

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 727/2008

(22) Anmeldetag: 06.05.2008

(45) Veröffentlicht am: 15.09.2010

(51) Int. Cl.⁸: **G01F 23/292**

(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:

JP 2002250341A

US 2005285060A1

JP 2001090733A

US 2005058374A1

(73) Patentinhaber:

MINEBEA CO., LTD.

4106-73 OAZA-MIYOTA (JP)

(72) Erfinder:

BAUER MARTIN DR.

VILLINGEN-SCHWENNINGEN (DE)

POPOV VLADIMIR V. DR.

VILLINGEN-SCHWENNINGEN (DE)

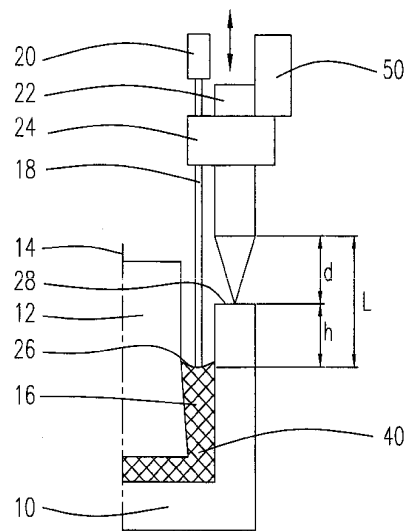
LÖHR MARKUS

BRIGACHTAL (DE)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG DES FÜLLSTANDES EINER FLÜSSIGKEIT IN EINEM HOHLRAUM MIT SUB-MM BREITER ÖFFNUNG**

(57) Die Erfindung beschreibt ein Verfahren und eine Einrichtung zur optischen Erfassung des Füllstandes einer Flüssigkeit in einem Hohlraum (16; 116; 216; 416) mit sub-mm breiter Öffnung mit Hilfe eines optischen Messverfahrens, umfassend die Schritte, Anordnen eines Licht leitenden und/oder reflektiven oder refraktiven als Glasfaser ausgebildeten optischen Elements (18; 118; 218) in oder an der Öffnung des Hohlraums (16; 116; 216; 416) und Einspeisen eines optischen Signals (32; 132; 232; 432) derart, dass es durch die Flüssigkeit beeinflusst wird, wodurch ein Anteil (34; 134; 234; 434) des optischen Signals über das optische Element zu einer optischen Senke (20; 48; 248; 448) zurückgeleitet wird, wobei vorgesehen ist, dass ein berührungsloses chromatisches Messverfahren eingesetzt wird, und dass das eingespeiste optische Signal (132; 232) vom optischen Element mittels eines zusätzlichen Elements zur Umlenkung des optischen Signals auf die Flüssigkeitsoberfläche (126; 226) projiziert wird.

Fig. 1



Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG DES FÜLLSTANDES EINER FLÜSSIGKEIT IN EINEM HOHLRAUM MIT SUB-MM BREITER ÖFFNUNG

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des Füllstandes einer Flüssigkeit in einem Hohlraum mit sub-mm breiter Öffnung. Allgemein betrifft die Erfindung das Gebiet der optischen Entfernungsmesstechnik.

BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0002] Bei einem hydrodynamischen Fluidlager, wie es z. B. in Spindelmotoren eingesetzt wird, muss der Lagerspalt und evtl. ein Dichtungsspalt, nachfolgend allgemein als Spalt bezeichnet, vor dem ersten Betrieb mit einer Schmierflüssigkeit, wie z.B. Öl, gefüllt werden. Dabei ist der Füllstand des Schmiermittels im Spalt kritisch und bestimmt unter anderem die Lebensdauer des Lagers. Der Spalt sowie auch die Öffnung zur Befüllung sowie zur Messung des Füllstandes des Schmiermittels im Spalt sind sehr klein und liegen im sub-mm Bereich.

[0003] In einer bevorzugten Ausgestaltung eines solchen Lagers weist die Lagerbuchse an ihrer einen Stirnseite einen sich verjüngenden Bereich z.B. in Gestalt einer konischen oder zylindrischen Ansenkung auf, während die entgegengesetzte Stirnseite luftdicht verschlossen ist. Durch die Ansenkung der Lagerbuchse entsteht zwischen der Buchseninnen- und der Wellenaußenfläche ein konzentrischer, sich in Richtung Stirnseite erweiternder Freiraum, der anteilig mit Lageröl gefüllt ist. Das Öl benetzt die Oberflächen von Buchse und Welle, wodurch sich an der Grenzfläche zur Luft ein sogenannter Meniskus mit konkaver Oberfläche ausbildet. Das im Freiraum befindliche Lageröl dient als Schmiermittelreservoir, aus dem abdampfendes Lageröl ersetzt wird. Der Freiraum zwischen Konusinnen- und Wellenaußenmantelfläche oberhalb des Meniskus dient als Ausgleichsvolumen, in welches das Lageröl aufsteigen kann, wenn dessen temperaturabhängiges Volumen mit steigender Temperatur zunimmt und dadurch der Flüssigkeitsspiegel ansteigt. Die in der Flüssigkeit des Schmiermittels wirksamen Kohäsionskräfte, unterstützt durch die Kapillarkräfte im Spalt verhindern, dass flüssiges Lageröl aus dem Lager austritt und in den Reinraumbereich eindringt.

[0004] Eine Messung des Füllstandes im Schmiermittelreservoir eines Fluidlagers ist schwierig und wird durch die Ausbildung eines Meniskus der Oberfläche des Fluids erschwert. Es sind daher spezielle Messverfahren notwendig, um den Füllstand messen zu können. Bekannte Verfahren sind beispielsweise strahlengeometrische Verfahren. Ein strahlengeometrisches Messverfahren beruht darauf, paralleles Licht auf eine Referenzoberfläche und die Oberfläche des Schmiermittels zu richten. Aus dem Abstand der Reflexionsmaxima lässt sich der Füllstand des Schmiermittels im Reservoir bestimmen. Dieses Messverfahren eignet sich jedoch nur für ausreichend große Hohlraumöffnungen. Bei einem Fluidlager mit sehr kleinen Lagerspalten versagt dieses Verfahren. Darüber hinaus erhält man keinen numerischen Abstandswert.

[0005] DE 103 50 716 B3 beschreibt ein Verfahren zur optischen Erfassung des Füllstandes einer Flüssigkeit mit Hilfe eines auf wellenlängenabhängiger, chromatischer Kodierung nach dem konfokalen Prinzip basierenden Messensors. Der Messsensor liefert als Ausgangssignal einen Abstandswert, der vom Abstand zu der als Meniskus ausgebildeten Flüssigkeitsoberfläche abhängt, und einen Intensitätswert, der sich mit der Intensität des von der Oberfläche empfangenen Lichtes ändert. Durch kombinierte Auswertung des erfassten Abstandsprofils und des Intensitätsprofils kann der Füllstand bestimmt werden. Auch dieses Verfahren hat seine Grenzen, sobald die Öffnung einen bestimmten Querschnitt unterschreitet, so dass der Anteil des reflektierten Lichts zu gering ist, um eine genaue Messung des Füllstandes zu ermöglichen.

[0006] Beide oben beschriebenen Messverfahren erfordern eine freie Sicht auf die Oberfläche der Flüssigkeit insbesondere den Apex des Oberflächenmeniskus.

[0007] Ein Verfahren zur optischen Fokussierung eines Laserstrahls, wie es beispielsweise in Leseeinrichtungen von herkömmlichen CD-/DVD-Abspielgeräten eingesetzt wird, ist beschrieben in einem Skript von Prof. Dr. rer. nat. habil. Horst Völz mit dem Titel: CD, DVD, MO usw.", unter <http://rosw.cs.tu-berlin.de/voelz/>.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0008] Die Aufgabe der Erfindung liegt darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des Füllstandes einer Flüssigkeit in einem Hohlraum mit einer sub-mm breiten Öffnung anzugeben, das auch bei kleinsten Abmessungen der Öffnung und keiner direkten Sicht auf die Oberfläche der Flüssigkeit eine genaue Füllstandsmessung erlaubt.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren und eine Vorrichtung mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0010] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0011] Die Erfindung beschreibt ein Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung zur optischen Erfassung des Füllstandes einer Flüssigkeit in einem Hohlraum mit sub-millimeterbreiter Öffnung mit Hilfe eines optischen Messverfahrens. Ein Licht leitendes und/oder reflektives oder refraktives optisches Element wird in oder an der Öffnung des Hohlraums angeordnet. Dann wird ein optisches Signal von einer optischen Quelle über das optische Element in den Hohlraum eingespeist, derart, dass es durch die Flüssigkeit beeinflusst und ein Anteil des optischen Signals über das optische Element zur Quelle zurückgeleitet wird. Der zurückgeleitete Anteil des optischen Signals wird in einer optischen Senke erfasst. Gleichzeitig wird die geometrische Position der optischen Quelle und/ oder des optischen Elements relativ zu einer Referenzposition erfasst. Die Bestimmung des Füllstandes der Flüssigkeit im Hohlraum erfolgt durch Auswertung des zurückgeleiteten Anteils des optischen Signals und der ermittelten Position der optischen Quelle/Senke und/oder des optischen Elements

[0012] Der Vorteil des Verfahrens gegenüber dem aus DE 103 50 716 B3 bekannten Verfahrens besteht darin, dass es auch bei Hohlräumen mit sehr kleinen Öffnungen durchführbar ist, wobei die Größe der Öffnung nur durch die Baugröße und/oder die entsprechende Positionierung des verwendeten optischen Elements begrenzt wird. Durch das optische Element kann relativ viel Licht in die Öffnung des Hohlraums und in den Bereich der Oberfläche der Flüssigkeit eingebracht werden, so dass der Anteil des zurückgeleiteten Lichts entsprechend groß ist, um eine genaue Auswertung sicher zu stellen. Zudem ist es nicht mehr notwendig, dass man eine direkte Sicht auf die Oberfläche der Flüssigkeit hat, denn durch Verwendung eines optischen Elements kann das Licht auch „um die Ecke“ in den Hohlraum geleitet und der Füllstand optisch bestimmt werden.

