

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. September 2010 (30.09.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/108773 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
G01C 19/56 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/052880
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
8. März 2010 (08.03.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2009 001 922.7 26. März 2009 (26.03.2009) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SENSORDYNAMICS AG [AT/AT]; Schloss Eybesfeld 1e, A-8403 Graz-Lebring (AT).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HAMMER, Hanno [AT/AT]; Schloss Eybesfeld 1e, A-8403 Graz-Lebring (AT).
- (74) Anwalt: BERGMEIER, Werner; Friedrich-Ebert-Straße 84, 85055 Ingolstadt (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICRO GYROSCOPE FOR DETERMINING ROTATIONAL MOVEMENTS ABOUT THREE SPATIAL AXES WHICH ARE PERPENDICULAR TO ONE ANOTHER

(54) Bezeichnung: MIKRO-GYROSKOP ZUR ERMITTLUNG VON ROTATIONSBEWEGUNGEN UM DREI SENKRECHT AUF EINANDER STEHENDE RAUMACHSEN

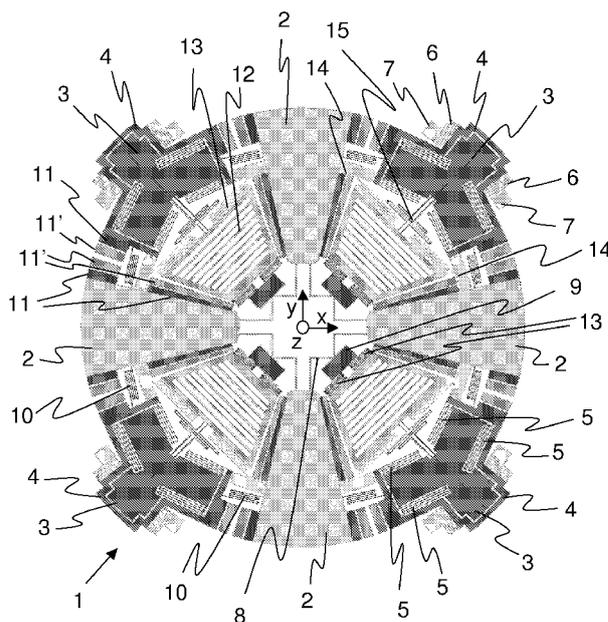


Fig. 1

(57) Abstract: A micro gyroscope for determining rotational movements about three spatial axes x, y and z, which are perpendicular to one another has a substrate (1) on which a plurality of masses (2, 3) oscillating tangentially about the z axis, which is perpendicular to the substrate (1), are arranged. The oscillating masses (2, 3) are fastened on the substrate (1) by means of springs (5, 6, 8) and tie bolts (7, 9). Driving elements (11) serve to maintain oscillating, tangential vibrations of the masses (2, 3) about the z axis, as a result of which, upon rotation of the substrate (1) about any spatial axis, the masses (2, 3) are subjected to Coriolis forces and deflections caused as a result. Sensor elements detect the deflections of the masses (2, 3) on the basis of the Coriolis forces generated. Some of the masses (2, 3) oscillating about the z axis are mounted in a tiltable manner substantially about the x axis which runs parallel to the substrate (1). Others of the masses (2, 3) oscillating about the z axis are mountable in a tiltable manner substantially about the y axis, which likewise runs parallel to the substrate (1). At least one other of the oscillating masses (2, 3) can be additionally at least partially deflected substantially radially to the z axis in the x - y plane parallel to the plane of the substrate (1). Said additionally radially deflectable z mass (3) is assigned a sensor element (12) which can likewise be deflected radially with respect to the z axis but does not oscillate about the z axis.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/108773 A1

---

Ein Mikro-Gyroskop zur Ermittlung von Rotationsbewegungen um drei senkrecht aufeinanderstehende Raumachsen  $x$ ,  $y$  und  $z$ , weist ein Substrat (1) auf, auf welchem mehrere tangential um die senkrecht auf dem Substrat (1) stehende  $z$ -Achse oszillierende Massen (2, 3) angeordnet sind. Die oszillierenden Massen (2, 3) sind mittels Federn (5, 6, 8) und Ankern (7, 9) auf dem Substrat (1) befestigt. Antriebselementen (11) dienen zur Aufrechterhaltung oszillierender tangentialer Schwingungen der Massen (2, 3) um die  $z$ -Achse, wodurch die Massen (2, 3) bei einer Rotation des Substrats (1) um eine beliebige Raumachse Corioliskräften und dadurch verursachten Auslenkungen unterworfen sind. Sensorelemente erfassen die Auslenkungen der Massen (2, 3) aufgrund der erzeugten Corioliskräfte. Einige der um die  $z$ -Achse oszillierenden Massen (2, 3) sind im Wesentlichen um die parallel zum Substrat (1) verlaufende  $x$ -Achse kippbar gelagert. Andere der um die  $z$ -Achse oszillierenden Massen (2, 3) sind im Wesentlichen um die ebenfalls parallel zum Substrat (1) verlaufende  $y$ -Achse kippbar gelagert. Wenigstens eine andere der oszillierenden Massen (2, 3) ist zumindest teilweise zusätzlich im Wesentlichen radial zur  $z$ -Achse in der  $x$ - $y$ -Ebene parallel zur Ebene des Substrats (1) auslenkbar. Dieser zusätzlich radial auslenkbaren  $z$ -Masse (3) ist ein ebenfalls radial zu der  $z$ -Achse auslenkbares, aber nicht um die  $z$ -Achse oszillierendes Sensorelement (12) zugeordnet.

**Mikro-Gyroskop zur Ermittlung von Rotationsbewegungen um drei senkrecht aufeinanderstehende Raumachsen x, y und z**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Mikro-Gyroskop zur Ermittlung von Rotationsbewegungen um drei senkrecht aufeinanderstehende Raumachsen x, y und z mit einem Substrat, auf welchem mehrere tangential um die senkrecht auf dem Substrat stehende z-Achse oszillierende Massen angeordnet sind, wobei die oszillierenden Massen mittels Federn und Ankern auf dem Substrat befestigt sind, mit Antriebselementen zur Aufrechterhaltung oszillierender tangentialer Schwingungen der Massen um die z-Achse, wodurch die Massen bei einer Rotation des Substrates um eine beliebige Raumachse Corioliskräften und dadurch verursachten Auslenkungen unterworfen sind und mit Sensorelementen, um die Auslenkungen der Massen aufgrund der erzeugten Corioliskräfte zu erfassen.

Mikro-Gyroskope werden in der Regel zur Ermittlung einer Drehbewegung um eine Achse in einem orthogonalen x-y-z-Koordinatensystem verwendet. Um Drehbewegungen des Systems um jede der drei Achsen ermitteln zu können, sind daher drei derartige Mikro-Gyroskope erforderlich. Dies ist kostenintensiv und aufwendig in der Steuerung bzw. Auswertung der Daten.

Aus der TW 286201 BB ist ein dreiachsiges mikro-elektro-mechanisches MEMS-Gyroskop bekannt. Hierbei werden Massen, welche an einem zentralen Anker angeordnet sind, in eine oszillierende Drehbewegung versetzt. Die Massen sind auf einem Substrat angeordnet und werden bei einer Drehung um die x- oder y-Achse aufgrund einer hierbei auftretenden Corioliskraft um die y- bzw. x-Achse gekippt. Dies wird ermöglicht durch eine entsprechende Aufhängung dieser Antriebsmassen an dem Substrat. Bei einer Drehung um die z-Achse sind Teilmassen durch wiederum eine entsprechende Aufhän-

gung dieser Teilmassen an den drehbar gelagerten Massen translatorisch auslenkbar. Sowohl die Kippbewegungen als auch die translatorische Bewegung kann mittels Sensoren erfasst werden und dient aufgrund ihrer Proportionalität zu der Drehbewegung des Substrats als Maß für die entsprechende Drehung um die x-, y- oder z-Achse. Die jeweiligen Auslenkungen sind jedoch nur sehr schwierig zu ermitteln.

Um ein dreidimensionales Gyroskop schaffen zu können, bei welchem Drehungen um alle drei Achsen festgestellt werden können, hat D. Wood et al. in dem Artikel „A monolithic silicon gyroscope capable of sensing about three axes simultaneously“ 1996 ein Gyroskop vorgeschlagen, welches ringförmig um einen zentralen Anker angeordnete oszillierende Massen aufweist. Diese Massen sind in der Lage, sowohl Kipp- als auch Drehbewegungen aufgrund auftretender Corioliskräfte durchführen zu können. Nachteilig ist hierbei, dass die Fertigung eines solchen Sensors ebenso wie der Antrieb der bewegten Massen schwierig ist. Die Bewegungen der einzelnen Bestandteile des Sensors beeinflussen sich gegenseitig, sodass Messungen der Bewegung in x-, y- oder z-Richtung des Gyroskops keine ausreichende Genauigkeit liefern.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Mikro-Gyroskop zur Ermittlung von Rotationsbewegungen um drei senkrecht aufeinanderstehende Raumachsen x, y und z zu schaffen, welches eine hohe Erfassungsgenauigkeit der Auslenkungen in den einzelnen Drehrichtungen aufweist und welches nicht durch Bewegungen in den anderen als den zu erfassenden Richtungen, insbesondere nicht durch den Antrieb der Massen, in ihrer Erfassung verfälscht wird.

Die Aufgabe wird gelöst mit einem Mikro-Gyroskop mit den Merkmalen des Anspruches 1.

Das erfindungsgemäße Mikro-Gyroskop dient zur Ermittlung von Rotationsbewegungen um drei senkrecht aufeinanderstehende Raumachsen x, y und

z. Es weist ein Substrat auf, auf welchem mehrere tangential um die senkrecht auf dem Substrat stehende z-Achse oszillierende Massen angeordnet sind, wobei die oszillierenden Massen mittels Federn und Ankern auf dem Substrat befestigt sind. Antriebselemente treiben die Massen um die z-Achse an und halten eine oszillierende tangentielle Schwingung der Massen um die z-Achse aufrecht. Bei einer Rotation des Substrates um eine beliebige Raumachse treten Corioliskräfte auf und verursachen eine Auslenkung der angetriebenen Massen. Sensorelemente sind im Bereich der Massen angeordnet und erfassen die Auslenkungen der Massen, welche diese aufgrund der durch die Drehbewegung des Substrats erzeugten Corioliskräfte erfahren.

