

Schwingungsisolator mit einer Schraubenfeder und einem Aktor

Beschreibung

5

Die Erfindung betrifft allgemein einen aktiven Schwingungsisolator mit einer Schraubenfeder, die in vertikaler Richtung wirksam ist. Insbesondere betrifft die Erfindung einen Schwingungsisolator, der in einem stationären Schwingungsisolationsystem zur Lagerung von Maschinen, Anlagen
10 oder Geräten, insbesondere im Bereich der Halbleiterindustrie, verwendet werden kann, wie beispielsweise Anlagen oder Geräten im Bereich der Lithographie, optische Inspektionsgeräte oder Wafer-Handling-Einrichtungen. Des Weiteren betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zum aktiven Dämpfen von Schwingungen einer gelagerten Last, beispielsweise einer gelagerten Maschine, Anlage oder Gerät.

15

Schwingungsisolationsysteme mit einer mechanischen Feder, zum Beispiel einer Schraubenfeder, sind allgemein bekannt. Bei einem derartigen System wird eine vom Boden zu isolierende Last, beispielsweise eine Anlage im Bereich der Lithographie, auf drei oder mehr Schwingungsisolatoren gelagert, die zumindest in einer vertikalen Richtung wirksam sind.
20 Mechanische Schraubenfedern ermöglichen bereits auf sehr einfache Weise eine passive Schwingungsisolations, insbesondere auch im Fall von eher größeren oder schweren Lasten. Oberhalb der Eigenfrequenz des Feder-Masse-Systems kann eine Schwingungsisolations erreicht werden.

Die Isolationswirkung derartiger Schwingungsisolationsysteme, insbesondere, wenn diese zur Lagerung von empfindlichen Maschinen, etwa in der Halbleiterindustrie, verwendet werden, kann verbessert werden, indem das Schwingungsisolationsystem als aktives Schwingungsisolationsystem ausgebildet wird.

30 Die verwendeten mechanischen Federsysteme werden dabei auf das Gewicht der zu lagernden Last ausgelegt. Dies ist notwendig, da sich eine mechanische Feder im Grenzbereich der

Belastung nicht mehr linear verhält und damit die Dämpfungseigenschaften ungünstiger werden. Zudem kann der Schwingungsisolator auch beschädigt werden.

5 Da die Auslenkung einer Schraubenfeder sich im vorgesehenen Lastbereich im Wesentlichen linear zur aufgebrachten Kraft verhält, versteht es sich, dass sich die Höhe der schwingungsisoliert gelagerten Last mit deren Gewicht ändert.

10 Um Variationen der isoliert gelagerten Last oder eine ungleichmäßige Kraftverteilung zu kompensieren, ist es bekannt, derartige mechanische Federsysteme mit einer Höhenkorrektur zu versehen. Diese kann beispielsweise über einen höhenverstellbaren Federteller auf recht einfache Weise realisiert werden, wobei das Schwingungsisolationssystem in Ruhelage eingestellt werden kann. Einen derartigen mechanischen Schwingungsisolator beschreibt das Dokument EP 2 750 738 A1 der Anmelderin.

15 In verschiedenen Fällen kann es aber beim Einstellen der Höhe bei derartigen mechanischen Federsystemen zum Auftreten von Drehmomenten kommen, welche eine horizontale Kraft zur Folge haben können. Diese horizontale Kraftkomponente führt in aller Regel zu einer horizontalen Verschiebung der schwingungsisoliert gelagerten Last oder in dem Schwingungsisolator selbst, was unerwünscht ist. Besonders nachteilig ist eine horizontale
20 Verschiebung bei aktiven Schwingungsisolationssystemen, da hierdurch die sich gegenüberliegenden Komponenten von berührungslos arbeitenden Aktoren zueinander verschoben werden.

25 So kann es beispielsweise bei einem Magnetaktor zu einer Veränderung der Spaltmaße zwischen den beteiligten Magneten kommen, was sich ungünstig auf die Leistung auswirken kann. Es kann aber auch zu Beschädigungen der Magnete kommen. Um dies zu verhindern, ist der Aktor als separates Bauteil ausgebildet und räumlich getrennt von dem Schwingungsisolator angeordnet, um etwaige Beschädigungen, etwa bei Justierung des mechanischen Federsystems, sicher ausschließen zu können.

30 Ein anderes Federsystem, basierend auf einer pneumatischen Feder, schlägt daher das Dokument EP 3 181 944 A1 vor.

Ein derartiges pneumatisches Isolationssystem kann aber andere Nachteile aufweisen, etwa, wenn die zu isolierende Last eine hohe bewegte Masse darstellt und/oder eine hohe Beschleunigung der bewegten Masse auf das System ausgeübt wird. In diesem Fall werden hohe Kräfte benötigt, welche sich bei pneumatischen Federn einen entsprechenden Bauraum
5 erfordern. Aufbau und Betrieb einer derartigen pneumatischen Feder sind aber als komplexer im Vergleich zu einer Schraubenfeder anzusehen.

Wünschenswert ist demnach ein Schwingungsisolator, welcher diese Nachteile nicht aufweist.

10 Der Schwingungsisolator sollte dabei einen möglichst geringen Bauraum aufweisen, um flexibel eingesetzt werden zu können.

Dabei sollte der Schwingungsisolator auch für höhere Lasten einsetzbar sein, insbesondere auch für Lasten, welche ein Gewicht von 500 kg oder mehr, bevorzugt 1.000 kg oder mehr, aufweisen.

