



(10) **DE 10 2019 117 636 B3** 2020.07.23

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 117 636.0**
(22) Anmeldetag: **01.07.2019**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **23.07.2020**

(51) Int Cl.: **G01B 9/02 (2006.01)**
G12B 9/04 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH (IMMS GmbH), 98693 Ilmenau, DE; Physikalisch - Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE

(74) Vertreter:
PATENTSCHUTZengel, 98527 Suhl, DE

(72) Erfinder:
Hesse, Steffen, 98693 Ilmenau, DE; Katzschmann, Michael, 98693 Ilmenau, DE; Mohr, Hans-Ulrich, 98701 Großbreitenbach, DE; Schäffel, Christoph, Dr., 98693 Ilmenau, DE; Flügge, Jens, 38116 Braunschweig, DE

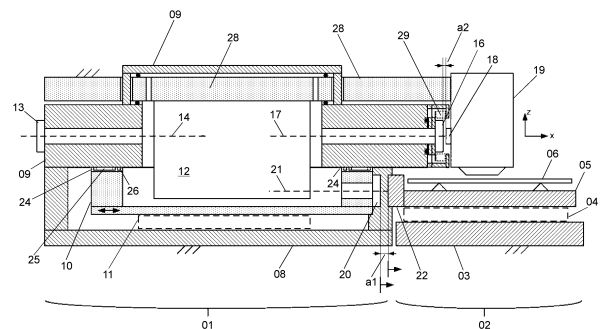
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 195 44 917 A1
EP 2 573 507 B1

TAKAHASHI, Akira ; MIWA, Nobuharu: An experimental verification of the compensation of length change of line scales caused by ambient air pressure. In: Measurement Science and Technology, Vol. 21, 2010, No. 4, Artikelnummer: 045305 (S. 1-7). - ISSN 0957-0233 (P); 1361-6501 (E). DOI: 10.1088/0957-0233/21/4/045305. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-0233/21/4/045305/pdf> [abgerufen am 2019-10-31]

(54) Bezeichnung: **Dichtungsanordnung für eine teilweise im Vakuum angeordnete Interferometerstrecke**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Dichtungsanordnung für eine teilweise im Vakuum angeordnete Interferometerstrecke. Die Dichtungsanordnung umfasst ein vakuumdichtes Gehäuse (09), eine Interferometereinheit (12), die im Gehäuse (09) angeordnet ist und einen Messlichtstrahl (21) bereitstellt, sowie einen Deckel (10), welcher das Gehäuse (09) in einer Verschlussebene vakuumdicht verschließt. Die Verschlussebene erstreckt sich parallel zur Achse des Messlichtstrahls (21). Am Deckel (10) ist ein Messfenster (20) zum Durchlass des Messlichtstrahls (21) angebracht. In der Verschlussebene zwischen dem Deckel (10) und dem Gehäuse (09) ist ein Deckel-Luftlager (24) ausgebildet, welches eine Verschiebung von Gehäuse (09) und Deckel (10) zueinander in mindestens einer Richtung der Verschlussebene gestattet. Das Deckel-Luftlager (24) ist gegenüber dem Innenraum des Gehäuses (09) vakuumdicht ausgebildet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Dichtungsanordnung für eine teilweise im Vakuum angeordnete Interferometerstrecke.

[0002] In der EP 2 573 507 B1 ist eine Präzisions-transportvorrichtung beschrieben, welche ein Laserinterferometer verwendet. Ein Abschnitt der Laserstrecke verläuft durch einen Balg, in welchem Vakuum ausgebildet sein kann.

[0003] Die DE 195 44 917 A1 beschreibt ein Interferometer zur Messung der Entfernung zu einem bewegbaren Gegenstand. Das Interferometer besitzt eine Laserumhüllung, die einen wesentlichen Teil des Weges des Messstrahles entlang eines Strahlweges auf eine reflektierende Oberfläche umschließt, um kontrollierte Umgebungsbedingungen bereitzustellen. Die Laserumhüllung kann in ihrer effektiven Länge variiert werden, wenn die reflektierende Oberfläche ihre Position relativ zu dem Laserinterferometer ändert, sodass ein wesentlicher Teil des Strahlweges durch die Umhüllung umschlossen bleibt.

