



(10) **DE 10 2011 079 072 A1** 2012.03.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 079 072.1**

(22) Anmeldetag: **13.07.2011**

(43) Offenlegungstag: **15.03.2012**

(51) Int Cl.: **G02B 26/08 (2011.01)**

G03F 7/20 (2011.01)

G02B 7/182 (2011.01)

(66) Innere Priorität:

10 2010 038 395.3 26.07.2010

(72) Erfinder:

Hembacher, Stefan, 86399, Bobingen, DE

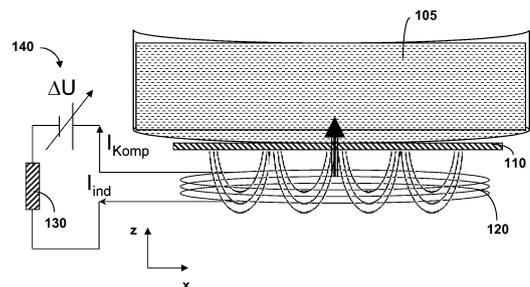
(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT GmbH, 73447, Oberkochen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren sowie Anordnung zur Aktuierung eines optischen Elementes**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Anordnung zur Aktuierung eines optischen Elementes, insbesondere in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei durch Änderung eines magnetischen Feldes, in welchem sich das optische Element (105) befindet, eine magnetische Kraft auf das optische Element (105) ausgeübt wird. Ein erfindungsgemäßes Verfahren weist folgende Schritte auf: Ermitteln einer Störung der Abbildungseigenschaften des optischen Systems, und Änderung des magnetischen Feldes derart, dass eine Deformation des optischen Elementes (105) erzielt wird, welche diese Störung der Abbildungseigenschaften wenigstens teilweise kompensiert.



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Anordnung zur Aktuierung eines optischen Elementes in einem optischen System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

Stand der Technik

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

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

[0004] Aus WO 2005/026801 A2 ist es u. a. bekannt, in einem Projektionsobjektiv einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage zur Manipulation von optischen Elementen wie Spiegeln in bis zu sechs Freiheitsgraden drei Aktoreinrichtungen einzusetzen, welche jeweils wenigstens zwei Lorentz-Aktoren bzw. zwei aktiv ansteuerbare Bewegungsachsen aufweisen. Des Weiteren ist eine z. B. als Federelement ausgeführte Gewichtskraftkompensationseinrichtung vorgesehen, um den Energieverbrauch der Lorentz-Aktoren zu minimieren, da die Gewichtskraftkompensationseinrichtung im Wesentlichen die Masse des optischen Elements bzw. Spiegels trägt, so dass insoweit kein permanenter Stromfluss mit damit einhergehender Wärmeerzeugung erforderlich ist.

[0005] Ein trotz des Einsatzes solcher Gewichtskraftkompensationseinrichtungen auftretendes Problem besteht in einem durch das Eigengewicht des Spiegels (welches in einem EUV-System durchaus von 50 kg oder mehr betragen kann) verursachten Durchhängen bzw. Durchbiegen, welches allein durch die an der Spiegelanbindung vorhandene Gewichtskraft-

kompensation nicht verhindert wird. Dieses Problem tritt insbesondere in hochaperturigen Projektionsobjektiven (z. B. mit Werten der numerischen Apertur größer als 0.4) auf, da es in solchen Systemen in der Regel erforderlich ist, die Spiegel vergleichsweise dünn auszubilden (wobei z. B. das Verhältnis von maximalem Durchmesser zu maximaler Dicke, bezogen auf die optisch genutzte bzw. von Licht beaufschlagte Fläche, 10 oder mehr betragen kann), so dass das Breite-zu-Dicke-Verhältnis im Hinblick auf die unerwünschte gravitationsbedingte Durchbiegung immer ungünstiger wird.

[0006] Ansätze zur Lösung der mit der Einleitung mechanischer Spannungen in optische Elemente wie Spiegel oder Linsen verbundenen Probleme sind z. B. aus WO 2005/054953 A2 oder US 2009/0122428 A1 bekannt.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren sowie eine Anordnung zur Aktuierung eines optischen Elementes in einem optischen System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, bereitzustellen, welche auch bei höheren numerischen Aperturen Beeinträchtigungen der Abbildungseigenschaften durch an den optischen Elementen auftretende parasitäre Momente bzw. Kräfte reduziert bzw. vermeidet.

[0008] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0009] Gemäß einem Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Aktuierung eines optischen Elementes in einem optischen System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei durch Änderung eines magnetischen Feldes, in welchem sich das optische Element befindet, eine magnetische Kraft auf das optische Element ausgeübt wird, und wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Ermitteln einer Störung der Abbildungseigenschaften des optischen Systems; und
- Änderung des magnetischen Feldes derart, dass eine Deformation des optischen Elementes erzielt wird, welche diese Störung der Abbildungseigenschaften wenigstens teilweise kompensiert.

[0010] Der Erfindung liegt somit insbesondere das Konzept zugrunde, mittels Änderung eines magnetischen Feldes, in dem sich ein optisches Element befindet, eine aktiv einstellbare Deformation dieses optischen Elementes zu erzeugen, welche wiederum zur Kompensation unerwünschter Störungen genutzt wird.

[0011] Dabei entspricht ist im Sinne der vorliegenden Anmeldung die Deformation des optischen Ele-

menten vorzugsweise einer Verformung relativ zur idealen bzw. nominellen optischen Wirkfläche des optisches Elementes um wenigstens 2 Pikometer (pm), insbesondere wenigstens 5 pm, weiter insbesondere wenigstens 10 pm.

[0012] Auf diese Weise kann insbesondere eine Kompensation der vorstehend beschriebenen gravitationsbedingten Durchbiegung erzielt werden. Dabei wird infolge der aktiven Einstellbarkeit dieser Deformation auch die Möglichkeit geschaffen, je nach beabsichtigtem Liefer- bzw. Einsatzort des optischen Systems den durchaus signifikanten Schwankungen der Gravitationskraft Rechnung zu tragen und somit die ggf. je nach Einsatzort unterschiedlichen gravitationsbedingten Durchbiegungen gezielt zu kompensieren.