[0013] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein kontaktbehaftetes Messverfahren eingesetzt, bei dem als optisches Element eine Glasfaser verwendet wird, deren Ende in die Öffnung des Hohlraum eingebracht und in Kontakt mit der Flüssigkeit gebracht wird, deren Füllstand bestimmt werden soll. Die Glasfaser wird kontrolliert in die Öffnung des Hohlraums eingeführt bis das Ende der Glasfaser die Oberfläche der Flüssigkeit erreicht. An diesem Punkt erfolgt dann die Bestimmung des Füllstandes. Das Erreichen der Oberfläche der Flüssigkeit kann anhand einer Änderung des reflektierten Anteils des eingespeisten optischen Signals detektiert werden. Grund dafür ist eine abrupte Änderung des Brechungsindex des das Ende der Glasfaser umgebenden Mediums und damit eine abrupte Änderung des Reflexionsverhaltens innerhalb der Glasfaser.

[0014] In einer anderen bevorzugten Ausführung der Erfindung kann aber auch ein berührungsloses chromatisches Messverfahren - ähnlich dem Verfahren in DE 103 50 716 B3 - eingesetzt werden. In diesem Fall wird als optisches Element eine Glasfaser oder ein Spiegel verwendet. Das optische Signal wird von einem chromatischen Messsensor über die Glasfaser oder den Spiegel zur Oberfläche der Flüssigkeit geleitet und der reflektierte Anteil auf demselben Weg zurück zum chromatischen Messsensor, wobei das Ende der Glasfaser bzw. der Spiegel die

Oberfläche der Flüssigkeit nicht berührt. Das von einer Weißlichtquelle des Messsensors emittierte Licht wird wellenlängenabhängig auf verschiedene Brennpunkte fokussiert und von der Flüssigkeitsoberfläche reflektiert. Je nach Wellenlänge des reflektierten Lichtes, das im Messsensor spektral ausgewertet wird, kann der Abstand des optischen Elements zur Flüssigkeitsoberfläche und damit auch der Füllstand der Flüssigkeit ermittelt werden.

[0015] Bei beiden bevorzugten Ausführungsformen kann die Glasfaser oder der Spiegel mittels einer Vorschubeinrichtung in die Öffnung eingeführt werden, wobei die Position der Glasfaser oder des Spiegels anhand eines Verstellweges der Vorschubeinrichtung mechanisch erfasst werden kann. Die Position des optischen Elements kann jedoch auch mittels eines optischen Abstandsmessverfahrens ermittelt werden. Wird als optisches Element ein Spiegel verwendet, kann dieser auch fest im Bereich der Öffnung des Hohlraums angeordnet werden, z. B. durch Verspiegeln (Polieren) einer geeigneten Metalloberfläche.

[0016] Eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur optischen Erfassung des Füllstandes einer Flüssigkeit wird im Rahmen der Erfindung ebenfalls beschrieben.

[0017] Wird als optisches Element eine Glasfaser verwendet, kann das in die Öffnung eingebrachte Ende der Glasfaser entsprechend besonders präpariert sein, um die Genauigkeit der Messungen zu erhöhen. Im einfachsten Fall ist das Ende der Glasfaser abgeflacht, d.h. stumpf abgeschnitten. Eine solche Glasfaser ist sowohl für das berührende als auch das nicht berührende Messverfahren geeignet. Wird das berührende Messverfahren verwendet, kann ein Teil des Endes der Glasfaser vorzugsweise abisoliert und die Stirnfläche des abisolierten Teils der verspiegelt sein. Durch das Abisolieren und die Verspiegelung ergibt sich eine stärkere Änderung der Reflektion des eingespeisten Signals beim Eintauchen der Glasfaser in die Flüssigkeit, was die Messung erleichtert und die Messgenauigkeit erhöht. Auf die Stirnseite der Glasfaser kann auch ein 90°-Kegel-Prisma angeklebt sein, was ebenfalls einen größeren Intensitätsunterschied ergibt. Das Prisma kann auch direkt in die Glasfaser eingeschliffen werden. Für ein berührungsloses Messverfahren mittels Glasfaser kann es vorteilhaft sein, am Ende der Glasfaser verschiedenartige Linsen oder diffraktive Elemente anzuordnen, um den aus der Glasfaser austretenden Lichtstrahl entsprechend zu formen oder in eine gewünschte Richtung zu lenken.

[0018] Um eine Benetzung der Glasfaser mit der Flüssigkeit zu vermeiden, kann das Ende der Glasfaser mit einem flüssigkeitsabweisenden Barrierefilm umgeben sein.

[0019] Bei einem abgewandelten berührungslosen Messverfahren, das insbesondere bei schmalen Hohlräumen verwendet werden kann, wird ausgenutzt, dass sich in schmalen Hohlräumen aufgrund der Kapillarwirkung eine gekrümmte Flüssigkeitsoberfläche ergibt, die einen bestimmten Brennpunkt aufweist. Das optische Element wird nun derart im Hohlraum angeordnet, dass es im Brennpunkt der gekrümmten Flüssigkeitsoberfläche zu liegen kommt. Im Brennpunkt weist der zurückgeleitete Anteil des optischen Signals ein Maximum auf. Ist der Brennpunkt anhand des Maximums gefunden, wird der Füllstand an dieser Position durch Auswertung der Position des optischen Elements bzw. der Positioniereinrichtung ermittelt.

[0020] Gemäß einer anderen Ausgestaltung eines berührungslosen Messverfahrens wird der zurückgeleitete Anteil des optischen Signals mit Hilfe einer astigmatischen Linsenkombination und einer Positioniereinrichtung auf ein Photoempfänger-Array fokussiert. Die astigmatische Linsenkombination hat die Eigenschaft, dass sie nur im Fokuspunkt eine runde Strahlform des zurückgeleiteten Anteils des optischen Signals erzeugt, die vom Photoempfänger-Array erkannt wird. Der Füllstand der Flüssigkeit im Hohlraum kann dann durch Auswertung der Position der Positioniereinrichtung an diesem Punkt bestimmt werden.

[0021] Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung werden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Dabei ergeben sich weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN:

[0022] Figur 1 zeigt schematisch eine erste Ausgestaltung der Messvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

- [0023] Figur 2 zeigt eine vergrößerte Ansicht des Endes der Glasfaser vor und nach dem Eintauchen in die Flüssigkeit.
- [0024] Figur 3 zeigt eine vergrößerte Ansicht der Glasfaser mit abisoliertem Ende und Verspiegelung vor und nach dem Eintauchen in die Flüssigkeit.
- [0025] Figur 4 zeigt eine vergrößerte Ansicht der Glasfaser mit aufgesetztem Kegelprisma vor und nach dem Eintauchen in die Flüssigkeit.
- [0026] Figur 5 zeigt eine vergrößerte Ansicht der Glasfaser mit eingeschliffenem Kegelprisma.
- [0027] Figur 6 zeigt eine zweite Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.
- [0028] Figur 7 zeigt als Hohlraum den Spalt zwischen zwei Lagerbauteilen eines fluiddynamischen Lagers ohne direkte Einsicht auf die Oberfläche des Lagerfluids im Spalt.
- [0029] Figur 8 zeigt eine dritte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.
- [0030] Figur 9 zeigt eine weitere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.
- [0031] Figur 9a zeigt schematisch eine vergrößerte Ansicht des Endes der Glasfaser die in Figur 9 verwendet wird.
- [0032] Figur 10 zeigt eine weitere Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.
- [0033] Figur 11 zeigt ein abgewandeltes Messverfahren unter Verwendung einer Vorrichtung gemäß Figur 10.
- [0034] Figur 12 zeigt schematisch die geometrische Situation bei dem in Figur 13 dargestellten Messverfahren.
- [0035] Figur 13 zeigt schematisch eine weitere Ausgestaltung der Messvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELE DER ERFINDUNG:

[0036] Figur 1 zeigt schematisch einen Schnitt durch ein fluiddynamisches Lager, das aus einem ersten Lagerbauteil 10 und einem zweiten Lagerbauteil 12 besteht, welche um eine Drehachse 14 relativ zueinander drehbar gelagert sind. Die Lagerbauteile 10,12 sind durch einen Spalt 16 voneinander beabstandet, der mit einem Lagerfluid gefüllt ist. Da der Spalt an einem Ende offen ist, ist es wichtig, den Füllstand des Lagerfluids im Spalt 16 zu bestimmen. Ist der Füllstand zu hoch, kann Lagerfluid aus dem Spalt 16 austreten. Ist der Füllstand zu niedrig, kann die Funktion des Lagersystems beeinträchtigt werden.

[0037] Zur Bestimmung des Füllstandes des Lagerfluids wird eine entsprechende erfindungsgemäße Vorrichtung verwendet, die im Wesentlichen eine Glasfaser 18 umfasst, die in die Öffnung des Spalts 16 eingebracht wird. Die Glasfaser 18 ist an einer Positioniereinrichtung 50 angeordnet und kann parallel zur Drehachse 14 bewegt werden. An der Positioniereinrichtung 50 ist ferner eine Abstandsmesseinrichtung 22 angeordnet, mittels der ein Abstand der Positioniereinrichtung zu einer Referenzfläche 28 eines Lagerbauteils gemessen werden kann. Die Glasfaser 18 ist über eine Halterung 24 fest mit der Abstandsmesseinrichtung 22 verbunden, und zwar so, dass sie eine definierte Länge L über das Messende der Abstandsmesseinrichtung 22 hinaus ragt. Am gegenüberliegenden Ende der Glasfaser 18 ist eine optische Messeinrichtung 20 angeordnet, mittels der ein optisches Messsignal ausgesendet und ein vom Lagerfluid oder der Glasfaser reflektiertes Signal wieder empfangen werden kann.

