

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. April 2009 (02.04.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/040120 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 7/00 (2006.01) *G03F 7/20* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/008176
- (22) Internationales Anmeldedatum:
25. September 2008 (25.09.2008)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2007 045 975.2
25. September 2007 (25.09.2007) DE
60/974,947 25. September 2007 (25.09.2007) US
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CARL ZEISS SMT AG [DE/DE]; Rudof-Eber-Str. 2, 73447 Oberkochen (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHUBERT, Erich [DE/DE]; Im Fichtenbuck 32, 73479 Ellwangen (DE). HEISLER, Andreas [DE/DE]; Mozartstr. 25, 89555 Steinheim (DE). HARTJES, Joachim [DE/DE]; Sonnenstr. 3, 73434 Aalen (DE).
- (74) Anwalt: KARLHUBER, Mathias; Cohausz & Florack, Patent- und Rechtsanwälte, Bleichstrasse 14, 40211 Düsseldorf (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL UNIT HAVING ADJUSTABLE FORCE ACTION ON AN OPTICAL MODULE

(54) Bezeichnung: OPTISCHE EINRICHTUNG MIT EINSTELLBARER KRAFTWIRKUNG AUF EIN OPTISCHES MODUL

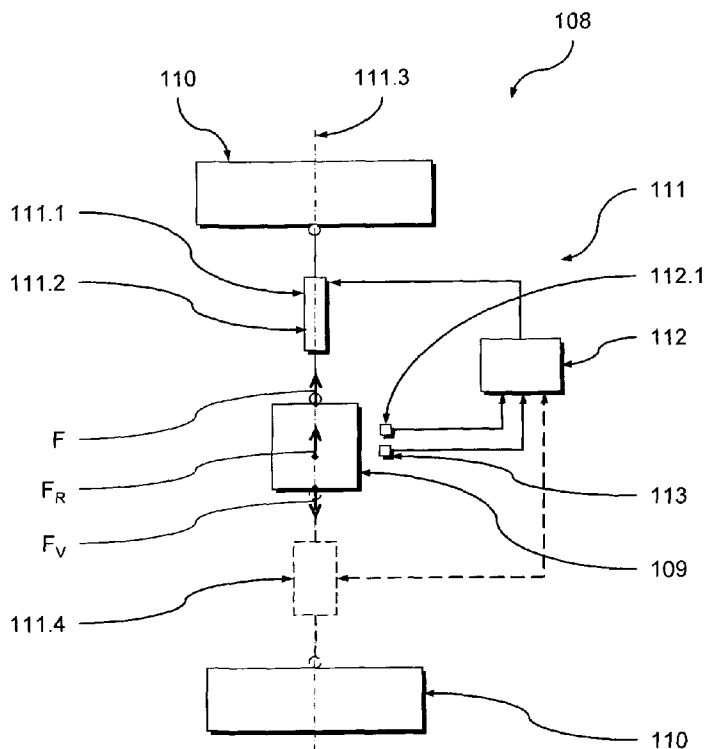


Fig. 2

als Muskelement

(57) Abstract: The present invention relates to an optical unit, particularly for micro-lithography, comprising an optical module, a support structure and a force-generating device. The force-generating device is connected to the optical module and the support structure and is designed to exert a force on the optical module. The force-generating device comprises a fluid force-generating element having a working chamber that can be subjected to a working fluid having a working pressure. The force-generating element is designed as a muscle element, exerting a first tensile force at a first working pressure and exerting a second tensile force that is higher than the first tensile force at a second working pressure that is higher than the first working pressure.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Einrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit einem optischen Modul, einer Stützstruktur und einer Krafterzeugungseinrichtung. Die Krafterzeugungseinrichtung ist mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden und dazu ausgebildet, auf das optische Modul eine Kraft auszuüben. Die Krafterzeugungseinrichtung weist ein fluidisches Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer auf, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist. Das Krafterzeugungselement ist

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/040120 A2



LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Optische Einrichtung mit einstellbarer Kraftwirkung auf ein optisches Modul

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Einrichtung, eine optische
Abbildungseinrichtung, die eine solche optische Einrichtung umfasst sowie ein Verfahren
5 zum ausüben einer Kraft auf ein optisches Modul einer optischen Einrichtung. Die Erfindung
lässt sich im Zusammenhang beliebigen optischen Einrichtungen bzw. optischen
Abbildungsverfahren anwenden. Insbesondere lässt sie sich im Zusammenhang mit der bei
der Herstellung mikroelektronischer Schaltkreise verwendeten Mikrolithographie einsetzen.

Insbesondere im Bereich der Mikrolithographie ist es neben der Verwendung mit möglichst
10 hoher Präzision ausgeführter Komponenten unter anderem erforderlich, die Position und
Geometrie optischer Module der Abbildungseinrichtung, also beispielsweise der Module mit
optischen Elementen wie Linsen, Spiegeln oder Gittern aber auch der verwendeten Masken
und Substrate, im Betrieb möglichst präzise gemäß vorgegebenen Sollwerten einzustellen
bzw. solche Komponenten in einer einmal justierten Position zu halten, um eine
15 entsprechend hohe Abbildungsqualität zu erzielen (wobei im Sinne der vorliegenden
Erfindung der Begriff optisches Modul sowohl optische Elemente alleine als auch
Baugruppen aus solchen optischen Elementen und weiteren Komponenten, wie z. B.
Fassungsteilen etc., bezeichnen soll).

Im Bereich der Mikrolithographie liegen die Genauigkeitsanforderungen im mikroskopischen
20 Bereich in der Größenordnung weniger Nanometer oder darunter liegen. Sie sind dabei
nicht zuletzt eine Folge des ständigen Bedarfs, die Auflösung der bei der Herstellung
mikroelektronischer Schaltkreise verwendeten optischen Systeme zu erhöhen, um die
Miniaturisierung der herzustellenden mikroelektronischen Schaltkreise voranzutreiben.
Insbesondere bei modernen Lithographiesystemen, die zur Erhöhung der Auflösung mit
25 einer hohen numerischen Apertur arbeiten, wird mit hoch polarisiertem UV Licht gearbeitet,
um die Vorteile der hohen numerischen Apertur vollständig ausnutzen zu können. Von
besonderer Bedeutung ist hierbei also die Erhaltung der Polarisation des Lichts beim
Durchlaufen des optischen Systems. Als besonders problematisch erweist sich hierbei die
spannungsinduzierte Doppelbrechung, welche durch Spannungen in den optischen

Elementen hervorgerufen wird und einen wesentlichen Anteil am Polarisationsverlust im System trägt.

Um eine justierte Komponente, beispielsweise ein optisches Element, in einer einmal justierten Position zu halten, werden üblicherweise zwei unterschiedliche Konzepte verwendet. Zum einen werden stoffschlüssige Verbindungen zwischen dem optischen Element und seiner Stützstruktur verwendet. Diese haben jedoch den Nachteil, dass neben der gegebenenfalls unzureichenden Langzeitstabilität der Verbindung unter dem Einfluss von UV Licht das Herstellen der stoffschlüssigen Verbindung gegebenenfalls mit dem Aufbau parasitärer Kräfte (beispielsweise durch Schrumpfung des verwendeten Klebstoffes etc.) einhergeht, welche zu unerwünschten Spannungen im optischen Element, einem Polarisationsverlust und damit einer Verschlechterung der Abbildungsqualität führen.

Alternativ werden (insbesondere in Beleuchtungssystemen) häufig kraftschlüssige Verbindungen, beispielsweise Klemmverbindungen, zwischen dem optischen Element und der Stützstruktur gewählt, da diese besonders einfach herzustellen sind und unter anderem auch unter dem Einfluss von UV Licht keine Probleme hinsichtlich der Langzeitstabilität bereiten. Die Haltekraft wird dabei in der Regel über eine elastische Rückstellkraft eines verformten Federelements oder dergleichen erzeugt.

Ein Problem solcher kraftschlüssigen Verbindungen liegt jedoch darin, dass die zu erzeugende Haltekraft auf die nach dem Justieren des optischen Elements zu erwartende maximale Dejustagekraft auszulegen ist. Diese maximale Dejustagekraft basiert aber naturgemäß auf besonders pessimistischen Annahmen, also der in der ungünstigsten Situation zu erwartenden maximalen Dejustagekraft (die gegebenenfalls auch noch über einen entsprechenden Sicherheitsfaktor weiter erhöht wird). Typischerweise handelt es sich bei dieser maximalen Dejustagekraft um eine Kraft, deren Auftreten infolge von Stößen beim Transport oder bei außergewöhnlichen Ereignissen im Betrieb der justierten optischen Einrichtung erwartet wird, während im Normalbetrieb der optischen Einrichtung überwiegend erheblich geringere Dejustagekräfte zu erwarten sind.

So ist in einem typischen Beispiel für eine Mikrolithographieeinrichtung im Normalbetrieb überwiegend mit einer maximalen auf die Komponenten wirkenden Beschleunigung von 3g (also der dreifachen Erdbeschleunigung) zu rechnen, während beispielsweise für den Extremfall von Stößen ausgegangen wird, bei denen auf die Komponenten eine maximale Beschleunigung von 7g (also der siebenfachen Erdbeschleunigung) wirkt. Da die Haltekraft aber auf diesen Extremfall ausgelegt sein muss, wird im Normalbetrieb folglich eine deutlich

höhere Haltekraft ausgeübt als eigentlich erforderlich wäre. Diese über weite Strecken überflüssig hohe Haltekraft bedingt jedoch wiederum entsprechend hohe Spannungen in dem optischen Element und damit einen Polarisationsverlust und die damit einhergehende Verschlechterung der Abbildungsqualität.

5 Um die eingangs erwähnte gewünschte Position und/oder Geometrie der betreffenden optischen Module zu erzielen, werden weiterhin häufig aktive Manipulatoren verwendet, welche auf der Komponente eine entsprechende Manipulationskraft ausüben. Insbesondere im Bereich der Mikrolithographie werden dabei häufig Piezoaktuatoren, Lorentz-Aktuatoren, pneumatische Balgaktuatoren oder dergleichen eingesetzt. Diese Aktuatortypen haben
10 jedoch jeweils nicht unerhebliche Nachteile.

So lassen sich mit den bekannten Piezoaktuatoren zwar auf einfache Weise in einem weiten Bereich variierbare Manipulationskräfte erzeugen. Sie haben jedoch den Nachteil, dass die verwendeten Piezoelemente zum einen nur einen vergleichsweise geringen Stellweg zur Verfügung stellen, sodass für größere Stellwege aufwändige Getriebe
15 erforderlich sind. Zum anderen sind die Piezoelemente vergleichsweise spröde sowie empfindlich gegen Schub- und Zugspannungen, sodass sie nur unter relativ genau definierten Richtungen belastet werden dürfen und insbesondere bei Stoßbelastungen ein hohes Risiko von Beschädigungen besteht. Die vergleichsweise hohe Steifigkeit der Piezoelemente bringt schließlich noch den Nachteil mit sich, dass für bestimmte
20 Anwendungen, insbesondere im Bereich der Mikrolithographie, eine zusätzliche mechanische Entkopplung zu der zu manipulierenden Komponente erforderlich ist, um die Einleitung parasitärer Kräfte und Momente in die Komponente zu vermeiden.

Lorentz-Aktuatoren haben zwar den Vorteil, dass sie eine sehr geringe Steifigkeit aufweisen. Nachteilig ist jedoch, dass sie häufig nur eingeschränkte Stellwege und geringe
25 Manipulationskräfte zur Verfügung stellen. Zudem weisen sie eine vergleichsweise hohe Verlustleistung auf, die insbesondere bei thermisch sehr sensitiven optischen Einrichtungen zu Problemen führt bzw. eine aufwändige Wärmeabfuhr erfordern.

Pneumatische Balgaktuatoren können zwar gegebenenfalls hohe Manipulationskräfte und große Stellwege zur Verfügung stellen. Sie weisen jedoch den Nachteil auf, dass sie
30 vergleichsweise viel Bauraum beanspruchen und ebenfalls nur Belastungen in vergleichsweise genau definierter Richtung unterworfen werden dürfen, um das Risiko einer Beschädigung gering zu halten.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, eine optische Einrichtung, eine optische Abbildungseinrichtung bzw. ein Verfahren zum Ausüben einer Kraft auf ein optisches Modul einer optischen Einrichtung zur Verfügung zu stellen, welche die oben
5 genannten Nachteile nicht oder zumindest in geringerem Maße aufweisen und insbesondere auf einfache Weise im Einsatz eine hohe Abbildungsqualität gewährleistet.

Der vorliegenden Erfindung liegt zum einen die Erkenntnis zu Grunde, dass man eine besonders hohe Abbildungsqualität auf einfache Weise dadurch erzielen kann, dass man für die Aufbringung einer Kraft auf ein optisches Modul ein nach Art eines Muskelements
10 ausgebildetes fluidisches Krafterzeugungselement verwendet, welches bei Erhöhung des Drucks in seiner Arbeitskammer eine Kontraktion ausführen will und dabei eine ansteigende Zugkraft ausübt. Derartige Muskelemente haben zum einen den Vorteil, dass sie ruck- bzw. stoßfrei arbeiten, sodass die Kraft besonders sanft in das optische Modul eingebracht werden kann. Dies hat wiederum den Vorteil, dass es zu keiner Beeinflussung anderer
15 Komponenten der Einrichtung durch eventuelle Stöße bei der Betätigung des Muskelements kommt. Ein weiterer Vorteil solcher fluidischer Muskelemente liegt darin, dass sie durch ihr Wirkprinzip einer Kontraktion entlang ihrer Längsachse bei einer Erhöhung des Arbeitsdrucks und dem daraus resultierenden Ausüben einer Zugkraft unempfindlich gegen Querkräfte, wodurch sich die Gestaltung der
20 Krafterzeugungseinrichtung erheblich vereinfacht. So ist im Vergleich zu herkömmlichen ähnlich ruckfrei arbeitenden fluidischen Aktuatoren (z. B. herkömmlichen Balgaktuatoren, die bei Erhöhung des Arbeitsdrucks eine Druckkraft ausüben) deutlich weniger Aufwand für die Entkopplung solcher Querkräfte bzw. die gegenseitige Führung der gekoppelten Komponenten zu betreiben.

25 Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung daher eine optische Einrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit einem optischen Modul, einer Stützstruktur und einer Krafterzeugungseinrichtung. Die Krafterzeugungseinrichtung ist mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden und dazu ausgebildet, auf das optische Modul eine Kraft auszuüben. Die Krafterzeugungseinrichtung weist ein fluidisches
30 Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer auf, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist. Das Krafterzeugungselement ist als Muskelement ausgebildet, das bei einem ersten Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft erhöhte zweite Zugkraft ausübt.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung eine optische Abbildungseinrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit einer Beleuchtungseinrichtung, einer Maskeneinrichtung zur Aufnahme einer ein Projektionsmuster umfassenden Maske, einer Projektionseinrichtung mit einer optischen Elementgruppe und einer Substrateinrichtung zur Aufnahme eines Substrats. Die Beleuchtungseinrichtung ist zum Beleuchten des Projektionsmusters ausgebildet, während die optische Elementgruppe zum Abbilden des Projektionsmusters auf dem Substrat ausgebildet ist. Die Beleuchtungseinrichtung und/oder die Projektionseinrichtung umfasst ein optisches Modul mit einer Stützstruktur und einer Krafterzeugungseinrichtung. Die Krafterzeugungseinrichtung ist mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden und dazu ausgebildet, auf das optische Modul eine Kraft auszuüben. Die Krafterzeugungseinrichtung weist weiterhin ein fluidisches Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer auf, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist. Das Krafterzeugungselement ist als Muskelement ausgebildet, das bei einem ersten Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft erhöhte zweite Zugkraft ausübt.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Ausüben einer Kraft auf ein optisches Modul, insbesondere zur Verwendung in der Mikrolithographie, bei dem das optische Modul über eine Stützstruktur abgestützt wird, wobei über eine mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbundene Krafterzeugungseinrichtung, die ein fluidisches Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer aufweist, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist, auf das optische Modul eine Kraft ausgeübt wird. Als Krafterzeugungselement wird ein als Muskelement ausgebildetes Element verwendet, das bei einem ersten Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft erhöhte zweite Zugkraft ausübt.

