

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 51153/2018
(22) Anmeldetag: 21.12.2018
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2022

(51) Int. Cl.: **G01N 11/10** (2006.01)
F16C 32/06 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2015233807 A1
CN 107269697 A
CN 1434224 A
CN 104895827 A
JP 2018126967 A

(73) Patentinhaber:
Anton Paar GmbH
8054 Graz-Straßgang (AT)

(72) Erfinder:
Krenn Michael
8141 Zettling (AT)
Schütz Denis
8010 Graz (AT)

(54) Messantrieb mit Ultraschall-gelagerter Welle, Rheometer,, Verfahren und Verwenden

(57) Es wird ein Messantrieb (100) für ein Rheometer (101) beschrieben. Der Messantrieb (100) weist auf: i) einen Motor (110), ii) eine Welle (120), welche mit dem Motor (110) derart gekoppelt ist, dass die Welle (120) mittels des Motors (110) antreibbar ist, und iii) eine Ultraschallvorrichtung (130), welche eingerichtet ist Ultraschall (135) derart an die Welle (120) bereitzustellen, dass zumindest ein Teil der Welle (120) mittels des Ultraschalls (135) im Wesentlichen berührungsfrei lagerbar ist. Ferner wird das Rheometer (101), ein Verfahren, und ein Verwenden beschrieben.

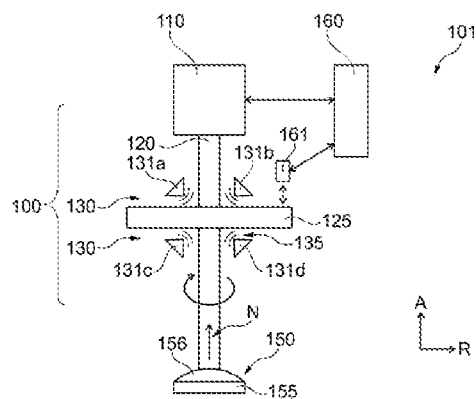


Fig. 1

Beschreibung

MESSANTRIEB MIT ULTRASCHALL-GELAGERTER WELLE, RHEOMETER, VERFAHREN UND VERWENDEN

[0001] Die Erfindung betrifft einen Messantrieb für ein Rheometer. Weiterhin betrifft die Erfindung das Rheometer zum Ermitteln einer Probeneigenschaft, insbesondere einer rheologischen und/oder dynamisch mechanischen Eigenschaft. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren und ein Verwenden.

[0002] Die Funktionsweise eines Messgeräts, insbesondere eines Rheometers, zum Bestimmen einer rheologischen Eigenschaft einer Probe ist prinzipiell bekannt und beispielsweise in den Dokumenten AT 404 192 B oder AT 515 219 B1 beschrieben. Kurz umrissen wird eine Probe (meist eine Flüssigkeit) bereitgestellt und zwischen zwei Messteilen gehalten, wobei zumindest ein Messteil mit einer Welle verbunden ist. Die Welle wird durch einen Messmotor zur Rotation gebracht, wobei die rheologischen Eigenschaften der Probe die Drehbewegung der Welle, insbesondere das wirkende Drehmoment und die Normalkraft, beeinflussen. Das wirkende Drehmoment wird in der Regel aus dem Motorstrom des Messmotors oder mechanischen Federn bestimmt. Die auftretende Normalkraft kann auf verschiedene Weise (z.B. kapazitiv, optisch) gemessen werden, so dass Rückschlüsse auf die rheologischen Eigenschaften der Probe ermöglicht werden. Für dynamisch mechanische Versuche wird die Rotation des Messmotors gegebenenfalls mit einer translatorischen Bewegung eines weiteren Messkörpers kombiniert. Die Welle kann eine Scheibe (senkrecht zur Axialrichtung der Welle orientiert) aufweisen, wodurch die Messgenauigkeit noch verbessert werden kann. Die Scheibe bzw. zumindest ein Teil der Welle ist hierbei in einem Luftspalt angeordnet und wird durch zusätzlich eingebrachte Druckluft (Luftlager) oder ein Magnetlager reibungsfrei gelagert. Eine reibungsbehaftete Lagerung ist ferner über Kugellager oder Spitzenlager möglich.

[0003] Diese Anwendung bringt jedoch viele Nachteile mit sich, insbesondere wenn die Messung unter speziellen Bedingungen, beispielsweise hohen Drücken, durchgeführt werden soll. In geschlossenen Druckräumen kann keine Luftlagerung durchgeführt werden, denn eine Druckzelle wäre Druckschwankungen unterworfen, welche bei einer Druckluftzufuhr mit herkömmlichen Mitteln nicht hinreichend korrigierbar wären. Ebenso entfallen auch Anwendungen im Reinraum, mobile Anwendungen und vor allem Anwendungen dort, wo Druckluft elektrostatische Probleme verursachen kann. Beispielsweise ist Drucklufteinsatz auf Bohrinseln verboten, da die elektrostatischen Ladungen zu Zündfunken führen können.

[0004] Der Einsatz eines konventionellen Rheometers in Inertumgebungen (z.B. Argon-Gloveboxen) ist ebenfalls sehr nachteilig, denn herkömmliche Luftlager sind mit Fluidraten von 200 L/min nur unter sehr hohen Aufwendungen in den Reinraum bzw. in Inertumgebungen einzubringen. Die hohe Durchflussrate bereitet in solchen geschlossenen Räumen nämlich viele technische Probleme. Die hohen Durchflussraten der Luftlager bereiten weiterhin auch in kontaminierten Messbereichen (z.B. radioaktive Umgebung, Gifte, hochreaktive Gase etc.) viele Nachteile.

[0005] Die wissenschaftliche Publikation der Autoren Atherton, Mares, Stolarski mit dem Titel "some fundamental aspects of self-levitating sliding contact bearings and their practical implementations" (J Engineering Tribology, 2014, Vol. 228(9), Seiten 916 bis 927) beschreibt Ausführungsbeispiele eines Ultraschall Achsenlagers im Allgemeinen.

[0006] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Messantrieb für ein Rheometer, bereitzustellen, welcher auch unter speziellen Messbedingungen (z.B. Druckzelle, Reinraum, Inertumgebung, Druckluft-entkoppelte Bereiche) eine robuste und effiziente Messung ermöglicht.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Weitere Ausführungsbeispiele sind in den abhängigen Ansprüchen gezeigt.

[0008] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Messantrieb für ein Rheometer beschrieben. Der Messantrieb weist auf: i) (zumindest) einen Motor (insbesondere einen Messmotor), ii) (zumindest) eine Welle, welche mit dem Motor derart gekoppelt ist, dass die Welle mittels des Motors antreibbar ist, und iii) eine Ultraschallvorrichtung, welche eingerichtet ist Ultraschall derart an die Welle bereitzustellen, dass die Welle (bzw. zumindest ein Teil der Welle) mittels des Ultraschalls (im Wesentlichen) berührungsfrei lagerbar ist.

[0009] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Rheometer zum Bestimmen einer für die rheologischen Eigenschaften einer Probe (insbesondere einer viskoelastischen Probe, weiter insbesondere einer Flüssigkeit) indikativen Information beschrieben. Das Rheometer weist hierbei auf: i) den oben beschriebenen Messantrieb, und ii) einen Probenhalter zum Positionieren der Probe, wobei die Welle mit der positionierten Probe koppelbar ist.

[0010] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verwenden des oben beschriebenen Rheometers beschrieben in einer speziellen Messumgebung, z.B. in einem Reinraum (bzw. Reinraum), einem Druckraum, einer Inertumgebung, oder einem Druckluft-entkoppelten Raum.

[0011] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren beschrieben zum Bestimmen einer für die rheologischen Eigenschaften einer Probe (insbesondere einer viskoelastischen Probe, weiter insbesondere einer Flüssigkeit) indikativen Information, mittels eines Rheometers. Das Verfahren weist auf: i) Bereitstellen der Probe und Koppeln der Probe mit einer Welle, ii) Antreiben (z.B. Rotieren) der Welle mittels eines Motors (insbesondere eines Messmotors), so dass die indikative Information auf die Bewegungscharakteristik (z.B. das Drehmoment und/oder die Normalkraft) der Welle übertragen wird, iii) Emittieren von Ultraschall mittels einer Ultraschallvorrichtung an die Welle derart, dass zumindest ein Teil der Welle mittels des Ultraschalls im Wesentlichen berührungsfrei gelagert wird, und iv) Erfassen der Bewegungscharakteristik der Welle (z.B. durch die Stromaufnahme des Messmotors, durch kapazitive Messung der Normalkraft, durch Messung der axialen Auslenkung des Linearmotors), um die für die rheologischen Eigenschaften der Probe indikative Information zu bestimmen.

[0012] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verwenden einer Ultraschallquelle zum (im Wesentlichen) berührungsfreien Lagern (zumindest eines Teils) einer Welle in einem Rheometer beschrieben.

[0013] Im Folgenden bezieht sich der generische Begriff „Messgerät“ auf ein Rheometer.

