

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号
特表2004-506883
(P2004-506883A)

(43) 公表日 平成16年3月4日(2004.3.4)

(51) Int.Cl.⁷
GO1P 9/04
GO1C 19/56

F I
GO1P 9/04
GO1C 19/56

テーマコード (参考)
2F105

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 50 頁)

(21) 出願番号	特願2002-519873 (P2002-519873)	(71) 出願人	503025786 エーアーデーエス・ドイッチェランド・ゲ ゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング ドイツ連邦共和国 85521 オットブ ルン, ウィリーメッサーシュミットーシ ュトラーセ
(86) (22) 出願日	平成13年8月6日 (2001.8.6)	(74) 代理人	100097250 弁理士 石戸 久子
(85) 翻訳文提出日	平成15年2月17日 (2003.2.17)	(74) 代理人	100101111 弁理士 ▲橋▼場 満枝
(86) 国際出願番号	PCT/EP2001/009066	(74) 代理人	100101856 弁理士 赤澤 日出夫
(87) 国際公開番号	W02002/014787	(74) 代理人	100103573 弁理士 山口 栄一
(87) 国際公開日	平成14年2月21日 (2002.2.21)		
(31) 優先権主張番号	100 40 537.1		
(32) 優先日	平成12年8月18日 (2000.8.18)		
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		
(81) 指定国	EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR) , JP, US		

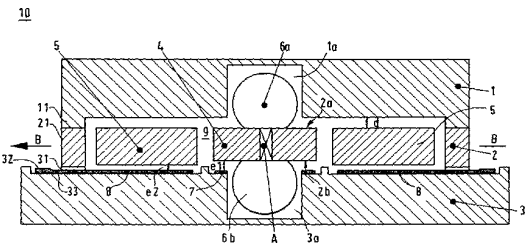
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロメカニカル回転速度センサおよびその製造方法

(57) 【要約】

カルダン式振動構造部を備えたマイクロメカニカル回転速度センサは、互いに垂直に指向している2つの軸線（A，B）のまわりを回転可能に支持されている2つの振動要素（4，5）を有している。電極（7）の形態の励起ユニットは第1の振動要素（4）を第1の回転軸線（A）のまわりに振動させる。読み取り電極（8）の形態の読み取りユニットは、第2の回転軸線（B）のまわりでの第2の振動要素（5）の傾動または振動を、センサの回転率をあらわす量として検出する。揺動体を形成している第1の振動要素（4）の上面（2a）および下面（2b）には補助的な質量要素（6a，6b）が設けられている。これら補助的な質量要素は対称に指向している。センサは少なくとも3つの個別に加工されたウェーハから製造されており、これらウェーハは最終的に継ぎ合わされてカバー部分（1）と中央部分（2）と底部部分（3）とを形成する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の軸線 (A) のまわりを回動可能に支持されている第 1 の振動要素 (4) と、
第 1 の軸線 (A) に対し垂直に指向している第 2 の軸線 (B) のまわりを回動可能に支持されている第 2 の振動要素 (5) と、
第 1 の振動要素 (6) を第 1 の軸線 (A) のまわりで振動させるための励起ユニット (7) と、
第 2 の軸線 (B) のまわりでの第 2 の振動要素 (5) の振動を検知するための読み取りユニット (8) と、
を備えたマイクロメカニカル回転速度センサにおいて、
第 1 の振動要素 (4) に少なくとも 2 つの補助的な質量要素 (6 a, 6 b) が固定され、
これら質量要素 (6 a, 6 b) が第 1 および第 2 の軸線 (A, B) により定義される面に
関し対称に指向していることを特徴とするマイクロメカニカル回転速度センサ。

10

【請求項 2】

補助的な質量要素 (6 a, 6 b) が第 1 および第 2 の振動要素 (4, 5) とは別個に製造され、質量要素 (6 a, 6 b) の形状、サイズおよび / または材料はセンサパラメータを決定するために、および / またはセンサパラメータを実質的に制御するために選定されていることを特徴とする、請求項 1 に記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項 3】