15 Dieser Aufgabe haben sich die Erfinder angenommen.

Überraschend einfach wird diese Aufgabe durch einen Schwingungsisolator sowie ein Verfahren zum Dämpfen von Schwingungen nach einem der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte
20 Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung sind den jeweiligen Unteransprüchen zu entnehmen.

Gegenstand der Erfindung ist demnach ein Schwingungsisolator, umfassend

25 ein Innengehäuse mit einem Hohlraum zur Aufnahme und Halterung einer Schraubenfeder,
welche in dem Hohlraum des Innengehäuses angeordnet und in einer vertikalen Richtung wirksam ist,
ein das Innengehäuse zumindest abschnittsweise umgebendes Außengehäuse,
30 sowie einen in einer vertikalen Richtung wirksamen Aktuator, welcher zumindest abschnittsweise zwischen dem Innengehäuse und dem Außengehäuse angeordnet ist.

Der Schwingungsisolator kann Teil eines Schwingungsisolationsystems sein, welches stationär aufgestellt ist und welches zum Beispiel zur Lagerung von Geräten der Halbleiterindustrie verwendet werden kann.

- 5 Ein derartiges Schwingungsisolationsystem kann beispielsweise einen schwingungsisoliert gelagerten Tisch oder Rahmen umfassen, auf welchem die entsprechenden Geräte gelagert sind. Unter „horizontal“ und „vertikal“ wird im Rahmen dieser Erfindung die Hauptrichtung des Schwingungsisolators im eingebauten Zustand verstanden.
- 10 In Bezug auf die Schraubenfeder entspricht die vertikale Richtung demnach der Ausrichtung der Mittelnachse der Schraubenfeder im Betriebszustand, also der axialen Richtung. In dieser Richtung ist der Schwingungsisolator wirksam.

- 15 Zur Verbindung des Schwingungsisolators mit dem Boden kann das Außengehäuse mit entsprechenden Befestigungsmitteln ausgebildet sein, um eine feste Verbindung mit dem Boden zu schaffen. Hierzu können beispielsweise Schraubverbindungen vorgesehen sein, um den Schwingungsisolator zum Beispiel mit entsprechenden Aufnahmen am Boden fest und lösbar zu verbinden.

- 20 Das Außengehäuse kann das Innengehäuse in seinem Inneren, zumindest bereichsweise, aufnehmen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann das Außengehäuse das Innengehäuse entlang seiner Außenwandung umgeben, so dass Innenwandung des Außengehäuses und Außenwandung des Innengehäuses einander zugewandt sind.

- 25 Außen- und Innengehäuse können zylindrisch ausgebildet sein, was im Hinblick auf eine gleichmäßige Kraftverteilung und Isolation günstig sein kann. In diesem Fall sind günstigerweise Außen- und Innengehäuse sowie die Schraubenfeder coaxial zueinander angeordnet.

- 30 In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind das Außengehäuse und das Innengehäuse zudem in horizontaler Richtung steif miteinander verbunden. Um die für eine Schwingungsisolierung erforderliche Bewegung zu ermöglichen, ist das Innengehäuse innerhalb des Außengehäuses vorzugsweise in vertikaler Richtung beweglich. In anderen Worten, dass Innengehäuse mit der Schraubenfeder kann in axialer bzw. vertikaler Richtung gegenüber dem

Außengehäuse bewegt werden, ist aber in radialer bzw. horizontaler Richtung steif mit dem Außengehäuse verbunden.

5 Die in horizontaler Richtung steife Ankopplung des Innengehäuses kann durch zumindest ein Federelement, vorzugsweise zumindest eine Blattfeder erfolgen, welche parallel zu dem Aktuator geschaltet sein kann. Die Blattfeder kann in dem Arbeitsraum des Schwingungsisolators angeordnet sein und das Innengehäuse mit dem Außengehäuse verbinden.

10 Vorzugsweise umfasst der Schwingungsisolator zumindest zwei in axialer Richtung voneinander beabstandete Blattfedern. Hierdurch kann einem Verkippen des Innengehäuses gegenüber dem Außengehäuse besonders gut entgegengewirkt und die in horizontaler Richtung steife Anbindung bewirkt werden.

15 Die Blattfeder kann dabei Teil eines Blattfederpaketes sein. Denkbar sind beispielsweise segmentierte, aus Ringsegmenten ausgebildete Blattfedern. Eine besonders bevorzugte Ausführungsform sieht zwei axial beabstandet voneinander angeordnete Blattfederpakete vor, welche etwa im Bereich der Stirnseite von Innen- und Außengehäuse angeordnet sind.

20 Dies ermöglicht es, die Blattfedern austauschbar anzuordnen. Hierdurch lässt sich die Eigenfrequenz des Schwingungsisolators auf einfache Weise durch Austausch der Federpakete einstellen, so dass eine Anpassung an unterschiedliche Lastsituationen möglich ist. Insbesondere kann eine Eigenfrequenz von über 5 Hz erreicht werden, um kurze Ausregelzeiten zu erreichen.

25 Die Schraubenfeder ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in horizontaler Richtung mechanisch steif an das Innengehäuse angekoppelt und isoliert daher in vertikaler Richtung. Das Innengehäuse kann zur Aufnahmen und Halterung der Schraubenfeder mit entsprechenden Mitteln ausgebildet sein, beispielsweise Federtellern, welche einen in horizontaler und vertikaler Richtung festen Sitz der Schraubenfeder erlauben.