[0013] Das optische Element kann insbesondere ein Spiegel sein. Die Erfindung ist jedoch nicht hierauf beschränkt. Vielmehr kann es sich je nach konkreter Ausgestaltung des optischen Systems (z. B. ein Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage für Wellenlängen im DUV- oder EUV-Bereich) bzw. der Lage in dem optischen System z. B. um eine (insbesondere zylindrische oder sphärische) Linse oder auch ein anderes transmissives Element wie z. B. ein Prisma handeln.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform erfolgt die Änderung des magnetischen Feldes durch Variation der Beaufschlagung wenigstens einer Spule mit einem elektrischen Strom. Dabei kann insbesondere zur Änderung des magnetischen Feldes eine Mehrzahl von Spulen jeweils mit einem elektrischen Strom beaufschlagt werden. Des Weiteren können die elektrischen Ströme in wenigstens zwei dieser Spulen im Betrag und/oder in der Richtung voneinander verschieden sein. Erfindungsgemäß werden hierbei nicht notwendigerweise homogene Magnetfelder bzw. Magnetfeldänderungen erzeugt, sondern diese können auch eine örtliche Variation aufweisen, um je nach Position an dem optischen Element gezielt Kräfte zur Deformation einzubringen.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform wird eine erste Spule mit einem ersten elektrischen Strom beaufschlagt, welcher eine Änderung des magnetischen Feldes bewirkt, die eine gravitationsbedingte Durchbiegung des optischen Elementes im Wesentlichen kompensiert, und wenigstens eine zweite Spule wird mit einem zweiten elektrischen Strom beaufschlagt, welcher eine Änderung des magnetischen Feldes bewirkt, die eine zusätzliche Deformation des Spiegels erzeugt. Durch die Erfindung kann somit unter Einsatz mehrerer Spulen einerseits die Gravitation unter Vermeidung einer Durchbiegung ausgeglichen werden, und andererseits kann auch eine gezielte Deformation eingebracht werden, um etwa unerwünschte

Störungen im Betrieb des optischen Systems zu kompensieren.

[0016] Die erfindungsgemäß zu kompensierenden Deformationen können, ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre, beispielsweise im Bereich von 50 bis 100 nm liegen. Dabei kann die gemäß der Erfindung eingestellte Deformation, wie bereits zuvor erläutert, auch eine nur teilweise Kompensation dieser Deformation bewirken. Vorzugsweise wird erfindungsgemäß zumindest im Wesentlichen ein Ausgleich der gravitationsbedingten Durchbiegung erzielt. Als quantitatives Kriterium für den durch die Erfindung realisierbaren Ausgleich der gravitationsbedingten Durchbiegung kann etwa angegeben werden, dass infolge der erfindungsgemäßen Kompensation ein bestimmtes Deformationslimit unterschritten wird. Insbesondere wird mittels der erfindungsgemäßen Kompensation vorzugsweise insofern eine gleichmäßige optische Wirkfläche des optischen Elementes bzw. Spiegels eingestellt, als diese optische Wirkfläche nach der erfindungsgemäßen Kompensation eine maximale Deformation von weniger als 10 Pikometer (pm), insbesondere weniger als 5 pm, weiter insbesondere weniger als 2 pm aufweist.

[0017] Die zur Erzielung einer gewünschten Deformation erforderliche Kraft ist abhängig von der Geometrie des Spiegels sowie auch von der Ortsfrequenz der Deformation, wobei die benötigten Kräfte umso geringer sein können, je dünner der Spiegel und je geringer die Ortsfrequenz der Deformation ist. Typische Werte können, ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre, im Bereich von 0.5 N bis 10 N liegen.

[0018] In weiteren Ausführungsformen kann durch eine geeignete Regelung ferner auch eine aktive Kompensation von im Betrieb des optischen Systems auftretenden Störungen erzielt werden, indem etwa mit einem Beschleunigungssensor zunächst ein auf das optische Element wirkender Stoß in Stärke bzw. Betrag und Richtung detektiert wird und dann über einen geeigneten Spannungsimpuls an der Spule der betreffenden Beschleunigung des optischen Elementes entgegengewirkt wird.

[0019] Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Aktuierung eines optischen Elementes, zur Verwendung in einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit

- einem zur Erzeugung eines Magnetfeldes geeigneten Bauteil;
- wenigstens einer Spule; und
- einer steuerbaren Spannungsquelle zur Beaufschlagung der wenigstens einen Spule mit einem steuerbaren elektrischen Strom.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform weist die Anordnung wenigstens zwei Spulen auf, welche mit ih-

rem Betrag und/oder in ihrer Richtung voneinander verschiedenen elektrischen Strömen beaufschlagbar sind.

[0021] Das zur Erzeugung eines Magnetfeldes geeignete Bauteil kann insbesondere ein Permanentmagnet sein, welcher an dem optischen Element angebracht sein kann.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform ist zwischen dem Permanentmagnet und dem optischen Element wenigstens eine mechanische Entkopplung vorgesehen, welche eine durch die Anbringung des Permanentmagneten an dem optischen Element verursachte Einleitung mechanischer Spannungen in das optische Element im Vergleich zu einer entsprechenden Anordnung ohne die mechanische Entkopplung reduziert. Die mechanische Entkopplung kann wenigstens einen umlaufenden Einschnitt am Permanentmagneten aufweisen.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform weist die Anordnung ferner eine Einrichtung zur Überbrückung der steuerbaren Spannungsquelle in einer Nichtbetriebsphase des optischen Systems auf.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform weist die Anordnung wenigstens einen Anschlag zur Begrenzung eines Verfahrweges des optischen Elementes im Falle einer Schockbelastung des optischen Elementes auf.

[0025] Gemäß einer Ausführungsform weist die Anordnung wenigstens einen elektrischen Widerstand zur Abführung von Wärme an die Umgebung des das optische Element aufweisenden optischen Systems auf, wobei diese Wärme durch einen im Falle einer Schockbelastung in der wenigstens einen Spule induzierten elektrischen Strom erzeugt wird.

