(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 28 713 T2** 2005.06.30

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 859 219 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 28 713.4**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 301 134.7**
(96) Europäischer Anmeldetag: **17.02.1998**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **19.08.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **26.01.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.06.2005**

(51) Int Cl.[7]: **G01C 19/56**

(30) Unionspriorität:
9703357 18.02.1997 GB

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, IT, LI, NL, SE

(73) Patentinhaber:
BAE SYSTEMS plc, Farnborough, Hampshire, GB

(74) Vertreter:
Patentanwälte Wallach, Koch & Partner, 80339 München

(72) Erfinder:
Hopkin, Ian David, Southway, Devon, PL6 6DE, GB; Fell, Christopher Paul, Southway, Devon, PL6 6DE, GB; Townsend, Kevin, Southway, Devon, PL6 6DE, GB; Mason, Timothy Robert, Southway, Devon, PL6 6DE, GB

(54) Bezeichnung: **Vibrationsstrukturkreisel**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Vibrationsstruktur-Gyroskope arbeiten infolge von abgeleiteten Korioliskräften, die auftreten, wenn ein Partikel in einem rotierenden Bezugsrahmen einer linearen Bewegung unterworfen wird. Praktische Geräte mit dieser Technologie sind in den US-A-5226321 und US-A-4655081 beschrieben. Die EP-A-0 564 175 beschreibt einen Geschwindigkeitssensor mit elektromagnetischem Antrieb, der durch Erzeugung eines oszillierenden Magnetfeldes erzeugt wird, das auf einen Ringresonator einwirkt. Der Ringresonator besteht entweder aus magnetisch empfindlichem Material oder besitzt ein darauf abgelagertes magnetisch empfindliches Material. Das oszillierende Magnetfeld erzeugt eine Kraft, die das magnetische Material an das elektromagnetische Antriebsmodul anzieht, und diese Kraft wirkt direkt entlang der magnetischen Flusslinien, d.h. nach dem magnetischen Antrieb. Das Magnetfeld wird in der Ebene des Resonators oder parallel hierzu benutzt. Die US-A-5226321 beschreibt die Benutzung einer ebenen reifenartigen Struktur oder ringartigen Struktur als Vibrationselement oder Resonator eines derartigen Vibrationsstruktur-Gyroskops, wobei die Resonatorstruktur in herkömmlicher Weise spanabhebend oder mikrospanabhebend unter Benutzung einer Siliziumverarbeitungstechnik bearbeitet werden kann.

[0002] Derartige ebene Strukturen werden im typischen Fall in einem cos2θ – Resonanzmodus erregt. Für einen perfekt symmetrischen Resonator besteht der cos2θ – Modus tatsächlich als degeneratives Paar von Vibrationsmoden unter einem gegenseitigen Winkel von 45°. Dies ist schematisch in den Fig. 1A und Fig. 1B dargestellt, wobei die Vibration der Struktur um die Primärachse P und die Sekundärachse S verläuft. Demgemäß zeigen Fig. 1A und Fig. 1B die Resonatorform mit den zwei Punkten extremer Deformation während eines einzigen Vibrationszyklus. Einer dieser Moden (Fig. 1A) wird als Trägermodus erregt. Wenn die Struktur um die Achse normal zur Ebene des Rings gedreht wird, dann koppeln Korioliskräfte Energie in den zweiten Ansprechmodus (Fig. 1B) ein. Die Amplitude der Bewegung des Ansprechmodus liefert ein direktes Maß der angelegten Drehgeschwindigkeit.

[0003] Die US-A-5226321 beschreibt weiter, dass der Resonator durch verschiedene Mittel in Erregung versetzt werden kann, und zwar vorzugsweise elektromagnetisch, aber auch durch optische oder thermische Ausdehnung oder piezoelektrisch oder auf elektrostatische Weise, wobei die Vibration des Resonators vorzugsweise durch elektrostatische (kapazitive) Mittel abgefühlt wird.

[0004] Die EP-A-0 461 761 beschreibt ein Vibrationsstruktur-Gyroskop, welches elektrostatische Resonatorantriebsmittel und elektrostatische Resonatorvibrations-Sensormittel benutzt, aber angibt, dass der Antrieb auch ein Mittel einer Anzahl von Mitteln sein kann, wobei eines der Mittel elektromagnetische Wirkungen sind, wobei die Vibration wiederum durch ein Mittel von mehreren abgefühlt werden kann, wobei eines der Mittel elektromagnetisch ist.

[0005] Derartige bekannte Strukturen besitzen eine Zahl von Nachteilen. Erstens sind kapazitive Vibrationssensormittel oder Abnehmer empfindlich für eine Vibration in der Ebene senkrecht zur Vibrationsebene des Resonators, wodurch das Gyroskop empfindlich gegenüber Vibrationseingängen gemacht werden kann. Zweitens besteht bei der Benutzung von kapazitiven Abnehmern die Notwendigkeit, sehr kleine Spalte zwischen den Abnehmern und dem Vibrationsresonator zu benutzen, um die Empfindlichkeit zu erzielen. Kleine Spalte verursachen ein Problem bei der Herstellung aus Siliziumwafern wegen der Reibungsprobleme, die verhindern, dass der Resonatorteil von der übrigen Siliziumstruktur während des Herstellungs-Ätzverfahrens freikommt. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die Ausbildung asymmetrisch ist, und dies erfordert eine folgende Orientierung der Sensormittel oder der Abnehmer während der Endmontage. Eine Asymmetrie in der Resonatorstruktur trägt weiter zur Spaltung der cos2θ – Modus-Frequenzen bei, wodurch das Sensorverhalten beeinträchtigt wird.

[0006] Demgemäß besteht ein Bedarf nach einem allgemein verbesserten Vibrationsstruktur-Gyroskop, bei welchem die erwähnten Nachteile wenigstens verringert sind.

