



(10) **DE 10 2014 203 144 A1** 2015.08.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 203 144.3**

(22) Anmeldetag: **21.02.2014**

(43) Offenlegungstag: **27.08.2015**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2006.01)**

G02B 5/09 (2006.01)

G02B 7/182 (2006.01)

(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(72) Erfinder:

Schwertner, Tilman, 69198 Schriesheim, DE;

Figueredo, Stacy, 73447 Oberkochen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2011 010 462 A1

DE 10 2012 008 216 A1

DE 10 2013 111 801 A1

US 2003 / 0 179 377 A1

US 2004 / 0 051 984 A1

US 2007 / 0 084 461 A1

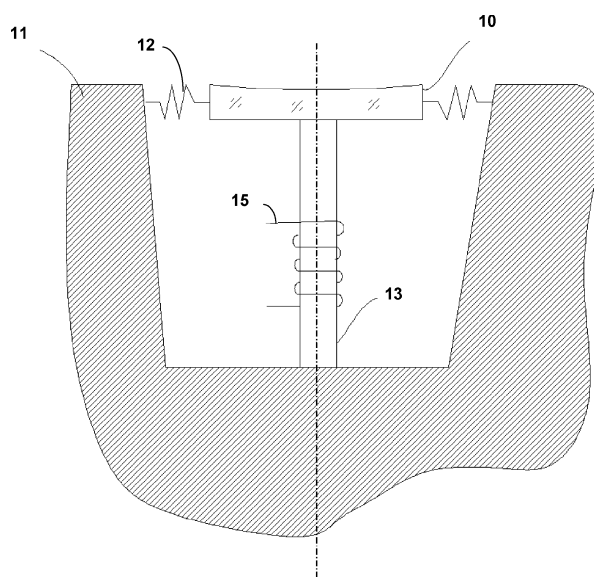
US 2012 / 0 267 550 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einem Element (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70) und wenigstens einer Temperiereinrichtung zur Temperierung dieses Elementes, wobei diese Temperiereinrichtung ein Kühlmedium in einem geschlossenen Kreislauf mit wenigstens einem rohrartigen Abschnitt aufweist, wobei dieses Kühlmedium in dem rohrartigen Abschnitt unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Überganges von dem Element weg oder zu dem Element hin transportierbar ist, und wobei eine Heizvorrichtung (15, 25) zur Unterbrechung des Kühlmediumtransports durch Aufheizung des Kühlmediums vorgesehen ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

[0002] Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCD's, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird in einer sogenannten Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist. Das Bild einer mittels der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Maske (= Retikel) wird hierbei mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (z.B. ein Siliziumwafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

[0003] In für den EUV-Bereich ausgelegten Projektionsobjektiven, d.h. bei Wellenlängen von z.B. etwa 13 nm oder etwa 7 nm, werden mangels Verfügbarkeit geeigneter lichtdurchlässiger refraktiver Materialien Spiegel als optische Komponenten für den Abbildungsprozess verwendet.

[0004] Ein in der Praxis auftretendes Problem ist, dass die EUV-Spiegel insbesondere infolge Absorption der von der EUV-Lichtquelle emittierten Strahlung eine Erwärmung und eine damit einhergehende thermische Ausdehnung bzw. Deformation erfahren, welche wiederum eine Beeinträchtigung der Abbildungseigenschaften des optischen Systems zur Folge haben kann.

[0005] In der Beleuchtungseinrichtung einer für den Betrieb im EUV ausgelegten mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage ist insbesondere der Einsatz von Facettenspiegeln in Form von Feldfacettenspiegeln und Pupillenfascettenspiegeln als bündelführende Komponenten z.B. aus DE 10 2008 009 600 A1 bekannt. Derartige Facettenspiegel sind aus einer Vielzahl von Einzelspiegeln oder Spiegelfacetten aufgebaut, welche jeweils zum Zwecke der Justage oder auch zur Realisierung bestimmter Beleuchtungswinkelverteilungen über Festkörpergelenke kippbar ausgelegt sein können. Diese Spiegelfacetten können wiederum ihrerseits eine Mehrzahl von Mikrosiegeln umfassen. Des Weiteren ist auch in einer Beleuchtungseinrichtung einer für den Betrieb bei Wellenlängen im VUV-Bereich ausgelegten mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage zur Einstellung definierter Beleuchtungssettings (d.h. Intensitätsverteilungen in einer Pupillenebene der Beleuchtungseinrichtung) der Einsatz von Spiegelanordnungen, z.B. aus WO 2005/026843 A2, bekannt, welche eine Viel-

zahl unabhängig voneinander einstellbarer Spiegelelemente umfassen.

[0006] Insbesondere bei solchen eine Mehrzahl von Spiegelelementen umfassenden Spiegelanordnungen stellt die Ableitung der eingangs erwähnten Wärmelasten eine anspruchsvolle Herausforderung dar, was vor allem auf die vergleichsweise engen Bauräume sowie die an den einzelnen Spiegelementen auftretenden relativ hohen Wärmelasten zurückzuführen ist. So gestaltet sich etwa bei der Abführung der Wärmelasten von flexibel gelagerten und aktuierbaren Spiegelementen diese Wärmeabfuhr u.a. deshalb als schwierig, da die vergleichsweise geringen Querschnitte von zur hochgenauen Positionierung bzw. Aktuierung verwendeten Festkörpergelenken wie z.B. flexiblen Blattfedern nur eine relativ schlechte Wärmeableitung an die umgebende Struktur ermöglichen.

[0007] Mit anderen Worten besteht eine anspruchsvolle Herausforderung insbesondere darin, in einer Spiegelanordnung mit in wenigstens einem Freiheitsgrad verstellbaren bzw. (z.B. um wenigstens eine Kippachse verkippbaren) Spiegelementen die flexible Verstellbarkeit mit einem wirksamen Abtransport der im Betrieb des optischen Systems auf den Spiegelementen auftretenden Wärmelasten zu kombinieren. Dieses Problem wird im Betrieb einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage dadurch noch verstärkt, dass die typischerweise vorhandenen Vakuumbedingungen (sowie ggf. eine bestehende Schutzgasatmosphäre) zur Folge haben, dass der Anteil an Wärmeabstrahlung in Form von Konvektion typischerweise vernachlässigbar ist, so dass für den Abtransport der besagten Wärmelasten im Wesentlichen nur der Prozess der Wärmeleitung (d.h. Konduktion) zur Verfügung steht.

[0008] Über den vorstehend diskutierten Wärmeabtransport hinaus besteht im Betrieb einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage ferner auch der Bedarf, ggf. eine gezielte Temperatursteuerung dahingehend zu verwirklichen, dass eines oder mehrere Spiegelemente auch auf eine im Vergleich zur Umgebung höhere Temperatur eingestellt werden können. Dies kann z.B. erstrebenswert sein, um im Bereich der optischen Wirkfläche eines Spiegelements die sogenannte Null-Durchgangstemperatur (= „Zero-Crossing-Temperatur“) einzustellen. Bei dieser „Zero-Crossing-Temperatur“ weist der thermische Ausdehnungskoeffizient in seiner Temperaturabhängigkeit einen Null-Durchgang auf, in dessen Umgebung keine oder nur eine vernachlässigbare thermische Ausdehnung des Spiegelsubstratmaterials erfolgt. Wenn nun z.B. diese „Zero-Crossing-Temperatur“ einen Wert besitzt, welcher die allgemeine Systemtemperatur bzw. die Temperatur der Umgebung des betreffenden Spiegelements übersteigt, kann daher anstelle einer bloßen „Kühlung“ des Spie-

gelelements auch eine Temperatursteuering im vorstehend beschriebenen Sinne wünschenswert sein.

[0009] Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf DE 10 2012 200733 A1, DE 10 2004 046 764 A1, US 8,188,595 B2, DE 10 2012 200 733 A1, US 4,467,861 sowie US 2003/0192669 A1 verwiesen.

[0010] Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, bereitzustellen, welche im Betrieb des optischen Systems eine verbesserte Temperatursteuering wenigstens eines mit elektromagnetischer Strahlung beaufschlagten Elementes ermöglicht.

[0011] Diese Aufgabe wird durch die Anordnung gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0012] Gemäß einem Aspekt der Erfindung betrifft die Erfindung eine Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit

- einem Element; und
- wenigstens einer Temperiereinrichtung zur Temperierung dieses Elementes;
- wobei diese Temperiereinrichtung ein Kühlmedium in einem geschlossenen Kreislauf mit wenigstens einem rohrartigen Abschnitt aufweist, wobei dieses Kühlmedium in dem rohrartigen Abschnitt unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Überganges von dem Element weg oder zu dem Element hin transportierbar ist; und
- wobei eine Heizvorrichtung zur Unterbrechung des Kühlmediumtransports durch Aufheizung des Kühlmediums vorgesehen ist.

