

### Mikroelektromechanische Kopplungsvorrichtung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine mikroelektromechanische Kopplungsvorrichtung zum Koppeln von mikroelektromechanischen Komponenten sowie eine mikroelektromechanische  
5 Messvorrichtung, insbesondere einen ringförmigen mikroelektromechanischen Drehraten-sensor, die die Kopplungsvorrichtung aufweist.

In mikromechanischen Messvorrichtungen wie etwa Drehraten- oder Beschleunigungssensoren müssen häufig verschiedene mikromechanische Komponenten, wie z.B. Schwingungs-  
10 systeme oder Massen, miteinander verbunden werden, um die jeweiligen Bewegungen miteinander zu koppeln.

Oftmals wäre hierbei eine Kopplung durch einen frei schwebenden, nicht gelagerten Ring wünschenswert, da dieser auf eine radiale Krafteinwirkung mit einer Auslenkung reagiert,  
15 die, unabhängig von der Stelle in Umfangsrichtung, an der die radiale Krafteinwirkung erfolgt, die gleiche Amplitude hat. Ebenso kann es vorteilhaft sein, einen frei schwebenden Ring als Drehratensensor zu verwenden, in dem einer Anregungsschwingung bei Drehung aufgrund der Corioliskraft eine Detektionsschwingung überlagert wird.

20 Problematisch hierbei ist aber, dass ohne jegliche Verbindung zu einem Substrat der Messvorrichtung translatorische Moden die ersten Eigenmoden bilden. Diese sind aber häufig nicht erwünscht. Zudem ist die Herstellung eines nicht gelagerten Rings zur Kopplung von mikroelektromechanischen Komponenten fertigungstechnisch mit großem Aufwand verbunden.

25 Bekannt ist hier z.B. die Verwendung von steifen, kurzen Anbindungen (sogenannte Spokes), die zwar sehr platzsparend sind, die jedoch aufgrund ihrer Steifheit keine Resonanzen im Bereich von wenigen kHz ermöglichen. Zudem ist mit diesem Aufbau kein homogenes Verhalten in Umfangsrichtung zu erreichen.

30 Alternativ werden extrem lange und damit platzraubende, aber auch sehr weiche Federn eingesetzt. Damit können zwar niedrige Resonanzfrequenzen realisiert werden, allerdings sind auch hier die Abweichungen zum idealen Ring sehr groß, da kein homogenes Verhalten in Umfangsrichtung erreicht werden kann.

Es soll also eine möglichst homogene Lagerung der Ringstruktur erreicht werden, mit der die perfekte Symmetrie der Ringstruktur möglichst geringfügig beeinflusst wird. Dies ließe sich durch einen kompletten Wegfall der Lagerung erreichen, was aber nur sehr schwer umsetz-

5 bar ist. Bei der alternativen Verwendung vieler Federn, die über den Umfang verteilt sind, dürfen die Federn nicht zu steif sein, da sie sonst den Ring lokal zu stark beeinflussen und die Eigenfrequenzen des Gesamtsystems erhöhen. Es besteht deshalb der Zielkonflikt eine möglichst weiche Kopplung bereitzustellen, die aber gleichzeitig nicht zu viel Bauraum benö-

10 tigt.

Der vorliegenden Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, eine mikroelektromechanische Kopplungsvorrichtung bzw. einen ringförmigen mikroelektromechanischen Drehratensensor anzugeben, die die oben genannten Vorteile eines frei schwebenden, nicht gelagerten Rings realisieren, ohne zu den oben genannten Nachteilen zu führen.

15

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst.

Eine mikroelektromechanische Kopplungsvorrichtung zum Koppeln von mikroelektromechanischen Komponenten weist eine flexible Ringstruktur auf, die in Ruhe einen Kreis formt, die

20 im Wesentlichen parallel zu der Ebene des Kreises verformt werden kann und die zur Kopplung der mikroelektromechanischen Komponenten geeignet ist. Zudem weist die Kopplungsvorrichtung eine Mehrzahl von Federelementen auf, die geeignet sind, die Ringstruktur mit einem Substrat zu verbinden, wobei die Kopplungsvorrichtung eine derart große Anzahl der Federelemente, mit einer derart geringen Breite in Umfangsrichtung der Ringstruktur und

25 einer derart geringen Federhärte aufweist, dass die Verformbarkeit der Ringstruktur in Umfangsrichtung der Ringstruktur homogen ist.