[0038] Das erfindungsgemäße Messverfahren arbeitet folgendermaßen: Nachdem der Spalt 16 mit Lagerfluid befüllt wurde, wird die Glasfaser 18 mittels der Positioniereinrichtung 50 in die Öffnung des Lagerspalts 16 eingeführt und parallel zur Drehachse 14 langsam in den Spalt 16

hineingeschoben. Über die Messeinrichtung 20, wie es in Figur 2 dargestellt ist, wird gleichzeitig ein optisches Signal 32 in Form eines Lichtstrahls in die Glasfaser 18 eingespeist. Die Glasfaser 18 ist von einer Isolierung 30 umgeben, die einen höheren Brechungsindex aufweist, als das Material der Glasfaser selbst, so dass der eingespeiste Lichtstrahl 32 die Glasfaser fast verlustfrei durchläuft, indem er entsprechend an der Wandung der Glasfaser 18 total reflektiert wird. Ein Anteil 38 des ausgesendeten Lichtstrahls 32 tritt aus dem offenen Ende der Glasfaser 18 aus, während ein anderer Teil 34 des ausgesendeten Lichtstrahls 32 wieder zurück in die Messeinrichtung 20 reflektiert wird. Der reflektierte Anteil 34 wird in der Messeinrichtung 20 erfasst und dessen Intensität ausgewertet. Zusammen mit der Glasfaser 18 wird auch die Abstandsmesseinrichtung 22 verschoben, wobei permanent der Abstand d zwischen der Abstandsmesseinrichtung 22 und der Referenzfläche 28 am Lagerbauteil 10 gemessen wird. Die Abstandsmesseinrichtung 22 kann, wie in der Zeichnung dargestellt, eine optische Abstandsmesseinrichtung sein. Sobald das Ende der Glasfaser 18 die Oberfläche 26 der Lagerflüssigkeit 40 erreicht, vergleiche Figur 2 rechts, ändert sich der Brechungsindex des die Stirnfläche der Glasfaser 18 umgebenden Mediums (Luft $\rightarrow$ Öl), und es tritt ein größerer Anteil 38' des eingespeisten Lichtes 32 aus der Glasfaser 18 in die Flüssigkeit 16 aus. Das bedeutet, dass der reflektierte Anteil 34' des eingespeisten Lichtes abrupt abnimmt, was durch die Messeinrichtung 20 unmittelbar erfasst wird. In diesem Augenblick wird der Vorschub der Einrichtung gestoppt und der Abstand d zwischen der Abstandsmesseinrichtung 22 und der Referenzfläche 28 erfasst. Aus dem gemessenen Abstand d und dem vorgegebenen Überstand L der Glasfaser 18 in Bezug auf die Abstandsmesseinrichtung 22 kann durch Subtraktion die Höhe $h = L - d$ der Oberfläche 26 der Flüssigkeit in Bezug auf die Referenzfläche 28 berechnet werden.

[0039] Um den Intensitätsunterschied des reflektierten Signals 34, 34' des eingespeisten Lichts 32 bei der die Flüssigkeit 40 eintauchender Glasfaser 18 zu erhöhen, kann die Glasfaser 18 entsprechend präpariert werden.

[0040] Figur 3 zeigt eine Glasfaser, deren Ende ein Stück weit abisoliert ist, d. h. die Isolation 30 wurde entfernt und nur noch die Glasfaser 18 selbst bleibt übrig. Zudem wurde die Endfläche 36 der Glasfaser 18 mit einer Verspiegelung 42 versehen. Das in die Glasfaser 18 eingespeiste Licht 32 wird also von der Endfläche bzw. der Verspiegelung 42 total reflektiert und läuft fast vollständig als reflektiertes Lichtsignal 34 wieder zurück zur Messeinrichtung 20. Sobald jedoch das Ende der Glasfaser 18 in die Flüssigkeit 40 eintaucht, ändert sich abrupt der Brechungsindex des den abisolierten Teil der Glasfaser 18 umgebenden Mediums. Dadurch wird in diesem Bereich nicht mehr das gesamte Lichtsignal 32 reflektiert, sondern es tritt ein gewisser Anteil 38' des eingespeisten Lichtsignals 32 aus der Glasfaser in die Flüssigkeit 40 über. Infolge dessen reduziert sich der reflektierte Anteil 34' des eingespeisten Signals, was unmittelbar von der Messeinrichtung 20 detektiert werden kann. Durch Bestimmung des Abstandes h im Augenblick des Eintauchens der Glasfaser 18 in die Flüssigkeit 40 kann der Füllstand ermittelt werden.

[0041] Figur 4 zeigt eine weitere Ausgestaltung einer Glasfaser 18, wobei auf deren Endfläche 36 ein Kegelprisma 44 aufgebracht ist. Das Prisma 44 kann beispielsweise aufgeklebt werden. Es handelt sich um ein 90° -Prisma, so dass das eingespeiste Lichtsignal 32 durch das Prisma vollständig reflektiert wird und als reflektiertes Lichtsignal 34 zur Messeinrichtung 20 zurück läuft. Sobald jedoch das Prisma 44 in die Flüssigkeit 40 eintaucht, verlässt ein gewisser Anteil 38' des eingespeisten Lichtes 32 das Prisma 44 und es wird nur ein geringerer Teil 34' des eingespeisten Lichtes reflektiert, was von der Messeinrichtung 20 erfasst wird. Durch Bestimmung des Abstandes h im Augenblick des Eintauchens der Glasfaser 18 in die Flüssigkeit 40 kann dann der Füllstand ermittelt werden.

[0042] Figur 5 zeigt eine Glasfaser 18, deren Ende angeschliffen 46 ist, so dass sich die gleiche Wirkung wie durch ein aufgeklebtes Prisma 44 ergibt.

[0043] Figur 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem kontaktlosen Messverfahren. Es wird wiederum mittels einer Positioniereinrichtung 50 die Glasfaser 18 in die Öffnung des Spalts 16 eingeführt und langsam in den Spalt 16 vorgeschoben. Am anderen Ende der Glasfaser 18 befindet sich ein chromatischer Weißlicht-Messsensor 48, der eine Abstandsmessung zur

Oberfläche 26 der Flüssigkeit 40 vornimmt. Die Abstandsmessung basiert auf einer wellenlängenabhängigen, d. h. chromatischen Codierung des zu vermessenden Raumes. Am Ende der in die Öffnung des Spalts 16 eingebrachten Glasfaser ist eine passive Optik mit großer chromatischer Aberration angeordnet. Die Optik fächert das vom Weißlicht-Messsensor 48 eingespeiste Licht vertikal in Fokuspunkte verschiedener Farbe und somit Höhe auf und bildet sie auf der Oberfläche 26 der Flüssigkeit 40 ab. Wegen der chromatischen Aberration ergibt sich eine stark wellenlängenabhängige Fokusslänge für diese Abbildung. Auf der Oberfläche 26 der Flüssigkeit 40 wird nur die Wellenlänge scharf abgebildet, deren Fokus auf der Oberfläche 26 liegt. Umgekehrt wird auch das reflektierte Licht nur dieser Wellenlänge wieder scharf auf das Ende der Glasfaser 18 abgebildet, in die Glasfaser eingekoppelt und zum Weißlicht-Messsensor 48 zurück reflektiert. Im Weißlicht-Messsensor 48 befindet sich ein Spektrometer, mit welchem aus der dort ermittelten Farbe des reflektierten Lichtes anhand einer Kalibriertabelle die Lage des Fokuspunktes und somit die Position der Oberfläche 26 der Flüssigkeit 40 bestimmt werden kann. Die absolute Höhe der Oberfläche 26 der Flüssigkeit 40 kann dann anhand eines Abgleichs der Position der Glasfaser 18 relativ zu einer Referenzfläche 28 ermittelt werden.

[0044] Erfindungsgemäß kann die Glasfaser 18 entsprechend dünn ausgeführt werden, beispielsweise mit einem Durchmesser von kleiner als 50 Mikrometer. Es lassen sich somit Flüssigkeitsstände in Hohlräumen mit sehr kleinen Öffnungen ermitteln.

[0045] Figur 7 zeigt schematisch zwei Lagerbauteile 210 und 212 eines fluiddynamischen Lagers, die zwischen sich einen mit Lagerfluid gefüllten Spalt 216 ausbilden. Die beiden Lagerbauteile 210 und 212 rotieren relativ zueinander um eine Drehachse 214. Der Spalt 216 muss mit einer bestimmten Menge an Lagerfluid gefüllt werden, so dass sich ein vorbestimmter Füllstand ergibt, das heißt die Flüssigkeitsoberfläche 226 sich in einem bestimmten Toleranzbereich bewegt. Im dargestellten Beispiel ist die Öffnung des Spalts 216, die gleichzeitig eine Kapillardichtung bildet, nicht parallel sondern in einem Winkel zur Drehachse 214 gerichtet. Die Winkelhalbierende 252 der Öffnung des Spalts 216 gibt die Neigung relativ zur Drehachse 214 an. Aufgrund der Neigung der Öffnung des Spalts ist es nicht möglich, durch Einblick entlang einer Sichtachse 254 die Flüssigkeitsoberfläche 226, insbesondere die Mitte der Flüssigkeitsoberfläche 226 zu sehen, da diese durch das Bauteil 212 verdeckt wird. Mit dem erfindungsgemäßen Messverfahren kann dennoch der Füllstand des Lagerfluids ohne Schwierigkeiten bestimmt werden.

[0046] Figur 8 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem kontaktlosen Messverfahren. Es soll der Füllstand eines Lagerfluids in einem Spalt 116 gemessen werden, der zwischen zwei relativ zueinander drehbaren Lagerbauteilen 110 und 112 gebildet wird. Der Spalt 116 ist mit einem Lagerfluid gefüllt und bildet eine Flüssigkeitsoberfläche 126, deren Position gemessen werden soll. Es ist kein direkter Einblick in den Spalt 116, das heißt auf die Flüssigkeitsoberfläche 126 möglich, da das eine Lagerbauteil 110 das andere Lagerbauteil 112 überdeckt. Das Ende des Spalts 116 ist über einen Luftspalt 117, der sich etwa rechtwinklig an das Ende des Spalts anschließt mit der Außenatmosphäre verbunden. Zur Messung des Füllstandes des Lagerfluids wird eine Glasfaser 118 verwendet, die wie im Zusammenhang mit Figur 6 beschrieben, mittels einer Positioniereinrichtung (nicht dargestellt) in den Luftspalt 117 eingeführt und wird bis zum Ende des Luftspalts 117 verschoben. Die Glasfaser 118 ist mit einem chromatischen Weißlicht-Messsensor (nicht dargestellt) verbunden, mit welchem eine optische Abstandsmessung zur Flüssigkeitsoberfläche 126 vorgenommen werden kann.

[0047] Die Glasfaser 118 weist eine in einem Winkel von beispielsweise 45° abgeschrägte Endfläche auf, die mit einer Verspiegelung 142 versehen ist. Das vom chromatischen Weißlicht-Messsensor in die Glasfaser 118 eingespeiste Licht trifft auf die Verspiegelung 142 und tritt in einem Winkel von 45° als Lichtstrahl 132 aus der Glasfaser aus. Die Glasfaser 118 wird soweit in den Luftspalt 117 vorgeschoben, dass der austretende Lichtstrahl 132 in den Spalt 116 austritt und auf die Flüssigkeitsoberfläche 126 auftrifft, dort reflektiert wird, und als zurücklaufender Lichtstrahl 134 wieder in die Glasfaser 118 eintritt, dort von der Verspiegelung 142 umgelenkt wird und zurück zum Weißlicht-Messsensor läuft. Die Abstandsmessung erfolgt im Weißlicht-Messsensor entsprechend dem im Zusammenhang mit Figur 6 beschriebenen Verfahren.

