



(10) **DE 10 2010 006 584 B4** 2012.09.27

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 006 584.6**
(22) Anmeldetag: **02.02.2010**
(43) Offenlegungstag: **06.10.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **27.09.2012**

(51) Int Cl.: **G01C 19/5762 (2012.01)**
G01C 19/5719 (2012.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Northrop Grumman LITEF GmbH, 79115, Freiburg, DE

(72) Erfinder:
Geiger, Wolfram, Dr., 79112, Freiburg, DE;
Leinfelder, Peter, 79238, Ehrenkirchen, DE

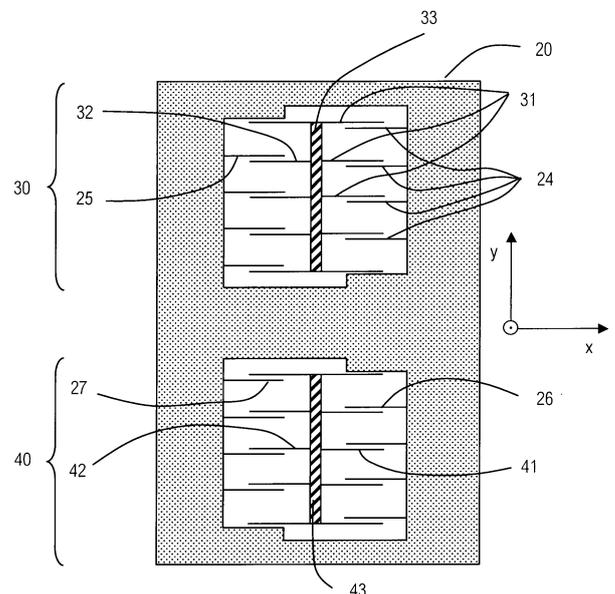
(74) Vertreter:
Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte,
81667, München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	101 24 822	A1
DE	103 60 962	A1
US	5 945 599	A

(54) Bezeichnung: **Corioliskreisel mit Korrektoreinheiten und Verfahren zur Reduktion des Quadraturbias**

(57) Hauptanspruch: Corioliskreisel (1) mit
– einem Massensystem, das zu Schwingungen parallel zu einer ersten Achse anregbar ist, wobei eine Auslenkung des Massensystems aufgrund einer Corioliskraft entlang einer zweiten Achse, die senkrecht zu der ersten Achse vorgesehen ist, nachweisbar ist,
– mit mindestens einer ersten Korrektoreinheit (30) und einer zweiten Korrektoreinheit (40), die jeweils eine Mehrzahl von feststehenden Korrektorelektroden (31, 32, 41, 42) und bewegten Korrektorelektroden (24, 25, 26, 27) umfassen, wobei die feststehenden Korrektorelektroden (31, 32, 41, 42) sich in Richtung der ersten Achse erstrecken und fest über zugehörige Ankerstrukturen (33, 43) mit dem Substrat verbunden sind und die bewegten Korrektorelektroden (24, 25, 26, 27) einen Teil des Massensystems bilden, wobei jeder feststehenden Korrektorelektrode (31, 32, 41, 42) eine bewegte Korrektorelektrode (24, 25, 26, 27) zugeordnet ist, wobei der Abstand der jeweiligen feststehenden Korrektorelektrode (31, 32, 41, 42) zu der ihr zugeordneten bewegten Korrektorelektrode (24, 25, 26, 27) kleiner...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Corioliskreisel mit Korrekturereinheiten zur Reduktion des Quadraturbias und ein System aus miteinander gekoppelten Corioliskreisel, das Korrekturereinheiten zur Reduktion des Quadraturbias umfasst.

[0002] Corioliskreisel (Vibrationskreisel, Vibrationsgyroskop, Drehratensensoren) umfassen ein einteiliges, in der Regel jedoch ein mehrteiliges Massensystem, das in Schwingungen versetzt wird. Dazu wird zum Betrieb des Corioliskreisels ein erster Schwingungsmodus (Anregungsschwingung) des Massensystems angeregt. Wird der Corioliskreisel einer Drehbewegung in seiner sensitiven Achse unterworfen, so regen die auftretenden Corioliskräfte einen zweiten Schwingungsmodus des Massensystems an, der direkt oder indirekt erfasst wird, wobei ein den zweiten Schwingungsmodus abbildendes Auslesesignal gewonnen wird. Das Auslesesignal wird auf Änderungen in der Amplitude hin ausgewertet, die ein Maß für die am Corioliskreisel anliegende Drehrate darstellt. In einem Corioliskreisel nach einem Closed-Loop-System wird über einen Regelkreis die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert, beispielsweise Null, zurückgestellt, so dass die anliegende Drehrate aus den dazu erforderlichen Rückstellkräften abgeleitet wird.

[0003] Das Massensystem des Corioliskreisels kann als ein einteiliges oder als ein mehrteiliges Massensystem ausgebildet sein. Beispielsweise umfasst das Massensystem zwei Teilmassen (Schwinger), die miteinander über ein Federsystem gekoppelt sind und Relativbewegungen zueinander ausführen können. Bei einem mehrteiligen Massensystem können Fertigungstoleranzen zu einer Fehlausrichtung von miteinander gekoppelten Teilmassen des Massensystems zueinander führen, beispielsweise der beiden Schwinger eines zweiteiligen Einzelschwingers. Die Fehlausrichtung erzeugt im Auslesesignal des Corioliskreisels einen Signalanteil, der in Quadratur (90° phasenversetzt) dem eigentlichen Signalanteil aus der anliegenden Drehrate überlagert ist. In der Regel sind die Quadratursignalanteile (Quadraturbias, Quadratursignal, Quadraturfehler) viel größer als die aus der gewünschten Drehratenauflösung, so dass die Separation beider Signalanteile schwierig ist. Durch die große Differenz der Signalanteile führen schon kleine Phasenschiebungen zu deutlich merkbaren Fehlern im Drehratensignal (Null-Punkt-Fehler, Bias).

[0004] Aus der DE 103 60 962 B4 und der DE 102 37 410 A1 sind Verfahren bekannt, bei denen die Coriolismasse mit Hilfe einer an spezielle Stellelektroden angelegten Spannung gedreht und/oder ausgelenkt wird, um den Quadraturbias zu reduzieren.

[0005] In der US 6 067 858 A wird eine Struktur zur Reduzierung des Quadraturbias beschrieben, die aus einzelnen Korrekturerelektroden besteht, bei denen symmetrische Abstände zwischen den einzelnen Elektroden vorliegen müssen. Außerdem kann diese Strukturform fertigungstechnisch nur mit vergrabenen Oxiden realisiert werden.

[0006] Die DE 101 24 822 A1 beschreibt einen Corioliskreisel mit einem Massensystem und Einstellelektroden, die der Einstellung der Eigenfrequenz des Massensystems dienen. Die Einstellelektroden erstrecken sich von einer gemeinsamen Ankerstruktur aus in positive und negative X-Richtung und sind oberhalb bzw. unterhalb der zugehörigen beweglichen Elektrode, die Teil des Massensystems ist, angeordnet. Dabei sind einige Abschnitte der Einstellelektroden, die sich von einer gemeinsamen Ankerstruktur aus in die positive X-Richtung erstrecken, oberhalb der zugehörigen beweglichen Elektrode angeordnet, während einige Abschnitte der Einstellelektroden, die sich von der selben Ankerstruktur aus in die negative X-Richtung erstrecken, unterhalb der zugehörigen beweglichen Elektrode angeordnet sind.

[0007] Die US 5 945 599 A beschreibt einen Corioliskreisel, der ein Massensystem mit beweglichen Elektroden sowie feststehende Kontrollelektroden, die der Rückstellung von Detektionselektroden dienen, umfasst. Jeweils erste feststehende Kontrollelektroden sind in Y-Richtung unterhalb der zugeordneten beweglichen Elektrode und jeweils zweite feststehende Kontrollelektroden sind in Y-Richtung oberhalb der zugeordneten beweglichen Elektrode angeordnet. Die feststehenden Kontrollelektroden erstrecken sich von einer gemeinsamen Ankerstruktur aus in entweder eine positive oder eine negative X-Richtung.

[0008] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, in Corioliskreisel und in Systemen aus miteinander gekoppelten Corioliskreisel den Beitrag von Fehlausrichtungen zum Quadraturbias zu reduzieren, ohne die Coriolismasse drehen und/oder auslenken zu müssen und fertigungstechnisch auf vergrabene Oxide verzichten zu können.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Corioliskreisel entsprechend dem Anspruch 1 und durch ein System entsprechend Anspruch 8 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich jeweils aus abhängigen Ansprüchen.

[0010] Demnach umfasst ein Corioliskreisel ein Massensystem, das zu Schwingungen parallel zu einer ersten Achse anregbar ist. Das Massensystem kann einstückig ausgebildet sein oder mindestens zwei Teilmassen umfassen. Bei mehrteiligen Massensystemen ist mindestens eine der Teilmassen (Corioliselement) derart befestigt, dass eine Auslen-

kung der Teilmasse durch eine Drehbewegung um eine zur ersten Achse senkrechte sensitive Achse entlang einer zur ersten und zur sensitiven Achse senkrechten zweiten Achse nachweisbar ist. Die Auslenkung der Teilmasse kann in einem Closed-Loop-System beispielsweise über das Erzeugen von Rückstellkräften zur Kompensation der Auslenkung nachweisbar sein.

[0011] Der erfindungsgemäße Corioliskreisel umfasst weiterhin mindestens eine erste Korrektereinheit und mindestens eine zweite Korrektereinheit, die jeweils eine Mehrzahl von feststehenden Korrektorelektroden und eine Mehrzahl von bewegten Korrektorelektroden umfassen. Die feststehenden Korrektorelektroden erstrecken sich in Richtung der ersten Achse und sind über zugehörige Ankerstrukturen fest mit einem Substrat verbunden, gegenüber dem das Massensystem beweglich aufgehängt ist. Die bewegten Korrektorelektroden sind integraler Bestandteil des Massensystems und gegenüber dem Substrat beweglich.

