

Beschreibung**Tragevorrichtung zum Tragen eines MEMS-Sensors**

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Tragevorrichtung zum Tragen eines mikro-elektromechanischen, MEMS, Sensors, sowie einen Sensor, der einer derartige Tragevorrichtung aufweist.

MEMS-Sensoren werden heutzutage in vielen Gebieten der Technik eingesetzt. Insbesondere eignen sich MEMS-Sensoren als Beschleunigungs- und/oder Drehratensensoren. Der MEMS-Sensor ist typischer Weise von einem Gehäuse umgeben, um direkte Einwirkungen auf den MEMS-Sensor zu verhindern. Das Gehäuse selbst kann aber vibrieren oder Stößen ausgesetzt sein. Zudem kann es z.B. aufgrund von Temperaturschwankungen seine Form ändern.

- 15 Die Güte der von den Sensoren ausgegebenen Messdaten hängt in diesem Fall nicht zuletzt davon ab, wie gut der MEMS-Sensor vor Vibrationen des Gehäuses, Kraftstößen auf das Gehäuse oder Verformungen des Gehäuses abgekoppelt werden kann. Der MEMS-Sensor wird desto verlässlichere Messergebnisse liefern, umso weniger seine Position durch derartige Bewegungen des Gehäuses verändert wird und umso weniger mechanischer Stress zum Beispiel aufgrund thermischer Verformungen von der Umwelt auf den Sensor einwirkt.

- Zu diesem Zweck werden Mechanismen zum Entkoppeln der Gehäusebewegung/-verformung von der Bewegung/Verformung des MEMS-Sensors verwendet. Bekannt sind hier z.B. mikromechanische Strukturen, die Bewegungen des Gehäuses gegenüber dem MEMS-Sensor abfedern und/oder dämpfen (vgl. z.B. US 2018/252739 A1). Ebenso bekannt ist es, Elastomere zwischen MEMS-Sensor und Gehäuse einzubringen, um Bewegungen des Gehäuses gegenüber dem MEMS-Sensor zu dämpfen (vgl. US 2008/264169 A1).

- 30 Derartige Mechanismen sind aber mit Nachteilen behaftet. Die Realisierung einer Entkopplung mittels mikromechanischen Strukturen ermöglicht in der Regel keine direkte (und wieder lösbare) Anbindung an das Systemgehäuse, weshalb hier ein weiterer meist aufwendiger Fügeprozess notwendig ist, um die Entkopplungsstruktur mit dem Systemgehäuse zu verbin-

den. Die Materialeigenschaften von Elastomeren können sich in Abhängigkeit von der Temperatur oder der Alterung des Materials verändern. Dies kann zum einen die Betriebsbedingungen für den MEMS-Sensor ändern. Zum anderen kann dadurch aber auch die Fähigkeit zur Entkopplung des MEMS-Sensors von externen Bewegungen verloren gehen.

5

Sowohl mikromechanische Strukturen als auch Elastomere können, z.B. bei einem Defekt oder einer Fehlfunktion, nicht ohne weiteres aus dem Sensor entfernt und ausgetauscht werden, bzw. verhindern den Austausch anderer defekter Komponenten. Dies erklärt sich bei mikromechanischen Strukturen daraus, dass diese fest mit dem Sensor verbaut sind. Bei der

10

Verwendung von Elastomeren resultiert diese Schwierigkeit daraus, dass die Elastomere stoffschlüssig mit den anderen Bauteilen verbunden sind. Dies macht es notwendig, die bestehenden Verbindungen zunächst aufzulösen und dann wieder neu zu fügen, was sehr aufwendig ist.

15

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, eine Vorrichtung zum Tragen eines MEMS-Sensors anzugeben, die den MEMS-Sensor verlässlich und in einfacher Weise von Bewegungen und/oder Verformungen benachbarter Bauteile entkoppelt. Des Weiteren ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Sensor anzugeben, der die Vorrichtung zum Tragen eines MEMS-Sensors und den MEMS-Sensor aufweist.

20

Diese Aufgaben werden durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Eine Tragevorrichtung zum Tragen eines mikro-elektromechanischen, MEMS, Sensors weist eine Trägerplattform, die geeignet ist, den MEMS-Sensor zu tragen und eine Kopplungsstruktur auf, die einzelne, makroskopische und mit der Trägerplattform verbundene Federn aufweist, und die geeignet ist, mit einer Gehäusestruktur verbunden zu werden, wobei die Gehäusestruktur geeignet ist, die Tragevorrichtung und den von dieser getragenen MEMS-Sensor zu umgeben.

25

30

Die Tragevorrichtung ist also geeignet, einen MEMS-Sensor, der auf der Trägerplattform angebracht ist, mit einer Gehäusestruktur bzw. einem Gehäuse des Gesamtsensors zu verbinden. Hierzu weist die Tragevorrichtung makroskopische Federn auf, d.h. keine mikromechanischen Federn, wie z.B. aus der US 2018/252739 A1 bekannt, und auch keine Elastomerkopplungen, wie z.B. in der US 2008/264169 A1 beschrieben. Die makroskopischen Federn

sind hierbei geeignet, die Trägerplattform gegenüber der Gehäusestruktur abzustützen und Bewegungen und Verformungen der Gehäusestruktur aufzufangen, so dass die Trägerplattform – und mit ihr der MEMS-Sensor – für einen verlässlichen Betrieb in ausreichender Weise in Ruhe und unverformt bleibt.

