



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 213 870.7**  
 (22) Anmeldetag: **28.07.2016**  
 (43) Offenlegungstag: **24.05.2017**

(51) Int Cl.: **G01C 19/5733 (2012.01)**  
**G01C 19/5769 (2012.01)**  
**B81B 7/02 (2006.01)**  
**B81C 1/00 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:  
**10 2015 222 943.2**    **20.11.2015**

(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

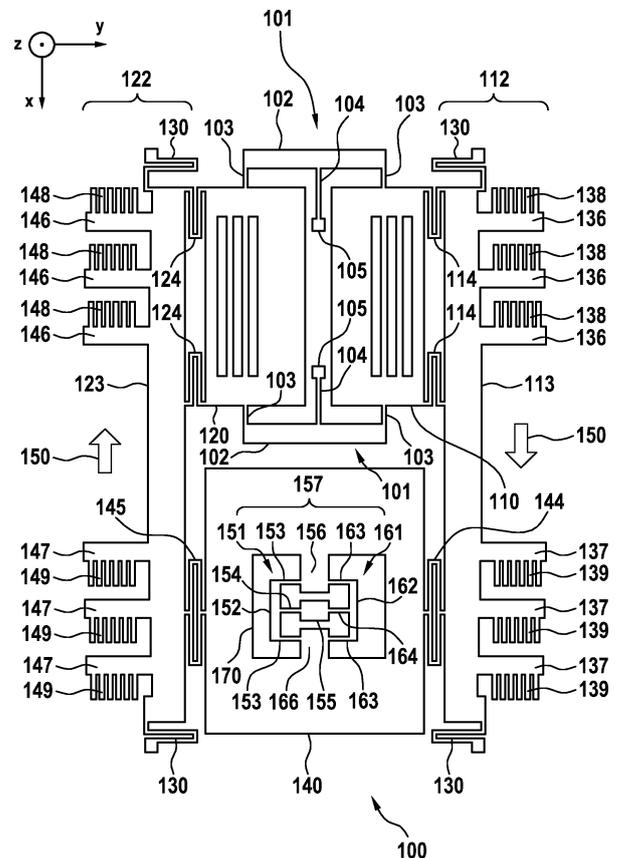
(72) Erfinder:  
**Neul, Reinhard, 70567 Stuttgart, DE; Ohms,  
 Torsten, 71665 Vaihingen, DE; Maul, Robert,  
 75181 Pforzheim, DE; Hattass, Mirko, 70191**

**Stuttgart, DE; Hoepfner, Christian, 70197  
 Stuttgart, DE; Pruetz, Odd-Axel, 72622 Nürtingen,  
 DE; Schmidt, Benjamin, 70499 Stuttgart, DE;  
 Scheben, Rolf, 72762 Reutlingen, DE; Heuck,  
 Friedjof, 70193 Stuttgart, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Mikromechanischer Drehratensensor und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen mikromechanischen Drehratensensor (100), der einen Rotationsschwinger (140) mit einem Rotationsschwinglager (157) aufweist. Das Rotationsschwinglager (157) umfasst einen Wippbalken (152), einen Wippfederstab (154), der den Wippbalken (152) federnd mit einem Substrat des Drehratensensors (100) verbindet, und zwei Lagerungsfederstäbe (153), die auf entgegengesetzten Seiten des Wippfederstabs (154) den Wippbalken (152) federnd mit dem Rotationsschwinger (140) verbinden. Unter einem weiteren Gesichtspunkt wird ein Verfahren zum Herstellen eines derartigen mikromechanischen Drehratensensors (100) bereitgestellt.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen mikromechanischen Drehratensensor, insbesondere auf einen Drehratensensor mit einem Rotationsschwinger. Unter einem weiteren Gesichtspunkt bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Herstellen eines derartigen mikromechanischen Drehratensensors.

### Stand der Technik

**[0002]** Mikromechanische Drehratensensoren werden im Automobilbereich z.B. in ESP-Systemen, zur Überrollsensierung oder zu Navigationszwecken eingesetzt. Die Aufgabe des Drehratensensors ist die korrekte Messung der Fahrzeugbewegung um eine Drehachse.

**[0003]** Die Druckschrift DE 10 2009 027 897 A1 offenbart einen mikromechanischen Drehratensensor mit einem scheibenförmigen Rotationsschwinger, der sich in der durch ein Chipsubstrat definierten x-y-Ebene erstreckt und der in eine rotierende Oszillation um eine senkrecht auf dieser Ebene stehenden Drehachse (z-Achse) versetzt wird. Der Rotationsschwinger ist über vier Federn mit einer Nabe verbunden. Die Federn sind in einer kreisförmigen mittigen Aussparung des Rotationsschwingers, in welchen die Nabe hineinragt, angeordnet. Das dem Rotationsschwinger entgegen gerichtete Ende der Nabe ist fest am Substrat angeordnet.

**[0004]** Erfährt der Drehratensensor während einer Drehbewegung des Schwingkörpers um die Schwingachse eine Drehung um eine sensitive Achse (z.B. x-Achse) des Drehratensensors, so wirken auf die Schwingachse Corioliskräfte, welche eine Verkippung des Schwingkörpers gegenüber einer Oberfläche des Substrats bewirken. Die Verkippung des Rotationsschwingers kann mit Hilfe von Messelektroden kapazitiv detektiert und ausgewertet werden.