[0007] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft diese ein Vibrationsstruktur-Gyroskop mit einem im Wesentlichen ebenen Vibrationsresonator, der eine im Wesentlichen ringartige oder reifenartige Struktur mit einem inneren Umfang und einem äußeren Umfang aufweist, die sich um eine gemeinsame Achse erstrecken, wobei Antriebsmittel vorgesehen sind, die eine Vibration des Resonators verursachen und Stützmittel einschließlich einer Mehrzahl von flexiblen Stützträgern vorgesehen sind, um den Resonator abzustützen und um dem Resonator eine Vibration gemäß den Antriebsmitteln in einem im Wesentlichen ungedämpften Oszillationsmodus derart zu ermöglichen, dass der Resonator sich relativ zu den Stützmitteln in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit bewegen kann, wobei die Stützträger und der Resonator aus Silizium gefertigt

sind und Sensormittel vorgesehen sind, um die Bewegung des Resonators festzustellen, wobei die Antriebs- und Sensormittel metallische Leiterbahnen auf der ringartigen oder reifenartigen Struktur des Resonators und auf den Stützträgern umfassen und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebs- und Sensormittel elektromagnetisch sind und Mittel aufweisen, um ein Magnetfeld im Wesentlichen rechtwinklig zur Ebene des Vibrationsresonators zu erzeugen oder abzulegen.

[0008] Vorteilhafterweise umfassen die Stützmittel außerdem einen Rahmen, der im Wesentlichen starr ausgebildet ist, den Resonator umschließt und mit dem äußeren Umfang der ringartig oder reifenartig ausgebildeten Struktur durch die Stützträger gekoppelt ist, die sich zwischen den Stützmitteln und dem Resonator erstrecken.

[0009] Zweckmäßigerweise hat das Gyroskop acht im gleichen Winkelabstand angeordnete Stützträger.

[0010] Vorzugsweise weist jeder Stützträger drei seitlich im Abstand nebeneinander liegende Leiterbahnen auf, die sich außen über die Länge eines jeden Stützträgers erstrecken, wobei die Leiterbahnen an ihren äußersten Enden mit dem Resonator über Lötaugen verbunden sind und zwei von diesen Leiterbahnen an ihren innersten Enden sich in entgegengesetzten Richtungen über eine äußere im Wesentlichen ebene Oberfläche des Resonators über ein Segment hiervon erstrecken und an ihren innersten Enden mit jeweils einer der Leiterbahnen auf dem unmittelbar benachbarten Stützträger verbunden sind, wobei die Zahl der Segmente der Zahl der Stützträger entspricht.

[0011] Vorteilhafterweise erstrecken sich die drei seitlich im Abstand nebeneinander liegenden Leiterbahnen, nämlich eine mittlere Leiterbahn und zwei äußere Leiterbahnen, auf jedem Stützträger, wobei sich die mittlere Leiterbahn auf den Resonator erstreckt und darauf benachbart zur Verbindung zwischen Stützträger und Resonator endet, um Mittel zu schaffen, durch die die elektrostatische Kopplung zwischen den beiden äußeren Leiterbahnen und dem Stützträger minimiert wird.

[0012] Zweckmäßigerweise weist das Gyroskop eine Siliziumoxidschicht auf der äußeren im Wesentlichen ebenen Oberfläche des Resonators und den Stützträgern zwischen den Leiterbahnen und dem Silizium der Stützträger und dem Resonator auf, um die Leiterbahnen gegenüber dem Silizium zu isolieren, wobei die Verbindungspunkte durch die Siliziumoxidschicht an geeigneten Stellen geführt sind, wodurch die mittlere Leiterbahn mit dem Silizium verbunden wird, um unerwünschte kapazitive Signalkopplungen zwischen benachbarten Leiterbahnen zu vermindern.

[0013] Vorzugsweise weist das Gyroskop Mittel auf, um einen Strom durch eine geeignete Segmentleiterbahn zu schicken, um den Resonator anzutreiben und wobei die Sensormittel derart sind, dass eine Vibration des Resonators festgestellt wird, indem eine Spannung detektiert wird, die über einer geeigneten Segmentleiterbahn erzeugt wird, wenn sich der Resonator in dem im Wesentlichen senkrechten Magnetfeld bewegt.

[0014] Vorteilhafterweise weist das Gyroskop Ringpolmittel auf, um das Magnetfeld auf dem ringartigen oder reifenartigen Bereich des Resonators zu konzentrieren.

[0015] Zweckmäßigerweise weist das Gyroskop ein Gehäuse aus einem Magnetmaterial auf, um den Resonator, die Magnetfeldmittel, die Stützmittel, die elektromagnetischen Antriebsmittel und die elektromagnetischen Sensormittel aufzunehmen, wobei ein nicht magnetischer Abstandshalter zwischen dem Gehäuse und den Stützmitteln vorgesehen ist.

[0016] Zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung und um zu zeigen, wie diese benutzt werden kann, werden nachstehend Ausführungsbeispiele der Erfindung in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

[0017] Fig. 1A und Fig. 1B sind schematische Ansichten, welche die Vibration im cos2θ-Modus eines Vibrationsstruktur-Gyroskop-Resonators gemäß der Erfindung zeigen;

[0018] Fig. 2 ist eine Grundrissansicht eines Teils eines Vibrationsstruktur-Gyroskops gemäß der Erfindung, bei dem der Übersichtlichkeit wegen die Leiterbahnen weggelassen sind;

[0019] Fig. 3 ist eine Grundrissansicht einer Einzelheit gemäß Fig. 2 in größerem Maßstab;

[0020] Fig. 4 ist eine Grundrissansicht einer weiteren Einzelheit gemäß Fig. 2 in größerem Maßstab;

[0021] Fig. 5 ist ein schematischer Vertikalschnitt durch das Gyroskop gemäß Fig. 2 und Fig. 4, worin zusätzliche Teile hiervon dargestellt sind;

[0022] Fig. 6 ist eine in größerem Maßstab gezeichnete Schnittansicht eines Stützträgers gemäß Fig. 2, Fig. 3 und Fig. 4 und

[0023] Fig. 7 ist eine schematische Schnittansicht ähnlich der Schnittansicht gemäß Fig. 5 durch ein Vibrationsstruktur-Gyroskop gemäß der Erfindung, das mit einem Gehäuse versehen ist.