5

Da die Federn makroskopisch ausgebildet sind, z.B. im Falle von Biegebalken mit einer Materialstärke von mindestens 0,3 mm, ist es möglich, sie vergleichsweise einfach herzustellen, insbesondere mit gängigen makroskopischen Fertigungsverfahren, wie etwa Zerspanen, Erodieren und dergleichen. Die Verwendung von mechanischen Federn anstatt von Elastomeren verhindert zudem das Auftreten von Schwankungen der Kopplungseigenschaften der Tragevorrichtung aufgrund von Alterung oder Temperaturabhängigkeit.

10

Die Verwendung einer Tragevorrichtung mit makroskopischen Federn ermöglicht es also, einen MEMS-Sensor in einfacher und verlässlicher Weise von den Bewegungen der umgebenden Bauteile abzukoppeln.

15

Hierbei können zumindest die Federn, vorzugsweise die gesamte Kopplungsstruktur, aus einem Metall gefertigt sein. Hierdurch vereinfacht sich zum einen die Fertigung, da die Herstellung von Strukturen aus Metall vergleichsweise einfach ist. Zudem ermöglichen Federn aus Metall, eine geringe Eigendämpfung zu erzielen, wodurch Bewegungen der Umgebung besser durch die Federn aufgefangen werden. Dadurch verbessert sich die Entkopplung der den MEMS-Sensor tragenden Trägerplattform von solchen Bewegungen, was wiederum die Verlässlichkeit der Messdaten des MEMS-Sensors erhöht. Eine geringe Eigendämpfung führt in der Regel auch dazu, dass Schwingungen der Tragevorrichtung im Bereich der typischen Betriebsfrequenzen des MEMS-Sensors stärker unterdrückt/isoliert werden als mit einer vergleichbaren Trägerevorrichtung mit einer stärkeren Eigendämpfung (zum Beispiel aufgrund eines Elastomers).

20

25

Die Kopplungsstruktur kann geeignet sein, mittels Schraubverbindungen mit der Gehäusestruktur verbunden zu werden. Da die Kopplungsstruktur und insbesondere die Federn makroskopisch ausgestaltet sind, können sie in einfacher Weise mittels Schraubverbindungen befestigt werden. Dies vereinfacht die Herstellung weiter. Zudem lassen sich die Schraubverbindungen auch wieder leicht lösen, wodurch ein Austausch der Tragevorrichtung bzw. der Kopplungsstruktur und des darauf angebrachten MEMS-Sensors vereinfacht wird.

30

Die Kopplungsstruktur kann geeignet sein, den MEMS-Sensor und die Gehäusestruktur thermisch voneinander zu isolieren, vorzugsweise dadurch, dass die Federn einen im Vergleich zu ihrer Länge kleinen Querschnitt aufweisen und die Federn die einzige durchgängige, aus
5 einem Material bestehende Verbindung zwischen der Gehäusestruktur und der Trägerplattform sind und/oder dadurch, dass die thermische Masse der Kopplungsstruktur kleiner als die thermische Masse der Trägerplattform ist. Externe Temperaturschwankungen erreichen den MEMS-Sensor daher nur in stark gedämpfter Form oder gar nicht. In jedem Fall wird der MEMS-Sensor nur sehr langsam und gleichmäßig seine Temperatur ändern. Dies verbessert
10 die Verlässlichkeit der Sensordaten.

Die Trägerplattform kann als eine Platte und die Federn als Paare von Biegebalkenfedern ausgebildet sein, wobei die Biegebalkenfedern eines Paares an ihrem ersten Ende mit einem Punkt am Umfang der Platte und an ihrem zweiten Ende miteinander verbunden sind und
15 jede Biegebalkenfeder derart gekrümmt ist, dass zwischen jedem Paar von Biegebalkenfedern ein Zwischenraum vorhanden ist. Die Paare von Biegebalkenfedern sind dann jeweils über ihr zweites Ende mit der Gehäusestruktur verbindbar, vorzugsweise mittels Schraubverbindungen. Dadurch wird eine konkrete Ausgestaltung der Tragevorrichtung bereitgestellt.

20 Eine Sensorvorrichtung weist einen MEMS-Sensor, eine Tragevorrichtung wie sie oben beschrieben wurde, wobei der MEMS-Sensor auf der Trägerplattform der Tragevorrichtung angebracht ist, und eine Gehäusestruktur auf, die die Tragevorrichtung und den darauf getragenen MEMS-Sensor umgibt und die über die Kopplungsstruktur der Tragevorrichtung mit dem MEMS-Sensor verbunden ist. Dadurch wird eine Sensorvorrichtung angegeben, die ei-
25 nen in einfacher und verlässlicher Weise von Bewegungen des Sensors entkoppelten MEMS-Sensor aufweist.