[0004] Interferometer werden für Präzisionsmessungen, insbesondere auch für Längenmessungen im Nanometerbereich eingesetzt. Die Messung beruht auf der Detektion von Interferenzen, die bei der Überlagerung von Lichtwellen auftreten. Bei hohen Präzisionsanforderungen wirken sich bereits minimale Änderungen des Brechungsindex in Luft negativ aus. Um diese Fehlerquelle zu umgehen, verwendet beispielsweise ein von der Firma Nikon entwickelter Strichmaßkomparator einen Interferometeraufbau, dessen Interferometerstrecke teilweise im Vakuum verläuft und dazu von einem Metallbalg gekapselt ist (Akira Takahashi, Nobuharu Miwa: „An experimental verification of the compensation of length change of line scales caused by ambient air pressure“ in Measurement Science and Technology, Ausgabe 21, Nummer 4, 15.03.2010, 2010 IOP Publishing Ltd.). Der Balg ermöglicht eine Längenänderung und ist an seinem nach außen gerichteten Ende mit einem Fenster bestückt, so dass ein kleiner Restweg der Interferometerstrecke in Luft entsteht. Der Abstand zwischen dem Fenster und einem Messspiegel muss konstant gehalten werden. Der Einsatz eines solchen Balgs gestattet dies, hat aber u.a. den Nachteil, dass sich der minimale Messzirkel aufgrund des für den zusammengefalteten Balg benötigten Platzes verlängert. Durch die axiale Ausdehnung der Lamellen des Balgs wird der Abstand zwischen Mess- und Referenzstrahl im Interferometer stark vergrößert. Außerdem resultiert aus dem Differenzdruck zwischen Vakuum im Balg und der Atmosphäre außerhalb des Balgs, sowie aus der Federkonstante des Balgs eine Kraft auf das Gehäuse des Interferometer-teilers in Messrichtung, woraus sich zusätzliche Messfehler ergeben. Durch die Hysterese im Balg ist diese

Kraft auch regelungstechnisch nur schwer zu beherrschen.

[0005] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht ausgehend von dem zuvor genannten Stand der Technik darin, eine verbesserte Dichtungsanordnung für eine teilweise im Vakuum angeordnete Interferometerstrecke bereit zu stellen, welche die oben genannten Nachteile minimiert bzw. vermeidet.

[0006] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Dichtungsanordnung gemäß dem beigefügten Anspruch 1.

[0007] Die erfindungsgemäße Dichtungsanordnung für eine teilweise im Vakuum angeordnete Interferometerstrecke besitzt zunächst in herkömmlicher Weise ein Gehäuse, welches luftdicht ist, um darin ein Vakuum zu erzeugen. Vorzugsweise wird ein Hochvakuum erzeugt, beispielsweise im Bereich von 10^{-6} mbar. Im Gehäuse ist eine Interferometereinheit angeordnet mit den optischen Elementen, die dem Fachmann für die verschiedenen Bauarten von Interferometern bekannt sind und daher hier nicht näher beschrieben werden. Zur Interferometereinheit wird vorzugsweise von einer außerhalb des Gehäuses angeordneten Laserlichtquelle ein Laserstrahl eingekoppelt, wozu bevorzugt mindestens ein Koppelfenster am Gehäuse vorgesehen ist. Die Interferometereinheit stellt einen Messlichtstrahl und einen oder mehrere dazu vorzugsweise parallel laufende Referenzstrahlen bereit. Das Gehäuse ist durch einen Deckel in einer Verschlussebene vakuumdicht verschlossen. Erfindungsgemäß erstreckt sich die Verschlussebene parallel zur Achse des Messlichtstrahls und der Deckel trägt ein Messfenster zum Durchlass des Messlichtstrahls nach außen in Richtung zu einem Messspiegel, der nicht der Dichtungsanordnung zugehörig ist. Außerdem ist für die Erfindung wesentlich, dass in der Verschlussebene zwischen dem Deckel und dem Gehäuse ein Deckel-Luftlager ausgebildet ist, welches eine Verschiebung von Gehäuse und Deckel zueinander in der Verschlussebene gestattet. Diese Verschiebung ist linear in mindestens einer Richtung ermöglicht, vorzugsweise auch planar in beiden Richtungen der Verschlussebene. Das Deckel-Luftlager ist vakuumdicht ausgebildet, sodass das Vakuum im Gehäuse auch bei einer Verschiebung des Deckels aufrecht erhalten bleibt.