[0026] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0027] Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0028] Es zeigen:

[0029] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer Anordnung zur Aktuierung eines optischen Elementes gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0030] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung; und

[0031] [Fig. 3–Fig. 6](#) schematische Darstellungen zur Erläuterung weiterer Ausführungsformen der Erfindung, in welchen unerwünschte Auswirkungen von in einem optischen System auftretenden Schockbelastungen reduziert werden.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0032] [Fig. 1](#) zeigt in schematischer Darstellung ein optisches Element in Form eines Spiegels **105**, an welchem im Ausführungsbeispiel auf seiner der optischen Wirkfläche entgegengesetzten Fläche bzw. Rückseite ein Magnet **110** angebracht ist. Des Weiteren weist die Anordnung gemäß [Fig. 1](#) eine Induktionsspule **120** auf, welche sich in einem Stromkreis mit einem entfernt vom Spiegel **105** befindlichen elektrischen Widerstand **130** sowie einer steuerbaren Spannungsquelle **140** befindet.

[0033] Wie ferner in [Fig. 1](#) übertrieben dargestellt, weist der Spiegel **105** infolge seines Eigengewichtes eine gravitationsbedingte Verbiegung auf, welche dazu führt, dass der Spiegel **105** in seinem zentralen Bereich in Richtung der negativen z-Achse (im eingezeichneten Koordinatensystem) durchhängt.

[0034] Die steuerbare Spannungsquelle **140** dient dazu, durch eine Regelung der von der Spannungsquelle **140** erzeugten Spannung und damit des durch die Induktionsspule **120** fließenden elektrischen Stromes eine kompensierende Kraft auf den Spiegel **105** zu erzeugen, mittels der die vorstehend beschriebene Spiegeldurchbiegung infolge der Gravitationswirkung wenigstens teilweise ausgeglichen werden kann. Der durch die steuerbare Spannungsquelle **140** induzierte Strom ist in [Fig. 1](#) mit I_{Komp} bezeichnet. Durch die über die steuerbare Spannungsquelle **140** mögliche aktive Steuerung der kompensierenden Kraft auf den Spiegel **105** wird auch die Möglichkeit geschaffen, je nach beabsichtigtem Liefer- bzw. Einsatzort des optischen Systems den durchaus signifikanten Unterschieden hinsichtlich der Gravitationskraft und somit unterschiedlichen Deformationszuständen am jeweiligen Ort Rechnung zu tragen.

[0035] Die Kompensationskraft kann wie in [Fig. 1](#) gezeigt entgegengesetzt zur Gewichtskraft (d. h. in Richtung der positiven z-Achse im eingezeichneten Koordinatensystem) erzeugt werden, kann aber alternativ auch in Richtung der Gewichtskraft bzw. (d. h. in Richtung der negativen z-Achse im eingezeichneten Koordinatensystem) erzeugt werden, um z. B. die Deformation je nach den konkreten gewünschten Einsatzbedingungen noch zu vergrößern bzw. den Spiegel in einen gewünschten Deformationszustand zu bringen. In weiteren Ausführungsformen kann die Gravitationswirkung auch überkompensiert werden, womit ebenfalls eine Deformation des Spiegels **105** erzielt werden kann.

[0036] In weiteren Ausführungsformen können, wie lediglich schematisch in [Fig. 2](#) angedeutet, auch mehrere (d. h. zwei oder mehr) Induktionsspulen **120** eingesetzt und über die steuerbare Spannungsquelle **140** parallel mit einem elektrischen Strom beaufschlagt werden. Dabei kann durch geeignete Auslegung der Geometrie der Induktionsspulen auch die Richtung der jeweils ausgeübten Kraft variiert werden und/oder es können im Betrag unterschiedliche Kräfte an der Spiegelunterseite angreifen. In [Fig. 2](#) ist beispielhaft eine (analog zu [Fig. 1](#) vorgesehene) erste Induktionsspule **220** vorgesehen, und mit **221** und **222** sind eine zweite und eine dritte Induktionsspule bezeichnet, welche unterschiedliche an der Unterseite des Spiegels **105** angreifende Kräfte realisieren, wobei diese Kräfte zudem wie angedeutet aufgrund der unterschiedlichen Richtungen des durch die Induktionsspule fließenden elektrischen Stromes in entgegengesetzte Richtungen weisen.

[0037] Ebenfalls in [Fig. 2](#) schematisch angedeutet sind drei Aktuatereinheiten **331–333** in Form von Lorentz-Aktoren, welche in für sich bekannter Weise jeweils eine z. B. als Federelement ausgeführte Gewichtskraftkompensationseinrichtung aufweisen können, wobei die Gewichtskraftkompensationseinrichtungen im Wesentlichen die Masse des Spiegels **105** tragen, um den Energieverbrauch der Lorentz-Aktoren zu minimieren, so dass insoweit kein permanenter Stromfluss durch die Lorentz-Aktoren erforderlich ist. Durch die besagten Gewichtskraftkompensationseinrichtungen wird zwar an den Spiegelanbindungen die jeweils auftretende Gewichtskraft kompensiert, damit jedoch noch nicht das vorstehend beschriebene Problem der gravitationsbedingten Spiegelverbiegung beseitigt, wozu die Induktionsspule **120** bzw. **220** vorgesehen ist.

[0038] Grundsätzlich führt jegliche Bewegung des Spiegels **105** zu einer Änderung des magnetischen Flusses durch die Induktionsspule **120** und damit auch zur Induktion eines elektrischen Stromes in der Induktionsspule **120**. Dieser durch die Bewegung des Spiegels **105** induzierte elektrische Strom I_{ind} ist in [Fig. 1](#) mit I_{ind} bezeichnet.