質量要素 (6 a, 6 b) が第 1 の振動要素 (4) の上面 (2 a) と下面 (2 b) とに固定されている軸対称体であり、有利には球体、直方体、筒体、円錐体、ピラミッド体、或いはプリズム体であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

20

【請求項 4】

第 1 の振動要素 (4) が揺動体であり、第 2 の振動要素 (5) がフレームであり、揺動体とフレームとが保持構造部 (21) に固定されているカルダン式振動構造部を形成していることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項 5】

補助的な質量体 (6 a, 6 b) が磁氣的であることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

30

【請求項 6】

補助的な質量体 (6 a, 6 b) が第 1 および第 2 の振動要素 (4, 5) の材料よりも密度が高い材料から製造されていることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項 7】

マイクロメカニカル回転速度センサが少なくとも 3 つの継ぎ合わされるウェーハから製造されており、これらウェーハが底部部分 (3) と中央部分 (2) とカバー部分 (1) とを形成していることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

40

【請求項 8】

底部部分 (3) および / またはカバー部分 (1) がアルカリを含んだガラスウェーハから製造され、これらウェーハの少なくとも 1 つが電極構造部 (7, 8) を備えていることを特徴とする、請求項 7 に記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項 9】

第 1 および第 2 の振動要素 (4, 5) が上面および下面を加工した中央部分 (2) に形成されていることを特徴とする、請求項 7 または 8 に記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項 10】

互いに境を接するウェーハ部分またはウェーハの間であって、第 1 および / または第 2 の

50

振動要素(4, 5)の変位を可能にする隙間間隔(d, e1, e2)が、励起電極および/または読み取り電極(7, 8)の横方向の拡がりに比べて小さく、隙間間隔と電極の横方向の拡がりとの比率が1:10よりも小さく、有利には1:50よりも小さく、特に有利には1:100または1:1000よりも小さいことを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項11】

第1の振動要素(4)を励起振動させるための隙間間隔(e1)が第2の振動要素(5)を読み取り振動させるための隙間間隔(e2)よりも大きいことを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項12】

マイクロメカニカル回転速度センサが単結晶シリコンから製造され、第1および第2の振動要素(4, 5)がただ1つのウェーハから製造されていることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項13】

第1および/または第2の振動要素(4, 5)が非直角に形成されていることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項14】

第1および/または第2の振動要素(4, 5)が90°以上の角度で互いに境を接しているエッジ(4a, 5a)を有していることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項15】

動作振動の振動数と検知振動の振動数とが第1および/または第2の振動要素(4, 5)の最低固有モードであることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項16】

第2の振動要素(5)と第1の振動要素(4)との面積比が5:1よりも大きく、有利には10:1よりも大きいことを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項17】

誘電層で覆われている、電極(7, 8)を形成させるための金属被覆部分が設けられていることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項18】

閉じた導体軌道(12)によって取り囲まれている1個または複数個の電極(7, 8)が設けられていることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項19】

中央部分(2)を形成するウェーハを、底部部分またはカバー部分(1, 3)を形成する他のウェーハに接続させるためのオーム圧接部(35)が設けられていることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項20】

気密に密閉されたセンサ内部空間(9)が設けられ、該センサ内部空間(9)内に電極(7, 8)を接触させるために埋設した導体軌道(33)が設けられていることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項21】

質量要素(6a, 6b)の共通の重心が第1の軸線(A)と第2の軸線(B)の交点にあることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【請求項22】

マイクロメカニカル回転速度センサの製造方法において、

10

20

30

40

50

少なくとも3つのウェーハ(1, 2, 3)を準備するステップと、
個々のウェーハ(1, 2, 3)を構造化し、これらウェーハのうち1つのウェーハ(2)にカルダン式振動構造部(4, 5)を形成させるステップと、
前記構造部の第1の振動を励起するための励起ユニット(7)を形成させるステップと、
第1の振動に対し垂直に行なわれる前記構造部の第2の振動を検知するための読み取りユニット(8)を形成させるステップと、
ウェーハ(1, 2, 3)を継ぎ合わせ、両面に振動構造部(4, 5)を備えたウェーハ(2)を他のウェーハ(1, 3)と結合させるステップと、
を特徴とする製造方法。