[0013] Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, ausgehend von einem Aufbau mit einem in einem geschlossenen Kreislauf unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Überganges transportierbaren Kühlmedium (z.B. wie im Weiteren noch detaillierter beschrieben in einer sogenannten Heatpipe) eine Steuerung der Temperatur eines Elements (z.B. eines optischen Elements wie etwa eines Spiegelements) dadurch zu realisieren, dass mittels einer Heizvorrichtung eine Unterbrechung (also quasi ein „Ausschalten“ des Kreislaufs bzw. der Heatpipe) herbeigeführt werden kann.

[0014] Der Kühlmediumtransport kann z.B. unter Ausnutzung einer Kapillarwirkung, unter Ausnutzung einer stationären oder instationären Strömung infolge eines durch Konvektion bewirkten Differenzdrucks zwischen flüssiger und gasförmiger Phase oder auch unter Ausnutzung eines durch Konvektion innerhalb einer Dampfkammer bewirkten Flüssigkeitsdifferenz-

drucks erfolgen, wobei die vorstehend genannten Differenzdrücke auch in Kombination mit gravitationsbedingten Differenzdrücken genutzt werden können. Des Weiteren können die vorstehend genannten Differenzdrücke passiv (d.h. ohne Erfordernis einer Pumpe) oder auch aktiv (d.h. unter Einsatz einer Pumpe) realisiert werden. Ferner ist auch eine Kombination dahingehend möglich, dass etwa eine in einem weiteren bzw. sekundären geschlossenen Kreislauf arbeitende Pumpe vorgesehen ist, wobei ein Wärmeaustausch zwischen diesem Kreislauf und einem passiven Kreislauf (der benachbart zu bzw. unter dem Element angeordnet ist) stattfindet.

[0015] Dabei ist die Erfindung nicht auf die Realisierung des geschlossenen Kühlmediumkreislaufs in Form einer Heatpipe beschränkt, sondern vielmehr in Verbindung mit sämtlichen, einen Zwei-Phasen-Übergang beinhaltenden Wärmetransportsystemen (z.B. auch dem ebenfalls im Weiteren noch näher erläuterten Zwei-Phasen-Thermosiphon) einsetzbar. Diesen Systemen liegt jeweils das für sich bekannte Funktionsprinzip zugrunde, dass ein im geschlossenen Kreislauf (also z.B. der Heatpipe) vorhandenes flüssiges Kühlmedium bei Erwärmung in den gasförmigen Zustand und bei Abkühlung wieder zurück in den flüssigen Zustand wechselt.

[0016] Ausgehend von dem vorstehend beschriebenen Funktionsprinzip macht sich nun die Erfindung den Umstand zu Nutze, dass mittels der erfindungsgemäß eingesetzten Heizvorrichtung der innerhalb des geschlossenen Kreislaufs vorhandene Temperaturgradient gezielt verändert werden kann. Dies kann insbesondere etwa dahingehend erfolgen, dass durch Aufheizung des Kühlmediums zwischen dem Element und einem Kühler eine Situation geschaffen wird, in der ein für den Kühlmediumtransport bzw. Zwei-Phasen-Übergang relevanter Temperaturgradient zwischen dem Bereich der Aufheizung und dem Kühler vorliegt (wohingegen das optische Element in Richtung des Kreislaufs im Wesentlichen nicht mehr die Temperatur des Kühlers sondern die dem durch die Heizvorrichtung aufgeheizten Bereich entsprechende Temperatur „sieht“). Eine solche Konfiguration ist dann gleichbedeutend einem „Ausschalten“ des Kreislaufs bzw. der Heatpipe aus Sicht des Elements mit der Folge, dass sich dieses optische Element aufgrund der im Betrieb des optischen Systems einwirkenden Wärmelast entsprechend aufheizen kann.

[0017] Des Weiteren kann mittels der Heizvorrichtung durch Aufheizung des Kühlmediums auch eine Konfiguration eingestellt werden, in der das Kühlmedium im gesamten Kreislauf in der Gasphase vorliegt. Eine solche Konfiguration hat zur Folge, dass die Funktionalität des betreffenden Zwei-Phasen-Wärmetransportsystems (z.B. der Heatpipe) vollständig ausgeschaltet wird und somit ein Wärmetransport al-

lein auf den Effekt der Wärmeleitung (Konduktion) durch das betreffende Gas bzw. die dieses Gas umgebende (Rohr-)Wandung beschränkt ist.

[0018] Die erfindungsgemäße Heizvorrichtung kann insbesondere als (vorzugsweise ein- und ausschaltbare) elektrische Heizvorrichtung ausgestaltet sein.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform das Verhältnis zwischen Länge und Außendurchmesser dieses rohrartigen Abschnitts wenigstens 5:1, weiter insbesondere wenigstens 10:1, betragen.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform ist der rohrartige Abschnitt der erfindungsgemäßen Temperiereinrichtung elastisch verformbar. Insbesondere kann das Verhältnis zwischen Länge und Außendurchmesser dieses rohrartigen Abschnitts wenigstens 50:1, weiter insbesondere wenigstens 80:1, betragen.

[0021] Infolge der gemäß diesem weiteren Ansatz erzielten elastischen Verformbarkeit des rohrförmigen Abschnitts (insbesondere aufgrund der Ausführung des rohrförmigen Abschnitts bzw. der Heatpipe mit einem relativ zur Länge geringen Außendurchmesser) kann eine wesentliche Verringerung der Steifigkeit und damit des unerwünschten Einflusses parasitärer Kräfte erreicht werden mit der Folge, dass über die Lebensdauer des optischen Systems eine elastische Deformierung unter Vermeidung bzw. Verringerung einer Einkopplung von Vibrationen (z.B. aus einem angeschlossenen Kühlsystem) erreicht werden kann. Im Ergebnis wird so die zuvor beschriebene, erfindungsgemäß ermöglichte Temperaturregulation z.B. der verstellbaren Spiegelelemente einer Spiegelanordnung wie eines Facettenspiegels mit der Realisierung der für diese Verstellbarkeit gebotenen Beweglichkeit kombiniert.

[0022] Der zuletzt beschriebene Aspekt der flexiblen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Zwei-Phasen-Wärmetransportsystems (z.B. der Heatpipe) ist auch unabhängig von dem Konzept der Heizvorrichtung bzw. der hierdurch ermöglichten Ausschaltung des Zwei-Phasen-Wärmetransportsystems bzw. der Heatpipe vorteilhaft. Die Erfindung betrifft daher gemäß einem weiteren Aspekt auch eine Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit

- einem Element; und
- wenigstens einer Temperiereinrichtung zur Temperierung dieses Elementes;
- wobei diese Temperiereinrichtung ein Kühlmedium in einem geschlossenen Kreislauf mit wenigstens einem rohrartigen Abschnitt aufweist, wobei dieses Kühlmedium in dem rohrartigen Abschnitt unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Übergan-

ges von dem Element weg oder zu dem optischen Element hin transportierbar ist;

– wobei der rohrartige Abschnitt elastisch verformbar ist.

[0023] Des Weiteren betrifft die Erfindung auch eine Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit

- einem Element; und
- wenigstens einer Temperiereinrichtung zur Temperierung dieses Elementes;
- wobei diese Temperiereinrichtung ein Kühlmedium in einem geschlossenen Kreislauf mit wenigstens einem rohrartigen Abschnitt aufweist, wobei dieses Kühlmedium in dem rohrartigen Abschnitt unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Überganges von dem Element weg oder zu dem Element hin transportierbar ist; und
- wobei ein Verhältnis zwischen Länge und Außendurchmesser des rohrartigen Abschnitts wenigstens 50:1 beträgt.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform weist die Baugruppe wenigstens ein Festkörpergelenk auf, welches eine Verkippung des Elementes um wenigstens eine Kippachse ermöglicht.

[0025] Gemäß einer Ausführungsform ist dieses Festkörpergelenk in dem rohrartigen Abschnitt ausgebildet. Auf diese Weise kann eine zur Realisierung der Verstellbarkeit (z.B. Verkippung) des Elements benötigte Kinematik in den zur Ausbildung des geschlossenen Kreislaufs vorhandenen rohrartigen Abschnitt integriert werden. Die Erfindung ist jedoch hierauf nicht beschränkt. So kann in weiteren Ausführungsformen eine zur Realisierung der Verstellbarkeit des Elements benötigte Kinematik auch unabhängig von bzw. zusätzlich zu dem rohrartigen Abschnitt vorgesehen sein mit der Folge, dass dann die betreffende Kinematik ausgelegt werden kann, ohne eine zusätzliche thermische Funktionalität übernehmen zu müssen.