30 Gemäß der Erfindung ist ein in vertikaler Richtung wirksamer Aktuator vorgesehen, welcher im Arbeitsraum des Schwingungsisolators angeordnet sein kann. Dies ermöglicht eine besonders gleichmäßige Krafteinleitung in den Schwingungsisolator bei optimaler Raumausnutzung.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Aktuator als Magnetaktor ausgebildet, umfassend zumindest eine Spule und einen Magneten, welche ein Magnet-Spulenpaar bilden. Spule und Magnet können zwischen dem Innengehäuse und dem Außengehäuse angeordnet sein, wozu ein entsprechender Hohlraum bzw. Arbeitsraum
5 vorgesehen sein kann. Der Arbeitsraum kann beispielsweise Ausnehmungen auf der Innenwandung des Außengehäuses und/oder Ausnehmungen auf der Außenwandung des Innengehäuses umfassen.

Der Aktuator ermöglicht somit neben der Schraubenfeder eine zusätzliche Schwingungsisolierung
10 in vertikaler Richtung. Der Aktuator dient dabei insbesondere einer aktiven Schwingungsisolierung. Der erfindungsgemäße Schwingungsisolator kann demnach auch als aktiver Schwingungsisolator bezeichnet werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform umgibt das zumindest eine Magnet-Spulenpaar die
15 Schraubenfeder zumindest abschnittsweise. In anderen Worten, Spule und/oder Magnet sind zumindest abschnittsweise um die Schraubenfeder herum angeordnet.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das zumindest eine Magnet-Spulenpaar dabei ringförmig ausgebildet oder basiert auf ringförmig ausgebildeten Segmenten. Auf diese
20 Weise kann die Schraubenfeder teilweise oder bevorzugt vollständig umschlossen werden. Dies ermöglicht eine besonders gleichmäßige Krafteinleitung durch den Aktuator in den Schwingungsisolator. Insbesondere kann auf diese Weise verhindert werden, dass durch den Aktuator eine Kippbewegung des Innengehäuses bewirkt wird infolge einer ungleichmäßigen, einseitigen Krafteinleitung.

25 In einer bevorzugten Ausführungsform verläuft die zumindest eine Spule des Aktuators um das Innengehäuse herum und ist demnach auf der Außenwandung des Innengehäuses angeordnet. Die zumindest eine Spule kann dabei zum Beispiel auf das Innengehäuse aufgedruckt oder geklebt sein. Der zugehörige Magnet, insbesondere ein Permanentmagnet, kann dabei dem
30 Außengehäuse zugeordnet sein und auf der Innenwandung verlaufen. Er kann ebenfalls geklebt sein.

Vorzugsweise sind Magnet und zugehörige Spule gegenüberliegend angeordnet, wobei sich zwischen Magnet und Spule ein Spalt befindet.

5 Aufgrund der in horizontaler Richtung steifen Verbindung zwischen Innen- und Außengehäuse kann dieser Spalt entsprechend besonders schmal ausgebildet sein und zum Beispiel in radialer Richtung eine Breite von weniger als 5 mm, bevorzugt weniger als 1 mm und besonders bevorzugt weniger als 0,5 mm aufweisen. Dies ermöglicht es zum einen, den Arbeitsraum entsprechend klein zu gestalten, so dass der Schwingungsisolator insgesamt kompakt gehalten werden kann. Zum anderen können vergleichsweise hohe Kräfte erzeugt werden.

10

In anderen Ausführungsformen können auch umgekehrte Anordnungen vorgesehen sein, also eine Anordnung des Magneten auf der Außenwandung des Innengehäuses und der Spule auf der Innenwandung des Außengehäuses.

15 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der Schwingungsisolator eine Mehrzahl von Aktuatoren, vorzugsweise Magnetaktoren, welche in axialer Richtung nebeneinanderliegend angeordnet sind. Bei einer Ausführungsform umfasst der Schwingungsisolator zumindest zwei oder besonders bevorzugt drei oder auch mehr nebeneinander angeordnete Aktuatoren, insbesondere Magnetaktoren. Hierdurch lassen sich bei kompaktem Bauraum höhere Kräfte
20 erzeugen.

Vorzugsweise werden dabei nebeneinanderliegende Magnet-Spulenpaare gegenläufig von Strom durchflossen. Hierzu ist die Wickelrichtung benachbarter Spulen und die Magnetisierungsrichtung der Magnete zwischen den benachbarten Magnet-Spulenpaaren vorzugsweise alternierend
25 ausgebildet.

Um bei einer ungeraden Anzahl von Magnet-Spulenpaaren, beispielsweise drei Magnet-Spulenpaaren, eine über die Länge gleichmäßige Krafteinleitung zu ermöglichen, kann das mittlere Magnet-Spulenpaar größer dimensioniert sein als die bei äußeren Magnet-Spulenpaare,
30 um bei gleichen Strom eine höhere Krafteinleitung zu ermöglichen. Diese Konfiguration verringert in vorteilhafter Weise die Sättigung des Magnetfelds zwischen den verschiedenen Magnetsätzen, was letztendlich zu einer höheren magnetischen Induktivität (B) im Spalt mit der Spule führt.

Dazu kann das mittlere Magnet-Spulenpaar beispielsweise die doppelte Anzahl an Spulenwicklungen im Vergleich zu den beiden äußeren Magnet-Spulenpaaren aufweisen.

Die außenliegenden Magnet-Spulenpaaren können dazu eine gleiche Anzahl an
5 Spulenwicklungen aufweisen. Auf diese Weise lassen sich besonders einfach zwei in axialer Richtung nebeneinanderliegende Magnetfelder ausbilden, über welche eine vertikale Bewegung des Innengehäuses relativ zu dem Außengehäuse bewirkt werden kann.