Hierbei können die Wärmeausdehnungskoeffizienten von zumindest zwei miteinander verbundenen Elementen aus der Liste Federn, Trägerplattform, MEMS-Sensor aufeinander ab-
30 gestimmt sein und vorzugsweise eine Abweichung von weniger als 300 %, 200%, 100% oder 50% voneinander haben. Dies erlaubt es, Deformationen aufgrund von Unterschiedlichen Längenausdehnungen bei Temperaturänderungen zu verringern bzw. zu beseitigen. Insbesondere gegenüber Sensoren, die Elastomere oder Silikone für die Entkopplung verwenden,

kann hier ein Vorteil erzielt werden, da diese Stoffe typischer Weise Wärmeausdehnungskoeffizienten haben, die sich nicht mit den Wärmeausdehnungskoeffizienten der Materialien in Einklang bringen lassen, aus denen MEMS-Sensoren gefertigt werden, insbesondere nicht mit dem Wärmeausdehnungskoeffizienten von Silizium.

5

Insbesondere können die Federn und die Trägerplattform aus dem gleichen Material ausgebildet sein, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient an das Material des MEMS-Sensors bzw. dessen Packaging angepasst ist. Alternativ oder zusätzlich kann das Material der Trägerplattform Kovar (Werkstoff-Nr. 1.3981, z.B. 54% Eisen, 29% Nickel, 17% Cobalt) oder dergleichen sein, wenn der MEMS-Sensor auf Siliziumbasis hergestellt wurde.

10

Die Eigenfrequenz der Tragevorrichtung mit darauf angebrachten MEMS-Sensor kann größer als die Bandbreite des MEMS-Sensors und kleiner als die Antriebsfrequenz des MEMS-Sensors sein. Das heißt, die Tragevorrichtung samt MEMS-Sensor führt Eigenschwingungen bei Frequenzen aus, die sich sowohl von der Betriebsfrequenz, mit der der MEMS-Sensor angeregt wird, als auch von der Bandbreite des MEMS-Sensors unterscheiden, die den Frequenzbereich angibt, in dem der MEMS-Sensor messen kann. Die Betriebsfrequenz kann hierbei im Bereich von 10 kHz liegen, während die Bandbreite z.B. 10 bis 100 Hz betragen kann. Dadurch kann sichergestellt werden, dass Eigenschwingungen der Tragevorrichtung den Betrieb des MEMS-Sensors nicht stören. Die Eigenfrequenz der Tragevorrichtung mit MEMS-Sensor kann hierbei in an sich bekannter Weise durch das Design der Tragevorrichtung bestimmt werden.

15

20

Die Tragevorrichtung kann eine in alle drei Raumrichtungen identische Resonanzfrequenz aufweisen. Dadurch kann der MEMS-Sensor in allen Raumrichtungen gleich gut von externen Bewegungen entkoppelt werden. Die identischen Resonanzfrequenzen können z.B. durch eine in zwei Dimensionen symmetrisch aufgebaute Tragevorrichtung realisiert werden, die derart strukturiert wird, dass ihre Hauptträgheitsmomente übereinstimmen.

25

Die Tragevorrichtung kann geeignet sein, eine Übertragung von Verformungen der Gehäusestruktur, insbesondere aufgrund von Temperaturveränderungen, an den MEMS-Sensor zu verhindern. Derartige Verformungen werden vor allem durch die Federn aufgenommen und dadurch nicht an die Trägerplattform und den MEMS-Sensor weitergegeben. Dadurch erhöht

30

sich die Verlässlichkeit der Sensorvorrichtung, weil der Betrieb des MEMS-Sensors nicht durch Verformungen des Gehäuses gestört wird.

Die vorliegende Erfindung wird im Folgenden mit Bezug auf die Figuren weiter beschrieben.

- 5 Die folgende Beschreibung ist dabei rein beispielhaft und darf nicht als einschränkend verstanden werden. Die vorliegende Erfindung ist allein durch den Gegenstand der Ansprüche definiert. Es zeigt:

- 10 **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer Tragevorrichtung für einen MEMS-Sensor;
- Fig. 2** eine schematische Darstellung einer weiteren Tragevorrichtung für einen MEMS-Sensor;
- 15 **Fig. 3A und 3B** schematische Darstellungen weiterer Tragevorrichtungen für einen MEMS-Sensor;
- Fig. 4** eine schematische Darstellung einer Sensorvorrichtung;
- 20 **Fig. 5A und 5B** schematische Darstellungen von Schwingungen einer Tragvorrichtung; und
- Fig. 6A und 6B** schematische Frequenzdiagramme.

- 25 Die Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Tragevorrichtung 100, die zum Tragen eines mikro-elektromechanischen, MEMS, Sensors 200, z.B. eines Beschleunigungs- oder Drehratensensors, geeignet ist. Die Tragevorrichtung 100 weist eine Trägerplattform 110 auf, auf der der MEMS-Sensor 200 angeordnet bzw. befestigt werden kann. Zudem weist die Tragevorrichtung eine Kopplungsstruktur 120 auf, die einzelne, makroskopische und mit der
- 30 Trägerplattform 110 verbundene Federn 130 aufweist. Die Kopplungsstruktur 120 kann mit einer Gehäusestruktur 300 verbunden werden, die geeignet ist, die Tragevorrichtung 100 und den von dieser getragenen MEMS-Sensor 200 zu umgeben.