[0014] In diesem Dokument kann der Begriff „Messantrieb“ insbesondere eine Vorrichtung bezeichnen, welche in einem Messgerät verbaut werden kann, und welche eine physikalische bzw. mechanische Bewegung bereitstellt, die für das Durchführen einer Messung in dem Messgerät notwendig ist. Diese Bewegungen können rotierend und/oder rotierend oszillierend und/oder translatorisch und/oder translatorisch oszillierend und/oder Kombinationen davon sein. Durch die Kombination von zwei Messmotoren können beliebige Bewegungskombinationen vorgegeben werden, wobei die Probe zwischen zwei Messteilen mechanisch beansprucht und vermessen wird. Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann ein Messantrieb einen (Mess-) Motor, insbesondere einen Rotations- oder Linearmotor aufweisen, welcher eine rotierende oder lineare Bewegung bereitstellen kann. Hierfür kann der Motor beispielsweise mit einer Welle gekoppelt sein, wobei der Begriff „Welle“ insbesondere ein Bauteil bezeichnen kann, welches sich in einer Raumrichtung deutlich länger erstreckt als in den beiden anderen Raumrichtungen. So kann eine Welle beispielsweise als ein (drehbarer) Stab ausgebildet sein. Weiterhin kann eine Welle aber z.B. auch als ein Rohr oder einen rechteckigen Stab ausgebildet sein. In einem Ausführungsbeispiel ist diese Welle innerhalb des Messantriebs mit dem Motor gekoppelt (z.B. mechanisch, magnetisch, etc.) und innerhalb des Messgeräts mit einer Probe direkt oder indirekt koppelbar. Ferner kann ein Messantrieb eine Vorrichtung zum Lagern der Welle aufweisen. Gemäß einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel handelt es sich hierbei um eine Ultraschallvorrichtung, welche Ultraschall derart bereitstellen kann, dass die Welle dadurch berührungsfrei gelagert werden kann.

[0015] In diesem Dokument kann der Begriff „Messgerät“ insbesondere eine Vorrichtung bezeichnen, welche eingerichtet ist, physikalische Eigenschaften einer Probe zu messen, und hierfür einen Messantrieb mit einer Motorgetriebenen Welle verwendet. Hierbei kann das Messgerät mittels der Welle, welche mit der Probe direkt oder indirekt gekoppelt wird, eine Information messen, welche für die physikalischen/chemischen Eigenschaften der Probe indikativ ist. Die indirekte Kopplung der Probe mit der Welle wird dabei mit Messteilen an der Welle durchgeführt, wobei unterschiedliche Messteilsysteme bekannt sind wie beispielsweise Platte-Platte Anordnungen, Kegel-Platte Anordnungen, sowie konzentrische Zylinderanordnungen bis hin zu Festkörpereinspannungen für beispielsweise Dehnversuche. Das Messgerät kann also z.B. ein „Rheometer“ sein, welches wiederum eingerichtet ist, die rheologischen Eigenschaften einer Probe zu bestimmen. Der Begriff „Rheometer“ umfasst hierbei beispielsweise ein Rotationsviskosimeter, ein Rotationsrheometer, ein Oszillationsrheometer, oder ein kombiniertes Rotations- und Oszillationsrheometer sowie Anordnungen zur dynamisch mechanischen Analyse mit linearer Beanspruchung.

[0016] In diesem Dokument kann der Begriff „rheologische Eigenschaft“ insbesondere eine Eigenschaft einer Probe, insbesondere einer Flüssigkeit, bezeichnen, die das Verformungs- und/oder Fließverhalten der Probe betrifft. Hierbei kann eine rheologische Eigenschaft beispielsweise die Viskosität, die Elastizität, oder die Viskoelastizität der Probe sein. In diesem Dokument kann der Begriff „indikative Information“ insbesondere eine Messgröße bezeichnen, welche mittels einer Messeinheit erfassbar ist. Beispielsweise kann sich, wie oben beschrieben, die rheologische Eigenschaft einer Probe (welche mit einer rotierenden Welle gekoppelt ist) auf die Bewegungscharakteristik der rotierenden Welle auswirken. So kann sich z.B. das wirkende Drehmoment oder die Normalkraft entsprechend der visko-elastischen Eigenschaften der Probe verändern. Diese Änderung der Bewegungscharakteristik würde dann einer indikativen Information entsprechen, welche (z.B. mittels Motorstrom, sich einstellenden Drehwinkel oder kapazitiv) mit einer Messeinheit erfasst werden kann. Aus der indikativen Information können dann wiederum Rückschlüsse auf die rheologische Eigenschaft der Probe gezogen werden.

[0017] In diesem Dokument kann der Begriff „im Wesentlichen berührungsfrei“ insbesondere bedeuten, dass zwischen zumindest einem Teil einer gelagerten Welle, beispielsweise einem Wellenabschnitt oder einem Wellenelement, und einem umgebenden Messantrieb und/oder einem umgebenden Messgerät kein physikalischer Kontakt besteht. In anderen Worten hat zumindest ein Teil der Welle in berührungsfrei gelagertem Zustand keinen physikalischen/mechanischen Kontakt zu einem weiteren festen Körper. Stattdessen wird die Welle durch den emittierten Ultraschall, welcher von einer Ultraschallvorrichtung emittiert wird, levitiert. Damit „schwebt“ im Prinzip zumindest ein Teil der Welle kontaktlos bzw. reibungslos.

[0018] In diesem Dokument kann der Begriff „Ultraschallvorrichtung“ insbesondere jegliche Vorrichtung bezeichnen, welche einen Ultraschall(druck) derart erzeugen kann, dass zumindest ein Teil einer Welle im Wesentlichen berührungsfrei gelagert werden kann. Die Ultraschallvorrichtung kann ein oder mehr Ultraschallquellen umfassen, welche räumlich voneinander getrennt sind. Diese können beispielsweise einander gegenüberliegend zu beiden Seiten der Welle positioniert sein. Eine Ultraschallquelle kann hierbei eine einzelne Vorrichtung sein, welche eingerichtet ist den beschriebenen Ultraschall bereitzustellen. Eine solche Vorrichtung kann neben einem Ultraschall Emitter auch z.B. eine sogenannte Sonotrode und/oder ein Horn aufweisen.

[0019] Der Begriff „Ultraschall“ kann sich insbesondere auf hochfrequente mechanische Schwingungen beziehen, wobei die Frequenzen außerhalb des hörbaren Spektrums, im Wesentlichen in dem Bereich 15 bis 100 kHz, liegen. Die Ultraschallvorrichtung kann eingerichtet sein zum berührungslosen Handhaben von Elementen wie einer Welle mittels Ultraschall bzw. Ultraschall-levitation.

[0020] Hierfür sind prinzipiell zwei Möglichkeiten bekannt, der Stehwelleneffekt im Ultraschallfeld und der Nahfeldeffekt im Ultraschallfeld (siehe unten). Prinzipiell kann sich der Begriff Ultraschall im vorliegenden Zusammenhang auf eine Ultraschall-Vibration bzw. einen Ultraschall-Druck beziehen, welcher derart erzeugt/bereitgestellt wird, dass Levitation eines Gegenstandes, insbe-

sondere zumindest eines Teils einer Messwelle, ermöglicht ist. Zur Erzeugung von Ultraschall in Luft können Ultraschall-Emitter/Generatoren verwendet werden. Diese können beispielsweise dynamische und elektrostatische Lautsprecher sowie insbesondere Piezolautsprecher sein. Piezolautsprecher können in diesem Zusammenhang z.B. membrangekoppelte Platten aus piezoelektrischer Keramik, die durch den inversen Piezo-Effekt zu Schwingungen angeregt werden, sein.

[0021] Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel kann die Erfindung auf der Idee basieren, dass ein Messantrieb für ein Messgerät, insbesondere ein Rheometer, bereitgestellt werden kann, welcher auch unter sehr speziellen Messbedingungen wie Druckzelle, Reinraum, Inertumgebung, oder Druckluftentkoppelten Bereichen, eine robuste und effiziente Messung ermöglicht, wenn eine berührungsfreie Lagerung (zumindest eines Teils) der Welle über eine Ultraschallvorrichtung vorgesehen wird. Bisher wurde die Lagerung einer Messgerät-Welle durch Druckluft realisiert, wodurch jedoch viele spezielle Messbedingungen verunmöglicht oder zumindest deutlich erschwert werden. Es wurde nun überraschend gefunden, dass ein besonders vorteilhafter Messantrieb für ein Messgerät durch die Anwendung von Ultraschall-Levitation ermöglicht wird. Obwohl das physikalische Phänomen der Ultraschall-Levitation im Prinzip bekannt ist und für die Handhabung spezieller sehr kleiner/leichter Bauelemente wie Folien oder Wafern eingesetzt wurde, so ist es bis jetzt doch unbekannt gewesen, dass die berührungslose Handhabung einer Messwelle (nicht einer Probe) in einem Messgerät sich als besonders vorteilhaft für sehr spezielle Messbedingungen wie Druckzelle oder Reinraum herausstellt, welche bislang nur technisch problematisch und unter hohen Aufwendungen realisierbar sein könnten.