[0039] Was die im gewöhnlichen Betrieb eines den Spiegel **105** aufweisenden Projektionsobjektivs einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage auftretenden Spiegelbewegungen betrifft, so liegen diese typischerweise in der Größenordnung von um und sind somit vergleichsweise gering, so dass hierdurch in der Induktionsspule **120** hervorgerufene Induktionsströme I_{ind} vergleichsweise vernachlässigbar sind. Der Effekt der Induktion eines elektrischen Stromes in der Induktionsspule **120** allein aufgrund der Bewegung des Spiegels **105** kann jedoch gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung auch gezielt ausgenutzt werden, um unerwünschte Effekte, welche außerhalb des Betriebs des den Spiegel **105** aufweisen-

den optischen Systems auftreten (z. B. Schockbelastungen während des Transportes) oder auch durch außergewöhnliche Ereignisse (z. B. Erdbeben) verursacht werden können, zu kompensieren.

[0040] So können etwa während der Montage bzw. Justage sowie auch während des Transports eines Projektionsobjektivs auftreten Schocklasten die im Wesentlichen frei fliegend über Lorentz-Aktoren gelagerten Spiegel beschleunigen, wobei die Geschwindigkeit bzw. die kinetische Energie der Spiegel mit größerer Masse sowie steigenden Verfahrwegen der Spiegel zunimmt.

[0041] Im Weiteren wird zunächst das hiermit verbundene Problem unter Bezugnahme auf [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) erläutert.

[0042] Gemäß [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) werden herkömmlicherweise – lediglich schematisch dargestellte – Anschläge („Endstopps“) **541–546** vorgesehen, welche unter mechanischer Begrenzung der Bewegungsfreiheit des Spiegels **105** gewährleisten, dass auch bei während des Transports oder im Betrieb auftretenden Schocklasten zur Vermeidung einer Beschädigung der Lorentz-Aktoren **531, 532** eine Mindestgröße des Luftspalts zwischen beweglichem im feststehendem Aktuaterteil **531a, b** bzw. **532a, b** im jeweiligen Lorentz-Aktor **531, 532** nicht unterschritten wird. Die Anschläge bzw. Endstopps **541–546** werden somit eingesetzt, um die unkontrollierte Bewegung eines Spiegels **105** einzuschränken und den Spiegel **105** auf möglichst kurzen Strecken zerstörungsfrei abzubremsen. Die Anschläge bzw. Endstopps **541–546** weisen typischerweise Federelemente auf, die mit einer umso größeren Kraft beaufschlagt werden, je mehr kinetische Energie vom Spiegel **105** übertragen wird. Wie in [Fig. 6](#) angedeutet steigt mit zunehmender kinetischer Energie des Spiegels **105** aber die Belastung der Kontaktstellen, wobei zunehmende mechanische Spannungen in den Spiegel **105** eingeleitet werden.

[0043] Unter erneuter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) kann nun dadurch, dass die im Bereich der Anschläge bzw. Endstopps **541–546** im Lastfalle auftretenden Bewegungen typischerweise über eine Distanz von einigen Millimetern erfolgen und somit signifikante Induktionsströme induzieren, erforderlichenfalls, d. h. im Lastfalle, in wirksamer Weise Energie aus dem System dissipiert werden. Diese Energiedissipation beruht darauf, dass der durch die Bewegung des Spiegels **105** induzierte elektrische Strom I_{ind} gemäß [Fig. 1](#) über den elektrischen Widerstand **130** geleitet wird, wobei die in dem elektrischen Widerstand **130** erzeugte Wärme aus dem System abgeführt wird.

[0044] Aufgrund der besagten Energiedissipation können die Anschläge bzw. Endstopps **541–546** aus [Fig. 5, Fig. 6](#) wesentlich weniger Energie aufnehmen,

da ein Teil der Energie vor Auftreffen des Spiegels auf den jeweiligen Anschlag bzw. Endstopp infolge der Erzeugung des Induktionsstroms bzw. der Umwandlung in Wärme am elektrischen Widerstand aus dem System abgeführt wurde. Mit anderen Worten wird erfindungsgemäß somit ein zusätzlicher Energiedissipationspfad bereitgestellt, welcher Energie aus dem System dissipiert, indem die mit einer unerwünschten Auslenkung des Spiegels **105** einhergehende kinetische Energie letztlich in Wärmeenergie umgewandelt wird. Die Abführung dieser Wärmeenergie erfolgt über den (vorzugsweise entfernt vom optischen System angeordneten) elektrischen Widerstand **130**, so dass die optischen Eigenschaften des Systems nicht durch die abgeführte Wärme beeinträchtigt werden.

[0045] Die steuerbare Spannungsquelle **140** kann während des Transports auch überbrückt werden, um wie schematisch in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) angedeutet lediglich den vorstehend beschriebenen Effekt zu erzielen.

[0046] Die unerwünschte Bewegung des Spiegels **105** kann sowohl eine Schockbelastung mit einhergehendem Abbremsvorgang in einem Anschlagelement umfassen, als auch während des Betriebs auftretende oszillierende Bewegungen kleinerer Amplitude. Gemäß einem weiteren Anwendungsbeispiel besteht auch die Möglichkeit, unerwünschte oszillierende Bewegungen des Spiegels **105** zu dämpfen bzw. zum Erliegen zu bringen. Beispielsweise kann am Spiegel **105** auch ein Beschleunigungsaufnehmer bzw. -sensor (nicht dargestellt) angeordnet sein, welcher jeweils eine aktuelle Beschleunigung des Spiegels **105** erfasst. Das entsprechende Signal kann in einer Regelungsschleife dem System wieder zugeführt werden, um ein Signal aufzubringen, welches gerade entgegenwirkt und somit eine Kompensation erzeugt, um im Ergebnis eine aktive Dämpfungseinrichtung zu realisieren.

[0047] Die in den Ausführungsformen von [Fig. 1–Fig. 4](#) gewählte Anbringung des Magneten **110** (und nicht der Induktionsspule **120**) am Spiegel **105** hat den Vorteil, dass benötigte Zuleitungen bzw. ggf. die Spannungsquelle **140** nicht am beweglichen Spiegel **105** vorzusehen und somit einfacher angeordnet werden können. Die Erfindung ist jedoch hierauf nicht beschränkt, sondern umfasst auch Ausführungsformen, bei denen die Induktionsspule **120** am Spiegel **105** angeordnet ist.