In axialer Richtung können benachbarte Magnet-Spulenpaare dabei einen Abstand von etwa
10 zwischen 1 und 5 mm zueinander aufweisen, wobei dazwischen eine magnetische Abschirmung vorgesehen sein kann.

Der Schwingungsisolator umfasst in einer bevorzugten Ausführungsform weiterhin einen vorzugsweise länglichen Einsatz, welcher der Aufnahme der Last dient. Dieser Einsatz kann
15 dabei zumindest abschnittsweise in die Schraubenfeder hineinragen. Am oberen Ende kann der Einsatz fest mit dem Innengehäuse verbunden sein und eine obere Aufnahme zur Aufnahme der Schraubenfeder umfassen, beispielsweise einen oberen Federteller. In einer anderen Ausführungsform kann der Einsatz auch als Teil des Innengehäuses ausgebildet sein.

Dabei kann der Einsatz zumindest teilweise in dem in die Schraubenfeder hineinragende Bereich mit einem nach oben hin offenen Hohlraum ausgebildet sein, welcher der Aufnahme einer Lastaufnahme dienen kann. Die Lastaufnahme kann im unteren Bereich des Hohlraumes in
20 axialer und radialer Richtung fest mit einem Bodenbereich des Einsatzes verbunden sein. Am Boden des Einsatzes ist die Lastaufnahme demnach gehalten, während sie im oberen Bereich
25 frei in dem Hohlraum angeordnet sein kann, so dass eine Bewegungsmöglichkeit in radialer bzw. horizontaler Richtung gegeben ist.

Die Lastaufnahme kann besonders günstig als Biegestab oder Knickpendel ausgebildet sein und mit ihrem oberen Ende mit einer zu isolierenden Last verbunden werden. Hierzu können
30 geeignete Aufnahmen vorgesehen sein. Eine in horizontaler Richtung auf die zu isolierende Last einwirkende Kraft kann demnach über die Lastaufnahme aufgenommen werden.

In einem weiteren Aspekt umfasst die Erfindung ein Verfahren zur Isolierung einer zu lagernden Last, wobei zumindest ein erfindungsgemäßer Schwingungsisolator wie vorstehend beschrieben zum Einsatz kommt.

- 5 Das Verfahren kann dabei vorsehen, dass Sensoren auf der zu isolierenden Last und/oder dem Boden angeordnet werden, und über eine Regelschleife kann dann zumindest ein Aktuator des Schwingungsisolators angesteuert werden, welcher auftretenden Schwingungen aktiv entgegenwirkt. Der Sensor kann beispielsweise als Bewegungs- oder Beschleunigungssensor ausgebildet sein.

10

In einem nochmals weiteren Aspekt umfasst die Erfindung ein Gerät, insbesondere Lithographie-Gerät oder -Anlage, ein optisches Inspektionsgerät, eine Anlage oder Einrichtung zum Handling von Wafern oder Substraten, wobei das Gerät zumindest einen Schwingungsisolator wie vorstehend beschrieben zur Schwingungsisolierung umfasst. In bevorzugten Ausführungsformen können derartige Geräte zumindest drei derartige Schwingungsisolatoren umfassen für eine Drei-Punkt-Lagerung.

15

- Es ist auch denkbar und möglich, jeweils zwei derartige Schwingungsisolator gemeinsam zu betreiben, wobei diese beiden Schwingungsisolatoren um 90° zueinander gedreht angeordnet sind, so dass eine aktive Schwingungsisolierung sowohl in einer ersten, beispielsweise vertikalen, und einer zweiten, beispielsweise horizontalen, Richtung ermöglicht werden kann.

20

Der erfindungsgemäße Schwingungsisolator zeichnet sich durch einen geringen Bauraum aus und kann demzufolge sehr flexibel eingesetzt werden.

25

Zudem kann der erfindungsgemäße Schwingungsisolator auch für höhere Lasten eingesetzt werden, insbesondere auch für Lasten, welche ein Gewicht von 500 kg oder mehr, beispielsweise 1.000 kg oder mehr oder auch 1.500 kg oder mehr, aufweisen.

- 30 Weitere Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung der dargestellten Ausführungsbeispiele und den angefügten Ansprüchen.

Die Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Schwingungsisolators im Schnitt,
- 5 Fig. 2 den Schwingungsisolator aus Fig. 1 in einer Schrägansicht,
- Fig. 3 schematisch ein Schwingungsisolationssystem in einer Seitenansicht,
- 10 Fig. 4 den Schwingungsisolator aus Fig. 2 in einer Schrägansicht im Schnitt,
- Fig. 5 einen Ausschnitt umfassend die Seitenwand des erfindungsgemäßen Schwingungsisolators im Schnitt und
- 15 Fig. 6 ein im Betrieb sich einstellendes Magnetfeld im Bereich der Seitenwand aus Fig. 5.

Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

20 Bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen bezeichnen um der Klarheit willen gleiche Bezugszeichen im Wesentlichen gleiche Teile in oder an diesen Ausführungsformen. Zur besseren Verdeutlichung der Erfindung sind die in den Figuren dargestellten bevorzugten Ausführungsformen jedoch nicht immer maßstabsgerecht gezeichnet.

25 Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Schwingungsisolators 10 im Schnitt.