【請求項23】

10

振動構造部(4, 5)に補助的な質量要素(6a, 6b)を第1および/または第2の振動の軸線(A, B)に関し対称に固定することを特徴とする、請求項22に記載の製造方法。

【請求項24】

ウェーハ(2)の上面および下面に振動構造部(4, 5)を加工することを特徴とする、請求項22または23に記載の製造方法。

【請求項25】

振動構造部(4, 5)をただ1つの中実なウェーハ(2)からエッチングし、その際1回のエッチング工程で振動構造部(4, 5)の懸架部(41, 42)を形成させることを特徴とする、請求項22から24までのいずれか一つに記載の製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、請求項1の上位概念に記載のマイクロメカニカル回転速度センサおよびマイクロメカニカル回転速度センサの製造方法に関するものである。

【0002】

カルダン式に懸架されるマイクロメカニカル回転速度センサは、中央に慣性質量体を備えたたとえば2つの振動フレームを有している。質量体は静電駆動により励起軸線のまわりに共振せしめられる。励起軸線に対し垂直に指向している回転軸線のまわりでセンサが回転すると、振動している慣性質量体に対しコリオリの力が作用する。このようにして発生した振動の振幅は測定されるべき回転率を直接に表わす量である。振幅の読み取りはたとえば静電方式で行なうことができる。

30

【0003】

この種のマイクロメカニカル回転速度センサはたとえば自動車技術、航空技術および宇宙航空技術、並びに精査製造工程で使用することができる。たとえば車両安定化、走行力学制御およびナビゲーションシステムのためにマイクロメカニカル回転速度センサが使用され、或いは自動走行システムの内部にも使用される。さらに飛行体のナビゲーションおよび安定化にも使用できる。宇宙飛行ではこの種のセンサを用いてプラットフォームが安定化され、その姿勢を制御することができる。たとえばGPS/INSのようなナビゲーションシステムはこの種の回転速度センサによって補完され、特にアビオックスの分野でそうである。素材を精査する場合にはたとえばドリルヘッドを回転速度センサを用いて制御

40

【0004】

米国特許第4,598,585号明細書には、カルダン構造部を備えた回転速度センサが記載され、フレームはy軸のまわりを振動可能に支持されている。フレーム内部には、x軸のまわりを振動可能にフレームに固定された要素がある。この内部要素に慣性質量体が配置されている。フレームをy軸のまわりに振動させるために駆動要素が用いられる。コリオリの力による内部要素の変位は容量性方式で測定される。

【0005】

しかしながらこの公知の回転速度センサの欠点は、測定精度が時に不十分なことである。

50

通常は非常に大きな横感度も生じる。さらに、振動に対し大きな感度も時に確認される。またこの公知の回転速度センサは製造コストが高い場合が多い。

【0006】

本発明の課題は、検知感度が高く、横感度が小さなマイクロメカニカル回転速度センサおよびその製造方法を提供することである。さらに堅牢で、機械的振動に対し感度が小さく、低コストで製造できるマイクロメカニカル回転速度センサを提供することである。

【0007】

この課題は請求項1に記載のマイクロメカニカル回転速度センサと、請求項22に記載のマイクロメカニカル回転速度センサの製造方法により解決される。本発明の他の有利な構成、詳細および特徴は従属項、以下の説明および図面から明らかである。

10

【0008】

本発明によるマイクロメカニカル回転速度センサは第1の軸線のまわりを回転可能に支持されている第1の振動要素と、第1の軸線に対し垂直に指向している第2の軸線のまわりを回転可能に支持されている第2の振動要素と、第1の振動要素を第1の軸線のまわりで振動させるための励起ユニットと、第2の軸線のまわりでの第2の振動要素の振動を検知するための読み取りユニットとを備え、第1の振動要素に少なくとも2つの補助的な質量要素が固定され、これら質量要素は第1および第2の軸線により定義される面に関し対称に指向している。

【0009】

補助的な質量要素が対称に指向していることにより、センサ解像度および感度が著しく高くなる。この場合、補助質量体または補助的な質量要素はかなり大きく構成されていてよい。これにより質量体の重心が回転軸線に対し対称に広範囲に変位するので、センサ感度がかなり向上する。対称な構成はセンサの感度軸線外側での回転率に対する横感度を低減させるとともに、センサに作用する加速度に対する感度を低減させる。センサは低コストで製造でき、きわめて堅牢に構成することができる。