[0022] Im Gegensatz zu der bisherigen Druckluftlagerung einer Welle in einem Rheometer ist die Anwendung einer Ultraschallvorrichtung deutlich günstiger. Es ist kein Gasstrom (Druckluft) und keine Aufbereitung dieses Gases mehr notwendig. Dadurch werden weniger Kosten verursacht und weniger Energie verbraucht. Durch die Unabhängigkeit von Druckluft kann das Messgerät mobil, unabhängig und flexibel einsatzfähig sein. Auf diese Weise ist sogar eine Verwendung in vollkommen geschlossener Umgebung (z.B. Druckzelle oder Druckkammer) ermöglicht. Weiterhin werden keine porösen Materialien mehr benötigt und das Design kann einfacher und robuster (auch durch höhere Luftspalte) sein. Anstelle von Druckluft können andere Gase in den Luftspalt eingebracht werden (z.B. Argon), welche die Traglast noch erhöhen können. Aber auch gegenüber anderen herkömmlichen Lagermöglichkeiten wie Kugellagern bietet die Ultraschallvorrichtung in einem Messantrieb eindeutige Vorteile. So kann die Restreibung deutlich geringer sein und die Abgleichbarkeit kann verbessert werden (beispielsweise durch winkelkonstante Restreibungskurven).

[0023] Ferner kann der beschriebene Messantrieb auf einfache und flexible Weise in bestehende Systeme integriert werden. Weiterhin kann z.B. über kapazitive Normalkraftmessung eine indikative Information (Messgröße) bestimmt werden und bestehende Antriebsmittel (z.B. Motor und Welle) können mit dem beschriebenen Messantrieb kombiniert werden.

[0024] Im Weiteren werden zusätzliche exemplarische Ausführungsbeispiele der Vorrichtung und des Verfahrens beschrieben.

[0025] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist die Ultraschallvorrichtung eingerichtet, den Ultraschall derart zu emittieren, dass zumindest ein Teil der Welle mittels des Ultraschalls levitierend (insbesondere reibungsfrei levitierend) lagerbar ist. Dies kann den Vorteil haben, dass die Lagerung der Welle robust und doch zugleich reibungsfrei ermöglicht ist. Unter Levitation kann in diesem Zusammenhang das Schweben-lassen durch Ultraschall ohne physikalischen Kontakt zu einem weiteren Festkörper verstanden werden.

[0026] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist die Ultraschallvorrichtung zumindest zwei Ultraschallquellen auf, welche einander (im Wesentlichen) gegenüberliegend angeordnet sind, wobei die Welle zwischen den (im Wesentlichen) gegenüberliegenden Ultraschallquellen angeordnet ist. Dies kann den Vorteil haben, dass die Ultraschallvorrichtung flexibel ausgestaltet sein kann und eine Vielzahl von vorteilhaften Architekturen ermöglicht sind.

[0027] Wenn Ultraschall aus zwei (oder mehr, z.B. vier) einander gegenüberliegenden Ultraschallquellen an eine Welle emittiert wird, dann kann die Lagerung besonders stabil, ausgeglichen, und im Wesentlichen auslenkungsfrei realisiert werden.

[0028] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist die Welle ein Wellenelement auf, welches mit seiner Hauptstreckungsrichtung (im Wesentlichen) senkrecht zu der Axialrichtung der Welle mit dieser gekoppelt ist, wobei die Ultraschallvorrichtung derart eingerichtet ist, dass das Wellenelement mittels des Ultraschalls (im Wesentlichen) berührungsfrei lagerbar ist. Dies kann den Vorteil bereitstellen, dass die Messgenauigkeit durch das Wellenelement erhöht ist, während dieses besonders effizient und für eine Vielzahl von speziellen Anwendungen lagerbar ist.

[0029] Das Wellenelement kann verwendet werden, um die Messung der indikativen Information zu erleichtern, bzw. diese exakter zu bestimmen. Beispielsweise kann die Auslenkung des Ultraschall-gelagerten Wellenelements gemessen (z.B. kapazitiv oder optisch) werden. Das Wellenelement weist eine Hauptstreckungsrichtung auf, welche zumindest länger ist als eine andere Erstreckungsrichtung des Wellenelements. Ist das Wellenelement z.B. als Scheibe ausgestaltet, so liegen zwei Hauptstreckungsrichtungen vor, welche jeweils senkrecht zu der Axialrichtung der Welle angeordnet werden. Das Wellenelement ist mit der Welle gekoppelt, z.B. an dieser befestigt.

[0030] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Ultraschallvorrichtung eingerichtet, das Wellenelement sowohl in Axialrichtung als auch in Radialrichtung der Welle im Wesentlichen berührungsfrei zu lagern. Dies kann den Vorteil haben, dass sowohl Normalkraft als auch Querkraft aufgenommen werden können, ebenso wie ein Kippmoment. Dadurch kann die Messung bei höherer Stabilität des Wellenelements noch effizienter ausgeführt werden.

[0031] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist die Ultraschallvorrichtung zumindest vier Ultraschallquellen auf, wobei, in Axialrichtung der Welle gesehen, zwei Ultraschallquellen oberhalb und zwei Ultraschallquellen unterhalb des Wellenelements angeordnet sind, und wobei, in Radialrichtung der Welle gesehen, zwei Ultraschallquellen im Wesentlichen gegenüberliegend den beiden anderen Ultraschallquellen, mit der Welle dazwischen, angeordnet sind. Dies kann den Vorteil bereitstellen, dass auf einfache Weise die oben beschriebene Lagerung (des Wellenelements) in Axialrichtung und Radialrichtung realisiert werden kann.

[0032] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist die Welle zumindest zwei Wellenelemente auf, welche räumlich voneinander beabstandet sind und dadurch einen Zwischenraum bilden. Die Ultraschallvorrichtung weist zumindest zwei Ultraschallquellen auf, welche einander derart (im Wesentlichen) gegenüberliegend angeordnet sind, dass emittierter Ultraschall zumindest teilweise auf den Zwischenraum trifft, wodurch die zumindest zwei Wellenelemente (im Wesentlichen) berührungsfrei lagerbar sind. Dies kann den Vorteil haben, dass eine besonders effiziente und robuste Lagerung bereitgestellt werden kann.

[0033] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel hat zumindest ein Wellenelement (oder beide Wellenelemente) im Wesentlichen eine Form, welche ausgewählt ist aus der Gruppe, welche besteht aus einer Scheibe, einer Ringscheibe, einer Platte, einem Kegelstumpf, einer Halbkugel, oder einem Pyramidenstumpf. Dies kann den Vorteil haben, dass ein flexibles Design für spezielle Anwendungen ermöglicht ist. Die aufgeführte Aufzählung ist beispielhaft und nicht abschließend. Auch weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Wellenelements können denkbar sein.

[0034] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist die Ultraschallquelle einen Ultraschall-Emitter und eine Sonotrode auf, wobei die Sonotrode in Schall-Emissionsrichtung vor dem Emitter angeordnet ist. Dies kann den Vorteil haben, dass eine besonders effiziente Ultraschallquelle mit speziell einstellbaren Eigenschaften eingesetzt werden kann.

[0035] Als Ultraschall-Emitter (oder Ultraschall Generator) kann in diesem Zusammenhang jede Vorrichtung bezeichnet werden, welche eingerichtet ist Ultraschall mit einer bestimmten Frequenz

zu erzeugen. Als Sonotrode kann eine Vorrichtung bezeichnet werden, die durch das Einleiten von (Ultraschall) in Resonanzschwingungen versetzt wird. Eine Sonotrode kann eine Verbindung zwischen Ultraschall-Emitter zum Werkstück herstellen und die Ultraschallschwingung an eine Bearbeitungsaufgabe anpassen.

[0036] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist die Ultraschallquelle ferner ein Horn auf, welches zwischen dem Emitter und der Sonotrode angeordnet ist. Dies kann ebenfalls den Vorteil haben, dass eine besonders effiziente Ultraschallquelle mit speziell einstellbaren Eigenschaften eingesetzt werden kann.

[0037] Als Horn kann in diesem Zusammenhang eine Sonotrode mit einer bestimmten Form bezeichnet werden oder ein zusätzliches Bauteil, welches zwischen Ultraschall-Emitter und Sonotrode angeordnet ist. Zwischen Ultraschall-Emitter und Sonotrode kann das Horn die Amplitude des Ultraschall-Emitters verstärken. Material und Geometrie können so gewählt werden, dass das Horn als mechanischer Teil als Eigenfrequenz die Frequenz des Emitters bzw. ein Vielfaches davon besitzt. Das Material hat vorzugsweise die passende Ausbreitungsgeschwindigkeit für den Ultraschall haben und sollte diesen nur wenig dämpfen.

[0038] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Ultraschallvorrichtung eine Stehwelleneffekt-Ultraschallvorrichtung und/oder eine Nahfeldeffekt-Ultraschallvorrichtung. Auf diese Weise können die spezifischen Vorteile jeder Methode ausgenutzt oder sogar kombiniert werden. So kann die Tragkraft und die Selbstzentrierung (in axialer Richtung) verbessert werden.

[0039] Im Falle einer Stehwelleneffekt-Ultraschallvorrichtung kann ein Reflektor in einem Abstand des ganzzahligen Vielfachen der halben Wellenlänge einer Ultraschallquelle gegenüber stehen. Hierdurch wird die ausgesandte Ultraschallwelle auf sich selbst reflektiert, und es entstehen stehende Wellen der Schallschnelle und der Druckänderung, wobei die Knoten der Schallschnelle die Bäuche der Druckänderung sind. In die Knoten der Schallschnelle kann nun ein Gegenstand wie eine Messwelle (oder zumindest ein Teil davon wie z.B. ein Wellenelement) gelagert werden.