Die Trägerplattform 110 kann hierbei jede Gestalt aufweisen, die es zum einen ermöglicht, einen MEMS-Sensor 200 darauf zu montieren. Insbesondere soll der MEMS-Sensor 200 derart auf der Trägerplattform 110 montierbar sein, dass er Bewegungen der Trägerplattform 110 mit vollführt. Zum anderen muss die Trägerplattform 110 durch die Kopplungsstruktur 120 derart von umgebenden Bauteilen und insbesondere der Gehäusestruktur 300 ferngehalten werden, dass die Trägerplattform 110, vermittelt durch die Federn 130 der Kopplungsstruktur ungehindert schwingen kann. Vorzugsweise wird die Trägerplattform 110 plattenförmig ausgebildet sein, da dies die Fertigung erleichtert. Es sind aber auch Trägerplattformen 110 mit einer komplexen dreidimensionalen Form denkbar, wenn dies von Vorteil ist.

10

Die Trägerplattform 110 geht in die Kopplungsstruktur 120 über oder ist mit dieser verbunden. Wie in der Fig. 1 dargestellt, kann die Kopplungsstruktur 120 im Wesentlichen aus Federn 130 bestehen, die die Trägerplattform 110 mit der Gehäusestruktur 300 verbinden. Die Kopplungsstruktur 120 kann aber auch noch weitere Elemente aufweisen, wie z.B. Verstrebungen, Anker, Befestigungsstellen und dergleichen, die der Stabilisierung der Bewegungen der Trägerplattform 110 und/oder der erleichterten Verbindung mit der Gehäusestruktur 300 oder anderen Bauteilen einer Sensorvorrichtung 400 dienen können.

Die in der Kopplungsstruktur 120 eingesetzten Federn 130 zeichnen sich im Wesentlichen dadurch aus, dass sie makroskopische Abmessungen haben, d.h. sie sind z.B. mit dem bloßen Auge erkennbar oder haben Mindestabmessungen von mehr als 0,3 mm, 0,5 mm, 1 mm oder 5 mm. Dadurch wird die Fertigung der Federn 130 im Vergleich zu mikromechanischen Federn enorm erleichtert. Die Verwendung von Federn anstatt von Elastomeren verringert zudem die Gefahr von Alterungseffekten oder veränderten Federcharakteristiken bei Temperaturänderungen. Zudem können die makroskopischen Federn 130 vergleichsweise leicht von der Gehäusestruktur 300 gelöst werden, falls ein Defekt der Tragevorrichtung 100 oder des MEMS-Sensors 200 vorliegt.

Die Federn 130 können im Prinzip aus jedem Material gefertigt sein, dass hierzu ausreichend elastisch und formstabil ist. D.h. die Federn 130 müssen in der Lage sein die Trägerplattform 110 samt MEMS-Sensor 200 frei über der Gehäusestruktur 300 zu halten und Bewegungen der Gehäusestruktur 300 derart abzufedern, dass der MEMS-Sensor 200 möglichst wenig bzw. möglichst langsam und gleichmäßig bewegt wird und gleichzeitig keine Berührung mit anderen Bauteilen in der Gehäusestruktur 300 bzw. mit der Gehäusestruktur 300

selbst erfolgt. Die in der Fig. 1 gezeigte Form der Federn 130 ist hierbei rein symbolisch zu verstehen. Die Federn 130 können z.B. die Form von Biegebalkenfedern haben, die sich in Form eines dünnen Bandes in eine Richtung erstrecken. Beispiele hierfür werden weiter unten diskutiert. Die Federn 130 können aber auch jede andere Form aufweisen, die die oben
5 genannten Funktionen erfüllen kann.

Die Federn 130 können insbesondere aus Metall gefertigt sein. Vorzugsweise ist auch der Rest der Kopplungsstruktur 120 aus einem (dem gleichen oder einem anderen) Metall gefertigt. Metall weist zum einen die oben genannten Eigenschaften ausreichender Elastizität und
10 Formstabilität auf. Zudem können aus Metall in leichter Weise makroskopische Federn hergestellt werden, insbesondere Biegebalkenfedern. Das Metall kann dabei in beliebiger, an sich bekannter Weise in die gewünschte Form gebracht werden, z.B. durch Spanen, Erodieren, Stanzen, Biegen und dergleichen. Durch die Verwendung von Metall können Federn
15 130 mit geringer Dämpfung gefertigt werden. Dies verbessert die Entkopplung von Gehäusestruktur 300 und MEMS-Sensor 200, da Bewegungen der Gehäusestruktur 300 durch Federn 130 mit geringer Dämpfung leichter aufgefangen werden können und da Schwingungen der Federn 130 mit der Betriebsfrequenz des MEMS-Sensors 200 unterdrückt werden.

Durch eine entsprechende Ausgestaltung kann die Kopplungsstruktur 120 den MEMS-Sensor 200 und die Gehäusestruktur 300 thermisch voneinander isolieren, d.h. Temperaturänderungen der Gehäusestruktur 300 werden nicht oder nur in geringem Umfang an die Trägerplattform 110 bzw. den darauf fixierten MEMS-Sensor 200 weitergeleitet. Dadurch wird der MEMS-Sensor 200 weitgehend auf der gleichen Temperatur gehalten bzw. Temperaturänderungen geschehen zumindest langsam und gleichmäßig. Dies verbessert die Verlässlichkeit
25 der von dem MEMS-Sensor 200 ausgegebenen Daten.

