) die Mikro-Ausnehmung wird in vertikaler Richtung zu der Messrichtung in der Messebene bewegt,

5) die Sonde wird bewegt, um in eindeutigen Kontakt mit der Mikro-Ausnehmung zu gelangen, und der Empfänger und der Sender senden ein Stoppsignal an die Längenmessvorrichtung aus, um die Beendigung der Verarbeitung bewirken, wobei eine Registrierung der Position der Sonde als  $p_{22}$  erfolgt;

6) die relative Verschiebung zwischen der Sonde und der Mikro-Ausnehmung kann unter Einsatz der Formel  $\Delta p_2 = |p_1 - p_{22}|$  errechnet werden.

7) der Messprozess wird fortgeführt bis ein Maximum  $\Delta p_{\max}$  erreicht ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

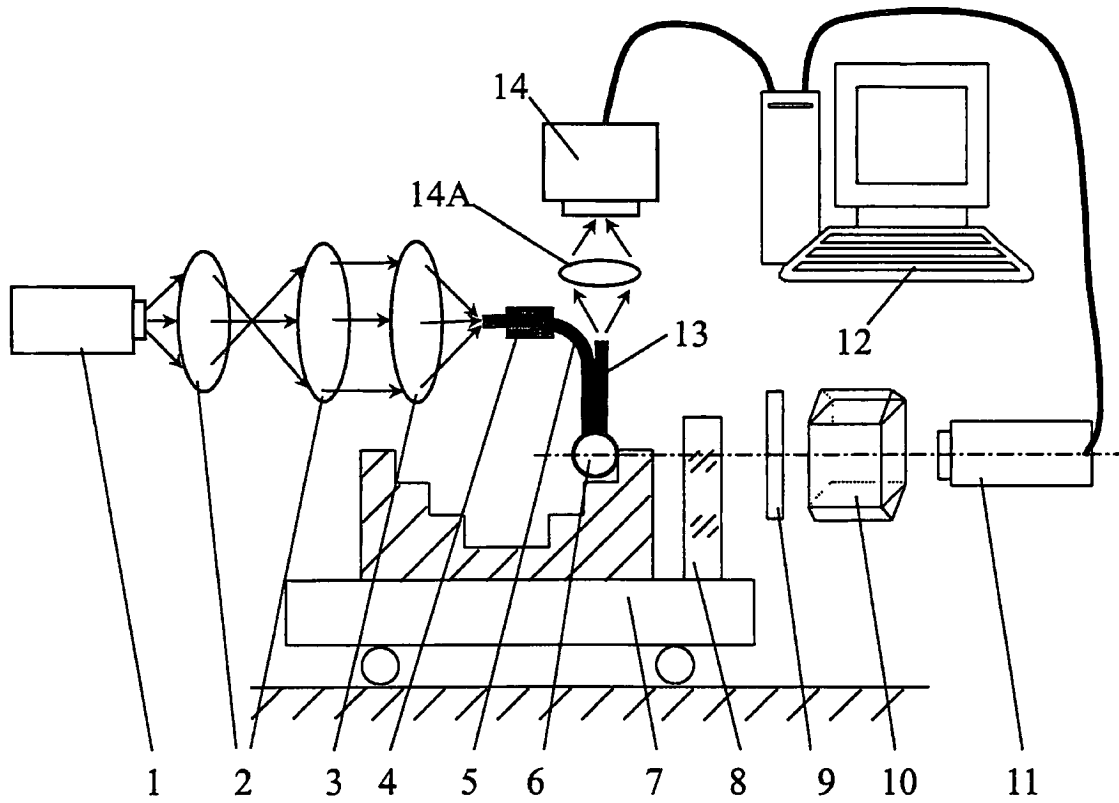


Fig.1

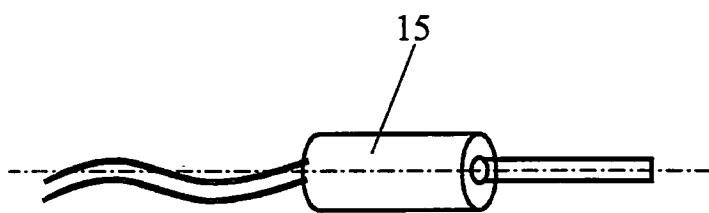


Fig. 2(a)

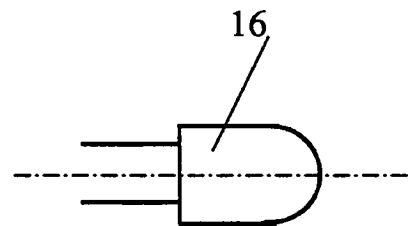


Fig.2(b)

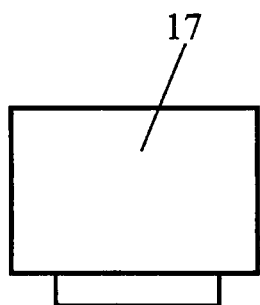


Fig. 3(a)

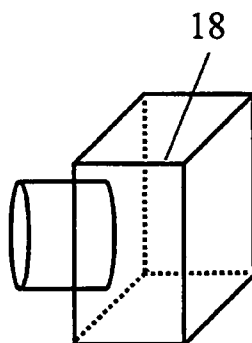


Fig. 3(b)