[0040] Im Falle einer Nahwelleneffekt-Ultraschallvorrichtung kann ein Gegenstand wie eine Messwelle (oder zumindest ein Teil davon wie z.B. ein Wellenelement) sehr nahe an eine Ultraschallquelle gebracht wird. Dabei kann ein ähnlicher Effekt wie in einem fluiddynamischen Lager entstehen, das Gas wird im Spalt komprimiert. Da je nach Qualität und Konstruktion der Sonotrode auch eine hohe Amplitude (2 bis 15 μm) des Schwingungserzeugers notwendig sein könnte, kann der Spalt nicht sehr klein werden (z.B. in dem Bereich 50 bis 500 μm Abstand).

[0041] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist der Motor ein Rotations(mess)motor, welcher eingerichtet ist die Welle, welche eine Messwelle ist, in Radialrichtung zu rotieren. Dies hat den Vorteil, dass die beschriebene Vorrichtung direkt in etablierte Systeme integriert werden kann.

[0042] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist der Motor ein Linear(mess)motor, welcher eingerichtet ist die Welle, welche eine Stellwelle ist, in Axialrichtung, insbesondere linear, zu bewegen. Dies hat den Vorteil, dass ein besonders effizientes und genaues Messgerät bereitgestellt werden kann.

[0043] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist der Probenträger zwischen der Messwelle und der Stellwelle angeordnet, insbesondere wobei die Messwelle und die Stellwelle sich, in Axialrichtung gesehen, im Wesentlichen gegenüberliegen. Dies kann den Vorteil haben, dass ein besonders (mess-) effizientes Messgerät bereitgestellt werden kann, bei welchem z.B. beide Wellen zumindest teilweise Ultraschall-gelagert sind.

[0044] Bezugnehmend auf Figur 8 ist unten ein Ausführungsbeispiel eines entsprechenden Messgeräts beschrieben, welches eine Messwelle und eine Stellwelle aufweist, wobei der Probenträger zwischen den beiden Wellen angeordnet ist. Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Stellwelle mittels Ultraschallquellen besonders gut zentriert und im Wesentlichen auslenkungsfrei gelagert werden. Ferner kann die Messwelle, wie oben beschrieben, insbesondere über

ein Wellenelement vorteilhaft Ultraschall-gelagert sein.

[0045] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das Messgerät ferner eine Messeinheit, insbesondere eine kapazitive Messeinheit, auf zum, (insbesondere kapazitiven) Messen der indikativen Information an dem Wellenelement. Dies kann den Vorteil haben, dass etablierte Systeme direkt in das beschriebene Messgerät integriert werden können.

[0046] Entsprechende Messeinheiten können dem Fachmann bekannt sein. Allerdings ist im vorliegenden Kontext durchaus überraschend, dass etablierte Messeinheiten mit dem Konzept des Ultraschall-Lagerns einer Messwelle in effizientem Zusammenspiel funktionieren können.

[0047] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das Messgerät ferner eine hermetisch (insbesondere fluiddicht) abschließbare Zelle, z.B. eine Druckzelle, auf, wobei zumindest ein Teil der Ultraschallvorrichtung, zumindest ein Teil der Welle, und der Probenträger in der hermetisch abschließbaren Zelle angeordnet sind. Verfahrenstechnisch wird das Messgerät zumindest teilweise in die Zelle eingebracht. Dies hat den Vorteil, dass eine sehr spezielle Messumgebung besonders effizient und ohne hohe Aufwendungen bereitgestellt werden kann.

[0048] In diesem Zusammenhang kann der Begriff „hermetisch abgeschlossen“ insbesondere fluiddicht bedeuten. Die Zelle kann für spezielle Messbedingungen verwendet werden, beispielsweise besonders hohe Drücke. Hierfür kann eine Druckzelle verwendet werden, in welche das Messgerät oder zumindest ein Teil des Messgeräts eingebracht werden. Die Druckzelle kann mit einem Druckprofil (z.B. mittels eines Druckbehälters) beaufschlagt werden, um einen spezifischen vorbestimmten Druck in der Zelle zu erzeugen.

[0049] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist das Messgerät ferner einen Druckbehälter auf zum Beaufschlagen der hermetisch abschließbaren Zelle mit einem Druckprofil. Dies kann den Vorteil haben, dass ein Druckprofil in der Druckzelle besonders effizient und robust realisiert werden kann.

[0050] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist bei dem Verfahren die hermetisch abgeschlossene Zelle mit einem Gas, welches eine höhere Dichte als Luft aufweist (z.B. Argon), zumindest teilweise gefüllt ist. Dies kann den Vorteil haben, dass die Steifigkeit des Lagers erhöht wird.

[0051] Bringt man das gesamte Rheometer (oder zumindest einen Teil davon) in einen geschlossenen Raum ein (z.B. eine Probenkammer), so kann hier auch mit dichteren Gasen als Luft gespült werden. Wenn keine besonders hohen Durchflussmengen (wie bei Druckluft) nötig sind, kann eine Probenkammer mit einem Gas wie Argon gespült werden. Damit kann die Steifigkeit des Fluidlagers erhöht werden.

[0052] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird das Messgerät oder zumindest ein Teil davon (z.B. zumindest ein Teil der Ultraschallvorrichtung, zumindest ein Teil der Welle, und der Probenträger) in einer speziellen Messumgebung verwendet. Eine spezielle Messumgebung kann in diesem Zusammenhang beispielsweise ein Reinraum (bzw. Reinstraum), ein Druckraum (z.B. Druckkammer oder Druckzelle), eine Inertumgebung, oder ein Druckluftentkoppelter Raum sein. Diese Aufzählung ist beispielhaft und nicht abschließend.

[0053] Der Begriff „Rein(st)raum“ kann eine Messumgebung bezeichnen, in welcher die Konzentration der (luftgetragenen) Teilchen sehr gering gehalten wird. Parameter wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Druck werden hierbei meist konstant gehalten, um jederzeit vergleichbare Bedingungen zu schaffen. Um die gewünschten Bedingungen herzustellen kommen oftmals zum Einsatz: Vakuumpumpen, angepasste Arbeitskleidung, spezielle Arbeitsmittel und Werkzeuge. Für Reinräume, insbesondere Reinsträume, kann es mehrere hierarchische Bereiche mit entsprechender Reinraumklasse geben (z.B. ISO Klassen).

[0054] Der Begriff „Druckkammer“ kann in diesem Zusammenhang eine Messumgebung bezeichnen, in welcher der Druck regulierbar ist. Eine solche Druckkammer kann während des Betriebes hermetisch (insbesondere fluiddicht) abgeschlossen sein. Eine kleinere, insbesondere zumindest teilweise mobile, Einheit einer Druckkammer kann auch als Druckzelle bezeichnet wer-

den.

[0055] Der Begriff „Inertumgebung“ kann eine Messumgebung bezeichnen, welche hermetisch und fluiddicht (bzw. gasdicht) abgeschlossen ist. Innerhalb der Inertumgebung kann eine definierte Atmosphäre zur Bearbeitung empfindlicher oder gefährlicher Stoffe erzeugt werden. Beispielsweise kann eine Inertumgebung mit einem inerten Gas (z.B. Argon) gefüllt sein. So kann eine Inertumgebung z.B. ein Argon-Handschuhkasten sein.

[0056] Der Begriff „Druckluft-entkoppelt“ kann insbesondere eine Messumgebung bezeichnen, in welcher keine Druckluft zur Anwendung kommt. Bei Messungen in Druckkammern bzw. Druckzellen kann der Einsatz von zusätzlicher Druckluft viele technische Nachteile bereiten, so dass eine Druckluft-entkoppelte Umgebung hier wünschenswert sein kann. Ferner ist beispielsweise ein Drucklufteinsatz auf Bohrinseln verboten, da die elektrostatischen Ladungen zu Zündfunken führen können.

[0057] Im Folgenden werden exemplarische Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit Verweis auf die folgenden Figuren detailliert beschrieben.

[0058] Figur 1 zeigt ein Messgerät mit einem Messantrieb gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0059] Figur 2 zeigt ein Messgerät mit einer Druckzelle gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0060] Figuren 3 bis 7 zeigen exemplarische Ausführungsbeispiele von Welle und der Ultraschallvorrichtung der Erfindung.

[0061] Figur 8 zeigt ein Messgerät mit einem Mehrfchantrieb gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0062] Gleiche oder ähnliche Komponenten in unterschiedlichen Figuren sind mit gleichen Bezugsziffern versehen.

[0063] Bevor bezugnehmend auf die Figuren exemplarische Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben werden, sollen noch einige allgemeine Aspekte der Erfindung erläutert werden:

[0064] Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel kann die Lagerung des Messantriebes in einem Rheometer über ein Ultraschall-Lager folgende Vorteile gegenüber herkömmlichen Luftlagern bereitstellen: i) kein „fließendes“ Gas (z.B. Druckluft) notwendig, ii) günstiger, weil keine Luftaufbereitung notwendig ist, iii) mobil und unabhängig von Druckluftverfügbarkeit, iv) in einer vollkommen geschlossenen Umgebung (z.B. Druckkammer) einsetzbar, v) einfacheres Design (keine porösen Materialien notwendig), vi) robuster durch höhere Luftspalte, vii) geringerer Energieverbrauch im Vergleich zu Druckluft. Gegenüber herkömmlichen Kugellagern bestehen die Vorteile von geringerer Restreibung und besserer Abgleichbarkeit (winkelkonstante Restreibungskurven).