**[0005]** Für eine zuverlässige Erfassung der Drehrate ist es wünschenswert, bei geringer Baugröße die durch einen Schwingantrieb auf den Rotationsschwinger übertragene rotierende Oszillation weitestmöglich von der durch die Corioliskräfte hervorgerufenen Verkippung zu entkoppeln.

### Offenbarung der Erfindung

**[0006]** Die vorliegende Erfindung schafft gemäß einem ersten Aspekt einen mikromechanischen Drehratensensor, der einen Rotationsschwinger mit einem Rotationsschwinglager aufweist. Das Rotationsschwinglager umfasst einen Wippbalken, einen Wippfederstab, der den Wippbalken federnd mit einem Substrat des Drehratensensors verbindet, und

zwei Lagerungsfederstäbe, die auf entgegengesetzten Seiten des Wippfederstabs den Wippbalken federnd mit dem Rotationsschwinger verbinden.

**[0007]** Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Drehratensensors mit einem Rotationsschwinger, welches das Ausbilden eines Rotationsschwinglagers einschließt. Das Ausbilden des Rotationsschwinglagers umfasst die Schritte: Ausbilden eines Wippbalkens; Federndes Verbinden des Wippbalkens und eines Substrats des Drehratensensors mittels eines Wippfederstabs; und Federndes Verbinden des Wippbalkens und des Rotationsschwingers mittels zweier Lagerungsfederstäbe auf entgegengesetzten Seiten des Wippfederstabs.

### Vorteile der Erfindung

**[0008]** Die Struktur des Rotationsschwinglagers ermöglicht bei kompakter Bauweise eine hochgradig lineare Antriebsmode, bei der Störmoden (durch Kopplung vom Antrieb auf eine detektierbare Verkippung des Rotationsschwingers übertragene unerwünschte Schwingungen) bei Frequenzen auftreten, die wesentlich höher sind als die Antriebsfrequenz, sodass aufgrund der Störmoden einem detektierten Verkippungssignal gegebenenfalls überlagerte Störungen durch einfache Maßnahmen wie z.B. Tiefpassfilterung mit einer Grenzfrequenz oberhalb der Antriebsfrequenz zuverlässig unterdrückt werden können.

**[0009]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung verläuft der Wippfederstab senkrecht zum Wippbalken. Dies ermöglicht eine besonders zuverlässige Detektion der Verkippung des Rotationsschwingers durch gleichmäßigen Antrieb der schwingenden Oszillation mit großer Amplitude.

**[0010]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung sind die Lagerungsfederstäbe symmetrisch auf den entgegengesetzten Seiten des Wippfederstabs ausgebildet. Hierdurch wird in der Antriebsmode eine besonders gleichmäßige, harmonische Rotationsschwingung ermöglicht.

**[0011]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung verlaufen die Lagerungsfederstäbe parallel zum Wippfederstab. Dies ermöglicht, die Lagerungsfederstäbe in einer gleichen Kristallrichtung des Substrats wie den Wippfederstab auszubilden, um auf diese Weise eine Kopplung zwischen der Antriebsmode und der Detektionsmode besonders zuverlässig zu unterdrücken.

**[0012]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung umfasst der Drehratensensor ferner eine erste Antriebsmasse, die neben dem Rotationsschwinger angeordnet und über eine erste Feder an den Rotationsschwinger gekoppelt ist, sowie eine zweite An-

triebsmasse, die neben dem Rotationsschwinger angeordnet und über eine zweite Feder an den Rotationsschwinger gekoppelt ist, wobei der Wipffederstab sich entlang einer Verbindungsgerade zwischen der ersten und zweiten Feder erstreckt. Dies ermöglicht eine Detektionsmode, bei welcher der Rotationsschwinger um die Verbindungsgerade kippt und dabei nur eine minimale Verformung des Wipffederstabs sowie der ersten und zweiten Feder erfordert. So wird bei wirksamer Entkopplung von der Antriebsmode eine besonders große Auslenkung in der Detektionsmode ermöglicht.

**[0013]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung umfasst das Rotationsschwinglager ferner einen weiteren Wippbalken, einen weiteren Wipffederstab, der den weiteren Wippbalken federnd mit dem Substrat des Drehratensensors verbindet, sowie zwei weitere Lagerungsfederstäbe, die auf entgegengesetzten Seiten des weiteren Wipffederstabs den weiteren Wippbalken federnd mit dem Rotationsschwinger verbinden. Hierdurch wird in der Antriebsmode eine besonders stabile, gleichmäßige und harmonische Rotationsschwingung ermöglicht, da der Rotationsschwinger durch das Rotationsschwinglager mittels mehr als einem Wippbalken gestützt wird. Vorzugsweise sind der Wipffederstab und der weitere Wipffederstab kollinear ausgebildet, z.B. in symmetrischer Ausbildung. Dies ermöglicht eine Detektionsmode, bei welcher der Rotationsschwinger um die durch den Wipffederstab und den weiteren Wipffederstab verlaufende Gerade kippt und dabei nur eine minimale Verformung beider erfordert.