Der vorliegenden Erfindung liegt zum anderen die Erkenntnis zu Grunde, dass man unabhängig von der Verwendung eines derartigen Muskelements eine besonders hohe Abbildungsqualität auf einfache Weise dadurch erzielen kann, wenn bei einer Klemmverbindung zwischen der Stützstruktur und dem optischen Modul die Klemmkraft gesteuert durch eine entsprechende Steuereinrichtung, insbesondere in Abhängigkeit von der auf das optische Modul wirkenden Beschleunigung, variiert werden kann. Dies hat den Vorteil, dass die Klemmkraft an die jeweilige aktuelle Betriebsituation angepasst werden

kann und nicht dauerhaft derjenigen Klemmkraft entsprechen muss, die für den ungünstigsten zu erwartenden Lastfall (der höchst selten oder sogar nie eintritt) erforderlich ist. Hierdurch ist es mit anderen Worten möglich, über weite Strecken des Betriebs mit Klemmkraften zu arbeiten, die gegenüber denjenigen einer vergleichbaren herkömmlichen optischen Einrichtung deutlich reduziert sind. Folglich werden in normalen Betriebsituationen ohne derartige extreme Betriebsbedingungen (z. B. hohe Stoßbelastungen oder dergleichen) durch die reduzierten Klemmkraften deutlich geringere Spannungen in das optische Modul eingebracht, welche zu einer Reduktion der Abbildungsqualität (z. B. durch spannungsinduzierte Doppelbrechung) führen könnten.

Weiterhin ist es hiermit möglich, die Klemmkraften in Abhängigkeit von der auf das optische Modul wirkenden Beschleunigung zumindest streckenweise konstant zu halten, um so die Auswirkungen der insgesamt auf das optische Modul wirkenden Kräfte (also der Klemmkraften und Trägheitskräfte) auf die optischen Eigenschaften des optischen Moduls möglichst konstant zu halten. So kann beispielsweise vorgesehen sein, die Klemmkraften zu reduzieren, wenn sich aufgrund der Beschleunigung des optischen Moduls und den sich daraus ergebenden erhöhten Kontaktkraften (die aus den auf das optische Modul wirkenden Trägheitskräften resultieren) im Bereich der Klemmung nur noch geringere Klemmkraften erforderlich sind, um das optische Modul zu halten.

Es versteht sich, dass bei diesen Varianten der Erfindung die jeweilige Beschleunigung in beliebigen Freiheitsgraden sowie in beliebig vielen Freiheitsgraden gemeinsam (bis hin zu allen sechs Freiheitsgraden im dreidimensionalen Raum) berücksichtigt werden kann.

Es sei er nochmals erwähnt, dass diese aktive Variation der Klemmkraft während des Betriebs der optischen Einrichtung unabhängig von der Art der Erzeugung der Klemmkraft ist. Erforderlich ist lediglich, dass die Klemmkraft durch eine entsprechende Steuereinrichtung im Betrieb aktiv variiert werden kann. Für die Erzeugung der Klemmkraft kommen beliebige Wirkprinzipien in Betracht. Insbesondere können hinlänglich bekannte elektrische bzw. elektromechanische Krafterzeugungselemente (z. B. Piezoaktuatoren, Lorentz-Aktuatoren etc.) oder fluidische Krafterzeugungselemente, (z. B. Kolben-, Membran- oder Balgaktuatoren, fluidische Muskelemente etc.) zum Einsatz kommen.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung daher eine optische Einrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit einem optischen Modul, einer Stützstruktur und einer Krafterzeugungseinrichtung, wobei die Krafterzeugungseinrichtung mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden ist und dazu ausgebildet ist, auf

das optische Modul eine Klemmkraft auszuüben. Die Krafterzeugungseinrichtung ist dazu ausgebildet, gesteuert durch eine mit ihr verbundene Steuereinrichtung die Klemmkraft zu verändern.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung eine optische
5 Abbildungseinrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit einer
Beleuchtungseinrichtung, einer Maskeneinrichtung zur Aufnahme einer ein
Projektionsmuster umfassenden Maske, einer Projektionseinrichtung mit einer optischen
Elementgruppe und einer Substrateinrichtung zur Aufnahme eines Substrats, wobei die
10 Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten des Projektionsmusters ausgebildet ist während
die optische Elementgruppe zum Abbilden des Projektionsmusters auf dem Substrat
ausgebildet ist. Die Beleuchtungseinrichtung und/oder die Projektionseinrichtung umfasst
ein optisches Modul mit einer Stützstruktur und einer Krafterzeugungseinrichtung. Die
Krafterzeugungseinrichtung ist mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden
15 und dazu ausgebildet, auf das optische Modul eine Klemmkraft auszuüben. Die
Krafterzeugungseinrichtung ist dazu ausgebildet, gesteuert durch eine mit ihr verbundene
Steuereinrichtung die Klemmkraft zu verändern.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum
Ausüben einer Kraft auf ein optisches Modul, insbesondere zur Verwendung in der
Mikrolithographie, bei dem das optische Modul über eine Stützstruktur abgestützt wird,
20 wobei über eine mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbundene
Krafterzeugungseinrichtung auf das optische Modul eine Klemmkraft ausgeübt wird und die
Klemmkraft gesteuert durch eine Steuereinrichtung variiert wird

Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen
bzw. der nachstehenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche auf die
25 beigefügten Zeichnungen Bezug nimmt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Figur 1 ist eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der
erfindungsgemäßen optischen Abbildungseinrichtung, die eine
erfindungsgemäße optische Einrichtung umfasst und mit der sich eine
30 bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum
Ausüben einer Kraft durchführen lässt;

- Figur 2 ist eine stark verallgemeinerte schematische Darstellung eines Teils einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung der Abbildungseinrichtung aus Figur 1;
- 5 Figur 3 ist ein Blockdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ausüben einer Kraft, welches sich mit der optischen Einrichtung aus Figur 2 durchführen lässt;
- Figur 4 ist eine schematische Darstellung eines Teils einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung der Abbildungseinrichtung aus Figur 1;
- 10 Figur 5 ist ein Blockdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ausüben einer Kraft, welches sich mit der optischen Einrichtung aus Figur 4 durchführen lässt;
- Figur 6 ist eine schematische Darstellung eines Teils einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung der Abbildungseinrichtung aus Figur 1;
- 15 Figur 7 ist eine schematische Darstellung eines Teils einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung der Abbildungseinrichtung aus Figur 1;
- Figur 8 ist eine schematische Darstellung eines Teils einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung der Abbildungseinrichtung aus Figur 1.
- 20

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Erstes Ausführungsbeispiel

Unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 3 wird im Folgenden eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung beschrieben, welche in einer erfindungsgemäßen optischen Abbildungseinrichtung für die Mikrolithographie zum Einsatz kommt.

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen optischen Abbildungseinrichtung in Form einer Mikrolithographieeinrichtung 101, die mit Licht im UV-Bereich mit einer Wellenlänge von 193 nm arbeitet.

Die Mikrolithographieeinrichtung 101 umfasst ein Beleuchtungssystem 102, eine Maskeneinrichtung in Form eines Maskentisches 103, ein optisches Projektionssystem in Form eines Objektivs 104 mit einer optischen Achse 104.1 und eine Substrateinrichtung in Form eines Wafertischs 105. Das Beleuchtungssystem 102 beleuchtet eine auf dem Maskentisch 103 angeordnete Maske 103.1 mit einem – nicht näher dargestellten – Projektionslichtbündel der Wellenlänge 193 nm. Auf der Maske 103.1 befindet sich ein Projektionsmuster, welches mit dem Projektionslichtbündel über die im Objektiv 104 angeordneten optischen Elemente auf ein Substrat in Form eines Wafers 105.1 projiziert wird, der auf dem Wafertisch 105 angeordnet ist.

Das Beleuchtungssystem 102 umfasst neben einer – nicht dargestellten – Lichtquelle eine erste Gruppe 106 von optisch wirksamen Komponenten, die unter anderem ein stabförmiges optisches Element 106.1 umfasst. Wegen der Arbeitswellenlänge von 193 nm handelt es sich bei dem optischen Element 106.1 um ein refraktives optisches Element.

Das Objektiv 104 umfasst eine zweite Gruppe 107 von optisch wirksamen Komponenten, die unter anderem eine Reihe von optischen Elementen, beispielsweise das optische Element 107.1 umfasst. Die optisch wirksamen Komponenten der zweiten Gruppe 107 werden im Gehäuse 104.2 des Objektivs 104 gehalten. Wegen der Arbeitswellenlänge von 193 nm handelt es sich bei dem optischen Element 107.1 um ein refraktives optisches Element, also eine Linse oder dergleichen. Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch beliebige andere optische Elemente, beispielsweise reflektive

oder diffraktive optische Elemente zum Einsatz kommen können. Ebenso können natürlich auch beliebige Kombinationen solcher optischer Elemente zum Einsatz kommen.

Figur 2 zeigt eine stark schematisierte Darstellung einer erfindungsgemäßen optischen Einrichtung 108, welche ein optisches Modul 109 und eine Stützstruktur 110 sowie eine Krafterzeugungseinrichtung 111 umfasst. Die Stützstruktur 110 stützt das optische Modul 109 ab. Hierzu ist die Stützstruktur 110 (gegebenenfalls neben weiteren Stützelementen) über die Krafterzeugungseinrichtung 111 mit dem optischen Modul 109 verbunden. Das optische Modul 109 umfasst die Linse 107.1 (sowie gegebenenfalls weitere Komponenten, beispielsweise eine mit der Linse 107.1 verbundene Halteeinrichtung, an der die Krafterzeugungseinrichtung 111 angreift).

Die Krafterzeugungseinrichtung 111 dient dazu, eine Kraft F auf das optische Modul 109 auszuüben. Hierzu umfasst die Krafterzeugungseinrichtung 111 ein fluidisches Krafterzeugungselement 111.1. Das Krafterzeugungselement 111.1 weist hierzu eine Arbeitskammer 111.2 auf, die durch eine Steuereinrichtung 112 mit einem Arbeitsfluid beaufschlagt wird. Wie nachfolgend noch detailliert erläutert wird, stellt die Steuereinrichtung 112 den Arbeitsdruck in dem zu der Arbeitskammer 111.2 gelieferten Arbeitsfluid entsprechend der Kraft F ein, die durch das Krafterzeugungselement 111.1 auf das optische Modul 109 auszuüben ist.

Das Krafterzeugungselement 111.1 ist nach Art eines Muskelements ausgebildet, das bei einem ersten Arbeitsdruck p_1 in der Arbeitskammer 111.2 eine erste Zugkraft F_1 ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck p_1 erhöhten zweiten Arbeitsdruck p_2 in der Arbeitskammer 111.2 eine zweite Zugkraft F_2 ausübt, die gegenüber der ersten Zugkraft F_1 erhöht ist (d. h. für $p_1 < p_2$ gilt $F_1 < F_2$). Sofern in die mechanischen Randbedingungen dies zulassen, vollführt das Krafterzeugungselement 111.1 bei einer Erhöhung des Arbeitsdrucks eine Kontraktion entlang seiner Längsachse 111.3. Mithin vollführt das Krafterzeugungselement 111.1 also (ähnlich einem menschlichen Muskel) bei einer Energiezufuhr unter Aufbringung einer ansteigenden Zugkraft F eine Kontraktion entlang seiner Längsrichtung.

Bei dem Arbeitsfluid kann es sich sowohl um ein flüssiges als auch um ein gasförmiges Medium handeln. Je nach Anwendungsfall können beide Varianten von Vorteil sein. Immer kann unter anderem die erforderliche Steifigkeit der Verbindung zwischen dem optischen Modul 109 und der Stützstruktur 110 eine Rolle spielen. Ist beispielsweise eine besonders steife Anbindung des optischen Moduls 109 an der Stützstruktur 110 von Vorteil, so wird

bevorzugt ein flüssiges Medium zum Einsatz kommen, während bei einer geringeren erforderlichen Steifigkeit wegen seiner Kompressibilität ein gasförmiges Medium bevorzugt wird.

5 Derartige fluidische Muskelemente sind hinlänglich bekannt, sodass hierauf nicht näher eingegangen werden soll. In der Regel umfassen sie eine im Allgemeinen zylinderförmige Arbeitskammer, die von einer Kombination aus zumindest einer elastischen fluiddichten
10 Wandung und einem Geflecht oder Gewebe aus Zugelementen (z. B. Drähten, reißfesten Filamenten etc.), die zur Zylinderachse schräg gestellt angeordnet sind, begrenzt wird. Wird der Druck in der Arbeitskammer erhöht, dehnt sich diese radial (also quer zu ihrer
15 Längsrichtung) aus. Hierdurch werden die Zugelemente stärker in Umfangsrichtung der zylindrischen Arbeitskammer ausgerichtet, sodass hieraus eine Kontraktion der Arbeitskammer entlang ihrer Längsachse erfolgt. Ein Beispiel eines solchen fluidischen Muskelements stellen die pneumatischen Muskelemente von der Fa. Festo AG & Co.
20 KG (73734 Esslingen, DE) dar, die unter der Bezeichnung "Fuidic Muscle DMSP" oder "Fuidic Muscle MAS" vertrieben und in dem Firmenprospekt "Info 501" (Ausgabe 2005/04) der Fa. Festo AG & Co. KG (73734 Esslingen, DE) beschrieben werden, dessen gesamte Offenbarung hierin durch Bezugnahme eingeschlossen wird.

Das Muskelement 111.1 hat zum einen den Vorteil, dass es ruck- bzw. stoßfrei arbeitet, sodass die Kraft F besonders sanft in das optische Modul 109 eingebracht werden kann.
20 Dies hat wiederum den Vorteil, dass es zu keiner Beeinflussung anderer Komponenten der optischen Einrichtung 108 durch eventuelle Stöße bei der Betätigung des Muskelements 111.1 kommt. Ein weiterer Vorteil des Muskelements 111.1 liegt darin, dass es durch sein Wirkprinzip einer Kontraktion entlang seiner Längsachse 111.3 bei einer Erhöhung des Arbeitsdrucks und dem daraus resultierenden Ausüben einer Zugkraft unempfindlich gegen
25 Querkräfte ist, wodurch sich die Gestaltung der Krafterzeugungseinrichtung 111 erheblich vereinfacht. So ist im Vergleich zu herkömmlichen ähnlich ruckfrei arbeitenden fluidischen Aktuatoren (z. B. herkömmlichen Balgaktuatoren, die bei Erhöhung des Arbeitsdrucks eine Druckkraft ausüben) deutlich weniger Aufwand für die Entkopplung solcher Querkräfte bzw. die gegenseitige Führung der gekoppelten Komponenten (hier also des optischen Moduls
30 109 und der Stützstruktur 110) zu betreiben.

Um die durch das Krafterzeugungselement 111.1 auf das optische Modul 109 ausgeübte Kraft F aktiv zu beeinflussen, ist eine Erfassungseinrichtung 113 vorgesehen, die mit der Steuereinrichtung 112 verbunden ist. Die Erfassungseinrichtung 113 erfasst den aktuellen

Wert einer für den Betriebszustand der optischen Einrichtung 108 repräsentativen Zustandsvariablen.

Bei dieser Zustandsvariablen kann es sich zum einen um eine beliebige Variable handeln, die durch die Kraftwirkung des Krafterzeugungselements 111.1 auf das optische Modul 109 beeinflusst werden kann. Beispielsweise kann es sich hierbei um eine für einen
5 Abbildungsfehler der Mikrolithographieeinrichtung 101 repräsentative Variable handeln, die über die Erfassungseinrichtung 113 erfasst wird und durch die Kraftwirkung des Krafterzeugungselements 111.1 auf das optische Modul 109 beeinflusst werden kann. So kann über die Kraftwirkung des Krafterzeugungselements 111.1 beispielsweise die Position
10 und/oder Orientierung (jeweils bezüglich einer vorgegebenen Referenz) und/oder die Geometrie der Linse 107.1 beeinflusst werden, welche sich wiederum auf den Abbildungsfehler der Mikrolithographieeinrichtung 101 auswirkt. Ebenso kann es sich aber auch um eine Kraft oder ein Moment handeln, welche bzw. welches auf das optische Modul 109 ausgeübt wird.