Die Kopplungsvorrichtung weist also als Grundstruktur einen Ring auf, der über einem Substrat gelagert ist und z.B. die Form eines in sich geschlossenen Stegs aufweist, dessen Hö-

30 he senkrecht zum Substrat ein Vielfaches seiner Breite parallel zum Substrat aufweist. In der Ruhelage bildet dieser Ring einen Kreis im weitesten Sinn, d.h. eine geschlossene Kurve, die parallel zum Substrat liegt. Eine Verformung des Rings ist dann im Wesentlichen nur parallel zum Substrat möglich, d.h. Auslenkungen senkrecht zum Substrat sind für den Betrieb vernachlässigbar.

Um die translatorischen Moden zu unterdrücken, ist die Ringstruktur über eine große Anzahl von Federelementen mit dem Substrat verbunden, wobei die Verbindung zum Substrat hier nicht direkt erfolgen muss, d.h. zwischen dem Substrat und den Federelementen können  
5 weitere Elemente zwischengeschaltet sein. Die große Anzahl von Federelementen garantiert hierbei, dass die Ringstruktur an vielen Stellen entlang der Umfangsrichtung an das Substrat gekoppelt ist. Hierzu müssen die Federelemente in Umfangsrichtung der Ringstruktur ausreichend schmal ausgestaltet sein, damit es zu keiner Störung ihrer jeweiligen Bewegungen untereinander kommt. Zuletzt muss auch die Federhärte jedes der Federelemente  
10 ausreichend gering sein, um die gewünschte freie Verformbarkeit der Ringstruktur nicht übermäßig einzuschränken.

Die Parameter der Anzahl der Federelemente, ihrer Breite in Umfangsrichtung und ihrer Federhärte stehen dabei in wechselseitiger Abhängigkeit. So kann bei der Verwendung von  
15 sehr weichen Federelementen die Anzahl der Federelemente reduziert und ihre Breite vergrößert werden. Bei der Verwendung härterer Federelemente kann die Anzahl erhöht, bzw. die Breite verringert werden.

Es gibt also eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Parameter der Federelemente konkret fest-  
20 zulegen. Ausschlaggebend ist hierbei aber allein, dass die gewählten Parameter die Verformbarkeit der Ringstruktur nur insofern einschränken, dass die Ringstruktur in Umfangsrichtung ihre homogene Federcharakteristik beibehält. Die Ringstruktur muss also durch die Federelemente derart an das Substrat gekoppelt werden, dass sie auf eine radiale Krafteinwirkung mit einer Auslenkung reagiert, die an jeder Stelle in Umfangsrichtung, an der die  
25 radiale Krafteinwirkung erfolgt, (in erster Näherung) die gleiche Amplitude/Verformung hat. Das Gesamtsystem von Federelementen und Ringstruktur muss also bei einer Anregung von außen, insbesondere durch angekoppelte mikroelektromechanische Komponenten, (in erster Näherung) wie ein translatorisch fixierter, aber ansonsten frei schwebender Ring reagieren. Das Gesamtsystem von Ringstruktur und Federelementen wirkt damit von außen wie ein frei  
30 schwebender Ring, mit gegenüber der Ringstruktur verschobener Federhärte.

Damit lassen sich Kopplungsvorrichtungen realisieren, die von außen wie frei schwebende Ringe wirken, die aber aufgrund der Rückbindung ans Substrat unterdrückte translatorische Moden haben. Zudem erlaubt die große Anzahl von Federelementen, eine ausreichend wei-

che Kopplung, um auch Anregungsmoden im kHz-Bereich zu realisieren, die für mikroelektromechanische Messvorrichtungen, insbesondere für ringförmige Drehratensensoren von besonderem Interesse sind.

- 5 Der Begriff Kopplungsvorrichtung ist hierbei weit zu verstehen und soll die Kopplung oder Verbindung von verschiedensten mikroelektromechanischen Komponenten wie Massen, Federn, Schwingungssystemen oder Elektroden umfassen. Die Kopplungsvorrichtung kann insbesondere das Schwingungssystem eines ringförmigen Drehratensensors darstellen. Dann sind die mikroelektromechanischen Komponenten an die Ringstruktur gekoppelt, um
- 10 Anregungs- oder Detektionsschwingungen der Ringstruktur hervorzurufen bzw. zu messen. Bei den mikroelektromechanischen Komponenten kann es sich in diesem Fall aber auch lediglich um Verbindungen zum Substrat handeln, wie z.B. die Federelemente.