Erfindungsgemäß sind einige der um die z-Achse oszillierenden Massen im Wesentlichen um die parallel zum Substrat verlaufende x-Achse kippbar gelagert. Andere der um die z-Achse oszillierenden Massen sind im Wesentlichen um die ebenfalls parallel zum Substrat verlaufende y-Achse kippbar gelagert. Wenigstens eine andere der oszillierenden Massen ist zusätzlich im Wesentlichen radial zur z-Achse, in der x-y-Ebene parallel zur Ebene des Substrates, auslenkbar; solche Massen werden im folgenden als z-Massen bezeichnet. Dieser zusätzlich radial auslenkbaren z-Masse ist ein ebenfalls radial zu der z-Achse auslenkbares, aber nicht um die z-Achse oszillierendes Sensorelement zugeordnet.

Insbesondere durch die Trennung der z-Masse von dem Sensorelement kann in besonders vorteilhafter Weise eine Entkopplung der tangentialen Antriebsbewegung von der radialen Sensorbewegung erfolgen. Das Sensorelement selbst ist nicht tangential angetrieben, wodurch einzig die radiale Bewegung des Sensorelementes zu erfassen ist, um eine Drehbewegung des Substrates um die z-Achse festzustellen. Die z-Masse wird zusammen mit den anderen Massen um die z-Achse oszillierend bewegt und beim Auftreten einer Rotation des Substrats um die z-Achse durch die dadurch auftretende Corioliskraft in radialer Richtung ausgelenkt. Die z-Masse vollzieht

dann sowohl eine tangentiale als auch eine radiale Bewegung, lediglich die radiale Bewegung wird allerdings auf das Sensorelement übertragen. Diese einzige Bewegungsrichtung des Sensorelementes in radialer Richtung kann sehr einfach und ohne Überlagerung mit anderen Bewegungen erfasst werden. Die Erfassungsgenauigkeit wird hierdurch gegenüber den Lösungen des Standes der Technik deutlich verbessert.

Gemäß einer vorteilhaften Ausbildung der Erfindung weist das Gyroskop im Wesentlichen acht Massen auf, welche tangential um die z-Achse oszillieren, wobei vier dieser Massen zusätzlich radial zur z-Achse beweglich, und somit als z-Massen bezeichnet sind. Durch die Anordnung von acht oszillierenden Massen, von denen vier z-Massen sind, wird ein hinsichtlich der auftretenden Kräfte ausgeglichenes Gyroskop geschaffen. Die Corioliskräfte können relativ einfach erfasst werden und es kann zuverlässig die entsprechende Ursache einer Drehbewegung um eine bestimmte Achse ermittelt werden. Insbesondere, wenn die acht Massen gleichmäßig am Umfang verteilt sind und die im Wesentlichen nur tangential um die z-Achse oszillierenden Massen entlang der x-Richtung und der y-Richtung ausgerichtet sind und die übrigen z-Massen zwischen den x- und y-Achsen angeordnet sind, wird ein besonders ausgeglichenes System erhalten. Wie alle an der Antriebsbewegung beteiligten Massen werden auch die z-Massen in tangentialer Richtung um die z-Achse angetrieben, können jedoch zusätzlich radial zur z-Achse ausgelenkt werden. Diese Massen werden vorzugsweise von halboffenen Rahmen gehalten und in die tangentiale Antriebsbewegung versetzt. Die Corioliskraft wirkt lediglich auf die Bewegbarkeit der z-Masse in radialer Richtung, wodurch wiederum das Sensorelement zur Ermittlung einer Drehrate um die z-Achse ausgelenkt wird.

In einer vorteilhaften Ausbildung der Erfindung sind die im Wesentlichen nur tangential um die z-Achse oszillierenden Massen Kipp-Platten zum Erfassen einer Drehung des Substrates um die x- bzw. y-Achse. Sobald eine Corioliskraft aufgrund einer Drehung des Substrates um die x- oder y-Achse auf-

tritt, werden diese nur tangential um die z-Achse oszillierenden Massen um die y- bzw. x-Achse gekippt. Diese Kippbewegung kann mittels kapazitiver Sensoren, welche den Massen zugeordnet sind, in elektrische Signale umgewandelt werden.

Vorzugsweise ist die sowohl radial zur als auch tangential um die z-Achse bewegliche z-Masse an einen Rahmen gekoppelt, um in eine tangentiale Bewegung um die z-Achse versetzt werden zu können. Der Rahmen sorgt einerseits für den tangentialen Antrieb der z-Masse und andererseits für eine stabile Aufhängung der z-Masse, um eine Bewegung in radialer Richtung durchführen zu können. Durch die besondere Gestaltung des Rahmens kann die z-Masse hinreichend groß ausgeführt werden, um eine deutliche Reaktion auf die Corioliskräfte zu zeigen und in radialer Richtung ausgelenkt werden zu können. Aus dieser Gestaltungsvariante wird deutlich, dass die Haupteigenschaft der z-Masse im Wesentlichen die Auslenkung in radialer Richtung ist, welche andererseits nur auftreten kann, wenn die gesamte Kombination aus Rahmen und z-Masse in tangentialer Richtung als Primärbewegung angetrieben wird. Besonders wichtig ist hierbei jedoch die Sekundärbewegung in radialer Richtung. Durch die rahmenartige Gestaltung können diese Eigenschaften sehr vorteilhaft umgesetzt werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die sowohl radial zur als auch tangential um die z-Achse bewegliche z-Masse mit zumindest einem weiteren Sensorelement zum Erfassen ihrer durch Corioliskräfte hervorgerufenen radialen Auslenkung verbunden ist. Hierdurch müssen die Auslenkungen nicht an der z-Masse selbst, welche Bewegungen sowohl in radialer als auch in tangentialer Richtung durchführt, gemessen werden, sondern die auftretenden Corioliskräfte, welche zu einer radialen Auslenkung der z-Masse führen, können durch das lediglich in radialer Richtung bewegliche Sensorelement erfasst werden. Dies führt zu einer deutlichen Verbesserung der zu ermittelnden Messergebnisse, da es keine Überlagerungen mit anderen Bewegungen gibt. Eine Bewegung des Sensorelementes deutet ausschließlich auf eine Corio-

liskraft in radialer Richtung hin. Das hierdurch festgestellte Signal kann dadurch sehr einfach ausgewertet werden.

In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung ist der Rahmen mit Federn, insbesondere mit zwei Federn, tangential um die z-Achse beweglich auf dem Substrat verankert. In anderen als in einer Tangentialrichtung ist der Rahmen weitgehend unbeweglich. Der Rahmen ist hierdurch nur in der Lage, eine Oszillationsbewegung in tangentialer Richtung durchzuführen. Corioliskräfte, welche auf den Rahmen wirken, können keine radiale Auslenkung des Rahmens bewirken. In der radialen Richtung ist der Rahmen bzw. sind die Federn dementsprechend steif ausgebildet. Auch in einer Bewegung aus der x-y-Ebene heraus bewegt sich der Rahmen vorzugsweise nicht, so dass er auch bzgl. Drehraten um die x-Achse oder um die y-Achse nicht auf die dadurch entstehenden Corioliskräfte reagiert. Die Steifigkeit in dieser Richtung ist aber nicht in jedem Falle erforderlich. Es kann auch toleriert werden, dass sich der Rahmen und die z-Masse aus der x-y-Ebene heraus bewegt, wenn sichergestellt ist, dass sich diese Bewegung nicht auf das Sensorelement überträgt und dessen Messung beeinflusst.

Um ein bzgl. der zwischen den bewegten Massen herrschenden Reaktionskräfte und -momente möglichst ausgeglichenes System eines Mikro-Gyroskops zu erhalten, ist vorzugsweise vorgesehen, dass die Rahmen zwischen den tangential um die z-Achse oszillierenden Massen bzw. Kipp-Platten angeordnet sind.

Die z-Massen, welche sowohl radial zur als auch tangential um die z-Achse beweglich sind, sind mit dem jeweiligen Rahmen mit mindestens einer Feder, vorzugsweise vier Federn verbunden. Damit erfolgt eine stabile Lagerung der z-Masse innerhalb des Rahmens, wodurch vorteilhafterweise sichergestellt ist, dass die z-Masse nur in radialer Bewegung relativ zum Rahmen bewegbar ist. Die z-Masse reagiert dabei lediglich auf Drehraten um die z-Achse, wodurch eine eindeutige Reaktion des der z-Masse zugeordneten Sensor-

elements und ein entsprechend eindeutiges Messergebnis aufgrund des daraus resultierenden elektrischen Signals gewährleistet werden kann.

Sind in einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung die Rahmen im Wesentlichen nur tangential um die z-Achse beweglich auf dem Substrat verankert, so ist die Primärbewegung in die Rahmen eindeutig als Rotation in tangentialer Richtung um die z-Achse in den Rahmen einleitbar. Als Sekundärbewegung ergibt sich dann eine Oszillation in radialer Richtung der innerhalb des Rahmens beweglich gelagerten z-Masse.

Das dynamische Verhalten des Mikro-Gyroskops wird wesentlich verbessert, wenn die Kipp-Platten und die Rahmen mit Federn miteinander verbunden sind. Diese Federn wirken als Synchronisationsfedern und bewirken, dass die Primärbewegung, welche tangential um die z-Achse erfolgt, von den Kipp-Platten und den Rahmen gleichartig vollzogen wird. Hierdurch wird eine gemeinsame Schwingungsform der Kipp-Platten und der Rahmen realisiert, wobei alle beteiligten Massen mit gleicher Frequenz und gleicher Phase schwingen.

Vorzugsweise sind die Federn, welche die Kipp-Platten und die Rahmen miteinander verbinden, in tangentialer Richtung steif, in anderen Richtungen aber weich ausgebildet. Hierdurch ist es möglich, dass die Primärbewegung in den Kipp-Platten und in den Rahmen eine gemeinsame Schwingungsform mit gleicher Frequenz etabliert, jedoch die bei der Anzeige einer Drehrate in x- oder y-Richtung erfolgende Verkippung der Platten aus der x-y-Ebene heraus nicht durch die Synchronisationsfedern behindert wird. Die Kipp-Platten können hierdurch weitgehend unabhängig von den vorzugsweise in der x-y-Ebene verbleibenden Rahmen aus dieser herausbewegt werden, ohne dass ein großer Widerstand der Federn dem entgegenwirken würde.