[0026] Gemäß einer Ausführungsform weist der rohrartige Abschnitt einen variierenden Querschnitt auf.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform ist ferner eine Pumpvorrichtung zur Manipulation des innerhalb des Kreislaufs vorliegenden Kühlmediumdrucks vorgesehen. Hierdurch wird es möglich, über das reine Ein- bzw. Ausschalten des Zwei-Phasen-Wärmetransportsystems (z.B. der Heatpipe) hinaus eine kontinuierliche Einstellung der Funktionalität des Zwei-Phasen-Wärmetransportsystems bzw. des durch dieses bewirkten Wärmetransports zu erreichen. Die Erfindung ist jedoch nicht auf ein „aktiv gepumptes“ System beschränkt, so dass auch Systeme ohne Pump-

vorrichtung bzw. mit passiver Strömung von der Erfindung umfasst sind.

[0028] Gemäß einer Ausführungsform ist die Temperiereinrichtung als Heatpipe ausgestaltet.

[0029] Gemäß einer Ausführungsform ist die Temperiereinrichtung als Zwei-Phasen-Thermosiphon ausgestaltet.

[0030] Gemäß einer Ausführungsform ist das Element ein reflektives optisches Element. In weiteren Ausführungsformen kann das Element auch ein Kollektorspiegel einer EUV-Lichtquelle oder eine Mikrolithographie-Maske sein.

[0031] Insbesondere kann das Element ein Spiegelement einer Spiegelanordnung aus einer Mehrzahl unabhängig voneinander verstellbarer Spiegelemente sein.

[0032] Gemäß einer Ausführungsform ist diese Spiegelanordnung ein Facettenspiegel, insbesondere ein Feldfacettenspiegel oder ein Pupillenfacettenspiegel.

[0033] Gemäß einer Ausführungsform ist das Element für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30 nm, insbesondere weniger als 15 nm, ausgelegt.

[0034] Die Erfindung betrifft weiter ein optisches System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere Beleuchtungseinrichtung oder Projektionsobjektiv, mit einer Baugruppe mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen, sowie auch eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit einem solchen optischen System.

[0035] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0036] Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0037] Es zeigen:

[0038] Fig. 1–Fig. 7 schematische Darstellungen zur Erläuterung des Aufbaus einer erfindungsgemäßen Baugruppe in unterschiedlichen Ausführungsformen der Erfindung; und

[0039] Fig. 8 eine schematische Darstellung einer für den Betrieb im EUV ausgelegten mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, in welcher die Erfindung beispielsweise realisierbar ist.

[0040] Im Weiteren wird zunächst unter Bezugnahme auf Fig. 1 der Aufbau einer erfindungsgemäßen Baugruppe in einer ersten Ausführungsform der Erfindung erläutert.

[0041] Wie in Fig. 1 lediglich schematisch dargestellt ist ein optisches Element **10**, bei dem es sich z.B. um ein Spiegelement einer Spiegelanordnung wie z.B. eines Facettenspiegels handeln kann, an eine Tragstruktur **11** über eine mechanische Ankopplung **12** gekoppelt. Das optische Element **10** kann insbesondere, wie in den weiteren Ausführungsformen noch näher beschrieben, in wenigstens einem Freiheitsgrad verstellbar (z.B. um wenigstens eine Kippachse kippbar) ausgelegt sein.

[0042] Die in Fig. 1 dargestellte Baugruppe weist ferner zur Temperierung des optischen Elementes **10** eine Temperiereinrichtung in Form einer Heatpipe **13** auf, welche einen geschlossenen Kreislauf mit einem rohrartigen Abschnitt bildet, innerhalb dessen ein (nicht dargestelltes) Kühlmedium unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Übergangs (z.B. wie bereits erwähnt unter Ausnutzung der Kapillarwirkung) von dem optischen Element **10** weg bzw. zu dem optischen Element **10** hin transportierbar ist. Dabei geht in für sich bekannter Weise in einem geschlossenen Kreislauf das flüssige Kühlmedium bei Erwärmung (im wärmeren Endabschnitt bzw. im Bereich des optischen Elementes **10**) in den gasförmigen Zustand über und wechselt im kälteren Endabschnitt bzw. im Bereich der Tragstruktur **11** (oder eines dort ggf. vorhandenen Kühlers) bei Abkühlung wieder zurück in den flüssigen Zustand.

[0043] Der Transport des flüssigen Kühlmediums zurück zum wärmeren Endabschnitt bzw. dem Bereich des optischen Elementes **10**, d.h. an den Ort der Verdampfung, kann hierbei beispielsweise unter Ausnutzung der Kapillarwirkung erfolgen. In weiteren Ausführungsformen kann der Kühlmediumtransport auch unter Ausnutzung einer stationären oder instationären Strömung infolge eines durch Konvektion bewirkten Differenzdrucks zwischen flüssiger und gasförmiger Phase oder auch unter Ausnutzung eines durch Konvektion innerhalb einer Dampfkammer bewirkten Flüssigkeitsdifferenzdrucks erfolgen.

[0044] Die für den Hin- und Rückfluss des Kühlmediums in der flüssigen bzw. gasförmigen Phase dienenden Kanäle können grundsätzlich in beliebiger Geometrie angeordnet sein und lediglich beispielhaft wie im Falle der Heatpipe **13** ineinander geschachtelt oder wie im Falle des in weiteren Ausführungen vorhandenen Zwei-Phasen-Thermosiphons auch voneinander räumlich getrennt bzw. beabstandet angeordnet sein.

[0045] Das innerhalb des Kreislaufs befindliche Kühlmedium kann je nach gewünschtem Tempera-

turbereich der Heatpipe **13** geeignet gewählt werden, wobei beispielsweise (jedoch ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre) Methanol oder Ethanol geeignete Kühlmedien sein können. Als Material der Heatpipe **13** bzw. des rohrartigen Abschnitts ist vorzugsweise ein duktilen (d.h. eine hohe Dauerelastizität aufweisendes) und korrosionsbeständiges Material geeignet, wie z.B. Kupfer (Cu) oder Silber (Ag). In weiteren Ausführungsformen kann als Material der Heatpipe **13** bzw. des rohrartigen Abschnitts auch Aluminium (Al) oder Edelstahl verwendet werden. Des Weiteren kann die Heatpipe **13** auch aus unterschiedlichen Materialien (z.B. einem duktilen Material im Bereich der Außenwandung und einem Geflecht z.B. aus Edelstahl im Bereich der Innenwandung) aufgebaut sein. Je nach den konkreten Abmessungen und je nach verwendetem Kühlmedium kann auch ein keramisches Material, beispielsweise auch ein Silizium(Si)-haltiges Material der Heatpipe **13** bzw. des rohrartigen Abschnitts verwendet werden.

[0046] Des Weiteren weist die in **Fig. 1** dargestellte Baugruppe eine elektrische Heizvorrichtung **15** auf, welche eine Aufheizung des Kühlmediums ermöglicht. Durch eine solche Aufheizung des Kühlmediums kann erreicht werden, dass der Kühlmediumtransport von dem optischen Element **10** weg bzw. zu dem optischen Element **10** hin zum Erliegen kommt, so dass die Funktionalität der Heatpipe **13** ausgeschaltet wird mit der Folge, dass sich das optische Element **10** im Betrieb des optischen Systems aufgrund der einwirkenden Wärmelast aufheizt. Aufgrund der ein- und ausschaltbaren Heizvorrichtung **15** ist somit auch die Wärmeleitung über die Heatpipe **13** schaltbar ausgeführt und demzufolge die Temperatur des optischen Elements **10** gezielt steuerbar.

[0047] Lediglich beispielhaft kann etwa die Temperatur des optischen Elementes **10** infolge der im Betrieb des optischen Systems auf die optische Wirkfläche des optischen Elementes **10** auftreffenden elektromagnetischen Strahlung 35°C betragen. Durch das Einschalten der Heizvorrichtung **15** kann der mittlere Bereich zwischen deren dem optischen Element **10** zugewandten Endabschnitt und dem der Tragstruktur **11** zugewandten Endabschnitt auf eine Temperatur von beispielsweise 50°C aufgeheizt werden. Infolgedessen erfolgt nun kein Wärmeabfluss mehr von dem optischen Element **10** hin zur Tragstruktur **11** (entsprechend der ursprünglichen thermischen Funktionalität der Heatpipe **13**), sondern von dem Bereich der Heizvorrichtung **15** bis hin zur Tragstruktur **11** (sowie ferner auch von dem Bereich der Heizvorrichtung **15** bis hin zum optischen Element **10**) mit der Folge, dass sich das optische Element **10** sowohl durch die Wärmelast der auftreffenden elektromagnetischen Strahlung als auch durch die von der Heizvorrichtung **15** zugeführte Wärme aufheizt.