Das Verhältnis der effektiven Gesamtsteifigkeit der Federelemente während des Betriebs der

15 Kopplungsvorrichtung in einer Schwingungsmode zum Produkt aus der Anzahl der Federelemente und der effektiven Steifigkeit der Ringstruktur in der entsprechenden Schwingungsmode kann hierbei vorzugsweise kleiner oder gleich 1 sein. Die effektive Gesamtsteifigkeit der Federelemente gibt hierbei an, wie die Federelemente insgesamt auf Auslenkungen/Schwingungen des Rings reagieren und berücksichtigt hierdurch die Tatsache, dass

20 unterschiedliche Federn während der Schwingung in unterschiedlicher Weise, insbesondere in unterschiedliche Richtungen, ausgelenkt werden, und daher jede für sich genommen mit einer anderen Federsteifigkeit beiträgt. Ebenso verhält es sich mit der Federsteifigkeit der Ringstruktur, die daher auch als effektive Steifigkeit, d.h. als im konkreten Fall tatsächlich messbare Steifigkeit, in den Vergleich eingeht. Sind also z.B. 20 Federn vorhanden und be-

25 trägt die effektive Steifigkeit der Ringstruktur ca. 15 N/m, ergibt sich für die effektive Gesamtsteifigkeit aller Federn in der entsprechenden Schwingungsmode eine Obergrenze von 300 N/m. Für 40 Federn und eine effektiven Steifigkeit der Ringstruktur von ca. 30 N/m ergibt sich entsprechend eine Obergrenze für die effektive Gesamtsteifigkeit aller Federn von 1200 N/m.

30

Die Federelemente können entweder alle mit einer Innenseite der Ringstruktur oder alle mit einer Außenseite der Ringstruktur verbunden sein. Die Kopplung der Ringstruktur kann also flexibel je nach Einsatz der Ringstruktur von der Ringstruktur nach innen oder nach außen geführt werden. Greifen alle Federelemente nur an einer Seite der Ringstruktur an, ermög-

licht dies eine kräfte- und momentenfrei Kopplung von mikroelektromechanischen Komponenten über die Ringstruktur.

Die Federelemente können als Serpentinensfedern ausgebildet sein, d.h. die Federelemente  
5 bestehen aus einer Vielzahl von Biegebalkensfedern, die sich entlang der Umfangsrichtung der Ringstruktur erstrecken und jeweils abwechselnd an ihren Enden miteinander verbunden sind, so dass eine serpentinartige Form oder eine Zickzacklinie entsteht. Derartige Federn können sowohl in Umfangsrichtung als auch in radialer Richtung kompakt ausgebildet werden und weisen trotzdem eine geringe Federhärte auf, die zu Resonanzfrequenzen der  
10 Kopplungsvorrichtung im kHz Bereich führt. Sie eignen sich damit besonders für die Kopplung der Ringstruktur an das Substrat. Die Serpentinensfedern können hierbei zwischen 5 und 50 in Umfangsrichtung verlaufende Biegebalkensfedern aufweisen, z.B. 10, 20 oder 30.

Die Federelemente können gleichmäßig entlang der Umfangsrichtung der Ringstruktur verteilt sein. Dies erleichtert die Fertigung, da dann für die homogene Verformbarkeit der  
15 Ringstruktur sämtliche Federelemente gleich ausgestaltet werden können, d.h. die gleiche Federhärte aufweisen.

Die Anzahl der Federelemente kann größer oder gleich 4, 8, 16 oder 30, vorzugsweise größer oder gleich 40, weiter vorzugsweise größer oder gleich 50 ist. Damit ist gewährleistet, dass eine ausreichend große Dichte von Federelementen entlang der Umfangsrichtung vorhanden ist. Dies verbessert die Homogenität der Verformbarkeit der Ringstruktur.

Die Breite der Federelemente in Umfangsrichtung kann kleiner oder gleich  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  oder  
25  $1/30$ , vorzugsweise kleiner oder gleich  $1/40$ , weiter vorzugsweise kleiner oder gleich  $1/50$  des Umfangs der Ringstruktur ist. Die Federelemente sind dann ausreichend schmal, um an einer Vielzahl von Positionen entlang des Umfangs der Ringstruktur mit dieser gekoppelt zu werden.

30 Die Federelemente können sich entlang einer radialen Richtung der Ringstruktur über weniger als  $1/2$  oder  $1/4$ , vorzugsweise über weniger als  $1/5$ , weiter vorzugsweise über weniger als  $1/8$  des Radius der in Ruhe befindlichen Ringstruktur erstrecken. Dies erlaubt es, die Kopplungsvorrichtung kompakt zu gestalten, da die Federelemente auch in radialer Richtung wenig Platz einnehmen.