[0048] In weiteren Ausführungsformen kann, wie in [Fig. 4](#) schematisch dargestellt, die Induktionsspule **120** auch durch eine Metallplatte **150** ersetzt werden, in welcher aufgrund der vorstehend erläuterten, mit der Bewegung des Spiegels **105** einhergehenden Änderung des Magnetfeldes Wirbelströme induziert werden, die ebenfalls zumindest teilweise in Wärme

umgewandelt und aus dem System abgeführt werden.

[0049] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Ansatzes besteht darin, dass keinerlei externe Quellen (wie Batterien oder dergleichen) benötigt werden, sondern die gewünschte Wirkung allein über die Kombination aus einem Magneten **110** sowie einer Induktionsspule **120** bzw. Metallplatte erzielt wird. Infolgedessen können auch insbesondere etwa während des Transports störende Zuleitungen oder ggf. sogar aus Sicherheitsgründen z. B. während des Lufttransports untersagte Komponenten entbehrlich sein. Im Ergebnis wird somit im Lastfalle (entweder beim Transport oder bei ungewöhnlichen Ereignissen wie z. B. Erdbeben während des Betriebs) die kinetische Energie des Spiegels **105** nach dem Wirbelstromprinzip reduziert, ohne dass der „normale Betrieb“ des Systems gestört wird.

[0050] Der Magnet **110** kann in den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen ein Permanentmagnet oder auch ein anderes zur Erzeugung eines magnetischen Feldes bzw. zur Änderung des magnetischen Flusses am Orte der Induktionsspule **120** geeignetes Bauteil sein. Beispielsweise kann anstelle eines Permanentmagneten auch eine weitere Induktionsspule mit zugehöriger Stromquelle eingesetzt werden, oder es kann das Material des optischen Elementes bzw. Spiegels **105** selbst mit magnetischen Beimengungen versehen werden. Des Weiteren kann der Magnet **105** grundsätzlich auch an der Oberseite bzw. Seitenfläche des Spiegels montiert werden.

[0051] Bei der Anbringung des Magneten **110** am Spiegel **105** sind die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Spiegels **105** einerseits und des Magneten **110** andererseits zu beachten, weshalb für eine hinreichende mechanische Entkopplung Sorge zu tragen ist. Zur Realisierung dieser Entkopplung können beispielsweise auf Seiten des Spiegels **105** im Bereich der Anbringung des Magneten **110** umlaufende Einschnitte bzw. Aussparungen vorgesehen werden. Auf diese Weise kann zumindest weitgehend verhindert werden, dass aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungen entstehende Deformationen nicht auf den optisch wirksamen Bereich des Spiegels **105** übertragen werden. Dabei kann auch den unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten insbesondere beim Aushärten von während des Fügeprozesses verwendeten Klebmaterialien Rechnung getragen werden. Gemäß weiteren Ausführungsformen können zur mechanischen Entkopplung auch andere mechanische Entkopplungselemente wie z. B. geeignete Federelemente eingesetzt werden. Mittels solcher Entkopplungselemente können nicht nur während des Fügeprozesses sondern auch im Betrieb etwaige störende

Deformationen vom optisch wirksamen Bereich des Spiegels ferngehalten werden.

[0052] In den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen können ferner auch geeignete magnetische bzw. magnetisierbare Materialien als optisches Element zum Einsatz kommen (z. B. durch Einbringung von Eisenpartikeln in optische Gläser), in welchem Falle die (wie zuvor beschrieben mechanisch „entkoppelte“) Anbringung eines separaten Magneten am optischen Element bzw. Spiegel entbehrlich ist.

[0053] Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Dämpfung einer Schockbelastung eines optischen Systems, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, sowie ein Verfahren zur Dämpfung einer Schockbelastung eines optischen Systems wie in den folgenden Sätzen definiert.

1. Anordnung zur Dämpfung einer Schockbelastung eines optischen Systems, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei das optische System wenigstens ein optisches Element aufweist, mit

– einer Anschlaganordnung zur Begrenzung eines Verfahrensweges des optischen Elementes im Falle einer Schockbelastung; und

– einem nicht die Anschlaganordnung enthaltenden Energiedissipationspfad, auf welchem während einer Auslenkung des optischen Elementes in einer Nichtbetriebsphase des optischen Systems kinetische Energie des optischen Elementes umgewandelt und an die Umgebung des optischen Systems abgeführt wird.

2. Anordnung nach Satz 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine von dem optischen Element an die Anschlaganordnung übertragene Energie im Vergleich zu einem analogen System ohne den Energiedissipationspfad reduziert wird.

3. Anordnung nach Satz 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass diese ein zur Erzeugung eines Magnetfeldes geeignetes erstes Bauteil sowie ein zweites Bauteil aufweist, wobei das erste und das zweite Bauteil so angeordnet sind, dass die besagte Auslenkung des optischen Elementes einen elektrischen Induktionsstrom in dem zweiten Bauteil erzeugt.

4. Anordnung nach Satz 3, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Bauteil eine Spule ist.

5. Anordnung nach Satz 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass diese ferner einen elektrischen Widerstand aufweist, welcher im Falle der besagten Auslenkung von dem in dem zweiten Bauteil erzeugten Induktionsstrom durchflossen wird.

6. Verfahren zur Dämpfung einer Schockbelastung eines optischen Systems, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelich-

tungsanlage, während einer Nichtbetriebsphase des optischen Systems,

– wobei das optische System wenigstens ein optisches Element sowie eine Anschlaganordnung zur Begrenzung eines Verfahrensweges des optischen Elementes im Falle einer Schockbelastung aufweist,

– wobei im Falle einer Schockbelastung kinetische Energie des optischen Elementes auf einem nicht die Anschlaganordnung enthaltenden Energiedissipationspfad an die Umgebung des optischen Systems abgeführt wird.

7. Verfahren nach Satz 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Falle einer Schockbelastung ein elektrischer Strom in wenigstens einer Spule induziert wird, wobei die Wärmeabführung in einem von diesem elektrischen Strom durchflossenen elektrischen Widerstand erfolgt.