15 Bei der Zustandsvariablen kann es sich aber auch um eine beliebige Variable handeln, die für sich unabhängig von der Kraftwirkung des Krafterzeugungselements 111.1 ist. Beispielsweise kann es sich um eine Variable handeln, die für eine auf die optische Einrichtung wirkende Beschleunigung repräsentativ ist. Ebenso kann es sich um eine Variable handeln, die für eine Temperatur in dem optischen Modul 109 oder der
20 Stützstruktur 110 repräsentativ ist, oder um eine Variable, die für eine Zustandsgröße (z. B. Druck, Temperatur etc.) einer das optische Modul 109 und/oder die Stützstruktur 110 umgebenden Atmosphäre repräsentativ ist.

Die Erfassungseinrichtung 113 liefert diesen aktuellen Wert der erfassten Zustandsvariablen an die Steuereinrichtung 112. Die Steuereinrichtung 112 vergleicht den
25 aktuellen Wert der Zustandsvariablen mit einem für den aktuellen Betriebszustand vorgegebenen Sollwert der Zustandsvariablen und stellt den Arbeitsdruck in der Arbeitskammer 111.2 so ein, dass einer bestehenden Abweichung zwischen dem Sollwert und dem Istwert der Zustandsvariablen entgegengewirkt wird.

Diesem Vorgehen kann ein weiterer Regelkreis überlagert sein. So kann die
30 Steuereinrichtung 112 beispielsweise eine Sensoreinrichtung 112.1 aufweisen, welche je nach dem Zweck der Kraftwirkung des Krafterzeugungselements 111.1 eine weitere Größe erfasst und an die Steuereinrichtung 112 übermittelt, welche dann unter Verwendung dieser weiteren Größe den Arbeitsdruck in der Arbeitskammer 111.2 einstellt.

Ist der Zweck der Kraftwirkung des Krafterzeugungselements 111.1 beispielsweise primär die Erzeugung einer exakt vorgegebenen Kraft (z. B. zur Erzielung einer genau definierten Verformung der Linse 107.1), so kann die Sensoreinrichtung 112.1 dazu ausgebildet sein, die von dem Krafterzeugungselement 111.1 auf das optische Modul ausgeübte Kraft zu messen. Mithin kann die Sensoreinrichtung 112.1 also beispielsweise als Kraftmessdose oder dergleichen ausgebildet sein.

Ist der Zweck der Kraftwirkung des Krafterzeugungselements 111.1 beispielsweise aber primär die Erzeugung einer exakt vorgegebenen Verschiebung (z. B. zur Erzielung einer genau definierten Position und/oder Orientierung der Linse 107.1), so kann die Sensoreinrichtung 112.1 dazu ausgebildet sein, die durch die Kraftwirkung des Krafterzeugungselements 111.1 erzielte Verschiebung zu messen. Mithin kann die Sensoreinrichtung also eine entsprechende Wegmesseinrichtung sein, die nach einem beliebigen Prinzip arbeitet (z. B. Interferometer, Encoder, kapazitiver Wegmesser etc.).

In diesem Fall des überlagerten weiteren Regelkreises kann beispielsweise der Sollwert für die von der Sensoreinrichtung 112.1 erfasste weitere Größe in Abhängigkeit von dem Sollwert der über die Erfassungseinrichtung 113 erfassten Zustandsvariablen vorgegeben sein. Ist beispielsweise in einer Variante zur Korrektur eines über die Erfassungseinrichtung 113 erfassten Abbildungsfehlers eine bestimmte Verschiebung und/oder Verformung der Linse 107.1 erforderlich, so kann diese erforderliche Verschiebung und/oder Verformung als Sollwert für den überlagerten Regelkreis verwendet werden. In einer anderen Variante kann in Abhängigkeit von einer durch die Erfassungseinrichtung 113 erfassten, auf die optische Einrichtung 108 wirkenden Beschleunigung durch die Krafterzeugungseinrichtung 111 eine bestimmte Klemmkraft aufzubringen sein, um das optische Modul 109 in einer vorgegebenen Position zu halten. Aus dieser vorgegebenen Klemmkraft ergibt sich dann eine vorgegebene Kraft des Krafterzeugungselements 111.1, die dann als Sollwert für den überlagerten Regelkreis verwendet werden kann.

Die Krafterzeugungseinrichtung 111 kann neben dem Krafterzeugungselement 111.1 weitere Krafterzeugungskomponenten umfassen, welche zusammen mit dem Krafterzeugungselement 111.1 die von der Krafterzeugungseinrichtung 111 auf das optische Modul 109 ausgeübte Kraft definieren. Bei einer solchen weiteren Krafterzeugungskomponente kann es sich um eine aktive oder passive Komponente handeln. In Figur 2 ist beispielsweise durch die gestrichelte Kontur eine aktive Krafterzeugungskomponente in Form eines aktiven Vorspannelements 111.4 angedeutet, welche ebenfalls mit der Stützstruktur 110 verbunden ist und (gesteuert durch die

Steuereinrichtung 112) auf das optische Modul 109 eine der Kraft F des Krafterzeugungselements 111.1 entgegenwirkende Vorspannkraft F_V ausübt. Die auf das optische Modul ausgeübte resultierende Kraft F_R bestimmt sich dann (mit den in Figur 2 eingezeichneten Krafrichtungen) zu:

$$F_R = F - F_V. \quad (1)$$

Das Vorspannelement kann (wie in Figur 2 dargestellt) kinematisch in Serie zu dem Krafterzeugungselement 111.1 angeordnet sein. Es versteht sich jedoch, dass ein solches Vorspannelement auch kinematisch parallel zu dem Krafterzeugungselement 111.1 angeordnet sein kann. In diesem Fall ist es dann dazu ausgebildet, eine der Zugkraft des Krafterzeugungselements 111.1 entgegenwirkende Druckkraft auf das optische Modul 109 auszuüben.

Wie erwähnt, handelt es sich bei dem Vorspannelement 111.4 um ein aktives Element, dessen Vorspannkraft F_V gesteuert durch die Steuereinrichtung 112 verstellt werden kann. Hierbei kann es sich um ein beliebiges Element handeln, welches eine aktiv verstellbare Kraft erzeugt. Insbesondere kann es sich um ein elektrisches bzw. elektromechanisches Element (z. B. Piezoaktuatoren, Lorentz-Aktuatoren etc.) oder wiederum ein fluidisches Krafterzeugungselemente (z. B. Kolben-, Membran- oder Balgaktuatoren etc.) insbesondere ein weiteres fluidisches Muskelement handeln.

Es versteht sich jedoch, dass es sich bei besonders einfach gestalteten Varianten der Erfindung bei dem Vorspannelement 111.4 auch um ein passives Krafterzeugungselement, beispielsweise ein einfaches mechanisches oder pneumatisches Federelement, handeln kann.

Es versteht sich weiterhin, dass an dem optischen Modul 109 eine Mehrzahl von Krafterzeugungseinrichtungen 111 angreifen können. Beispielsweise können drei (bevorzugt gleichmäßig) am Umfang des optischen Moduls 109 (mithin also der Linse 107.1) verteilte, in der Ebene des optischen Moduls 109 wirkende Krafterzeugungseinrichtungen 111 vorgesehen sein, welche die Lage und Orientierung der des optischen Moduls 109 (und damit Linse 107.1) in der Ebene des optischen Moduls 109 in drei Freiheitsgraden (zwei translatorischen und einem rotatorischen Freiheitsgrad) einstellen können. Es versteht sich, dass das optische Modul 109 hierbei durch zusätzliche passive Stützelemente geführt sein kann, wie am optischen Modul 109 und der Stützstruktur 110 angreifen.

Figur 3 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Abbildungsverfahrens, welches mit der Mikrolithographieeinrichtung 101 durchgeführt wird und bei dem eine bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens zum Ausüben einer Kraft auf ein optisches Modul zur Anwendung kommt.

5 Zunächst wird in einem Schritt 115.1 der Verfahrensablauf gestartet. In einem Schritt 115.2 werden dann die Komponenten der Mikrolithographieeinrichtung 101 aus Figur 1 in einen Zustand gebracht, in der die oben beschriebene Abbildung des Projektionsmusters der Maske 103.1 auf das Substrat 105.1 erfolgen kann.

10 In einem Abbildungsschritt 115.3 erfolgt parallel zu der Belichtung des Substrats 105.1 in einem Schritt 115.4 die oben beschriebene Erfassung des aktuellen Werts der Zustandsvariable über die Erfassungseinrichtung 113 sowie der oben beschriebene Vergleich dieser aktuellen Werts mit einem für den aktuellen Betriebszustand vorgegebenen Sollwert.

15 In einem Schritt 115.5 steuert die Steuereinrichtung 112 dann in der oben beschriebenen Weise das Krafterzeugungselement 111.1 derart an, dass die Krafterzeugungseinrichtung 111 eine entsprechende Kraft auf das optische Modul 109 ausübt.

Nachfolgend wird in einem Schritt 115.6 überprüft, ob noch ein weiterer Abbildungsschritt durchzuführen ist. Ist dies nicht der Fall, wird der Verfahrensablauf in dem Schritt 115.7 beendet. Andernfalls wird zurück zu dem Schritt 115.3 gesprungen.

20 Zweites Ausführungsbeispiel

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 4 ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung 116 beschrieben. Die optische Einrichtung 116 ist Bestandteil des Beleuchtungssystems 102 und umfasst ein optisches Modul in Form des stabförmigen optischen Elements 106.1 und eine Stützstruktur
25 117. Das optische Element 106.1 ist über eine Krafterzeugungseinrichtung 118 mit der Stützstruktur 117 verbunden.

Die Krafterzeugungseinrichtung 118 dient dazu, eine Klemmkraft F_R auf das optische Modul 106.1 auszuüben und dieses so auch unter der Einwirkung externer Kräfte in seiner vorgegebenen Position bezüglich der Stützstruktur 117 zu halten. Hierzu umfasst die
30 Krafterzeugungseinrichtung 118 wiederum ein fluidisches Krafterzeugungselement 118.1.

Das Krafterzeugungselement 118.1 weist eine Arbeitskammer 118.2 auf, die durch die Steuereinrichtung 112 mit einem Arbeitsfluid beaufschlagt wird. Die Steuereinrichtung 112 stellt wiederum den Arbeitsdruck in dem zu der Arbeitskammer 118.2 gelieferten Arbeitsfluid entsprechend der Kraft F ein, die durch das Krafterzeugungselement 118.1 auszuüben ist.

Das Krafterzeugungselement 118.1 ist wiederum nach Art eines Muskelements ausgebildet, das bei einem ersten Arbeitsdruck p_1 in der Arbeitskammer 118.2 eine erste Zugkraft F_1 ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck p_1 erhöhten zweiten Arbeitsdruck p_2 in der Arbeitskammer 118.2 eine zweite Zugkraft F_2 ausübt, die gegenüber der ersten Zugkraft F_1 erhöht ist (d. h. für $p_1 < p_2$ gilt $F_1 < F_2$). Sofern die mechanischen Randbedingungen dies zulassen, vollführt das Krafterzeugungselement 118.1 bei einer Erhöhung des Arbeitsdrucks eine Kontraktion entlang seiner Längsachse 118.3. Mithin vollführt das Krafterzeugungselement 118.1 also (ähnlich einem menschlichen Muskel) bei einer Energiezufuhr unter Aufbringung einer ansteigenden Zugkraft F eine Kontraktion entlang seiner Längsrichtung.

Bei dem Arbeitsfluid kann es sich sowohl um ein flüssiges als auch um ein gasförmiges Medium handeln. Je nach Anwendungsfall können beide Varianten von Vorteil sein. Insbesondere kann unter anderem die erforderliche Steifigkeit der Verbindung zwischen dem optischen Modul 106.1 und der Stützstruktur 117 eine Rolle spielen. Ist beispielsweise eine besonders steife Anbindung des optischen Moduls 106.1 an der Stützstruktur 117 von Vorteil, so wird bevorzugt ein flüssiges Medium zum Einsatz kommen, während bei einer geringeren erforderlichen Steifigkeit wegen seiner Kompressibilität ein gasförmiges Medium bevorzugt wird.

Derartige fluidische Muskelemente sind hinlänglich bekannt, sodass hierauf nicht näher eingegangen werden soll. Ein Beispiel eines solchen fluidischen Muskelements stellen die pneumatischen Muskelemente von der Fa. Festo AG & Co. KG (73734 Esslingen, DE) dar, die unter der Bezeichnung "Fuidic Muscle DMSP" oder "Fuidic Muscle MAS" vertrieben und in dem Firmenprospekt "Info 501" (Ausgabe 2005/04) der Fa. Festo AG & Co. KG (73734 Esslingen, DE) beschrieben werden, dessen gesamte Offenbarung hierin durch Bezugnahme eingeschlossen wird.

Das Muskelement 118.1 hat zum einen den Vorteil, dass es ruck- bzw. stoßfrei arbeitet, sodass die Kraft F besonders sanft in das optische Modul 106.1 eingebracht werden kann. Dies hat wiederum den Vorteil, dass es zu keiner Beeinflussung anderer Komponenten der

optischen Einrichtung 116 durch eventuelle Stöße bei der Betätigung des Muskelements 118.1 kommt. Ein weiterer Vorteil des Muskelements 118.1 liegt darin, dass es durch sein Wirkprinzip einer Kontraktion entlang seiner Längsachse 118.3 bei einer Erhöhung des Arbeitsdrucks und dem daraus resultierenden Ausüben einer Zugkraft unempfindlich gegen
5 Querkräfte ist, wodurch sich die Gestaltung der Krafterzeugungseinrichtung 118 erheblich vereinfacht. So ist im Vergleich zu herkömmlichen ähnlich ruckfrei arbeitenden fluidischen Aktuatoren (z. B. herkömmlichen Balgaktuatoren, die bei Erhöhung des Arbeitsdrucks eine Druckkraft ausüben) deutlich weniger Aufwand für die Entkopplung solcher Querkräfte bzw. die gegenseitige Führung der gekoppelten Komponenten (hier also des optischen Moduls
10 106.1 und der Stützstruktur 117) zu betreiben.

Um die durch das Krafterzeugungselement 118.1 ausgeübte Kraft F aktiv zu beeinflussen, ist eine Erfassungseinrichtung 113 vorgesehen, die mit der Steuereinrichtung 112 verbunden ist. Die Erfassungseinrichtung 113 erfasst im vorliegenden Beispiel (als
15 Zustandsvariablen) den aktuellen Wert der auf die optische Einrichtung 116 wirkenden Beschleunigung a quer zur Richtung der Klemmkraft F_R .

Die Erfassungseinrichtung 113 liefert diesen aktuellen Wert der erfassten Beschleunigung an die Steuereinrichtung 112. Die Steuereinrichtung 112 bestimmt anhand des aktuellen Werts der Beschleunigung a einen Sollwert F_{RS} der Klemmkraft und stellt den Arbeitsdruck
20 in der Arbeitskammer 118.2 so ein, dass einer bestehenden Abweichung zwischen dem Sollwert F_{RS} und dem Istwert F_R der Klemmkraft entgegengewirkt wird.

Hierzu ist ein weiterer Regelkreis für die Klemmkraft vorgesehen. So umfasst
Steuereinrichtung 112 eine kinematisch in Serie zu dem der Krafterzeugungselement 118.1
angeordnete Sensoreinrichtung 112.1, welche die von dem Krafterzeugungselement 118.1
25 ausgeübte Kraft F misst. Mithin kann die Sensoreinrichtung 112.1 also beispielsweise als Kraftmessdose oder dergleichen ausgebildet sein.

Der Sollwert F_{RS} der Klemmkraft wird in der Steuereinrichtung 112 wie erwähnt in
Abhängigkeit von der über die Erfassungseinrichtung 113 erfassten Beschleunigung a
vorgegeben. Die Steuereinrichtung 112 modifiziert dann den Arbeitsdruck des Arbeitsfluids
30 solange, bis der Istwert F_R der Klemmkraft dem Sollwert F_{RS} entspricht.

Die Krafterzeugungseinrichtung 118 umfasst neben dem Krafterzeugungselement 118.1
eine weitere Krafterzeugungskomponente in Form eines Vorspannelements 118.4, welches

zusammen mit dem Krafterzeugungselement 118.1 die von der Krafterzeugungseinrichtung 118 auf das optische Modul 106.1 ausgeübte Kraft definiert. Das Vorspannelement 118.4 ist als einfache mechanische Feder ausgebildet, die kinematisch parallel zu dem Krafterzeugungselement 118.1 angeordnet ist, wobei ihre Längsachse kollinear zur Längsachse 118.3 des Krafterzeugungselements 118.1 verläuft.