Zum eindeutigen Anzeigen einer Drehrate um die x-Achse oder einer Drehrate um die y-Achse ist es vorteilhafterweise vorgesehen, dass einige der tan-

gential um die z-Achse oszillierenden Massen bzw. Kipp-Platten um die x-Achse und andere dieser Massen bzw. Kipp-Platten nur um die y-Achse kippbar auf dem Substrat verankert sind. Die Massen bzw. Kipp-Platten, welche weiter von der x-Achse entfernt sind bzw. auf der y-Achse liegen und sich aus der x-y-Ebene herausbewegen, deuten hierdurch eine Drehrate um die y-Achse an. Andererseits deuten die Massen bzw. Kipp-Platten, welche weiter von der y-Achse entfernt sind bzw. auf der x-Achse liegen, bei ihrem Kippen um die y-Achse bzw. bei dem Herausbewegen aus der x-y-Achse eine Drehrate des Sensors um die x-Achse an.

Antriebselemente, welche die Primärschwingung einleiten, sind vorzugsweise an den nur tangential um die z-Achse oszillierenden Massen und/oder an den Rahmen angeordnet. Durch diese Antriebselemente wird als Primärschwingung eine Antriebsschwingung um die z-Achse in die entsprechenden Bauteile eingeleitet.

In einer vorteilhaften Ausbildung der Erfindung sind die zur Aufrechterhaltung der Antriebsschwingung um die z-Achse notwendigen Antriebselemente Elektroden von Kammkondensatoren, welche mit geeigneten Wechselantriebsspannungen beschickt werden. Teile der Antriebselemente sind hierzu an dem Substrat befestigt, andere Teile wiederum an den anzutreibenden Bauelementen. Durch das Anlegen der Wechselspannung werden die Elektroden wechselseitig angezogen, wodurch die oszillierende Primärschwingung der Bauteile erzeugt wird.

Sensorelemente sind vorzugsweise unterhalb der Kipp-Platten zum Erfassen der Auslenkung der Kipp-Platten angeordnet. Die Sensorelemente können beispielsweise Plattenkondensatoren sein, deren eine, bewegliche Hälfte durch eine Kipp-Platte und deren andere, statische Hälfte durch eine ausgehende Leiterbahn unterhalb der Kipp-Platte, auf der Oberfläche des Substrats, ausgebildet ist. Die Änderung der Kapazität im Zuge der Erfassung

einer Messbewegung zieht dann eine entsprechende Änderung eines elektrischen Messsignals nach sich.

Sind den z-Massen Sensorelemente zur Erfassung der durch Corioliskräfte verursachten radialen Auslenkungen zugeordnet, so sind Drehraten um die z-Achse des Sensors über diese Sensorelemente sehr einfach und eindeutig zu ermitteln.

Vorzugsweise bilden die Sensorelemente, welche den z-Massen zugeordnet sind, bewegliche Messelektroden von Kondensatoren, deren statische Gegenstücke fest mit dem Substrat verbunden sind. Ein Teil der Messelektroden vollzieht somit die Bewegung der Sensorelemente mit und nähert sich oder entfernt sich hierbei von den statischen Gegenstücken der Messelektroden. Diese Abstandsänderung wird in ein veränderliches elektrisches Signal umgewandelt, welches Rückschlüsse auf die Drehrate des Sensors um die z-Achse erlaubt.

Die beweglichen Messelektroden der Sensorelemente sind vorzugsweise als in radialer Richtung bewegliche Rahmen ausgeführt. Es wird hierdurch ein stabiles Bauelement erhalten, welches die Bewegung zuverlässig signalisieren kann.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die z-Massen möglichst weit vom Zentrum des Sensors entfernt sind, da sie hierdurch einer stärkeren Corioliskraft ausgesetzt sind und somit eine größere Schwingungsamplitude an das zugeordnete Sensorelement abgeben. Bereits kleine Drehraten können hierdurch gemessen werden. Der Sensor kann darüber hinaus dennoch sehr kompakt und mit kleiner Fläche gebaut werden und eindeutige Signale für die jeweiligen Drehraten liefern.

Um zu gewährleisten, dass das Sensorelement von der tangentialen Bewegung der ihm zugeordneten z-Masse so weit als möglich entkoppelt wird, ist

vorteilhafterweise vorgesehen, dass die z-Masse und das Sensorelement mittels einer in tangentialer Richtung weichen und in radialer Richtung steiferen Feder verbunden sind. Die radiale Bewegung der z-Masse überträgt sich hierdurch auf das Sensorelement, wobei beide Radialschwingungen gemeinsam die Sekundärbewegung ergeben, ohne dass die tangentielle Primärbewegung der z-Masse auf das Sensorelement durchkoppeln könnte.

Um das der z-Masse zugeordnete Sensorelement stabil zu lagern, insbesondere um es auch gegen Einflüsse in anderen als der vorgesehenen Richtung unempfindlich zu machen, ist vorgesehen, dass das Sensorelement mittels vorzugsweise vier Federn an dem Substrat befestigt ist. Die Federn sind dabei so ausgebildet, dass sie eine radiale Beweglichkeit des Sensorelementes ermöglichen, Bewegungen in anderen Richtungen allerdings zu verhindern versuchen.

Vorzugsweise ist die Kipp-Platte mittels Federn an dem Substrat angeordnet, wobei die Federn eine tangential-rotatorische Beweglichkeit der Kipp-Platte in der x-y-Ebene und eine Kippbeweglichkeit der Kipp-Platte aus der x-y-Ebene heraus erlauben. Die Federn sind hierzu vorzugsweise zentrumsnah an einem Anker fixiert.

Eine bevorzugte Ausbildung der Grundform des Sensors ist eine im Wesentlichen runde Außenform. Die Drehbewegung der Primärbewegung wird hierdurch unterstützt und darüber hinaus ist der Sensor auf sehr kleinem Bau-raum unterzubringen.

Weitere Vorteile der Erfindung sind in nachfolgenden Ausführungsbeispielen beschrieben. Es zeigen:

**Figur 1** eine Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes Gyroskop,

**Figur 2** eine Draufsicht auf Kipp-Platten des Gyroskops gemäß Figur 1,

- Figur 3** die Verbindung der Kipp-Platten gemäß Figur 2,
- Figur 4** eine Draufsicht auf die z-Sensoreinrichtung des Gyroskops der Figur 1,
- Figur 5** eine Detailansicht einer z-Sensoreinrichtung des Gyroskops gemäß Figur 1,
- Figur 6** eine Skizze der Primärbewegung des Sensors gemäß Figur 1,
- Figur 7** eine Sekundärbewegung zur Ermittlung einer y-Drehrate des Gyroskops gemäß Figur 1 und
- Figur 8** die Ermittlung einer z-Drehrate des Gyroskops gemäß Figur 1.

Figur 1 zeigt in der Draufsicht die Zusammenschau aller Komponenten eines mikro-elektromechanischen Gyroskops gemäß der vorliegenden Erfindung. In den nachfolgenden Figuren sind einzelne Komponenten, ebenso wie die Schwingungsformen des Gyroskops beim Erfassen von Drehraten, näher erläutert.

Das Gyroskop besteht insbesondere aus Elementen zur Erfassung einer Drehrate um die x-Achse und die y-Achse, wobei letztere in der Zeichenebene liegen. Weitere Baugruppen des Gyroskops in dieser Ebene betreffen die Detektion der z-Drehrate. Parallel zu und unterhalb dieser Ebene befindet sich ein Substrat, auf welchem die dargestellten Bauteile, wie nachfolgend beschrieben, angeordnet sind.

Zur Erfassung der x- und y-Drehraten sind Kipp-Platten 2 vorgesehen. Zur Ermittlung einer z-Drehrate, d.h. einer Drehung des Gyroskops um die z-Achse ist im Wesentlichen eine z-Masse 3 zwischen jeweils zwei Kipp-Platten 2 angeordnet. Die z-Masse 3 befindet sich in einem Rahmen 4 und ist in

diesem mit vier Federn 5 befestigt. Der Rahmen 4 hängt über zwei Rahmenfedern 6 an zwei Rahmenankern 7, die auf dem Substrat fixiert sind.

Die Kipp-Platten 2 sind einerseits über Kippfedern 8 und einen Anker 9 auf dem Substrat befestigt. Außerdem sind die Kipp-Platten 2 mit zwei Synchronisationsfedern 10 jeweils zwischen zwei Rahmen 4 gehalten.

Als oszillierende Primärbewegung werden die Kipp-Platten 2 und die z-Massen 3 mit dem Rahmen 4 in eine oszillierende rotatorische Tangentialbewegung um die z-Achse angetrieben. Der Antrieb erfolgt in diesem Beispiel mittels Kammelektroden 11 und 11'. Hierbei sind Kammelektroden 11 an den bewegten Teilen, nämlich den Kipp-Platten 2 und dem Rahmen 4, befestigt, während die korrespondierenden Gegenelektroden 11' stationär auf dem Substrat befestigt sind. Durch das Anlegen einer Wechselspannung werden die Elektroden 11 und 11' jeweils auf entgegengesetzten Seiten wechselweise angezogen. Hierdurch entsteht die tangentiale Oszillation der Kipp-Platten 2 sowie der z-Massen 3 und Rahmen 4 im Sinne der Primärbewegung. Um die oszillierende Rotationsbewegung der einzelnen Elemente synchron zu halten und um die Kipp-Platten 2 und den Rahmen 4 stabil zu halten, sind die Synchronisationsfedern 10 zwischen den Kipp-Platten 2 und dem Rahmen 4 vorgesehen.