[0048] Diese Aufheizung des optischen Elements **10** kann z.B. erfolgen, um im Bereich der optischen Wirkfläche des optischen Elements **10** bzw. des Spiegelements die bereits erwähnte Null-Durchgangstemperatur (= „Zero-Crossing-Temperatur“), bei der keine oder nur noch eine vernachlässigbare thermische Ausdehnung des Spiegelsubstratmaterials erfolgt, einzustellen, sofern nämlich diese Zero-Crossing-Temperatur die allgemeine Systemtemperatur bzw. die Temperatur der Umgebung des betreffenden Spiegelements übersteigt.

[0049] In weiteren Ausführungsformen der Erfindung kann auch eine Mehrzahl von Temperiereinrichtungen bzw. Heatpipes **10** analog zu **Fig. 1** z.B. in einer matrixartigen Anordnung (als „Array“) vorgesehen sein. Auf diese Weise kann auch eine orts aufgelöste Temperaturregelung erzielt werden (um z.B. eine über die Querschnittsfläche des optischen Elementes **10** variierende thermisch induzierte Deformation des optischen Elementes **10** zu erzielen).

[0050] Ein weiterer Aspekt der in **Fig. 1** gezeigten Baugruppe ist, dass der den geschlossenen Kreislauf bildende rohrförmige Abschnitt flexibel bzw. elastisch verformbar ausgestaltet ist. Dies wird im Ausführungsbeispiel dadurch erreicht, dass das Verhältnis zwischen Länge und Außendurchmesser des rohrartigen Abschnitts wenigstens 50:1, insbesondere wenigstens 80:1, beträgt. Beispielsweise kann die Länge des rohrförmigen Abschnitts einen Wert im Bereich von (50–100) mm aufweisen, wobei der Außendurchmesser z.B. 1 mm betragen kann.

[0051] In Ausführungsformen kann die Heatpipe **13** bzw. deren rohrartiger Abschnitt auch einen variierenden Querschnitt und oder eine spiralförmige Geometrie aufweisen, wodurch die mechanische Flexibilität erhöht (bzw. die Steifigkeit reduziert) und ggf. auch eine im Zusammenhang mit den weiteren Ausführungsformen noch beschriebene kinematische Funktionalität unterstützt werden kann.

[0052] Eine zur Realisierung der Verstellbarkeit (z.B. Verkipfung) des optischen Elements benötigte Kinematik kann in Ausführungsformen der Erfindung in den zur Ausbildung des geschlossenen Kreislaufs vorhandenen rohrartigen Abschnitt integriert oder auch zusätzlich (z.B. parallel) hierzu vorgesehen sein, wie jeweils im Weiteren anhand unterschiedlicher Ausführungsformen unter Bezugnahme auf **Fig. 2–Fig. 7** noch näher dargestellt wird.

[0053] **Fig. 2** zeigt ebenfalls in lediglich schematischer Darstellung eine erfindungsgemäße Baugruppe, wobei im Vergleich zu **Fig. 1** analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „10“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Dabei unterscheidet sich die Baugruppe von **Fig. 2** von derjenigen aus **Fig. 1** zum einen dadurch, dass

das die Temperiereinrichtung bildende Zwei-Phasen-Wärmetransportsystem nicht wie in **Fig. 1** als Heatpipe, sondern als sogenanntes Zwei-Phasen-Thermosiphon **23** ausgestaltet ist, wobei für den Zwei-Phasen-Wärmetransport voneinander beabstandete parallele rohrförmige Abschnitte (von denen der eine das verdampfte Kühlmedium vom optischen Element **20** weg und der andere das flüssige Kühlmedium zum optischen Element **20** hin transportiert) vorgesehen sind.

[0054] Des Weiteren sind in der Baugruppe von **Fig. 2** Festkörpergelenke **26** zur Realisierung der Verstellbarkeit des optischen Elements **20** in wenigstens einem Freiheitsgrad (beispielsweise zur Realisierung einer Verkipfung um wenigstens eine Kippachse) in dem rohrartigen Abschnitt ausgebildet bzw. in diesen dadurch integriert, dass der betreffende rohrartige Abschnitt an den geeigneten Stellen mit verringertem Durchmesser (also mit einer „Einschnürung“) ausgeführt ist.

[0055] In der Baugruppe gemäß **Fig. 2** erfolgt ferner die Temperierung des optischen Elements **20** nicht direkt bzw. unmittelbar, sondern über eine das optische Element **20** tragende Fassung bzw. Tragstruktur **24**. Die Erfindung ist jedoch hierauf nicht beschränkt, so dass die Temperierung des optischen Elements in dieser wie in den weiteren beschriebenen Ausführungsformen wahlweise direkt (wie z.B. gemäß **Fig. 1**) oder indirekt (wie z.B. gemäß **Fig. 2**) erfolgen kann.

[0056] **Fig. 3** zeigt in schematischer Darstellung eine weitere mögliche Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Baugruppe, wobei wiederum im Vergleich zu **Fig. 2** analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „10“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Die Baugruppe von **Fig. 3** unterscheidet sich von derjenigen aus **Fig. 2** zum einen dadurch, dass die Ausgestaltung der Temperiereinrichtung wiederum als Heatpipe **33** (insoweit analog zu **Fig. 1**) erfolgt. Des Weiteren ist die zur Realisierung der Verstellbarkeit (z.B. Verkipfbarkeit) des optischen Elements **30** erforderliche Kinematik gemäß **Fig. 3** dadurch realisiert, dass entsprechende Festkörpergelenke **36** separat von dem den Kreislauf herstellenden rohrförmigen Abschnitt bzw. der Heatpipe **33** ausgestaltet sind.

[0057] Infolge dieser funktionalen Trennung kann somit die Kinematik (d.h. insbesondere die Festkörpergelenke **36**) ausgelegt werden, ohne zugleich auch die Funktionalität der thermischen Steuerung übernehmen zu müssen. Die Erfindung ist jedoch hierauf nicht beschränkt, so dass die Realisierung der erforderlichen Kinematik bzw. die Ausbildung der hierzu benötigten Festkörpergelenke hier wie in den weiteren Ausführungsformen alternativ wahlweise entweder integriert in das Zwei-Phasen-Wärme-

transportsystem ((z.B. Heatpipe), insoweit analog zu **Fig. 2**), oder auch separat hiervon (insoweit analog zu **Fig. 3**) erfolgen kann.

[0058] Des Weiteren erfolgt gemäß **Fig. 3** die thermische Ankopplung des thermischen Elements **10** über das Zwei-Phasen-Wärmetransportsystem bzw. die Heatpipe **33** nicht unmittelbar an die Tragstruktur **31**, sondern an einen Kühler **39**, welcher von einer in **Fig. 3** lediglich angedeuteten Kühlflüssigkeit **39a** durchströmt und durch eine Wärmeisolationsschicht **38** von der Tragstruktur **31** getrennt ist. Die thermische Ankopplung des optischen Elements **30** über das Zwei-Phasen-Wärmetransportsystem kann jedoch hier wie in den weiteren Ausführungsformen wahlweise entweder über einen Kühler (insoweit analog zu **Fig. 3**) oder auch direkt an die Tragstruktur (insoweit analog zu **Fig. 2**) erfolgen.

[0059] **Fig. 4** zeigt in schematischer Darstellung eine weitere mögliche Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Baugruppe, wobei wiederum im Vergleich zu **Fig. 3** analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „100“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Die Baugruppe von **Fig. 4** unterscheidet sich von derjenigen aus **Fig. 3** lediglich dadurch, dass gemäß **Fig. 4** die Temperierung des optischen Elements **40** durch die Heatpipe **43** nicht wie in **Fig. 3** indirekt über eine Fassung bzw. Tragstruktur **34**, sondern unmittelbar erfolgt.

[0060] **Fig. 5** zeigt in schematischer Darstellung eine weitere mögliche Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Baugruppe, wobei wiederum zu **Fig. 4** analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „100“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Die Ausgestaltung der Baugruppe gemäß **Fig. 5** erfolgt im Wesentlichen vergleichbar zu derjenigen von **Fig. 2**, wobei jedoch auf die in der Baugruppe von **Fig. 2** vorhandene Heizvorrichtung **25** verzichtet wurde.

[0061] **Fig. 6** zeigt in schematischer Darstellung eine weitere mögliche Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Baugruppe, wobei wiederum im Vergleich zu **Fig. 5** analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „100“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Die Ausgestaltung der Baugruppe von **Fig. 6** unterscheidet sich von derjenigen aus **Fig. 1** dadurch, dass zum einen ein Festkörpergelenk **66** (in Form einer Einschnürung) in die Heatpipe **63** integriert ist, also wiederum die zur Realisierung der Verstellbarkeit des optischen Elements **60** in wenigstens einem Freiheitsgrad (z.B. der Verkipfung um wenigstens eine Kippachse) benötigte Kinematik in den zur Ausbildung des geschlossenen Kreislaufs vorhandenen rohrartigen Abschnitt der Temperiereinrichtung integriert ist. Zum anderen wurde in **Fig. 6** auf die in **Fig. 1** vorhandene Heizvorrichtung **15** und

somit auf die Ein- und Ausschaltbarkeit der Heatpipe **63** verzichtet.