Das Krafterzeugungselement 118.1 und das Vorspannelement 118.4 sind jeweils einerseits mit einem Portal 118.5 und andererseits einer Klemmplatte 118.6 verbunden. Im montierten Zustand ist das Portal 118.5 an der Stützstruktur 117 befestigt, während die Klemmplatte 118.6 das optische Modul 106.1 kontaktiert.

Das Vorspannelement 118.4 ist im gezeigten Beispiel eine Druckfeder, welche im montierten Zustand komprimiert ist und so auf das optische Modul 106.1 eine der Kraft F des Krafterzeugungselements 118.1 entgegenwirkende Vorspannkraft in Form einer Druckkraft F_V ausübt. Die auf das optische Modul ausgeübte resultierende Kraft F_R bestimmt sich dann (mit den in Figur 4 eingezeichneten Krafrichtungen) zu:

$$F_R = F_V - F . \quad (2)$$

Das Vorspannelement 118.4 ist so gestaltet, dass es im dargestellten Zustand (bei Kontakt der Klemmplatte 118.6 mit dem optischen Modul 106.1) eine Vorspannkraft F_V ausübt, die der maximal auf das optische Modul 106.1 auszuübenden Klemmkraft F_{Rmax} entspricht. Diese maximale Klemmkraft F_{Rmax} bestimmt sich nach der ungünstigsten bei der Montage, dem Transport oder im Betrieb der Mikrolithographieeinrichtung 101 zu erwartenden Kraftwirkung auf das optische Modul 106.1, für die sichergestellt sein muss, dass das optische Modul 106.1 sich nicht bezüglich der Stützstruktur 117 verschiebt. Eine solche ungünstige Kraftwirkung auf das optische Modul 106.1 kann zum Beispiel infolge von stoßartigen Belastungen bei der Montage oder beim Transport der Mikrolithographieeinrichtung 101 auftreten.

Typischerweise ist die maximale Klemmkraft F_{Rmax} auf die ungünstigste anzunehmende Situation ausgelegt, in der dem Siebenfachen der Erdbeschleunigung (7g) entsprechende Kräfte auf das optische Modul 106.1 wirken. Insbesondere der Montage und beim Transport der optischen Einrichtung 116 können aber auch deutlich höhere Beschleunigungen bzw. Kräfte auf optische Einrichtung 116 wirken. Gegebenenfalls ist also die Klemmkraft F_{Rmax} auf deutlich höhere Beschleunigungswerte (z. B. bis zu 20g) ausgelegt.

Im Normalbetrieb der Mikrolithographieeinrichtung 101 wirken auf das optische Modul 106.1 jedoch üblicherweise maximal Kräfte, welche dem Dreifachen der Erdbeschleunigung ($3g$) entsprechen. Durch die Variation der Zugkraft F des Krafterzeugungselements 118.1 in Abhängigkeit von der auf die optische Einrichtung 116 wirkenden Beschleunigung kann in vorteilhafter Weise dynamische Anpassung der Klemmkraft F_R an die aktuelle dynamische Belastung des optischen Moduls 106.1 erzielt werden.

Die Zugkraft F des Krafterzeugungselements 118.1 wird dabei durch die Steuereinrichtung 112 so eingestellt, dass die Klemmkraft F_R stets nur auf das für die aktuelle Belastungssituation erforderliche Maß beschränkt ist. Hierdurch lässt sich im Vergleich zur herkömmlichen Einrichtungen, bei denen das optische Modul stets mit der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} geklemmt wird, über weite Strecken des Betriebes der Mikrolithographieeinrichtung 101 eine deutliche Reduktion der Klemmkraft F_R und damit der in das optische Modul 106.1 eingeleiteten Spannungen. Dies führt zu einer Reduktion von spannungsinduzierten Effekten, wie beispielsweise der spannungsinduzierten Doppelbrechung, und damit zu einer erhöhten Abbildungsqualität, die mit der vorliegenden Erfindung bei der Mikrolithographieeinrichtung 101 erzielt werden kann. So kann mit der vorliegenden Erfindung in der Regel im Normalbetrieb ohne außergewöhnliche Stoßbelastungen die spannungsinduzierte Doppelbrechung etwa auf ein Siebtel des Wertes bei herkömmlichen Einrichtungen mit dauerhafter maximaler Klemmkraft F_{Rmax} reduziert werden (je nach Auslegung der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} kann dieser Wert sogar noch deutlich geringer ausfallen).

Mit der in Figur 4 dargestellten, soeben beschriebenen Gestaltung wird bei einem Ausfall der Stromversorgung bzw. der Versorgung des Krafterzeugungselements 118.1 durch die Steuereinrichtung 112 und einem daraus resultierenden Abfall der Zugkraft F auf den Wert Null in jedem Fall die maximalen Klemmkraft F_{Rmax} auf das optische Modul 106.1 ausgeübt, sodass sichergestellt ist, dass dieses auch unter den ungünstigsten zu erwartenden Belastungssituationen in seiner Position verbleibt.

Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch vorgesehen sein kann, dass die Vorspannkraft F_V des Vorspannelements lediglich auf eine im Normalbetrieb zu erwartende maximale Belastungssituation ausgelegt ist (z. B. eine maximale Beschleunigung von $3g$) und das Krafterzeugungselement eine in Richtung der Vorspannkraft wirkende Zugkraft F ausübt, welche außergewöhnliche höhere Belastungen abfängt, indem die Klemmkraft F_R auf das optische Modul durch das Krafterzeugungselement noch weiter erhöht wird. Hierbei versteht es sich, dass die

mechanische Anordnung des Krafterzeugungselements gegenüber der in Figur 4 dargestellten Anordnung so modifiziert werden muss, dass die Zugkraft F in Richtung der Vorspannkraft F_V wirkt.

Um die dynamische Anpassung der Zugkraft F und damit der Klemmkraft F_R auch beim
5 Transport zu gewährleisten, muss die Steuereinrichtung in diesem Fall natürlich auch beim Transport in Betrieb sein. Es versteht sich jedoch, dass für den Transportfall bei entsprechend zuverlässiger Dichtigkeit auch lediglich ein der maximal zu erwartenden Belastung entsprechender Arbeitsdruck im Arbeitsraum des Krafterzeugungselements aufgebaut werden kann (sodass die maximale Klemmkraft F_{Rmax} auf das optische Modul
10 wird) und der Arbeitsraum dann beispielsweise durch ein entsprechendes Ventil abgeschlossen wird. Das Krafterzeugungselement wirkt dann wie eine vorgespannte pneumatische Feder, welche bei entsprechender Dichtigkeit des Systems auch ohne Energiezufuhr dauerhaft die Ausübung der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} auf das optische Modul sicherstellt.

15 Es versteht sich, dass die Vorspannkraft F_V nicht notwendigerweise durch die in Figur 4 dargestellte Druckfeder erzeugt werden muss. Vielmehr ist es auch möglich, eine oder mehrere Zugfedern einzusetzen, um die Vorspannkraft F_V zu erzielen, wie dies in Figur 4 durch die gestrichelte Kontur 119 angedeutet ist.

Weiterhin versteht es sich, dass es sich bei dem Vorspannelement auch um ein aktives
20 Element handeln kann, dessen Vorspannkraft F_V gesteuert durch die Steuereinrichtung 112 verstellt werden kann. Hierbei kann es sich um ein beliebiges Element handeln, welches eine aktiv verstellbare Kraft erzeugt. Insbesondere kann es sich um ein elektrisches bzw. elektromechanisches Element (z. B. Piezoaktuatoren, Lorentz-Aktuatoren etc.) oder wiederum ein fluidisches Krafterzeugungselemente (z. B. Kolben-, Membran- oder
25 Balgaktuatoren etc.) insbesondere ein weiteres fluidisches Muskelement handeln.

Es versteht sich weiterhin, dass an dem optischen Modul 106.1 eine Mehrzahl von Krafterzeugungseinrichtungen 118 angreifen können. Dies gilt insbesondere bei anders gestalteten optischen Modulen, welche durch die erfindungsgemäße Gestaltung geklemmt werden. So können beispielsweise bei der Klemmung eines rotationssymmetrischen
30 optischen Moduls mehrere (bevorzugt gleichmäßig) am Umfang des optischen Moduls verteilte Krafterzeugungseinrichtungen vorgesehen sein, welche im Zusammenspiel das optische Modul klemmen.

Figur 5 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Abbildungsverfahrens, welches mit der Mikrolithographieeinrichtung 101 durchgeführt wird und bei dem eine bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens zum Ausüben einer Kraft auf ein optisches Modul zur Anwendung kommt.

- 5 Zunächst wird in dem Schritt 120.1 der Verfahrensablauf gestartet. In einem Schritt 120.2 werden dann die Komponenten der Mikrolithographieeinrichtung 101 aus Figur 1 in einen Zustand gebracht, in der die oben beschriebene Abbildung des Projektionsmusters der Maske 103.1 auf das Substrat 105.1 erfolgen kann.

10 Hierbei kann die Anordnung aus Figur 4 in vorteilhafter Weise dazu genutzt werden, eine genau definierte Klemmkraft F_R auf das optische Modul 106.1 auszuüben. Hierzu wird das Vorspannelement 118.4 vor der Montage des Portals 118.5 auf der Stützstruktur 117 durch das Krafterzeugungselement 118.1 gesteuert durch die Steuereinrichtung 112 auf die maximale Klemmkraft F_{Rmax} vorgespannt. Die Zugkraft F des Krafterzeugungselements 118.1 wird unter Verwendung des Kraftsensors 112.1 eingestellt und entspricht hierbei
15 natürlich der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} .

20 Das Portal 118.5 wird dann an die Stützstruktur 117 angenähert, bis beim Kontakt der Klemmplatte 118.6 mit dem optischen Modul 106.1 über den Kraftsensor 112.1 eine Änderung in der Zugkraft F (hier ein Abfall der Zugkraft F) registriert wird. In dieser Lage wird das Portal 118.5 bezüglich der Stützstruktur 117 fixiert und die Zugkraft F auf den
25 entsprechend der aktuellen Belastungssituation erforderlichen Wert reduziert. Bei diesem Vorgehen ist somit sichergestellt, dass auf das optische Modul 106.1 stets eine genau definierte Klemmkraft F_R wirkt. Wird beispielsweise die Zugkraft F der Krafterzeugungseinrichtung 118.1 auf den Wert Null reduziert, so wird das optische Modul genau mit der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} durch das Vorspannelement von 118.4
25 geklemmt.

30 In einem Schritt 120.3 erfolgt parallel zum Betrieb der Mikrolithographieeinrichtung 101 in einem Schritt 120.4 die oben beschriebene Erfassung des aktuellen Werts der Beschleunigung a über die Erfassungseinrichtung 113 sowie der oben beschriebene Vergleich des aktuellen Werts der Klemmkraft F_R mit einem für diese aktuelle Beschleunigung vorgegebenen Sollwert F_{RS} .

In einem Schritt 120.5 steuert die Steuereinrichtung 112 dann in der oben beschriebenen Weise das Krafterzeugungselement 118.1 derart an, dass die Krafterzeugungseinrichtung 118 eine entsprechende Klemmkraft F_R auf das optische Modul 106.1 ausübt.

5 Nachfolgend wird in einem Schritt 120.6 überprüft, ob der Betrieb der Mikrolithographieeinrichtung weitergeführt werden soll. Ist dies nicht der Fall, wird der Verfahrensablauf in dem Schritt 120.7 beendet. Andernfalls wird zurück zu dem Schritt 120.3 gesprungen.

Drittes Ausführungsbeispiel

10 Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 6 ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung 216 beschrieben, welche an Stelle der optischen Einrichtung 116 in der Mikrolithographieeinrichtung 101 zum Einsatz kommen kann. Die optischen Einrichtung 216 entspricht in ihrem grundsätzlichen Aufbau und ihrer Funktionsweise der optischen Einrichtung 116 aus Figur 4, sodass hier lediglich auf die Unterschiede eingegangen werden soll. Insbesondere sind gleichartige
15 Komponenten mit um den Wert 100 erhöhten Bezugszeichen versehen und es wird hinsichtlich deren Merkmale auf die obigen Ausführungen verwiesen.

Der Unterschied zur optischen Einrichtung 116 besteht lediglich in der Gestaltung der Krafterzeugungseinrichtung 218. Diese Krafterzeugungseinrichtung 218 umfasst als
20 Krafterzeugungselement einen piezoelektrisches Element 218.1, über welches die Klemmkraft F_R wie bei dem zweiten Ausführungsbeispiel dynamisch an die aktuelle Belastungssituation der optischen Einrichtung 216 angepasst werden kann. Die Vorspannkraft F_V wird im vorliegenden Beispiel (bei abgeschaltetem Krafterzeugungselement 218.1) durch die elastische Verformung der im Kraftfluss zwischen der Stützstruktur 117 und dem optischen Modul 106.1 liegenden Komponenten
25 (insbesondere des Portals 218.5) erzielt. Die Vorspannkraft F_V ist dabei lediglich auf eine im Normalbetrieb zu erwartende maximale Belastungssituation ausgelegt ist (z. B. eine maximale Beschleunigung von 3g).

Das Krafterzeugungselement 218.1 übt im aktivierten Zustand eine in Richtung der Vorspannkraft wirkende Druckkraft F aus, welche außergewöhnliche höhere Belastungen
30 abfängt, indem die Klemmkraft F_R auf das optische Modul durch das Krafterzeugungselement 218.1 noch weiter erhöht wird. Die Druckkraft F wird dabei gesteuert durch die Steuereinrichtung 112 in Abhängigkeit von einer durch die

Erfassungseinrichtung 113 erfassten aktuellen Beschleunigung a und der durch die Sensoreinrichtung 112.1 erfassten Klemmkraft F_R eingestellt.

Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung wiederum vorgesehen sein kann, dass die maximale Klemmkraft F_{Rmax} bei abgeschaltetem

5 Krafterzeugungselement erzielt wird und im aktivierten bzw. unter Spannung stehendem Krafterzeugungselement eine Reduktion der Klemmkraft F_R erzielt wird.

Weiterhin versteht es sich, dass bei anderen Varianten der Erfindung für das Krafterzeugungselement, über welches die dynamische Anpassung der Klemmkraft F_R an die aktuelle Belastungssituation erfolgt, auch beliebige andere elektrische bzw.

10 elektromechanische Krafterzeugungselemente (z. B. Lorentz-Aktuatoren etc.) oder fluidische Krafterzeugungselemente, (z. B. Kolben-, Membran- oder Balgaktuatoren etc.) zum Einsatz kommen können.

Viertes Ausführungsbeispiel

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 7 ein weiteres bevorzugtes
15 Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung 316 beschrieben. Die optische Einrichtung 316 ist Bestandteil des Objektivs 104 und umfasst ein optisches Modul in Form des optischen Elements 107.1 und eine Stützstruktur 317. Das optische Element ist im vorliegenden Beispiel als Linse 107.1 ausgeführt. Die Linse 107.1 weist an ihrem äußeren Umfang einen Absatz 107.2 auf. Im Bereich des Absatzes 107.2 ist die Linse
20 107.1 über eine Krafterzeugungseinrichtung 318 mit der Stützstruktur 317 verbunden.

Die Krafterzeugungseinrichtung 318 dient dazu, eine Klemmkraft F_R auf den Absatz 107.2, mithin also auf das optische Modul 107.1 auszuüben und dieses so auch unter der
Einwirkung externer Kräfte in seiner vorgegebenen Position bezüglich der Stützstruktur 317 zu halten. Hierzu umfasst die Krafterzeugungseinrichtung 318 wiederum ein fluidisches
25 Krafterzeugungselement 318.1. Das Krafterzeugungselement 318.1 weist eine Arbeitskammer 318.2 auf, die durch die Steuereinrichtung 312 mit einem Arbeitsfluid beaufschlagt wird. Die Steuereinrichtung 312 stellt wiederum den Arbeitsdruck in dem zu der Arbeitskammer 318.2 gelieferten Arbeitsfluid entsprechend der Kraft F ein, die durch das Krafterzeugungselement 318.1 auszuüben ist.