[0048] Der Vorteil dieser Messanordnung ist, dass sich auch der Flüssigkeitsstand in einem Spalt 116 messen lässt, der mit einer normalen Optik nicht zugänglich ist, dass heißt der keinen freien Einblick bietet. Natürlich muss am Ende der Glasfaser 118, entweder im Bereich der Verspiegelung 142 oder aber im Bereich des Austrittes, eine entsprechende Optik mit großer chromatischer Aberration angeordnet werden, um das chromatische Messverfahren überhaupt möglich zu machen. Dies kann eine in die Glasfaser eingearbeitete Mikrolinse oder eine auf die Glasfaser aufgesetzte Mikrolinse sein. Selbstverständlich kann bei diesem Ausführungsbeispiel der Füllstand ebenso mit einem Lichtstrahl 132 gemessen werden, der entlang der Winkelhalbierenden des Spalts 116 auf die Flüssigkeitsoberfläche 126 gerichtet wird. Durch Änderung des Winkels der Verspiegelung 142 in Bezug auf die Längsachse der Glasfaser 118 lässt sich der Austrittswinkel des Lichtstrahls 132 aus der Glasfaser leicht einstellen.

[0049] Figur 9 in Verbindung mit Figur 9a zeigt nun eine Messvorrichtung zur berührungslosen Messung des Füllstandes im Spalt 216 basierend auf einer Glasfaser 218 als optisches und Licht leitendes Element. Die Glasfaser 218 ist mit einer Isolierung 230 umgeben und besitzt an ihrem Ende eine sogenannte GRIN-Linse 256, an welche sich ein Dreiecksprisma bzw. eine Keilplatte 244 anschließt. Auf der abgeschrägten Oberfläche der Keilplatte 244 kann zusätzlich eine Fresnel-Linse 258 angeordnet sein. Dies ist insbesondere in Figur 9a dargestellt. Die Glasfaser 218 wird in die Nähe der Öffnung des Spalts 216 gebracht, wobei aufgrund der am Ende der Glasfaser angeordneten optischen Elemente 256, 244 und 258 der eingespeiste Lichtstrahl 232 gebündelt und in einem Winkel relativ zur Längsachse der Glasfaser abgestrahlt wird, und dadurch auf die Flüssigkeitsoberfläche 226 gerichtet werden kann.

[0050] Eine exemplarische Berechnung des Stellwinkels β der Keilplatte 244 am Ende der Glasfaser 218 ist nachfolgend erläutert. Die Öffnungswinkel des Spalts 216 und damit der Winkel der Winkelhalbierenden 252 ebenso wie die Brechzahl n des Prisma bzw. der Keilplatte 244 können variieren.

WH : Winkelhalbierende – 252

δ : Winkel zwischen WH 252 und Mittelachse der Glasfaser 218

α : Winkel zwischen WH 252 und Lot der Keilplatte 244

β : Winkel zwischen Lot der Keilplatte 244 und Lichtverlauf 232 in der Faser

= Stellwinkel Keilfläche

n : Brechzahl

gegeben : $\delta = 2^\circ + \frac{5^\circ - 2^\circ}{2} = 3,5^\circ$; $n = 1,5$

gesucht : β

Lösung :

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}; \quad \sin \alpha = \sin(\beta + \delta) = \sin \beta \cos \delta + \sin \delta \cos \beta = n \sin \beta$$

$$n = \frac{\sin \delta}{\tan \beta} + \cos \delta; \quad n - \cos \delta = \frac{\sin \delta}{\tan \beta}$$

$$\tan \beta = \frac{\sin \delta}{n - \cos \delta} = \frac{\sin 3,5}{1,5 - \cos 3,5} \Rightarrow \beta = \underline{\underline{6,946^\circ}}$$

[0051] Von einer Weißlichtquelle 220 wird der Lichtstrahl 232 über einen Faserkoppler 250 in die Glasfaser 218 geleitet. Von dort wird der Lichtstrahl 232 an der Keilplatte 244 in dem oben berechneten Winkel auf die Flüssigkeitsoberfläche 226 projiziert und dort reflektiert. Der reflek-

tierte Anteil 234 tritt in das Dreiecksprisma 244 ein, wird am Ende der Glasfaser im Faserkoppler 250 ausgekoppelt und einen Spektrometer 248 zugeführt. Durch das angewendete chromatische Messverfahren können dann der Abstand des Endes der Glasfaser 218 zur Flüssigkeitsoberfläche 226 bestimmt werden und damit auch der Füllstand des Lagerfluids im Spalt 216.

[0052] Figur 10 zeigt eine weitere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung, ähnlich wie die Vorrichtung in Figur 9. Gleiche Bauteile bzw. Bauteile mit derselben Funktion wie in Figur 9 sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet. Der Unterschied zu Figur 9 ist bei Figur 10 die Verwendung einer diffraktiven Linse 260 am Ende der Glasfaser 218. Ähnlich wie bei der Keilplatte 244 wird durch die diffraktive Linse 260 der in den Spalt 216 eintretende Lichtstrahl in einem Winkel relativ zur Längsachse der Glasfaser 218 abgelenkt, so dass er entlang der Winkelhalbierenden 252 der Öffnung des Spalts 216 auf die Flüssigkeitsoberfläche 226 auftrifft. Der von der Flüssigkeitsoberfläche 226 reflektierte Anteil 234 des Lichtstrahls wird wieder zurück in die Glasfaser 218 geleitet und kann durch die Messvorrichtung ausgewertet werden.

[0053] Figur 11 zeigt eine weitere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung, ähnlich wie die Vorrichtung wie in Figur 10. Gleiche Bauteile beziehungsweise Bauteile mit derselben Funktion wie in Figur 10 sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

[0054] Bei dem in Figur 11 verwendeten Verfahren wird die Tatsache ausgenutzt, dass eine Flüssigkeit in einem kapillaren Spalt 216 zwischen den Bauteilen 210 und 212 an ihrer Oberfläche 226 einen sogenannten Meniskus ausbildet. Der Meniskus ist annähernd sphärisch geformt, also hat die Oberfläche einer Kugel. Die kugelförmige Flüssigkeitsoberfläche 226 besitzt optisch die Eigenschaft eines Hohlspiegels, was für das Verfahren zur Bestimmung des Füllstandes der Flüssigkeit ausgenutzt wird. Bei Figur 11 wird ein berührungsloses Messverfahren verwendet, wie auch in Figur 10 beschrieben, wobei die verwendete Glasfaser 218, die in den Spalt 216 eingeführt, wird an ihrem Ende keinerlei optische Elemente wie Linsen etc. benötigt. Durch die Glasfaser wird ein Lichtstrahl 232 in Richtung der Flüssigkeitsoberfläche 226 gerichtet, wobei dieser Lichtstrahl 232 an der kugelförmigen Oberfläche 226 zurück in die Glasfaser reflektiert wird und als Lichtstrahl 234 zur Messvorrichtung zurückläuft. Aufgrund der kugelförmigen Flüssigkeitsoberfläche 226 ergibt sich ein definierter Brennpunkt mit einem Radius R , wobei der reflektierte Anteil des Lichtstrahls 234 ein Maximum hat, wenn sich das Ende der Glasfaser 218 genau im Brennpunkt der Flüssigkeitsoberfläche 226 befindet, so dass möglichst viel Licht reflektiert wird. Bei der Messung wird die Glasfaser langsam in den Spalt 216 eingeführt und die Glasfaser 218 so weit vorgeschoben, bis ein Maximum der reflektierten Lichtmenge 234 registriert wird. Dabei kann der Empfänger eine einfache Fotodiode sein, welche die relative Lichtmenge des reflektierten Lichtstrahls 234 bestimmen kann. Hat man den Brennpunkt gefunden, so muss die augenblickliche Position der Glasfaser 218 ermittelt werden, was beispielsweise mit der verwendeten Positionier- und Vorschubeinrichtung zum Einführen der Glasfaser 218 in den Spalt 216 durchgeführt werden kann. Die Position des Endes der Glasfaser 218 relativ zum Spalt bzw. zu den Bauteilen 210 und 212 ist somit bekannt. Der Radius R im Brennpunkt kann ebenfalls leicht bestimmt werden, so dass die Position der Flüssigkeitsoberfläche 226 und damit auch der Füllstand der Flüssigkeit im Spalt 216 bestimmt werden kann. Der Radius R hängt von der Breite des Spaltes 216 im Bereich der Flüssigkeitsoberfläche 226 ab. Je breiter der Spalt, desto größer ist der Radius R . Ist die Breite des Spaltes 216 über dessen Länge konstant, so ist der Radius R konstant und die Position der Flüssigkeitsoberfläche 226 kann einfach ermittelt werden.

[0055] In vielen Fällen ist die Breite des Spaltes jedoch nicht konstant, da die den Spalt definierenden Oberflächen nicht parallel zur Winkelhalbierenden 252 verlaufen, sondern sich der Spalt nach außen in einem kleinen Winkel von wenigen Grad öffnet. Figur 12 verdeutlicht die geometrische Situation.

[0056] Mit den Bezugszeichen 211 und 213 sind die Wandungen der Lagerbauteile 210 und 212 dargestellt, welche den Spalt 226 begrenzen. Die kleinste Spaltbreite b ist bekannt und befindet sich an einer Referenzposition deren Abstand $R+h$ von dem Ende der Glasfaser 218 ebenfalls bekannt ist. Die Oberflächen der Wandungen 211 und 213 schneiden sich in einem imaginären

Schnittpunkt, der einen Abstand D von dem Brennpunkt des Fluidmeniskus aufweist. Der Fluidmeniskus bildet einen Ausschnitt aus einer Kugeloberfläche mit dem Krümmungsradius R. Es gilt aus drigonometrischen Gründen $R = D \cdot \sin(\alpha/2)$, wobei der Winkel α zwischen den beiden Wandungen 211 und 213 bekannt ist. Die Höhe h der Fluidsäule innerhalb des Spaltes 216 kann angegeben werden zu

$$h = D \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \right) - \frac{b}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} = D - R - h'$$

[0057] Der Betrag b ist die Breite des Spaltes an seiner engsten Stelle, welcher durch die Bauteilabmessungen definiert ist. Anhand der bekannten Referenzposition der Spitze der Glasfaser 218 und der ermittelten Höhe h kann dann der Füllstand der Flüssigkeit innerhalb des Spaltes 216 berechnet werden.