**[0014]** Vorzugsweise weist der Rotationsschwinger einen ersten Vorsprung und einen zweiten Vorsprung auf, die in einer Aussparung des Rotationsschwingers gebildet sind, wobei von den beiden Lagerungsfederstäben einer den Wippbalken mit dem ersten Vorsprung verbindet, während der andere Lagerungsfederstab den Wippbalken mit dem zweiten Vorsprung verbindet, und von den beiden weiteren Lagerungsfederstäben einer den weiteren Wippbalken mit dem ersten Vorsprung verbindet, während der andere weitere Lagerungsfederstab den weiteren Wippbalken mit dem zweiten Vorsprung verbindet. Dies ermöglicht u. a. eine besonders platzsparende Ausbildung des Rotationsschwingers. Weiterhin bevorzugt sind der erste und zweite Vorsprung an einander gegenüberliegenden Seiten der Aussparung gebildet wobei der Wipffederstab den Wippbalken und der weitere Wipffederstab den weiteren Wippbalken mit dem Substrat des Drehratensensors zwischen dem ersten und zweiten Vorsprung verbindet. Dies erlaubt auf besonders einfache und platzsparende Weise, sowohl den Wippbalken als auch den weiteren Wippbalken mit einem gemeinsamen, als Nabe fungierenden Substratverankerungspunkt zu verbinden.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0015]** Es zeigen:

**[0016]** Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf einen mikromechanischen Drehratensensor gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, wobei feststehende Teile nicht gezeigt sind; und

**[0017]** Fig. 2 ein Flussdiagramm eines Betriebsverfahrens für einen mikromechanischen Drehratensensor gemäß einer Ausführungsform.

**[0018]** Fig. 1 zeigt einen Drehratensensor **100** gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung. Bei Fig. 1 handelt es sich um eine Aufsicht auf ein nicht näher dargestelltes Substrat mit einer Haupterstreckungsebene (x-y-Ebene), in der zwischen einem ersten Antriebsbalken **113** und einem zweiten Antriebsbalken **123** ein erstes Coriolis-Element **110**, ein zweites Coriolis-Element **120** und ein Rotationsschwinger **140** angeordnet sind. Wie in der linken oberen Ecke von Fig. 1 graphisch angegeben ist, weist in Fig. 1 die x-Richtung von oben nach unten, die y-Richtung von links nach rechts und die z-Richtung aus der Zeichenebene zum Betrachter.

**[0019]** Das erste und zweite Coriolis-Element **110**, **120** sind als rechteckige, rahmenförmige Strukturen gleicher Form und Größe ausgebildet, die mit ihren Langseiten parallel zur x-Richtung ausgerichtet und nebeneinander angeordnet sind, sodass eine Langseite des ersten Coriolis-Elements **110** und eine Langseite des zweiten Coriolis-Elements **120** durch einen Spalt beabstandet einander gegenüberliegen, wobei die Kurzseiten der Coriolis-Elemente **110**, **120** paarweise miteinander fluchten. Die Rahmenstruktur der Coriolis-Elemente **110**, **120** ergibt sich daraus, dass sie in der Nähe der voneinander abgekehrten Langseiten jeweils einen gitterartigen Gewichtsverringerungsbereich aufweisen, in dem längs verlaufende, nur durch dünne Stege voneinander getrennte Aussparungen gebildet sind.

**[0020]** An den beiden Paaren ihrer miteinander fluchtenden, benachbarten Kurzseiten sind die Coriolis-Elemente **110**, **120** durch zwei spiegelsymmetrische Kopplungsglieder **101** beweglich miteinander gekoppelt. Jedes Kopplungsglied **101** umfasst einen Wippbalken **102**, der sich neben dem ersten und zweiten Coriolis-Element **110**, **120** parallel zu den miteinander fluchtenden Kurzseiten erstreckt, wobei je ein Ende des Wippbalkens **102** der Mitte einer Kurzseite gegenüberliegt. An den beiden Enden seines Wippbalkens **102** weist das Kopplungsglied **101** jeweils einen Kopplungsfederstab **103** auf, der das Ende des Wippbalkens **102** auf kürzestem Wege mit der Mitte der gegenüberliegenden Kurzseite des entsprechenden Coriolis-Elements federnd verbindet. Ferner beinhaltet das Kopplungsglied **101** einen Wipffeder-

stab **104**, der sich von der Mitte des Wippbalkens **102**, die dem Spalt zwischen den Coriolis-Elementen **110**, **120** gegenüberliegt, bis zu einem im Spalt gelegenen Substratverankerungspunkt **105** erstreckt, um den Wippbalken **102** federnd mit dem Substrat zu verbinden.

**[0021]** Die einzelnen Kopplungsglieder **101** weisen somit insgesamt die Gestalt eines „E“ auf, wobei der Wippfederstab **104** in der vorliegenden Ausführungsform länger als die Kopplungsfederstäbe **103** ausgebildet ist. Beispielsweise hat der Wippfederstab **104** die zwei- bis dreifache Länge der Kopplungsfederstäbe **103**.