[0062] Fig. 7 zeigt in schematischer Darstellung eine weitere mögliche Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Baugruppe, wobei wiederum im Vergleich zu Fig. 6 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „100“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Die Baugruppe von Fig. 7 unterscheidet sich von derjenigen aus Fig. 6 lediglich dadurch, dass Festkörpergelenke **76** zur Realisierung der Verstellbarkeit (z.B. Verkipfbarkeit) des optischen Elements **70** nicht in die Heatpipe **73** integriert, sondern in Form einer separaten Kinematik vorgesehen sind.

[0063] Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage, in welcher die vorliegende Erfindung realisierbar ist. In weiteren Anwendungsbeispielen ist die Erfindung z.B. auch in einer EUV-Lichtquelle (etwa um eine Temperatursteuerung des darin vorhandenen Kollektorspiegels, welcher typischerweise ebenfalls hohen Wärmelasten ausgesetzt ist, zu erzielen) realisierbar.

[0064] Gemäß Fig. 8 weist eine Beleuchtungseinrichtung in einer für EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage **800** in einer lediglich beispielhaften Ausführungsform einen Feldfacettenspiegel **803** und einen Pupillenfacettenspiegel **804** auf. Auf den Feldfacettenspiegel **803** wird das Licht einer Lichtquelleneinheit, welche eine Plasmalichtquelle **801** und einen Kollektorspiegel **802** umfasst, gelenkt. Im Lichtweg nach dem Pupillenfacettenspiegel **804** sind ein Spiegel **805** und ein Spiegel **806** angeordnet. Im Lichtweg nachfolgend ist ein Umlenkspiegel **807** angeordnet, der die auf ihn treffende Strahlung auf ein Objektfeld in der Objektebene eines sechs Spiegel **851–856** umfassenden Projektionsobjektivs lenkt. Am Ort des Objektfeldes ist eine reflektive strukturtragende Maske **821** auf einem Maskentisch **820** angeordnet, die mit Hilfe des Projektionsobjektivs in eine Bildebene abgebildet wird, in welcher sich ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes Substrat **861** auf einem Wafertisch **860** befindet.

[0065] Eine Realisierung der vorliegenden Erfindung in der Projektionsbelichtungsanlage **800** von Fig. 8 kann lediglich beispielhaft dadurch erfolgen, dass die einzelnen Spiegelemente bzw. Spiegelfacetten des Feldfacettenspiegels **803** oder auch des Pupillenfacettenspiegels **804** als optische Elemente im Sinne der vorstehenden Beschreibung temperiert werden. Die Erfindung ist jedoch auf diese Anwendung nicht beschränkt und auf beliebige andere optische Elemente anwendbar. Dabei ist eine Anwendung nicht auf reflektive optische Elemente beschränkt, sondern auch in Verbindung mit beliebigen anderen optischen Elementen (z.B. refraktiven optischen Elementen in

einer für den Betrieb im DUV-Bereich, etwa bei Wellenlängen unterhalb von 250nm, insbesondere unterhalb von 200nm) möglich.

[0066] Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102008009600 A1 [0005]
- WO 2005/026843 A2 [0005]
- DE 102012200733 A1 [0009, 0009]
- DE 102004046764 A1 [0009]
- US 8188595 B2 [0009]
- US 4467861 [0009]
- US 2003/0192669 A1 [0009]

Patentansprüche

1. Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit

- einem Element (**10, 20, 30, 40, 50, 60, 70**); und
- wenigstens einer Temperiereinrichtung zur Temperierung dieses Elementes;
- wobei diese Temperiereinrichtung ein Kühlmedium in einem geschlossenen Kreislauf mit wenigstens einem rohrartigen Abschnitt aufweist, wobei dieses Kühlmedium in dem rohrartigen Abschnitt unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Überganges von dem Element weg oder zu dem Element hin transportierbar ist; und
- wobei eine Heizvorrichtung (**15, 25**) zur Unterbrechung des Kühlmediumtransports durch Aufheizung des Kühlmediums vorgesehen ist.

2. Baugruppe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Heizvorrichtung (**15, 25**) eine elektrische Heizvorrichtung ist.

3. Baugruppe nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der rohrartige Abschnitt elastisch verformbar ist.

4. Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Verhältnis zwischen Länge und Außendurchmesser des rohrartigen Abschnitts wenigstens 5:1, insbesondere wenigstens 10:1, beträgt.

5. Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Verhältnis zwischen Länge und Außendurchmesser des rohrartigen Abschnitts wenigstens 50:1, insbesondere wenigstens 80:1, beträgt.

6. Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit

- einem Element (**10, 20, 30, 40, 50, 60, 70**); und
- wenigstens einer Temperiereinrichtung zur Temperierung dieses Elementes;
- wobei diese Temperiereinrichtung ein Kühlmedium in einem geschlossenen Kreislauf mit wenigstens einem rohrartigen Abschnitt aufweist, wobei dieses Kühlmedium in dem rohrartigen Abschnitt unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Überganges von dem Element weg oder zu dem Element hin transportierbar ist;
- wobei der rohrartige Abschnitt elastisch verformbar ist.

7. Baugruppe eines optischen Systems, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit

- einem Element (**10, 20, 30, 40, 50, 60, 70**); und

- wenigstens einer Temperiereinrichtung zur Temperierung dieses Elementes;
- wobei diese Temperiereinrichtung ein Kühlmedium in einem geschlossenen Kreislauf mit wenigstens einem rohrartigen Abschnitt aufweist, wobei dieses Kühlmedium in dem rohrartigen Abschnitt unter Durchführung eines Zwei-Phasen-Überganges von dem Element weg oder zu dem Element hin transportierbar ist;
- wobei ein Verhältnis zwischen Länge und Außendurchmesser des rohrartigen Abschnitts wenigstens 50:1 beträgt.

8. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Baugruppe wenigstens ein Festkörpergelenk (**26, 36, 46, 56, 66, 76**) aufweist, welches eine Verstellung des Elementes in wenigstens einem Freiheitsgrad ermöglicht.

9. Baugruppe nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses Festkörpergelenk (**26, 56, 66**) in dem rohrartigen Abschnitt ausgebildet ist.

10. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der rohrartige Abschnitt einen variierenden Querschnitt aufweist.

11. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ferner eine Pumpvorrichtung vorgesehen ist.

12. Baugruppe nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpvorrichtung zur Manipulation des innerhalb des Kreislaufs vorliegenden Kühlmediumdrucks ausgestaltet ist.

13. Baugruppe nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpvorrichtung in einem in Wärmeaustausch mit dem ersten Kreislauf stehenden sekundären Kreislauf vorgesehen ist.

14. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperiereinrichtung als Heatpipe (**13, 33, 43, 63, 73**) ausgestaltet ist.

15. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperiereinrichtung als Zwei-Phasen-Thermosiphon (**23, 53**) ausgestaltet ist.

16. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese eine Mehrzahl von Temperiereinrichtungen, insbesondere in einer matrixförmigen Anordnung, aufweist.

17. Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Element (**10, 20, 30, 40, 50, 60, 70**) ein reflektives optisches Element ist.

18. Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Element ein Kollektorspiegel einer EUV-Lichtquelle ist.

19. Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Element eine Mikrolithographie-Maske ist.

20. Baugruppe nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Element (**10, 20, 30, 40, 50, 60, 70**) ein Spiegelement einer Spiegelanordnung aus einer Mehrzahl unabhängig voneinander verstellbarer Spiegelemente ist.