Insbesondere können die Federn 130 einen im Vergleich zu ihrer Länge kleinen Querschnitt aufweisen und die einzige durchgängige, aus einem Material bestehende Verbindung zwischen der Gehäusestruktur 300 und der Trägerplattform 110 bilden. Dadurch ist der für den
30 Wärmetransport zur Verfügung stehende Materialquerschnitt im Vergleich zu der zu überbrückenden Strecke gering. Dies führt dazu, dass sich ein flacher Temperaturgradient entlang der Federn 130 einstellen wird, der nicht in einer wesentlichen Temperaturänderung des MEMS-Sensors 120 resultiert.

Alternativ oder zusätzlich kann die Trägerplattform 110 als Wärmereservoir ausgebildet sein, das eine im Vergleich zur thermischen Masse der Kopplungsstruktur 120 große thermische Masse bzw. Wärmekapazität aufweist (und/oder eine größere Masse als die Kopplungsstruktur 120 aufweist). Die von der Kopplungsstruktur 120 übertragene Wärmemenge kann dann
5 von der Trägerplattform 110 absorbiert werden, ohne dass es zu wesentlichen Temperaturänderungen kommt. In dieser Weise kann die Temperatur des MEMS-Sensors 200 weitgehend von der Temperatur der Gehäusestruktur 300 entkoppelt werden.

Die Kopplungsstruktur 120 kann lösbar mit der Gehäusestruktur 300 verbunden werden, z.B.
10 mittels Schraubverbindungen 122 oder dergleichen. Hierzu weist die Kopplungsvorrichtung 120 an die Federn 130 anschließende Verbindungsstellen auf, z.B. Bohrlöcher für das Einsetzen von Schrauben oder Bolzen oder auch mittels Presspassung einsetzbare Steckverbinder. Durch derartig lösbare Verbindungen kann die makroskopische Kopplungsstruktur 120 samt der Trägerplattform 110 und dem darauf sitzenden MEMS-Sensor 200 von der Ge-
15 häusestruktur 300 entfernt werden, falls z.B. der MEMS-Sensor 200 oder ein Bauteil der Tragevorrichtung 100 defekt geworden ist.

Beispiele für derartige Tragevorrichtungen 100 sind in den Fig. 2, 3A und 3B gezeigt. In diesen Beispielen ist die Trägerplattform 110 als eine Platte ausgebildet, auf der der MEMS-
20 Sensor 200 angebracht ist. Der MEMS-Sensor 200 kann z.B. samt seinem Packaging, d.h. seiner primären Schutzhülle, auf die Trägerplattform 200 geklebt, gesteckt oder gelötet sein. Die Trägerplattform 110 besteht vorzugsweise aus einem Metall.

Die Federn 130 sind als Paare 132 von Biegebalkenfedern ausgebildet, die ebenfalls aus ei-
25 nem Metall bestehen. Die Trägerplattform 110 und die Federn 130 können aus dem gleichen oder aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Sie können als ein Bauteil, d.h. integral miteinander, ausgebildet sein oder nach ihrer Einzelfertigung miteinander verbunden werden. Die metallischen Biegebalkenfedern dienen hierbei zum einen der mechanischen Entkopplung, d.h. der Abfederung von Bewegung. Zum anderen entkoppeln sie den MEMS-
30 Sensor 200 aber auch thermisch von externen Bauteilen, wie dies oben beschrieben wurde.

In den Beispielen der Fig. 2 und 3A sind die Biegebalkenfedern eines Paares 132 an ihrem ersten Ende 132a mit einem Punkt am Umfang der Platte und an ihrem zweiten Ende 132b

miteinander verbunden. Jede der Biegebalkenfedern ist derart gekrümmt, dass zwischen jedem Paar 132 von Biegebalkenfedern ein Zwischenraum vorhanden ist. Dadurch können die Federn 130 externe Bewegungen in symmetrischer Weise auffangen. Zudem erhöht eine derartige Konstruktion die Stabilität der Kopplungsvorrichtung 120, da sich die Federn 130 eines Paares 132 gegenseitig stützen.

In der Fig. 3B ist ein dahingehend abweichendes Beispiel gezeigt, dass die Federpaare 132 nicht sämtlich an der Trägerplattform 110 angreifen, sondern dass ein Rahmen 124 vorhanden ist. Ein Satz von Federpaaren 132 verbindet die Trägerplattform 110 mit dem Rahmen 124, während ein weiterer Satz von Federpaaren 132 den Rahmen 124 nach außen verbindet. Es versteht sich von selbst, dass diese Beispiele beliebig variiert werden können. So können eine andere Anzahl von Federn, einzelne Federn, mehrere Rahmen, durchbrochene Rahmen, zwischenliegende Federn und dergleichen verwendet werden, um die Trägerplattform 110 mit der Gehäusestruktur 300 zu verbinden.

In den Beispielen der Fig. 2 und 3A sind die Paare 132 von Biegebalkenfedern jeweils über ihr zweites Ende 132b mit der Gehäusestruktur 300 verbindbar, vorzugsweise mittels Schraubverbindungen 122 oder anderen lösbaren Verbindungen. Im Beispiel der Fig. 3B sind die Verbindungen zur Gehäusestruktur nur im äußeren Satz von Federpaaren 132 vorhanden.