**[0022]** Gegenüber der der Langseite des ersten Coriolis-Elements **110**, die vom zweiten Coriolis-Element **120** entfernt gelegen ist, erstreckt sich in der x-Richtung der erste Antriebsbalken **113**. Die beiden Ecken des Coriolis-Elements **110** an dieser Langseite sind mit je einer dritten Feder **114** federnd an den Antriebsbalken **113** gekoppelt. Der Antriebsbalken **113** selbst ist an seinen beiden Enden mit je einer Aufhängefeder **130**, die jeweils näher zur von den Coriolis-Elementen **110**, **120** abgewandten Seite des ersten Antriebsbalkens **113** angebunden ist, derart federnd an einem mit dem Substrat fest verbundenen Substratverankerungspunkt aufgehängt, dass er in der x-Richtung schwingend beweglich ist.

**[0023]** An der von den Coriolis-Elementen **110**, **120** abgewandten Seite des ersten Antriebsbalkens **113** sind eine Vielzahl erster Antriebselektrodenträger **136**, **137** ausgebildet, die sich vom ersten Antriebsbalken **113** in Richtung der zu den Coriolis-Elementen **110**, **120** entgegengesetzten Seite abstrecken und im Wesentlichen parallel zur y-Richtung verlaufen. Jeder der ersten Antriebselektrodenträger **136**, **137** trägt eine Vielzahl von ersten Antriebselektroden **138**, **139**, die parallel zur x-Richtung ausgedehnt sind. In der vorliegenden Ausführungsform sei beispielhaft angenommen, dass der Antriebsbalken **113** einschließlich der Antriebselektrodenträger **136**, **137** und der Antriebselektroden **138**, **139** eine konstante Dicke in der z-Richtung aufweist, die größer als die Breite der Antriebselektroden **138**, **139** in der y-Richtung ist und z.B. gleich der Breite des Antriebsbalkens **113** in der y-Richtung sein kann. Damit weisen die einzelnen Antriebselektroden **138**, **139** eine flächenhafte Ausdehnung parallel zur x- und z-Richtung auf.

**[0024]** In der vorliegenden Ausführungsform sind entlang des ersten Antriebsbalkens **113** mehrere erste Antriebselektrodenträger **136**, **137** vorgesehen, wobei eine Hälfte der Antriebselektrodenträger **136** zu einem Ende des ersten Antriebsbalkens **113** hin gruppiert angeordnet ist und die andere Hälfte der Antriebselektrodenträger **137** zum anderen Ende des ersten Antriebsbalkens **113** hin gruppiert angeordnet

ist. Zwischen den beiden Gruppen befindet sich in der Mitte des ersten Antriebsbalkens **113** ein von Antriebselektrodenträgern freier Abschnitt. Die jeweiligen Antriebselektroden **138**, **139** an den beiden Gruppen von Antriebselektrodenträgern **136**, **137** weisen jeweils zur Seite des nächstgelegenen Endes des ersten Antriebsbalkens **113**.

**[0025]** Spiegelsymmetrisch zum ersten Antriebsbalken **113** erstreckt sich gegenüber der Langseite des zweiten Coriolis-Elements **120**, die vom ersten Coriolis-Element **110** entfernt gelegen ist, der zweite Antriebsbalken **123**. Die beiden Ecken des zweiten Coriolis-Elements **120** an dieser Langseite sind mit je einer vierten Feder **124** federnd an den zweiten Antriebsbalken **123** gekoppelt. An der von den Coriolis-Elementen **110**, **120** abgewandten Seite des zweiten Antriebsbalkens **123** sind eine Vielzahl zweiter Antriebselektrodenträger **146**, **147** ausgebildet, die sich vom zweiten Antriebsbalken **123** in der zu den Coriolis-Elementen **110**, **120** entgegengesetzten Richtung abstrecken. Jeder zweite Antriebselektrodenträger **146**, **147** trägt eine Vielzahl von ersten Antriebselektroden **148**, **149**. Wegen der Spiegelsymmetrie der aus dem ersten Antriebsbalken **113**, den dritten Federn **114** und dem ersten Coriolis-Element **110** bestehenden Anordnung mit der aus dem zweiten Antriebsbalken **123**, den vierten Federn **124** und dem zweiten Coriolis-Element **120** bestehenden Anordnung wird zu weiteren Details auf die obigen Ausführungen zum ersten Antriebsbalken **113** verwiesen.

**[0026]** In der vorliegenden Ausführungsform fluchten die beiden Antriebsbalken **113**, **123** jeweils bündig mit einem Ende der Langseiten der Coriolis-Elemente **110**, **120**, ragen dagegen über das andere Ende hinaus, wobei in dem neben den Coriolis-Elementen **110**, **120** gebildeten weiteren Raum zwischen den Antriebsbalken **113**, **123** der Rotationsschwinger **140** angeordnet ist. Mit einer ersten und zweiten Feder **144**, **145** ist der Rotationsschwinger **140** an den ersten beziehungsweise zweiten Antriebsbalken **113**, **123** gekoppelt. In der vorliegenden Ausführungsform weist der Rotationsschwinger **140** eine rechteckige Umrissgestalt auf, deren Langseiten nur geringfügig länger als die Kurzseiten gebildet sind und jeweils zu einem der Antriebsbalken **113**, **123** parallel verlaufend diesem unter Bildung eines Spaltes gegenüberliegen. Dies ermöglicht eine besonders kompakte Bauweise des Drehratensensors und Ausnutzung des Bauraums. In alternativen Ausführungsformen kann der Rotationsschwinger **140** z.B. quadratisch, kreisförmig oder elliptisch gestaltet sein.