[0058] Die verwendete Glasfaser 218 ist vorzugsweise sehr schmal, um auch in sehr schmale Spalten eingeführt werden zu können. Es können auch zwei parallel zueinander angeordnete sehr dünnen Glasfasern verwendet werden, wobei durch eine Glasfaser der Lichtstrahl 232 auf die Oberfläche gerichtet wird und der reflektierte Lichtstrahl 234 durch die andere Glasfaser dem Empfänger zugeführt wird. Es wird also eine Sendefaser und eine Empfangsfaser verwendet.

[0059] Figur 13 zeigt schematisch eine weitere Ausgestaltung der Messvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Die Messvorrichtung basiert auf einer Vorrichtung zur Fokussierung eines Laserstrahles, wie sie in der Ausleseoptik eines CD-/DVD-Abspielgerätes verwendet wird. Da eine CD bzw. DVD nicht 100 % eben ist und somit der Abstand zwischen der Ausleseoptik und der CD-Oberfläche variiert, muss der Laserstrahl der Ausleseoptik ständig nachfokussiert werden. Hierbei wird die gesamte Optik bzw. nur eine Hauptlinse durch eine Positioniereinrichtung nachgeführt und auf den Fokus eingestellt. Die Fokussierung findet mit Hilfe einer astigmatischen Linsenkombination statt, wobei diese Linsenkombination die Eigenschaft hat, dass ein die Linsenkombination passierender Lichtstrahl nur an einer Stelle eine runde Strahlform erzeugt. Ein Fotoempfänger bzw. ein Fotoempfänger-Array wird benutzt, um die Strahlform zu analysieren und den Fokuspunkt anhand der ermittelten Strahlform zu finden.

[0060] Die erfindungsgemäße Messvorrichtung 422 umfasst eine optische Laser-Quelle 420, die ein optisches Signal 432 aussendet, das ein Polarisationsprisma 444 durchläuft und als optisches Signal mit einem Polarisationswinkel von 0° über eine $\lambda/4$ -Wellenplatte 424 und eine Hauptlinse 418 in einen Spalt 416 gerichtet wird, der sich zwischen zwei Lagerbauteilen 410 und 412 befindet. Der Spalt 416 ist mit einem Lagerfluid 440 gefüllt, dessen Füllstand im Spalt bestimmt werden soll.

[0061] Die $\lambda/4$ -Wellenplatte 424 spaltet das linear polarisierte Licht 432 in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel und erzeugt zwischen den Teilbündeln einen Gangunterschied von einer viertel Wellenlänge.

[0062] Die Messeinrichtung 422 kann über eine Positionierungseinrichtung 450 sowohl axial in Bezug auf den Spalt 416 entsprechend den Pfeilrichtungen 442 als auch radial in Bezug auf den Spalt 416 entsprechend den Pfeilrichtungen 446 positioniert und bewegt werden. Der ausgesendete und die $\lambda/4$ -Wellenplatte 424 passierende Lichtstrahl 432' wird über die Hauptlinse 418 auf die Oberfläche 426 der Flüssigkeit 440 gerichtet und dort reflektiert. Der reflektierte Anteil 434 des Lichtes passiert die Hauptlinse 418 und die $\lambda/4$ -Wellenplatte 424 und trifft um 90° in Bezug auf den ausgesendeten Lichtstrahl 432 polarisiert auf das Polarisationsprisma 444. Aufgrund der 90° Polarisation passiert der Lichtstrahl 434 das Polarisationsprisma 444 nicht gerade, sondern wird im rechten Winkel abgelenkt und fällt nicht zurück auf den optischen Sender 420. Der abgelenkte reflektierte Lichtstrahl 434' passiert nun die astigmatische Linsenkombination, die aus einer Sammellinse 436 und einer Zylinderlinse 438 zusammengesetzt ist. Von der astigmatischen Linsenkombination wird der Lichtstrahl 434' auf das Fotoempfänger-Array 448

geworfen. Die Messeinrichtung 422 muss nun gegenüber der Flüssigkeitsoberfläche 426 so positioniert werden, dass der Fokus des ausgesendeten Lichtes 432 bzw. 432' genau auf der Flüssigkeitsoberfläche 426 zu liegen kommt. Die beschriebene Messanordnung verwendet eine astigmatische Linsenkombination, welche das von der Flüssigkeitsoberfläche 426 reflektierte Licht 434' auf das Fotoempfänger-Array 448 projiziert. Der die astigmatische Linsenkombination passierende Lichtstrahl 434' erzeugt auf dem Fotoempfänger-Array 448 nur dann eine runde Strahlform, wenn der Lichtstrahl 432 auf der Flüssigkeitsoberfläche 426 fokussiert ist. Das Fotoempfänger-Array 448 besteht vorzugsweise aus einem Quadrantendetektor mit vier Detektorflächen in einer 2x2 Anordnung, welcher benutzt wird, um die Strahlform des auftreffenden Lichtstrahls 434' zu analysieren. Ist die Strahlform rund, so ist die Einrichtung im Fokus; in diesem Fall detektiert jede Detektorfläche des Fotoempfänger-Arrays 448 etwa gleich viel Licht. Ist die Einrichtung nicht im Fokus, so wird eine ovale, langgezogene Strahlform erzeugt, wodurch sich die Lichtverteilung auf dem Fotoempfänger-Array 448 ändert und dadurch die nicht-im-Fokus-Lage detektiert werden kann. Die Änderung der Fokuslage des Lichtstrahls 432 bzw. 432' erfolgt durch eine Positionierung der gesamten Messeinrichtung 422 durch eine Positioniereinrichtung 450, vorzugsweise in Pfeilrichtung 442 bzw. auch in Richtung 446. Die Positioniereinrichtung 450 ist an einer Referenzfläche 428 des Lagerbauteils 410 ausgerichtet, so dass der Abstand d zwischen der Positioniereinrichtung bzw. der Messeinrichtung 422 und der Referenzfläche 428 bekannt ist. Gleichzeitig ist der Abstand L des Fokuspunktes von beispielsweise der Hauptlinse 418 bekannt. Aus der Differenz $L-d$ kann dann die Füllhöhe h der Flüssigkeit 440 im Spalt 416 relativ zur Referenzfläche 428 bestimmt werden, und damit auch die absolute Füllhöhe.

[0063] Anstelle der gesamten Messeinrichtung 422 kann die Positioniereinrichtung 450 auch nur die Hauptlinse entsprechend axial verstellen, um den Lichtstrahl 432 auf der Flüssigkeitsoberfläche 426 zu fokussieren.

LISTE DER BEZUGSZEICHEN

10	Lagerbauteil
12	Lagerbauteil
14	Drehachse
16	Spalt
18	Glasfaser
20	Messeinrichtung
22	Abstandsmesseinrichtung
24	Halterung
26	Flüssigkeitsoberfläche
28	Referenzfläche
30	Isolierung
32	Lichtstrahl
34, 34'	Lichtstrahl (reflektiert)
36	Endfläche
38, 38'	Lichtstrahl (austretend)
40	Flüssigkeit
42	Verspiegelung
44	Prisma
46	Glasfaserende (geschliffen)
48	Chromatischer Sensor
50	Positionier- / Vorschubeinrichtung
110	Lagerbauteil
112	Lagerbauteil
116	Spalt
117	Luftspalt
118	Glasfaser

126	Flüssigkeitsoberfläche
132	Lichtstrahl
134	Lichtstrahl (reflektiert)
142	Verspiegelung
210	Lagerbauteil
211	Wandung
212	Lagerbauteil
213	Wandung
214	Drehachse
216	Spalt
218	Glasfaser
220	Weißlichtquelle
226	Flüssigkeitsoberfläche
230	Isolierung
232	Lichtstrahl
234	Lichtstrahl (reflektiert)
244	Prisma, Keilplatte
248	Spektrometer
250	Faserkoppler
252	Winkelhalbierende
254	Sichtachse
256	GRIN-Linse
258	Fresnel-Linse
260	Diffraktive Linse
410	Lagerbauteil
412	Lagerbauteil
414	Drehachse
416	Spalt
418	Hauptlinse
420	Lichtquelle
422	Messeinrichtung
424	$\lambda/4$ -Wellenplatte
426	Flüssigkeitsoberfläche
428	Referenzfläche
432, 432'	Lichtstrahl
434, 434'	Lichtstrahl (reflektiert)
436	Sammellinse
438	Zylinderlinse
440	Flüssigkeit
442	Pfeilrichtung
444	Prisma
446	Pfeilrichtung
448	Photoempfänger
450	Positionier- / Vorschubeinrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zur optischen Erfassung des Füllstandes einer Flüssigkeit in einem Hohlraum (16; 116; 216; 416) mit sub-mm breiter Öffnung mit Hilfe eines optischen Messverfahrens, umfassend die Schritte, Anordnen eines Licht leitenden und/oder reflektiven oder refraktiven als Glasfaser ausgebildeten optischen Elements (18; 118; 218) in oder an der Öffnung des Hohlraums (16; 116; 216; 416), Einspeisen eines optischen Signals (32; 132; 232; 432) von einer optischen Quelle (20; 48;

220; 420) über das optische Element in den Hohlraum, derart, dass es durch die Flüssigkeit beeinflusst wird, wodurch ein Anteil (34; 134; 234; 434) des optischen Signals über das optische Element zu einer optischen Senke (20; 48; 248; 448) zurückgeleitet wird, Erfassen des zurückgeleiteten Anteils (34; 134; 234; 434) des optischen Signals in der optischen Senke (20; 48; 248; 448),