[0024] Ein erfindungsgemäß ausgebildetes Vibrationsstruktur-Gyroskop umfasst, wie aus den Fig. 2 bis Fig. 7 der beiliegenden Zeichnung ersichtlich, einen im Wesentlichen ebenen Vibrationsresonator **1**, der eine ringartige Struktur oder eine reifenartige Struktur mit einem inneren Umfang **2** bzw. einem äußeren Umfang **3** aufweist, die sich um eine gemeinsame Achse **4** herum erstrecken. Das Gyroskop weist elektromagnetische Antriebsmittel auf, wie dies weiter unten beschrieben wird, um den Resonator in Vibration zu versetzen und es sind elektromagnetische Sensormittel vorgesehen, wie dies im Einzelnen weiter unten beschrieben wird, um die Bewegung des Resonators **1** abzufühlen.

[0025] Außerdem sind Stützmittel vorgesehen, einschließlich einer Mehrzahl flexibler Stützträger **5** zum Abstützen des Resonators **1** derart, dass dieser gemäß den elektromagnetischen Antriebsmitteln in einem im Wesentlichen ungedämpften Oszillationsmodus vibrieren kann und der Resonator **1** sich relativ zu den Stützmitteln in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit bewegen kann. Die Stützträger **5** und der Resonator **1** bestehen aus Silizium.

[0026] Wie aus den Fig. 2, Fig. 4 und Fig. 5 im Einzelnen ersichtlich, umfassen die Stützmittel außerdem einen Rahmen **6**, der im Wesentlichen starr ausgebildet ist und den Resonator **1** umschließt und mit dem äußeren Umfang **3** der ringartigen Struktur oder der reifenartigen Struktur **1** über die Stützträger **5** gekoppelt ist, die sich zwischen dem Stützrahmen **6** und dem Resonator **1** erstrecken. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel besitzt das Gyroskop acht im gleichen Winkelabstand zueinander angeordnete Stützträger **5**, und dies ist die optimale bevorzugte Zahl von Stützträgern.

[0027] Jegliche Unregelmäßigkeit oder jeder Fehler in der Ringstruktur gibt Anlass für eine Fehlanpassung zwischen den Träger- und Ansprechmoden-Frequenzen, wodurch das Verhalten des Gyroskops beeinträchtigt wird. Ein einzelner am Ringresonator befestigter Stützträger würde daher differenziell Träger- und Ansprechmoden-Frequenzen verschieben. Jedoch haben acht identische Stützträger, die gleichmäßig über den Ringumfang beabstandet sind, einen identischen Effekt auf die Träger- und Ansprechmoden und erzeugen daher keine Frequenzaufspaltung. Dies gilt für jedes Merkmal mit der gleichen Periodizität. Es ist demgemäß vorteilhaft, acht Stützträger **5** zu benutzen, die im gleichen Winkelabstand um den Ringresonator **1** herum angeordnet sind.

[0028] Der elektromagnetische Antrieb und die elektromagnetischen Sensormittel weisen metallische Leiterbahnen auf dem Resonator **1** und auf den Stützträgern **5** zusammen mit Mitteln auf, um ein Magnetfeld im Wesentlichen senkrecht zur Ebene des Vibrationsresonators **1** zu erzeugen. So ist jeder Stützträger **5** mit drei seitlich im Abstand zueinander liegenden Leiterbahnen versehen, nämlich mit zwei äußeren Leiterbahnen und einer zentralen inneren Leiterbahn **5**, wie dies am besten aus der Querschnittsansicht des Stützträgers **5** gemäß Fig. 3 und Fig. 6 ersichtlich ist. Die Leiterbahnen erstrecken sich außen über die Länge eines jeden Stützträgers **5** und sie sind an ihren äußersten Enden am Resonator **1** mit Lötaugen **9** gemäß Fig. 4 verbunden. Die beiden Leiterbahnen **7** erstrecken sich an ihren innersten Enden in entgegengesetzten Richtungen über eine äußere im Wesentlichen ebene Oberfläche **1a** des Resonators **1** über ein Segment hiervon, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist und sie sind an ihren innersten Enden jeweils mit einer Leiterbahn **7** des unmittelbar benachbarten Stützträgers **5** verbunden, wobei die Zahl der Segmente der Zahl der Stützträger **5** entspricht. So definieren zwei Leiterbahnen **7** auf benachbarten Stützträgern **5** zusammen einen über das Segment verlaufenden Verbindungs-Leiterbahnabschnitt **7a** auf der im Wesentlichen ebenen Oberfläche **1a** des Resonators **1**, wie aus Fig. 3 ersichtlich.

[0029] Die Leiterbahnen **7** und **8** bestehen aus Metall und sie können durch die üblichen Verdampfungs- und Mustertechniken hergestellt werden, wie diese in der Bearbeitungsindustrie für Siliziumwafer üblich sind. Von den drei seitlich im Abstand zueinander liegenden Leiterbahnen **7** und **8** auf jedem Stützträger **5** und dem zugeordneten Resonatorsegment erstreckt sich die mittlere Leiterbahn **8** auf den Resonator **1** und endet auf diesem in der Nähe der Verbindung des Stützträgers **5** mit dem Resonator **1**, wie dies aus Fig. 3 ersichtlich ist, wodurch Mittel geschaffen werden, um die elektrostatische Kopplung zwischen den anderen beiden Leiterbah-

nen **7** auf dem Stützträger **5** so klein als möglich zu halten.