[0012] Beispielsweise umfasst der Corioliskreisel eine erste Teilmasse (Antriebsrahmen), die zu einer linearen Schwingung entlang der ersten Achse ange regt wird, und eine zweite, mit der ersten Teilmasse beweglich verbundene zweiten Teilmasse (Coriolisrahmen, Coriolismasse, Detektionsrahmen), die bezüglich der ersten Teilmasse so verbunden ist, dass sie senkrecht zur Anregungsbewegung beweglich ist, wobei diese mögliche Auslenkbewegung entlang der Richtung der Corioliskräfte, die auf Grund des Anliegens einer Drehrate und der Anregungsbewegung entstehen, nachweisbar ist. Die zweite Teilmasse umfasst dabei die bewegten Korrektorelektroden sowie einen Detektionselektrodensatz, der zum Nachweis der Auslenkung der zweiten Teilmasse dient, und optional einen Elektrodensatz zur Rückstellung der Auslenkung.

[0013] Nach einer anderen Ausführungsform umfasst der Corioliskreisel eine erste Teilmasse (Antriebsrahmen), die zu einer linearen Schwingung entlang der ersten Achse angeregt wird, eine zweite Teilmasse (Coriolisrahmen, Coriolismasse), die durch die Corioliskraft auslenkbar befestigt ist, und eine dritte Teilmasse (Detektionsrahmen), die mit der zweiten Teilmasse so beweglich verbunden ist, dass sie die Anregungsbewegung nicht ausführen kann, aber die Auslenkbewegung des Coriolisrahmens in die zweite Richtung mitmachen muss, worüber die Auslenkung des Coriolisrahmens detektiert wird. Mit anderen Worten, die Funktionseinheit Coriolisrahmen und Detektionsrahmen wird separiert. Die bewegten Korrektorelektroden der Korrektoreinheiten sind dabei fester Bestandteil des Coriolisrahmens. Die Elektrodensätze für die Detektion und/oder Rückstellung werden dabei in der Regel der dritten Teilmasse zugeordnet, wobei bei Verwendung von getrennten

Elektrodensätzen für Detektion und Rückstellung die Möglichkeit besteht, diese auch separiert auf der dritten und zweiten Teilmasse anzuordnen.

[0014] Die erfindungsgemäßen Korrektoreinheiten umfassen beispielsweise jeweils eine gleiche Anzahl von ersten feststehenden Korrektorelektroden und zweiten feststehenden Korrektorelektroden. Die ersten feststehenden Korrektorelektroden erstrecken sich ausgehend von der zugehörigen Ankerstruktur entlang der ersten Achse in eine erste Richtung. Die zweiten feststehenden Korrektorelektroden erstrecken sich von der zugehörigen Ankerstruktur aus in eine der ersten Richtung entgegen gerichtete zweite Richtung. In entsprechender Weise kann die Korrektoreinheit eine gleiche Anzahl von ersten und zweiten bewegten Korrektorelektroden umfassen. Die ersten bewegten Korrektorelektroden erstrecken sich, ausgehend von einem Bezugspunkt innerhalb des Umfangs derjenigen Teilmasse, deren integraler Bestandteil sie sind, in die zweite Richtung und die zweiten bewegten Korrektorelektroden in die erste Richtung.

[0015] Der Abstand einer feststehenden Korrektorelektrode zu ihren jeweiligen benachbarten bewegten Korrektorelektroden ist verschieden. Das Verhältnis der beiden Abstände ist also ungleich 1 zu wählen. Dabei ist für eine effektive Kraftwirkung das Verhältnis möglichst groß oder klein zu wählen, allerdings wächst dann der Platzbedarf. Bei Berücksichtigung eines mit dem Abstandsverhältnis skalierenden Platzbedarfs und einer möglichst effektiven Kraftwirkung ergibt sich ein optimales Verhältnis der Abstände von $\sqrt{2}$. Diejenige bewegte Korrektorelektrode, die einen kleineren Abstand zu der feststehenden Korrektorelektrode aufweist, wird im Folgenden als die der feststehenden Korrektorelektrode zugeordnete bewegte Korrektorelektrode bezeichnet. Die ersten feststehenden Korrektorelektroden sind entlang der zweiten Achse jeweils oberhalb der ihnen zugeordneten ersten bewegten Korrektorelektroden angeordnet, während die zweiten feststehenden Korrektorelektroden jeweils unterhalb der ihnen zugeordneten zweiten bewegten Korrektorelektroden angeordnet sind. Dabei beziehen sich die Begriffe „oberhalb“ und „unterhalb“ auf eine Richtung entlang der zweiten Achse. Die Teilmasse, die die bewegten Korrektorelektroden umfasst, ist derart ausgeformt, dass sie jeweils als eine erste und eine zweite bewegte Korrektorelektrode in Bezug auf eine erste bzw. eine zweite feststehende Korrektorelektrode dient. Die Anordnung der feststehenden Korrektorelektroden bezüglich der ihnen jeweils zugeordneten bewegten Korrektorelektroden entlang der zweiten Achse kann auch invertiert sein.

[0016] In einer Ausführungsform umfasst der Corioliskreisel eine erste und eine zweite Korrektoreinheit, die invertiert zueinander ausgebildet sind. Optional

kann der Corioliskreisler mehrere gleichartig ausgebildete erste und/oder mehrere gleichartig ausgebildete zweite Korrekturereinheiten oder auch mehrere Paare von invertiert zueinander ausgebildeten ersten und zweiten Korrekturereinheiten umfassen.

[0017] Die feststehenden Korrektorelektroden und/oder die bewegten Korrektorelektroden können jeweils Stege mit einer Breite von maximal 10 μm aufweisen.

[0018] In einer Ausführungsform weist der Corioliskreisler mindestens eine Steuereinheit auf, die eine Korrekturspannung erzeugt. Die feststehenden Korrektorelektroden und die bewegten Korrektorelektroden sind mit der mindestens einen Steuereinheit verbunden, wobei unterschiedliche Korrekturereinheiten separat mit unterschiedlichen Korrekturspannungen angesteuert bzw. geregelt werden können. Die Korrekturspannungen sind zumindest zeitweise konstant und im einfachsten Fall Gleichspannungen, deren Beträge derart einstellbar sind, dass ein Quadraturbias minimiert wird. Es ist allerdings auch möglich, die Korrekturspannungen in Abhängigkeit von der Auslenkung senkrecht zur Anregungsbewegung (y-Richtung) zu regeln. Die Elektroden der Korrekturereinheiten sind so ausgebildet, dass bei einer Bewegung der beweglichen Elektrodenteile in Anregungsrichtung bei Anliegen einer elektrischen Spannung Kräfte in der Detektionsrichtung erzeugt werden, die von der Auslenkung in Anregungsrichtung abhängig sind.

[0019] Die Erfindung stellt weiterhin Systeme mit mindestens zwei miteinander gekoppelten Corioliskreisler bereit, wobei jeder Corioliskreisler ein Massensystem umfasst, das zu Schwingungen parallel zu einer ersten Achse anregbar ist, wobei eine Auslenkung des Massensystems aufgrund einer Corioliskraft entlang einer zweiten Achse, die senkrecht zu der ersten Achse verläuft, nachweisbar ist. Das System umfasst dabei mindestens eine erste und mindestens eine zweite Korrekturereinheit, wie sie mit Bezug auf den einzelnen Corioliskreisler beschrieben sind.

[0020] Beispielsweise umfasst ein System zwei Corioliskreisler, die zusammen als linearer Doppelschwinger ausgebildet sind, wobei die beiden Einzelschwinger zu entlang der ersten Achse einander gegenläufigen Schwingungen angeregt werden.

[0021] Bei einer Ausführungsform, in der die Corioliskreisler nur bezüglich der Anregung gekoppelt sind, sind in jedem einzelnen Corioliskreisler die Korrekturereinheiten jeweils paarweise in invertierter Ausführung zueinander angeordnet.

[0022] Sind die einzelnen Corioliskreisler hingegen auch in der Detektion gekoppelt, wie dies beispielsweise aus der DE 10 2007 030 120 A1 bekannt ist,

so können die mindestens zwei invertiert zueinander angeordneten separaten Korrekturereinheiten beliebig auf den einzelnen Corioliskreisler angeordnet werden.

[0023] Verfahren zur Reduktion des Quadraturbias eines erfindungsgemäßen Corioliskreislers oder eines erfindungsgemäßen Systems umfassen das Anlegen einer Korrekturspannung zwischen feststehenden und bewegten Korrektorelektroden der Korrekturereinheiten.

[0024] Die Korrekturspannung ist eine Gleichspannung, deren Betrag in Abhängigkeit von der Orientierung und der Größe des zu reduzierenden Quadraturbias eingestellt wird. Welche der mindestens zwei invertiert zueinander vorhandenen Korrekturereinheiten beaufschlagt wird, ist abhängig vom Vorzeichen des zu kompensierenden Quadraturbias.

[0025] Alternativ oder zusätzlich kann der Betrag der Gleichspannung in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Veränderung der Eigenfrequenz des Massensystems entlang der zweiten Achse eingestellt werden. In diesem Fall werden die beiden paarweise invertiert zueinander vorhandenen Korrekturereinheiten beide mit einer Spannung gleichen Betrages beaufschlagt. Der Gleichspannungsanteil für die Quadraturbiaskompensation wird dabei der Spannung für den Frequenzabgleich vorzeichenrichtig überlagert.

[0026] Umfasst der Corioliskreisler mehr als zwei Korrekturereinheiten, vorzugsweise ein Vielfaches von Zwei, so können die Korrekturereinheiten mit unterschiedlichen Spannungen beaufschlagt werden, vorzugsweise so, dass sich die Spannungen in der Summe kompensieren. Beispielsweise können gleichartige Korrekturereinheiten, das heißt Korrekturereinheiten, die nicht invertiert zueinander ausgebildet sind, mit Spannungen gleichen Betrags, aber unterschiedlicher Polarität beaufschlagt werden.

[0027] Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren in beispielhafter Ausführungsform näher erläutert.