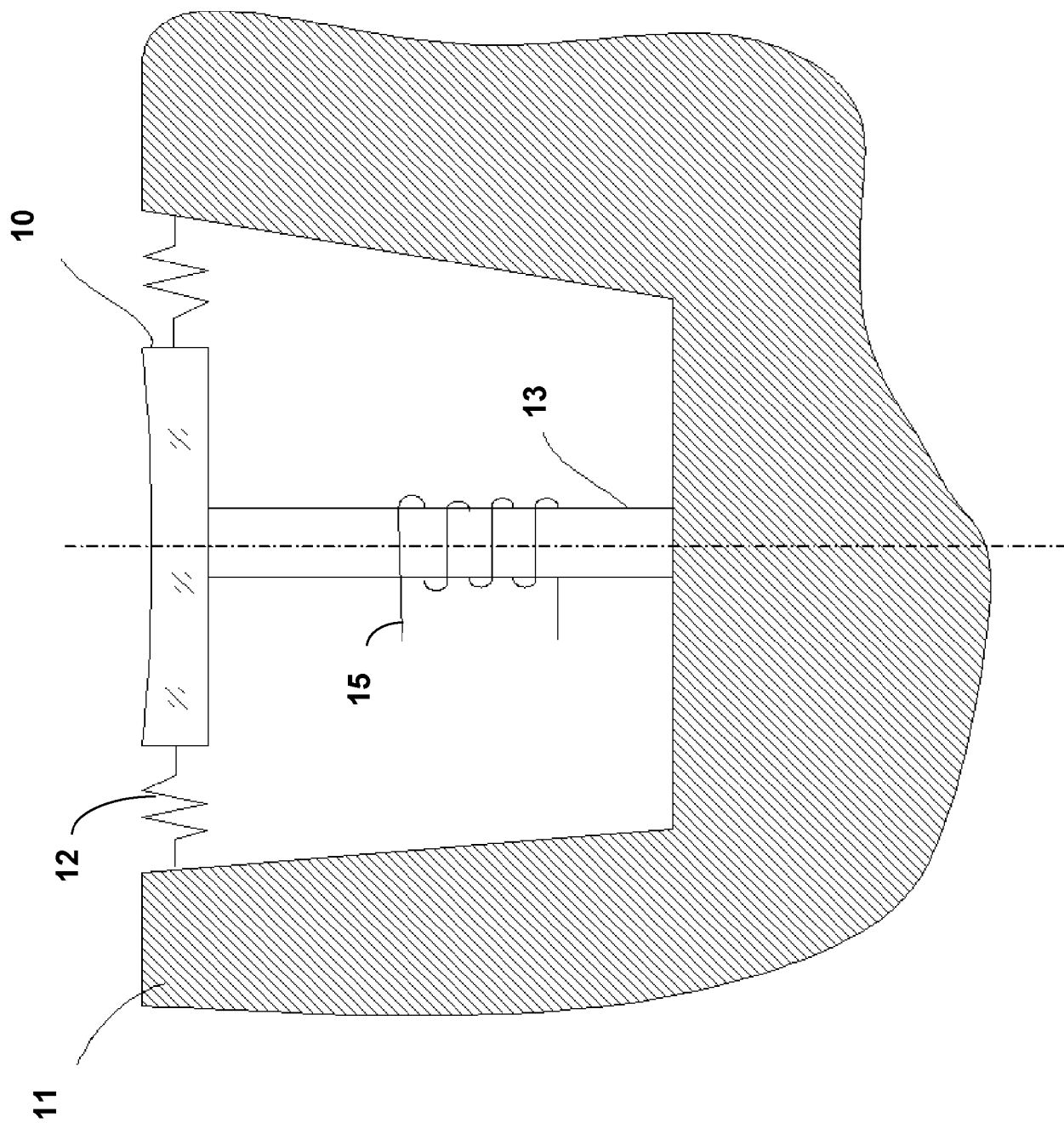
21. Baugruppe nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese Spiegelanordnung ein Facettenspiegel, insbesondere ein Feldfacettenspiegel (**803**) oder ein Pupillenfacettenspiegel (**804**), ist.

22. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Element (**10, 20, 30, 40, 50, 60, 70**) für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 30 nm, insbesondere weniger als 15 nm, ausgelegt ist.

23. Optisches System einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere Beleuchtungseinrichtung oder Projektionsobjektiv, mit einer Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage (**800**) mit einem optischen System nach Anspruch 23.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Fig. 1