**[0027]** An einer Achsposition des Rotationsschwingers **140**, die sich nahe des geometrischen Zentrums des Rotationsschwingers **140** befindet, ist ein Rotationsschwinglager **157** gebildet, welches den Rotationsschwinger **140** schwingend drehbar um eine in der z-Richtung durch einen Substratverankerungs-

punkt **155** durch die Achsposition verlaufende Rotationsschwingachse abstützt. Angemerkt wird, dass in alternativen Ausführungsformen die Achsposition sich auch exakt im geometrischen Zentrum des Rotationsschwingers **140** oder einer anderen Position befinden kann, sofern der Rotationsschwinger **140** eine schwingende Drehbewegung um die durch die Achsposition verlaufende Rotationsschwingachse ausführen kann. Vorzugsweise liegt der Schwerpunkt des Rotationsschwingers **140** an der Achsposition. Das Rotationsschwinglager **157** umfasst eine wesentlich mittige rechteckige Aussparung **170** im Rotationsschwinger **140**, innerhalb derer sich der Substratverankerungspunkt **155** befindet. Ein erster und ein zweiter Steg **156**, **166** erstrecken sich von zwei gegenüberliegenden Rändern der Aussparung **170** in Richtung des Substratverankerungspunkts **155**, wobei zwischen dem distalen Ende jedes Stegs **156**, **166** und dem Substratverankerungspunkt **155** jeweils ein Abstand verbleibt.

**[0028]** In den zu beiden Seiten der Stege **156**, **166** verbleibenden Bereichen der Aussparung **170** weist das Rotationsschwinglager **157** ein erstes und zweites Lagerungsglied **151**, **161** auf, von denen jedes die Stege **156**, **166** und den Substratverankerungspunkt **155** miteinander verbindet. Jedes Lagerungsglied **151**, **161** umfasst einen Wippbalken **152**, **162**, der sich neben den Stegen **156**, **166** und dem Substratverankerungspunkt **155** parallel zu den miteinander fluchtenden Stegen **156**, **166** erstreckt, wobei je ein Ende des Wippbalkens **152**, **162** dem Ende eines Steges **156**, **166** gegenüberliegt. An den beiden Enden seines Wippbalkens **152**, **162** weist jedes Lagerungsglied **151**, **161** jeweils einen Lagerungsfederstab **153** auf, der das Ende des Wippbalkens **152** auf kürzestem Wege mit dem zugehörigen Steg **156** federnd verbindet. Ferner beinhaltet jedes Lagerungsglied **151**, **161** einen Wippfederstab **154**, **164** der sich von der Mitte des zugehörigen Wippbalkens **152**, **162**, die jeweils dem Substratverankerungspunkt **155** gegenüberliegt, bis zum Substratverankerungspunkt **155** erstreckt, um den betreffenden Wippbalken **152**, **162** federnd mit dem Substrat zu verbinden. Die einzelnen Lagerungsglieder **151**, **161** weisen somit, ähnlich wie die Kopplungsglieder **101**, **102** insgesamt die Gestalt eines „E“ auf, wobei die Wippfederstäbe **154**, **164** und die Lagerungsfederstäbe **153**, **163** in der vorliegenden Ausführungsform gleich lang ausgebildet sind.

**[0029]** Im Betrieb des mikromechanischen Drehratensensors **100** werden die Antriebselektroden **138**, **139**, **148**, **149** und zugehörige statische Elektroden (nicht gezeigt), die gegenüber dem Substrat, zu welchem auch die Substratverankerungspunkte **105**, **155** zählen, unbeweglich sind und sich mit den Antriebselektroden **138**, **139**, **148**, **149** jeweils kämmen, derart koordiniert mit unterschiedlichen, zeitlich wechselnden elektrischen Spannungen beauf-

schlägt, dass die Antriebsbalken **113**, **123** in eine antiparallele Antriebsmode **150** versetzt werden, in der sie entlang der x-Achse eine zueinander um  $180^\circ$  phasenversetzte Schwingbewegung ausführen.

**[0030]** Beispielsweise werden, während die Antriebsbalken **113** mit den Antriebselektroden **138**, **139**, **148**, **149** auf einem konstantem Massepotential gehalten werden, mittels einer elektronischen Steuervorrichtung (nicht gezeigt) zunächst die statischen Elektroden, die sich mit den zur Seite der Coriolis-Elemente **110**, **120** (in Fig. 1 nach oben) weisenden Antriebselektroden **138** am ersten Antriebsbalken **113** kämmen, und die statischen Elektroden, die sich mit den zur entgegengesetzten Seite des Rotationsschwingers **140** (in Fig. 1 nach unten) weisenden Antriebselektroden **149** am zweiten Antriebsbalken **123** kämmen, mit einer elektrischen Spannung gegenüber Masse beaufschlägt, sodass der erste Antriebsbalken **113** durch die elektrostatischen Kräfte in der in Fig. 1 nach oben weisenden Richtung beschleunigt wird, während der zweite Antriebsbalken **123** durch die elektrostatischen Kräfte in der in Fig. 1 nach unten weisenden Richtung beschleunigt wird. Anschließend wird die angelegte Spannung abgeschaltet, worauf die Antriebsbalken **113**, **123** durch die Rückstellkraft der Aufhängefedern **130** verzögert und wieder in Richtung der Ausgangsstellung beschleunigt werden.