Der abgebildete Schwingungsisolator 10 umfasst dabei

30 ein Innengehäuse 20 mit einem Hohlraum 21 zur Aufnahme und Halterung einer Schraubenfeder 50,

5 welche in dem Hohlraum 21 des Innengehäuse 20 angeordnet und in einer vertikalen Richtung wirksam ist,
ein das Innengehäuse 20 zumindest abschnittsweise umgebendes Außengehäuse 30,
sowie einen in einer vertikalen Richtung wirksamen Aktuator 40, welcher zwischen dem
Innengehäuse 20 und dem Außengehäuse 30 angeordnet ist.

10 Der Schwingungsisolator 10 kann Teil eines Schwingungsisolationsystems 1 sein, welches stationär aufgestellt ist und welches zum Beispiel zur Lagerung von Geräten der Halbleiterindustrie verwendet werden kann.

15 Ein derartiges Schwingungsisolationsystem 1 kann beispielsweise einen schwingungsisoliert gelagerten Tisch 4 oder Rahmen umfassen, auf welchem die entsprechenden Geräte gelagert sind, z.B. ein Rasterelektronenmikroskop 5. Rein schematisch ist ein Schwingungsisolationsystem 1 in einer Seitenansicht in Fig. 3 gezeigt. Der Tisch 4 und ein
20 darauf sich befindliches Gerät 5 als zu lagernde Last können mittels der Schwingungsisolatoren 10 gegenüber dem Boden 2 isoliert werden. In dem Ausführungsbeispiel sind insgesamt vier derartige Schwingungsisolatoren 10 vorgesehen.

25 Zur Verbindung des Schwingungsisolators 10 mit dem Boden kann das Außengehäuse 30 mit entsprechenden Befestigungsmitteln ausgebildet sein, um eine feste Verbindung mit dem Boden oder einer Aufnahmeplatte 3 zu schaffen. Hierzu können beispielsweise Schraubverbindungen 31
30 vorgesehen sein, um den Schwingungsisolator zum Beispiel mit entsprechenden Aufnahmen fest und lösbar zu verbinden.

35 Das Außengehäuse 30 kann das Innengehäuse 20 in seinem Inneren, zumindest bereichs- oder abschnittsweise, aufnehmen und ist dazu ebenfalls mit einem Hohlraum ausgebildet, welcher nachfolgend auch als Arbeitsraum 32 bezeichnet wird.

40 In der abgebildeten Ausführungsform umgibt das Außengehäuse 30 das Innengehäuse 20 annähernd vollständig, so dass die Innenwandung 33 des Außengehäuses 30 und Außenwandung 23 des Innengehäuses 20 einander zugewandt sind. Es ist nicht zwingend erforderlich, dass das Außengehäuse 30 das Innengehäuse 20 in axialer Richtung vollständig

umschließt. Das Innengehäuse 20 kann beispielsweise auch hervorstehen, was allerdings zu einer Abnahme der Stabilität, insbesondere in horizontaler Richtung, führen kann.

5 In dem Ausführungsbeispiel sind Außen- und Innengehäuse zylindrisch ausgebildet, was für eine gleichmäßig Aufnahme der Last und Dämpfung von Vorteil ist und sich als geeignet herausgestellt hat. Dies ermöglicht es, Außen- und Innengehäuse 20, 30 sowie die Schraubenfeder 50 koaxial zur Mittenlinie 51 zueinander anzuordnen, was für eine gleichmäßige Gewichtsverteilung und homogene Lastverteilungen sehr zweckmäßig ist.

10 Das Außengehäuse 30 und das Innengehäuse 20 sind in horizontaler Richtung mechanisch steif miteinander verbunden.

Um die für eine Schwingungsisolierung erforderliche Bewegung zu ermöglichen, ist das Innengehäuse 20 innerhalb des Außengehäuses 30 in vertikaler Richtung beweglich gehalten. In
15 anderen Worten, dass Innengehäuse 20 mit der Schraubenfeder 50 kann in axialer bzw. vertikaler Richtung relativ zu dem Außengehäuse 30 bewegt werden.

Die in horizontaler Richtung steife Ankopplung des Innengehäuses 20 erfolgt in dem Ausführungsbeispiel durch zwei Blattfederpakete 34 als vertikal wirkende Federelemente, welche
20 parallel zu dem Aktuator 40 geschaltet sind. Die Blattfederpakete 34 sind im Arbeitsraum 32 des Schwingungsisolators 10 angeordnet und verbinden das Innengehäuse 20 mit dem Außengehäuse 30.

In dem Ausführungsbeispiel umfasst der Schwingungsisolator 10 zwei in axialer Richtung
25 voneinander beabstandete Blattfederpakete 34, welche an den jeweiligen Stirnseiten von Innen- und Außengehäuse 20, 30 angeordnet sind und damit größtmögliche Stabilität in horizontaler Richtung bieten. Hierdurch kann einem Verkippen des Innengehäuses 20 gegenüber dem Außengehäuse 30 entgegengewirkt werden, so dass eine in horizontaler Richtung steife Anbindung bewirkt wird.

30 Ein Blattfederpaket 34 umfasst mehrere Blattfedern. Anstelle von Blattfedern sind auch andere Federelemente denkbar und möglich, beispielsweise Tellerfedern.

Die Blattfederpakete 34 sind einfach austauschbar angeordnet. Hierzu ist an den Stirnseiten jeweils ein Klemmring 35 vorgesehen, mit welchem die Blattfederpakete 34 fest und lösbar mit dem Außengehäuse 30 verbunden werden können und dabei die Blattfederpakete 34 halten.