30 Das Krafterzeugungselement 318.1 ist wiederum nach Art eines Muskelements ausgebildet, das bei einem ersten Arbeitsdruck p_1 in der Arbeitskammer 318.2 eine erste

Zugkraft F_1 ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck p_1 erhöhten zweiten Arbeitsdruck p_2 in der Arbeitskammer 318.2 eine zweite Zugkraft F_2 ausübt, die gegenüber der ersten Zugkraft F_1 erhöht ist (d. h. für $p_1 < p_2$ gilt $F_1 < F_2$). Sofern die mechanischen Randbedingungen dies zulassen, vollführt das Krafterzeugungselement 318.1 bei einer Erhöhung des Arbeitsdrucks eine Kontraktion entlang seiner Längsachse 318.3. Mithin vollführt das Krafterzeugungselement 318.1 also (ähnlich einem menschlichen Muskel) bei einer Energiezufuhr unter Aufbringung einer ansteigenden Zugkraft F eine Kontraktion entlang seiner Längsrichtung.

Bei dem Arbeitsfluid kann es sich sowohl um ein flüssiges als auch um ein gasförmiges Medium handeln. Je nach Anwendungsfall können beide Varianten von Vorteil sein. Insbesondere kann unter anderem die erforderliche Steifigkeit der Verbindung zwischen dem optischen Modul 107.1 und der Stützstruktur 317 eine Rolle spielen. Ist beispielsweise eine besonders steife Anbindung des optischen Moduls 107.1 an der Stützstruktur 317 von Vorteil, so wird bevorzugt ein flüssiges Medium zum Einsatz kommen, während bei einer geringeren erforderlichen Steifigkeit wegen seiner Kompressibilität ein gasförmiges Medium bevorzugt wird.

Derartige fluidische Muskelemente sind hinlänglich bekannt, sodass hierauf nicht näher eingegangen werden soll. Ein Beispiel eines solchen fluidischen Muskelements stellen die pneumatischen Muskelemente von der Fa. Festo AG & Co. KG (73734 Esslingen, DE) dar, die unter der Bezeichnung "Fuidic Muscle DMSP" oder "Fuidic Muscle MAS" vertrieben und in dem Firmenprospekt "Info 501" (Ausgabe 2005/04) der Fa. Festo AG & Co. KG (73734 Esslingen, DE) beschrieben werden, dessen gesamte Offenbarung hierin durch Bezugnahme eingeschlossen wird.

Das Muskelement 318.1 hat zum einen den Vorteil, dass es ruck- bzw. stoßfrei arbeitet, sodass die Kraft F besonders sanft in das optische Modul 107.1 eingebracht werden kann. Dies hat wiederum den Vorteil, dass es zu keiner Beeinflussung anderer Komponenten der optischen Einrichtung 316 durch eventuelle Stöße bei der Betätigung des Muskelements 318.1 kommt. Ein weiterer Vorteil des Muskelements 318.1 liegt darin, dass es durch sein Wirkprinzip einer Kontraktion entlang seiner Längsachse 318.3 bei einer Erhöhung des Arbeitsdrucks und dem daraus resultierenden Ausüben einer Zugkraft unempfindlich gegen Querkräfte ist, wodurch sich die Gestaltung der Krafterzeugungseinrichtung 318 erheblich vereinfacht. So ist im Vergleich zu herkömmlichen ähnlich ruckfrei arbeitenden fluidischen Aktuatoren (z. B. herkömmlichen Balgaktuatoren, die bei Erhöhung des Arbeitsdrucks eine Druckkraft ausüben) deutlich weniger Aufwand für die Entkopplung solcher Querkräfte bzw.

die gegenseitige Führung der gekoppelten Komponenten (hier also des optischen Moduls 107.1 und der Stützstruktur 317) zu betreiben.

Um die durch das Krafterzeugungselement 318.1 ausgeübte Kraft F aktiv zu beeinflussen, ist eine Erfassungseinrichtung 313 vorgesehen, die mit der Steuereinrichtung 312
5 verbunden ist. Die Erfassungseinrichtung 313 erfasst im vorliegenden Beispiel (als aktuellen Wert einer für den Betriebszustand der optischen Einrichtung 316 repräsentativen Zustandsvariablen) den aktuellen Wert der auf die optische Einrichtung 316 wirkenden Beschleunigung a quer zur Richtung der Klemmkraft F_R .

Die Erfassungseinrichtung 313 liefert diesen aktuellen Wert der erfassten Beschleunigung
10 an die Steuereinrichtung 312. Die Steuereinrichtung 312 bestimmt anhand des aktuellen Werts der Beschleunigung a einen Sollwert F_{RS} der Klemmkraft und stellt den Arbeitsdruck in der Arbeitskammer 318.2 so ein, dass einer bestehenden Abweichung zwischen dem Sollwert F_{RS} und dem Istwert F_R der Klemmkraft entgegengewirkt wird.

Hierzu ist ein weiterer Regelkreis für die Klemmkraft vorgesehen. So umfasst
15 Steuereinrichtung 312 eine kinematisch in Serie zu dem der Krafterzeugungselement 318.1 angeordnete Sensoreinrichtung 312.1, welche die von dem Krafterzeugungselement 318.1 ausgeübte Kraft F misst. Mithin kann die Sensoreinrichtung 312.1 also beispielsweise als Kraftmessdose oder dergleichen ausgebildet sein.

Der Sollwert F_{RS} der Klemmkraft wird in der Steuereinrichtung 312 wie erwähnt in
20 Abhängigkeit von der über die Erfassungseinrichtung 313 erfassten Beschleunigung a vorgegeben. Die Steuereinrichtung 312 modifiziert dann den Arbeitsdruck des Arbeitsfluids solange, bis der Istwert F_R der Klemmkraft dem Sollwert F_{RS} entspricht.

Die Krafterzeugungseinrichtung 318 umfasst neben dem Krafterzeugungselement 318.1
25 eine weitere Krafterzeugungskomponente in Form eines Vorspannelements 318.4, welches zusammen mit dem Krafterzeugungselement 318.1 die von der Krafterzeugungseinrichtung 318 auf das optische Modul 107.1 ausgeübte Kraft definiert. Das Vorspannelement 318.4 ist als einfache mechanische Feder ausgebildet, die kinematisch parallel zu dem Krafterzeugungselement 318.1 angeordnet ist, wobei ihre Längsachse kollinear zur Längsachse 318.3 des Krafterzeugungselements 318.1 verläuft.

30 Das Krafterzeugungselement 318.1 und das Vorspannelement 318.4 sind jeweils einerseits mit einem Widerlager 318.5 und andererseits einer Klemmplatte 318.6 verbunden. Im

montierten Zustand ist das Widerlager 318.5 an der Stützstruktur 317 befestigt, während die Klemmplatte 318.6 das optische Modul 107.1 kontaktiert.

Das Vorspannelement 318.4 ist im gezeigten Beispiel eine Druckfeder, welche im montierten Zustand komprimiert ist und so auf das optische Modul 107.1 eine der Kraft F des Krafterzeugungselements 318.1 entgegenwirkende Vorspannkraft in Form einer Druckkraft F_V ausübt. Die auf das optische Modul (im statischen Fall) ausgeübte resultierende Kraft F_R bestimmt sich dann (mit den in Figur 7 eingezeichneten Krafrichtungen) gemäß Gleichung 2 zu:

$$F_R = F_V - F.$$

Das Vorspannelement 318.4 ist so gestaltet, dass es im dargestellten Zustand (bei Kontakt der Klemmplatte 318.6 mit dem optischen Modul 107.1) eine Vorspannkraft F_V ausübt, die der maximal auf das optische Modul 107.1 auszuübenden Klemmkraft F_{Rmax} entspricht. Diese maximale Klemmkraft F_{Rmax} bestimmt sich nach der ungünstigsten bei der Montage, dem Transport oder im Betrieb der Mikrolithographieeinrichtung 101 zu erwartenden Kraftwirkung auf das optische Modul 107.1, für die sichergestellt sein muss, dass das optische Modul 107.1 sich nicht bezüglich der Stützstruktur 317 verschiebt. Eine solche ungünstige Kraftwirkung auf das optische Modul 107.1 kann zum Beispiel infolge von stoßartigen Belastungen bei der Montage oder beim Transport der Mikrolithographieeinrichtung 101 auftreten.

Typischerweise ist die maximale Klemmkraft F_{Rmax} auf die ungünstigste anzunehmende Situation ausgelegt, in der dem Siebenfachen der Erdbeschleunigung (7g) entsprechende Kräfte auf das optische Modul 107.1 wirken. Insbesondere der Montage und beim Transport der optischen Einrichtung 316 können aber auch deutlich höhere Beschleunigungen bzw. Kräfte auf optische Einrichtung 316 wirken. Gegebenenfalls ist also die Klemmkraft F_{Rmax} auf deutlich höhere Beschleunigungswerte (z. B. bis zu 20g) ausgelegt.

Im Normalbetrieb der Mikrolithographieeinrichtung 101 wirken auf das optische Modul 107.1 (also auf die Linse 107.1) jedoch üblicherweise maximal Kräfte, welche dem Dreifachen der Erdbeschleunigung (3g) entsprechen. Durch die Variation der Zugkraft F des Krafterzeugungselements 318.1 in Abhängigkeit von der auf die optische Einrichtung 316 wirkenden Beschleunigung kann in vorteilhafter Weise dynamische Anpassung der Klemmkraft F_R an die aktuelle dynamische Belastung des optischen Moduls 107.1 erzielt werden.

Die Zugkraft F des Krafterzeugungselements 318.1 wird dabei durch die Steuereinrichtung 312 so eingestellt, dass die Klemmkraft F_R stets nur auf das für die aktuelle Belastungssituation erforderliche Maß beschränkt ist. Hierdurch lässt sich im Vergleich zur herkömmlichen Einrichtungen, bei denen das optische Modul stets mit der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} geklemmt wird, über weite Strecken des Betriebes der Mikrolithographieeinrichtung 101 eine deutliche Reduktion der Klemmkraft F_R und damit der in das optische Modul 107.1 eingeleiteten Spannungen. Dies führt zu einer Reduktion von spannungsinduzierten Effekten, wie beispielsweise der spannungsinduzierten Doppelbrechung, und damit zu einer erhöhten Abbildungsqualität, die mit der vorliegenden Erfindung bei der Mikrolithographieeinrichtung 101 erzielt werden kann. So kann mit der vorliegenden Erfindung in der Regel im Normalbetrieb ohne außergewöhnliche Stoßbelastungen die spannungsinduzierte Doppelbrechung etwa auf ein Siebtel des Wertes bei herkömmlichen Einrichtungen mit dauerhafter maximaler Klemmkraft F_{Rmax} reduziert werden (je nach Auslegung der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} kann dieser Wert sogar noch deutlich geringer ausfallen).

Mit der in Figur 7 dargestellten, soeben beschriebenen Gestaltung wird bei einem Ausfall der Stromversorgung bzw. der Versorgung des Krafterzeugungselements 318.1 durch die Steuereinrichtung 312 und einem daraus resultierenden Abfall der Zugkraft F auf den Wert Null in jedem Fall die maximale Klemmkraft F_{Rmax} auf das optische Modul 107.1 ausgeübt, sodass sichergestellt ist, dass dieses auch unter den ungünstigsten zu erwartenden Belastungssituationen in seiner Position verbleibt.

Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch vorgesehen sein kann, dass die Vorspannkraft F_V des Vorspannelements lediglich auf eine im Normalbetrieb zu erwartende maximale Belastungssituation ausgelegt ist (z. B. eine maximale Beschleunigung von 3g) und das Krafterzeugungselement eine in Richtung der Vorspannkraft wirkende Zugkraft F ausübt, welche außergewöhnliche höhere Belastungen abfängt, indem die Klemmkraft F_R auf das optische Modul durch das Krafterzeugungselement noch weiter erhöht wird. Hierbei versteht es sich, dass die mechanische Anordnung des Krafterzeugungselements gegenüber der in Figur 4 dargestellten Anordnung so modifiziert werden muss, dass die Zugkraft F in Richtung der Vorspannkraft F_V wirkt.

Um die dynamische Anpassung der Zugkraft F und damit der Klemmkraft F_R auch beim Transport zu gewährleisten, muss die Steuereinrichtung 312 in diesem Fall natürlich auch beim Transport in Betrieb sein. Es versteht sich jedoch, dass für den Transportfall bei

entsprechend zuverlässiger Dichtigkeit auch lediglich ein der maximal zu erwartenden Belastung entsprechender Arbeitsdruck im Arbeitsraum des Krafterzeugungselements aufgebaut werden kann (sodass die maximale Klemmkraft F_{Rmax} auf das optische Modul wird) und der Arbeitsraum dann beispielsweise durch ein entsprechendes Ventil
5 abgeschlossen wird. Das Krafterzeugungselement wirkt dann wie eine vorgespannte pneumatische Feder, welche bei entsprechender Dichtigkeit des Systems auch ohne Energiezufuhr dauerhaft die Ausübung der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} auf das optische Modul sicherstellt.

Es versteht sich, dass die Vorspannkraft F_V nicht notwendigerweise durch die in Figur 7
10 dargestellte Druckfeder erzeugt werden muss. Vielmehr ist es auch möglich, eine oder mehrere Zugfedern einzusetzen, um die Vorspannkraft F_V zu erzielen (ähnlich einer Anordnung wie sie in Figur 4 durch die gestrichelte Kontur 119 angedeutet ist).

Weiterhin versteht es sich, dass es sich bei dem Vorspannelement auch um ein aktives Element handeln kann, dessen Vorspannkraft F_V gesteuert durch die Steuereinrichtung 312
15 verstellt werden kann. Hierbei kann es sich um ein beliebiges Element handeln, welches eine aktiv verstellbare Kraft erzeugt. Insbesondere kann es sich um ein elektrisches bzw. elektromechanisches Element (z. B. Piezoaktuatoren, Lorentz-Aktuatoren etc.) oder wiederum ein fluidisches Krafterzeugungselemente (z. B. Kolben-, Membran- oder Balgaktuatoren etc.) insbesondere ein weiteres fluidisches Muskelement handeln.

Es versteht sich weiterhin, dass in den meisten Fällen an dem optischen Modul 107.1 eine
20 Mehrzahl von Krafterzeugungseinrichtungen 318 angreifen. Dies gilt insbesondere bei herkömmlich gestalteten rotationssymmetrischen Linsen. Hier sind dann in der Regel mehrere (bevorzugt gleichmäßig) am Umfang des optischen Moduls verteilte Krafterzeugungseinrichtungen vorgesehen, welche im Zusammenspiel die Linse klemmen.

In einer weiteren Variante kann die Erfassungseinrichtung 313 zur aktiven Beeinflussung
25 der durch das Krafterzeugungselement 318.1 ausgeübten Kraft F (als aktuellen Wert einer weiteren für den Betriebszustand der optischen Einrichtung 316 repräsentativen Zustandsvariablen) zusätzlich den aktuellen Wert der auf die optische Einrichtung 316 wirkenden Beschleunigung b in Richtung der Klemmkraft F_R erfassen.

Die Erfassungseinrichtung 313 liefert diesen aktuellen Wert der erfassten Beschleunigung b
30 ebenfalls an die Steuereinrichtung 312. Die Steuereinrichtung 312 bestimmt anhand des aktuellen Werts der Beschleunigung a und b einen Sollwert F_{RS} der Klemmkraft und stellt

den Arbeitsdruck mittels des oben beschriebenen Regelkreises in der Arbeitskammer 318.2 so ein, dass einer bestehenden Abweichung zwischen dem Sollwert F_{RS} und dem Istwert F_R der Klemmkraft entgegengewirkt wird.

Der Sollwert F_{RS} der Klemmkraft wird in der Steuereinrichtung 312 wie erwähnt in
 5 Abhängigkeit von der über die Erfassungseinrichtung 313 erfassten Beschleunigung a und b vorgegeben. Die Steuereinrichtung 312 modifiziert dann den Arbeitsdruck des Arbeitsfluids solange, bis der Istwert F_R der Klemmkraft dem Sollwert F_{RS} entspricht.

Der Sollwert F_{RS} ist dabei so gewählt, dass die Zugkraft F des Krafterzeugungselements 318.1 durch die Steuereinrichtung 312 so eingestellt wird, dass die Klemmkraft F_R zum
 10 einen stets nur auf das für die aktuelle Belastungssituation erforderliche Maß beschränkt ist. Hierdurch lässt sich im Vergleich zur herkömmlichen Einrichtungen, bei denen das optische Modul stets mit der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} geklemmt wird, über weite Strecken des Betriebes der Mikrolithographieeinrichtung 101 eine deutliche Reduktion der Klemmkraft F_R und damit der in das optische Modul 107.1 eingeleiteten Spannungen. Dies führt zu einer
 15 Reduktion von spannungsinduzierten Effekten, wie beispielsweise der spannungsinduzierten Doppelbrechung in der Linse 107.1, und damit zu einer erhöhten Abbildungsqualität, die mit der vorliegenden Erfindung bei der Mikrolithographieeinrichtung 101 erzielt werden kann. So kann mit der vorliegenden Erfindung in der Regel im Normalbetrieb ohne außergewöhnliche Stoßbelastungen die spannungsinduzierte
 20 Doppelbrechung etwa auf ein Siebtel des Wertes bei herkömmlichen Einrichtungen mit dauerhafter maximaler Klemmkraft F_{Rmax} reduziert werden (je nach Auslegung der maximalen Klemmkraft F_{Rmax} kann dieser Wert sogar noch deutlich geringer ausfallen).