**[0031]** Nachfolgend werden die statischen Elektroden, die sich mit den in Fig. 1 nach oben weisenden Antriebselektroden **148** am zweiten Antriebsbalken **123** kämmen, und die statischen Elektroden, die sich mit den in Fig. 1 nach unten weisenden Antriebselektroden **139** am ersten Antriebsbalken **113** kämmen, mit einer elektrischen Spannung gegenüber Masse beaufschlägt, sodass der erste Antriebsbalken **113** durch die elektrostatischen Kräfte in der in Fig. 1 nach unten weisenden Richtung beschleunigt wird, während der zweite Antriebsbalken **123** durch die elektrostatischen Kräfte in der in Fig. 1 nach oben weisenden Richtung beschleunigt wird. Anschließend wird die angelegte Spannung wieder abgeschaltet, worauf die Antriebsbalken **113**, **123** durch die Rückstellkraft der Aufhängefedern **130** zunächst verzögert und dann in Richtung der Ausgangsstellung beschleunigt werden.

**[0032]** Hierbei kann die obige Ansteuerung in vorteilhafter Weise mit einer zeitlichen Periode wiederholt werden, die im Wesentlichen mit der Eigenfrequenz der antiparallelen Schwingungsmode **150** übereinstimmt, in welcher eine aus dem ersten Antriebsbalken **113**, den ersten Antriebselektroden **136**, **137** und den ersten Antriebselektroden **138**, **139** bestehende erste Antriebsmasse **112** und eine aus dem zweiten Antriebsbalken **123**, den zweiten Antriebselektroden **146**, **147** und den zweiten Antriebselektroden **148**, **149** bestehende zweite An-

triebsmasse **122** gegenphasig entlang der x-Achse schwingen. In dieser Antriebsmode **150** führt das erste Coriolis-Element **110** aufgrund der Ankopplung über die dritten Federn **114** eine Schwingbewegung aus, die zur ersten Antriebsmasse **112** um einen konstanten Winkel phasenversetzt (z.B. gleichphasig) ist, während das zweite Coriolis-Element aufgrund der Ankopplung über die vierten Federn **124** eine Schwingbewegung ausführt, die zur zweiten Antriebsmasse **122** — z.B. bei symmetrischer Ausbildung und Ansteuerung wie in der vorliegenden Ausführungsform — um ebenfalls den konstanten Winkel phasenversetzt ist. Dies bedeutet, dass das erste Coriolis-Element **110** und das zweite Coriolis-Element **120** eine antiparallele Schwingbewegung in zum Antriebsbalken paralleler Richtung ausführen, welche durch die mechanische Kopplung über die Kopplungsglieder **101**, **102** zusätzlich stabilisiert wird.

**[0033]** In der obigen antiparallelen Antriebsmode **150** wird der Rotationsschwinger **140** aufgrund dessen Ankopplung über die erste und zweite Feder **144**, **145** in eine schwingende Drehbewegung um die in z-Richtung durch den Substratverankerungspunkt **155** des Rotationsschwinglagers **157** verlaufende Achse versetzt. Über einerseits die erste Feder **144**, den Rotationsschwinger **140** und die zweite Feder **145** sowie andererseits die dritten Federn **114**, das erste Coriolis-Element **110**, die Kopplungsglieder **101**, das zweite Coriolis-Element **120** und die vierten Federn **124** ergibt sich eine mechanische Kopplung zwischen den Schwingbewegungen der ersten und zweiten Antriebsmasse **112**, **122**, welche die antiparallele Antriebsmode **150** stabilisiert.

**[0034]** Wenn der Drehratensensor **100** bei fortgesetzter Ausführung der antiparallelen Antriebsmode **150** um die x-Achse gedreht wird, wirkt auf den Rotationsschwinger **140** ein Drehmoment, das den Rotationsschwinger **140** um die durch die erste und zweite Feder **144**, **145**, den Substratverankerungspunkt **155** sowie die Wippfederstäbe **154**, **164** der Lagerungsglieder **151**, **161** gehende Verkippungsachse aus der Haupterstreckungsebene auslenkt.

**[0035]** Wird der Drehratensensor **100** um die y-Achse gedreht, wirken auf die Coriolis-Elemente **110**, **120** Kräfte, die diese in zueinander entgegengesetzter Richtung aus der Haupterstreckungsebene auslenken. Dabei erfolgt durch Verkippen der Wippbalken **102** der Kopplungsglieder **101** um die zugehörigen Wippfederstäbe **104** eine stabilisierende mechanische Kopplung zwischen den Auslenkungen der beiden Coriolis-Elemente **110**, **120**.

**[0036]** Wird der Drehratensensor **100** um die z-Achse gedreht, wirken auf die Coriolis-Elemente **110**, **120** Kräfte, die diese in zueinander entgegengesetzter Richtung parallel zur y-Achse auslenken. Dabei erfolgt durch Biegen der Kopplungsfederstäbe **103** ei-

ne stabilisierende mechanische Kopplung zwischen den Auslenkungen der beiden Coriolis-Elemente **110**, **120**. Eine Detektion der Auslenkungen der Coriolis-Elemente **110**, **120** und des Rotationsschwingers **140** kann in den obigen Fällen jeweils über Kapazitätsveränderungen an geeignet positionierten Messelektroden (nicht gezeigt) erfolgen.