Die Kopplungsvorrichtung kann des Weiteren eine zweite Ringstruktur aufweisen, wobei die Mehrzahl der Federelemente mit der Ringstruktur und der zweiten Ringstruktur verbunden sind und die Verbindung der Ringstruktur mit dem Substrat über die zweite Ringstruktur erfolgt, welche vorzugsweise wiederum mit weiteren Federelementen an das Substrat angebunden ist. Die Federelemente koppeln also zwei Ringstrukturen aneinander. An die zweite Ringstruktur können dann weitere gleichartige Federelemente angekoppelt werden. Es können aber auch andere mikroelektromechanische Bauteile oder Federelemente zu Verbindung der zweiten Ringstruktur mit dem Substrat verwendet werden. Auch ist eine Staffelung einer Mehrzahl von mit weichen Federelementen verbundenen Ringstrukturen denkbar. Dies erhöht die Flexibilität im Aufbau der Kopplungsvorrichtung und im Aufbau von die Kopplungsvorrichtung enthaltenden Messvorrichtungen.

Eine mikroelektromechanische Messvorrichtung weist eine mikroelektromechanische Kopplungsvorrichtung wie sie oben beschrieben wurde und die mikroelektromechanischen Komponenten auf, die mit der Kopplungsvorrichtung verbunden sind. Damit werden die durch die Kopplungsvorrichtung realisierbaren Vorteile für mikroelektromechanische Messvorrichtungen zugänglich.

Ein ringförmiger mikroelektromechanischer Drehratensensor weist eine mikroelektromechanische Kopplungsvorrichtung wie sie oben beschrieben wurde auf, wobei die Ringstruktur geeignet ist, eine Anregungsschwingung auszuführen, der bei einer Drehung der Ringstruktur eine durch die Corioliskraft erzeugte Detektionsschwingung überlagert wird. Die Federelemente können hierbei die mikroelektromechanischen Komponenten darstellen.

25

Die Erfindung wird im Folgenden mit Bezug auf die Figuren weiter beschrieben. Die Figuren und ihre Beschreibung sind dabei rein beispielhaft. Die vorliegende Erfindung ist allein durch den Gegenstand der Ansprüche definiert. Es zeigt:

30 **Fig. 1A und 1B** eine schematische Darstellung einer mikroelektromechanischen Kopplungsvorrichtung;

**Fig. 2** eine schematische Darstellung eines als Serpentinfeder ausgebildeten Federelements;

**Fig. 3** eine schematische Darstellung einer weiteren Kopplungsvorrichtung;

**Fig. 4** eine schematische Darstellung einer weiteren Kopplungsvorrichtung;  
5 und

**Fig. 5** eine schematische Darstellung einer mikroelektromechanischen Mess-  
vorrichtung.

10 Die Fig. 1A und 1B zeigen eine schematische Darstellung einer mikroelektromechanischen  
Kopplungsvorrichtung 100, die zum Koppeln von mikroelektromechanischen Komponenten  
200 geeignet ist, wie sie z.B. in mikroelektromechanischen Messvorrichtungen, wie Drehra-  
ten- und/oder Beschleunigungssensoren verwendet werden. Die mikroelektromechanische  
Kopplungsvorrichtung 100 kann auch die Grundstruktur eines ringförmigen Drehraten-  
15 sensors bilden. Die Fig. 1B ist hierbei ein Schnitt durch die Fig. 1A entlang der Linie I-I.

Die Kopplungsvorrichtung 100 weist eine flexible Ringstruktur 110 sowie eine Mehrzahl von  
Federelementen 120 auf. Die Ringstruktur formt wie in der Fig. 1A gezeigt in Ruhe einen  
Kreis und kann im Wesentlichen parallel zu der Ebene des Kreises verformt werden. Wie aus  
20 der Fig. 1B ersichtlich hat die Ringstruktur 110 senkrecht zur Kreisebene bzw. senkrecht zu  
einem Substrat 300 über dem die Ringstruktur 110 gelagert ist, einen im Wesentlichen  
rechteckigen Querschnitt mit senkrecht zum Substrat 300 stehenden Längsseiten, die um ein  
Vielfaches länger sind als die parallel zum Substrat 300 stehenden kurzen Seiten. Die  
Ringstruktur 110 kann also z.B. als in sich geschlossene Biegebalkenfeder betrachtet wer-  
25 den, die sich parallel zum Substrat 300 verformen kann, wobei Verformungen senkrecht zum  
Substrat 300 (in erster Näherung) vernachlässigbar sind. Die gezeigte Form der Ringstruktur  
110 ist hierbei rein beispielhaft. Die Ringstruktur 110 kann jede Form haben, die eine Ver-  
formung im Wesentlichen nur parallel zur Substratebene begünstigt. Auch kann die  
Ringstruktur 110 in der Ruhelage eine entartete Kreisform aufweisen und z.B. als Ellipse  
30 oder als Vieleck mit abgerundeten Ecken ausgebildet sein. Derartige entartete Kreisformen  
sollen also durch den Bezug auf die kreisförmige Ringstruktur 110 mit abgedeckt sein.