- 5 Ein Austausch der Federelemente ermöglicht es, dass die Eigenfrequenz des Schwingungsisolators 10 auf einfache Weise eingestellt werden kann, so dass eine Anpassung an unterschiedliche Lastsituationen möglich ist. Insbesondere kann eine Eigenfrequenz von über 5 Hz erreicht werden, um kurze Ausregelzeiten zu erreichen.
- 10 Die Schraubenfeder 50 ist in horizontaler Richtung mechanisch steif an das Innengehäuse 20 angekoppelt und isoliert daher in vertikaler Richtung. Das Innengehäuse 20 ist zur Aufnahmen und Halterung der Schraubenfeder 50 mit entsprechenden Mitteln ausgebildet, im Beispiel mit einem unteren Federteller 24, welcher einen in horizontaler und vertikaler Richtung festen Sitz der Schraubenfeder 50 erlaubt. Der Federteller 24 kann mittels einer Justierung 52 in axialer
- 15 Richtung bewegt werden, um eine Höhenanpassung vorzunehmen.

- Gemäß der Erfindung ist ein in vertikaler Richtung wirksamer Aktuator vorgesehen, welcher im Arbeitsraum des Schwingungsisolators angeordnet ist und im Ganzen mit dem Bezugszeichen 40, 40a gekennzeichnet ist. Der Aktuator 40, 40a ist als Linearmotor mit geradliniger
- 20 Bewegungsbahn ausgebildet und ermöglicht eine besonders gleichmäßige Krafteinleitung in den Schwingungsisolator 10.

- In Ausführungsbeispiel ist der Aktuator 40, 40a als Magnetaktor ausgebildet, umfassend Spulen 41, 41a und Magnete 42, 42a, welche jeweils ein Magnet-Spulenpaar bilden. Spule 41 und
- 25 Magnet 42 sind in dem Arbeitsraum 32 zwischen Innengehäuse 20 und Außengehäuse 30 angeordnet und bilden ein Magnet-Spulenpaar. In dem Arbeitsraum 32 sind Ausnehmungen auf der Innenwandung des Außengehäuses 30 und/oder Ausnehmungen auf der Außenwandung des Innengehäuses 20 ausgebildet zur Aufnahme der Magnete 42 bzw. Spulen 41. In dem Ausführungsbeispiel sind die Spulen auf die Außenwandung des Innengehäuses 20 aufgedrückt oder aufgeklebt. Das Innengehäuse 20 ist dabei von Vorteil aus einem eisenhaltigen Werkstoff,
- 30 vorzugsweise einem Stahl, gefertigt. Die Magnete 42 sind in passgenau gegengleiche Ausnehmungen auf der Innenwandung des Außengehäuses 30 eingelegt und geklebt.

Der Aktuator 40, 40a ermöglicht somit parallel zu der Schraubenfeder 50 eine zusätzliche Schwingungsisolierung in vertikaler Richtung. Der Aktuator 40, 40a stellt dabei das aktive Element des Schwingungsisolators 10 dar.

- 5 In dem abgebildeten Ausführungsbeispiel sind insgesamt drei Magnet-Spulenpaare vorgesehen, welche die Schraubenfeder 50 vollständig umgeben und sich in axialer Richtung annähernd entlang der Länge der Schraubenfeder 50 erstrecken, was in Hinblick auf eine kompakte Ausbildung des Schwingungsisolators 10 bei gleichzeitig hoher Stabilität eine günstige Anordnung darstellt.

10

In dem abgebildeten Ausführungsbeispiel sind die Magnet-Spulenpaare ringförmig ausgebildet. Auf diese Weise kann die Schraubenfeder 50 vollständig umschlossen werden. Dies ermöglicht eine besonders gleichmäßige Krafteinleitung durch den Aktuator 40, 40a in den Schwingungsisolator 10. Insbesondere kann auf diese Weise verhindert werden, dass durch den
15 Aktuator 40, 40a eine Kippbewegung des Innengehäuses 20 bewirkt wird infolge einer ungleichmäßigen, einseitigen Krafteinleitung.

20

In dem abgebildeten Ausführungsbeispiel verlaufen die Wicklungen der Spulen 41 des Aktuators 40, 40a auf der Außenwandung des Innengehäuses 20 herum. Der zugehörige Magnet 42, im
Ausführungsbeispiel ein Permanentmagnet, ist dabei dem Außengehäuse 30 zugeordnet und in einem geringen Abstand zu der Spule 41 auf der Innenwandung angeordnet. Demnach sind die Magnete 42 und die zugehörigen Spulen 41 gegenüberliegend angeordnet, wobei sich zwischen Magnet 42 und Spule 41 ein Spalt befindet.

25

Aufgrund der in horizontaler Richtung steifen Verbindung zwischen Innen- und Außengehäuse 20, 30 ist dieser Spalt entsprechend besonders schmal ausgebildet. In dem Ausführungsbeispiel weist der Spalt eine Breite von weniger als 5 mm, bevorzugt weniger als 1 mm und besonders bevorzugt weniger als 0,5 mm auf. Dies ermöglicht es zum einen, den Arbeitsraum 32
entsprechend klein zu gestalten, so dass der Schwingungsisolator 10 insgesamt kompakt
30 gehalten werden kann. Zum anderen können vergleichsweise hohe Kräfte erzeugt werden. Auch eine umgekehrte Anordnung von Magnet 42 und Spule 41 ist möglich und denkbar.

In der abgebildeten Ausführungsform umfasst der Schwingungsisolator 10 drei parallel geschaltete Aktuatoren 40, 40a, im Beispiel Magnetaktoren bzw. Magnet-Spulenpaare, welche in axialer Richtung nebeneinanderliegend angeordnet sind. Es sind allgemein Ausführungsformen möglich und denkbar, welche mehr als einen Aktuator 40, 40a umfassen, beispielsweise zwei
5 oder auch vier oder fünf oder mehr nebeneinander angeordnete Aktuatoren 40, 40a, insbesondere Magnetaktoren.