[0065] Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel kann die Lagerung des Messantriebes in einem Rheometer über ein Ultraschall-Lager folgende weitere Vorteile bereitstellen: i) alternative Lagerformen zur einfacheren Fertigbarkeit (z.B. doppel-sphärisch, doppel-kegelig), ii) mit der kapazitiven Normalkraftmessung kombinierbar, iii) mit der bekannten Antriebstechnik kombinierbar, iv) skalierbar (Normalkraft und Querkraft Steifigkeit), v) Traglast kann auf alternative Gase (z.B. Argon) erhöht werden, vi) mögliche Verbesserung der Lagereigenschaften durch Ausnützung und Kombination des Stehwelleneffektes und des Nahfeldeffektes.

[0066] Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel kann bei einem Multi(mehrfach)antrieb-Rheometer ein Ultraschall-Lager in Gebrauch sein (bisher waren Luftlager in Verwendung). An der Welle eines Linearmotors können zumindest zwei, bevorzugt vier, Ultraschallquellen angeordnet sein, die in Kombination mit flachen Auslegern die Messwelle halten (Linearvorschub, Auslenkung entweder begrenzt linear oder in Oszillation). Dazu sind im Luftspalt einander gegenüber die Ultraschall-Emitter mit entsprechendem Horn angebracht. Spaltgeometrie kann hier so optimiert werden, dass die Steifigkeit für das Rheometer ausreichend ist. Die Tragfähigkeit kann

durch Gase höherer Dichte verstärkt werden, oder durch die Kombination von Lift- und Push-Moden für das Lager. An der Unterseite wird das Lager im Push-Modus abstoßend betrieben, damit wird die Gegenbewegung zur Gravitation verstärkt. An der Oberseite wird das Lager im Lift-Modus anziehend betrieben. Damit wird die Zentrierung im Rotationslager verbessert.

[0067] Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel kann für die rheologischen Messungen das wirkende Drehmoment ein zentraler Parameter sein. Das Drehmoment ist entweder bei einer Motorachse mit federnder Anordnung (z.B.: Brookfield Typ-Viskosimeter) aus dem Drehwinkel bestimmbar, oder es wird durch die Motorstromaufnahme für eine bestimmte Drehzahl gemessen (je nach Motortyp ist das Drehmoment M proportional zu Strom I oder I^2). Die Normalkraft oder auch axiale Auslenkung spielt für die dynamisch mechanische Analyse mit linearen Auslenkungen eine zentrale Rolle, aber auch bei der rotatorischen Versuchsdurchführung, wenn die Drehbewegung zusätzlich axiale Kräfte verursacht (beispielsweise Weissenberg Effekt).

[0068] Figur 1 zeigt ein Rheometer 101 zum Bestimmen einer für die rheologischen Eigenschaften (z.B. die Viskosität) einer Probe 150 (im vorliegenden Fall einer Flüssigkeit) indikativer Information. Das Messgerät 101 weist einen Messantrieb 100 auf, welcher einen Motor 110, eine Welle 120, und eine Ultraschallvorrichtung 130 hat. Die Welle 120 ist mit dem Motor 110 derart gekoppelt, dass die Welle 120 mittels des Motors 110 antreibbar ist. So ist der Motor 110 ein Rotationsmotor und kann die Welle 120, welche eine Messwelle ist, in Rotation versetzen. Die Ultraschallvorrichtung 130 ist in Axialrichtung A der Welle 120 angeordnet und stellt Ultraschall derart bereit, dass ein Teil der Welle 120 mittels des Ultraschalls 135 berührungsfrei gelagert werden kann.

[0069] Das Rheometer 101 hat einen Probenträger 155, auf welchen die Probenflüssigkeit 150 aufgetragen werden kann. Die Welle 120 ist hierbei an ein Messelement 156, ausgestaltet als ein Messkegel, gekoppelt, welches die Probe 150 bedeckt. Wenn nun die Welle 120 rotiert, so wirken sich die rheologischen Eigenschaften, insbesondere die Viskosität, der Probenflüssigkeit 150 auf die Bewegungscharakteristik, insbesondere auf das Drehmoment und/oder den Drehwinkel und/oder die Normalkraft N , der rotierenden Welle 120 aus. Zur Erfassung dieser Messgrößen bzw. Informationen, welche für die rheologischen Eigenschaften der Probenflüssigkeit 150 indikativ ist. Zur Drehmomentmessung kann das herrschende Drehmoment aus der Stromaufnahme des Messmotors bestimmt werden, zur Erfassung der Normalkraft N weist das Rheometer 101 eine Messeinheit 161 auf. Im vorliegenden Fall handelt es hierbei um eine kapazitive Messeinheit 161, welche eine Messung der Normalkraft N auf bekannte Weise über Kondensatoren durchführt. Die ermittelten Daten werden an eine Steuereinheit 160 weitergeleitet. Die Steuereinheit 160 ist weiterhin konfiguriert den Motor 110 zu steuern bzw. zu regulieren. Um die Messung vorteilhaft durchzuführen, weist die Welle 120 ein Wellenelement 125 in Form einer Scheibe auf, dessen Haupterstreckungsrichtung senkrecht in axialer Richtung A der Welle 120 an dieser angeordnet ist.

[0070] In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist insbesondere das Wellenelement 125 der Teil der Welle 120, welcher mittels der Ultraschallvorrichtung 130 berührungsfrei gelagert ist. Die Ultraschallvorrichtung ist hierbei eingerichtet, Ultraschall 135 derart bereitzustellen bzw. zu emittieren, dass das Wellenelement 125 (und damit auch zumindest teilweise die Welle 120) mittels des Ultraschalls levitierend, insbesondere reibungsfrei levitierend, gelagert ist. Die Ultraschallvorrichtung 130 weist vier Ultraschallquellen 131a, 131b, 131c, 131d auf, wobei, in Axialrichtung A der Welle 120 gesehen, zwei Ultraschallquellen 131a, 131b oberhalb und zwei Ultraschallquellen 131c, 131d unterhalb des Wellenelements 125 angeordnet sind. Ferner sind, in Radialrichtung R der Welle 120 gesehen, zwei Ultraschallquellen 131a, 131c im Wesentlichen gegenüberliegend den beiden anderen Ultraschallquellen 131b, 131d, mit der Welle 120 dazwischen, angeordnet. Bei dieser bevorzugten Ausführungsform ist die Ultraschallvorrichtung 130 eingerichtet, um das Wellenelement 125 sowohl in Axialrichtung A als auch in Radialrichtung R der Welle 120 berührungsfrei zu lagern. Der Luftspalt ist mit einem Gas mit einer höheren Dichte als Luft (z.B. Argon) gefüllt, um eine höhere Steifigkeit zu erreichen.

[0071] Figur 2 zeigt ein Messgerät 201 gemäß einem weiteren exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das Messgerät 201 weist zusätzlich eine hermetisch (insbesondere fluid-dicht) abschließbare Zelle 220 auf, bei welcher es sich um eine Druckzelle handelt. Ein Teil der Ultraschallvorrichtung 130, ein Teil der Welle 120b, und der Probenträger 155 samt Probe 150 sind in der Druckzelle 220 angeordnet. Das Messgerät 201 weist einen Druckbehälter 210 auf zum Beaufschlagen der Druckzelle 220 über ein Ventil 211 mit einem Druckprofil. Beispielsweise kann die Druckzelle 220 mit einer Hydraulik oder ähnlichen Mitteln unter Druck gesetzt werden.

[0072] Ein zweiter Teil der Messwelle 120b hat am oberen Ende Magnete 230b, die mit Magneten 230a eines ersten Teils der Messwelle 120a des Motors 110 koppeln. Der Messmotor 110 dreht den ersten Teil der Welle 120a mit den Permanentmagneten 230a und diese koppeln mit den Magneten 230b an dem zweiten Teil der Welle 120a in der geschlossenen Druckzelle 220. Es ist mit dieser Ausführungsform ermöglicht, mit Ultraschall-Lagerung eine fluiddichte Form bereitzustellen.

[0073] Figur 3 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel der Welle 120 und zwei Wellenelementen 125a, 125b. Die beiden Wellenelemente 125a, 125b sind an der Welle 120 angeordnet und hierbei räumlich voneinander beabstandet, so dass zwischen den beiden Wellenelementen 125a, 125b ein Zwischenraum 126 an der Welle 120 gebildet ist. Die Ultraschallvorrichtung 130 weist zwei Ultraschallquellen 131a, 131b auf, welche einander gegenüberliegend angeordnet sind. Jede Ultraschallquelle 131a, 131b weist einen Emitter 132a, 132b und eine Sonotrode 133a, 133b auf, wobei die Sonotroden 133a, 133b jeweils auf den Bereich der Welle 120 gerichtet sind, an welchem sich der Zwischenraum 126 befindet. Die Sonotroden 133a, 133b sind in Schall-Emissionsrichtung vor den Emittlern 132a, 132b angeordnet. Der von beiden Ultraschallquellen 131a, 131b emittierte Ultraschall 135 trifft aus gegenüberliegenden Richtungen auf den Zwischenraum 126, wodurch die zwei Wellenelemente 125a, 125b berührungsfrei gelagert werden. In dem gezeigten Beispiel sind beide Wellenelemente 125a, 125b als Halbkugeln ausgebildet, wobei der Zwischenraum 126 zwischen den gerundeten Flächen entsteht.