[0030] Auf der äußeren im Wesentlichen ebenen Oberfläche **1a** des Resonators **1** und den Stützträgern **5** ist, wie am besten aus Fig. 6 ersichtlich, eine Siliziumoxidschicht **11** zwischen den Leiterbahnen **7**, **8** und dem Silizium der Stützträger **5** und des Resonators **1** vorgesehen. Diese Schicht **11** isoliert die Leiterbahnen **7** und **8** gegenüber dem Silizium, aber es sind Verbindungspunkte, wie bei **12** angegeben, durch die Siliziumoxidschicht **11** an geeigneten Stellen geführt, wodurch der Mittelpunkt der Leiterbahn **8** mit dem Silizium des Stützträgers **5** verbunden wird, um die unerwünschte kapazitive Signalkopplung zwischen benachbarten Leiterbahnen **7** zu vermindern. Demgemäß liegt das gesamte Leiterbahnensystem auf der Oberseite der Siliziumoxidschicht **11**, die die Leiterbahnen von dem Siliziumsubstrat isoliert, das leitfähig ist. Die Auslegung des Leiterbahnenmusters gemäß Fig. 3 und Fig. 4 vermindert die induktive Kopplung zwischen den Leiterbahnen, aber es ist klar, dass irgendwelche anderen geeigneten Anordnungen von Leiterbahnen benutzt werden können, wenn sich dies als zweckmäßig erweist.

[0031] Bei einem cos2θ-Modus der Vibration ist die ideale Zahl von Stützträgern für den Resonator **1** die Zahl acht. Demgemäß gibt es acht identische Metall-Leiterbahnensegmente **7a** auf der reifenartigen oder ringartigen Struktur des Resonators **1**, die mit den acht Stützträgern **5** gemäß Fig. 2 zusammenpassen. Da dieses Muster ein cos2θ-Modulmuster bildet, besteht der Vorteil, dass keine schädlichen Wirkungen auf die Moden, wie z.B. eine Frequenzaufspaltung, bewirkt wird.

[0032] Die Leiterbahnen **7**, **8** bestehen aus irgendeinem geeigneten Material, beispielsweise aus Aluminium oder aus Gold, und es sind Mittel vorgesehen, um einen Strom durch eine entsprechende Segmentleiterbahn **7** und **7a** zu schicken, um den Resonator **1** anzutreiben. Die Sensormittel sind derart, dass eine Vibration des Resonators **1** durch Erfassung einer Spannung festgestellt wird, die über den jeweiligen Segmentleiterbahnen **7**, **7a** erzeugt wird, wenn der Resonator sich in dem senkrechten magnetischen Feld bewegt.

[0033] Die Mittel zur Erzeugung oder dem Anlegen des Magnetfeldes umfassen einen Magneten **13** und Ringpolmittel **14**, um das Magnetfeld auf den ringartigen oder reifenartigen Bereich des Resonators **1** zu konzentrieren. Die Pole **14** und **14a** des Magneten **13** bilden einen Magnetkreis, der ein senkrechtes Magnetfeld im Bereich des Ringresonators **1** konzentriert. Das Feld Bg in dem Spalt zwischen den Polen **14** und **14a** ist angenähert

$$Bg = \frac{-\mu oHmlm}{lg} \qquad (1)$$

[0034] Dabei ist μo die Dielektrizitätskonstante im freien Raum, lg ist die Länge des Spaltes zwischen den Polen **14** und **14a**, lm ist die Länge des Magneten **13** und Hmlm ist die Magnetomotenz des Magneten **13** am Arbeitspunkt seiner BH-Kurve. Der Arbeitspunkt wird durch die magnetische Belastung μ_{lm} eingestellt, die durch den Magnetkreis derart gesteuert wird, dass

$$\mu_{lm} = \frac{Bm}{\mu Hm} = \frac{-Aglm}{Amlg} \qquad (2)$$

dabei ist Ag der Bereich des Spaltes zwischen den Polen, Am ist der Bereich des Magneten und lm und lg sind wie oben erwähnt und Bm ist das Magnetfeld B innerhalb des Magneten **13**. Die Parameter innerhalb des Magnetkreises werden so gewählt, dass der Arbeitspunkt des Magneten an der Stelle der maximalen Energiebedingung oder in der Nähe hiervon liegt, und dieser stabilisiert thermisch den Magneten. Gleichzeitig werden die Schaltungsparameter so gewählt, dass das Feld in dem Spalt zwischen den Polen im Bereich des Ringresonators maximiert wird, während erreichbare Aufbautoleranzen aufrecht erhalten werden.

[0035] Zweckmäßigerweise wird als Magnetmaterial Samariumkobalt (Sm_2Co_{17}) gewählt, und dieses Magnetmaterial liefert ein Feld hoher Intensität bei geringer thermischer Empfindlichkeit im Vergleich mit anderen Materialien, beispielsweise auf Eisen basierenden Magneten.

[0036] Der Magnetkreis dient auch zur Belastung des Magneten **13** in seinen Idealzustand, so dass er thermisch stabilisiert ist. Die Antriebskräfte werden erzeugt, indem der Strom durch ein geeignetes Leiterbahnensegment geschickt wird und die hieraus resultierende Kraft F ergibt sich aus:

F = Bgl.1 (3)

dabei ist Bg das Magnetfeld im Spalt, I ist der durch die Leiterbahn fließende Strom und 1 ist die Länge der Leiterbahn **7** in diesem Feld. Der Resonator **1** kann auf Resonanzschwingungen eingestellt werden, indem ein oszillierender Strom I sin ωt mit ω = 2πf angelegt wird und f die cos2θ-Resonanzfrequenz ist.

[0037] Die Resonatorvibration wird als Spannung über einem geeigneten Leiterbahnensegment detektiert, wenn dieses sich in dem jeweiligen Magnetfeld bewegt, und dies ist gegeben durch:

$$V = v_1 Bg1 = 2\pi f.a.Bg1 \quad (4)$$

dabei sind Bg und 1 wie oben erwähnt und v_1 ist die Spitzengeschwindigkeit der Vibration und f ist die cos2θ-Resonanzfrequenz und a ist die Amplitude der Vibration.