[0008] Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Dichtungsanordnung besteht darin, dass der für eine Längenmessung gebildete Messzirkel nur noch durch die Gehäusewand und das Messfenster verlängert wird. Diese Verlängerung kann wesentlich kleiner gehalten werden als beim Einsatz eines Balgs in der Messstrecke, wie es im Stand der Technik erfolgt. Auftretende Kräfte wirken beim erfindungsgemäßen Aufbau nur noch senkrecht zur Messrichtung und können durch ein massiv realisierbares Gehäuse

gut aufgenommen werden. Eine unerwünschte Verformung in Richtung des Messlichtstrahls wird damit vermieden.

[0009] Bevorzugte Ausführungsformen umfassen ein Gegenlager zu dem Deckel-Luftlager, welches bevorzugt dem Deckel-Luftlager gleicht. Hierdurch wird die Last komplett entkoppelt.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind im Deckel-Luftlager mehrere Absaugkanäle ausgebildet, welche an eine Vakuumpumpe anschließbar sind. Die Absaugkanäle schließen den druckbeaufschlagten Tragbereich des Deckel-Luftlagers ein, sodass dieser vom Innenraum des Gehäuses getrennt ist, um dort das Vakuum aufrecht zu erhalten.

[0011] Zur weiteren Reduzierung möglicher Messfehler ist die Optik der Interferometereinheit bevorzugt vollständig differenziell ausgelegt. Damit lassen sich vor allem die Auswirkungen reduzieren, die Temperaturschwankungen auf die optischen Elemente ausüben können.

[0012] Eine weitergebildete Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Interferometereinheit an einem Trägerrahmen befestigt ist, welcher sich vakuumdicht durch die Wandung des Gehäuses nach außen erstreckt. Am Trägerrahmen können außerhalb des Gehäuses beispielsweise ein Mikroskop oder eine andere Messeinheit angebracht sein. Am Trägerrahmen ist außerhalb des Gehäuses bevorzugt ein Referenzspiegel der Interferometereinheit angebracht; insbesondere an einer optischen Bearbeitungs- oder Bilderfassungseinheit.

[0013] Die beschriebene Dichtungsanordnung kann mit Anpassungen auch zur Messung der Brechzahl von Gasen eingesetzt werden.

[0014] Am Trägerrahmen ist bevorzugt auch ein fester Spiegel angeordnet, welcher gemeinsam mit einer zweiten Interferometereinheit zur Ausbildung einer Messvorrichtung zur Bestimmung der Brechzahl von Gasen dient. Mit der zweiten Interferometereinheit ist die Verschiebung des Mess- bzw. Koppelfensters zu messen.

[0015] Es ist zweckmäßig, wenn der Deckel einen U-förmigen Längsschnitt aufweist, also in der Form einer Wanne mit senkrecht zu einer Deckfläche stehenden Seitenwänden gestaltet ist. Das Messfenster kann in diesem Fall in einer der Seitenwände angebracht und senkrecht zur Verschlussebene ausgerichtet sein. Vorzugsweise erstreckt sich die Interferometereinheit über die Verschlussebene hinaus in den Deckel hinein, um den Messlichtstrahl in Richtung zum Messfenster zu richten.

[0016] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist der Deckel an einen Linear- oder Planarantrieb gekoppelt, welcher den Deckel in der Verschlussebene linear oder planar verschiebt, um den Abstand zwischen dem Messlichtfenster und einem externen Messspiegel konstant zu halten. Das Gehäuse ist stattdessen stationär.

[0017] Weitere Vorteile, Einzelheiten und Weiterbildungen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform einer Dichtungsanordnung für eine teilweise im Vakuum angeordnete Interferometerstrecke, unter Bezugnahme auf die Zeichnung.

Fig. 1 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines Interferometersystems mit einer beispielhaften Ausführungsform einer Dichtungsanordnung sowie einen angekoppelten Messtisch.

[0018] **Fig. 1** zeigt ein Interferometersystem **01**, welches mit einem Messtisch **02** zusammenwirkt. Der Messtisch **02** umfasst einen stationären Messtisch-Stator **03**, einen Messtisch-Antrieb **04** und einen Messschlitten **05**, auf welchem sich ein Messobjekt **06** befindet. Der Messschlitten **05** ist mindestens in x-Richtung, vorzugsweise in x- und y-Richtung verfahrbar.

[0019] Das Interferometersystem **01** umfasst einen Stator **08**, der ein stationäres Gehäuse **09** trägt. Das Gehäuse **09** ist vakuumdicht verschlossen durch einen Deckel **10**, der sich im dargestellten Beispiel an der Unterseite befindet. Der Deckel **10** ist an eine Antriebseinheit **11** gekoppelt, welche eine Bewegung des Deckels **10** in x-Richtung und/oder in y-Richtung ermöglicht, insbesondere um die für die Messung erforderlichen Strecken von beispielsweise etwa 300 mm.