Wie in der Fig. 2 gezeigt können die Federn 130 bzw. die Kopplungsstruktur 120 symmetrisch an den Ecken einer rechteckigen oder quadratischen Trägerplattform 110 angreifen. Alternativ können sie auch, wie in den Fig. 3A und 3B an Querseiten angreifen. Die Schraubverbindung 122 kann hierbei, wie in der Fig. 2 gezeigt, innerhalb des Zwischenraums zwischen einem Paar 132 von Biegebalkenfedern liegen, wodurch ein kompakter Aufbau erreicht werden kann. Hier empfiehlt sich eine symmetrische, mittige Anordnung, wie ebenfalls in der Fig. 2 gezeigt. Wie in den Fig. 3A und 3B gezeigt können die Verbindungsstellen aber auch außerhalb dieses Zwischenraums liegen. Auch hier empfiehlt sich eine symmetrische Anordnung.

Mit den in den Fig. 2, 3A und 3B gezeigten Tragevorrichtungen 100 lässt sich ein auf der Tragevorrichtung 100 befestigter MEMS-Sensor wie oben beschrieben sowohl mechanisch als auch thermisch entkoppeln.

Die Tragevorrichtung 100 und der MEMS-Sensor 200 sind üblicher Weise Teile einer Sensorvorrichtung 400, die neben dem MEMS-Sensor 200 und der Tragevorrichtung 100, wie sie oben beschrieben wurde, auch die Gehäusestruktur 300 aufweist, die die Tragevorrichtung 100 und den darauf getragenen MEMS-Sensor 200 umgibt und über die Kopplungsstruktur 120 der Tragevorrichtung 100 mit dem MEMS-Sensor 200 verbunden ist.

Ein Beispiel für den prinzipiellen Aufbau einer derartigen Sensorvorrichtung 400 ist in der Fig. 4 gezeigt. Hier ist die Tragevorrichtung 100 aus dem Beispiel der Fig. 2 mittels Schrauben in einer Gehäusestruktur 300 befestigt. Die Kopplungsstruktur 120 samt den Federn 130 und die Trägerplattform 110 sind durch die Schrauben in Abstand zur Wand der Gehäusestruktur 300 gelagert. Dadurch können sie sowohl parallel zur Wand der Gehäusestruktur 300 als auch senkrecht zu dieser Wand schwingen. Überzeichnete Beispiele für solche Schwingungen sind in den Fig. 5A und 5B dargestellt. Die Sensorvorrichtung 400 kann bei Bedarf auch Dämpfungsmittel zur Begrenzung/Dämpfung der Schwingung aufweisen. Zum Beispiel können Maximalauslenkungen durch Anschläge begrenzt werden. Die Gehäusestruktur 300 kann auch mit einem dämpfenden Gas gefüllt werden.

In einer derartigen Sensorvorrichtung 400 empfiehlt es sich, dass die Wärmeausdehnungskoeffizienten von zumindest zwei miteinander verbundenen Elementen aus der Liste Federn 130, Trägerplattform 110 und MEMS-Sensor 200 aufeinander abgestimmt sind und vorzugsweise eine Abweichung von weniger als 300%, 200%, 100% oder 50% voneinander haben. Dadurch dass der Wärmeausdehnungskoeffizient der Trägerplattform 110 (und der Federn 130) relativ nah an dem des MEMS-Sensor 200 liegt, lässt sich thermo-mechanischer Stress vermeiden, der direkt zwischen dem MEMS-Sensor 200 und der Trägerplattform 110 entsteht.

Insbesondere können die Trägerplattform 110 und die Federn 130/die Kopplungsstruktur 120 aus dem gleichen Metall hergestellt sein. Bei der Auswahl des Metalls wird der Wärmeausdehnungskoeffizient des MEMS-Sensors 200 bzw. seiner Grundbestandteile berücksichtigt. So kann z.B. Kovar (Fe-Ni-Co-Legierung) für die Federn 130 und/oder die Trägerplattform 110 verwendet werden, wenn der MEMS-Sensor 200 auf Basis von Silizium hergestellt ist, da diese Materialien ähnliche Wärmeausdehnungskoeffizienten haben. Kovar hat z.B. einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von 5.6 ppm/K und Silizium von 2.6 ppm/K. Aluminium hat

eine Wärmeausdehnungskoeffizienten von 23 ppm/K, d.h. etwa 1000 % des Wertes von Silizium. Ein Elastomer/Silikon kann z. B. 200 ppm/K haben und damit ca. 10000% des Wertes von Silizium.

- 5 Aus Gewichtsgründen kann es oft vorteilhaft sein, die Gehäusestruktur 300 aus Aluminium zu fertigen, während der MEMS-Sensor 200 auf Silizium basiert. Die Tragevorrichtung 100 hat dann die Aufgabe, Verformungen des Gehäuses unter Temperatur aufgrund des Wärmeausdehnungskoeffizienten aufzunehmen und nicht an den MEMS-Sensor 200 weiterzugeben. Sie muss für den MEMS-Sensor 200 eine möglichst stress- und verformungsfreie Umgebung schaffen. Dafür ist gleichzeitig wichtig, dass der Wärmeausdehnungskoeffizienten der Tragevorrichtung 100 auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten des MEMS-Sensors 200 abgestimmt ist, da ansonsten Stress zwischen Tragevorrichtung 100 und MEMS-Sensor 200 entstehen würde.
- 15 Dadurch, dass die thermischen Verformungen der Gehäusestruktur 300 durch die Federn 130 die Verformung relativ zum Chip auffangen/ausgleichen, spielt der Wärmeausdehnungskoeffizient der Gehäusestruktur 300 nur eine untergeordnete Rolle. Die Auswahl des Materials für die Gehäusestruktur 300 ist daher in dieser Hinsicht beliebig. Wichtiger ist hier vielmehr, dass der Wärmeausdehnungskoeffizient der Trägerplattform 110 (und der Federn 130) relativ nah an dem des MEMS-Sensor 200 liegt, da ansonsten thermo-mechanischer Stress direkt zwischen Chip und Trägerplattform 110 entsteht.