[0038] Durch Konzentration des Magnetfeldes über dem ringartigen oder reifenartigen Bereich des Resonators **1** werden nicht nur die Signale maximiert, sondern unerwünschte Signale infolge der Bewegung der Leiterbahnensegmente auf den Stützträgern vermieden. Es ist auch festzustellen, dass die Antriebs- und Abnahmeelemente, die durch die Leiterbahnen **7** gebildet werden, identisch sind, was die Konstruktion der Herstellungsmasken sehr vereinfacht, die zur Herstellung der Struktur benutzt werden. Die einfache Konstruktion vermindert auch die Zahl von Masken, die erforderlich sind, und es wird die Forderung nach einem kleinen Spalt vermieden. Die Konstruktion ist natürlich symmetrisch, was nicht nur die Vibrationsmoden verbessert, wie oben beschrieben, sondern es wird auch die Notwendigkeit einer Orientierungshandhabung bei der Packbildung vermieden. Weil der elektromagnetische Sensor oder die Abnahmemittel eine Bewegung senkrecht zum Magnetfeld erfordern, um ein Signal abzuleiten, ist es unsinnig, eine Vibration parallel zu dem Magnetfeld durchzuführen, und so wird eine Empfindlichkeit gegenüber unerwünschten Vibrationen senkrecht zur Ebene der Vorrichtung vermieden.

[0039] Aus der Antriebsgleichung (3) und der Sensorgleichung oder Abnahmegleichung (4) ergibt sich, dass beide linear sind insofern, als die Antriebskraft direkt proportional dem angelegten Strom ist und das Abnahmesignal ist direkt proportional der Amplitude der Bewegung. Insofern ist die Übertragungsfunktion des Gyroskops linear, was den Vorteil ergibt, dass eine sehr gute Linearität für den Gyroskopskalenfaktor erzeugt wird.

[0040] Die Ringpolmittel **14** bestehen vorzugsweise aus magnetisch weichen Polstücken, wobei ein weiterer Abschnitt **14a** unter dem ringartigen oder reifenartigen Strukturbereich des Resonators **1** vorgesehen ist, wie dies am besten aus den Fig. 5 und Fig. 7 der beiliegenden Zeichnung hervorgeht. Die elektromagnetischen Sensormittel und die magnetischen Komponenten **13**, **14**, **14a** sind vorzugsweise in einem Gehäuse **15** abgedichtet, um einen an Bord montierbaren Kreisel zu schaffen, der als Winkelgeschwindigkeitssensor fungiert. Das Gehäuse **15** ist vorzugsweise hermetisch abgeschlossen und besteht zweckmäßigerweise aus einem Kovar-Hybrid-Material. Kovar ist ein Magnetmaterial und demgemäß ist ein nicht magnetischer Abstandshalter **16** zwischen dem Gehäuse **15** und den Silizium-Magnetteilen des Gyroskops vorgesehen. Auf diese Weise wird das erfindungsgemäße Gyroskop im Wesentlichen unempfindlich gegenüber angelegten äußeren Magnetfeldern. Äußere Verbindungsstifte **17** sind durch das Gehäuse **15** geführt, und diese können in zweckmäßiger Weise mit den Lötaugen **9**, beispielsweise durch Drahtanschlussverbindungen **18**, verbunden werden.

[0041] Der äußere starre Trägerrahmen **6** ist über einen Tragsockel **19** auf dem Abstandshalter **16** montiert. Der Tragsockel **19** kann beispielsweise aus Silizium bestehen, das durch eine Fusionsverbindungstechnik, wie sie für Siliziumwafer Anwendung findet, verbunden wird. Stattdessen kann der Sockel **19** aus Glas bestehen, das unter Benutzung einer anodischen Verbindungstechnik montiert wird. Das Glas sollte so gewählt werden, dass es dicht an den thermischen Expansionskoeffizienten der aus Silizium bestehenden Stützmittel angepasst ist.

Patentansprüche

1. Vibrationsstruktur-Gyroskop mit einem im Wesentlichen ebenen Vibrationsresonator (**1**), der eine im Wesentlichen ringartige oder reifenartige Struktur mit einem inneren Umfang (**2**) und einem äußeren Umfang (**3**) aufweist, die sich um eine gemeinsame Achse (**4**) erstrecken, wobei Antriebsmittel vorgesehen sind, die eine Vibration des Resonators (**1**) verursachen und Stützmittel (**6**) einschließlich einer Mehrzahl von flexiblen Stützträgern (**5**) vorgesehen sind, um den Resonator (**1**) abzustützen und um dem Resonator (**1**) eine Vibration gemäß den Antriebsmitteln in einem im Wesentlichen ungedämpften Oszillationsmodus derart zu ermöglichen, dass der Resonator (**1**) sich relativ zu den Stützmitteln (**6**) in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit bewegen kann, wobei die Stützträger (**5**) und der Resonator (**1**) aus Silizium gefertigt sind und Sensormittel vorgesehen sind, um die Bewegung des Resonators festzustellen, wobei die Antriebs- und Sensormittel metallische

Leiterbahnen (**7**, **8**) auf der ringartigen oder reifenartigen Struktur des Resonators (**1**) und auf den Stützträgern (**5**) umfassen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Antriebs- und Sensormittel elektromagnetisch sind und Mittel (**13**, **14**, **14a**) aufweisen, um ein Magnetfeld im Wesentlichen rechtwinklig zur Ebene des Vibrationsresonators (**1**) zu erzeugen oder abzulegen.

2. Gyroskop nach Anspruch 1, bei welchem die Stützmittel (**6**) außerdem einen Rahmen umfassen, der im Wesentlichen starr ausgebildet ist, den Resonator (**1**) umschließt und mit dem äußeren Umfang (**3**) der ringartig oder reifenartig ausgebildeten Struktur durch die Stützträger (**5**) gekoppelt ist, die sich zwischen den Stützmitteln (**6**) und dem Resonator (**1**) erstrecken.