Tritt nun eine Drehung des Gyroskops um die x-Achse auf, so entstehen Corioliskräfte, welche bewirken, dass die auf der x-Achse angeordneten Kipp-Platten 2 aus der x-y-Ebene heraustreten. Aufgrund der vorbestimmten Elastizität der Kippfedern 8 sowie der Synchronisationsfedern 10 drehen sich die auf der x-Achse liegenden Kipp-Platten 2 um die y-Achse bzw. um die Kippfedern 8 in die Zeichenebene hinein und aus der Zeichenebene heraus. Hierfür sind die Kippfedern 8 derart ausgebildet, dass sie einerseits die Antriebsbewegung der Kipp-Platten 2 um die z-Achse erlauben und andererseits das Kippen um die y-Achse ebenfalls nicht wesentlich behindern. Um die x-Achse hingegen sind die Kippfedern 8 dieser auf der x-Achse befindlichen Kipp-

Platten 2 weitgehend starr. Gleiches gilt für eine Drehrate des Gyroskops um die y-Achse. In diesem Falle kippen die auf der y-Achse befindlichen Kipp-Platten 2 aus der x-y-Ebene heraus und zeigen die entsprechende Corioliskraft, welche auf die Kipp-Platten 2 einwirkt, an. Die entsprechenden Kippfedern 8 dieser Kipp-Platten 2 sind analog zu den anderen Kippfedern ausgeführt. Sie erlauben aufgrund ihrer Anordnung und Ausbildung eine Drehbewegung der auf der y-Achse gelegenen Kipp-Platten 2 um die z-Achse sowie eine Kippbewegung um die x-Achse. Um die y-Achse hingegen sind sie weitgehend starr ausgebildet. Die Synchronisationsfedern 10 sind so ausgebildet, dass sie ebenfalls die Kippbewegung der Kipp-Platten 2 aus der Zeichenebene x, y heraus erlauben. Die tangentielle Bewegung um die z-Achse hingegen leiten sie an das benachbarte Bauteil weiter. Sie sind dementsprechend weitgehend steif ausgebildet für Kräfte, welche in tangentialer Richtung wirken.

Für die Anzeige einer z-Drehrate des Gyroskops dienen unter anderem die z-Masse 3 und der Rahmen 4. Die Primärbewegung vollzieht sich zusammen mit den Kipp-Platten 2 ebenfalls in tangentialer Richtung um die z-Achse. Der Antrieb erfolgt mit Kammelektroden 11 und 11', wobei die Kammelektroden 11 an dem Rahmen 4 angeordnet sind, während die Kammelektroden 11' stationär auf dem Substrat befestigt sind. Die tangentielle Bewegung um die z-Achse wird unterstützt durch die Rahmenfedern 6, welche die tangentielle Bewegung erlauben, eine radiale Bewegung des Rahmens 4 jedoch weitgehend durch die entsprechende Federsteifigkeit in dieser Richtung verhindern.

Aufgrund der tangentialen Primärbewegung entstehen Corioliskräfte in radialer Richtung, sobald das Gyroskop um die z-Achse dreht. Der Rahmen 4 kann durch die Aufhängung an den Rahmenfedern 6 und den Synchronisationsfedern 10 nicht in radialer Richtung ausweichen. Die z-Masse 3 hingegen ist in dem Rahmen 4 mit ihren Federn 5 so aufgehängt, dass sie in radialer Richtung der Corioliskraft nachgeben kann. Die Federn 5, mit welchen die z-Masse 3 in dem Rahmen 4 befestigt ist, sind derart zueinander angestellt,

dass die z-Masse 3 unempfindlicher gegen parasitäre Drehmomente wird, welche allein aus der tangentialen Primärbewegung entstehen. Die z-Masse 3 reagiert hierdurch im Wesentlichen nur auf Corioliskräfte, die durch eine Drehrate entlang der z-Achse entstehen.

Um die z-Drehrate frei von Störeinflüssen feststellen zu können, ist die z-Masse 3 mit einem Sensorelement 12 verbunden. Das Sensorelement 12 ist mittels Sensorfedern 13 an dem Anker 9 sowie an zwei Ankern 14 befestigt. Das Sensorelement 12 ist darüber hinaus mit der z-Masse 3 über eine Koppelfeder 15 verbunden. Die Koppelfeder 15 ist in tangentialer Richtung weich und in radialer Richtung steifer ausgebildet. Hierdurch entsteht eine Entkopplung zwischen der Antriebsbewegung der z-Masse in tangentialer Richtung und der Sensor- bzw. Sekundärbewegung in radialer Richtung. Während die z-Masse in tangentialer Richtung angetrieben wird, ohne dass dies wesentliche Auswirkungen auf das Sensorelement 12 hat, wird beim Auftreten einer Corioliskraft die z-Masse 3 in radialer Richtung nach außen und innen bewegt und nimmt bei dieser Bewegung das Sensorelement 12 aufgrund der entsprechenden Federsteifigkeit der Koppelfeder 15 mit. Die Sensorfedern 13 sind bzgl. ihrer Federsteifigkeit ebenfalls so ausgebildet, dass sie das Sensorelement 12 in radialer Richtung kaum behindern, d.h. dass sie in dieser Richtung eine relative geringe und jedenfalls genau einstellbare Federsteifigkeit aufweisen, während sie Bewegungen des Sensorelements 12 in tangentialer Richtung weitgehend verhindern. Es entsteht hierdurch eine Entkopplung der Primärbewegung von der Sekundärbewegung, so dass das Sensorelement 12 eine auftretende Corioliskraft in radialer Richtung nur durch eine entsprechende oszillierende Bewegung in radialer Richtung anzeigt. Die Gitterstruktur des Sensorelementes 12 realisiert hierbei die bewegliche Elektrode eines Kondensators, dessen statische Gegenpole innerhalb der Ausnehmungen auf dem Substrat fixiert und nicht mitgezeichnet sind. Diese variable Kapazität dient zur Umwandlung der Erfassungsbewegung in ein elektrisches Signal.

Einzelne Elemente des Gyroskops sind in folgenden Figuren der besseren Übersichtlichkeit halber herausgelöst aus den übrigen Bauelementen dargestellt.

Figur 2 zeigt die Kipp-Platten 2. Jede der Kipp-Platten 2 ist mittels zweier Kippfedern 8 an zwei Ankern 9 befestigt. Die Kippfedern 8 erlauben einerseits die tangentielle oszillierende Primärbewegung der Kipp-Platten 2, andererseits erlauben sie auch die Verkippung der Kipp-Platten 2 aus der x-y-Ebene heraus um die Kippfedern 8 herum. In radialer Richtung sind die Kippfedern 8 hingegen steif ausgebildet, so dass die Kipp-Platten 2 nicht nennenswert auf eine Corioliskraft, welche in radialer Richtung wirkt und eine z-Rotation des Gyroskops anzeigt, ausgelenkt werden. Eine vorbestimmte Auslenkung der Kipp-Platten 2 erfolgt somit aufgrund einer Drehrate um die x- oder um die y-Achse.

Gemäß Figur 3 sind die Kipp-Platten 2 der Figur 2 mit Rahmen 4 und Synchronisationsfedern 10 verbunden. Diese hier dargestellte Einheit wird in eine synchrone tangentielle Bewegung um die z-Achse als Primärbewegung versetzt. Die Verbindungsfedern 10 synchronisieren die tangentielle Bewegung der Kipp-Platten 2 und der Rahmen 4. Geschwindigkeitsunterschiede in den Komponenten, welche evtl. durch Toleranzen bei der Fertigung des Gyroskops entstehen könnten, werden durch die Synchronisationsfedern 10 ausgeglichen. Die einzelnen Bauteile schwingen somit mit einer gemeinsamen Resonanzfrequenz und zeigen dementsprechend auch in gleicher Weise Drehraten an.

Figur 4 zeigt die Bauteile, welche für die Erfassung einer z-Drehrate maßgeblich sind. In der Primärbewegung wird die z-Masse 3 zusammen mit dem hier nicht dargestellten Rahmen 4 in eine oszillierende tangentielle Bewegung um die z-Achse versetzt. Als Reaktion auf eine Rotation des Gyroskops um die z-Achse wird die z-Masse 3 zu radialer Oszillation angeregt. Die z-Masse 3 ist über die Koppelfeder 15 mit dem Sensorelement 12 verbunden. Das

Sensorelement 12 ist über Sensorfedern 13 an den Ankern 9 und 14 fixiert. Die Sensorfedern 13 erlauben eine radiale Bewegung des Sensorelementes 12, welche im Zuge der Erfassung einer Drehrate um die z-Achse durch die radiale Oszillation der z-Masse 3 eingekoppelt wird. Die Übertragung der radialen Bewegung von der z-Masse 3 auf das Sensorelement 12 erfolgt durch die Koppelfeder 15. Diese ist einerseits weich genug, um die tangentielle Primärbewegung der z-Masse 3 nicht auf das Sensorelement 12 zu übertragen und andererseits so steif, dass die Sekundärbewegung der z-Masse 3 zu einer Radialbewegung des Sensorelementes 12 führt. Vier der entsprechenden Bauteile sind im 90°-Winkel zueinander auf dem Substrat des Gyroskops angeordnet. Sie befinden sich dabei auf den Winkelhalbierenden zwischen der x- und der y-Achse.

In Figur 5 ist nochmals eine Detailansicht der Bauelemente für die Ermittlung der z-Drehrate dargestellt. Die z-Masse 3 ist mittels Federn 5 in dem Rahmen 4 befestigt. Der Rahmen 4 ist über die in tangentialer Richtung weichen Rahmenfedern 6 an dem Rahmenanker 7 befestigt. Das Sensorelement 12 ist neben der Befestigung an dem Anker 9 zusätzlich an den Ankern 14 angeordnet. Die Anker 14 können zusätzlich zu ihrer Funktion als Fixierungspunkte für Federn 13 als Stopper für die Primärbewegung des Rahmens 4 und auch der Kipp-Platten 2 dienen. Die radiale Bewegung der z-Masse 3 wird über die Koppelfeder 15 auf das Sensorelement 12 übertragen, welches ebenfalls zusammen mit der z-Masse 3 in eine radiale oszillierende Bewegung gerät, sobald eine Corioliskraft eine z-Drehrate anzeigt.

Figur 6 zeigt das Gyroskop in seiner Primärbewegung in schematischer Darstellung. Daraus wird ersichtlich, dass die Kipp-Platten 2 ebenso wie die Rahmen 4 mit den z-Massen 3 in eine oszillierende Drehbewegung um die z-Achse versetzt werden. Die Anker 14 dienen dabei als Stopper der Kipp-Platten 2 und der Rahmen 4. Die Sensorelemente 12 bleiben bei dieser Primärbewegung unbewegt auf dem Substrat angeordnet. Die Darstellung ist

ebenso wie in den folgenden Figuren schematisch, weshalb im Detail Ungenauigkeiten bei der Darstellung vorhanden sein können.