[0054] Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z. B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- WO 2005/026801 A2 [0004]
- WO 2005/054953 A2 [0006]
- US 2009/0122428 A1 [0006]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Aktuierung eines optischen Elementes in einem optischen System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei durch Änderung eines magnetischen Feldes, in welchem sich das optische Element (**105**) befindet, eine magnetische Kraft auf das optische Element (**105**) ausgeübt wird, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Ermitteln einer Störung der Abbildungseigenschaften des optischen Systems; und
- Änderung des magnetischen Feldes derart, dass eine Deformation des optischen Elementes (**105**) erzielt wird, welche diese Störung der Abbildungseigenschaften wenigstens teilweise kompensiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Änderung des magnetischen Feldes derart erfolgt, dass die hierdurch erzielte Deformation des optischen Elementes (**105**) eine gravitationsbedingte Durchbiegung des optischen Elementes (**105**) wenigstens teilweise kompensiert.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Änderung des magnetischen Feldes durch Variation der Beaufschlagung wenigstens einer Spule (**120; 220, 221, 222**) mit einem elektrischen Strom (I_{Komp}) erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur Änderung des magnetischen Feldes eine Mehrzahl von Spulen (**220, 221, 222**) jeweils mit einem elektrischen Strom beaufschlagt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Ströme in wenigstens zwei dieser Spulen (**220, 221, 222**) im Betrag voneinander verschieden sind.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Ströme in wenigstens zwei dieser Spulen (**220, 221, 222**) in der Richtung voneinander verschieden sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine erste Spule (**220**) mit einem ersten elektrischen Strom beaufschlagt wird, welcher eine Änderung des magnetischen Feldes bewirkt, die eine gravitationsbedingte Durchbiegung des optischen Elementes im Wesentlichen kompensiert; und
- wenigstens eine zweite Spule (**221, 222**) mit einem zweiten elektrischen Strom beaufschlagt wird, welcher eine Änderung des magnetischen Feldes bewirkt, die eine zusätzliche Deformation des Spiegels (**105**) erzeugt.

8. Anordnung zur Aktuierung eines optischen Elementes, zur Verwendung in einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit

- einem zur Erzeugung eines Magnetfeldes geeigneten Bauteil;
- wenigstens einer Spule (**120; 220, 221, 222**); und
- einer steuerbaren Spannungsquelle (**140**) zur Beaufschlagung der wenigstens einer Spule (**120; 220, 221, 222**) mit einem steuerbaren elektrischen Strom (I_{Komp}).

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass diese wenigstens zwei Spulen (**220, 221, 222**) aufweist, welche mit in ihrem Betrag und/oder in ihrer Richtung voneinander verschiedenen elektrischen Strömen beaufschlagbar sind.

10. Anordnung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das zur Erzeugung eines Magnetfeldes geeignete Bauteil ein Permanentmagnet ist.

11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet an dem optischen Element (**105**) angebracht ist.

12. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Permanentmagnet und dem optischen Element (**105**) wenigstens eine mechanische Entkopplung vorgesehen ist, welche eine durch die Anbringung des Permanentmagneten an dem optischen Element (**105**) verursachte Einleitung mechanischer Spannungen in das optische Element (**105**) im Vergleich zu einer entsprechenden Anordnung ohne die mechanische Entkopplung reduziert.

13. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die mechanische Entkopplung wenigstens einen umlaufenden Einschnitt am Permanentmagneten aufweist.

14. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass diese ferner eine Einrichtung zur Überbrückung der steuerbaren Spannungsquelle (**140**) in einer Nichtbetriebsphase des optischen Systems aufweist.

15. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass diese wenigstens einen Anschlag (**541– 546**) zur Begrenzung eines Verfahrweges des optischen Elementes im Falle einer Schockbelastung des optischen Elementes (**105**) aufweist.

16. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass diese wenigstens einen elektrischen Widerstand (**130**) zur Abführung von Wärme an die Umgebung des optischen Elementes (**105**) aufweisenden optischen Systems aufweist, wobei

diese Wärme durch einen im Falle einer Schockbelastung in der wenigstens einen Spule (**120**) induzierten elektrischen Strom erzeugt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