[0028] Die [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Draufsicht auf einen Corioliskreisler als zweiteiligen Einzelschwinger gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0029] Die [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Draufsicht auf ein Detail der [Fig. 1](#) umfassend die Korrekturereinheiten.

[0030] Die [Fig. 3](#) zeigt eine schematische Draufsicht auf ein Detail eines Corioliskreislers, bei dem mehrere gleichartige Korrekturereinheiten ausgebildet sind.

[0031] Die [Fig. 4](#) zeigt eine schematische Draufsicht auf ein System mit zwei gekoppelten Corioliskreisels gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

[0032] [Fig. 1](#) zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Corioliskreisels **1** nach einer Ausführungsform, gemäß welcher der Corioliskreisels **1** als linearer Einfachschwinger ausgeführt ist. Der lineare Einfachschwinger wird vorzugsweise mittels Ätzprozessen aus einer Siliziumscheibe hergestellt und umfasst eine erste Teilmasse **10** (Antriebsrahmen), eine zweite Teilmasse **20** (Coriolismasse), erste Federelemente **11** und zweite Federelemente **21**. Der Antriebsrahmen **10** ist über die ersten Federelemente **11** mit einem Substrat verbunden, das den Teilmassen **10**, **20** unterliegt. Die ersten Federelemente **11** sind derart ausgebildet, dass die erste Teilmasse **10** zusammen mit der zweiten Teilmasse **20** entlang einer ersten Achse (x-Richtung) schwingen kann. Die Coriolismasse **20** ist über die zweiten Federelemente **21** mit der ersten Teilmasse **10** verbunden und so aufgehängt, dass sie gegenüber der ersten Teilmasse **10** entlang einer zur ersten Achse senkrechten zweiten Achse (y-Richtung) schwingen kann.

[0033] Die Ausgestaltung der Federelemente **21** ist dabei nicht auf eine spezielle Ausführungsform begrenzt.

[0034] Die erste und die zweite Teilmasse **10**, **20** bilden das Massesystem des Corioliskreisels **1**. Der Corioliskreisels umfasst ferner feststehende Anregungselektroden **12** und feststehende Detektionselektroden **23**, die mit dem Substrat mechanisch verbunden, aber elektrisch isoliert sind. Unter dem Begriff „Substrat“ wird eine mechanische, nicht schwingende Struktur verstanden, in der die Teilmassen **10** und **20** „eingebettet“ sind, beispielsweise der nicht schwingende Teil einer Siliziumscheibe oder eines Teilstückes einer Siliziumscheibe. Der Corioliskreisels umfasst weiterhin bewegte Anregungselektroden **13**, die integraler Bestandteil der ersten Teilmasse **10** sind, sowie bewegte Detektionselektroden **22**, die in dieser Ausführungsform integraler Bestandteil der zweiten Teilmasse **20** sind. Die Anregungselektroden **12** und **13** erfüllen in dieser Ausführungsform zwei Funktionen, zum einen die Funktion der Anregung und zum anderen die Funktion der Bewegungdetektion der ersten Teilmasse in die erste Richtung (x-Achse des eingezeichneten Koordinatensystems), wobei die Anregungselektroden dafür elektronisch geeignet angesteuert werden. In einem anderen Ausführungsbeispiel lassen sich die Funktionen der Anregungselektroden durch doppelte Ausführung der Anregungselektroden auch separieren.

[0035] In der Regel wird an den feststehenden Anregungselektroden **12** eine Wechselspannung angelegt, während die bewegten Anregungselektroden

13, die mit dem Antriebsrahmen **10** fest verbunden sind und sich mit diesem mitbewegen, elektrisch den Gegenpol darstellen. Durch die entstehenden elektrostatischen Kräfte wird der Antriebsrahmen **10** in eine Schwingung entlang der x-Richtung angeregt. Durch die zweiten Federelemente **21** wird diese Bewegung auf die Coriolismasse **20** übertragen. Durch die vertikale Ausrichtung der ersten Federelemente **11** ist dem Antriebsrahmen **10** eine Bewegung entlang der zweiten Achse (y-Richtung), die senkrecht zu der ersten Achse verläuft, verwehrt. Eine vertikale Schwingung in y-Richtung kann jedoch aufgrund der im Wesentlichen horizontalen Ausrichtung der zweiten Federelemente **21** durch die Coriolismasse **20** ausgeführt werden. Treten infolge einer Drehung um eine senkrecht auf der Zeichenebene stehenden sensitiven Achse entsprechende Corioliskräfte auf, so wird die Coriolismasse **20** zu Schwingungen in der y-Richtung angeregt.

[0036] Über die bewegten Detektionselektroden **22**, die mit der Coriolismasse **20** fest verbunden sind und sich mit dieser mitbewegen, und die feststehenden Detektionselektroden **23** wird die durch die Corioliskräfte erzeugte Bewegung in y-Richtung erfasst und ausgelesen, wobei diese Bewegung ein Maß für die anliegende Drehrate ist. Alternativ zu dem geschilderten Open-Loop-Verfahren kann die Bewegung des zweiten Schwingers **20** in y-Richtung durch einen Regelkreis und geeignete Fesselektroden unterbunden werden, wobei in einem solchen Closed-Loop-Verfahren die dafür notwendigen Kräfte über die für die Unterbindung der y-Bewegung erforderlichen elektrischen Spannung gemessen werden und ein Maß für die anliegende Drehrate darstellen. In dem hier gewählten Ausführungsbeispiel beinhalten die Detektionselektroden **22** und **23** für das Closed-Loop-Verfahren zwei Funktionen, nämlich die der Detektion selbst und die der Fesselung, wofür diese geeignet elektronisch angesteuert werden. Jedoch können die Detektionselektroden auch in zwei Untereinheiten der gleichen Bauart unterteilt werden und jeder Untereinheit eine der beiden Funktionen zugeordnet werden.

[0037] Neben der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform sind auch andere Ausführungsformen eines Corioliskreisels möglich. Beispielsweise kann die Detektion der y-Bewegung der Coriolismasse an einem separaten Körper erfolgen, der selbst keine x-Bewegung ausführt, allerdings in y-Richtung durch geeignete Federeinheiten die y-Bewegung der Coriolismasse mit ausführt und somit die reine Funktion der Detektion übernimmt und daher auch als Detektionsrahmen bezeichnet werden kann. Im Falle des Betriebes des Kreisels im Closed-Loop-Verfahren wird in der Regel die Funktion der Detektion und der Rückstellung am separaten Körper (Detektionsrahmen) erfolgen, beide Funktionen können aber

auch auf die Coriolismasse und den separaten Körper verteilt werden.

[0038] In einer weiteren Ausführungsform kann der Corioliskreisler nur eine schwingende Masse umfassen, welche im Folgenden ebenfalls unter dem Begriff „Coriolismasse“ zu verstehen sein soll. Die Funktionen des Antriebsrahmens, der Coriolismasse und der Detektion, im Falle des Closed-Loop-Verfahrens auch die Funktion der Fesselung, sind dann in einer einzigen Struktur zu erfüllen.

[0039] Auch können mehrere der in [Fig. 1](#) dargestellten Corioliskreisler **1**, wie in [Fig. 4](#) angedeutet, zu einem einzigen Sensor zusammengefasst werden. Dabei können beispielsweise zwei Corioliskreisler entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse gegentaktig zueinander in Schwingung versetzt werden. Damit kann die Empfindlichkeit des gekoppelten Systems gegenüber externen Störungen bzw. gegenüber Störungen, die durch das gekoppelte System selbst in das Substrat, in dem die Einzelschwinger ausgebildet sind, abgegeben werden, reduziert werden. Die Koppelung von zwei Corioliskreisler kann über die Koppelung wie in [Fig. 4](#) dargestellt natürlich hinausgehen, sodass, je nach Ausführungsform, nicht nur die Antriebsmassen untereinander gekoppelt sind, sondern auch die Coriolismassen oder die Detektionsrahmen.

[0040] Für den Fall, dass die Anregungsbewegung nicht genau senkrecht zur Detektionsbewegung ausgerichtet ist, koppelt ein Teil der Beschleunigungskräfte aus der Anregungsbewegung, welche beispielsweise 9 Zehnerpotenzen größer sein kann gegenüber den Coriolisbeschleunigung, in die Richtung der Detektion ein, das heißt, dass die durch die Drehbewegung erzeugte Corioliskraft sehr schnell nur ein Bruchteil der Kraft ist, die die Detektionsbewegung hervorruft, was zu einem Fehler bei der Messung der Drehrate führt. Insbesondere bei sehr kleinen Drehraten führen Orientierungsfehler der beiden Teilmassen zueinander oder eine Abweichung der Bewegungsrichtung der Coriolismasse zu dem durch die Anregungselektroden und die feststehenden Detektionselektroden vorgegebenen Koordinatensystem zu einem Messfehler, der die Funktion des Corioliskreislers nachteilig beeinflusst. In [Fig. 1](#) und [Fig. 4](#) sind als Beispiel für eine Möglichkeit dieses Fehlermechanismus die zweiten Federelemente **21** durch Fertigungstoleranzen etwas schräg gegenüber der Anregungsbewegung entlang der x-Achse orientiert. Da die Corioliskräfte direkt von der Geschwindigkeit der Anregungsbewegung abhängen, stehen diese bezüglich der Phasenlage 90° (in Quadratur) zu den Beschleunigungskräften aus der Anregungsbewegung, welche direkt mit der Amplitude der Anregungsbewegung bzw. deren zweiten zeitlichen Ableitung verbunden sind.