An der Ringstruktur 110 sind Kopplungsstellen 112 angedeutet, an denen die zu koppelnden  
mikroelektromechanischen Komponenten 200 angreifen bzw. an denen diese Komponenten

200 mit der Ringstruktur 110 verbunden sind. Durch die Kopplung können Bewegungen zwischen den mikroelektromechanischen Komponenten 200 übertragen oder abgestimmt werden. Insbesondere kann die Kopplungsvorrichtung eine kräfte- und momentenfreie Gegentaktschwingung zwischen den Komponenten 200 vermitteln. Bei den mikroelektromechanischen Komponenten 200 kann es sich z.B. um Sensormassen oder Schwingungssysteme handeln. Im Prinzip ist die Art, Struktur und Größe der zu koppelnden Komponenten 200 aber beliebig. Ebenso kann die Anzahl der zu Komponenten 200 größer als zwei sein.

Die Kopplung kann hierbei auch über die Federelemente 120 erfolgen. Dann fehlen die Kopplungsstellen 112. Insbesondere wenn die Kopplungsvorrichtung 100 Teil eines ringförmigen mikroelektromechanischen Drehratensensors ist, können die Federelemente 120 die mikroelektromechanischen Komponenten darstellen. Die Ringstruktur ist hierbei geeignet, eine Anregungsschwingung auszuführen, der bei einer Drehung der Ringstruktur eine durch die Corioliskraft erzeugte Detektionsschwingung überlagert wird.

Die Ringstruktur ist über eine Mehrzahl von Federelementen 120 mit dem Substrat 300 verbunden. Die Federelemente 120 greifen hierbei an verschiedenen Stellen der Ringstruktur 110 an und halten diese über dem Substrat 300. Wie in den Fig. 1A und 1B gezeigt können die Federelemente 120 mit Ankerstrukturen 125 verbunden sein und die Ringstruktur 110 so direkt mit dem Substrat 300 verbinden. Die Ankerstrukturen 125 können hierbei eine beliebige Form aufweisen, solange sie eine feststehende Verbindung zum Substrat 300 erlauben.

Die Kopplungsvorrichtung 100 weist hierbei eine ausreichend große Anzahl von Federelementen 120, mit einer derart geringen Breite in Umfangsrichtung der Ringstruktur 110 und einer derart geringen Federhärte auf, dass die Verformbarkeit der Ringstruktur 110 in Umfangsrichtung der Ringstruktur 110 homogen ist und die Kopplungsvorrichtung 100 Resonanzfrequenzen im kHz-Bereich aufweist. Insbesondere können Breite und Anzahl der Federelemente 120 derart abgestimmt sein, dass die Federelemente 120 so dicht wie möglich nebeneinander liegen, ohne die gewünschte Beweglichkeit der Federelemente 120 einzuschränken. Andererseits können bei ausreichend geringer Federhärte der Federelemente 120 auch ein größerer Abstand bzw. breitere Federelemente 120 ausreichend für eine homogene Verformbarkeit der Ringstruktur sein.

Die Anzahl der Federelemente 120 kann zum Beispiel größer oder gleich 4, 8, 16, 30, größer oder gleich 40, oder größer oder gleich 50 sein. Entsprechend oder unabhängig von ihrer Anzahl kann die Breite der Federelemente 120 kleiner oder gleich  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/30$ , kleiner oder gleich  $1/40$ , oder kleiner oder gleich  $1/50$  des Umfangs der Ringstruktur 110 sein.

5

Die Vielzahl der Angriffspunkte von Federelementen 120 an die Ringstruktur 110 stellt sicher, dass gegen Krafteinwirkungen auf die Ringstruktur 110 mit einer Federhärte geantwortet wird, die sich aus der Federhärte der Ringstruktur 110 und den Federhärten der durch die Krafteinwirkung verformten Federelemente 120 ergibt, wobei die Gesamtfederhärte in Umfangsrichtung im Wesentlichen gleich ist. Damit reagiert die Kopplungsvorrichtung 100 auf Krafteinwirkungen aus jeder Richtung gleich, d.h. sie hat eine homogene Verformbarkeit. Die gesamte Kopplungsvorrichtung 100 reagiert also auf äußere Anregungen wie ein translatorisch fixierter, aber ansonsten frei schwebender Ring.