3. Gyroskop nach Anspruch 2, welches acht im gleichen Winkelabstand zueinander angeordnete Stützträger (**5**) aufweist.

4. Gyroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem jeder Stützträger (**5**) mit drei seitlich im Abstand nebeneinander liegenden Leiterbahnen (**7**, **8**) versehen ist, die sich außen über die Länge eines jeden Stützträgers erstrecken, wobei die Leiterbahnen an ihren äußersten Enden mit dem Resonator (**1**) über Lötaugen (**9**) verbunden sind und zwei von diesen Leiterbahnen an ihren innersten Enden sich in entgegengesetzten Richtungen über eine äußere im Wesentlichen ebene Oberfläche (**1a**) des Resonators (**1**) über ein Segment hiervon erstrecken und an ihren innersten Enden mit jeweils einer der Leiterbahnen auf dem unmittelbar benachbarten Stützträger (**5**) verbunden sind, wobei die Zahl der Segmente der Zahl der Stützträger (**5**) entspricht.

5. Gyroskop nach Anspruch 4, bei welchem die drei seitlich im Abstand nebeneinander liegenden Leiterbahnen (**7**, **8**), nämlich eine mittlere Leiterbahn (**8**) und zwei äußere Leiterbahnen (**7**), sich auf jedem Stützträger (**5**) erstrecken, wobei sich die mittlere Leiterbahn (**8**) auf den Resonator (**1**) erstreckt und darauf benachbart zur Verbindung zwischen Stützträger (**5**) und Resonator (**1**) endet, um Mittel zu schaffen, durch die die elektrostatische Kopplung zwischen den beiden äußeren Leiterbahnen (**7**) und dem Stützträger (**5**) minimiert wird.

6. Gyroskop nach Anspruch 5, das eine Siliziumoxidschicht (**11**) auf der äußeren im Wesentlichen ebenen Oberfläche (**1a**) des Resonators (**1**) und den Stützträgern (**5**) zwischen den Leiterbahnen (**7**, **8**) und dem Silizium der Stützträger (**5**) und dem Resonator (**1**) aufweist, um die Leiterbahnen gegenüber dem Silizium zu isolieren, wobei Verbindungspunkte (**12**) durch die Siliziumoxidschicht (**11**) an geeigneten Stellen geführt sind, wodurch die mittlere Leiterbahn (**8**) mit dem Silizium verbunden wird, um unerwünschte kapazitive Signalkopplungen zwischen benachbarten Leiterbahnen (**7**, **8**) zu vermindern.

7. Gyroskop nach Anspruch 6, welches Mittel aufweist, um einen Strom durch eine geeignete Segmentleiterbahn (**7**, **7a**) zu schicken, um den Resonator (**1**) anzutreiben und wobei die Sensormittel derart sind, dass eine Vibration des Resonators (**1**) festgestellt wird, indem eine Spannung detektiert wird, die über einer geeigneten Segmentleiterbahn (**7**, **7a**) erzeugt wird, wenn sich der Resonator in dem im Wesentlichen senkrechten Magnetfeld bewegt.

8. Gyroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 7, welches Ringpolmittel (**14**) aufweist, um das Magnetfeld auf dem ringartigen oder reifenartigen Bereich des Resonators (**1**) zu konzentrieren.

9. Gyroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 8, welches ein Gehäuse (**15**) aus einem Magnetmaterial aufweist, um den Resonator (**1**), die Magnetfeldmittel, die Stützmittel (**6**), die elektromagnetischen Antriebsmittel und die elektromagnetischen Sensormittel aufzunehmen, wobei ein nicht magnetischer Abstandshalter (**16**) zwischen dem Gehäuse (**15**) und den Stützmitteln (**6**) vorgesehen ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig.1A.

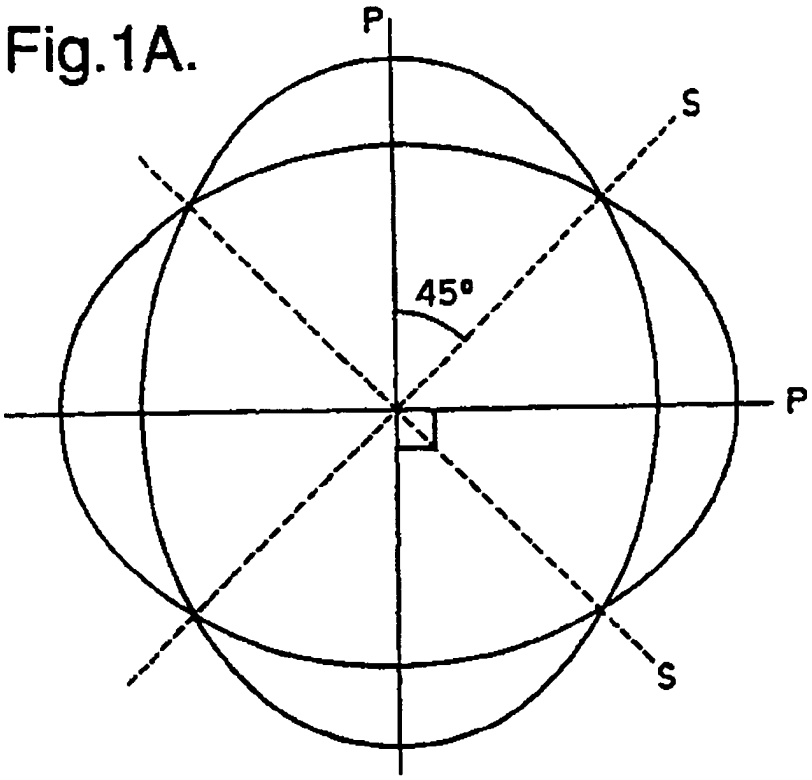

Fig.1B.