[0041] Zur Reduktion oder Kompensation dieses Fehlers, der auch Quadraturbias genannt wird, weist der in der [Fig. 1](#) dargestellte Corioliskreisler eine erste und eine zweite Korrekturereinheit **30** bzw. **40** auf, welche immer paarweise mindestens einmal auf der Coriolismasse vorhanden sind und die jeweils feststehende, mit dem Substrat mechanisch verbundene, aber elektrisch davon isolierte Korrekturielektroden und mit der Coriolismasse elektrisch leitend und mechanisch starr verbundene bewegte Korrekturielektroden umfassen. In der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform sind die feststehenden Korrekturielektroden der ersten Korrekturereinheit **30** mit einer ersten Steuereinheit **50** und die feststehenden Korrekturielektroden der zweiten Korrekturereinheit **40** sind mit einer zweiten Steuereinheit **60** elektrisch verbunden, wobei die feststehenden Korrekturielektroden der Korrekturereinheiten **30** und **40** auf einem jeweils definierten elektrischen Potential gehalten bzw. geregelt werden. Die erste Steuereinheit **50** beaufschlagt die erste Korrekturereinheit **30** mit einer ersten Korrekturspannung, während die zweite Steuereinheit **60** die zweite Korrekturereinheit **40** mit einer zweiten Korrekturspannung beaufschlagt. Die Korrekturereinheiten **30** bzw. **40** sind mit der jeweiligen Steuereinheit **50** bzw. **60** über elektrische Verbindungsleitungen **51** bzw. **61** verbunden, wobei die Verbindungsleitungen **51** bzw. **61** elektrisch isoliert von anderen Bestandteilen des Corioliskreislers sind. Die elektrischen Verbindungsleitungen **51**, **61** können beispielsweise als elektrisch leitende Gebiete im Substrat oder als Leiterbahnen aus einem elektrisch leitenden Material auf dem Substrat ausgebildet sein.

[0042] Die Korrekturereinheiten **30** und **40** der in der [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform des Corioliskreislers sind spiegelbildlich mit Bezug auf eine Mittellinie **28** der Coriolismasse **20** angeordnet. Jedoch können die Korrekturereinheiten **30** und **40** auch beide oberhalb oder unterhalb der Mittellinie **28** und/oder in gleichem oder verschiedenem Abstand zur Mittellinie **28** angeordnet sein. Auch die Lage der Korrekturereinheiten **30** und **40** bezüglich der Detektionselektroden **22**, **23** ist beliebig an das Design des Corioliskreislers anpassbar. So können beispielsweise eine oder beide Korrekturereinheiten rechts von den Detektionselektroden **22**, **23** oder ober- oder unterhalb davon angeordnet sein. Auch eine Anordnung zwischen zwei Teilbereichen der Detektionselektroden **22**, **23**, wie sie in [Fig. 1](#) dargestellt sind, ist möglich.

[0043] In [Fig. 2](#) sind die Korrekturereinheiten **30** und **40** des linearen Einzelschwingers **1** im Detail dargestellt. Jede Korrekturereinheit **30**, **40** besteht aus einer Mehrzahl von ersten feststehenden Korrekturielektroden **31** bzw. **41** und von zweiten feststehenden Korrekturielektroden **32** bzw. **42**, die starr mit dem Substrat verbunden sind. Darüber hinaus weist jede Korrekturereinheit **30** bzw. **40** eine Mehrzahl von ersten bewegten Korrekturielektroden **24** bzw. **26** und von zwei-

ten bewegten Korrektorelektroden **25** bzw. **27** auf, die einstückig mit der Coriolismasse **20** ausgebildet sind. Daher bewegen sich die bewegten Korrektorelektroden **24**, **25**, **26**, **27** mit Bezug auf die feststehenden Korrektorelektroden **31**, **32** bzw. **41**, **42**, wenn die Coriolismasse **20** in Bewegung versetzt wird.

[0044] Wird nun an den feststehenden Korrektorelektroden **31**, **32** bzw. **41**, **42** eine konstante Spannung angelegt, so entstehen aufgrund der Anregungsbewegung elektrostatische Kräfte, die direkt proportional zur Amplitude der Anregungsbewegung und deren zweiten zeitlichen Ableitung sind und zu einer Reduzierung des Quadraturfehlers führen. Dafür werden die Beträge der konstanten Spannungen entsprechend der Größe und der Orientierung des zu reduzierenden oder zu kompensierenden Quadratursignals gewählt. Des Weiteren kann mit der anliegenden konstanten Spannung auch die Eigenfrequenz der Coriolismasse **20** in y-Richtung beeinflusst werden, was zusätzlich für eine Trimmung bzw. gezielte Abstimmung der Eigenfrequenzen von Anregung und Auslesung genutzt werden kann.

[0045] Die erzeugten Kräfte weisen dabei in erster Ordnung nur x-abhängige oder y-abhängige Kraftkomponenten auf. Die y-abhängige Kraftkomponente führt zu einer negativen Federsteife, die der zweiten Federelemente **21** entgegenwirkt und damit zu einer verringerten Eigenfrequenz der Coriolismasse **20** in der Detektionsrichtung (y-Richtung) führt. Diese Kraftwirkung kann über eine geeignete Wahl der Überlappungslänge im Ruhezustand der feststehenden Korrektorelektroden **31**, **32** bzw. **41**, **42** zu den bewegten Korrektorelektroden **24**, **25** bzw. **26**, **27** minimiert werden. Alternativ kann die y-abhängige Kraftkomponente auch zu einer gewünschten Frequenzabstimmung von Anregungsfrequenz und Eigenfrequenz der Coriolismasse in der Detektionsrichtung genutzt werden.

[0046] Die Kraftwirkung ist direkt proportional zur Auslenkungsbewegung der Coriolismasse in x-Richtung, wodurch sie eine feste Phasenlage von 90° zur Geschwindigkeit der Anregung aufweist. Damit erfährt die Kraftwirkung aus der Korrektorelektrode keine Phasendrehung, wodurch ein Eintrag in den Bias verhindert wird. Dies bedeutet ferner, dass bei zeitweiser Änderung der Phasenlage in der Übertragungsfunktion von Anregungs- zu Auslesebewegung, die idealer Weise 90° sein sollte, aber nicht sein muss, die Korrekturkräfte sich phasengleich mit den Kräften für die Quadratur mitdrehen und somit die Kompensationswirkung erhalten bleibt.

[0047] Ein weiterer Aspekt ist der, dass beispielsweise bei einer Anordnung ähnlich der in [Fig. 4](#) gezeigten, jedoch mit zusätzlicher Kopplung der Coriolismassen bzw. Detektionsrahmen, durch Fertigungstoleranzen eine Situation eintreten kann, bei der kei-

ne Kompensation des Quadraturfehlers durch Auslenkung der Coriolismassen in y-Richtung möglich ist. Jedoch kann der Quadraturfehler immer mit der hier beschriebenen Form der Korrektorelektroden kompensiert werden.

[0048] Die Kraftkomponenten für die Reduzierung oder Kompensation des Quadraturfehlers sind nicht von der Überlappung der feststehenden Korrektorelektroden **31**, **32** bzw. **41**, **42** mit den beweglichen Korrektorelektroden **24**, **25** bzw. **26**, **27** abhängig. Daher können die Korrektoreinheiten **30** und **40** sehr klein ausgeführt werden. So ist die erforderliche minimale Überlappungslänge etwa doppelt so lang wie die Amplitude der Anregungsschwingung plus einer gewissen Länge zum Erreichen einer linear amplitudenabhängigen Kraftwirkung. So ist z. B. für Anregungsamplituden von etwa $10\ \mu\text{m}$ eine Überlappungslänge von ca. $15\ \mu\text{m}$ bei einer Gesamtlänge der Korrektorelektroden von 30 bis $35\ \mu\text{m}$ denkbar. Dies stellt in der Regel etwa ein Zehntel der Abmessung dar, die für die Frequenzabstimmung zwischen Antriebsfrequenz und Detektionseigenfrequenz erforderlich ist.

[0049] Wie in [Fig. 2](#) im Detail gezeigt, umfassen die paarweise vorhandenen Korrektoreinheiten **30**, **40** eine Mehrzahl feststehender Korrektorelektroden **31**, **32** bzw. **41**, **42** und eine Mehrzahl von bewegten Korrektorelektroden **24**, **25** bzw. **26**, **27**. Die feststehenden Korrektorelektroden **31**, **32** bzw. **41**, **42** sind jeweils über eine gemeinsame Ankerstruktur **33** bzw. **43** mechanisch starr mit dem Substrat verbunden, aber von diesem elektrisch isoliert.

[0050] Die Größe der Ankerstruktur kann dem Herstellungsverfahren des Corioliskreisels angepasst werden. Die Grundfläche der Ankerstruktur liegt im Bereich zwischen $2500\ \mu\text{m}^2$ und $0,04\ \text{mm}^2$. Prinzipiell sind möglichst kleine Ankerstrukturen erwünscht, da die Ankerstrukturen zusätzlichen Platzbedarf erzeugen und als Folge die Gesamtstruktur vergrößern. Die untere Grenze der Grundfläche wird von den technologischen Möglichkeiten sowie dem Herstellungsverfahren des Corioliskreisels bestimmt. Insbesondere kann die Ankerstruktur, beispielsweise wenn die Ankerstrukturen mit ihrer Unterlage durch Silicon-Fusion-Bonding (SFB) verbunden werden, mit einer Größe von mindestens $70 \times 70\ \mu\text{m}^2$ ausgeführt werden, ohne dass dadurch der Vorteil des kleinen Platzbedarfes für die Korrektorelektroden auf Grund ihrer nur geringen erforderlichen Überlappungslänge verloren geht. Durch die kurzen erforderlichen Gesamtlängen der Korrektorelektroden können diese, je nach Herstellungsverfahren, auch sehr schmal gehalten werden, beispielsweise bis etwa $5\ \mu\text{m}$ oder auch kleiner. Auch die minimale Breite der Korrektorelektroden wird von den technologischen Möglichkeiten begrenzt, wobei auch mechanische Aspekte (z. B. Verbiegung der Elektroden in der Anwendung,

Snap-in) eine Rolle spielen. Damit kann trotz einer relativ großen Ankerstruktur eine insgesamt kleine Größe der Korrekturereinheiten **30** und **40** erreicht werden. Eine wie oben aufgeführte Größe der Ankerstruktur ist insbesondere für ein Herstellungsverfahren, bei dem ein Silicon-Fusion-Bondverfahren zum Verbinden von vom Substrat getrennt erzeugten feststehenden Strukturen, wie der Ankerstrukturen und der feststehenden Korrekturielektroden, mit dem Substrat genutzt wird, von Vorteil. Jedoch können die feststehenden Strukturen auch durch einen Ätzprozess direkt im Substrat oder in einer auf dem Substrat aufgetragenen Schicht erzeugt werden.