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die (gegebenenfalls entsprechend der Quereschleunigung a in der oben beschriebenen Weise variierte) Klemmkraft F_R in
 25 Abhängigkeit von der Axialbeschleunigung b konstant gehalten wird. Die auf das optische Modul (in diesem dynamischen Fall) ausgeübte resultierende Kraft F_R bestimmt sich dann (mit den in Figur 7 eingezeichneten Krafrichtungen) in Erweiterung zum statischen Fall der Gleichung 2 bei konstanter Beschleunigung a zu:

$$F_R = F_v - F - F_b = const, \quad (3)$$

30 wobei F_b die Reaktionskraft auf die (aus der Beschleunigung b der Linse 107.1 resultierende) Trägheitskraft ist. Mit anderen Worten kann hiermit erreicht werden, dass bei konstanter Beschleunigung a unabhängig von der Axialbeschleunigung b stets dieselbe

resultierende Klemmkraft auf die Linse 107.1 wirkt, sodass insoweit die aus der Klemmung resultierenden, in die Linse 107.1 eingeleiteten Spannungen konstant bleiben. Dies führt zu einer Reduktion von spannungsinduzierten Effekten, wie beispielsweise der spannungsinduzierten Doppelbrechung, und damit zu einer erhöhten Abbildungsqualität.

- 5 Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass mit der optischen Einrichtung 316 das im Zusammenhang mit der Figur 3 beschriebene Verfahren gleichermaßen durchgeführt werden kann, wobei als die Zustandsvariablen die Beschleunigung a und gegebenenfalls die Beschleunigung b erfasst und in der beschriebenen Weise berücksichtigt werden.

Fünftes Ausführungsbeispiel

- 10 Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 8 ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen optischen Einrichtung 416 beschrieben, welche an Stelle der optischen Einrichtung 316 in der Mikrolithographieeinrichtung 101 zum Einsatz kommen kann. Die optischen Einrichtung 416 entspricht in ihrem grundsätzlichen Aufbau und ihrer Funktionsweise der optischen Einrichtung 316 aus Figur 7, sodass hier
15 lediglich auf die Unterschiede eingegangen werden soll. Insbesondere sind gleichartige Komponenten mit um den Wert 100 erhöhten Bezugszeichen versehen und es wird hinsichtlich deren Merkmale auf die obigen Ausführungen verwiesen.

- Der Unterschied zur optischen Einrichtung 316 besteht lediglich zum einen in der Gestaltung der Krafterzeugungseinrichtung 418 und zum anderen in dem optischen Modul
20 407.1, welches im vorliegenden Beispiel ein reflektives optisches Element in Form eines Spiegels oder dergleichen ist.

- Die Krafterzeugungseinrichtung 418 umfasst als Krafterzeugungselement ein piezoelektrisches Element 418.1, über welches die Klemmkraft F_R wie bei dem dritten Ausführungsbeispiel dynamisch an die aktuelle Belastungssituation der optischen
25 Einrichtung 416 angepasst werden kann. Die Vorspannkraft F_V wird im vorliegenden Beispiel (bei abgeschaltetem Krafterzeugungselement 418.1) durch die elastische Verformung der im Kraftfluss zwischen der Stützstruktur 317 und dem optischen Modul 307.1 liegenden Komponenten (insbesondere des Widerlagers 418.5) erzielt. Die Vorspannkraft F_V ist dabei lediglich auf eine im Normalbetrieb zu erwartende maximale
30 Belastungssituation ausgelegt ist (z. B. eine maximale Beschleunigung von $3g$).

Das Krafterzeugungselement 418.1 übt im aktivierten Zustand eine in Richtung der Vorspannkraft wirkende Druckkraft F aus, welche außergewöhnliche höhere Belastungen abfängt, indem die Klemmkraft F_R auf das optische Modul durch das Krafterzeugungselement 418.1 noch weiter erhöht wird. Die Druckkraft F wird dabei
5 gesteuert durch die Steuereinrichtung 112 in Abhängigkeit von einer durch die Erfassungseinrichtung 113 erfassten aktuellen Beschleunigung a und der durch die Sensoreinrichtung 112.1 erfassten Klemmkraft F_R eingestellt.

Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung wiederum vorgesehen sein kann, dass die maximale Klemmkraft F_{Rmax} bei abgeschaltetem
10 Krafterzeugungselement erzielt wird und im aktivierten bzw. unter Spannung stehendem Krafterzeugungselement eine Reduktion der Klemmkraft F_R erzielt wird.

Weiterhin versteht es sich, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch bei der optischen Einrichtung 416 eine Einstellung der Klemmkraft in Abhängigkeit von der Beschleunigung a und b vorgenommen werden kann (wie sie oben im Zusammenhang mit
15 der optischen Einrichtung 316 beschrieben wurde).

Bei der Mikrolithographieeinrichtung 101, der die optische Einrichtung 416 zum Einsatz kommen kann, handelt es sich um eine Einrichtung, die im so genannten VUV-Bereich mit Licht der Wellenlänge 193 nm arbeitet. Es versteht sich jedoch, dass die optische
Einrichtung 416 auch in Abbildungseinrichtungen zum Einsatz kommen kann, die für die
20 Abbildung Licht einer beliebigen anderen Wellenlänge verwenden. Insbesondere kann die optische Einrichtung 416 in einem so genannten EUV-System zum Einsatz kommen, das mit Licht im so genannten EUV-Bereich bei einer Wellenlänge von etwa 5 nm bis 20 nm arbeitet, insbesondere mit Licht einer Wellenlänge von etwa 13 nm. Gerade bei diesen
extrem kurzen Wellenlängen kann der mit der Erfindung erzielte Vorteil der Reduktion
25 spannungsinduzierter Effekte, die zu Abbildungsfehlern führen, besonders positiv auswirken.

Schließlich versteht es sich, dass bei anderen Varianten der Erfindung für das Krafterzeugungselement, über welches die dynamische Anpassung der Klemmkraft F_R an die aktuelle Belastungssituation erfolgt, auch beliebige andere elektrische bzw.
30 elektromechanische Krafterzeugungselemente (z. B. Lorentz-Aktuatoren etc.) oder fluidische Krafterzeugungselemente, (z. B. Kolben-, Membran- oder Balgaktuatoren etc.) zum Einsatz kommen können.

Die vorliegende Erfindung wurde vorstehend anhand von Beispielen beschrieben, bei denen ausschließlich refraktive oder reflektive optische Elemente verwendet wurden. Es sei an dieser Stelle jedoch nochmals angemerkt, dass die Erfindung natürlich auch, insbesondere für den Fall der Abbildung bei anderen Wellenlängen, bei im Zusammenhang mit optischen Einrichtungen Anwendung finden kann, die alleine oder in beliebiger Kombination refraktive, reflektive oder diffraktive optische Elemente umfassen.

Weiterhin wurde die vorliegende Erfindung vorstehend anhand von Beispielen beschrieben, bei denen ausschließlich optisch wirksame Elemente eines Objektivs oder einer Beleuchtungseinrichtung manipuliert wurden. Es sei an dieser Stelle jedoch nochmals angemerkt, dass die Erfindung natürlich auch zur Krafterzeugung auf andere optisch wirksame Komponenten der Abbildungseinrichtung, insbesondere von Komponenten der Maskeneinrichtung und/oder der Substrateinrichtung, Anwendung finden kann.

Schließlich ist anzumerken, dass die vorliegende Erfindung vorstehend anhand von Beispielen aus dem Bereich der Mikrolithographie beschrieben wurde. Es versteht sich jedoch, dass die vorliegende Erfindung ebenso auch für beliebige andere Anwendungen bzw. Abbildungsverfahren, insbesondere bei beliebigen Wellenlängen des zur Abbildung verwendeten Lichts, eingesetzt werden kann.

* * * * *

Patentansprüche

1. Optische Einrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit
- einem optischen Modul,
 - einer Stützstruktur und
 - 5 - einer Krafterzeugungseinrichtung, wobei
 - die Krafterzeugungseinrichtung mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden ist und dazu ausgebildet ist, auf das optische Modul eine Klemmkraft auszuüben,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 - die Krafterzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, gesteuert durch eine mit ihr verbundene Steuereinrichtung die Klemmkraft in Abhängigkeit von einer auf das optische Modul wirkenden Beschleunigung zu verändern.
2. Optische Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 - eine mit der Krafterzeugungseinrichtung verbundene Steuereinrichtung vorgesehen ist und
 - eine mit der Steuereinrichtung verbundene Erfassungseinrichtung vorgesehen ist, wobei
 - die Erfassungseinrichtung dazu ausgebildet ist, einen aktuellen Wert einer für einen Betriebszustand der optischen Einrichtung repräsentativen
 - 20 Zustandsvariablen zu erfassen,
 - in Abhängigkeit von dem Wert der Zustandsvariablen ein Sollwert für die auf das optische Modul auszuübende Kraft der Krafterzeugungseinrichtung vorgegeben ist und
 - die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die Klemmkraft in Abhängigkeit von
 - 25 dem sich aus dem aktuellen Wert der Zustandsvariablen ergebenden aktuellen Sollwert einzustellen, wobei
 - insbesondere vorgesehen ist, dass der Sollwert über einen vorgebbaren Wertebereich der Zustandsvariablen im Wesentlichen konstant ist.

3. Optische Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsvariable eine Variable ist, die für eine auf das optische Modul in wenigstens einem Freiheitsgrad wirkende Kraft oder Beschleunigung repräsentativ ist.
4. Optische Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,
5 dass die Krafterzeugungseinrichtung ein Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer aufweist, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist.
5. Optische Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das
10 Krafterzeugungselement als Muskelement ausgebildet ist, das bei einem ersten Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft erhöhte zweite Zugkraft ausübt.
6. Optische Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,
15 dass
 - die Krafterzeugungseinrichtung ein Vorspannelement aufweist, wobei
 - das Vorspannelement dazu ausgebildet ist, in zumindest einem Betriebszustand eine der Zugkraft des Krafterzeugungselements entgegenwirkende Vorspannkraft auszuüben.
7. Optische Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das
20 Vorspannelement eine mechanische Federeinrichtung und/oder eine fluidische Vorspanneinrichtung umfasst.
8. Optische Einrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Krafterzeugungselement mechanisch parallel zu dem Vorspannelement angeordnet ist.
- 25 9. Optische Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Modul wenigstens ein optisches Element umfasst.
10. Optische Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass

- das optische Modul eine Halteeinrichtung aufweist, welche das optische Element hält, wobei
- die Krafterzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, ihre Kraft auf die Halteeinrichtung auszuüben.

5 11. Optische Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element

- ein stabförmiges Element ist, welches an einem Ende durch die Halteeinrichtung gehalten ist

oder

- 10
- ein Element ist, welches einen Außenumfang aufweist und im Bereich dieses Außenumfangs durch die Halteeinrichtung gehalten ist.

12. Optische Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kraftmesseinrichtung vorgesehen ist, welche dazu ausgebildet ist, die von dem Krafterzeugungselement ausgeübte Kraft zu messen.

15 13. Optische Abbildungseinrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit

- einer Beleuchtungseinrichtung,
- einer Maskeneinrichtung zur Aufnahme einer ein Projektionsmuster umfassenden Maske,
- einer Projektionseinrichtung mit einer optischen Elementgruppe und

20

- einer Substrateinrichtung zur Aufnahme eines Substrats, wobei

- die Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten des Projektionsmusters ausgebildet ist und

- die optische Elementgruppe zum Abbilden des Projektionsmusters auf dem Substrat ausgebildet ist,

25

- die Beleuchtungseinrichtung und/oder die Projektionseinrichtung ein optisches Modul mit einer Stützstruktur und einer Krafterzeugungseinrichtung umfasst,

- die Krafterzeugungseinrichtung mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden ist und dazu ausgebildet ist, auf das optische Modul eine Klemmkraft auszuüben,

30

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Krafterzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, gesteuert durch eine mit ihr verbundene Steuereinrichtung die Klemmkraft in Abhängigkeit von einer auf das optische Modul wirkenden Beschleunigung zu verändern.

5 14. Verfahren zum Ausüben einer Kraft auf ein optisches Modul, insbesondere zur Verwendung in der Mikrolithographie, bei dem

- das optische Modul über eine Stützstruktur abgestützt wird, wobei
- über eine mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbundene Krafterzeugungseinrichtung auf das optische Modul eine Klemmkraft ausgeübt wird,

10 dadurch gekennzeichnet, dass

- die Klemmkraft gesteuert durch eine Steuereinrichtung in Abhängigkeit von einer auf das optische Modul wirkenden Beschleunigung variiert wird

15 15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass

- ein aktueller Wert einer für einen Betriebszustand der optischen Einrichtung repräsentativen Zustandsvariablen erfasst wird,
- in Abhängigkeit von dem Wert der Zustandsvariablen ein Sollwert für die auf das optische Modul auszuübende Klemmkraft der Krafterzeugungseinrichtung vorgegeben ist und
- die Steuereinrichtung die Klemmkraft in Abhängigkeit von dem sich aus dem
- 20 aktuellen Wert des Zustandsvariablen ergebenden aktuellen Sollwert einstellt, wobei
- insbesondere vorgesehen ist, dass der Sollwert über einen vorgebbaren Wertebereich der Zustandsvariablen im Wesentlichen konstant ist.

25 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsvariable eine Variable ist, die für eine auf das optische Modul in wenigstens einem Freiheitsgrad wirkende Kraft oder Beschleunigung repräsentativ ist.

30 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Krafterzeugungseinrichtung ein Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer aufweist, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das
Krafterzeugungselement als Muskelement ausgebildet ist, das bei einem ersten
Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem gegenüber dem ersten
Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft
5 erhöhte zweite Zugkraft ausübt.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Krafterzeugungseinrichtung ein Vorspannelement aufweist, wobei
 - das Vorspannelement in zumindest einem Betriebszustand eine der Kraft des
Krafterzeugungselements entgegenwirkende Vorspannkraft ausübt.
- 10 20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Kraft des Krafterzeugungselements gemessen wird und das wenigstens eine
Vorspannelement vor dem Kontaktieren des optischen Moduls durch die
Krafterzeugungseinrichtung mit einer vorgebbaren Kraft des
Krafterzeugungselements vorgespannt wird,
 - 15 - die Krafterzeugungseinrichtung dem optischen Modul solange angenähert wird, bis
der Kontakt zwischen der Krafterzeugungseinrichtung und dem optischen Modul
durch eine vorgebbare Änderung der gemessenen Kraft des
Krafterzeugungselements erfasst wird, und
 - die Kraft des Krafterzeugungselements anschließend auf einen vorgebbaren Wert
20 reduziert wird.
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass die
Vorspannkraft mechanisch und/oder eine fluidisch erzeugt wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass
- das optische Modul wenigstens ein optisches Element umfasst, welches durch
eine Halteeinrichtung gehalten wird, wobei
 - 25 - die Kraft der Krafterzeugungseinrichtung auf die Halteeinrichtung ausgeübt wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass als
Krafterzeugungselement ein als Muskelement ausgebildetes Element verwendet
wird, das bei einem ersten Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem

gegenüber dem ersten Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft erhöhte zweite Zugkraft ausübt.

24. Optische Einrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit

- einem optischen Modul,
- 5 - einer Stützstruktur und
- einer Krafterzeugungseinrichtung, wobei
- die Krafterzeugungseinrichtung mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden ist und dazu ausgebildet ist, auf das optische Modul eine Kraft auszuüben,
- 10 - die Krafterzeugungseinrichtung ein fluidisches Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer aufweist, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Krafterzeugungselement als Muskelement ausgebildet ist, das bei einem
- 15 - ersten Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft erhöhte zweite Zugkraft ausübt.