Erfassen der geometrischen Position der optischen Quelle und/ oder des optischen Elements relativ zu einer Referenzposition (28; 428), Bestimmen des Füllstandes der Flüssigkeit (40; 440) im Hohlraum durch Auswertung des zurückgeleiteten Anteils (34; 134; 234; 434') des optischen Signals (32; 132; 232; 432) und der ermittelten Position der optischen Quelle/Senke und/oder des optischen Elements, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein berührungsloses chromatisches Messverfahren eingesetzt wird, und dass das eingespeiste optische Signal (132; 232) vom optischen Element mittels eines zusätzlichen Elements zur Umlenkung des optischen Signals auf die Flüssigkeitsoberfläche (126; 226) projiziert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Signal (132; 232) von der optischen Quelle (48; 220) über das optische Element (118; 218) zur Oberfläche (126; 226) der Flüssigkeit und der zurückgeleitete Anteil (134; 234) zurück zur optischen Senke (48; 248) geleitet und dort ausgewertet wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Element (18; 118; 218; 418) mittels einer Positioniereinrichtung (50) in die Öffnung des Hohlraums (16; 116; 216; 416) eingeführt oder im Bereich der Öffnung angeordnet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Position des optischen Elements (18; 118; 218; 418) und/oder der optischen Quelle/Senke (48; 220; 248; 420, 448) anhand eines Verstellweges der Positioniereinrichtung (50; 250) mechanisch erfasst wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Position des optischen Elements (18; 118; 218; 418) und/oder der optischen Quelle/Senke (48; 220; 248; 420, 448) mittels eines optischen Abstandsmessverfahrens ermittelt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hohlraum (216) so schmal ist, dass sich aufgrund der Kapillarwirkung eine gekrümmte Flüssigkeitsoberfläche ergibt, die einen bestimmten Brennpunkt aufweist, wobei die Licht fokussierende Eigenschaft der gekrümmten Flüssigkeitsoberfläche (226) ausgenutzt wird, indem das optische Element derart im Hohlraum (216) angeordnet wird, dass es im Brennpunkt zu liegen kommt, wo der zurückgeleitete Anteil (234) des optischen Signals (232) ein Maximum aufweist, wobei der Füllstand an dieser Position bestimmt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zurückgeleitete Anteil (434, 434') des optischen Signals (432, 432') mit Hilfe einer astigmatischen Linsenkombination (436, 438) und einer Positioniereinrichtung (450) auf ein Photoempfänger-Array (448) fokussiert wird, wobei die astigmatische Linsenkombination (436, 438) nur im Fokuspunkt eine runde Strahlform des zurückgeleiteten Anteils (434, 434') des optischen Signals erzeugt, die vom Photoempfänger-Array (448) erkannt wird, wobei der Füllstand durch Auswertung der Position der Positioniereinrichtung (450) an diesem Punkt bestimmt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Messung des Füllstandes von Lagerfluid im Spalt eines fluiddynamischen Lagersystems.
9. Vorrichtung zur optischen Erfassung des Füllstandes einer Flüssigkeit in einem Hohlraum (16; 416) mit sub-mm breiter Öffnung mit Hilfe eines optischen Messverfahrens, umfassend: eine Positioniereinrichtung (50; 450) zum Positionieren eines Licht leitenden und/oder reflektiven oder refraktiven optischen Elements (18; 118; 218; 418) in oder an der Öffnung des Hohlraums (16; 116; 216; 416), eine optische Quelle (20; 48; 220; 420) zum Aussenden eines optischen Messsignals (32; 132; 232; 432) über das optische Element in den Hohlraum, eine optische Senke (20; 48;

220; 248; 448) zum Empfang eines durch die Flüssigkeit beeinflussten und dadurch über das optische Element zur optischen Senke zurückgeleiteten Anteils (34; 134; 234; 434) des optischen Signals, eine Einrichtung zur Bestimmung der Position der optischen Quelle/Senke und/oder des optischen Elements relativ zu einer Referenzposition (28; 428), eine Auswerteeinrichtung zum Bestimmen des Füllstandes der Flüssigkeit im Hohlraum durch Auswertung des zurückgeleiteten Anteils (34; 134; 234; 434) des optischen Signals (32; 132; 232; 432) und der Position der optischen Quelle/Senke und/oder des optischen Elements (18; 118; 218; 418),

dadurch gekennzeichnet,

dass das optische Element eine Glasfaser (18; 118; 218) ist,

und dass zur Formung oder Lenkung des Lichtstrahles am in die Öffnung eingebrachten Ende der Glasfaser ein zusätzliches Element ausgebildet ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass ein in die Öffnung eingeführtes Ende der Glasfaser ein 90° Kegelprisma (44; 46) aufweist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass ein in die Öffnung des Hohlraum eingeführtes Ende der Glasfaser eine Gradientenindex-Linse (256) und/oder Fresnel-Linse (258) und/oder diffraktive Linse (260) umfasst.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine Endfläche (36) der Glasfaser (118; 218) in einem Winkel in Bezug auf die Längsachse der Glasfaser abgeflacht ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Endfläche (36) der Glasfaser mit einer Verspiegelung (42) versehen ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Endbereich der Glasfaser (18) abisoliert ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet,** dass das in die Öffnung eingeführte Ende der Glasfaser (18) mit einem flüssigkeitsabweisenden Barrierefilm umgeben ist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet,** dass die optische Quelle eine Weißlichtquelle (220) ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet,** dass die optische Senke ein fotosensitives Element (448) ist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 17, **dadurch gekennzeichnet,** dass die optische Senke ein Spektrometer (248) ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 18, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Einrichtung zur Bestimmung der Position der optischen Quelle/Senke und/oder des optischen Elements eine mechanische Abstandsmesseinrichtung (50; 450) ist.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 19, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Einrichtung zur Bestimmung der Position der optischen Quelle/Senke und/oder des optischen Elements eine optische Abstandsmesseinrichtung (22) ist.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9, 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet,** dass das die optische Quelle (420) eine Laserquelle ist, und eine astigmatische Linsenkombination (436, 438) zur Fokussierung des zurückgeleiteten Anteils (434, 434') des optischen Signals (432, 432') auf einer als Photoempfänger-Array (442) ausgebildeten optischen Senke vorgesehen ist.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 21 zur Messung des Füllstandes von Lagerfluid im Spalt eines fluiddynamischen Lagersystems.