[0051] Die ersten feststehenden Korrekturielektroden **31** bzw. **41** erstrecken sich von der Ankerstruktur **33** bzw. **43** aus in eine erste Richtung (positive x-Richtung), während sich die zweiten feststehenden Korrekturielektroden **32** bzw. **42** von der Ankerstruktur **33** bzw. **43** aus in eine zweite Richtung (negative x-Richtung) erstrecken. Die zweite Richtung ist der ersten Richtung entgegengesetzt. Die ersten bewegten Korrekturielektroden **24** bzw. **26** erstrecken sich von der Coriolismasse **20** aus in die zweite Richtung, während sich die zweiten bewegten Korrekturielektroden **25** bzw. **27** von der Coriolismasse **20** aus in die erste Richtung erstrecken. Damit erstrecken sich die ersten bewegten Korrekturielektroden **24** bzw. **26** in die zwischen den einzelnen ersten feststehenden Korrekturielektroden **31** bzw. **41** ausgebildeten Zwischenräume, während sich die zweiten bewegten Korrekturielektroden **25** bzw. **27** in die zwischen den einzelnen zweiten feststehenden Korrekturielektroden **32** bzw. **42** ausgebildeten Zwischenräume erstrecken. Es ergibt sich eine kammartige Struktur der Korrekturielektroden, in der jeweils eine feststehende Korrekturielektrode und eine bewegte Korrekturielektrode einander gegenüber liegen und voneinander in y-Richtung durch einen Spalt getrennt sind.

[0052] In einer Korrekturereinheit ist die Anzahl der feststehenden Korrekturielektroden und der bewegten Korrekturielektroden, die sich in die erste Richtung erstrecken, vorzugsweise gleich der Anzahl der feststehenden Korrekturielektroden und der bewegten Korrekturielektroden, die sich in die zweite Richtung erstrecken.

[0053] Jeweils eine der feststehenden Korrekturielektroden **31**, **32** bzw. **41**, **42** ist genau einer der beweglichen Korrekturielektroden **24**, **25** bzw. **26**, **27** zugeordnet. Ein Teil der Coriolismasse **20** wirkt als bewegliche Korrekturielektrode, die einer feststehenden Korrekturielektrode zugeordnet ist. Beispielsweise wirkt in der ersten Korrekturereinheit **30** der linke obere Teil der Coriolismasse **20** als bewegte Korrekturielektrode bezüglich der obersten feststehenden Korrekturielektrode **32**, während der rechte untere Teil der Coriolismasse **20** als bewegte Kor-

rekturielektrode bezüglich der untersten feststehenden Korrekturielektrode **31** wirkt. Der Abstand zwischen einer feststehenden Korrekturielektrode und der ihr zugeordneten bewegten Korrekturielektrode, im Folgenden „Spaltabstand“ genannt, ist kleiner als der Abstand zwischen zwei gleichartigen feststehenden Korrekturielektroden oder zwei gleichartigen bewegten Korrekturielektroden und kleiner als der Abstand der jeweiligen feststehenden Korrekturielektrode zu einer anderen benachbarten bewegten Korrekturielektrode. Durch die antisymmetrische Anordnung der bewegten Korrekturielektroden **24** und **26** sowie der bewegten Korrekturielektroden **25** und **27** zu den entsprechenden feststehenden Korrekturielektroden **31** und **41** sowie **32** und **42** wird bei Anliegen einer Gleichspannung eine Kraft erzeugt, die direkt proportional zur Auslenkung der Korrekturielektroden entlang der ersten Achse (x-Achse) ist. Die zur x-Achse gespiegelt angeordneten Korrekturereinheiten **30** und **40** erlauben eine vorzeichenabhängige Kompensation der Quadratur. Die unterschiedlichen Abstände einer bewegten Korrekturielektrode **24**, **25**, **26** bzw. **27** zu den ihr benachbarten feststehenden Korrekturielektroden **31**, **32**, **41** bzw. **42** sind fertigungstechnologisch bedingt und ermöglichen minimalen Flächen für die Ankerstrukturen. Darüber hinaus geben sie die Orientierung der Quadraturkompensation mit vor.

[0054] In der Korrekturereinheit **30** sind jeweils die sich in die erste Richtung erstreckenden feststehenden Korrekturielektroden oberhalb der ihnen zugeordneten bewegten Korrekturielektroden angeordnet, während die sich in die zweite Richtung erstreckenden feststehenden Korrekturielektroden unterhalb der ihnen zugeordneten bewegten Korrekturielektroden angeordnet sind. Dabei bedeutet „oberhalb“ von der zugeordneten bewegten Korrekturielektrode aus in eine dritte Richtung (positive y-Richtung), während „unterhalb“ von der zugeordneten bewegten Korrekturielektrode aus in eine vierte Richtung (negative y-Richtung), die der dritten Richtung entgegengesetzt ist, bedeutet. Die dritte und vierte Richtung verlaufen entlang der zweiten Achse (y-Achse) senkrecht zu der ersten und der zweiten Richtung.

[0055] In der beispielhaften Ausführung von [Fig. 2](#) ist die Anordnung der feststehenden und bewegten Korrekturielektroden zueinander in der Korrekturereinheit **40** bezüglich der x-Achse spiegelsymmetrisch ausgeführt.

[0056] Die feststehenden Korrekturielektroden der zweiten Korrekturereinheit **40** sind bezüglich der ihnen zugeordneten bewegten Korrekturielektroden genau entgegengesetzt zu der Anordnung in der ersten Korrekturereinheit **30** angeordnet. Die aus der zweiten Korrekturereinheit **40** resultierende Kraft ist bei einer beliebigen angelegten Spannung und einer Bewegung der Coriolismasse **20** entlang der ersten Achse (x-Achse)

invertiert orientiert zu der resultierenden Kraft aus der ersten Korrekturereinheit **30**.

[0057] Erfindungsgemäß weist die Coriolismasse **20** beide Korrekturereinheiten **30** und **40** in der in [Fig. 2](#) dargestellten invertierten Anordnung zueinander auf. Unerheblich ist dabei, ob die Korrekturereinheit **30** oberhalb oder unterhalb von **40** positioniert ist (in y-Richtung) oder ob jede Korrekturereinheit in sich in y-Richtung invertiert ist (um x-Achse gespiegelt). Die jeweilige Anordnung hat lediglich Einfluss auf die Beaufschlagung der Korrekturereinheit mit einer Spannung.

[0058] Umfasst der Corioliskreisler weitere Korrekturereinheiten, so können diese mit einer gleichen Konstantspannung, mit Spannungen gleichen Betrags und unterschiedlicher Polarität, mit Spannungen gleicher Polarität und unterschiedlichem Betrag oder mit vollständig unterschiedlicher Spannung und Polarität beaufschlagt werden. Es kann auch nur eine der Korrekturereinheiten mit einer Gleichspannung beaufschlagt werden. Andere Korrekturereinheiten können geerdet sein oder floaten.

[0059] [Fig. 3](#) zeigt ein Detail einer weiteren Ausführungsform, bei der die erste Korrekturereinheit und die zweite Korrekturereinheit jeweils doppelt vorhanden sind. [Fig. 3](#) zeigt einen Ausschnitt aus der Coriolismasse **20** ähnlich wie [Fig. 2](#). Der Corioliskreisler weist in dieser Ausführungsform vier Korrekturereinheiten **301**, **302**, **401** und **402** auf. Die Korrekturereinheiten **301** und **302** sind gleichartig ausgebildet und entsprechen jeweils einer ersten Korrekturereinheit **30**, wie sie in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Die Korrekturereinheiten **401** und **402** sind ebenfalls gleichartig ausgebildet und entsprechen jeweils einer zweiten Korrekturereinheit **40**, wie sie in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Die Korrekturereinheiten **301** und **302** sind invertiert zu den Korrekturereinheiten **401** und **402** ausgebildet. Die Korrekturereinheiten **301** und **401** bilden ein erstes Paar von invertiert zueinander ausgebildeten Korrekturereinheiten, während die Korrekturereinheiten **302** und **402** ein zweites Paar von invertiert zueinander ausgebildeten Korrekturereinheiten bilden.

[0060] Die Korrekturereinheiten **301** und **302** können mit gegensätzlich orientierten Konstantspannungen mit demselben Betrag beaufschlagt werden. Gleiches gilt für die Korrekturereinheiten **401** und **402**. Dies reduziert elektrische Einkoppeleffekte, wie beispielsweise Ausgleichsströme. Dieser Effekt wirkt sich sowohl im Open-Loop-Verfahren positiv aus, wirkt aber auch im Closed-Loop-Verfahren aufgrund der immer vorhandenen Restbewegung durch die Regelung.

[0061] Ein Effekt eines erfindungsgemäßen Corioliskreislers ist dessen Unabhängigkeit von der Ausgestaltung der Federelemente **21**. Da die Coriolismasse **20** nicht ausgelenkt oder gedreht werden muss, kön-

nen verschiedene Arten von Federelementen **21** zum Einsatz kommen. Insbesondere können die Federelemente **21** beschleunigungsunempfindlich gestaltet werden, wodurch der Corioliskreisler eine höhere Vibrationsunempfindlichkeit erhält. Das Quadratursignal wird dann nur von der Schrägstellung der Federelemente **21** bestimmt, nicht aber von deren Auslenkung bzw. deren Belastung durch die Beschleunigungskräfte aus der Anregungsschwingung.

[0062] Ein weiterer deutlicher Vorteil ist dadurch gegeben, dass pro Korrekturereinheit nur eine zusammenhängende Ankerstruktur erforderlich ist, wodurch das Design und der Herstellungsprozess vereinfacht werden.