15 Wie in der Fig. 1A gezeigt können alle Federelemente 120 mit einer Innenseite der Ringstruktur 110 verbunden sein. Die Federelemente 120 können aber auch mit einer Außenseite der Ringstruktur 110 verbunden sein, wie, z.B. in den Fig. 4 und 5 gezeigt. Durch die Anordnung sämtlicher Federelemente 120 außerhalb oder innerhalb der Ringstruktur 110 kann sichergestellt werden, dass die mikroelektromechanischen Komponenten 200 (bei entsprechender Wahl der Lage der Kopplungsstellen 112) kräfte- und momentenfrei gekoppelt werden können. Die Federelemente 120 können im Prinzip aber auch von beiden Seiten an die Ringstruktur 110 angreifen.

25 Wie in den Fig. 3 bis 5 gezeigt, können die Federelemente 120 gleichmäßig entlang der Umfangsrichtung der Ringstruktur 110 verteilt sein. Dies vereinfacht die Herstellung der Kopplungsvorrichtung 100, da all Federelemente 120 gleich gefertigt werden können. Die daraus resultierende gleiche Federhärte der Federelemente 120 garantiert in Kombination mit der gleichmäßigen Verteilung entlang des Umfangs der Ringstruktur 110, dass eine Krafteinwirkung auf die Kopplungsvorrichtung 100 an allen Stellen der Kopplungsvorrichtung 100 die gleiche Gegenkraft hervorruft.

30

Wie in der Fig. 1A gezeigt können die Federelemente 120 entlang der Umfangsrichtung der Ringstruktur 110 auch unregelmäßig verteilt sein. Dann müssen die Federhärten der verschiedenen Federelemente 120 derart variieren, dass im Resultat trotzdem eine homogene

Verformbarkeit der Ringstruktur 110 erreicht werden kann. Zum Beispiel können die Federelemente 120 in Bereichen mit einer höheren Dichte von Federelementen 120 geringere Federhärten aufweisen als in Bereichen mit einer niedrigen Dichte von Federelementen 120.

- 5 Neben einer Beschränkung der Breite der Federelemente 120 entlang der Umfangsrichtung empfiehlt es sich, auch die Länge der Federelemente 120 entlang einer radialen Richtung der Ringstruktur 110 auf weniger als  $1/2$ , weniger als  $1/4$ , weniger als  $1/5$ , weniger als  $1/6$ , weniger als  $1/8$  oder auf  $1/10$  des Radius der in Ruhe befindlichen Ringstruktur 110 zu be-  
grenzen. Dadurch können kompaktere mikroelektromechanische Strukturen realisiert wer-  
10 den, da auch der Innenraum der Kopplungsvorrichtung 100 für die Anordnung von mikro-  
elektromechanischen Komponenten 200 genutzt werden kann, wie z.B. in der Fig. 5 gezeigt.

Die Federelemente 120 sind in den Fig. 1A und 1B vollkommen schematisch durch Spiralfeder-  
symbole dargestellt. Die Federelemente 120 können aber jede beliebige Form aufweisen,  
15 solange eine ausreichend geringe Federhärte erreicht werden kann.

Als besonders vorteilhaft hat sich zum Beispiel die Ausbildung der Federelemente 120 als  
Serpentinenfedern gezeigt. Ein Beispiel für eine Serpentinefeder ist schematisch in der  
Fig. 2 gezeigt. Die Serpentinefeder weist eine Vielzahl von Querfedern 122 auf, die z.B.  
20 durch Biegebalkenfedern ausgebildet sind, deren Hauptauslenkungsrichtung parallel zum  
Substrat 300 liegt. Die Querfedern 122 sind an ihren Enden alternierend mit Federstegen  
124 derart verbunden, dass eine serpentinenförmige Feder entsteht. Die Federstege 124  
können hierbei auch stark verkürzt oder weggelassen sein, so dass im Wesentlichen eine  
Zickzacklinie entsteht. Die Fig. 2 zeigt hierbei nur die prinzipielle Grundstruktur. Die einzel-  
25 nen Elemente der Serpentinefeder können auch anders ausgebildet sein. Zum Beispiel  
können die Querfedern 122 auch als eine Reihe von Kreisbögen ausgebildet sein, insbeson-  
dere von konzentrischen Kreisen. Auch müssen die Federstege 124 oder allgemein die Ver-  
bindungen zwischen den Querfedern 124 nicht fluchtend angeordnet sein, sondern können  
auch zueinander versetzt sein. Die Serpentinefeder stellt im Wesentlichen eine mehrfach  
30 gebogene bzw. geknickte Biegebalkenfeder in Mäanderform dar.