**[0037]** Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm für ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Drehratensensors mit einem Rotationsschwinger, wie z.B. des vorstehend beschriebenen Drehratensensors **100** aus Fig. 1, welches das Ausbilden eines Rotationsschwinglagers für den Rotationsschwinger umfasst.

**[0038]** In Schritt **200–206** wird der Drehratensensor mittels eines mikromechanischen Prozesses hergestellt, welcher unterschiedliche Elemente des Drehratensensors gleichzeitig ausbildet. Im Einzelnen wird in Schritt **200** der Rotationsschwinger ausgebildet, während in den gleichzeitig mit Schritt **200** erfolgenden Schritten **202**, **204**, **206** das Rotationsschwinglager ausgebildet wird. In Schritt **202** wird ein Wippbalken ausgebildet. In Schritt **204** wird der Wippbalken mittels eines Wippfederstabs federnd mit einem Substrat des Drehratensensors verbunden. In Schritt **206** werden der Wippbalken und der Rotationsschwinger mittels zweier Lagerungsfederstäbe auf entgegengesetzten Seiten des Wippfederstabs federnd verbunden.

**[0039]** Abhängig von der genauen Gestalt des Drehratensensors umfasst das Verfahren die Herstellung weiterer Bestandteile. Beispielsweise kann im Falle der Herstellung des Drehratensensors **100** aus Fig. 1 vorgesehen sein, dass in Schritt **200** ein erster und zweiter Antriebsbalken ausgebildet werden, die entlang entgegengesetzter Seiten des Rotationsschwingers angeordnet sind, über zugehörige Federn an den Rotationsschwinger gekoppelt sind sowie Antriebs Elektroden tragen. Für das Rotationsschwinglager kann in Schritt **202** noch ein weiterer Wippbalken ausgebildet und in Schritt **204** der weitere Wippbalken mittels eines zugehörigen weiteren Wippfederstabs federnd mit dem Substrat verbunden werden. In Schritt **206** können sowohl der Wippbalken als auch der weitere Wippbalken mittels jeweils zweier Lagerungsfederstäbe auf entgegengesetzten Seiten des betreffenden Wippfederstabs federnd mit dem Rotationsschwinger verbunden werden.

**[0040]** Vor und nach dem mikromechanischen Prozess der Schritte **200–206** können weitere Verfahrensschritte vorgesehen sein. Angemerkt wird, dass in Fig. 2 die Schritte **200–206** zwar als gleichzeitig erfolgend dargestellt sind, in alternativen Ausführungsformen im Rahmen eines geeigneten mikromechanischen oder sonstigen Herstellungsverfahrens aber

auch z.B. nacheinander durchgeführt werden können.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102009027897 A1 [0003]

**Patentansprüche**

1. Mikromechanischer Drehratensensor (100), aufweisend einen Rotationschwinger (140) mit einem Rotationsschwingerlager (157), welches umfasst: einen Wippbalken (152); einen Wippfederstab (154), der den Wippbalken (152) federnd mit einem Substrat (155) des Drehratensensors (100) verbindet; und zwei Lagerungsfederstäbe (153), die auf entgegengesetzten Seiten des Wippfederstabs (154) den Wippbalken (152) federnd mit dem Rotationsschwinger (140) verbinden.

2. Drehratensensor (100) nach Anspruch 1, wobei der Wippfederstab (154) senkrecht zum Wippbalken (152) verläuft.

3. Drehratensensor (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Lagerungsfederstäbe (153) symmetrisch auf den entgegengesetzten Seiten des Wippfederstabs (154) ausgebildet sind.

4. Drehratensensor (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lagerungsfederstäbe (153) parallel zum Wippfederstab (154) verlaufen.

5. Drehratensensor (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend: eine erste Antriebsmasse (112), welche neben dem Rotationsschwinger (140) angeordnet und über eine erste Feder (144) an den Rotationsschwinger (140) gekoppelt ist; sowie eine zweite Antriebsmasse (122), welche neben dem Rotationsschwinger (140) angeordnet und über eine zweite Feder (145) an den Rotationsschwinger (140) gekoppelt ist; wobei der Wippfederstab (154) sich entlang einer Verbindungsgerade zwischen der ersten und zweiten Feder (144, 145) erstreckt.

6. Drehratensensor (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Rotationsschwingerlager (157) ferner umfasst: einen weiteren Wippbalken (162); einen weiteren Wippfederstab (164), welcher den weiteren Wippbalken (162) federnd mit dem Substrat (155) des Drehratensensors (100) verbindet; und zwei weitere Lagerungsfederstäbe (163), welche auf entgegengesetzten Seiten des weiteren Wippfederstabs (164) den weiteren Wippbalken (162) federnd mit dem Rotationsschwinger (140) verbinden.

7. Drehratensensor (100) nach Anspruch 6, wobei der Wippfederstab (154) und der weitere Wippfederstab (164) kollinear ausgebildet sind.

8. Drehratensensor (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei:

der Rotationsschwinger (140) einen ersten Vorsprung (156) und einen zweiten Vorsprung (166) des Rotationsschwingers (140) aufweist; die Lagerungsfederstäbe (153) den Wippbalken (152) mit dem ersten beziehungsweise zweiten Vorsprung (156, 166) verbinden; und die weiteren Lagerungsfederstäbe (163) den weiteren Wippbalken (162) mit dem ersten beziehungsweise zweiten Vorsprung (156, 166) verbinden.