[0063] Die beschriebenen Korrekturereinheiten lassen sich für Systeme aus einem oder mehreren Schwingern und für Systeme einsetzen, die bezüglich der Antriebsbewegung und/oder der Detektionsbewegung vollständig abgeschlossen, teilweise abgeschlossen oder offen sind. Eine abgeschlossene Bewegung bedeutet in diesem Sinne, dass sich die aus der Bewegung ergebenden Beschleunigungen und Momente nach außen aufheben.

[0064] Solche Korrekturereinheiten lassen sich auch in gekoppelten Systemen aus mehreren Corioliskreisler einsetzen, wobei die Anordnung der einzelnen Corioliskreisler für die Funktionsweise der Korrekturereinheiten unerheblich ist. Beispielsweise kann bei einem gekoppelten System aus zwei Corioliskreisler die Anregungsbewegung des einen Corioliskreislers **180** Grad phasenverschoben zur Anregungsbewegung des anderen Corioliskreislers sein. Bei einer Anordnung aus vier Corioliskreisler, bei denen die Anregungsbewegung von jeweils zwei Corioliskreisler **180** Grad phasenverschoben zueinander sind, können die einzelnen Corioliskreisler beispielsweise in Reihe angeordnet sein oder paarweise untereinander. Die Korrekturereinheiten bzw. deren Untereinheiten können in Systemen mit fester Kopplung in der Detektion beliebig auf verschiedene Coriolismassen aufgeteilt werden. Damit kann die Anzahl der Leiterbahnen, die einem Corioliskreisler zugeführt werden müssen, reduziert werden.

[0065] In [Fig. 4](#) ist ein solches gekoppeltes System in einer Ausführungsform dargestellt. Das gekoppelte System umfasst beispielsweise genau zwei Corioliskreisler **100** und **200**, die jeweils entsprechend der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform ausgebildet und über ein mechanisches Kopplungselement **300**, beispielsweise eine Feder, bezüglich der Anregungsbewegung miteinander gekoppelt sind. Dabei sind gleichartige Bauteile der jeweiligen Corioliskreisler mit entsprechenden Bezugszeichen versehen, die mit Bezug auf [Fig. 1](#) erläutert wurden. Jeder Corioliskreisler **100** oder **200** weist in der in [Fig. 4](#)

dargestellten Version je paarweise die Korrekturereinheiten **130** und **140** bzw. **230** und **240** auf.

[0066] Bei einer Ausführungsform, die die beiden Coriolismassen **120** und **220** in ihrer Bewegungsmöglichkeit in y-Richtung koppelt, ist es auch möglich, dass der erste Corioliskreisel **100** nur die Korrekturereinheit **130** aufweist, während der zweite Corioliskreisel **200** nur die Korrekturereinheit **240** aufweist, oder nur einer der Corioliskreisel, **100**, beide Korrekturereinheiten **130** und **140** aufweist und der andere Corioliskreisel, beispielsweise der Corioliskreisel **200**, keine Korrekturereinheit.

[0067] Wie mit Bezug auf [Fig. 1](#) beschrieben, werden die Korrekturereinheiten **130**, **140**, **230** bzw. **240** durch mindestens eine Steuereinheit (nicht dargestellt) im einfachsten Fall jeweils mit einer konstanten Korrekturspannung beaufschlagt. Dabei sind die feststehenden Korrekturielektroden der Korrekturereinheiten **130**, **140**, **230** bzw. **240** über elektrische Verbindungsleitungen mit der mindestens einen Steuereinheit verbunden.

Patentansprüche

1. Corioliskreisler (1) mit

- einem Massensystem, das zu Schwingungen parallel zu einer ersten Achse anregbar ist, wobei eine Auslenkung des Massensystems aufgrund einer Corioliskraft entlang einer zweiten Achse, die senkrecht zu der ersten Achse vorgesehen ist, nachweisbar ist,
 - mit mindestens einer ersten Korrekturereinheit (**30**) und einer zweiten Korrekturereinheit (**40**), die jeweils eine Mehrzahl von feststehenden Korrekturielektroden (**31**, **32**, **41**, **42**) und bewegten Korrekturielektroden (**24**, **25**, **26**, **27**) umfassen, wobei die feststehenden Korrekturielektroden (**31**, **32**, **41**, **42**) sich in Richtung der ersten Achse erstrecken und fest über zugehörige Ankerstrukturen (**33**, **43**) mit dem Substrat verbunden sind und die bewegten Korrekturielektroden (**24**, **25**, **26**, **27**) einen Teil des Massensystems bilden, wobei jeder feststehenden Korrekturielektrode (**31**, **32**, **41**, **42**) eine bewegte Korrekturielektrode (**24**, **25**, **26**, **27**) zugeordnet ist, wobei der Abstand der jeweiligen feststehenden Korrekturielektrode (**31**, **32**, **41**, **42**) zu der ihr zugeordneten bewegten Korrekturielektrode (**24**, **25**, **26**, **27**) kleiner als der Abstand der jeweiligen feststehenden Korrekturielektrode (**31**, **32**, **41**, **42**) zu einer anderen benachbarten bewegten Korrekturielektrode (**24**, **25**, **26**, **27**) ist, und
 - mindestens einer Steuereinheit (**50**, **60**), die mit den Korrekturereinheiten (**30**, **40**) elektrisch verbunden ist und geeignet ist, diese mit zumindest zeitweise konstanten Korrekturspannungen zu beaufschlagen, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - sich erste feststehende Korrekturielektroden (**31**, **41**) von den zugehörigen Ankerstrukturen (**33**, **43**) aus in eine erste Richtung entlang der ersten Achse und zweite feststehende Korrekturielektroden (**32**, **42**)

- sich erste bewegte Korrekturielektroden (**24**, **26**) von dem Massensystem aus in die zweite Richtung entlang der ersten Achse und zweite bewegte Korrekturielektroden (**25**, **27**) von dem Massensystem aus in die erste Richtung entlang der ersten Achse erstrecken, und

- sich erste bewegte Korrekturielektroden (**24**, **26**) von dem Massensystem aus in die zweite Richtung entlang der ersten Achse und zweite bewegte Korrekturielektroden (**25**, **27**) von dem Massensystem aus in die erste Richtung entlang der ersten Achse erstrecken,

- in der ersten Korrekturereinheit (**30**) jede erste feststehende Korrekturielektrode (**31**) von der ihr zugeordneten ersten bewegten Korrekturielektrode (**24**) aus gesehen in einer dritten Richtung entlang der zweiten Achse angeordnet ist, während jede zweite feststehende Korrekturielektrode (**32**) von der ihr zugeordneten zweiten bewegten Korrekturielektrode (**25**) aus gesehen in einer vierten Richtung entlang der zweiten Achse angeordnet ist, wobei die vierte Richtung der dritten Richtung entgegengesetzt ist, und

- in der zweiten Korrekturereinheit (**40**) jede erste feststehende Korrekturielektrode (**41**) von der ihr zugeordneten ersten bewegten Korrekturielektrode (**26**) aus gesehen in der vierten Richtung entlang der zweiten Achse angeordnet ist, während jede zweite feststehende Korrekturielektrode (**42**) von der ihr zugeordneten zweiten bewegten Korrekturielektrode (**27**) aus gesehen in der dritten Richtung entlang der zweiten Achse angeordnet ist.

2. Corioliskreisler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Massensystem des Corioliskreislers (1) aus einer ersten Teilmasse (10) und einer zweiten Teilmasse (20) besteht, wobei eine Auslenkung der zweiten Teilmasse (20) durch die Corioliskraft nachweisbar ist, und wobei die bewegten Korrekturielektroden (**24**, **25**, **26**, **27**) ein integraler Bestandteil der zweiten Teilmasse (20) sind.

3. Corioliskreisler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auslenkung des Massensystems durch die Corioliskraft über das Erzeugen von Rückstellkräften zur Kompensation der Auslenkung nachweisbar ist.

4. Corioliskreisler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Mehrzahl der feststehenden Korrekturielektroden (**31**, **32**, **41**, **42**) eine jeweils gleiche Anzahl von ersten feststehenden Korrekturielektroden (**31**, **41**) und von zweiten feststehenden Korrekturielektroden (**32**, **42**) aufweist, und
- die Mehrzahl der bewegten Korrekturielektroden (**24**, **25**, **26**, **27**) eine jeweils gleiche Anzahl von ersten

bewegten Korrektorelektroden (**24, 26**) und von zweiten bewegten Korrektorelektroden (**25, 27**) aufweist.

5. Corioliskreisel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Corioliskreisel (**1**) mehrere gleichartig ausgebildete erste Korrektoreinheiten (**30**) und/oder mehrere gleichartig ausgebildete zweite Korrektoreinheiten (**40**) umfasst.

6. Corioliskreisel nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Corioliskreisel (**1**) eine gleiche Anzahl von ersten und zweiten Korrektoreinheiten (**30, 40**) umfasst,

7. Corioliskreisel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die feststehenden Korrektorelektroden (**31, 32, 41, 42**) und/oder die bewegten Korrektorelektroden (**24, 25, 26, 27**) jeweils eine Breite von maximal 10 µm aufweisen.