Hierzu 10 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

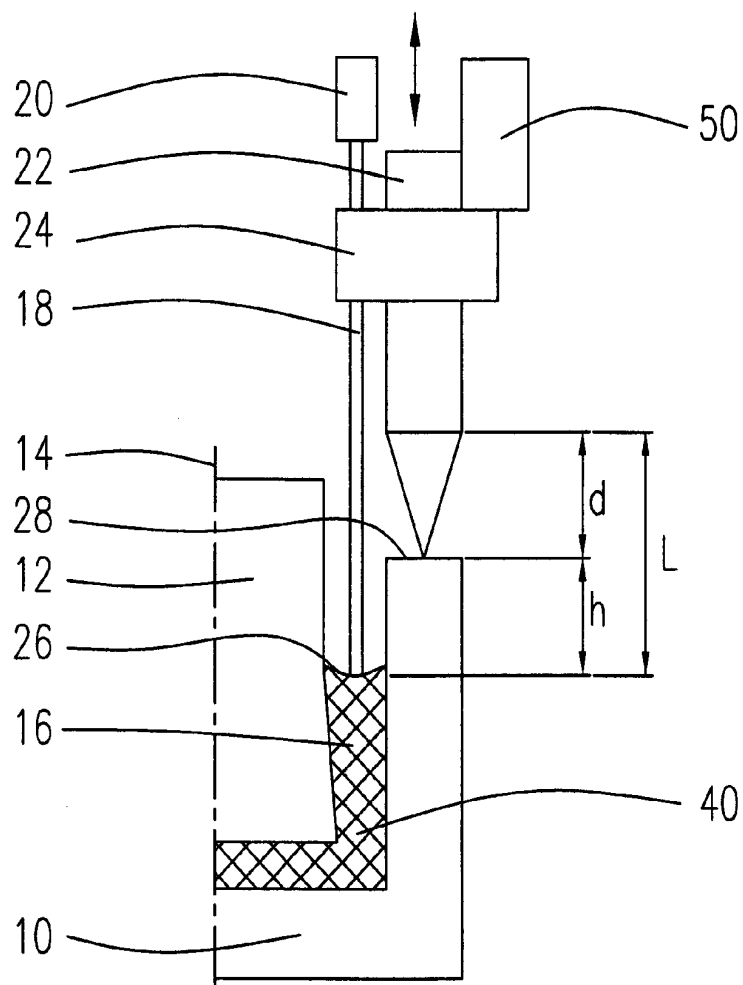


Fig. 2

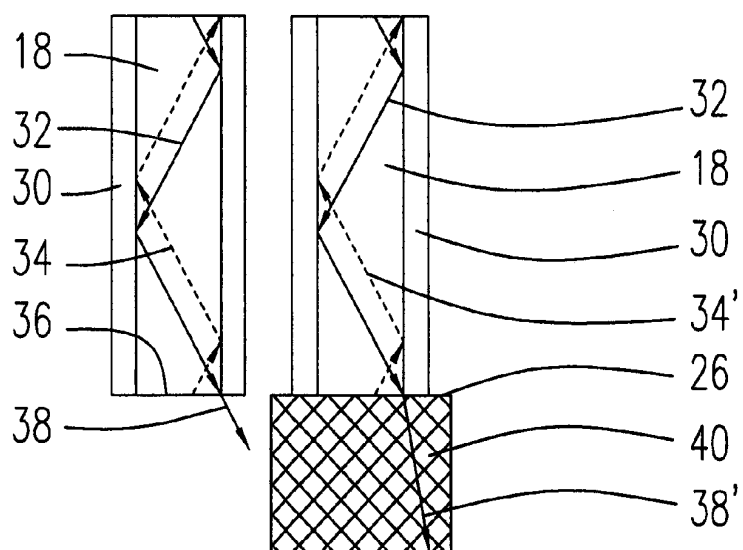


Fig. 3

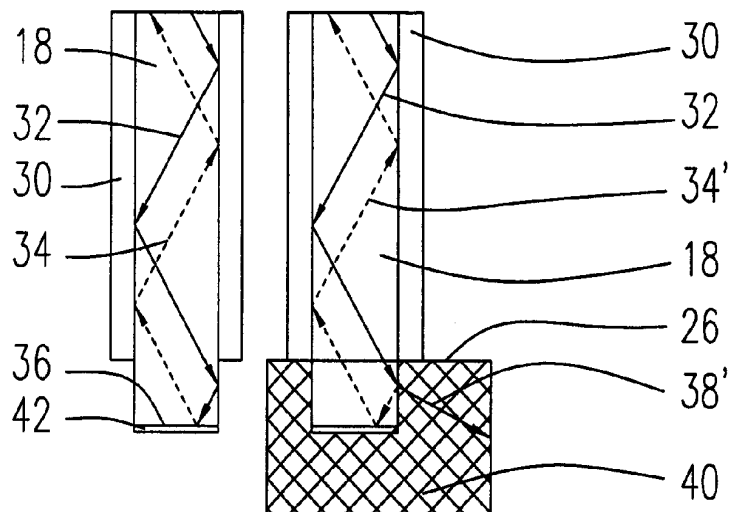


Fig. 4

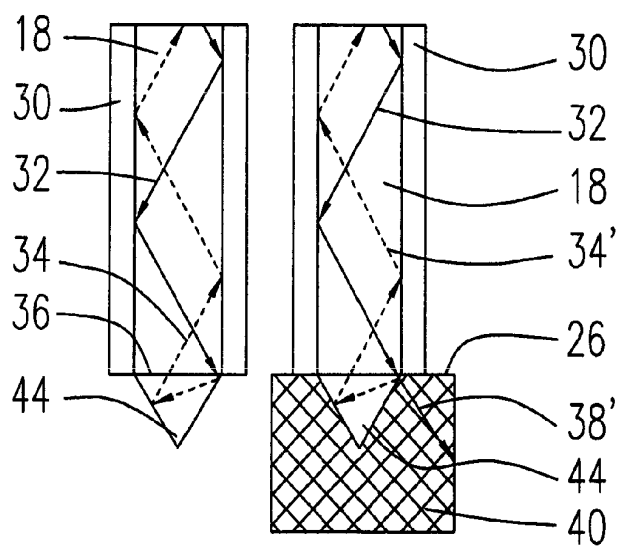


Fig. 5

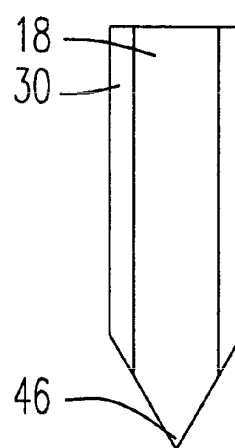


Fig. 6