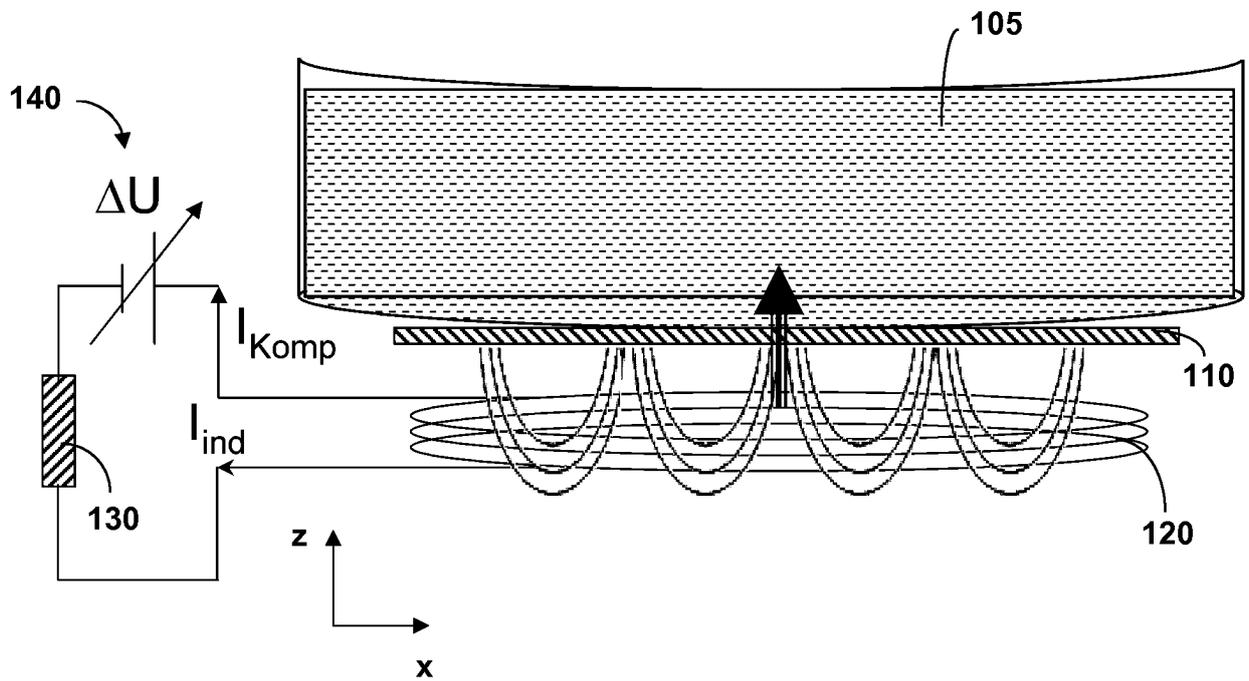


Fig. 2

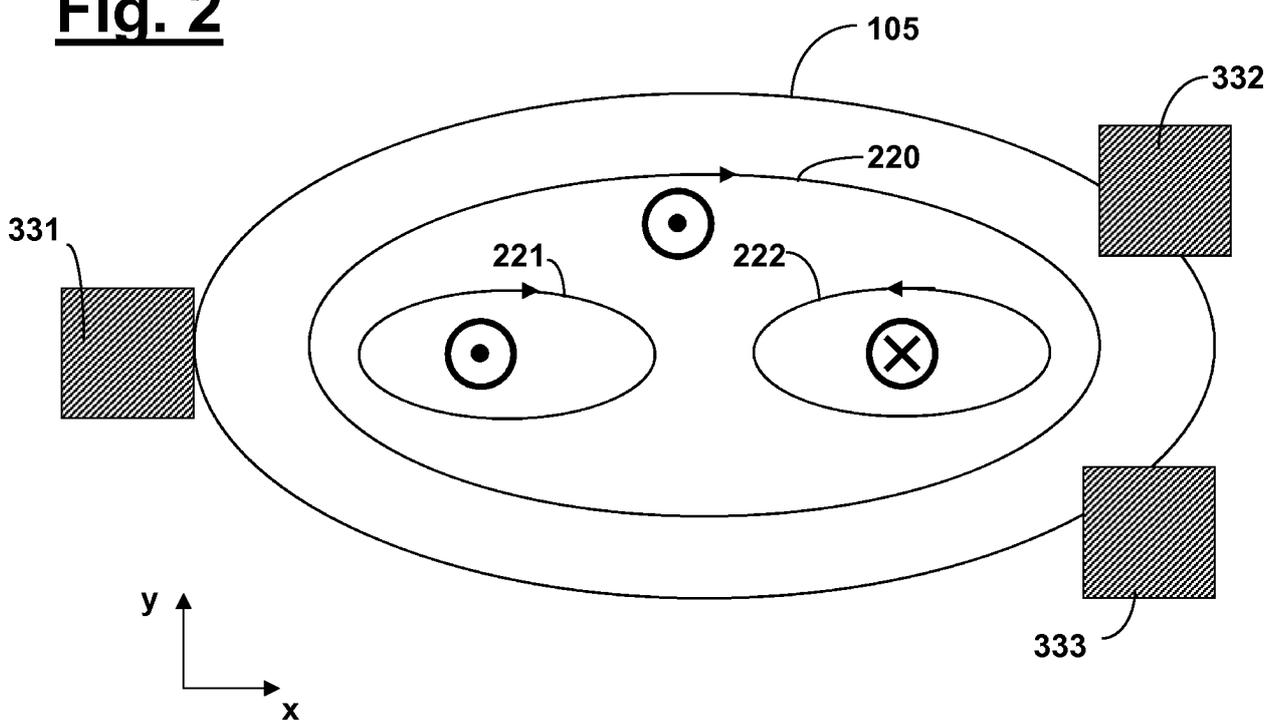


Fig. 3

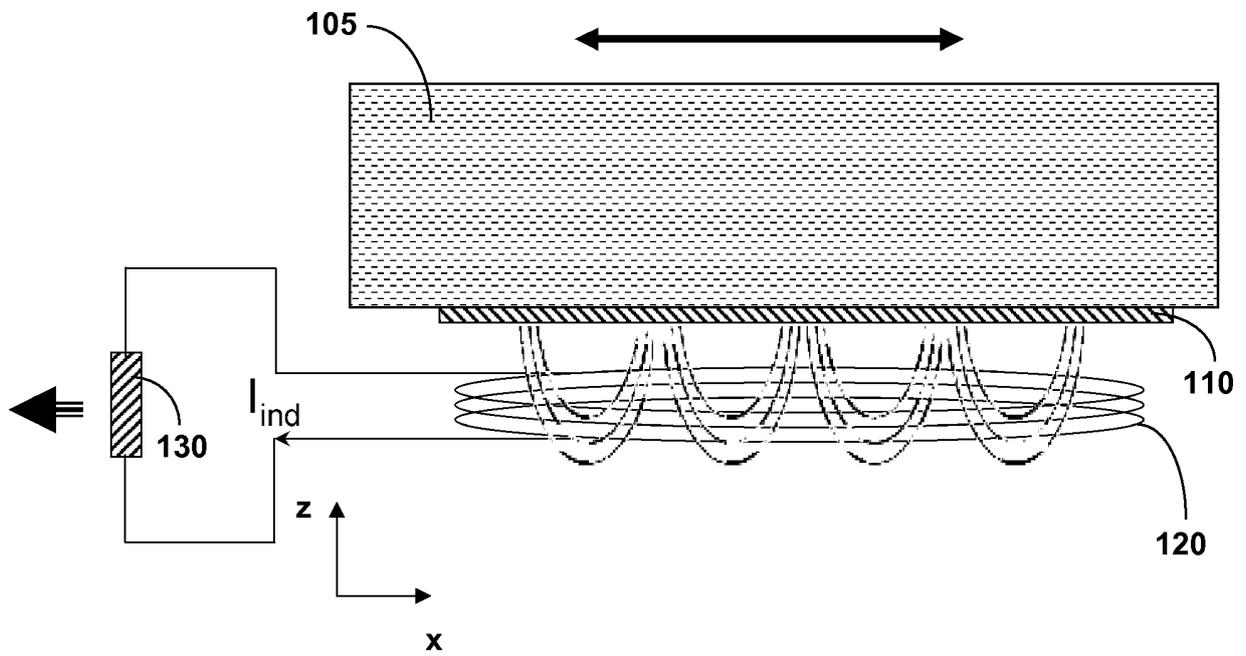