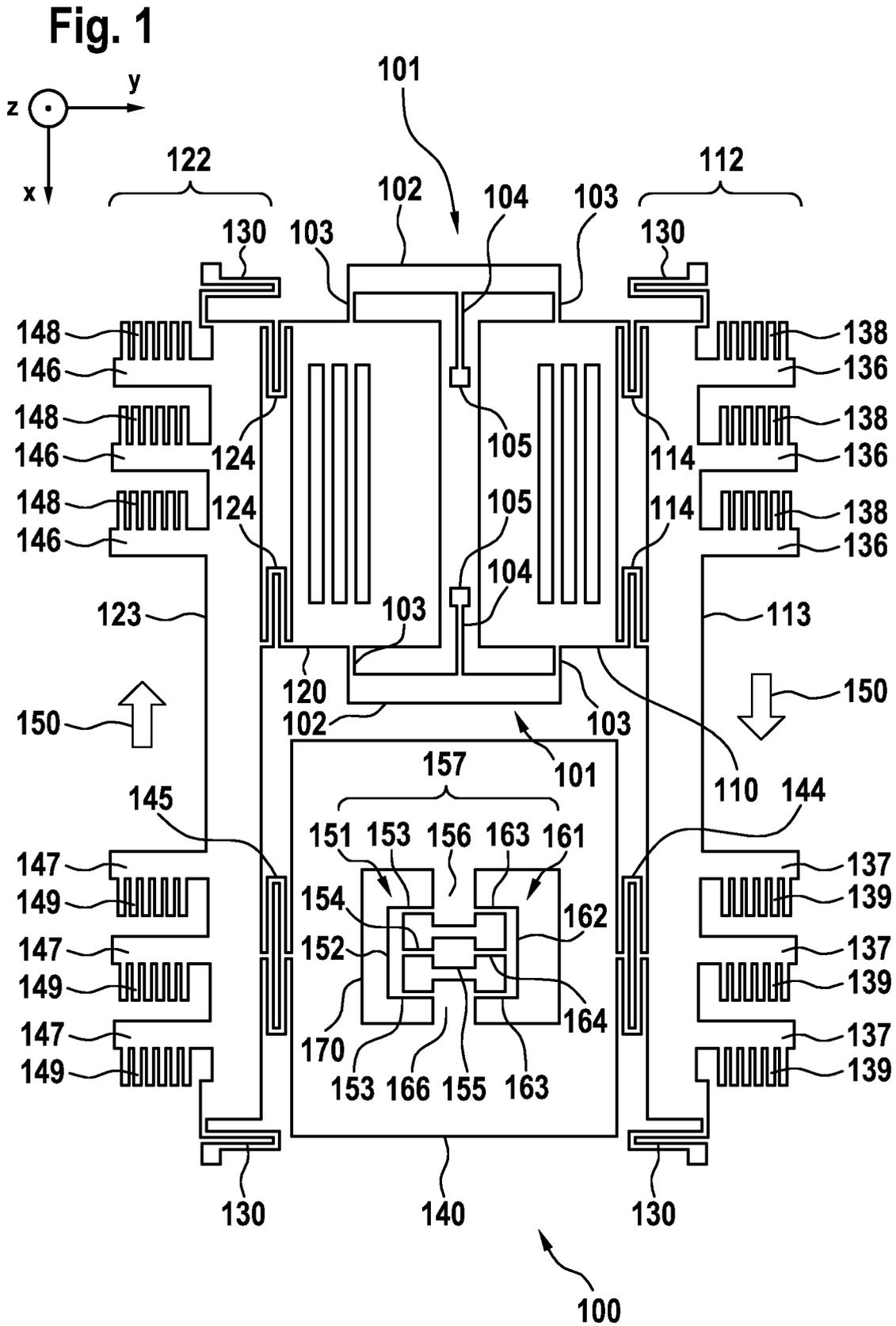
9. Drehratensensor (100) nach Anspruch 8, wobei: der erste und zweite Vorsprung (156, 166) an einander gegenüberliegenden Seiten einer Aussparung (170) des Rotationsschwingers (140) gebildet sind; sowie der Wippfederstab (154) den Wippbalken (152) und der weitere Wippfederstab (164) den weiteren Wippbalken (162) mit dem Substrat (155) des Drehratensensors (100) zwischen dem ersten und zweiten Vorsprung (156, 166) verbindet.

10. Verfahren zum Herstellen eines Mikromechanischen Drehratensensors (100) mit einem Rotationsschwinger (140), welches das Ausbilden eines Rotationsschwingerlagers (157) mit folgenden Schritten umfasst:

Ausbilden (200) eines Wippbalkens (152);  
Federndes Verbinden (202) des Wippbalkens (152) und eines Substrats (155) des Drehratensensors (100) mittels eines Wippfederstabs (154); und  
Federndes Verbinden (204) des Wippbalkens (152) und des Rotationsschwingers (140) mittels zweier Lagerungsfederstäbe (153) auf entgegengesetzten Seiten des Wippfederstabs (154).

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**Fig. 2**