25. Optische Einrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine mit der Krafterzeugungseinrichtung verbindbare Steuereinrichtung
- 20 - vorgesehen ist, wobei
- die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, den Arbeitsdruck in der Arbeitskammer zu verändern.

26. Optische Einrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine mit der Steuereinrichtung verbundene Erfassungseinrichtung vorgesehen ist,
- 25 - wobei
- die Erfassungseinrichtung dazu ausgebildet ist, einen aktuellen Wert einer für einen Betriebszustand der optischen Einrichtung repräsentativen Zustandsvariablen zu erfassen,

- in Abhängigkeit von dem Wert der Zustandsvariablen ein Sollwert für die auf das optische Modul auszuübende Kraft der Krafterzeugungseinrichtung vorgegeben ist und
 - die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, den Arbeitsdruck in der Arbeitskammer in Abhängigkeit von dem sich aus dem aktuellen Wert des Zustandsvariablen ergebenden aktuellen Sollwert einzustellen.
- 5
27. Optische Einrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Krafterzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, das optische Modul in wenigstens einem Freiheitsgrad in einer vorgegebenen Position zu fixieren, und
 - die Zustandsvariable eine Variable ist, die für eine auf das optische Modul in dem wenigstens einem Freiheitsgrad wirkende Kraft oder Beschleunigung repräsentativ ist.
- 10
28. Optische Einrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Krafterzeugungseinrichtung nach Art eines Aktuators dazu ausgebildet ist, dem optischen Modul in wenigstens einem Freiheitsgrad eine Verschiebung aufzuprägen,
 - die Zustandsvariable eine Variable ist, die in dem wenigstens einem Freiheitsgrad für eine Position des optischen Moduls bezüglich einer Referenz und/oder eine Orientierung des optischen Moduls bezüglich einer Referenz und/oder eine Geometrie des optischen Moduls repräsentativ ist.
- 15
29. Optische Einrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Krafterzeugungseinrichtung ein Vorspannelement aufweist, wobei
 - das Vorspannelement dazu ausgebildet ist, in zumindest einem Betriebszustand eine der Zugkraft des Krafterzeugungselements entgegenwirkende Vorspannkraft auszuüben.
- 20
30. Optische Einrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorspannelement eine mechanische Federeinrichtung und/oder eine fluidische Vorspanneinrichtung umfasst.
- 25

31. Optische Einrichtung nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, dass das Krafterzeugungselement mechanisch parallel zu dem Vorspannelement angeordnet ist.
- 5 32. Optische Einrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Modul wenigstens ein optisches Element umfasst.
33. Optische Einrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass
- das optische Modul eine Halteeinrichtung aufweist, welche das optische Element hält, wobei
 - die Krafterzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, ihre Kraft auf die
- 10 Halteeinrichtung auszuüben.
34. Optische Einrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Halteeinrichtung ein Klemmelement umfasst, über welches eine Klemmkraft auf das optische Element ausübbar ist, wobei
 - die Krafterzeugungseinrichtung zum Erzeugen der Klemmkraft ausgebildet ist.
- 15 35. Optische Einrichtung nach einem der Ansprüche 33 oder 34, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element ein stabförmiges Element ist, welches an einem Ende durch die Halteeinrichtung gehalten ist.
36. Optische Einrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kraftmesseinrichtung vorgesehen ist, welche dazu ausgebildet ist, die von
- 20 dem Krafterzeugungselement ausgeübte Kraft zu messen.
37. Optische Abbildungseinrichtung, insbesondere für die Mikrolithographie, mit
- einer Beleuchtungseinrichtung,
 - einer Maskeneinrichtung zur Aufnahme einer ein Projektionsmuster umfassenden Maske,
- 25
- einer Projektionseinrichtung mit einer optischen Elementgruppe und
 - einer Substrateinrichtung zur Aufnahme eines Substrats, wobei

- die Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten des Projektionsmusters ausgebildet ist und
 - die optische Elementgruppe zum Abbilden des Projektionsmusters auf dem Substrat ausgebildet ist,
 - 5 - die Beleuchtungseinrichtung und/oder die Projektionseinrichtung ein optisches Modul mit einer Stützstruktur und einer Krafterzeugungseinrichtung umfasst,
 - die Krafterzeugungseinrichtung mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbunden ist und dazu ausgebildet ist, auf das optische Modul eine Kraft auszuüben,
 - 10 - die Krafterzeugungseinrichtung ein fluidisches Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer aufweist, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- das Krafterzeugungselement als Muskelement ausgebildet ist, das bei einem
 - 15 ersten Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft erhöhte zweite Zugkraft ausübt.
38. Verfahren zum Ausüben einer Kraft auf ein optisches Modul, insbesondere zur Verwendung in der Mikrolithographie, bei dem
- 20 - das optische Modul über eine Stützstruktur abgestützt wird, wobei
 - über eine mit dem optischen Modul und der Stützstruktur verbundene Krafterzeugungseinrichtung, die ein fluidisches Krafterzeugungselement mit einer Arbeitskammer aufweist, die mit einem einen Arbeitsdruck aufweisenden Arbeitsfluid beaufschlagbar ist, auf das optische Modul eine Kraft ausgeübt wird,
- 25 dadurch gekennzeichnet, dass
- als Krafterzeugungselement ein als Muskelement ausgebildetes Element verwendet wird, das bei einem ersten Arbeitsdruck eine erste Zugkraft ausübt und bei einem gegenüber dem ersten Arbeitsdruck erhöhten zweiten Arbeitsdruck eine gegenüber der ersten Zugkraft erhöhte zweite Zugkraft ausübt.
- 30 39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitsdruck in der Arbeitskammer zur Variation der auf das optische Modul ausgeübten Kraft variiert wird.

40. Verfahren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass
- ein aktueller Wert einer für einen Betriebszustand der optischen Einrichtung repräsentativen Zustandsvariablen erfasst wird,
 - in Abhängigkeit von dem Wert der Zustandsvariablen ein Sollwert für die auf das optische Modul auszuübende Kraft der Krafterzeugungseinrichtung vorgegeben ist und
 - der Arbeitsdruck in der Arbeitskammer in Abhängigkeit von dem sich aus dem aktuellen Wert der Zustandsvariablen ergebenden aktuellen Sollwert eingestellt wird.
41. Verfahren nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass
- das optische Modul durch die Krafterzeugungseinrichtung in wenigstens einem Freiheitsgrad in einer vorgegebenen Position fixiert wird, und
 - die Zustandsvariable eine Variable ist, die für eine auf das optische Modul in dem wenigstens einem Freiheitsgrad wirkende Kraft oder Beschleunigung repräsentativ ist.
42. Verfahren nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Krafterzeugungseinrichtung dem optischen Modul in wenigstens einem Freiheitsgrad eine Verschiebung aufprägt,
 - die Zustandsvariable eine Variable ist, die in dem wenigstens einem Freiheitsgrad für eine Position des optischen Moduls bezüglich einer Referenz und/oder eine Orientierung des optischen Moduls bezüglich einer Referenz und/oder eine Geometrie des optischen Moduls repräsentativ ist.
43. Verfahren nach einem der Ansprüche 38 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Krafterzeugungseinrichtung wenigstens ein Vorspannelement aufweist, wobei
 - das Vorspannelement in zumindest einem Betriebszustand eine der Zugkraft des Krafterzeugungselements entgegenwirkende Vorspannkraft ausübt.
44. Verfahren nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Zugkraft des Krafterzeugungselements gemessen wird und das wenigstens ein Vorspannelement vor dem Kontaktieren des optischen Moduls durch die

Krafterzeugungseinrichtung mit einer vorgebbaren Zugkraft des
Krafterzeugungselements vorgespannt wird,

- die Krafterzeugungseinrichtung dem optischen Modul solange angenähert wird, bis
der Kontakt zwischen der Krafterzeugungseinrichtung und dem optischen Modul
durch eine vorgebbare Änderung der gemessenen Zugkraft des
Krafterzeugungselements erfasst wird, und
- die Zugkraft des Krafterzeugungselements anschließend auf einen vorgebbaren
Wert reduziert wird.

45. Verfahren nach Anspruch 43 oder 44, dadurch gekennzeichnet, dass die
Vorspannkraft mechanisch und/oder fluidisch erzeugt wird.

46. Verfahren nach einem der Ansprüche 38 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass

- das optische Modul wenigstens ein optisches Element umfasst, welches durch
eine Halteeinrichtung gehalten wird, wobei
- die Kraft der Krafterzeugungseinrichtung auf die Halteeinrichtung ausgeübt wird.

47. Verfahren nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, dass die
Krafterzeugungseinrichtung über die Halteeinrichtung eine Klemmkraft auf das
optische Element ausübt.