Durch Anpassen der Wärmeausdehnungskoeffizienten können Verformungen aufgrund von unterschiedlichen Längenänderungen vermieden werden. Dies verhindert Lageänderungen der Trägerplattform 110 und damit des MEMS-Sensors 200 bei Temperaturänderungen, wodurch sich die Verlässlichkeit der Sensorvorrichtung 400 verbessert.

Die Tragevorrichtung 100 kann derart ausgestaltet sein, dass ihre Eigenfrequenz mit darauf angebrachten MEMS-Sensor 200 größer ist als die mit der Sensorvorrichtung 400 erzielbare Bandbreite des MEMS-Sensors 200 und kleiner ist als die in der Sensorvorrichtung 400 verwendete Antriebsfrequenz des MEMS-Sensors 200. Insbesondere kann dies durch die Einstellung der Massen der Kopplungsvorrichtung 120 und der Trägerplattform 110 sowie durch die Einstellung der Federhärten der Federn 130 erreicht werden.

- Die Tragevorrichtung 100 zeigt dann ein Schwingungsverhalten, wie es z.B. in der Fig. 6A gezeigt ist. Hier liegt die Betriebs- oder Antriebsfrequenz BF des MEMS-Sensors 200 vergleichsweise hoch, z.B. im Bereich von 10 kHz. Die Bandbreite BW des MEMS-Sensors 200, d.h. der für Messungen zugängliche Frequenzbereich liegt vergleichsweise niedrig, z.B. im Bereich von 10 bis 100 Hz. Die Eigen- und/oder Resonanzfrequenz(en) EF der Tragevorrichtung 100 samt MEMS-Sensor 200 liegen dazwischen, wobei insbesondere die Betriebsfrequenz BF deutlich höher liegt. Dadurch wird sichergestellt, dass Resonanzen oder Eigenschwingungen der in die Sensorvorrichtung 400 integrierten Tragevorrichtung 100 weder den Antrieb des MEMS-Sensors 200 noch den Messbereich der Sensorvorrichtung 400 beeinflussen. Auch hierdurch erhöht sich die Verlässlichkeit der Sensorvorrichtung 400. Gleichzeitig wird damit sichergestellt, dass bei der Betriebsfrequenz des MEMS-Sensors 200 eine möglichst gute Isolation vorliegt, so dass Schwingungen von außen keine Auswirkung auf die Sensorperformance haben.
- Die Fig. 6B zeigt hierbei wie sich die Überhöhung der Federschwingungen, d.h. die Fähigkeit Schwingungen aufzunehmen, in Abhängigkeit von der Dämpfung verändert. Der Pfeil in der Fig. 6B gibt hier eine sinkende Dämpfung an. Bei geringerer Dämpfung koppeln Schwingungen nahe der Eigenfrequenz stärker ein. Gleichzeitig werden bei geringerer Dämpfung aber auch Frequenzen nahe der Betriebsfrequenz BF unterdrückt. Eine geringe Dämpfung, wie sie z.B. mittel Metallfedern realisiert werden kann, ist also von Vorteil.
- Hierbei weist die Tragevorrichtung 100 idealer Weise eine in alle drei Raumrichtungen identische Eigen- oder Resonanzfrequenz. Für Tragevorrichtungen, wie sie in den Fig. 2, 3A und 3B gezeigt sind, die einen Aufbau haben, der im Wesentlichen zweidimensional ist, kann dies zum einen dadurch erreicht werden, dass ein symmetrischer Aufbau gewählt wird. Hierauf werden die Massenverhältnisse derart angepasst, dass eine identische Eigen- /Resonanzfrequenz auch in der dritten Raumrichtung resultiert. Entsprechende Schwingungen der in den Fig. 2 und 4 gezeigten Tragevorrichtung 100 sind in den Fig. 5A und 5B gezeigt.
- Eine in drei Raumrichtungen auf Anregungen gleich reagierende Tragevorrichtung 100 vermeidet, dass beim Einsatz der Sensorvorrichtung 400, insbesondere bei der Ausrichtung, auf Vorzugsrichtungen Rücksicht genommen werden muss. Dadurch vereinfacht sich der korrekte Einsatz der Sensorvorrichtung 400, was wiederum zu einer erhöhten Verlässlichkeit der Daten der Sensorvorrichtung 400 führt.