[0074] Figur 4 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel der Welle 120 und einem Wellenelement 125. Das Wellenelement 125 ist mit seiner Hauptstreckungsrichtung senkrecht zu der Axialrichtung A der Welle 120 orientiert und mit dieser gekoppelt. Die Ultraschallvorrichtung 130 ist derart eingerichtet, dass das Wellenelement 125 mittels des emittierten Ultraschalls 135 sowohl in Axialrichtung A als auch in Radialrichtung R der Welle 120 berührungsfrei gelagert ist. Hierfür weist die Ultraschallvorrichtung 130 vier Ultraschallquellen 131a-d auf. In Axialrichtung A der Welle 120 gesehen sind je zwei Ultraschallquellen 131a, 131b oberhalb und je zwei Ultraschallquellen 131c, 131d unterhalb des Wellenelements 125 angeordnet. Weiterhin, in Radialrichtung R der Welle 120 gesehen, sind je zwei Ultraschallquellen 131a, 131c gegenüberliegend den beiden anderen Ultraschallquellen 131b, 131d, mit der Welle 120 dazwischen, angeordnet.

[0075] Figur 5 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel der Welle 120 und der Ultraschallvorrichtung 130. Die Welle 120 ist eine Messwelle oder eine Stellwelle und zwei Ultraschallquellen 131a, 131b sind einander gegenüberliegend angeordnet, wobei die Welle 120 dazwischen angeordnet ist. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind vier Ultraschallquellen 131a-d (nicht gezeigt) um die Welle 120, jeweils einander gegenüberliegend angeordnet. Die Welle 120 kann rund (z.B. Stab-förmig), aber auch rechteckig ausgestaltet sein. Durch den emittierten Ultraschall 135 der Ultraschallquellen 131a, 131b kann die Welle 120 in einer bestimmten Position besonders effizient gelagert werden.

[0076] Figur 6 zeigt eine Draufsicht des für Figur 5 oben beschriebenen Ausführungsbeispiels, wobei vier Ultraschallquellen 131a-d um die Welle 120 herum angeordnet sind. In diesem Beispiel weisen die Ultraschallquellen 131a-d jeweils zwischen Emitter 132 und Sonotrode 133 ein Horn 134 auf.

[0077] Figur 7 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel der Welle 120 und der Ultraschallvorrichtung 130, wobei die Ultraschallvorrichtung 130 als eine Ummantelung der Welle 120 ausgestaltet ist. Hierbei können die Ultraschallquellen innerhalb der Ummantelung angebracht sein, oder die Innenseite der Ummantelung dient als eine Ultraschallquelle.

[0078] Figur 8 zeigt ein exemplarisches Ausführungsbeispiel eines Messgeräts 800, welches eine Messwelle 120 und eine Stellwelle 121 aufweist. Ein solches Multiantriebssystem verwendet eine Kombination aus einem Linearmotor 111, welcher die Stellwelle 121 antreibt und einem Rotationsmotor 110, welcher die Messwelle 120 antreibt. Hierbei kann eine gemeinsame Steuereinheit 160 sowohl den Rotationsmotor 110 als auch den Linearmotor 111 steuern bzw. regeln. Zusätzlich kann die Steuereinheit 160 die Drehzahl bzw. das Drehmoment überwachen (bzw. nachregeln) und ist hierfür mit einem Winkelencoder 166 und einem Momentdetektor 165 verbunden. Ein Probenträger 155, in welchen die Probenflüssigkeit 150 eingebracht werden kann, ist zwischen einem Messelement 156 am unteren Ende der Messwelle 120 und einem Messelement 157 am oberen Ende der Stellwelle 121 angeordnet. Sowohl die Messwelle 120 als auch die Stellwelle 121 können eine Kupplung 128 aufweisen. Auf Messgerät-Ebene ist der Rotationsmotor 110 in einem ersten Träger 170 und der Linearmotor 111 in einem zweiten Träger 171 des Messgeräts bereitgestellt. Die Träger 170, 171 sind an einem Stativ 180 befestigt und der erste Träger 170 kann über ein Stellteil 181 und eine Stellspindel 182 mittels eines Stellmotors 183 gegenüber dem zweiten Träger 171 in der Höhe verstellt werden. Das Zusammenspiel der rotierenden Messwelle 120 und der linear beweglichen Stellwelle 121 kann besonders genaue (rheologische) Messungen ermöglichen.

[0079] Die Messwelle 120 weist das oben bereits beschriebene Wellenelement 120 in Form einer Scheibe auf. Vier Ultraschallquellen 131a-d sind derart zu den Seiten der Welle 120 und des Wellenelements 125 angeordnet, dass das Wellenelement 125 in Axialrichtung A und in Radialrichtung R der Welle 120 berührungsfrei mittels Ultraschall-Levitation gelagert ist (siehe hierzu Beschreibung der Figur 4 oben). Zwei (bevorzugt vier) Ultraschallvorrichtungen 130 sind, in ähnlicher Weise wie in den Figuren 5 bis 7 gezeigt, um die Stellwelle 121 herum angeordnet. Der emittierte Ultraschall 135 sorgt dafür, dass die Auslenkung der Stellwelle 121 begrenzt wird und die Stabilität erhöht wird.

[0080] Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass „aufweisend“ keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

BEZUGSZEICHEN

100, 800	Messantrieb
101, 201	Messgerät, Rheometer
110	Motor, Rotationsmotor
111	Linearmotor
120	Welle, Messwelle
120a	Erster Wellenabschnitt
120b	Zweiter Wellenabschnitt
121	Stellwelle
125	Wellenelement
125a	Erstes Wellenelement
125b	Zweites Wellenelement
126	Zwischenraum
128	Kupplung
130	Ultraschallvorrichtung
131a-d	Ultraschallquelle
132a, b	Emitter
133a, b	Sonotrode
134	Horn
135	Ultraschall
150	Probe
155	Probenträger
156	Messelement
157	Weiteres Messelement
160	Steuerungseinheit
161	Kapazitative Messeinheit
165	Momentdetektor
166	Winkelencoder
170	Erster Träger
171	Zweiter Träger
180	Stativ
181	Stellteil
182	Stellspindel
183	Stellmotor
210	Druckbehälter
211	Druckventil
220	Druckzelle
230a, b	Magnete

Patentansprüche

1. Ein Messantrieb (100) für ein Rheometer, wobei der Messantrieb (100) aufweist:
einen Motor (110), insbesondere einen Messmotor (110);
eine Welle (120), welche mit dem Motor (110) derart gekoppelt ist, dass die Welle (120) mittels des Motors (110) antreibbar ist; und
eine Ultraschallvorrichtung (130), welche eingerichtet ist Ultraschall (135) derart an die Welle (120) bereitzustellen, dass zumindest ein Teil der Welle (120) mittels des Ultraschalls (135) im Wesentlichen berührungsfrei lagerbar ist.
2. Der Messantrieb (100) gemäß Anspruch 1,
wobei die Ultraschallvorrichtung (130) eingerichtet ist, den Ultraschall (135) derart zu emittieren, dass zumindest ein Teil der Welle (120) mittels des Ultraschalls (135) levitierend, insbesondere reibungsfrei levitierend, lagerbar ist.
3. Der Messantrieb (100) gemäß Anspruch 1 oder 2,
wobei die Ultraschallvorrichtung (130) zumindest zwei Ultraschallquellen (131a, 131b) aufweist, welche einander im Wesentlichen gegenüberliegend angeordnet sind, und
wobei zumindest ein Teil der Welle (120) zwischen den im Wesentlichen gegenüberliegenden Ultraschallquellen (131a, 131b) angeordnet ist.
4. Der Messantrieb (100) gemäß einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Welle (120) aufweist:
ein Wellenelement (125), welches mit seiner Hauptstreckungsrichtung im Wesentlichen senkrecht zu der Axialrichtung (A) der Welle (120) orientiert mit dieser gekoppelt ist, und
wobei die Ultraschallvorrichtung (130) derart eingerichtet ist, dass das Wellenelement (125) mittels des Ultraschalls (135) im Wesentlichen berührungsfrei lagerbar ist.
5. Der Messantrieb (100) gemäß Anspruch 4,
wobei die Ultraschallvorrichtung (130) eingerichtet ist, das Wellenelement (125) sowohl in Axialrichtung (A) als auch in Radialrichtung (R) der Welle (120) im Wesentlichen berührungsfrei zu lagern.
6. Der Messantrieb (100) gemäß Anspruch 5,
wobei die Ultraschallvorrichtung (130) zumindest vier Ultraschallquellen (131a-d) aufweist, wobei, in Axialrichtung (A) der Welle (120) gesehen, zwei Ultraschallquellen (131a, 131b) oberhalb und zwei Ultraschallquellen (131c, 131d) unterhalb des Wellenelements (125) angeordnet sind, und
wobei, in Radialrichtung (R) der Welle (120) gesehen, zwei Ultraschallquellen (131a, 131c) im Wesentlichen gegenüberliegend den beiden anderen Ultraschallquellen (131b, 131d), mit der Welle (120) dazwischen, angeordnet sind.
7. Der Messantrieb (100) gemäß Anspruch 4,
wobei die Welle (120) zumindest zwei Wellenelemente (125a, 125b) aufweist, welche räumlich voneinander beabstandet sind und dadurch einen Zwischenraum (126) bilden, und
wobei die Ultraschallvorrichtung (130) zumindest zwei Ultraschallquellen (131a, 131b) aufweist, welche einander derart im Wesentlichen gegenüberliegend angeordnet sind, dass emittierter Ultraschall (135) zumindest teilweise auf den Zwischenraum (126) trifft, wodurch die zumindest zwei Wellenelemente (125a, 125b) im Wesentlichen berührungsfrei lagerbar sind.
8. Der Messantrieb (100) gemäß einem beliebigen der Ansprüche 4 bis 7,
wobei zumindest ein Wellenelement (125) im Wesentlichen eine Form hat, welche ausgewählt ist aus der Gruppe, welche besteht aus einer Scheibe, einer Ringscheibe, einer Platte, einem Kegelstumpf, einer Halbkugel, oder einem Pyramidenstumpf.
9. Der Messantrieb (100) gemäß einem beliebigen der Ansprüche 3 bis 18,
wobei die Ultraschallquelle (131) einen Ultraschall-Emitter (132) und eine Sonotrode (133) aufweist,

wobei die Sonotrode (133) in Schall-Emissionsrichtung vor dem Emitter (132) angeordnet ist.