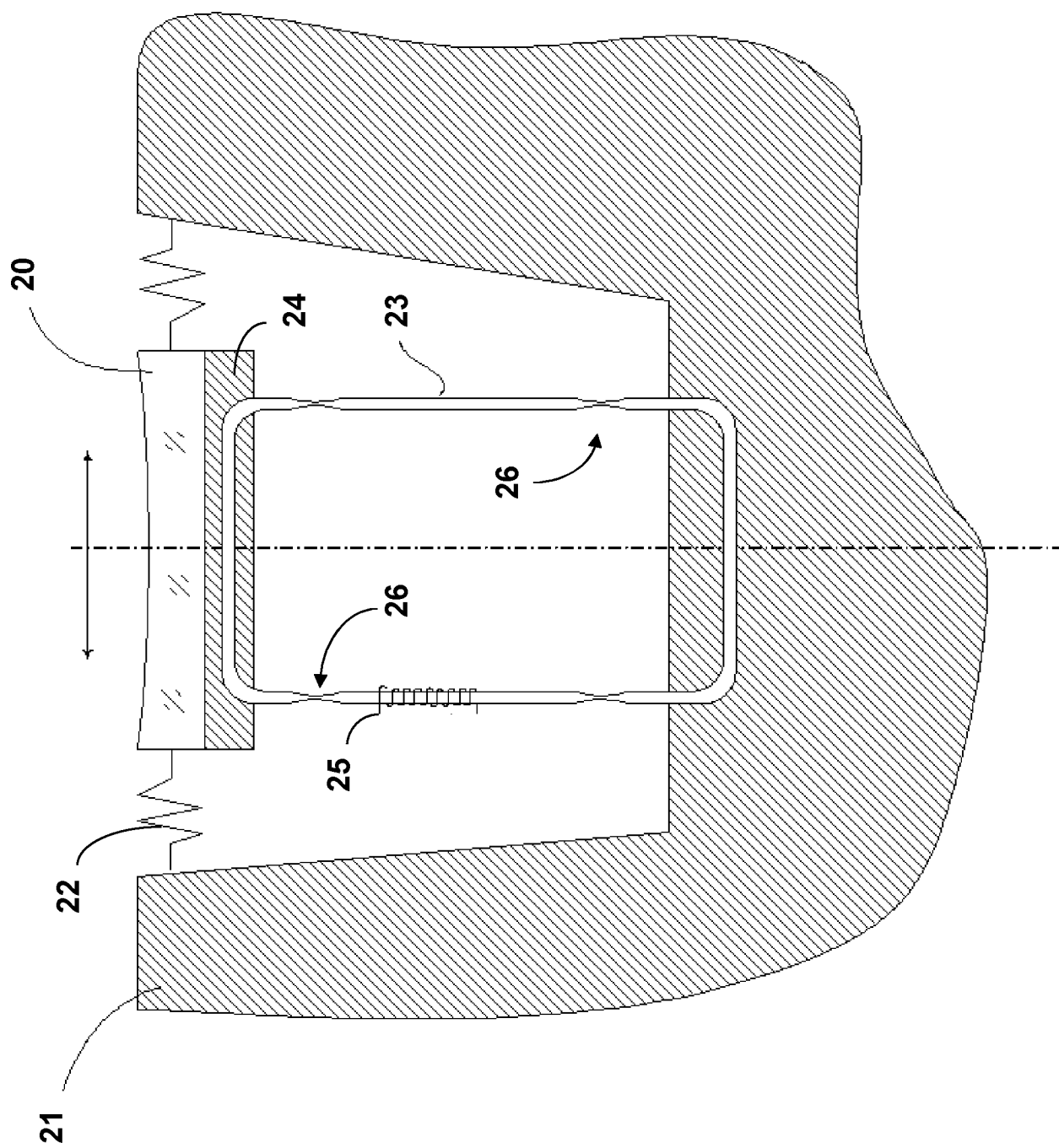


Fig. 2

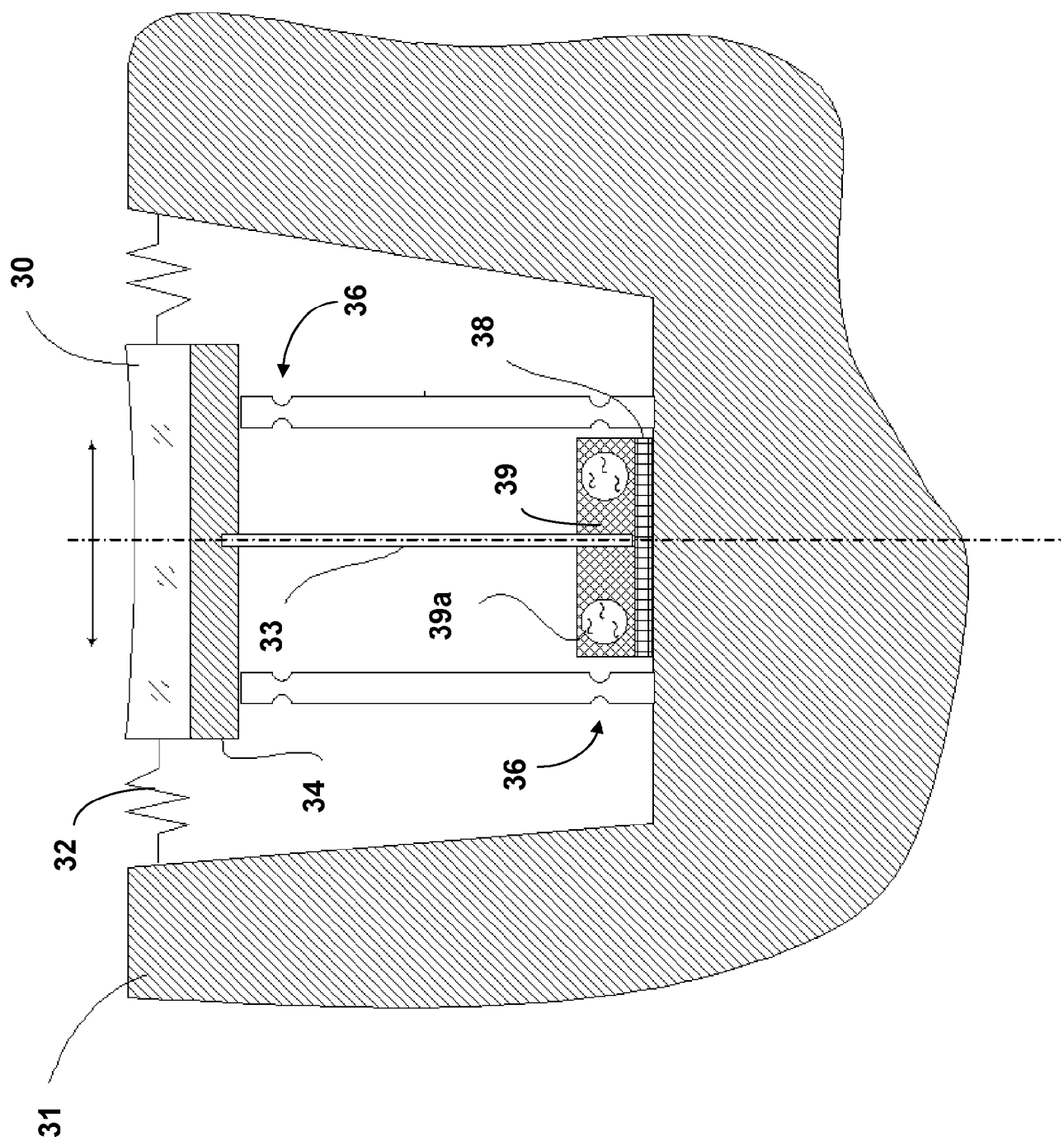


Fig. 3

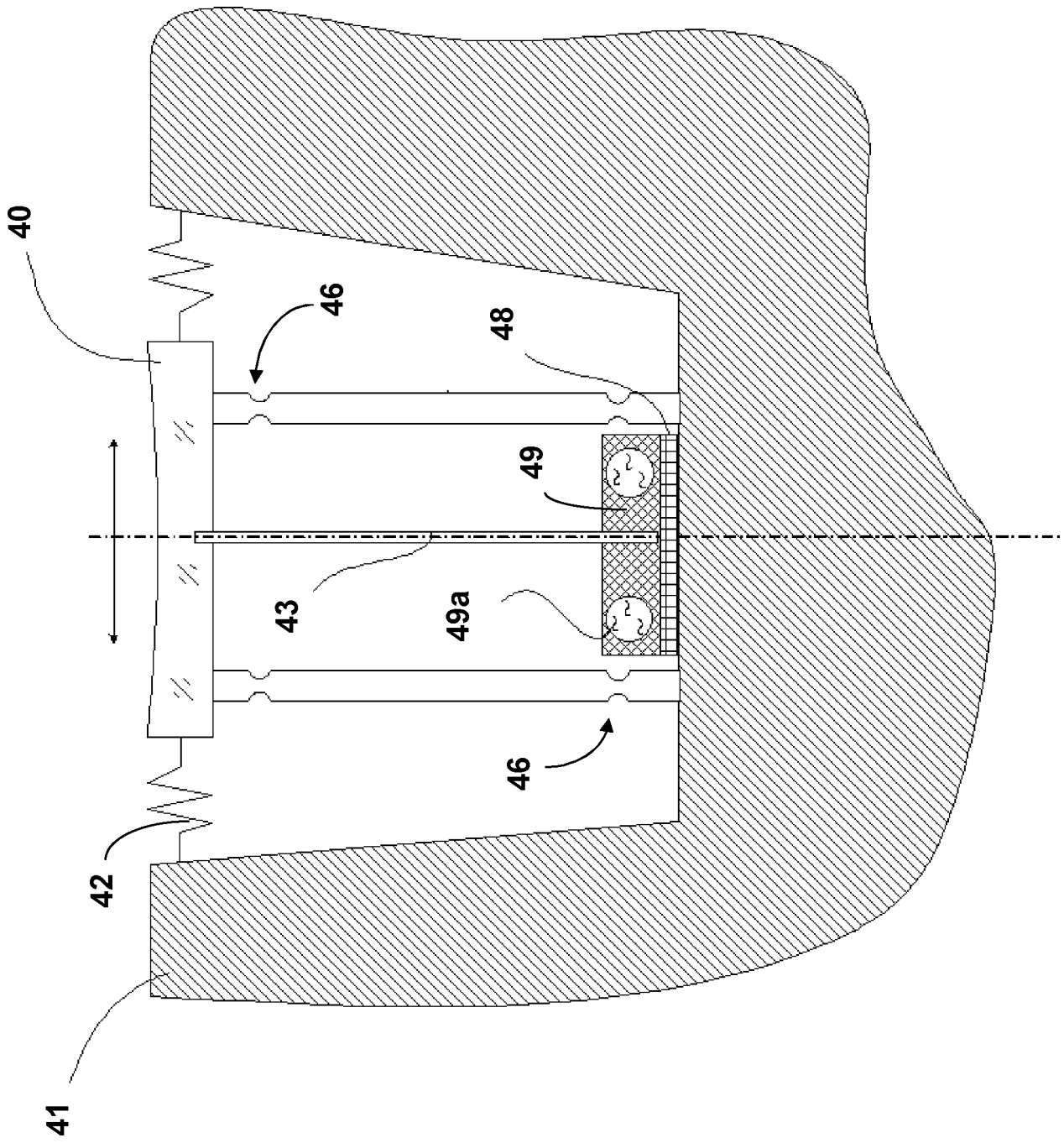


Fig. 4