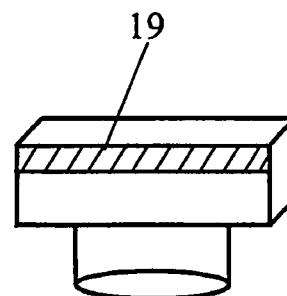


Fig. 3(c)

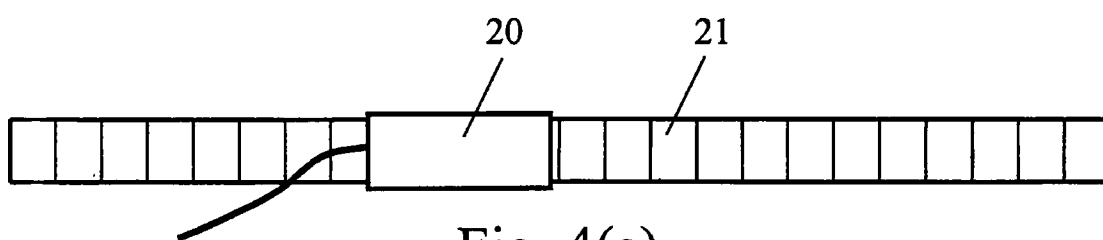


Fig. 4(a)

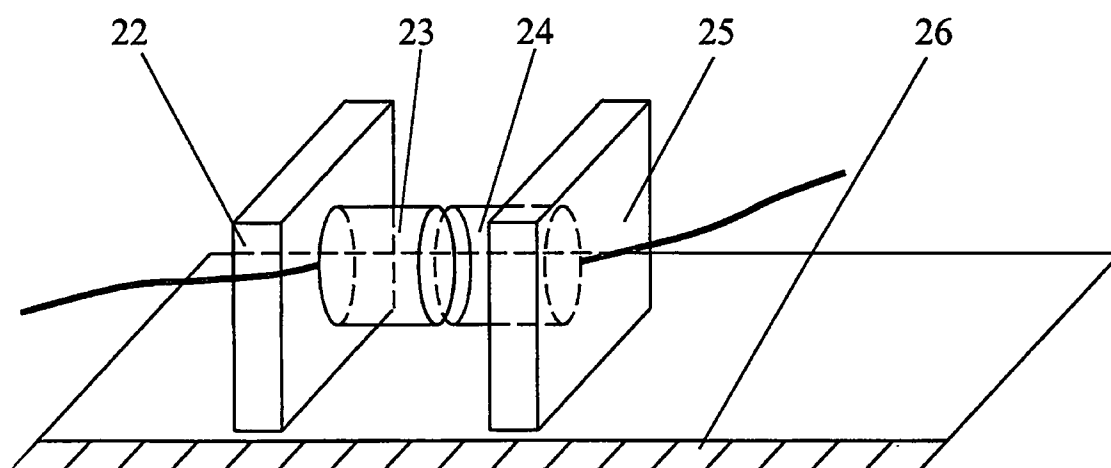


Fig. 4(b)

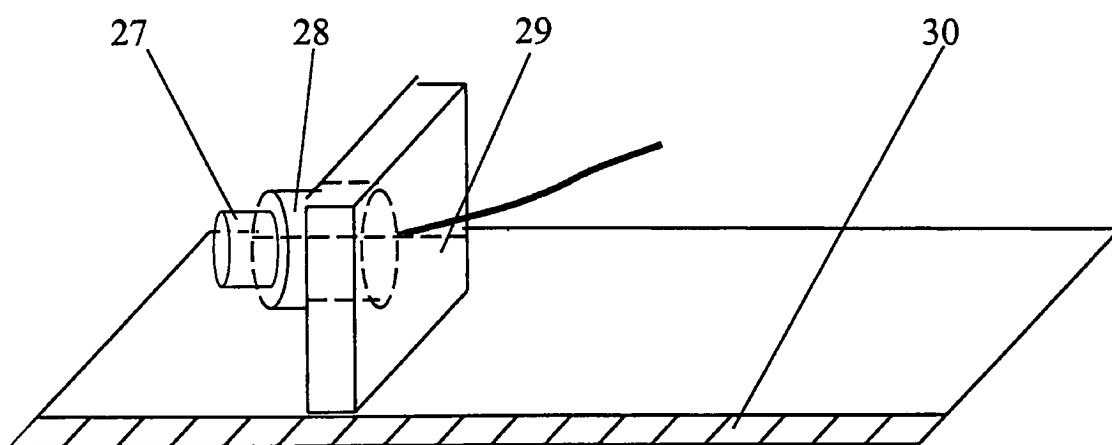


Fig. 4(c)

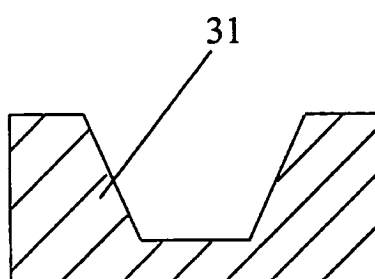


Fig. 5