10. Der Messantrieb (100) gemäß Anspruch 9, wobei die Ultraschallquelle (131) ferner ein Horn (134) aufweist, welches zwischen dem Emitter (132) und der Sonotrode (133) angeordnet ist.
11. Der Messantrieb (100) gemäß einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ultraschallvorrichtung (130) eingerichtet ist als eine Stehwelleneffekt-Ultraschallvorrichtung und/oder eine Nahfeldeffekt-Ultraschallvorrichtung.
12. Der Messantrieb (100) gemäß einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Motor (110) ein Rotationsmessmotor ist, welcher eingerichtet ist die Welle (120), welche eine Messwelle (120) ist, in Radialrichtung (R) zu rotieren.
13. Der Messantrieb (800) gemäß einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Motor (110) ein Linearmessmotor (111) ist, welcher eingerichtet ist die Welle (120), welche eine Stellwelle (121) ist, in Axialrichtung (A), insbesondere linear, zu bewegen.
14. Ein Rheometer (101) zum Bestimmen einer für die rheologischen Eigenschaften einer Probe (150), insbesondere einer visko-elastischen Probe, weiter insbesondere einer Flüssigkeit, indikativer Information, wobei das Rheometer (101) aufweist:
einen Messantrieb (100) gemäß einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 13;
einen Probenenträger (155) zum Positionieren der Probe (150), wobei die Welle (120) mit der positionierten Probe (150) koppelbar ist.
15. Das Rheometer (101) gemäß Anspruch 14, wobei der Probenenträger (155) zwischen der Messwelle (120) und der Stellwelle (121) angeordnet ist, insbesondere wobei die Messwelle (120) und die Stellwelle (121) sich, in Axialrichtung (A) gesehen, im Wesentlichen gegenüberliegen.
16. Das Rheometer (101) gemäß Anspruch 14 oder 15, aufweisend:
eine Messeinheit (161), insbesondere eine kapazitive Messeinheit (161), zum Messen der indikativen Information an der Welle (120), insbesondere an dem Wellenelement (125).
17. Das Rheometer (101) gemäß einem beliebigen der Ansprüche 14 bis 16, ferner aufweisend:
eine hermetisch, insbesondere fluiddicht, abschließbare Zelle (220), insbesondere eine Druckzelle,
wobei zumindest ein Teil der Ultraschallvorrichtung (130), zumindest ein Teil der Welle (120), und der Probenenträger (155) in der hermetisch abschließbaren Zelle (220) angeordnet sind.
18. Das Rheometer (101) gemäß Anspruch 17, ferner aufweisend: einen Druckbehälter (210) zum Beaufschlagen der hermetisch abschließbaren Zelle (220) mit einem Druckprofil.
19. Verwenden des Rheometers (101) gemäß einem beliebigen der Ansprüche 14 bis 18 in einer speziellen Messumgebung, insbesondere einem Reinraum, einem Druckraum, einer Inertumgebung, oder einem Druckluft-entkoppelten Raum.
20. Ein Verfahren zum Bestimmen einer für die rheologischen Eigenschaften einer Probe (150), insbesondere einer visko-elastischen Probe, weiter insbesondere einer Flüssigkeit, indikativen Information mittels eines Rheometers, welches einen Motor (110), insbesondere einen Messmotor (110), und eine Welle (120) aufweist, welche Welle (120) mit dem Motor (110) gekoppelt ist, das Verfahren aufweisend:
Bereitstellen der Probe (150) und Koppeln der Welle (120) mit der Probe (150);
Antreiben der Welle (120) mittels des Motors (110), so dass die indikative Information auf die Bewegungscharakteristik der Welle (120) übertragen wird;
Emittieren von Ultraschall (135) mittels einer Ultraschallvorrichtung (130) an die Welle (120) derart, dass zumindest ein Teil der Welle (120) mittels des Ultraschalls (135) im Wesentlichen berührungsfrei gelagert wird; und
Erfassen der Bewegungscharakteristik der Welle (120), um die für die rheologischen Eigenschaften der Probe (150) indikative Information zu bestimmen.

21. Das Verfahren gemäß Anspruch 20, ferner aufweisend:
Einbringen von zumindest einem Teil des Rheometers (101), insbesondere zumindest eines Teils der Ultraschallvorrichtung (130), zumindest eines Teils der Welle (120), und der Probe (150), in eine hermetisch, insbesondere fluiddicht, abgeschlossenen Zelle (220), insbesondere einer Druckzelle.
22. Das Verfahren gemäß Anspruch 21, wobei die hermetisch abgeschlossene Zelle (220) mit einem Gas, welches eine höhere Dichte als Luft aufweist, insbesondere Argon, zumindest teilweise gefüllt ist.
23. Das Verfahren gemäß einem beliebigen der Ansprüche 20 bis 22, ferner aufweisend:
Emittieren von Ultraschall (135) mittels der Ultraschallvorrichtung (130) derart, dass ein Wellenelement (125), welches mit der Haupterstreckungsrichtung im Wesentlichen senkrecht zu der Axialrichtung (A) der Welle (120) orientiert mit dieser gekoppelt ist, in Axialrichtung (A) und in Radialrichtung (R) der Welle (120) im Wesentlichen berührungsfrei gelagert wird.
24. Verwenden einer Ultraschallquelle (131) zum im Wesentlichen berührungsfreien Lagern zumindest eines Teils einer Welle (120) in einem Rheometer.
25. Verwenden gemäß Anspruch 24, wobei zumindest ein Teil der Ultraschallquelle (131), zumindest ein Teil der Welle (120), und eine zu untersuchende Probe (150) in einer hermetisch, insbesondere fluiddicht, abgeschlossenen Zelle (220), insbesondere einer Druckzelle, angeordnet sind.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