Fig. 5

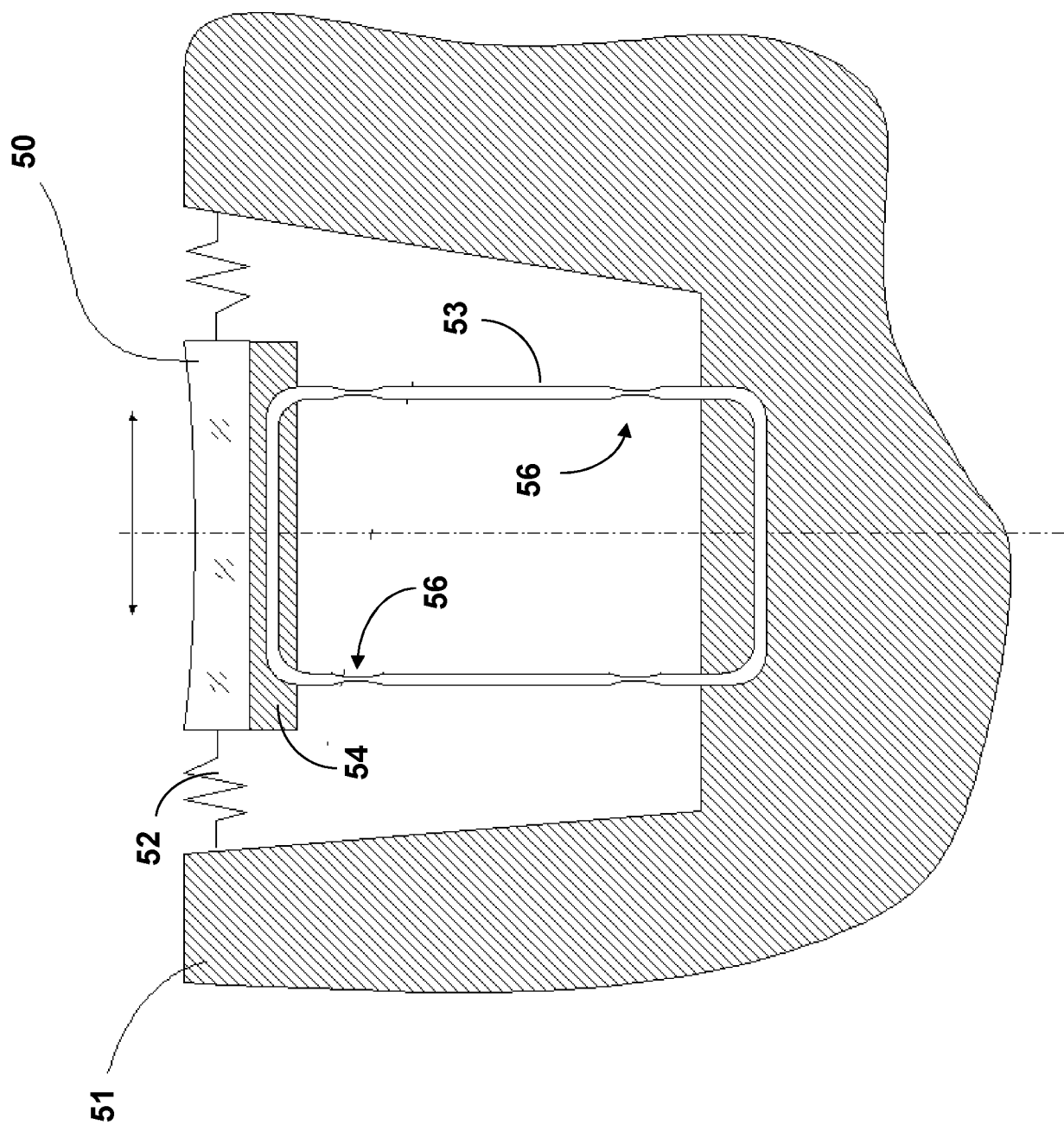


Fig. 6

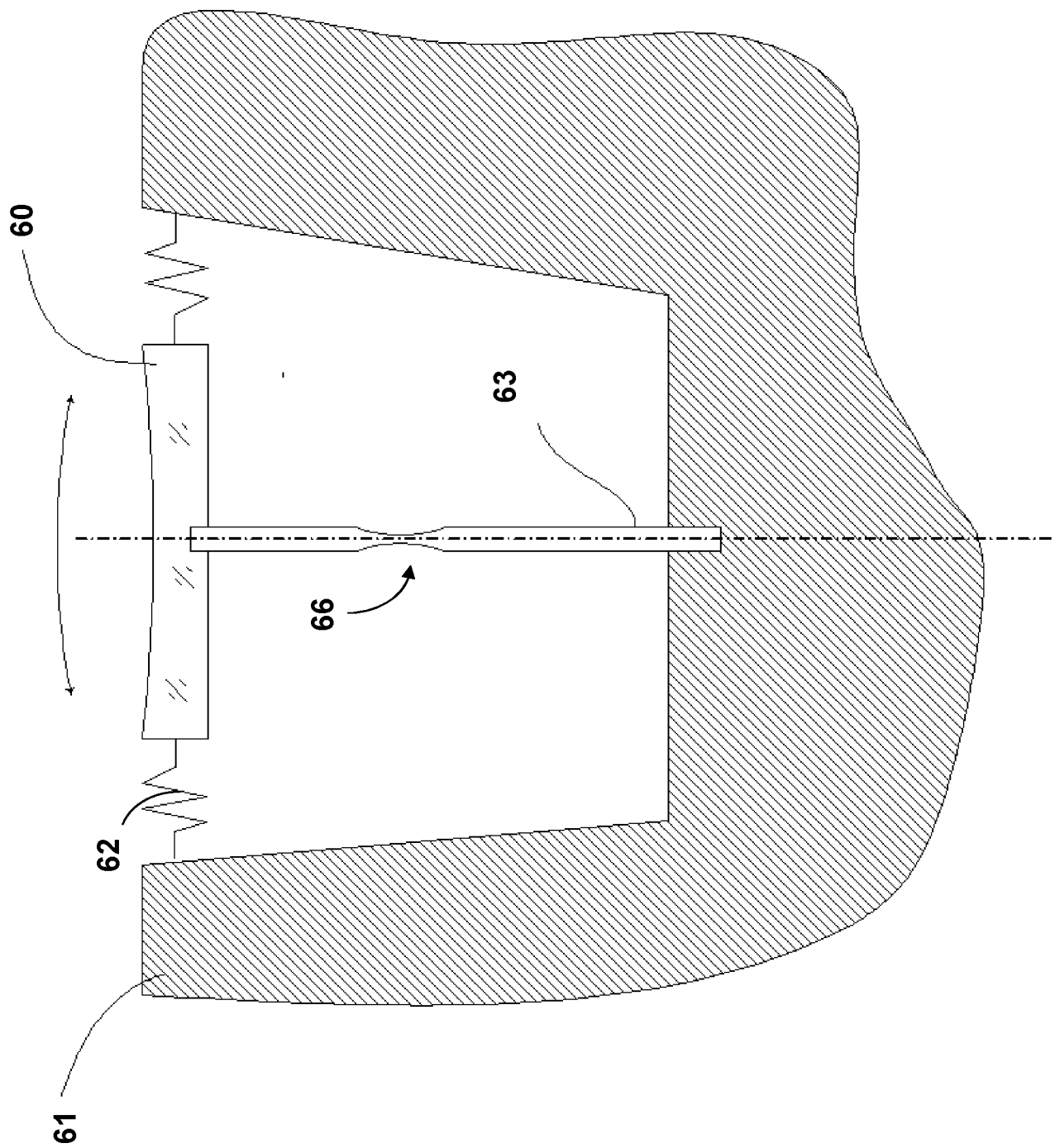


Fig. 7

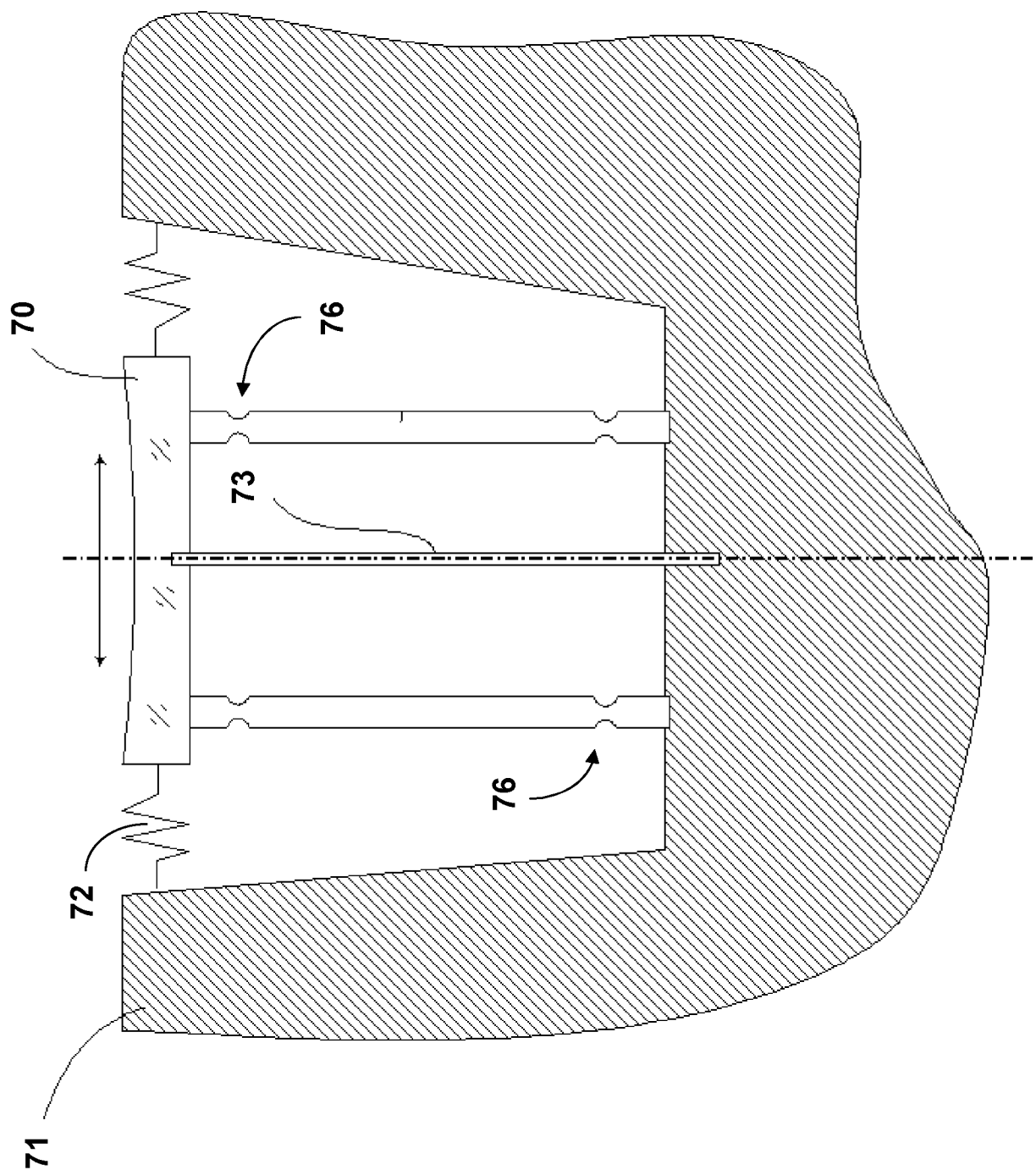


Fig. 8