Hierdurch lassen sich bei kompaktem Arbeitsraum 32 höhere Kräfte erzeugen. Dabei werden nebeneinanderliegende Magnet-Spulenpaare gegenläufig von Strom durchflossen. Bei einer
10 Anordnung mit drei Magnet-Spulenpaare können demnach zwei axial beabstandete Magentfelder ausgebildet werden.

Um bei einer ungeraden Anzahl von Magnet-Spulenpaaren, beispielsweise drei oder fünf Magnet-Spulenpaaren, eine über die Länge gleichmäßige Krafteinleitung zu ermöglichen, ist das
15 mittlere Magnet-Spulenpaar, im abgebildeten Beispiel mit dem Bezugszeichen 40a gekennzeichnet, größer dimensioniert als die bei äußeren Magnet-Spulenpaare bzw. Aktuatoren 40, um bei gleichen Strom eine gleiche bzw. höhere Krafteinleitung zu ermöglichen. Hierzu umfasst das mittlere Magnet-Spulenpaar 40a mit der Spule 41a und dem Magneten 42a eine doppelte Anzahl an Spulenwicklungen der Spule 41a im Vergleich zu den beiden äußeren
20 Magnet-Spulenpaaren. Es ist auch möglich, einen anderen, insbesondere größeren Leitungsquerschnitt zu wählen oder eine Kombination aus geändertem Leitungsquerschnitt und geänderter Wicklungszahl. Die äußeren Magnet-Spulenpaare sind dabei hinsichtlich der Leistungsparameter gleich ausgebildet.

25 In axialer Richtung weisen benachbarte Magnet-Spulenpaare dabei einen gewissen Abstand zueinander auf, welcher in dem Ausführungsbeispiel zwischen 1 und 5 mm beträgt. Um die Abstände zu verringern, ist in dem Ausführungsbeispiel ein abschirmendes Zwischenstück 43 zwischen benachbarten Magnet-Spulenpaaren vorgesehen.

30 Der Schwingungsisolator 10 umfasst in der abgebildeten Ausführungsform weiterhin einen länglichen Einsatz 25, welcher der Aufnahme der Last dient. Dieser Einsatz 25 ragt zu einem

überwiegenden Anteil in die Schraubenfeder 50 hinein. Am oberen Ende ist der Einsatz 25 fest mit dem Innengehäuse 20 verbunden.

5 Der Einsatz 25 umfasst eine obere Aufnahme zur Aufnahme der Schraubenfeder, im Beispiel einen oberen Federteller 24. In einer anderen Ausführungsform kann der Einsatz 25, auch zusammen mit dem oberen Federteller 24, als Teil des Innengehäuses 20 ausgebildet sein.

10 Dabei ist der Einsatz 25 in dem in die Schraubenfeder 50 hineinragende Bereich mit einem nach oben hin offenen Hohlraum ausgebildet, welcher der Aufnahme einer Lastaufnahme 53 dient. Die Lastaufnahme 53 ist koaxial zu dem Einsatz 25 und der Schraubenfeder 50 angeordnet und ist im unteren Bereich des Hohlraumes in axialer und radialer Richtung fest mit einem Bodenbereich des Einsatzes 25 verbunden. Am Boden des Einsatzes ist die Lastaufnahme 53 demnach gehalten. Im oberen Bereich bzw. an der oberen Stirnseite des Einsatzes 25 ist die Lastaufnahme 53 in horizontaler Richtung frei in dem Hohlraum angeordnet, so dass eine
15 Bewegungsmöglichkeit in radialer Richtung gegeben ist.

Die Lastaufnahme 53 ist in dem Ausführungsbeispiel als Biegestab ausgeführt. An ihrem oberen Ende kann sie mit der zu isolierenden Last verbunden werden. Hierzu ist in dem Ausführungsbeispiel eine weitere Aufnahme 54 vorgesehen. Die zu isolierende Last ist in dieser
20 Darstellung nicht abgebildet. Eine in horizontaler Richtung auf die zu isolierende Last einwirkende Kraft kann demnach über die Lastaufnahme 53 aufgenommen werden.

Fig. 2 zeigt den Schwingungsisolator 10 in einer Schrägansicht. Eine seitliche Ausnehmung 36 ermöglicht es, die Höhenjustierung bei einem montierten Schwingungsisolator 10 vorzunehmen.
25 Der Schwingungsisolator 10 weist eine Bauhöhe von insgesamt etwa 150 mm und einen Durchmesser von etwa 130 mm auf und ist demnach sehr kompakt ausgebildet. Die Ausdehnung der Schraubenfeder in axialer Richtung beträgt etwa 90 mm. Auf etwa diese Distanz verteilen sich auch die insgesamt drei Magnet-Spulenpaare, wobei das mittlere Magnet-Spulenpaar etwa die doppelte Ausdehnung in axialer Richtung aufweist wie jeweils ein äußeres Magnet-
30 Spulenpaar. Bei diesen Abmessungen ist ein Hub von etwa 1,5 mm oder auch darüber möglich.

Fig. 4 zeigt den Schwingungsisolator 10 aus Fig. 2 in einer Schrägansicht im Schnitt.

Fig. 5 zeigt einen Ausschnitt der Seitenwand des Innen- und Außengehäuses 20, 30 des Schwingungsisolators 10 im Schnitt.