In Figur 7 ist das Auslenken der auf der x-Achse befindlichen Kipp-Platten 2 dargestellt, welches eine x-Drehrate des Gyroskops anzeigt. Die auf der x-Achse befindlichen Kipp-Platten 2 werden um die Kippfedern 8, mit welchen sie an den Ankern 9 befestigt sind, aus der x-y-Ebene herausgekippt. Die auf der y-Achse befindlichen Kippelemente 2 bleiben hingegen in dieser Ebene. Durch die Federsteifigkeiten der Synchronisationsfedern 10 werden bei diesem Ausführungsbeispiel auch die Rahmen 4 und die z-Massen 3 gekippt, jedoch schlagen diese Auslenkungen aufgrund der Weichheit der Koppelfedern 15 nicht auf das Sensorelement 12 durch. Durch Plattenkondensatoren, deren bewegliche Hälfte durch die Kipp-Platte 2 selbst gebildet wird, und deren statische Hälfte sich unterhalb der zugeordneten Kipp-Platte 2 auf dem Substrat befindet, können die jeweiligen Kippbewegungen in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Aufgrund der Weichheit der Koppelfedern 15 haben diese Bewegungen keine Auswirkung auf die Sensorelemente 12. In gleicher Weise ist eine y-Drehrate zu erfassen. Dabei kippen die Kipp-Platten 2, welche entlang der y-Achse angeordnet sind, aus der x-y-Ebene heraus. Gegebenenfalls werden hierdurch die z-Massen 3 und die Rahmen 4, welche an den Kipp-Platten 2 über die Synchronisationsfedern 10 befestigt sind, ebenfalls aus der x-y-Ebene zumindest teilweise herausbewegt.

In Figur 8 ist die Erfassung einer z-Drehrate des Gyroskops schematisch dargestellt. Hierbei werden, wie bereits zuvor beschrieben, die z-Massen 3 in radialer Richtung durch die auftretende Corioliskraft in radiale Schwingungen versetzt. Durch die Koppelfeder 15 wird bei dieser Bewegung der z-Masse 3 das Sensorelement 12 ebenfalls radial oszillierend bewegt. Die entsprechenden Federn sind so ausgelegt, dass das Sensorelement 12 in dieser radialen Richtung leicht bewegbar ist, hingegen in einer Richtung aus der x-y-Ebene heraus oder in tangentialer Richtung um die z-Achse herum unbeweglich bleibt. Die radiale Bewegung des Sensorelementes 12 kann an der Gitter-

struktur des Sensorelementes mittels korrespondierender Elektroden, welche an dem Substrat stationär befestigt sind, ermittelt werden. Zur Erfassung der z-Drehrate bleiben die Kipp-Platten 2 ebenso wie der Rahmen 4 weitgehend unbewegt. Gegebenenfalls kann jedoch, abhängig von den entsprechenden Federkonstanten, der Rahmen 4 leicht in radialer Richtung ausgelenkt werden.

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die dargestellte Ausführungsbeispiele beschränkt. Insbesondere sind Abwandlungen, beispielsweise der Gestaltung der einzelnen Bauteile sowie auch die Anordnung der Bauteile zueinander anders als hier dargestellt möglich, soweit sie im Rahmen der geltenden Patentansprüche sind.

**Bezugszeichenliste**

1	Substrat
2	Kipp-Platte
3	z-Masse
4	Rahmen
5	Feder
6	Rahmenfeder
7	Rahmenanker
8	Kippfeder
9	Anker
10	Synchronisationsfeder
11	Kammelektrode
11'	Gegenelektrode
12	Sensorelement
13	Sensorfeder
14	Anker
15	Koppelfeder

## Patentansprüche

1. Mikro-Gyroskop zur Ermittlung von Rotationsbewegungen um drei senkrecht aufeinanderstehende Raumachsen  $x$ ,  $y$  und  $z$ ,
  - mit einem Substrat (1), auf welchem mehrere tangential um die senkrecht auf dem Substrat (1) stehende  $z$ -Achse oszillierende Massen (2, 3) angeordnet sind, wobei die oszillierenden Massen (2, 3) mittels Federn (5, 6, 8) und Ankern (7, 9) auf dem Substrat (1) befestigt sind,
  - mit Antriebselementen (11) zur Aufrechterhaltung oszillierender tangentialer Schwingungen der Massen (2, 3) um die  $z$ -Achse, wodurch die Massen (2, 3) bei einer Rotation des Substrats (1) um eine beliebige Raumachse Corioliskräften und dadurch verursachten Auslenkungen unterworfen sind und
  - mit Sensorelementen, um die Auslenkungen der Massen (2, 3) aufgrund der erzeugten Corioliskräfte zu erfassen,  
dadurch gekennzeichnet,
  - dass einige der um die  $z$ -Achse oszillierenden Massen (2, 3) im Wesentlichen um die parallel zum Substrat (1) verlaufende  $x$ -Achse kippbar gelagert sind,
  - dass andere der um die  $z$ -Achse oszillierenden Massen (2, 3) im Wesentlichen um die ebenfalls parallel zum Substrat (1) verlaufende  $y$ -Achse kippbar gelagert sind,
  - dass wiederum wenigstens eine andere der oszillierenden Massen (2, 3) zumindest teilweise zusätzlich im Wesentlichen radial zur  $z$ -Achse in der  $x$ - $y$ -Ebene parallel zur Ebene des Substrats (1) auslenkbar ist und
  - dass dieser zusätzlich radial auslenkbaren  $z$ -Masse (3) ein ebenfalls radial zu der  $z$ -Achse auslenkbares, aber nicht um die  $z$ -Achse oszillierendes Sensorelement (12) zugeordnet ist.

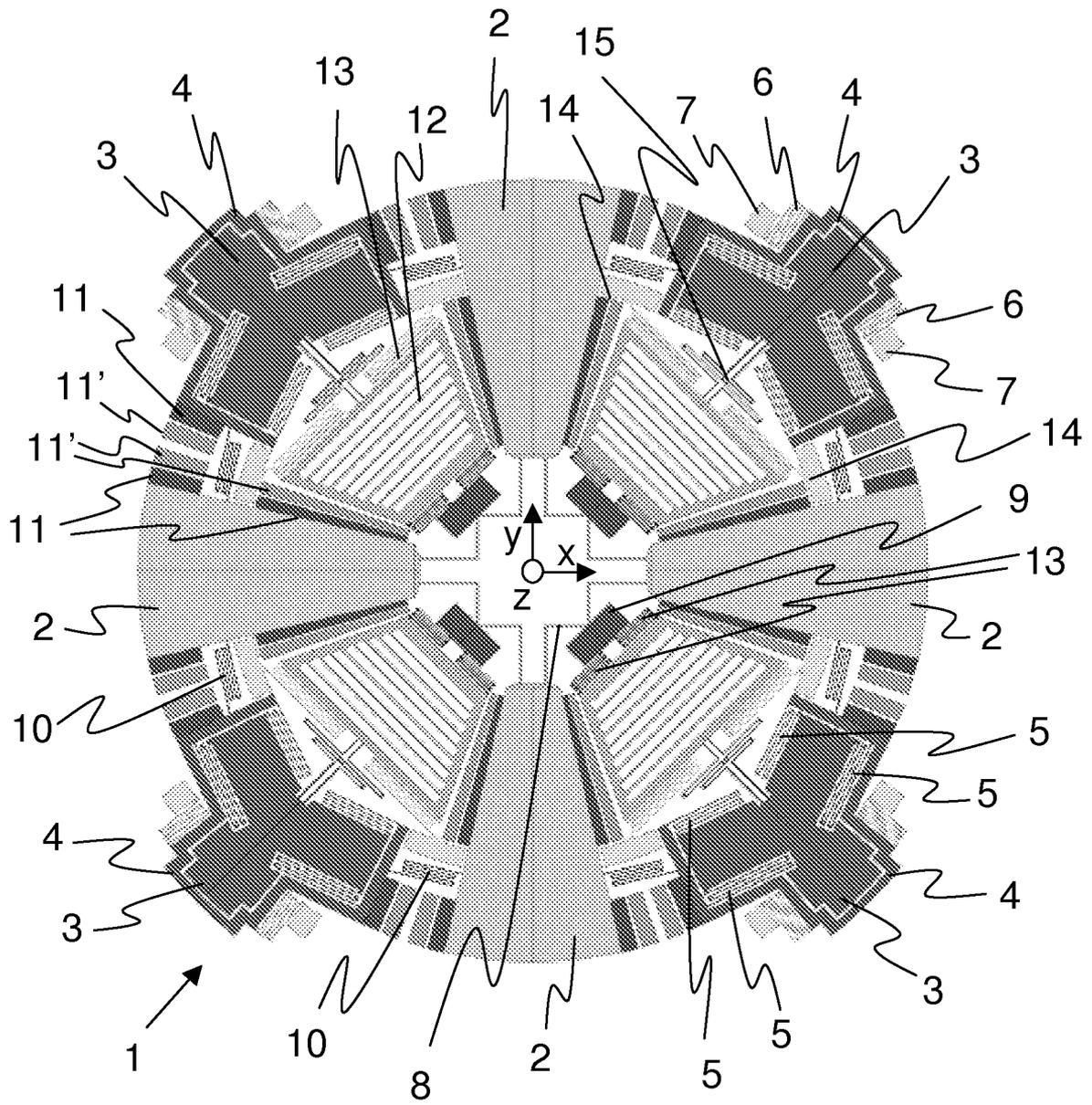
2. Mikro-Gyroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gyroskop im Wesentlichen acht Massen (2, 3) aufweist, welche tangential um die z-Achse oszillieren, wobei vier dieser Massen als z-Masse (3) konzipiert sind, welche zusätzlich radial zur z-Achse beweglich ist.
3. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die im Wesentlichen nur tangential um die z-Achse oszillierenden Massen Kipp-Platten (2) zum Erfassen einer Drehung des Substrats (1) um die x- bzw. y-Achse sind.
4. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die sowohl radial zur als auch tangential um die z-Achse bewegliche z-Masse (3) an einen Rahmen (4) gekoppelt ist, um in tangentialer Bewegung um die z-Achse versetzt zu werden.
5. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der sowohl radial zur als auch tangential um die z-Achse beweglichen z-Masse (3) zumindest ein weiteres Sensorelement (12) zum Erfassen ihrer durch Corioliskräfte hervorgerufenen radialen Auslenkung zugeordnet ist.
6. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen (4) mit Federn (6), insbesondere mit zwei Federn (6) tangential um die z-Achse beweglich auf dem Substrat (1) verankert ist.
7. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rahmen (4) zwischen den nur tangential um die z-Achse oszillierenden Massen bzw. Kipp-Platten (2) angeordnet sind.

8. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die sowohl radial zur als auch tangential um die z-Achse bewegliche z-Masse (3) mit dem Rahmen (4) mit mindestens einer, vorzugsweise vier Feder/n (5) verbunden ist.
9. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die z-Masse (3) in dem Rahmen (4) im Wesentlichen nur radial beweglich angeordnet ist.
10. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rahmen (4) im Wesentlichen nur tangential um die z-Achse beweglich auf dem Substrat (1) verankert sind.
11. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kipp-Platten (2) und die Rahmen (4) mit Federn (10) miteinander verbunden sind.
12. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Federn (10), welche Kipp-Platten (2) und Rahmen (4) verbinden, in tangentialer Richtung steif, in radialer Richtung aber weich sind.
13. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass einige der nur tangential um die z-Achse oszillierenden Massen bzw. Kipp-Platten (2) im Wesentlichen nur um die x-Achse und andere der nur tangential um die z-Achse oszillierenden Massen bzw. Kipp-Platten (2) im Wesentlichen nur um die y-Achse kippbar auf dem Substrat (1) verankert sind.
14. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die nur tangential um die z-Achse

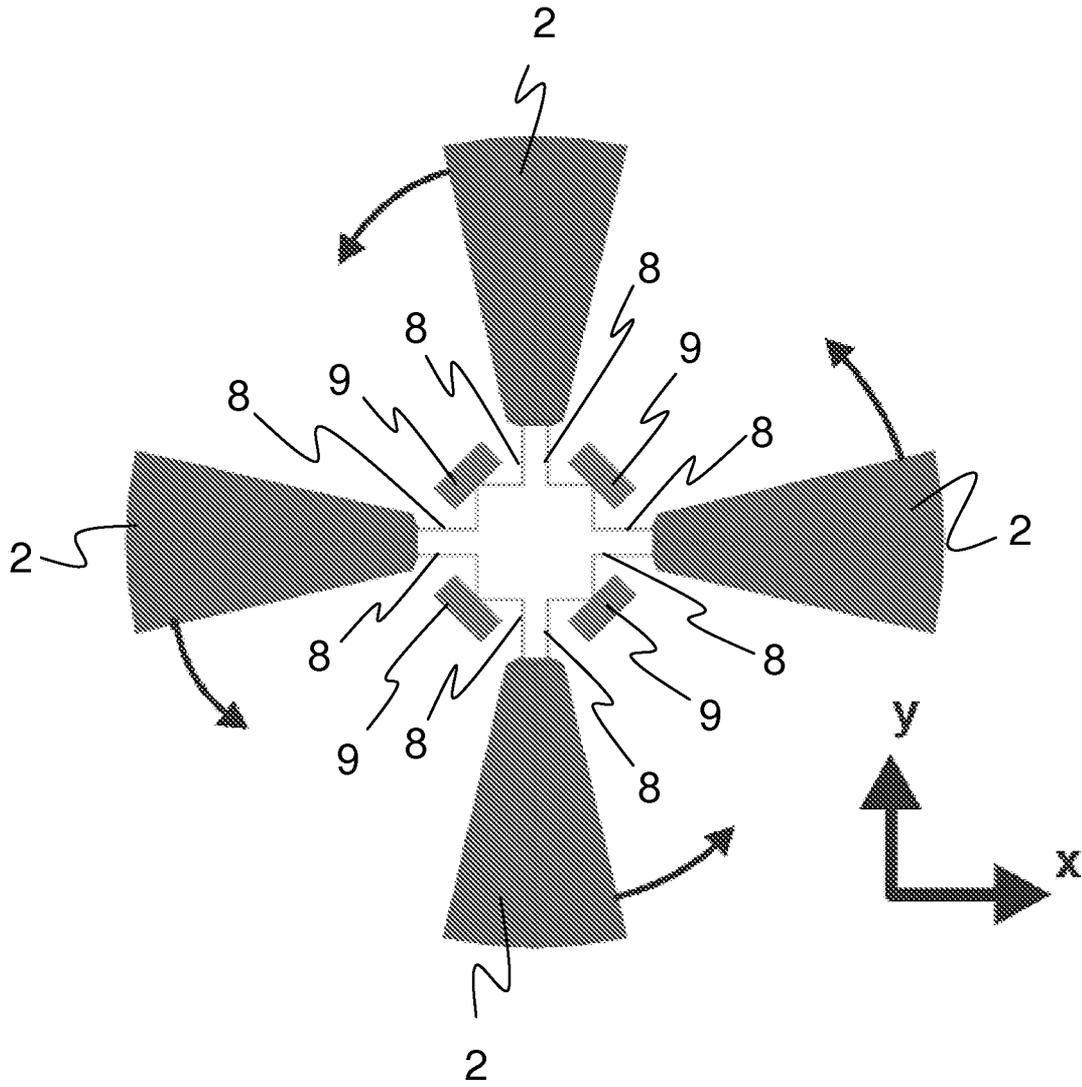
oszillierenden Massen (2) und/oder die Rahmen (4) Antriebselemente (11) zur Aufrechterhaltung der tangentialen Antriebsschwingung um die z-Achse enthalten.

15. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zur Aufrechterhaltung der Antriebsschwingung um die z-Achse notwendigen Antriebselemente (11) Elektroden von Kammkondensatoren sind, welche mit geeigneten Wechsel-Antriebsspannungen beschickt werden.
16. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass unterhalb der Kipp-Platten (2) Sensorelemente zum Erfassen der Auslenkung der Kipp-Platten (2) angeordnet sind.
17. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass den z-Massen (3) Sensorelemente zur Erfassung ihrer durch Corioliskräfte verursachten radialen Auslenkungen zugeordnet sind.
18. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die den z-Massen (3) zur Erfassung ihrer durch Corioliskräfte verursachten radialen Auslenkungen zugeordneten Sensorelemente bewegliche Messelektroden von Kondensatoren sind, deren statischen Gegenstücke fest mit dem Substrat (1) verbunden sind.
19. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die beweglichen Messelektroden als in radialer Richtung bewegliche Rahmen ausgeführt sind.

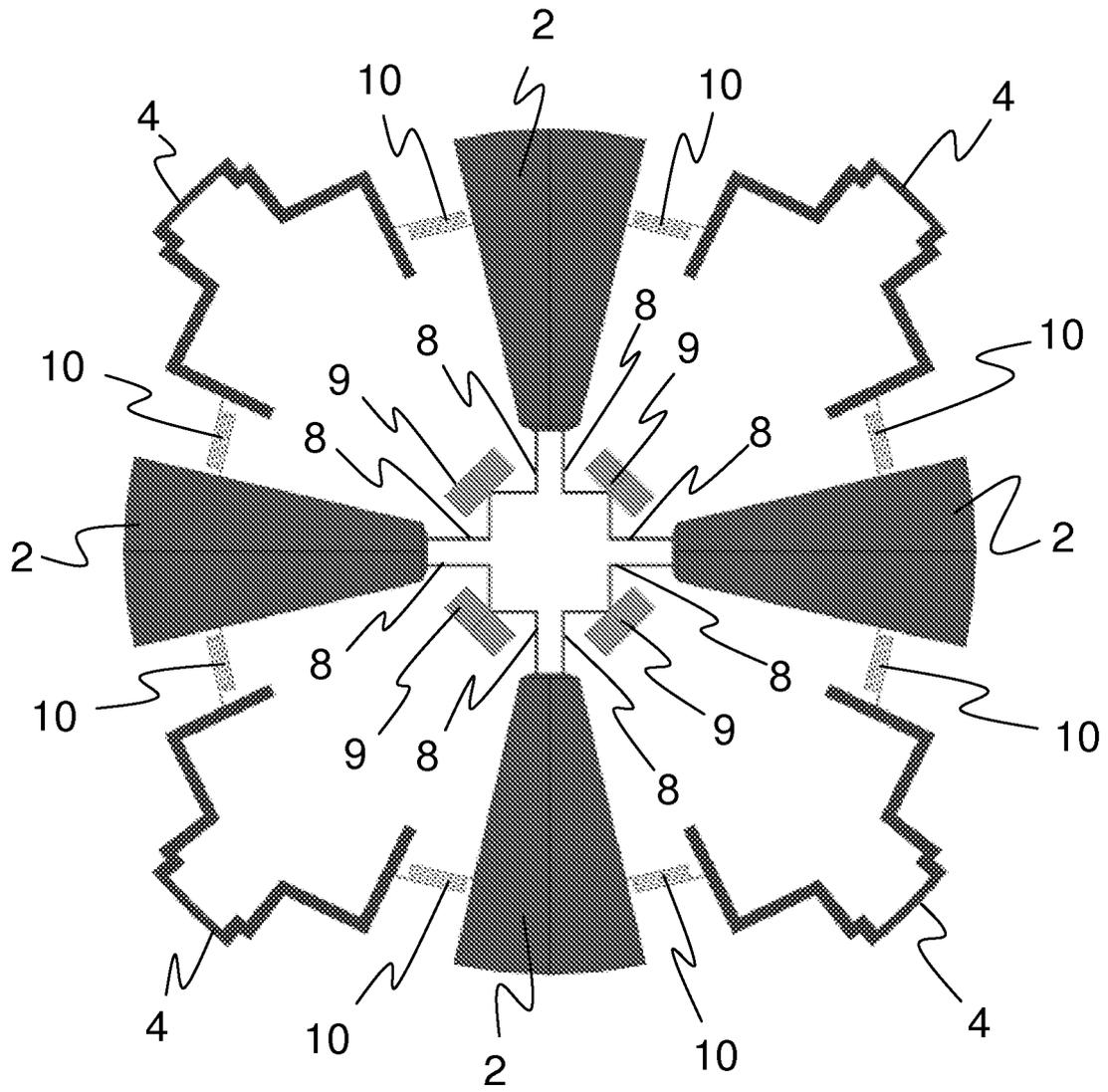
20. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messelektroden der Sensorelemente (12) dem Zentrum des Sensors näher sind als die z-Massen (3).
21. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Gesamtsensor im Wesentlichen eine runde Außenform aufweist.
22. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die z-Masse (3) und das Sensorelement (12) mittels einer in tangentialer Richtung weichen und in radialer Richtung steiferen Feder (15) verbunden sind.
23. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Sensorelement (12) mittels vorzugsweise vier Federn (13) an dem Substrat (1) befestigt ist.
24. Mikro-Gyroskop nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kipp-Platte (2) mittels Federn (8) an dem Substrat (1) angeordnet ist, welche eine tangentielle Beweglichkeit in der x-y-Ebene und eine Kippbeweglichkeit aus der x-y-Ebene heraus erlaubt, aber eine torsionale Verdrehung der Kipp-Platte (2) um ihre Längsachse erschwert.