* * * * *

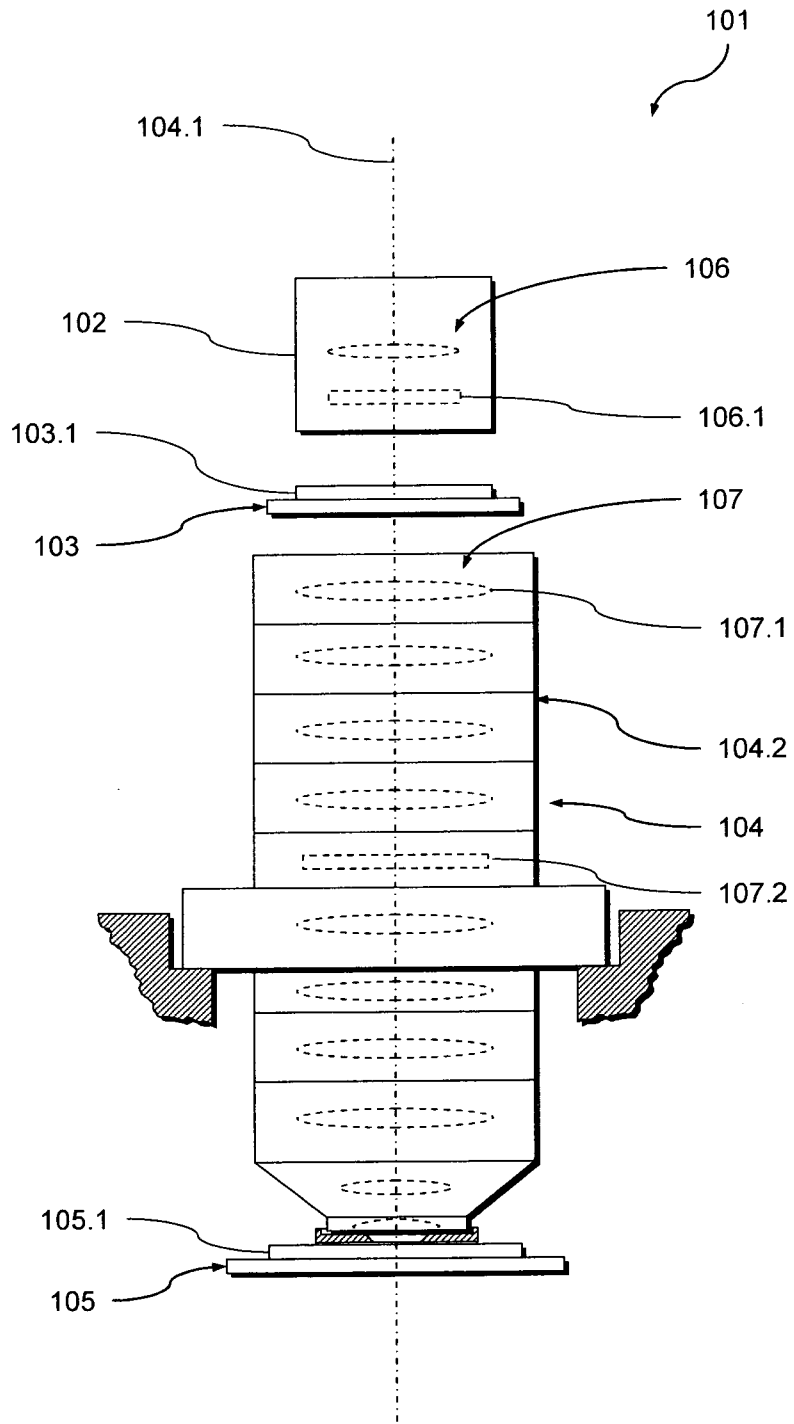


Fig. 1

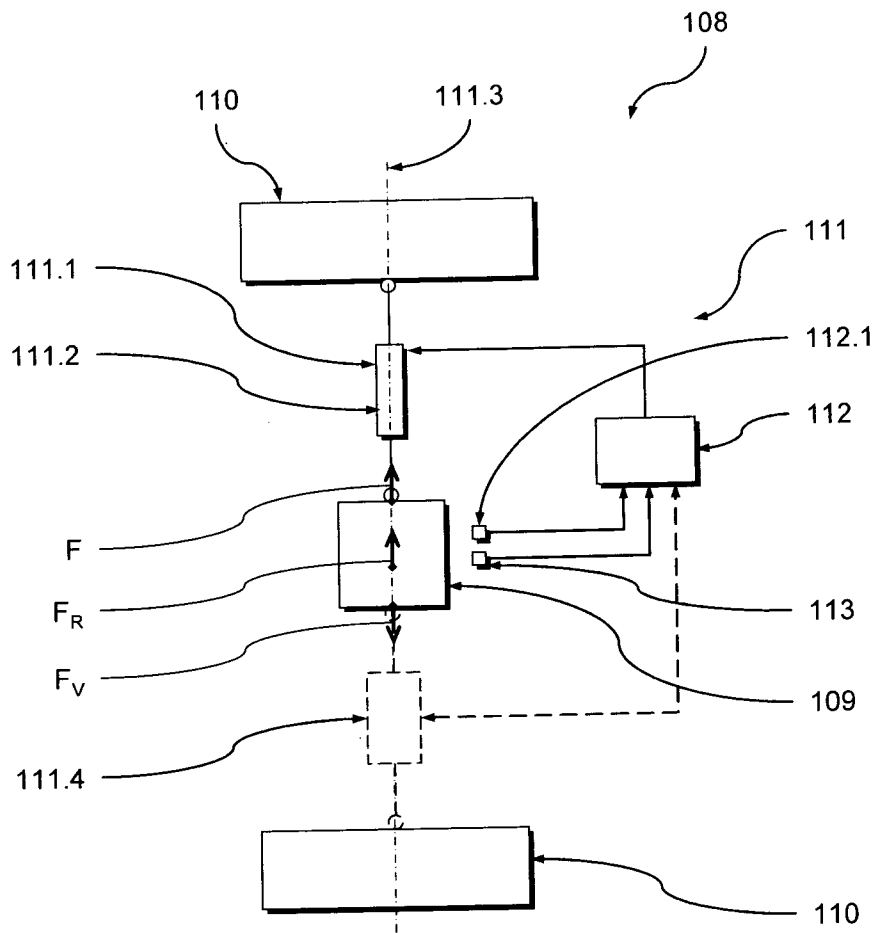


Fig. 2

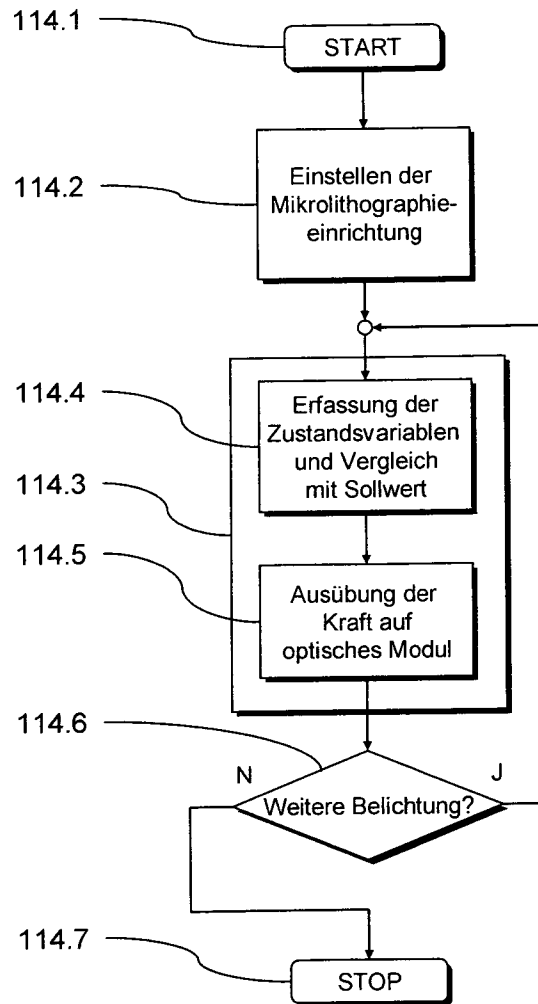


Fig. 3

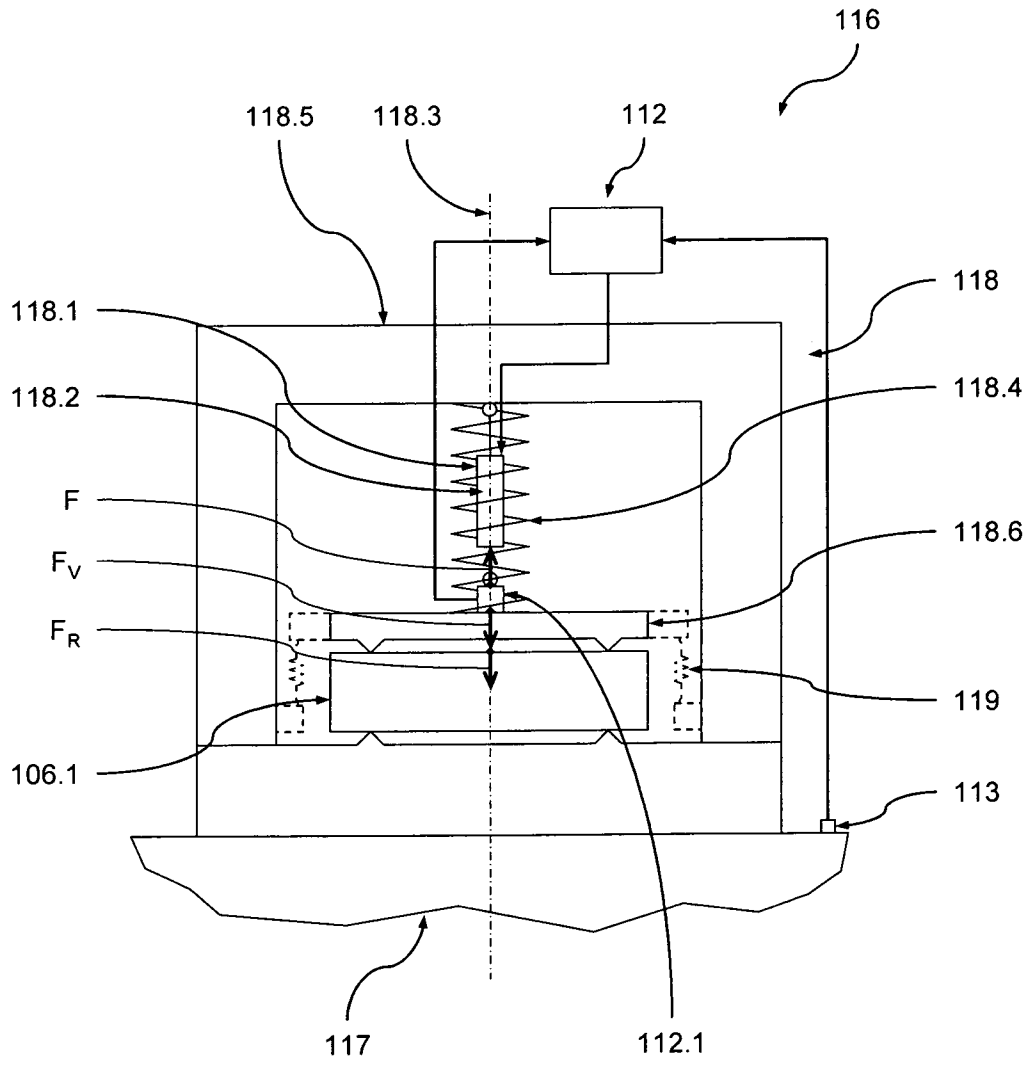


Fig. 4

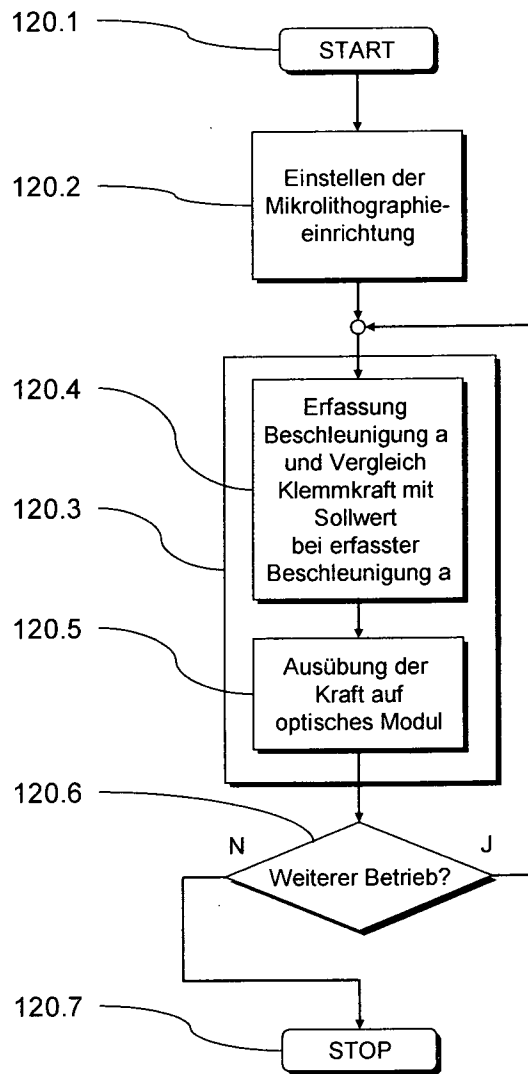


Fig. 5

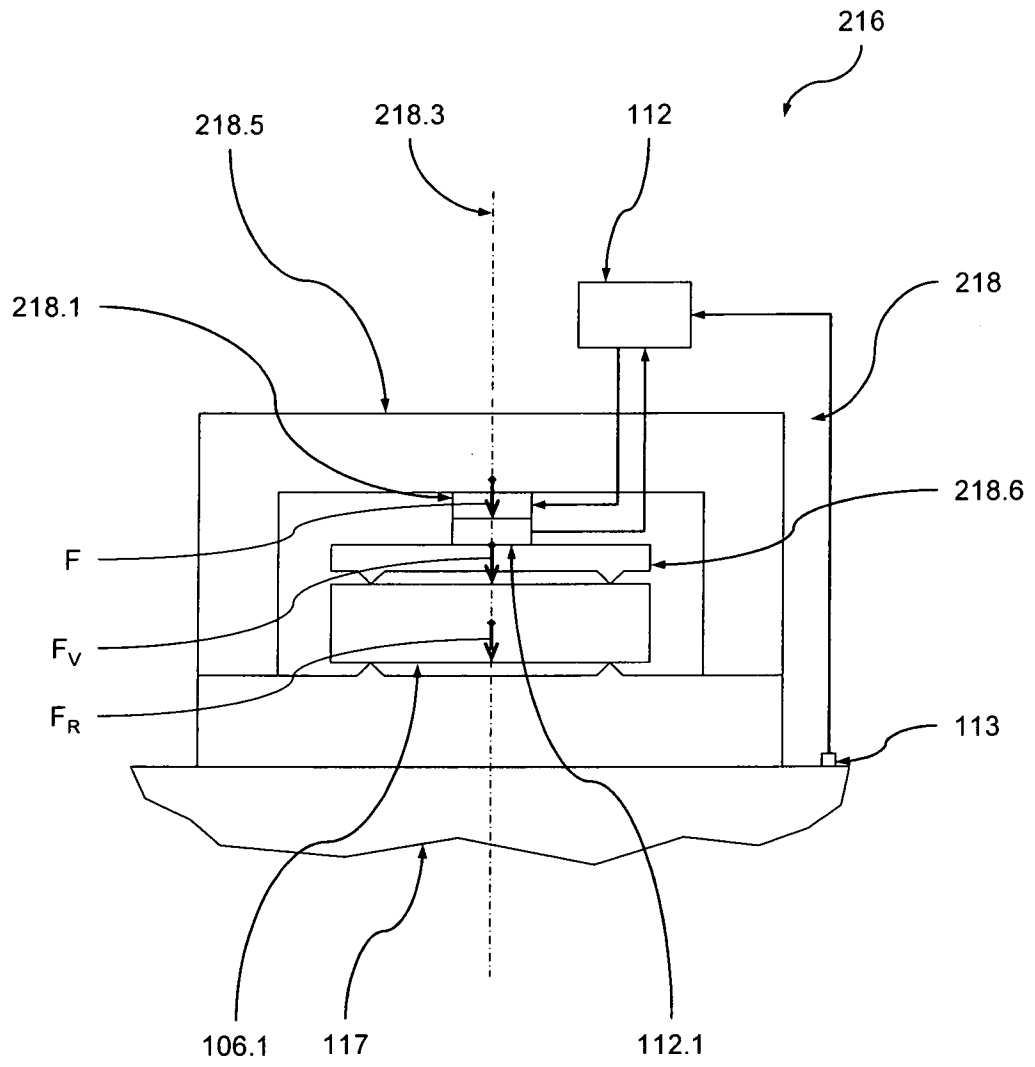


Fig. 6

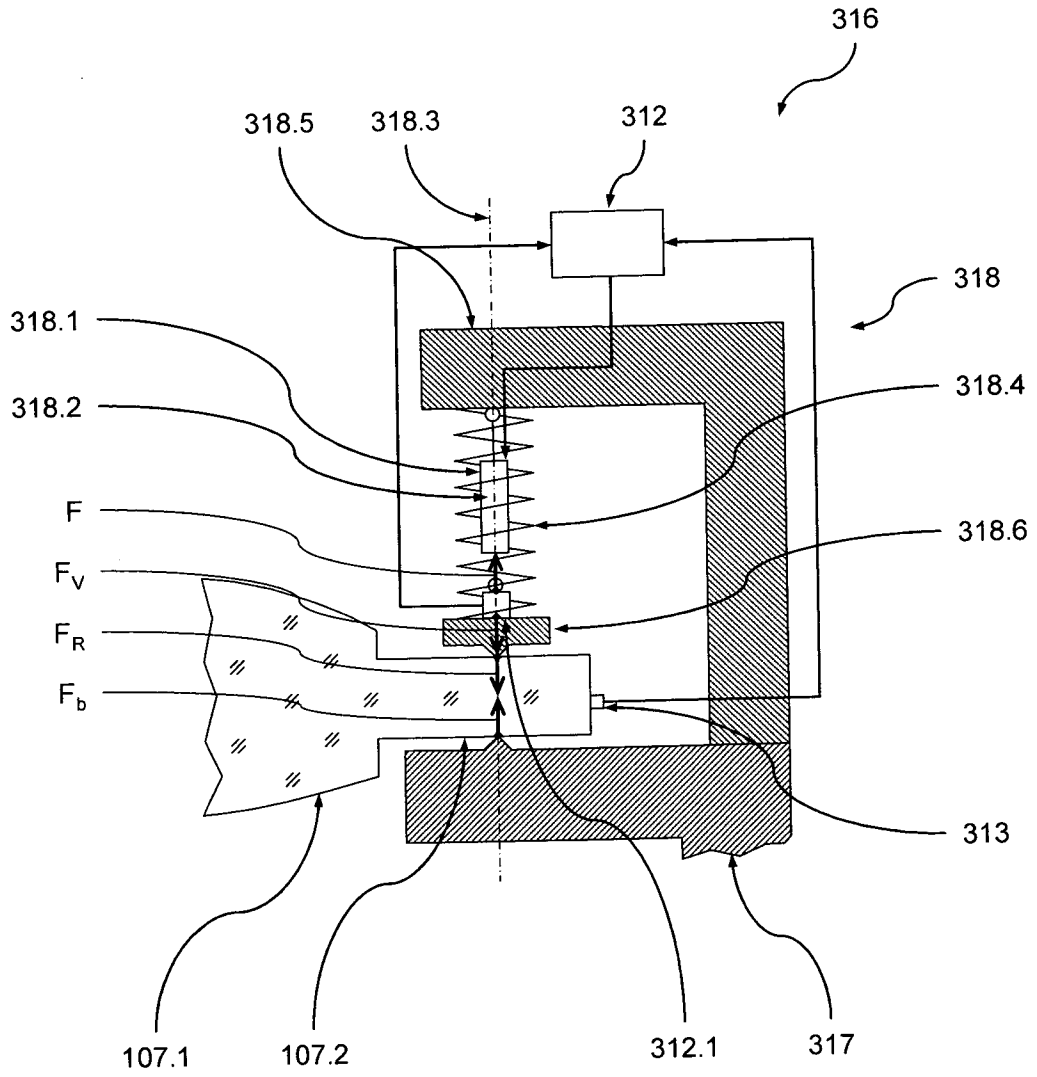


Fig. 7

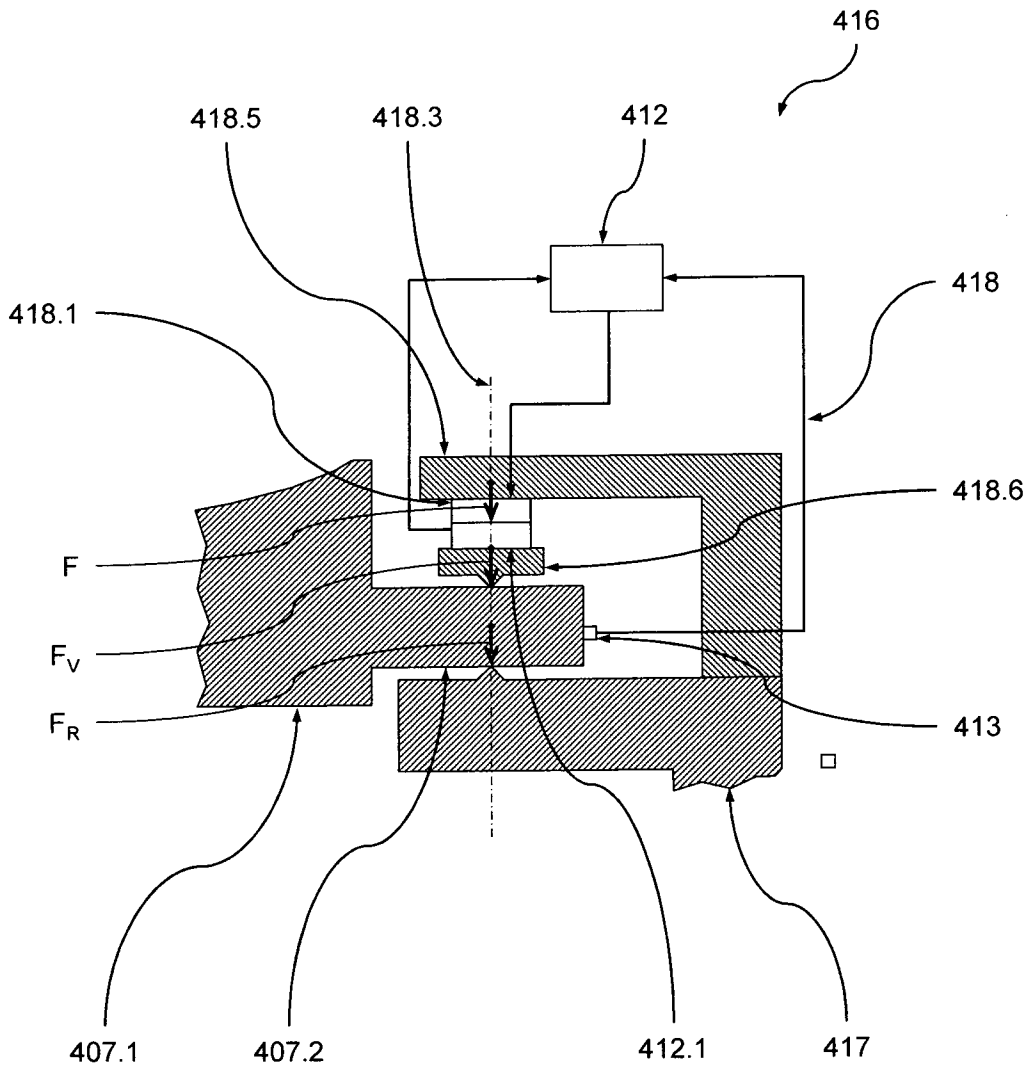


Fig. 8