[0020] Innerhalb des Gehäuses **09** befindet sich eine Interferometereinheit **12**, die sich teilweise in den Bereich des Deckels **10** erstreckt. Im Innenraum des Gehäuses **09** ist im Betriebszustand Vakuum ausgebildet, sodass der Großteil des Interferometerstrahlengangs im Vakuum verläuft. Am Gehäuse **09** ist ein Koppelfenster **13** vorgesehen, über welches ein Laserstrahl **14** zur Interferometereinheit **12** eingekoppelt wird. Außerdem trägt das Gehäuse **09** ein Referenzfenster **16**, über welches ein Referenzlichtstrahl **17** zu einem Referenzspiegel **18** geführt wird, der an einem externen Mikroskop **19** befestigt sein kann. An einer Seitenwand des Deckels **10** ist ein Messfenster **20** angebracht, welches einen Messlichtstrahl **21** passieren lässt zu einem Messspiegel **22**, der am Messschlitten **05** angebracht ist. Das Gehäuse **09** kann auch mehrere der Koppelfenster **13** und mehrere der Referenzfenster **16** umfassen. Bevorzugt ist die Interferometereinheit **12** vollständig winkelkompensiert ausgebildet, wofür sie beispielsweise zur Ausbildung von vier Teilstrahlen konfiguriert

ist. Daher können auch mehrere der Referenzfenster **16** und/oder mehrere der Messfenster **20** verwendet werden, um gleiche Durchbiegungseigenschaften bei Luftdruckänderungen wie im Messstrahl zu erzielen und damit eine bessere Fehlerkompensation zu erzielen.

[0021] Der Messlichtstrahl **21** verläuft zwischen dem Messfenster **20** und dem Messspiegel **22** in Luft. Der dort bestehende Abstand a_1 soll möglichst klein gewählt sein und muss während der Messung konstant gehalten werden. Dazu wird der Deckel **10** mit dem daran befestigten Messfenster **20** von der Antriebseinheit **11** der Bewegung des Messschlittens **05** nachgeführt.

[0022] Um die ein- oder zweidimensionale Bewegung des Deckels **10** gegenüber dem stationären Gehäuse **09** zu ermöglichen, ist in einer Verschluss-ebene, die parallel zum Messlichtstrahl **21** liegt und zwischen dem Deckel **10** und dem Gehäuse **09** verläuft, ein Deckel-Luftlager **24** ausgebildet. Das Deckel-Luftlager **24** besitzt einen zentralen Tragbereich **25**, der mit Druckluft versorgt wird, um die Tragfähigkeit des Deckel-Luftlagers herzustellen. Der Tragbereich **25** ist eingefasst von Absaugkanälen **26**, die als Nuten in umlaufenden Dichtstegen ausgebildet sein können. Die Absaugkanäle **26** werden im Betriebszustand z. B. mit einer Vakuumpumpe evakuiert, um das Eindringen der Lagerluft in den evakuierten Innenraum des Gehäuses **09** zu vermeiden. Vorzugsweise verläuft einer der Absaugkanäle **26** auf der nach außen gewandten Seite des Tragbereichs **25** und zwei weitere Absaugkanäle **26** verlaufen in parallelen Spuren an der zum Innenraum des Gehäuses **09** gerichteten Seite des Tragbereichs **25**.

[0023] In der gezeigten Ausführungsform ist die Interferometereinheit **12** an einem Trägerrahmen **28** befestigt. Der Trägerrahmen **28** erstreckt sich aus dem Gehäuse **09** heraus, wobei die Durchführungen gasdicht gestaltet sind, und trägt an einem vom Gehäuse **09** abgewandten Ende das Mikroskop **19** mit dem Referenzspiegel **18**. Dadurch ist eine stabile Verbindung der verschiedenen optischen Elemente des zum Referenzspiegel **18** verlaufenden optischen Interferometerarms gewährleistet, womit sich Messfehler weiter reduzieren lassen. Um den Trägerrahmen **28** frei von Deformationen zu halten bzw. solche Deformationen zu minimieren, ist das Vakuum beidseitig des innerhalb des Gehäuses **09** laufenden Abschnitts des Trägerrahmens **28** ausgebildet. Die Abdichtung des Vakuums zwischen dem Gehäuse **09** und dem Trägerrahmen **28** erfolgt vorzugsweise durch weiche flexible Dichtelemente (nicht gezeigt), die so angeordnet sind, dass wenig parasitäre Kräfte auf den Trägerrahmen **28** ausgeübt werden.