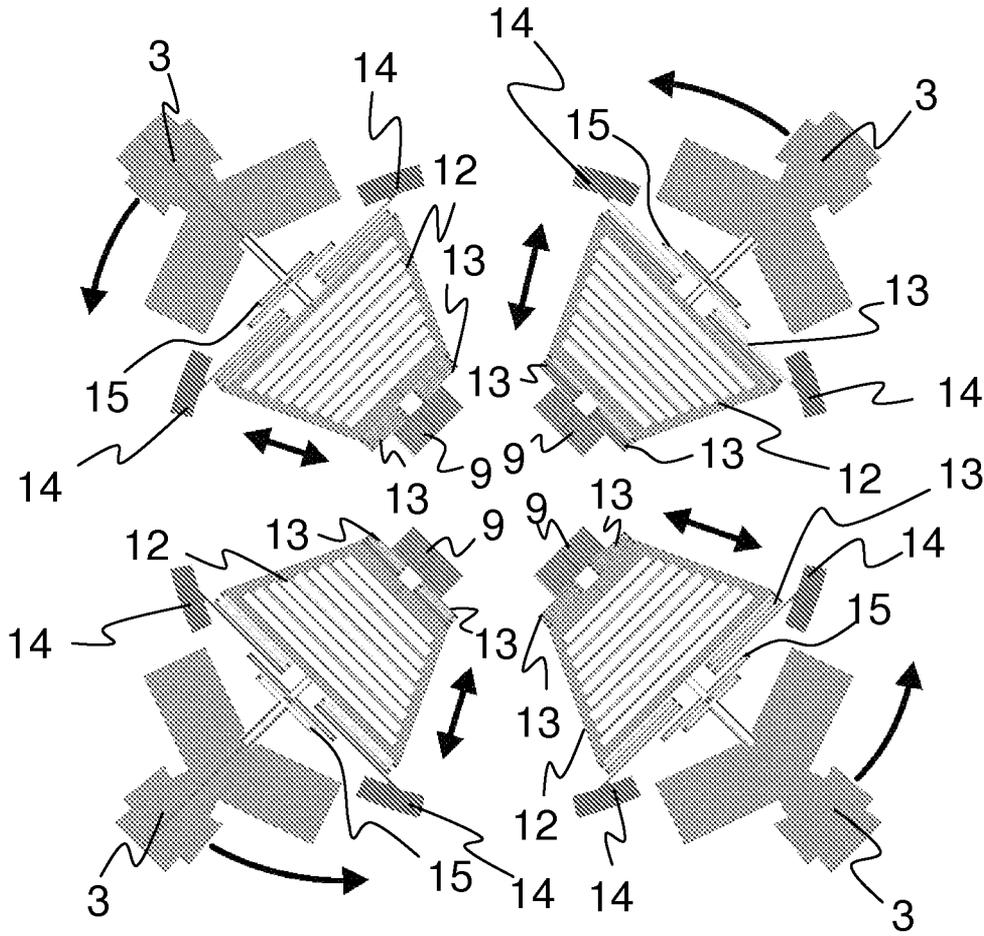
**Fig. 1**



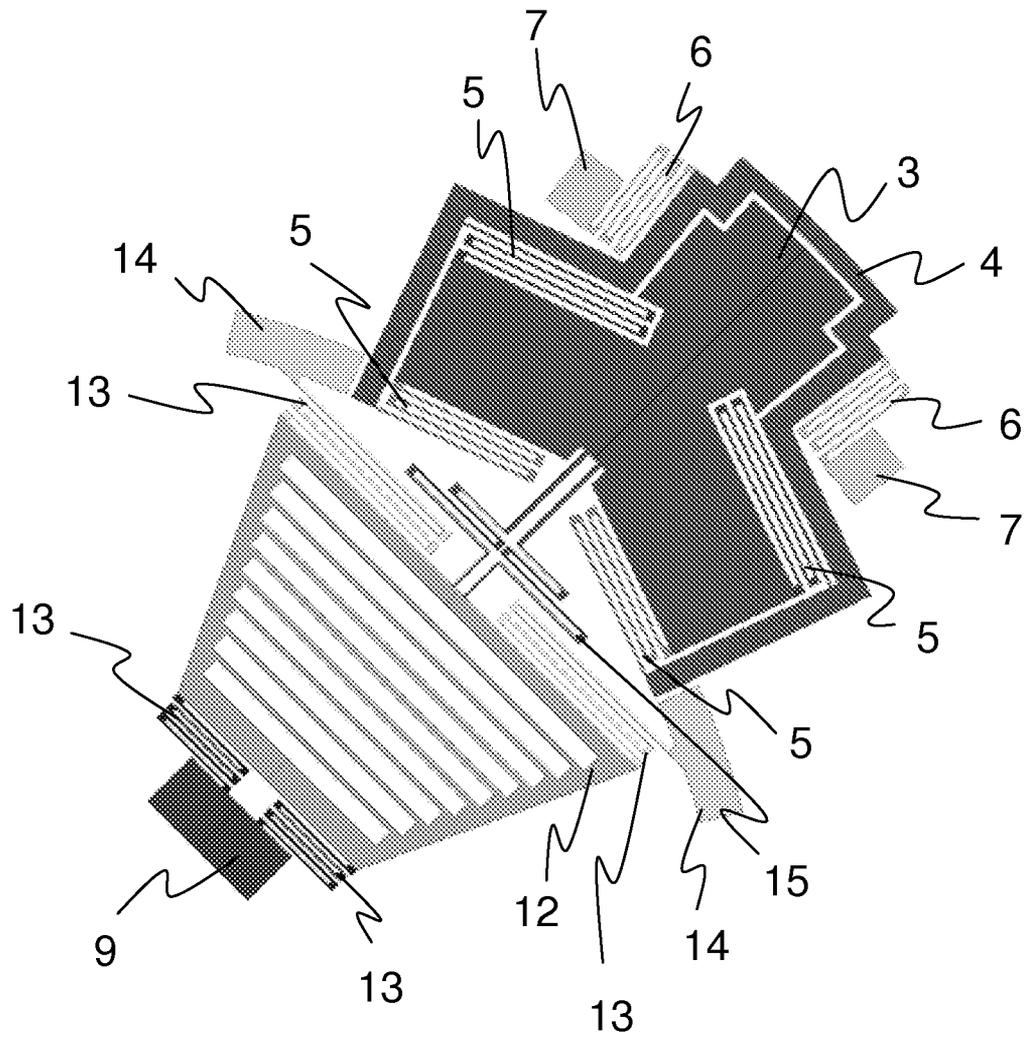
**Fig. 2**



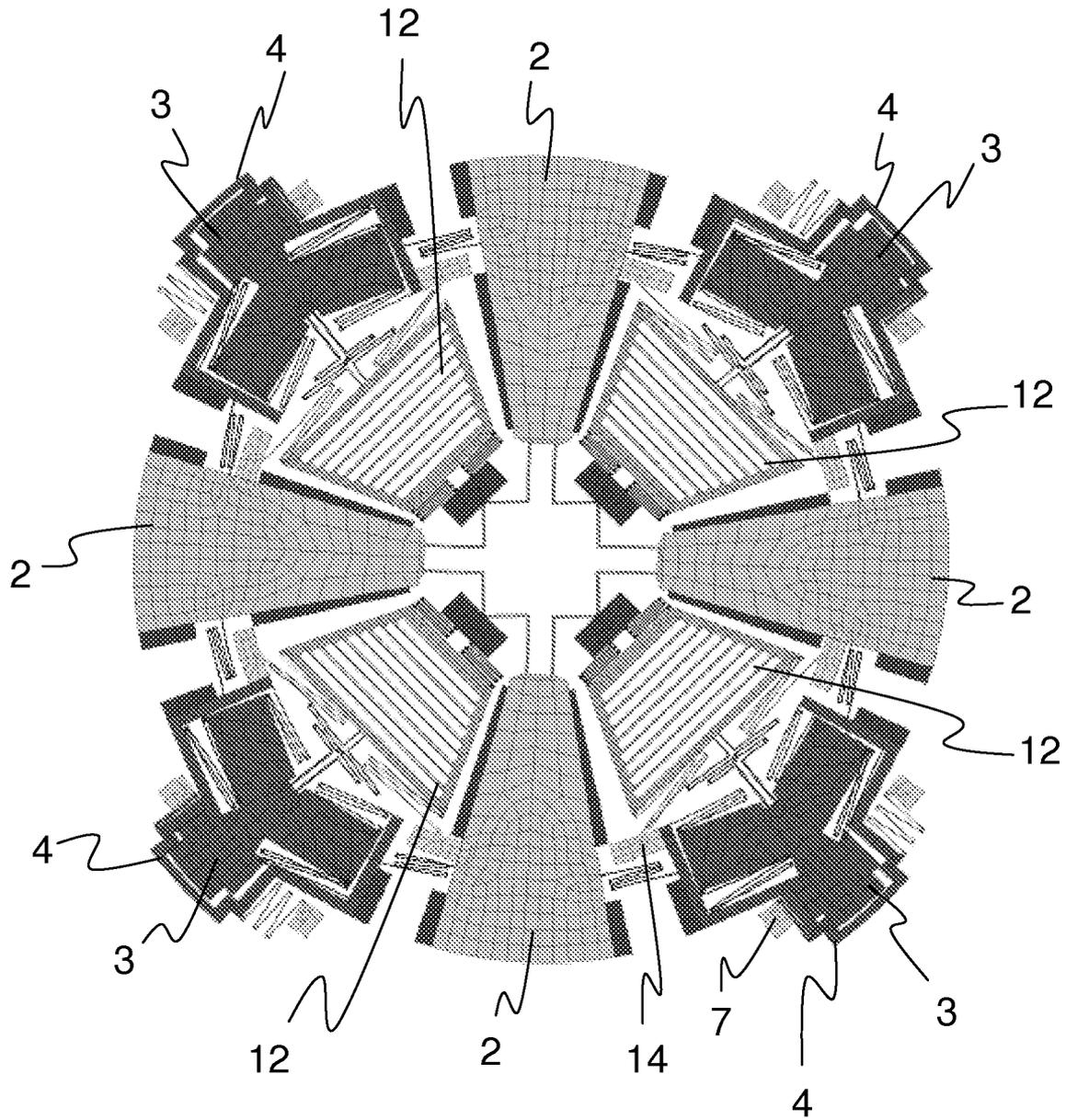
**Fig. 3**



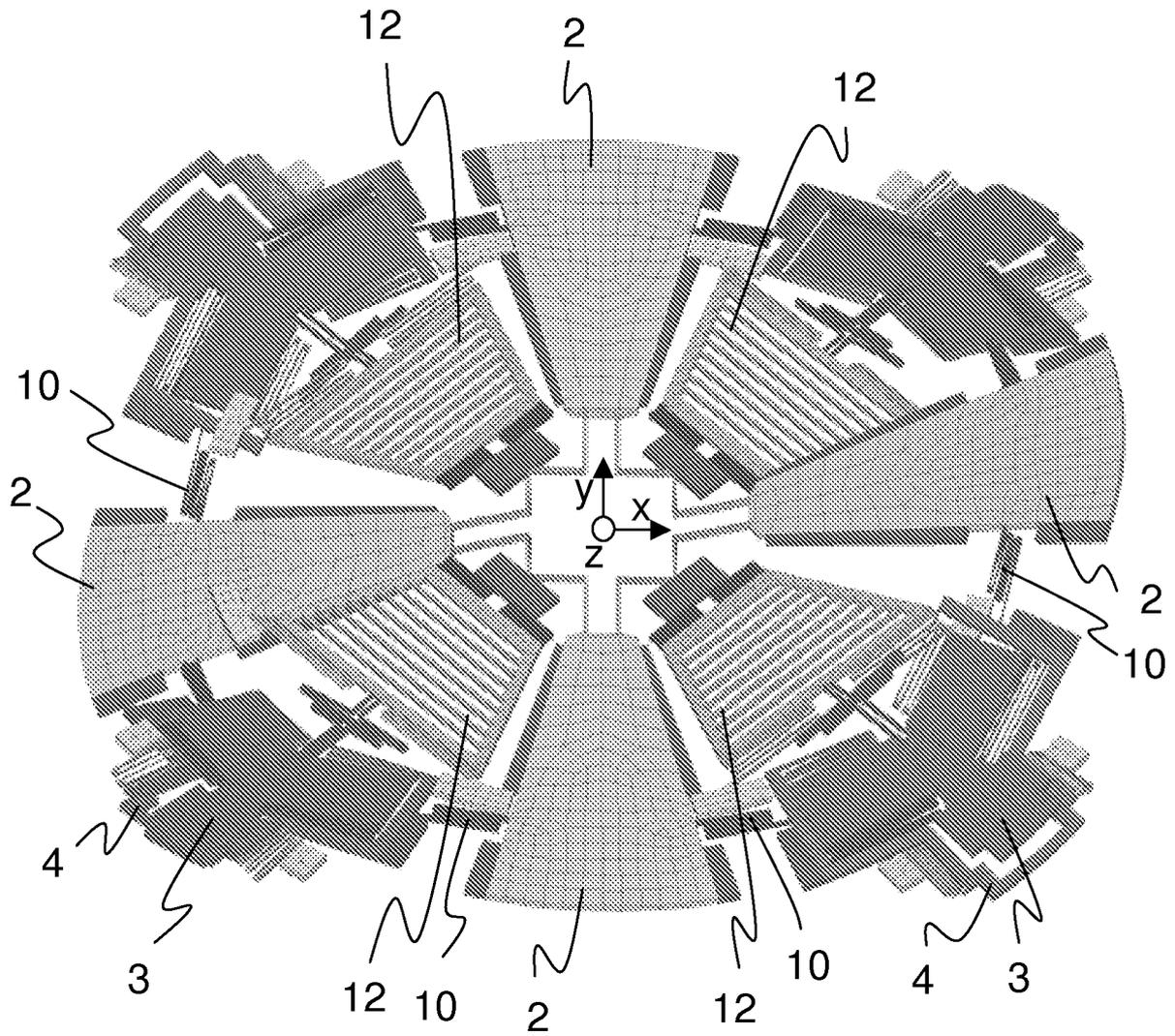
**Fig. 4**



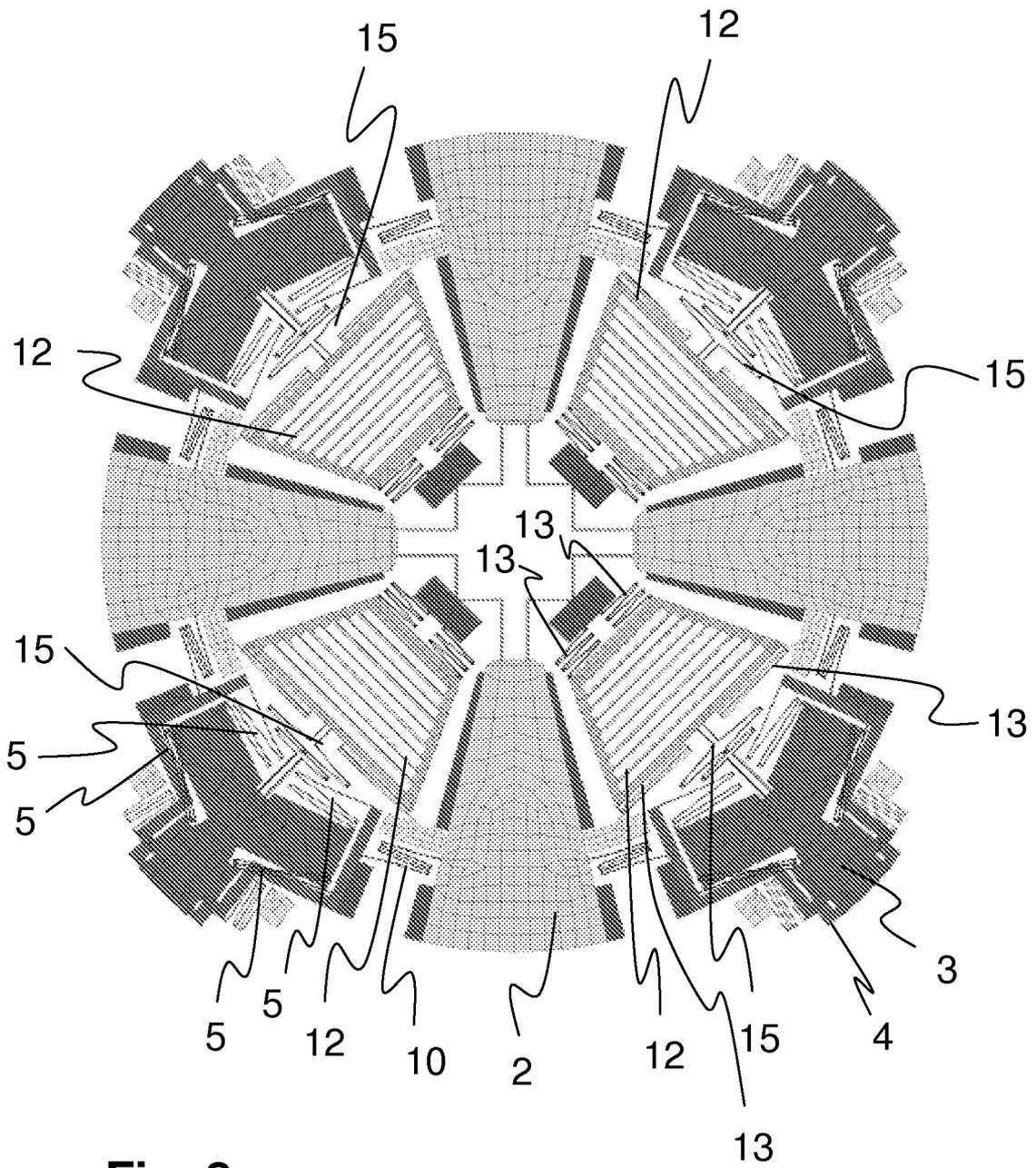
**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
**PCT/EP2010/052880**

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. G01C19/56  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
**G01C**

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**EPO-Internal**

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 832 841 A1 (ST MICROELECTRONICS SRL [IT]) 12 September 2007 (2007-09-12) paragraphs [0044] - [0046]; figures 13, 14 paragraphs [0010] - [0012], [0014], [0017], [0032] - [0033]	1-24

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

**11 June 2010**

Date of mailing of the international search report

**29/06/2010**

Name and mailing address of the ISA/  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

**Kuhn, Robert**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/052880

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 1832841	A1	12-09-2007	JP 2007271611 A	18-10-2007
			US 2007214883 A1	20-09-2007
-----				

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/052880

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01C19/56

ADD...

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 1 832 841 A1 (ST MICROELECTRONICS SRL [IT]) 12. September 2007 (2007-09-12) Absätze [0044] - [0046]; Abbildungen 13, 14 Absätze [0010] - [0012], [0014], [0017], [0032] - [0033]	1-24

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Juni 2010

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/06/2010

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kuhn, Robert

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/052880

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1832841	A1 12-09-2007	JP 2007271611 A US 2007214883 A1	18-10-2007 20-09-2007
-----			