Aufgrund dieser Struktur ist die Serpentinefeder weich gegenüber Auslenkungen in der  
Ebene der Mäander (Bildebene der Fig. 2), jedoch relativ hart gegenüber Auslenkungen  
senkrecht hierzu (senkrecht zur Bildebene der Fig. 2). Diese Eigenschaft behält die Feder

auch bei einem schmalen Aufbau, d.h. wenn bei minimaler Länge der Federstege 124, die zum Verbinden der Querfedern 122 nötig ist, die Querfedern 122 nicht länger als das 2030-fache, 4020-fache oder 510-fache der Länge der Federstege 124 beträgt. Serpentinendfedern eignen sich demgemäß als Federelemente 120 für die Kopplungsvorrichtung 100.

5

Ein Beispiel für eine derartige Kopplungsvorrichtung 100, die z.B. die Grundstruktur für einen ringförmigen mikroelektrischen Drehratensensor darstellen kann, ist in der Fig. 3 gezeigt. Die Kopplungsvorrichtung weist hierbei beispielhaft 44 als Serpentinendfedern ausgebildete Federelemente 120 auf, die in gleichmäßigen Abständen an die Innenseite der Ringstruktur 110 angreifen. Die Breite der Federelemente 120 beträgt hierbei etwas weniger als 1/44 des Innenumfangs der Ringstruktur 110, so dass keine Lücke zwischen den einzelnen Federelementen 120 verbleibt.

Ein weiteres Beispiel für eine Kopplungsvorrichtung 100 ist in der Fig. 4 gezeigt. Hier weist die Kopplungsvorrichtung 100 neben der Ringstruktur 110 und den (hier außen an die Ringstruktur 110 angreifenden) Federelementen 120 (hier beispielhaft als Serpentinendfedern dargestellt) eine zweite Ringstruktur 130 auf. Diese ist über die Mehrzahl der Federelemente 120 mit der (ersten) Ringstruktur 110 verbunden. Die Verbindung der ersten Ringstruktur 110 mit dem Substrat 300 erfolgt hierbei über die zweite Ringstruktur 130.

20

Dieser Aufbau bietet mehr Flexibilität hinsichtlich der Einsatzbereiche der Kopplungsvorrichtung 100. Insbesondere kann die Kopplungsvorrichtung 100 auch in Messvorrichtungen eingesetzt werden, die eine direkte Verankerung der Federelemente 120 nicht erlauben. Zudem kann durch die Kombination mit einer oder mehreren zusätzlichen Ringstrukturen 130 das Schwingungsverhalten der Ringstruktur 110 beeinflusst werden, z.B. durch Unterdrücken von bestimmten Schwingungsmoden, oder die Flexibilität, insbesondere in Umfangsrichtung, vergrößert werden. Die Verankerung der zusätzlichen Ringstruktur(en) 130 kann über beliebige Verbindungen hergestellt werden. Beispielhaft ist in der Fig. 4 z.B. die Verbindung über speichenartige Federn 140 und Ankerblöcke 142 gezeigt. Es ist aber auch jede andere Form der Verankerung am Substrat denkbar, z.B. über Serpentinendfedern oder auch über mehrstufig oder komplexere mikroelektromechanische Komponenten, wie z.B. Schwingungssysteme, Massen, Antriebs- und Ausleseelektroden oder dergleichen.

30

Die Fig. 5 zeigt schematisch eine mikroelektromechanische Messvorrichtung 400, in der eine mikroelektromechanische Kopplungsvorrichtung 100 verwendet wird, wie sie zuvor beschrieben wurde.

5 Neben der Ringstruktur 110 und den hier außen an die Ringstruktur 110 angreifenden Federelementen (beispielhaft als Serpentinensfedern und ohne Verankerung im Substrat gezeigt) weist die Messvorrichtung als mikroelektromechanische Komponenten 200 zwei Schwingungssysteme auf, die mit der Kopplungsvorrichtung 100 über die Kopplungsstellen 112 verbunden sind. Die mikroelektromechanischen Komponenten 200 weisen z.B. jeweils  
10 eine Masse 210 und eine Federstruktur 220 auf, die die Masse 210 mit der Ringstruktur 110 der Kopplungsvorrichtung 100 verbindet. Zudem ist beispielhaft eine weitere Kopplung 230 zwischen den Massen 210 gezeigt. Wie in der Fig. 5 zu sehen ist, kann der Innenraum der Kopplungsvorrichtung 100 für die Anordnung der mikroelektromechanischen Komponenten 200 verwendet werden, was eine kompakte Ausgestaltung der Messvorrichtung 400 erlaubt.

15

Es versteht sich von selbst, dass bei innenliegenden Federelementen 120 die mikroelektromechanischen Komponenten 200 auch außen angeordnet sein können. Zudem können bei entsprechend schmalen Kopplungsstellen 112 die Federelemente 120 und die mikroelektromechanischen Komponenten 200 auch auf der gleichen Seite der Ringstruktur 110 angeordnet sein.  
20

20

Durch die oben beschriebenen Ausgestaltungen von 110 Ringstruktur und Federelementen 120 ist gewährleistet, dass die mikroelektromechanischen Komponenten 200 in optimaler Weise miteinander gekoppelt werden können. Hierdurch erhöhen sich schlussendlich die  
25 Präzision und damit die Verlässlichkeit der Messvorrichtung 400.