[0024] Der Abstand a_2 zwischen dem Referenzfenster **16** und dem Referenzspiegel **18** soll ebenfalls

möglichst konstant gehalten werden. Um dies auch bei auftretenden temperaturbedingten Längenänderungen zu gewährleisten, ist am Referenzfenster **16** ein Justageantrieb **29** angeordnet, welcher eine geringfügige axiale Verstellung des Referenzfensters **16** ermöglicht, beispielsweise im Bereich von etwa $100\mu\text{m}$.

Bezugszeichenliste

01	Interferometersystem
02	Messtisch
03	Messtisch-Stator
04	Messtisch-Antrieb
05	Messschlitten
06	Messobjekt
07	--
08	Stator
09	Gehäuse
10	Deckel
11	Antriebseinheit
12	Interferometereinheit
13	Koppelfenster
14	Laserstrahl
15	--
16	Referenzfenster
17	Referenzlichtstrahl
18	Referenzspiegel
19	Mikroskop
20	Messfenster
21	Messlichtstrahl
22	Messspiegel
23	--
24	Deckel-Luftlager
25	Tragbereich
26	Absaugkanäle
27	--
28	Trägerrahmen
29	Justageantrieb

Patentansprüche

1. Dichtungsanordnung für eine teilweise im Vakuum angeordnete Interferometerstrecke, umfassend:
- ein dichtes Gehäuse (09), in welchem ein Vakuum erzeugt werden kann;

- eine Interferometereinheit (12), die im Gehäuse (09) angeordnet ist und einen Messlichtstrahl (21) bereitstellt;

- einen Deckel (10), welcher das Gehäuse (09) in einer Verschlusssebene vakuumdicht verschließt;

dadurch gekennzeichnet, dass sich die Verschlusssebene parallel zur Achse des Messlichtstrahls (21) erstreckt, dass am Deckel (10) ein Messfenster (20) zum Durchlass des Messlichtstrahls (21) angebracht ist, und dass in der Verschlusssebene zwischen dem Deckel (10) und dem Gehäuse (09) ein Deckel-Luftlager (24) ausgebildet ist, welches eine Verschiebung von Gehäuse (09) und Deckel (10) zueinander in mindestens einer Richtung der Verschlusssebene gestattet, wobei das Deckel-Luftlager (24) gegenüber dem Innenraum des Gehäuses (09) vakuumdicht ausgebildet ist.

2. Dichtungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Deckel-Luftlager (24) eine mit Druckluft versorgbaren Tragbereich (25) sowie mindestens einen Absaugkanal (26) umfasst, welcher den Tragbereich (25) vom Innenraum des Gehäuses (09) abgrenzt und evakuierbar ist.

3. Dichtungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Deckel (10) an eine Antriebseinheit (11) gekoppelt ist, welche den Deckel (10) in der Verschlusssebene gegenüber dem stationär angeordneten Gehäuse (09) verschiebt, um den Abstand zwischen dem Messlichtfenster (20) und einem externen Messspiegel (22) konstant zu halten.

4. Dichtungsanordnung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass, die Antriebseinheit (11) und das Deckel-Luftlager (24) so ausgebildet sind, dass eine Verschiebung des Deckels (10) gegenüber dem Gehäuse (09) in zwei Richtungen in der Verschlusssebene ermöglicht ist.

5. Dichtungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Interferometereinheit (12) vollständig differenziell aufgebaut ist.

6. Dichtungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Interferometereinheit (12) an einem Trägerrahmen (28) befestigt ist, welcher sich vakuumdicht durch die Wandung des Gehäuses (09) nach außen erstreckt.

7. Dichtungsanordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Trägerrahmen (28) außerhalb des Gehäuses (09) ein Referenzspiegel (18) der Interferometereinheit (12) angebracht ist, insbesondere an einer optischen Bearbeitungs- oder Bildfassungseinheit.

8. Dichtungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Deckel

(10) ein U-förmiges Längsschnittprofil aufweist, dass das Messfenster (20) senkrecht zur Verschlusssebene steht, und dass sich die Interferometereinheit (12) über die Verschlusssebene hinaus in den Innenraum des Deckels (10) hinein erstreckt.

9. Dichtungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gehäuse (09) weiterhin mindestens ein Koppelfenster (13) zum Durchlass eines Laserstrahls (14) und mindestens ein Referenzfenster (16) zum Durchlass eines oder mehrere Referenzlichtstrahlen (17) umfasst.

10. Dichtungsanordnung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Referenzfenster (16) über einen Justageantrieb (29) am Gehäuse (09) befestigt ist, wobei der Justageantrieb (29) eine Verschiebung des mindestens einen Referenzfensters (16) in Achsenrichtung des bzw. der mehreren Referenzlichtstrahlen (17) gestattet.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

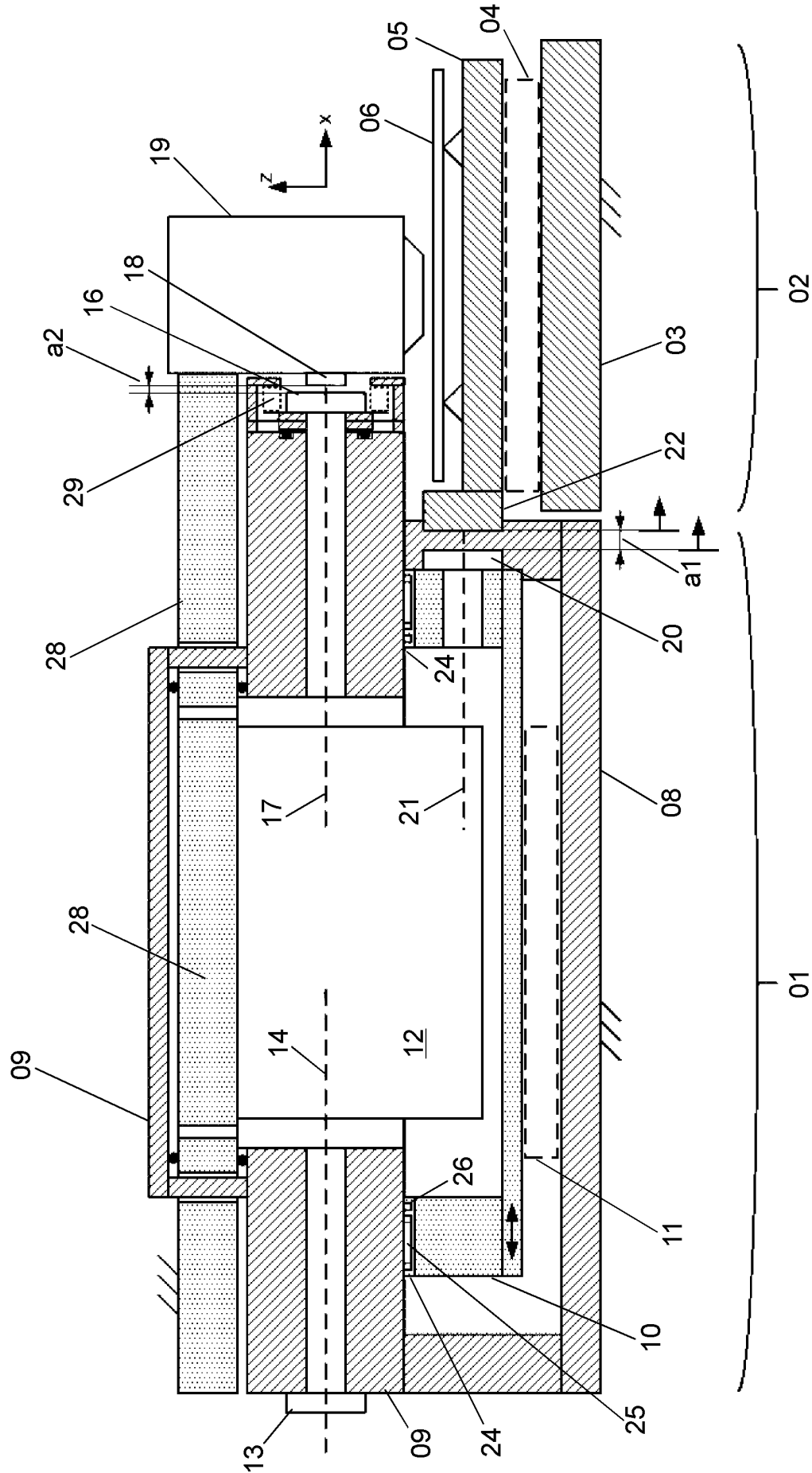


Fig. 1