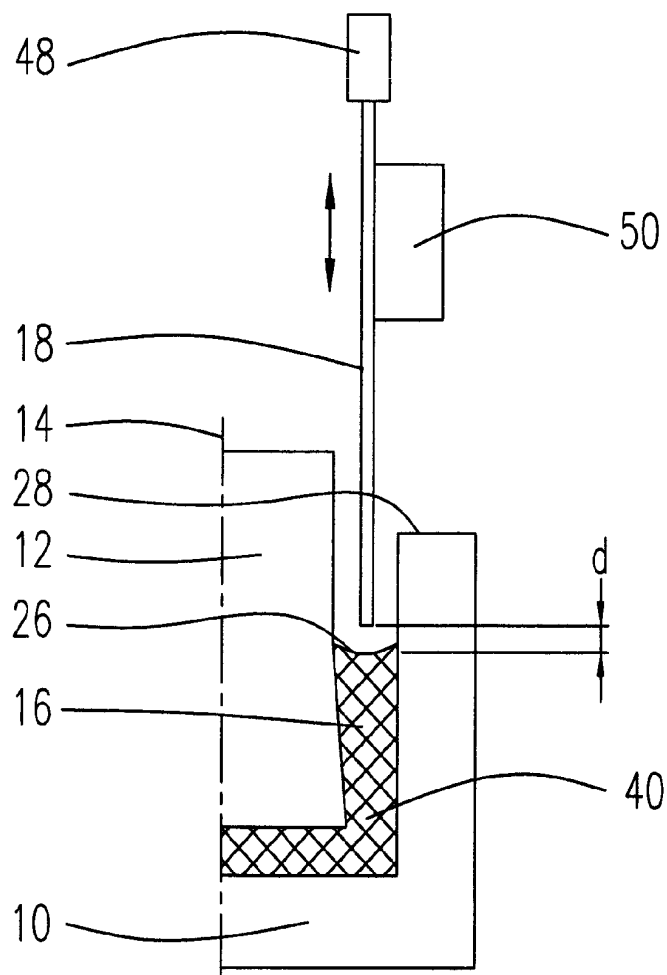


Fig. 7

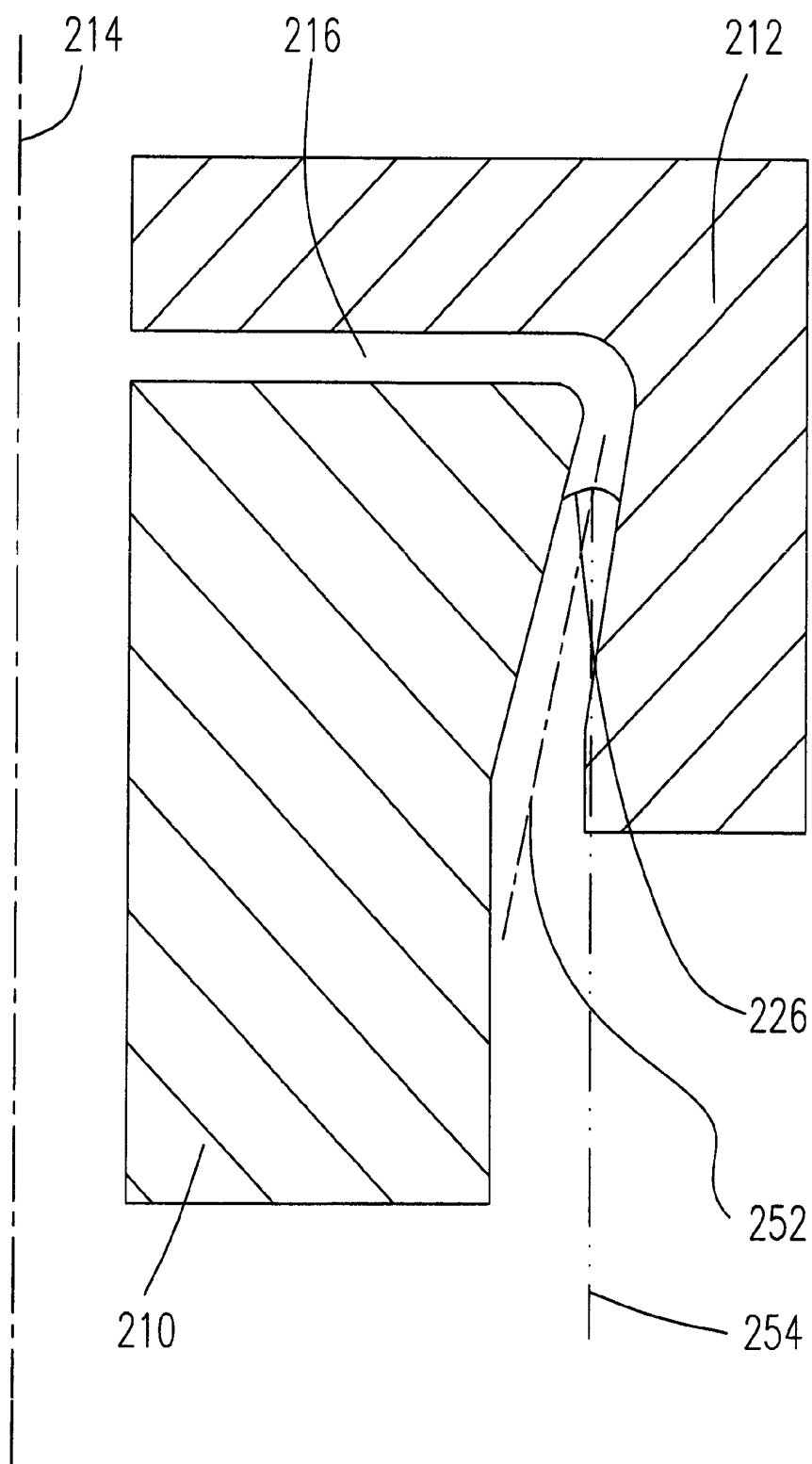


Fig. 8

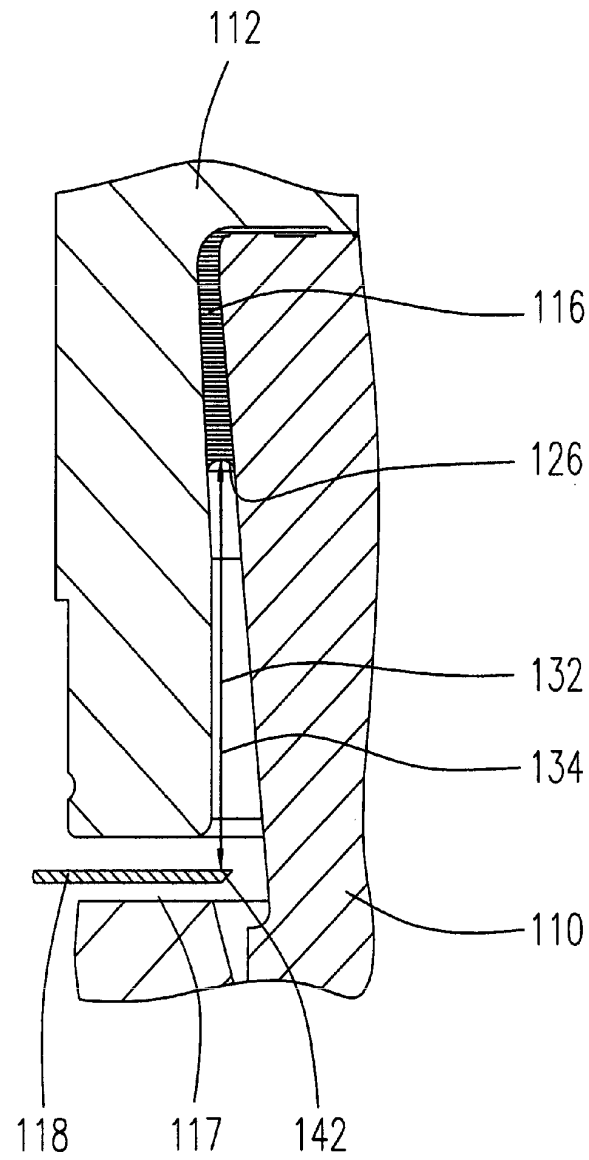


Fig. 9

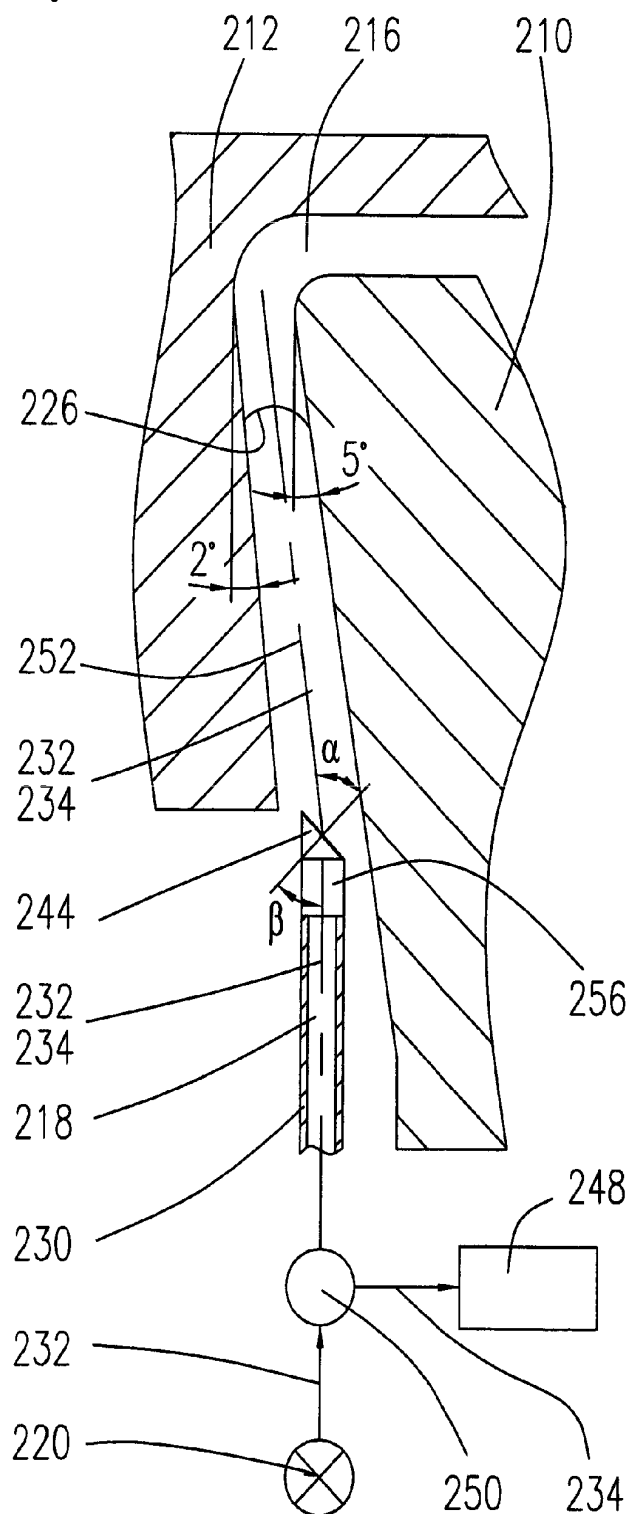


Fig. 9a

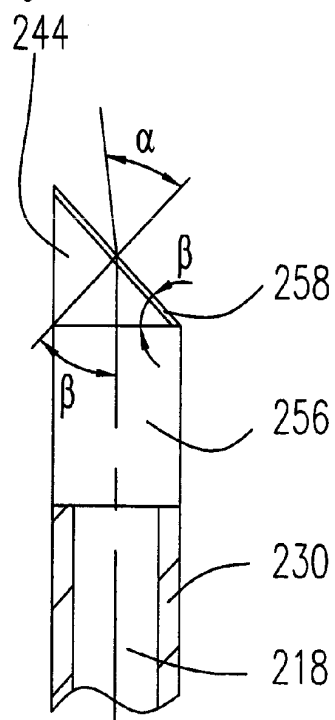


Fig. 10

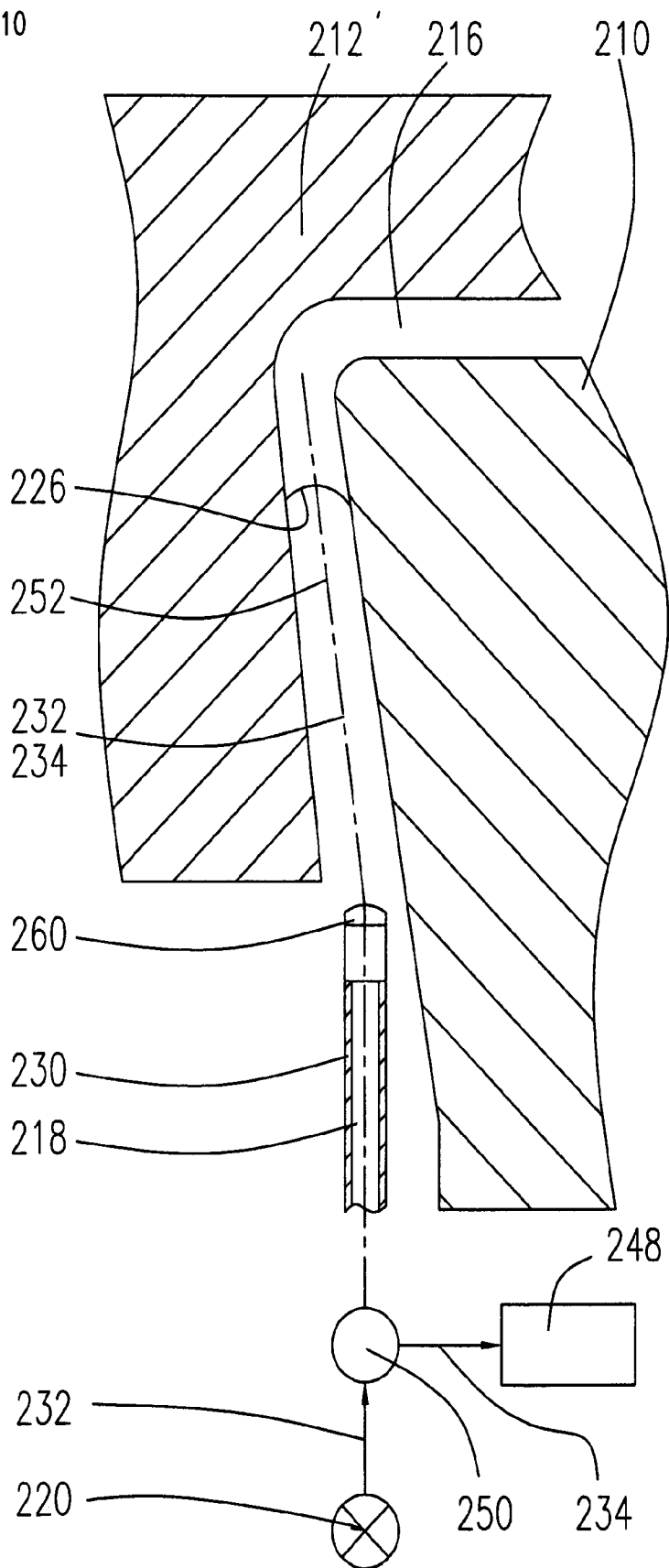


Fig. 11

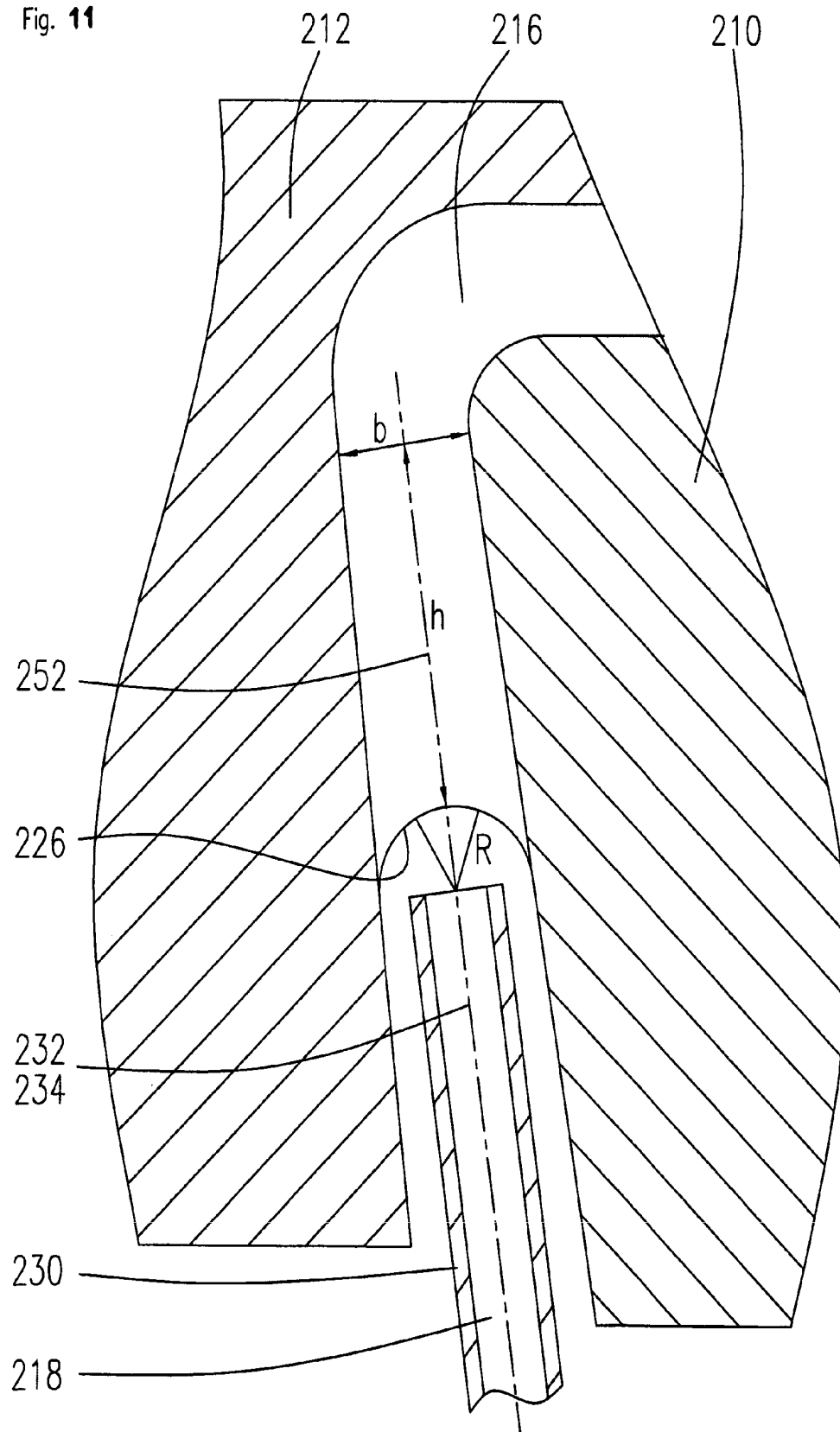


Fig. 12