25

Zudem lassen sich sämtliche oben diskutierten Kopplungsvorrichtungen als Grundkomponenten für ringförmige mikroelektromechanische Drehratensensoren verwenden, in denen die Ringstruktur die für die Drehratendetektion notwendigen Schwingungen vollführt.

30

**Ansprüche**

1. Mikroelektromechanische Kopplungsvorrichtung (100) zum Koppeln von mikroelektromechanischen Komponenten (200), aufweisend
  - 5 eine flexible Ringstruktur (110), die in Ruhe einen Kreis formt, die im Wesentlichen parallel zu der Ebene des Kreises verformt werden kann und die zur Kopplung der mikroelektromechanischen Komponenten (200) geeignet ist; und  
eine Mehrzahl von Federelementen (120), die geeignet sind, die Ringstruktur (110) mit einem Substrat (300) zu verbinden; wobei
  - 10 die Kopplungsvorrichtung (100) eine derart große Anzahl der Federelemente (120), mit einer derart geringen Breite in Umfangsrichtung der Ringstruktur (110) und einer derart geringen Federhärte aufweist, dass die Verformbarkeit der Ringstruktur (110) in Umfangsrichtung der Ringstruktur (110) homogen ist.
- 15 2. Kopplungsvorrichtung (100) nach Anspruch 1, wobei  
das Verhältnis einer effektiven Gesamtsteifigkeit der Federelemente (120) während eines Betriebs der Kopplungsvorrichtung (100) in einer Schwingungsmoden zum Produkt aus einer Anzahl der Federelemente (120) und einer effektiven Steifigkeit der Ringstruktur (110) in der entsprechenden Schwingungsmoden kleiner oder gleich 1 ist.
- 20 3. Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei  
entweder alle Federelemente (120) mit einer Innenseite der Ringstruktur (110) oder alle Federelemente (120) mit einer Außenseite der Ringstruktur (110) verbunden sind.
- 25 4. Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei  
die Federelemente (120) als Serpentinendfedern ausgebildet sind.
5. Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei  
die Federelemente (120) gleichmäßig entlang der Umfangsrichtung der Ringstruktur  
30 (110) verteilt sind.
6. Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei  
die Anzahl der Federelemente (120) größer oder gleich 4, vorzugsweise größer oder gleich 8, weiter vorzugsweise größer oder gleich 16 ist.

7. Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei  
die Breite der Federelemente (120) in Umfangsrichtung kleiner oder gleich  $1/4$ , vor-  
zugsweise kleiner oder gleich  $1/8$ , weiter vorzugsweise kleiner oder gleich  $1/16$  des Umfangs  
5 der Ringstruktur (110) ist.
8. Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei  
die Federelemente (120) sich entlang einer radialen Richtung der Ringstruktur (110)  
über weniger als  $1/2$  oder  $1/4$ , vorzugsweise über weniger als  $1/5$ , weiter vorzugsweise über  
10 weniger als  $1/8$  des Radius der in Ruhe befindlichen Ringstruktur (110) erstrecken.
9. Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, des Weiteren mit  
einer zweiten Ringstruktur (130), wobei  
die Mehrzahl der Federelemente (120) mit der Ringstruktur (110) und der zweiten  
15 Ringstruktur (130) verbunden ist und die Verbindung der Ringstruktur (110) mit dem Substrat  
(300) über die zweite Ringstruktur (130) erfolgt, welche vorzugsweise wiederum mit weiteren  
Federelementen (140) an das Substrat angebunden ist.
10. Mikroelektromechanische Messvorrichtung (400) mit  
20 der mikroelektromechanischen Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorheri-  
gen Ansprüche; und  
den mikroelektromechanischen Komponenten (200), die mit der Kopplungsvorrich-  
tung (100) verbunden sind.
- 25 11. Ringförmiger mikroelektromechanischer Drehratensensor mit  
der mikroelektromechanischen Kopplungsvorrichtung (100) nach einem der vorheri-  
gen Ansprüche; wobei  
die Ringstruktur (110) geeignet ist, eine Anregungsschwingung auszuführen, der bei  
einer Drehung der Ringstruktur (110) eine durch die Corioliskraft erzeugte Detektions-  
30 schwingung überlagert wird; und  
die Federelemente (120) die mikroelektromechanischen Komponenten darstellen.