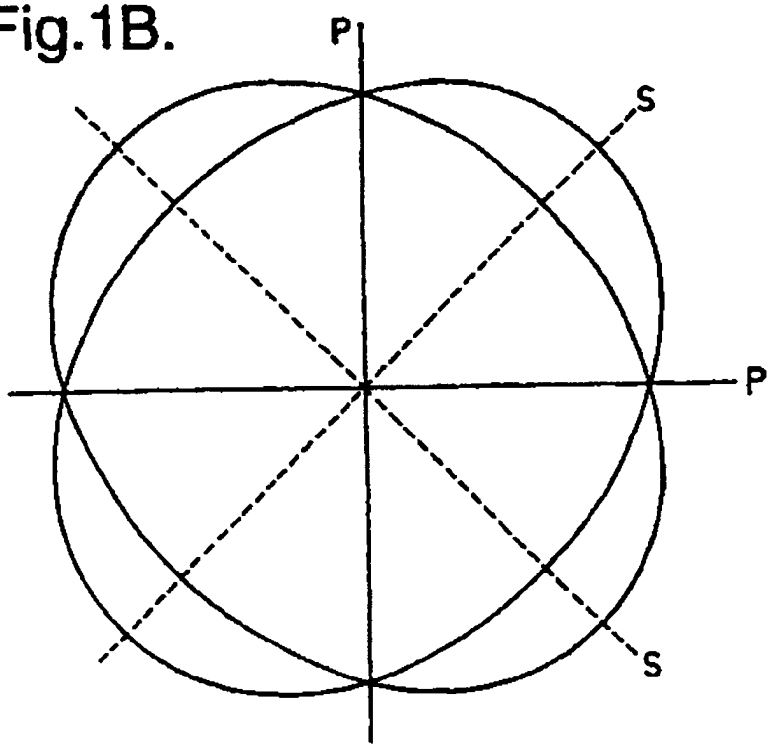

Fig.2.

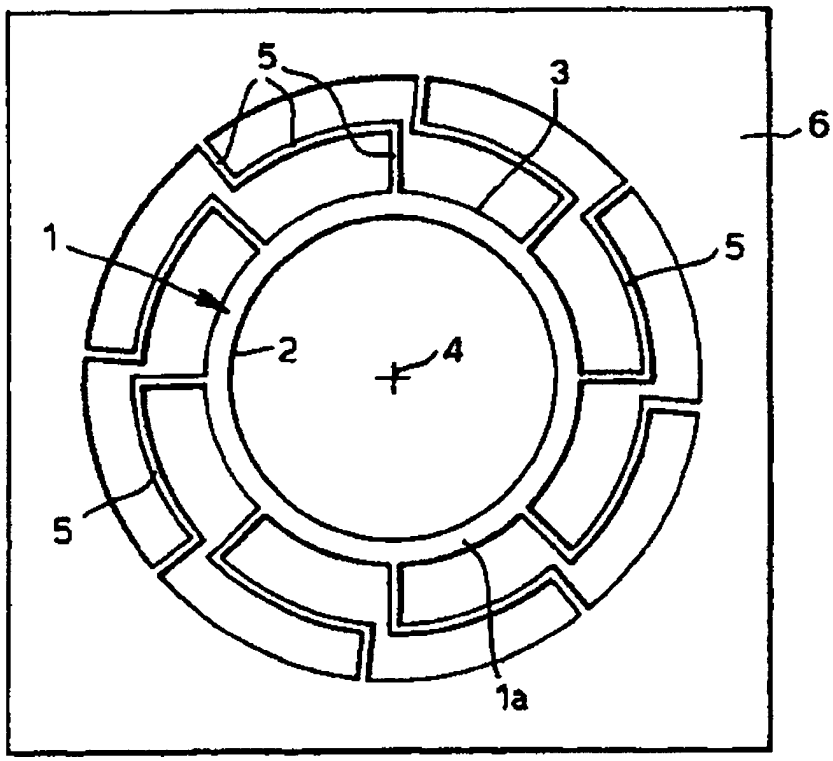

Fig.3.