Fig. 4

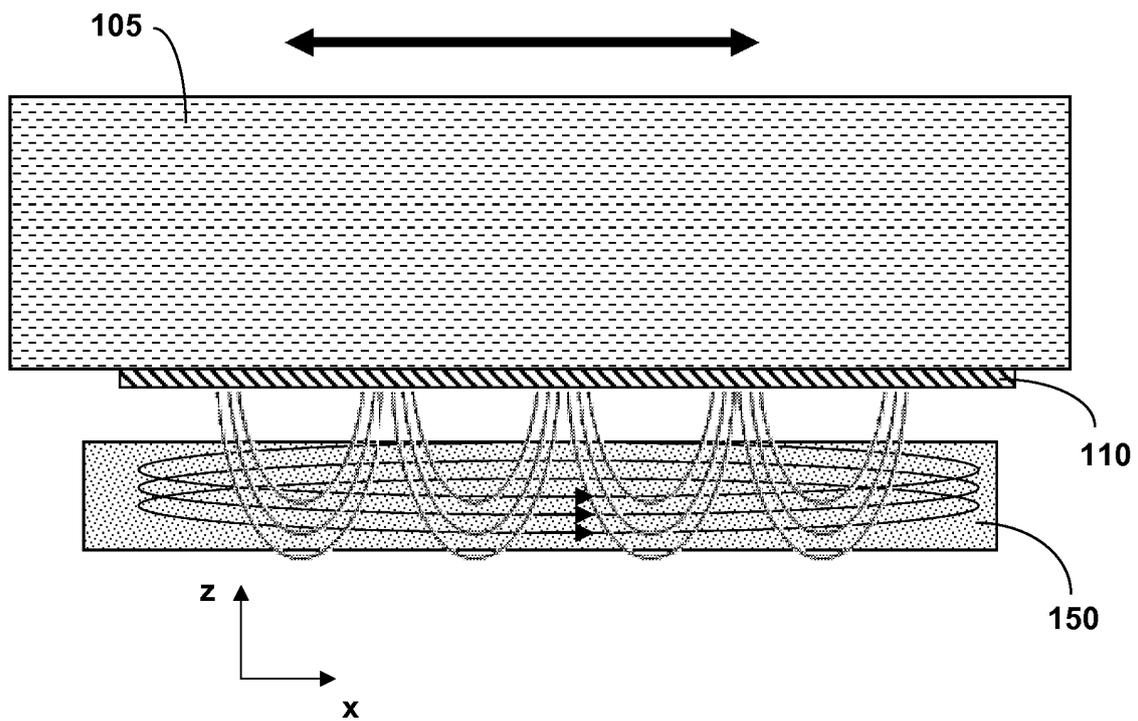


Fig. 5

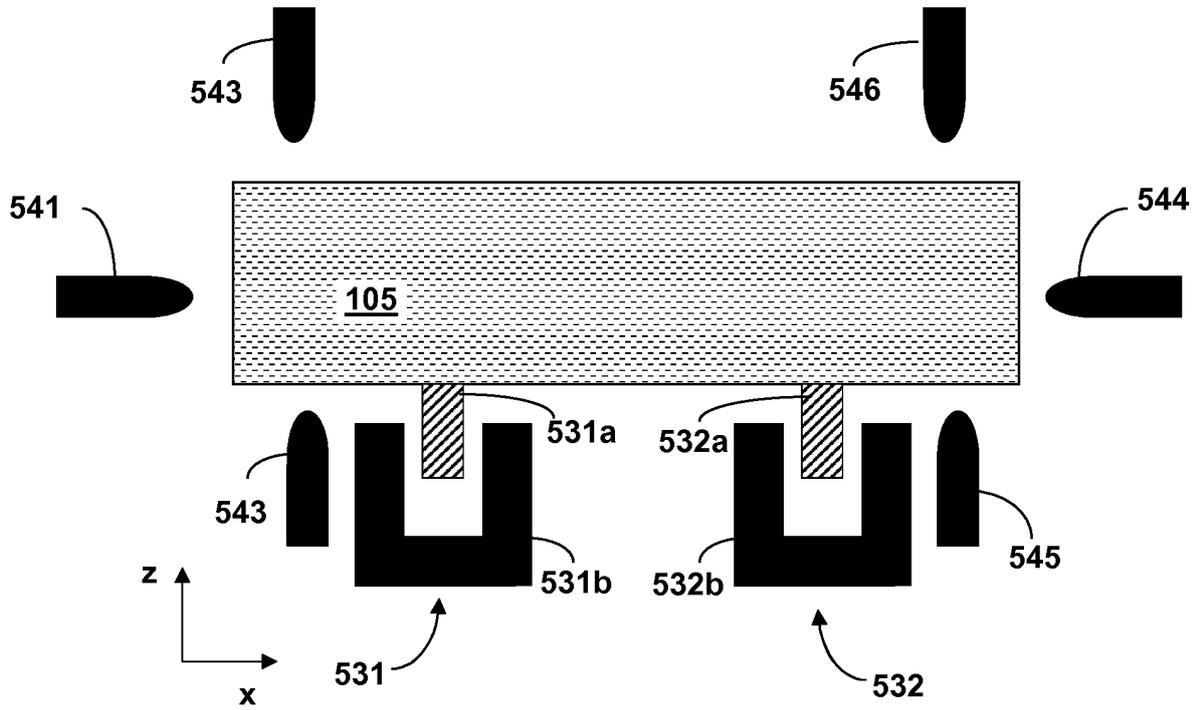


Fig. 6