- In der Sensorvorrichtung 400 kann die Tragevorrichtung 100 zudem geeignet sein, eine Übertragung von Verformungen der Gehäusestruktur 300, insbesondere aufgrund von Temperaturveränderungen, an den MEMS-Sensor 200 zu verhindern. Die Tragevorrichtung 100
- 5 kann hierzu derart aufgehängt sein, dass Verformungen der Gehäusestruktur 300 zwar zu einer Stauchung der Federn 130 führen, jedoch ohne dass dies die Lage des MEMS-Sensors 200 wesentlich ändert beziehungsweise so dass kein mechanischer Stress auf den MEMS-Sensor übertragen wird. Verformungen durch Temperaturänderungen sind bei symmetrischem Aufbau zudem meist ebenfalls symmetrisch und können durch eine symmetrische Formgebung der Tragevorrichtung 100 kompensiert werden, indem z.B. alle Federn
- 10 130 gleich gestaucht oder gespreizt werden. Dadurch ändert sich die Position des MEMS-Sensors 200 im Raum möglichst wenig, wodurch Einflüsse auf die Messungen des MEMS-Sensors 200 gering bleiben. Auch dies erhöht die Verlässlichkeit der Sensorvorrichtung 400.
- 15 Mit den oben beschriebenen Mitteln kann ein MEMS-Sensor 200 verlässlich und in einfacher Weise von Bewegungen benachbarter Bauteile entkoppelt werden. Hierdurch verbessert sich die Verlässlichkeit des MEMS-Sensors 200 bzw. einer den MEMS-Sensor 200 aufweisenden Sensorvorrichtung 400.

Ansprüche

1. Tragevorrichtung (100) zum Tragen eines mikro-elektromechanischen, MEMS, Sensors (200), wobei die Tragevorrichtung (100) aufweist:
 - 5 eine Trägerplattform (110), die geeignet ist, den MEMS-Sensor (200) zu tragen; und
einer Kopplungsstruktur (120), die einzelne, makroskopische und mit der Trägerplattform (110) verbundene Federn (130) aufweist, und die geeignet ist, mit einer Gehäusestruktur (300) verbunden zu werden, wobei die Gehäusestruktur (300) geeignet ist, die Tragevorrichtung (100) und den von dieser getragenen MEMS-Sensor (200) zu umgeben.
- 10 2. Tragevorrichtung (100) nach Anspruch 1, wobei
zumindest die Federn (130), vorzugsweise die gesamte Kopplungsstruktur (120), aus einem Metall gefertigt sind.
- 15 3. Tragevorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die Kopplungsstruktur (120) geeignet ist, mittels Schraubverbindungen (122) mit der Gehäusestruktur (300) verbunden zu werden.
- 20 4. Tragevorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die Kopplungsstruktur (120) geeignet ist, den MEMS-Sensor (200) und die Gehäusestruktur (300) thermisch voneinander zu isolieren, vorzugsweise dadurch, dass die Federn (130) einen im Vergleich zu ihrer Länge kleinen Querschnitt aufweisen und die Federn (130) die einzige durchgängige, aus einem Material bestehende Verbindung zwischen der Gehäusestruktur (300) und der Trägerplattform (110) sind und/oder dadurch, dass die thermische
25 Masse der Kopplungsstruktur (120) kleiner als die thermische Masse der Trägerplattform (130) ist.
5. Tragevorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die Trägerplattform (110) als eine Platte ausgebildet ist;
30 die Federn (130) als Paare (132) von Biegebalkenfedern ausgebildet sind, wobei die Biegebalkenfedern eines Paares (132) an ihrem ersten Ende (132a) mit einem Punkt am Umfang der Platte und an ihrem zweiten Ende (132b) miteinander verbunden sind und jede Biegebalkenfeder derart gekrümmt ist, dass zwischen jedem Paar (132) von Biegebalkenfedern ein Zwischenraum vorhanden ist; und

die Paare (132) von Biegebalkenfedern jeweils über ihr zweites Ende (132b) mit der Gehäusestruktur (300) verbunden werden können, vorzugsweise mittels Schraubverbindungen (122).

- 5 6. Sensorvorrichtung (400), aufweisend
einen MEMS-Sensor (200);
eine Tragevorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche zum Tragen des MEMS-Sensors (200), wobei der MEMS-Sensor (200) auf der Trägerplattform (110) der Tragevorrichtung (100) angebracht ist; und
- 10 eine Gehäusestruktur (300), die die Tragevorrichtung (100) und den darauf getragenen MEMS-Sensor (200) umgibt und die über die Kopplungsstruktur (120) der Tragevorrichtung (100) mit dem MEMS-Sensor (200) verbunden ist.
7. Sensorvorrichtung (400) nach Anspruch 6, wobei
- 15 die Wärmeausdehnungskoeffizienten von zumindest zwei miteinander verbundenen Elementen aus der Liste Federn (130), Trägerplattform (110), MEMS-Sensor (200) aufeinander abgestimmt sind und vorzugsweise eine Abweichung von weniger als 300%, 200%, 100% oder 50% voneinander haben.
- 20 8. Sensorvorrichtung (400) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei
die Eigenfrequenz der Tragevorrichtung (100) mit darauf angebrachten MEMS-Sensor (200) größer ist als die Bandbreite des MEMS-Sensors (200) und kleiner ist als die Antriebsfrequenz des MEMS-Sensors (200).
- 25 9. Sensorvorrichtung (400) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei
die Tragevorrichtung (100) eine in alle drei Raumrichtungen identische Resonanzfrequenz aufweist.
10. Sensorvorrichtung (400) nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei
- 30 die Tragevorrichtung (100) geeignet ist, eine Übertragung von Verformungen der Gehäusestruktur (300), insbesondere aufgrund von Temperaturveränderungen, an den MEMS-Sensor (200) zu verhindern.