8. System mit

- mindestens zwei Corioliskreisel (**100, 200**), die jeweils ein Massensystem umfassen, das zu Schwingungen parallel zu einer ersten Achse anregbar ist, wobei eine Auslenkung des Massensystems aufgrund einer Corioliskraft entlang einer zweiten Achse, die senkrecht zu der ersten Achse vorgesehen ist, nachweisbar ist, und die miteinander gekoppelt sind,
- mindestens einer ersten Korrektoreinheit (**130, 230**) und mindestens einer zweiten Korrektoreinheit (**140, 240**), die jeweils eine Mehrzahl von feststehenden Korrektorelektroden (**31, 32, 41, 42**) und bewegten Korrektorelektroden (**24, 25, 26, 27**) umfassen, wobei die feststehenden Korrektorelektroden (**31, 32, 41, 42**) sich in Richtung der ersten Achse erstrecken und fest über zugehörige Ankerstrukturen (**33, 43**) mit dem Substrat verbunden sind und die bewegten Korrektorelektroden (**24, 25, 26, 27**) einen Teil des Massensystems von mindestens einem der mindestens zwei Corioliskreisel (**100, 200**) bilden, wobei jeder feststehenden Korrektorelektrode (**31, 32, 41, 42**) eine bewegte Korrektorelektrode (**24, 25, 26, 27**) zugeordnet ist, wobei der Abstand der jeweiligen feststehenden Korrektorelektrode (**31, 32, 41, 42**) zu der ihr zugeordneten bewegten Korrektorelektrode (**24, 25, 26, 27**) kleiner als der Abstand der jeweiligen feststehenden Korrektorelektrode (**31, 32, 41, 42**) zu einer anderen benachbarten bewegten Korrektorelektrode (**24, 25, 26, 27**) ist, und
- mindestens einer Steuereinheit (**50, 60**), die mit den Korrektoreinheiten (**130, 140, 230, 240**) elektrisch verbunden ist und geeignet ist, diese mit zumindest zeitweise konstanten Korrekturspannungen zu beaufschlagen, dadurch gekennzeichnet, dass
- sich erste feststehende Korrektorelektroden (**31, 41**) von den zugehörigen Ankerstrukturen (**33, 43**) aus in eine erste Richtung entlang der ersten Achse und zweite feststehende Korrektorelektroden (**32, 42**) von den zugehörigen Ankerstrukturen (**33, 43**) aus in eine zweite Richtung entlang der ersten Achse er-

strecken, wobei die zweite Richtung entgegengesetzt zur ersten Richtung ist und wobei sich die ersten und zweiten feststehenden Korrektorelektroden ein und derselben Korrektoreinheit (**130, 140, 230, 240**) jeweils von einer gemeinsamen Ankerstruktur (**33, 43**) aus erstrecken, und

- sich erste bewegte Korrektorelektroden (**24, 26**) von dem Massensystem aus in die zweite Richtung entlang der ersten Achse und zweite bewegte Korrektorelektroden (**25, 27**) von dem Massensystem aus in die erste Richtung entlang der ersten Achse erstrecken,

- in der ersten Korrektoreinheit (**130, 230**) jede erste feststehende Korrektorelektrode (**31**) von der ihr zugeordneten ersten bewegten Korrektorelektrode (**24**) aus gesehen in einer dritten Richtung entlang der zweiten Achse angeordnet ist, während jede zweite feststehende Korrektorelektrode (**32**) von der ihr zugeordneten zweiten bewegten Korrektorelektrode (**25**) aus gesehen in einer vierten Richtung entlang der zweiten Achse angeordnet ist, wobei die vierte Richtung der dritten Richtung entgegengesetzt ist, und

- in der zweiten Korrektoreinheit (**140, 240**) jede erste feststehende Korrektorelektrode (**41**) von der ihr zugeordneten ersten bewegten Korrektorelektrode (**26**) aus gesehen in der vierten Richtung entlang der zweiten Achse angeordnet ist, während jede zweite feststehende Korrektorelektrode (**42**) von der ihr zugeordneten zweiten bewegten Korrektorelektrode (**27**) aus gesehen in der dritten Richtung entlang der zweiten Achse angeordnet ist.

9. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Mehrzahl der feststehenden Korrektorelektroden (**31, 32, 41, 42**) eine jeweils gleiche Anzahl von ersten feststehenden Korrektorelektroden (**31, 41**) und von zweiten feststehenden Korrektorelektroden (**32, 42**) aufweist, und

- die Mehrzahl der bewegten Korrektorelektroden (**24, 25, 26, 27**) eine jeweils gleiche Anzahl von ersten bewegten Korrektorelektroden (**24, 26**) und von zweiten bewegten Korrektorelektroden (**25, 27**) aufweist.

10. System nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass

- die mindestens zwei Corioliskreisel (**100, 200**) miteinander bezüglich einer Anregungsbewegung, die das Massensystem zu Schwingungen parallel zu der ersten Achse anregt, gekoppelt sind, und

- jeder Corioliskreisel (**100, 200**) mindestens eine erste Korrektoreinheit (**130, 230**) und mindestens eine zweite Korrektoreinheit (**140, 240**) umfasst.

11. System nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass

- mindestens eine erste Korrektoreinheit (**130**) eines ersten Corioliskreisels (**100**) gleichartig bezüglich

mindestens einer ersten Korrekturereinheit (**230**) eines zweiten Corioliskreisels (**200**) ausgestaltet ist, und
– mindestens eine zweite Korrekturereinheit (**140**) des ersten Corioliskreisels (**100**) gleichartig bezüglich mindestens einer zweiten Korrekturereinheit (**240**) des zweiten Corioliskreisels (**200**) ausgestaltet ist.

12. System nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass

– die mindestens zwei Corioliskreisel (**100, 200**) miteinander bezüglich einer Detektion der Auslenkung des Massensystems aufgrund der Corioliskraft, die entlang der zweiten Achse wirkt, gekoppelt sind, und
– mindestens einer der Corioliskreisel (**100, 200**) mindestens eine erste Korrekturereinheit (**130, 230**) und mindestens einer der Corioliskreisel (**100, 200**) mindestens eine zweite Korrekturereinheit (**140, 240**) umfasst.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