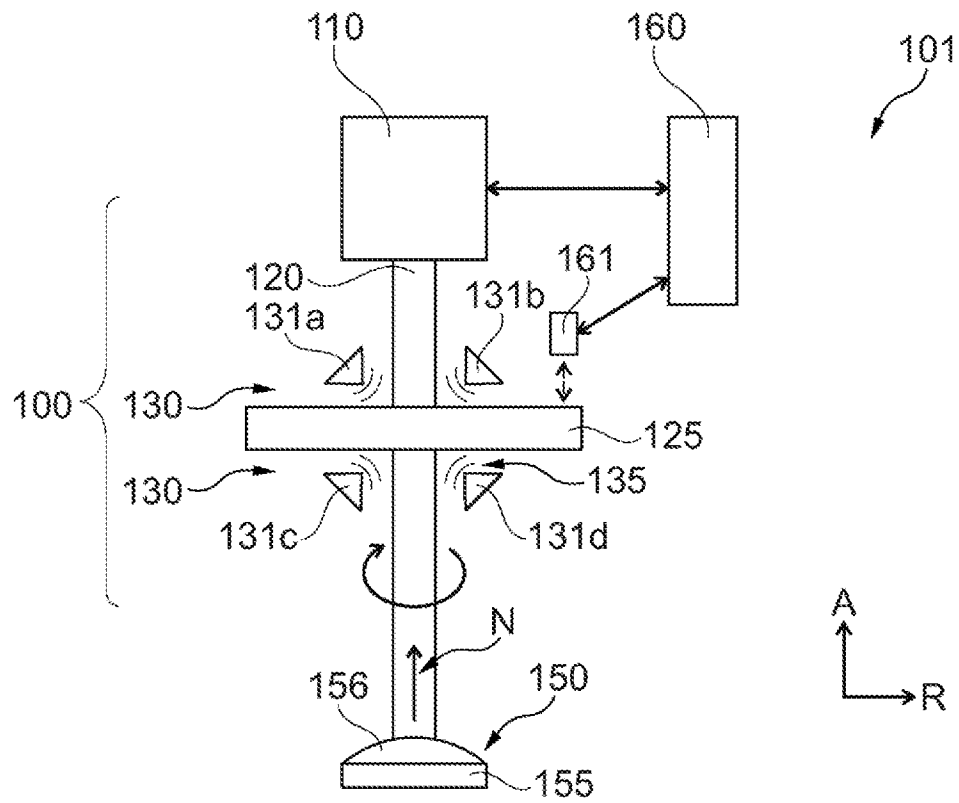


Fig. 1

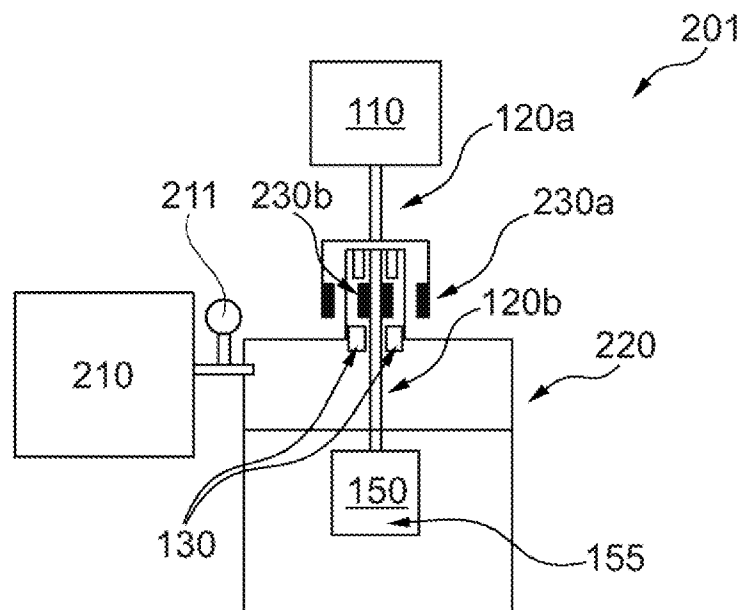


Fig. 2

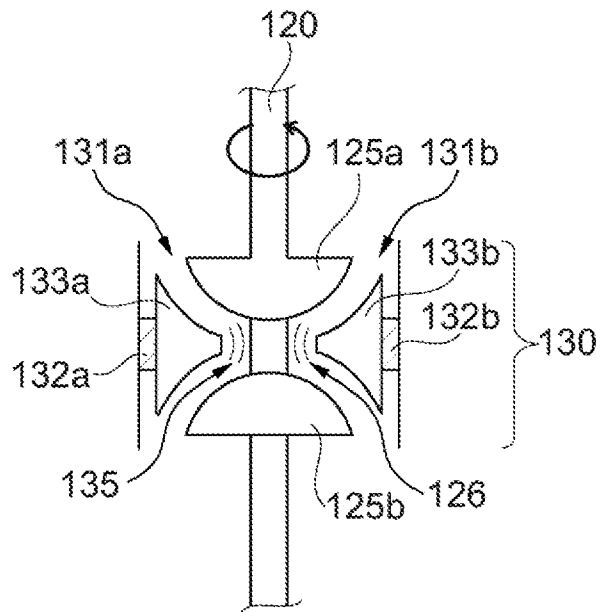


Fig. 3

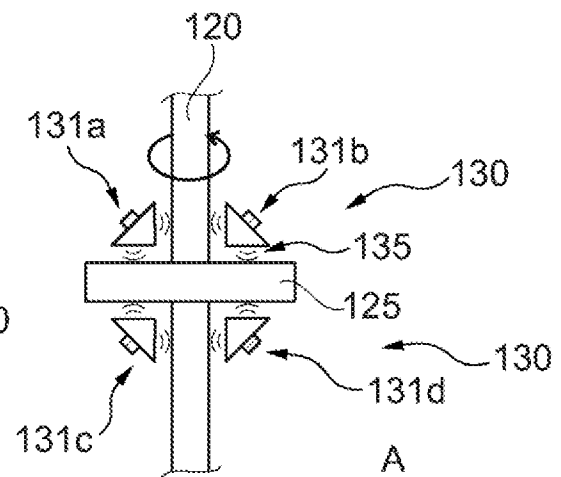


Fig. 4

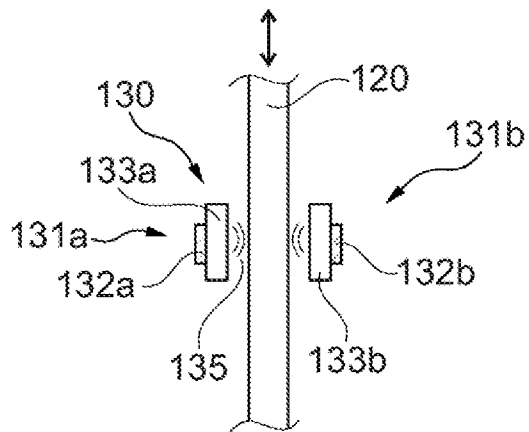


Fig. 5

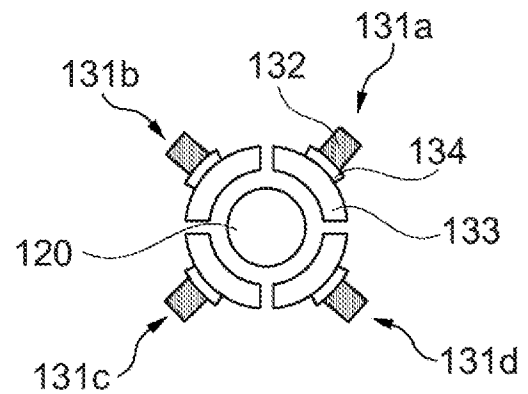


Fig. 6

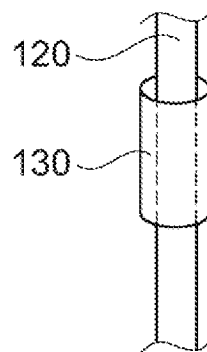


Fig. 7

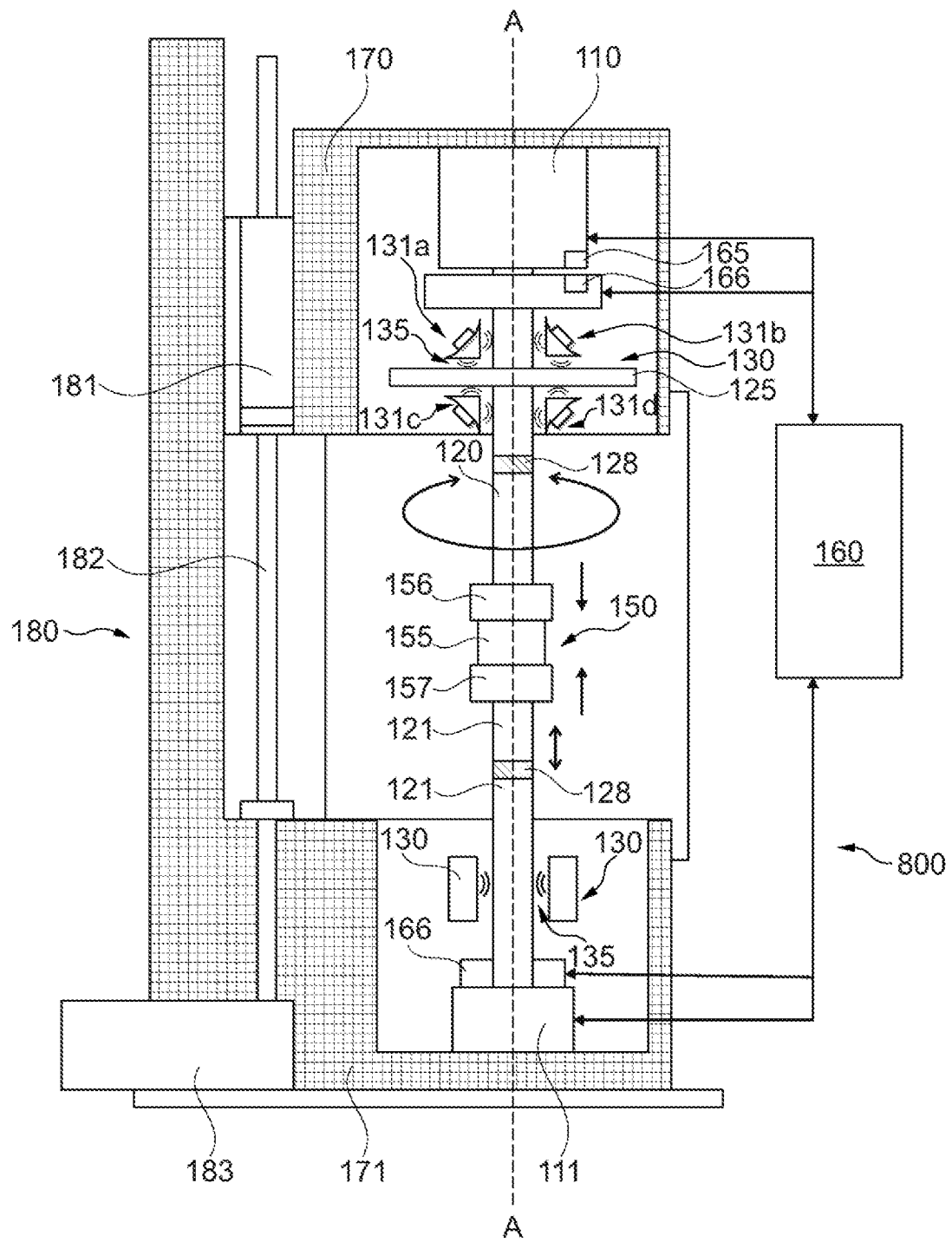


Fig. 8