5 Fig. 6 zeigt ein im Betrieb sich einstellendes Magnetfeld in diesem Bereich der Seitenwand des Schwingungsisolators 10. Gut zu erkennen sind zwei sich ausbildende Magnetfelder 44, welche axial beabstandet zueinander sind. In der Schnittansicht ist schematisch der Verlauf der Magnetlinien mit dem Bezugszeichen 45 eingezeichnet.

10 Die Erfindung stellt damit ein Verfahren zur Isolierung einer zu lagernden Last zur Verfügung, z.B. ein Rasterelektronenmikroskop 5, ein Lithographie-Gerät oder eine Lithographie-Anlage, ein optisches Inspektionsgerät, eine Anlage oder Einrichtung zum Handling von Wafern oder Substraten oder sonstige Einrichtung oder Anlage, welche besonders hohe Anforderungen an eine Schwingungsisolierung stellt.

15 Die Erfindung umfasst ferner auch ein Gerät, beispielsweise ein Lithographie-Gerät oder -Anlage, ein optisches Inspektionsgerät, eine Anlage oder Einrichtung zum Handling von Wafern oder Substraten, wobei zumindest ein Schwingungsisolator 10 wie vorstehend beschrieben verwendet wird.

20

Patentansprüche:

1. Schwingungsisolator, umfassend
ein Innengehäuse mit einem Hohlraum zur Aufnahme und Halterung einer
5 Schraubenfeder,
welche in dem Hohlraum des Innengehäuses angeordnet und in einer vertikalen
Richtung wirksam ist,
ein das Innengehäuse zumindest abschnittsweise umgebendes Außengehäuse,
sowie einen in einer vertikalen Richtung wirksamen Aktuator, welcher zwischen dem
10 Innengehäuse und dem Außengehäuse angeordnet ist.
2. Schwingungsisolator nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass
zwischen Außen- und Innengehäuse zumindest ein Federelement, vorzugsweise
zumindest eine Blattfeder, vorgesehen ist, welche eine axiale Bewegung des
15 Innengehäuses relativ zu dem Außengehäuse ermöglicht.
3. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass zumindest zwei in axialer Richtung beabstandet voneinander
angeordnete Blattfedern vorgesehen sind, welche vorzugsweise als Blattfederpakete
20 ausgebildet sind.
4. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass der Aktuator als Magnetaktor ausgebildet ist, umfassend
zumindest eine Spule und einen Magneten, welche ein Magnet-Spulenpaar ausbilden.
25
5. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass in einem Arbeitsraum Ausnehmungen vorgesehen sind zur
Aufnahme von Spule und/oder Magnet des Magnetaktors.
- 30 6. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass das zumindest eine Magnet-Spulenpaar die Schraubenfeder
zumindest abschnittsweise umgibt.

- 5
7. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine Magnet-Spulenpaar ringförmig ausgebildet ist und die Schraubenfeder zumindest abschnittsweise vollständig umschließt.
- 10
8. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von Aktuatoren, insbesondere Magnet-Spulenpaaren, vorgesehen ist, bevorzugt zwei, besonders bevorzugt drei oder auch mehr Magnet-Spulenpaare, welche in axialer Richtung nebeneinanderliegend angeordnet sind, wobei die Wickelrichtung benachbarter Spulen und die Magnetisierungsrichtung der Magnete zwischen den benachbarten Magnet-Spulenpaaren vorzugsweise alterniert.
- 15
9. Schwingungsisolator nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zweier benachbarter Magnet-Spulenpaare zwischen 1 und 5 mm beträgt.
- 20
10. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Spule zumindest eines Magnet-Spulenpaars auf der Außenwandung des Innengehäuses angeordnet ist und/oder dass der zugehörige Magnet auf der Innenwandung des Außengehäuses angeordnet ist.
- 25
11. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Magnet und Spule eines Magnet-Spulenpaars ein Spalt vorgesehen ist, wobei der Spalt eine Breite von weniger als 5 mm, bevorzugt weniger als 1 mm und besonders bevorzugt weniger als 0,5 mm aufweist.
- 30
12. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend ferner einen Einsatz, welcher zumindest abschnittsweise in die Schraubenfeder hineinragt, vorzugsweise mit einem nach oben hin offenen Hohlraum.

13. Schwingungsisolator nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Einsatz mit einer Lastaufnahme verbunden ist, welcher in axialer und radialer Richtung fest mit dem Einsatz verbunden ist.
- 5 14. Schwingungsisolator nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Lastaufnahme zumindest abschnittsweise in den Hohlraum des Einsatzes hineinragt und/oder dass die Lastaufnahme zumindest abschnittsweise in die Schraubenfeder hineinragt.
- 10 15. Schwingungsisolator nach einem der beiden vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lastaufnahme an ihrem unteren Ende mit dem Boden des Einsatzes verbunden ist und/oder an ihrem oberen Ende mit einer zu isolierenden Last oder Lastaufnahme verbunden werden kann.
- 15 16. Schwingungsisolator nach einem der drei vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lastaufnahme als Biegestab oder Knickpendel ausgebildet ist.
- 20 17. Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schraubenfeder in horizontaler Richtung mechanisch steif mit dem Innengehäuse verbunden ist.
18. Verfahren zur Isolierung einer zu lagernden Last, umfassend einen Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche.
- 25 19. Gerät, insbesondere Lithographie-Gerät oder -Anlage, optisches Inspektionsgerät, Anlage oder Einrichtung zum Handling von Wafern oder Substraten, umfassend zumindest einen Schwingungsisolator nach einem der vorstehenden Ansprüche.