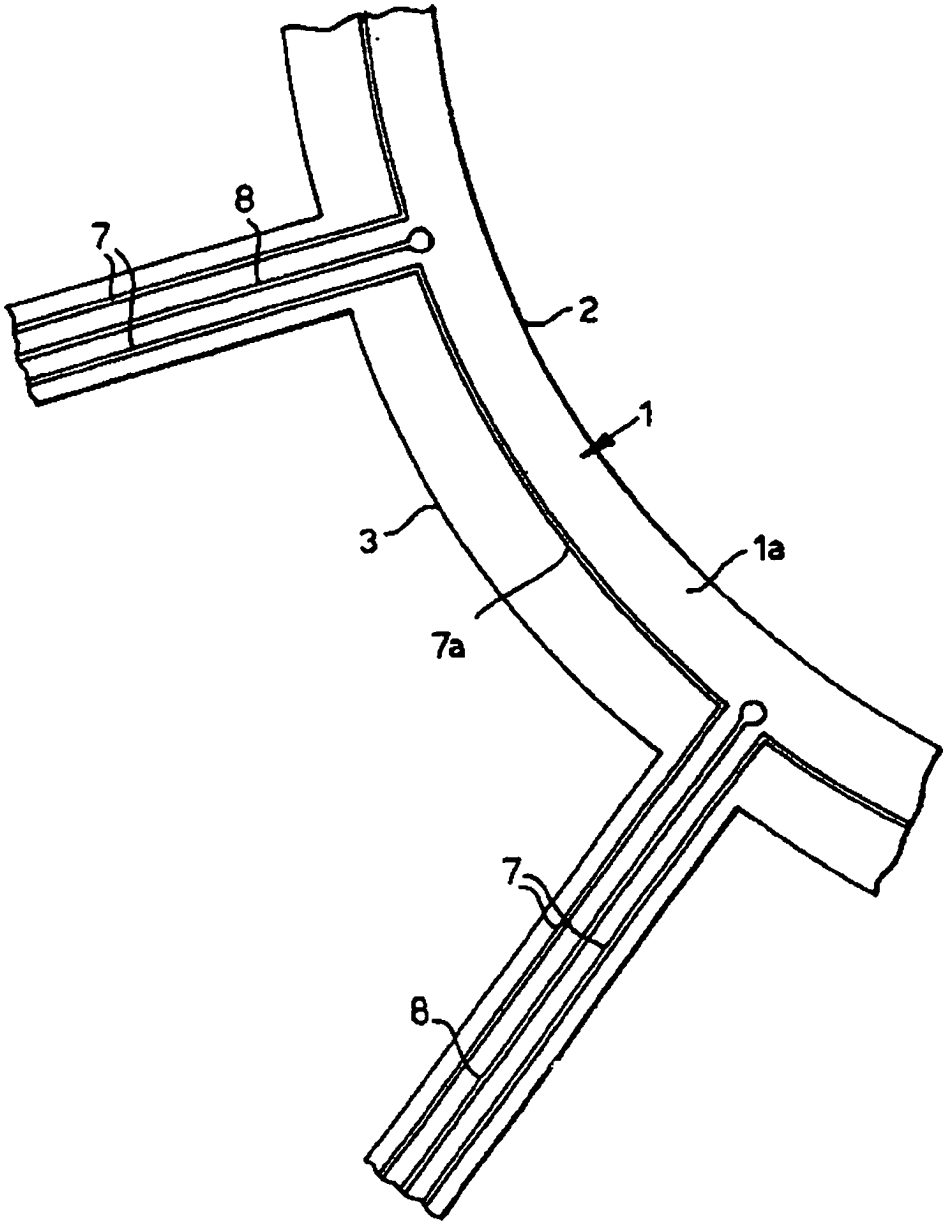

Fig.4.

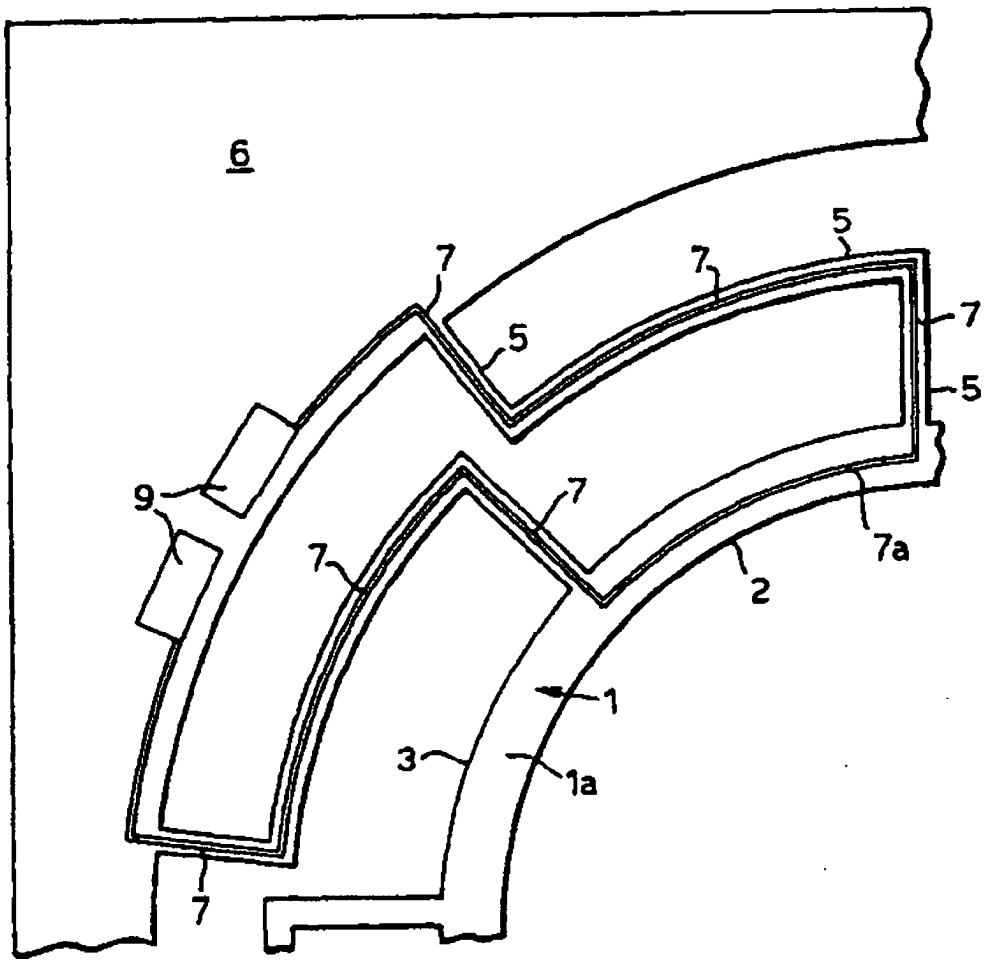

Fig.5.

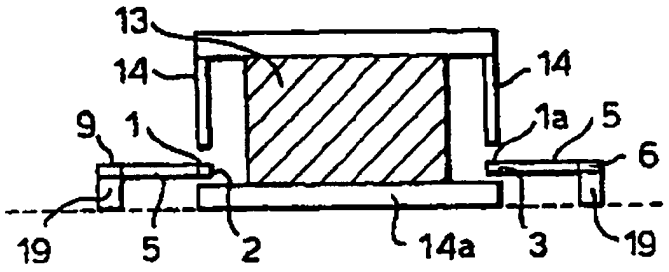

Fig.6.

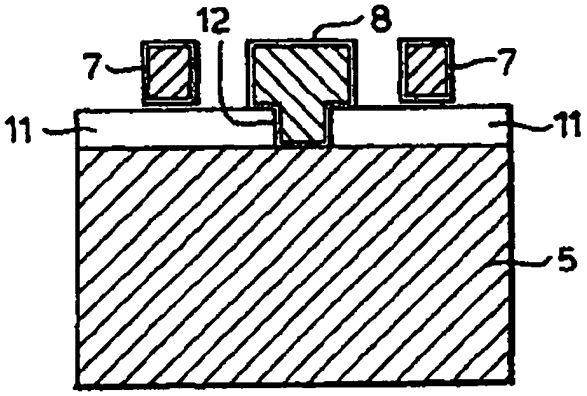

Fig.7.