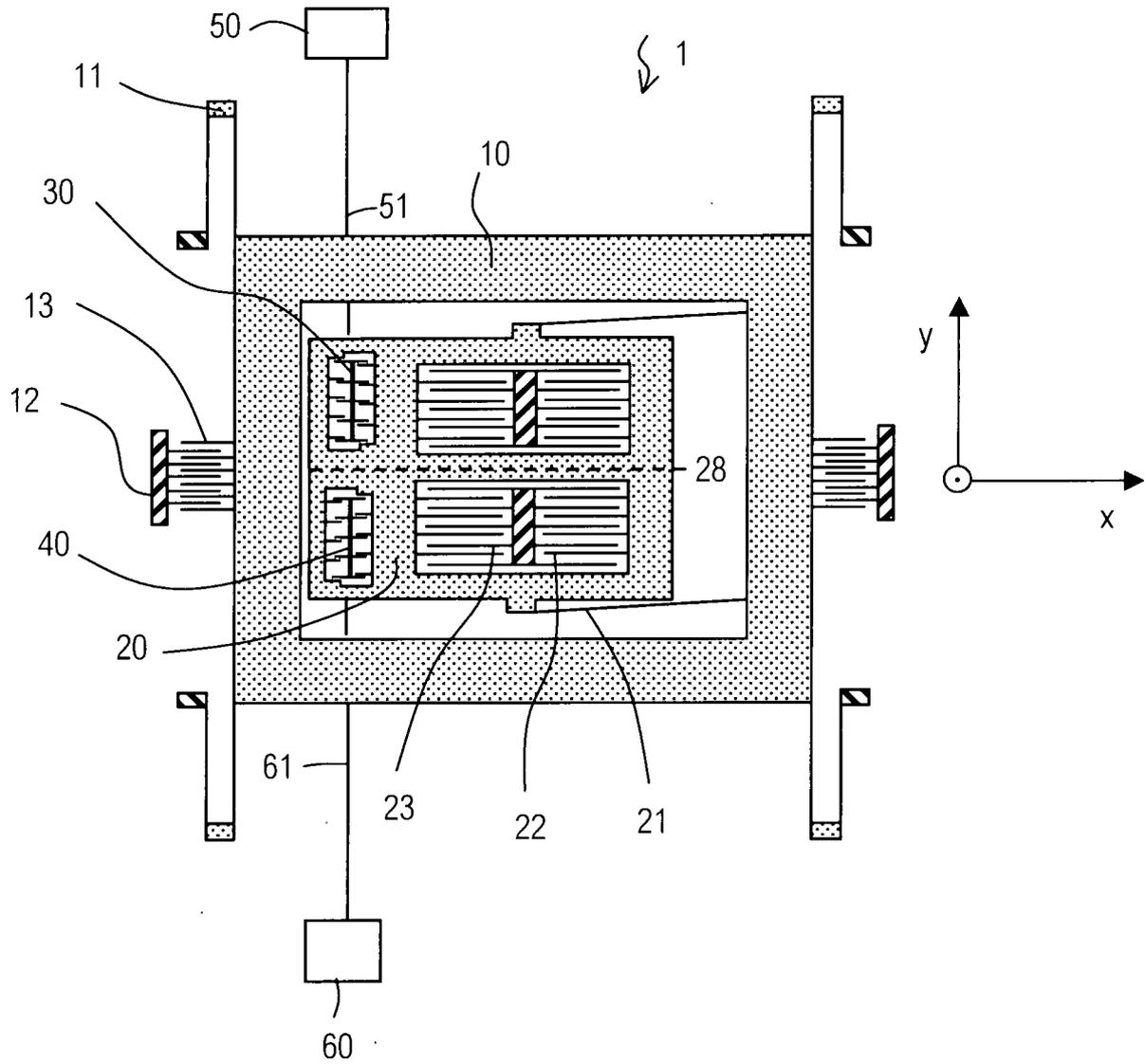


Fig. 1

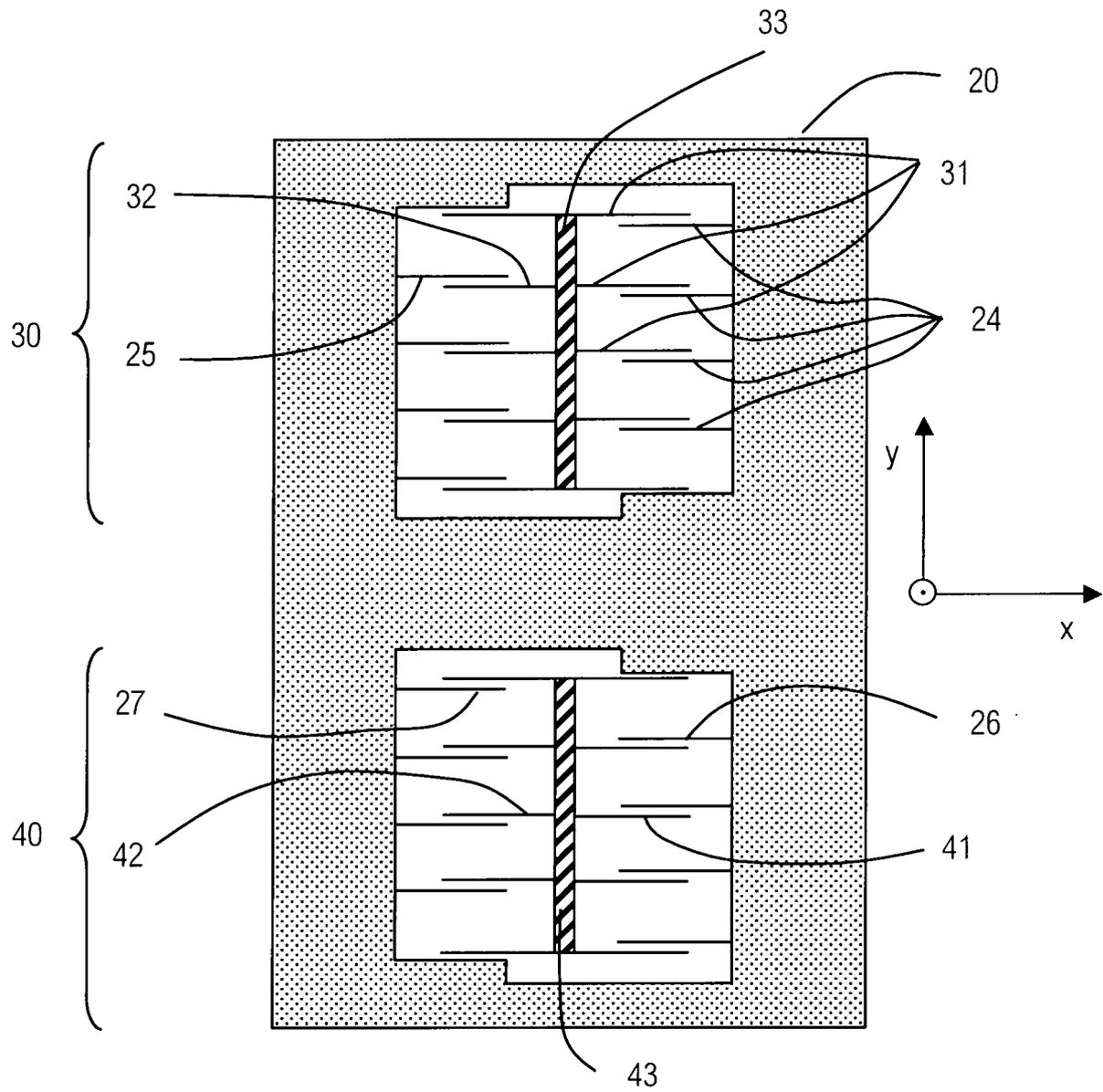


Fig. 2

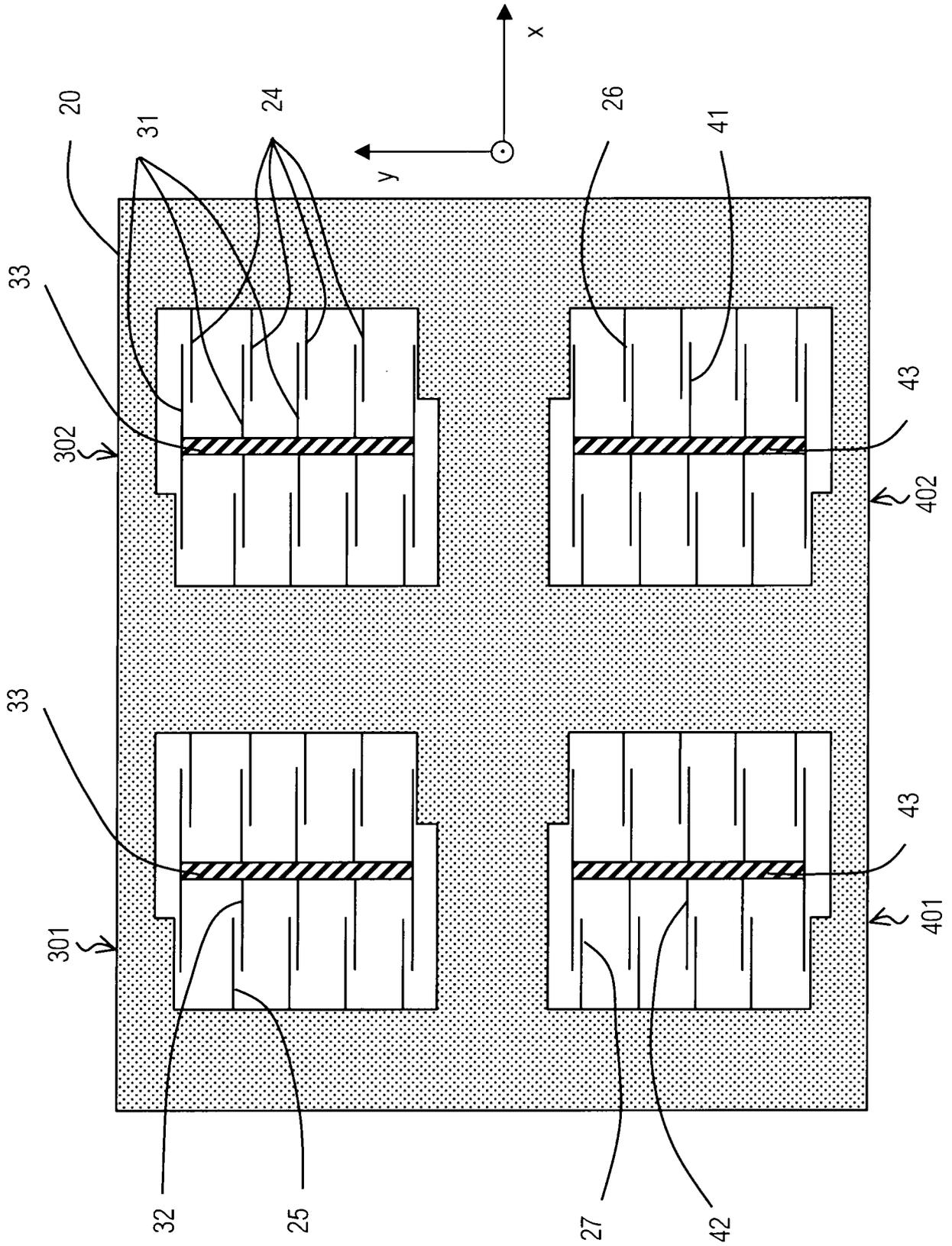


Fig. 3

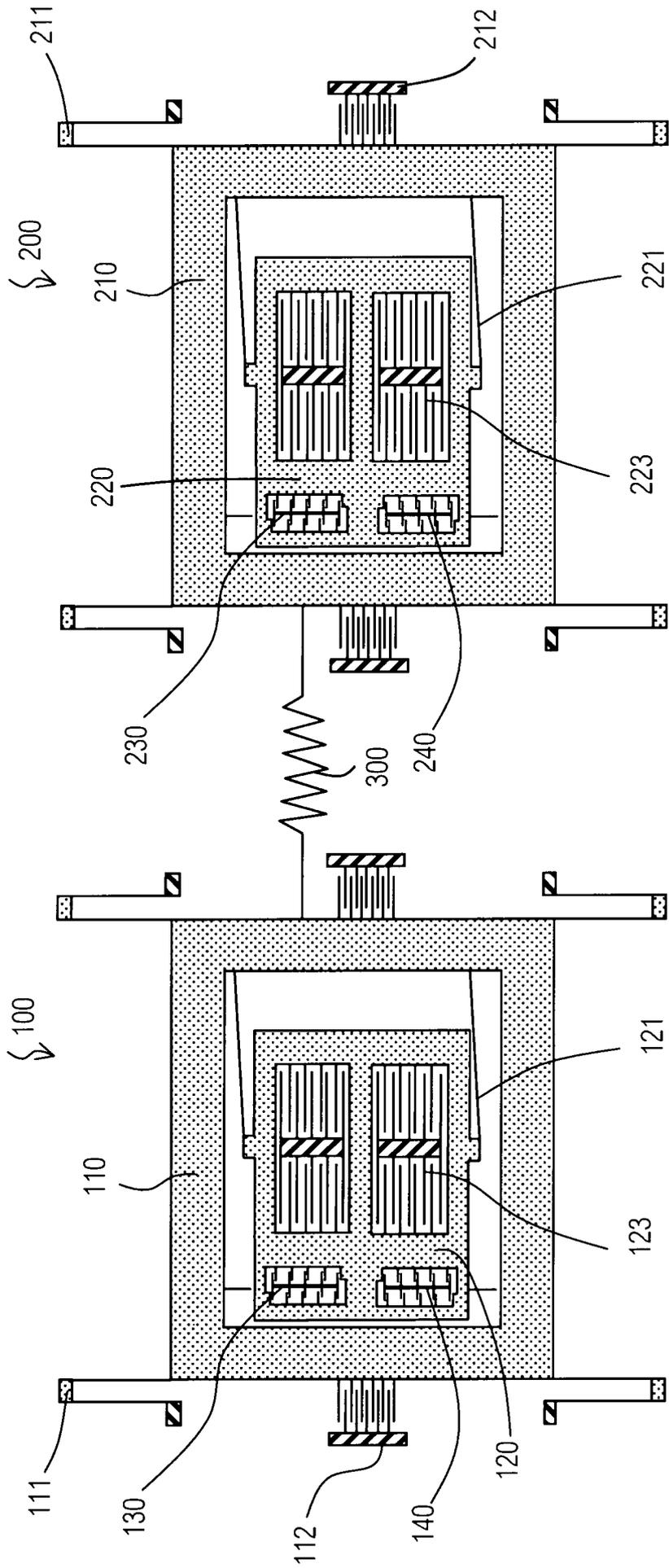


Fig. 4