20

【0010】

両質量要素の重心が第1および第2の軸線の交点にあるのが有利である。これにより最大の対称性が得られる。

【0011】

補助的な質量要素が第1および第2の振動要素とは別個に製造され、質量要素の特に形状、サイズまたは材料もセンサパラメータを決定するために合目的に選定されているのが有利である。補助質量体の形状、サイズおよび材料を任意に選定することにより、質量分布、全体質量、およびセンサの慣性モーメントの分布を目的に応じて選定できる。これによりセンサを解像度、横感度、衝撃感度、製造公差の影響低減の点で、或いは振動に対する感度低減の点でも最適化する補助的な構成上の可能性が得られる。

30

【0012】

特に補助質量要素の材料を任意に選定することにより、回転速度センサの必要条件によっては特に適している特殊な物理学的性質を持った補助質量体を形成させることができる。さらに、補助質量体を特別に選定することによりセンサ要素をトリムすることができ、この場合残りの構造部またはエッチングして形成させたカルダン構造部に変更や加工を行う必要はない。

40

【0013】

補助質量体は低コストに高精度で製造することができる。特に有利なのは補助質量要素として球体を使用することで、球体はたとえば0.1%の非常に小さな幾何学的形状公差で低コストに製造できる。したがって、球体を使用することにより回転速度センサの質量分布の非常に高度な再現性が得られる。他方、直方体、円錐体、ピラミッド体またはピラミッド切頭体、及び筒体を質量要素として使用してもよく、これらは同様に非常に低コストに且つ小さな幾何学的形状公差で製造可能である。特に好ましいのは、尖端部が互いに対向するように指向している円錐体またはピラミッド体を配置することである。これにより個々の質量要素の重心は可能な限り広範囲に変位し、或いは、互いに可能な限り距離をお

50

いて離間している。

【 0 0 1 4 】

特に、補助的な質量要素はたとえば磁気的な性質を持っている。これにより補助的な質量要素は互いに引き寄せあうので、互いに自動的に完全に対称に指向する。他の利点は、これから得られる基板での保持、自動校正の可能性、振動させるための磁気的または電磁的励起の可能性である。

【 0 0 1 5 】

有利には、補助的な質量体は第 1 および / または第 2 の振動要素の材料よりも密度が高い材料から製造されている。これにより質量体の慣性モーメントが好都合に分布する。この場合たとえば金属、特に鋼を補助的な質量要素の材料として使用してよく、他方残りのセンサ構造部に対しては、或いは、第 1 および第 2 の振動要素に対してはたとえばシリコンが使用される。すなわち補助質量体の材料は、たとえば振動要素または振動構造部を有利に製造する加工ステップ、たとえばシリコンウェーハのための加工ステップと適合性がある必要はないので、補助質量体に対する材料選定は自由である。これによりセンサ感度の著しい向上を低コストに行うことができる。

【 0 0 1 6 】

たとえば第 1 の振動要素は揺動体であり、第 2 の振動要素はフレームであり、この場合揺動体とフレームとは保持構造部に固定されるカルダン式振動構造部を形成する。

【 0 0 1 7 】

有利には、回転速度センサは少なくとも 3 つの継ぎ合わされるウェーハから製造されている。これらのウェーハは別個に加工されているのが有利である。この場合回転速度センサはたとえば底部ウェーハ、中央部分ウェーハ、カバーウェーハを有している。これにより製造方法における複雑性が減少するとともに、個々の構成要素をテストすることができる。さらに歩留りが高くなり、これによりセンサに対するコストが低減する。また、継ぎ合わせ後にセンサの内部にある埋設電極構造部を任意に構成できる。さらに、電極の材料および補助質量体の材料に対する選択肢が広がる。というのは材料はわずかな製造工程数と適合性があればよいからである。構成が同じカバーウェーハと底部ウェーハの使用が可能である。これにより中心面に対し完全に対称な構成が可能になる。

【 0 0 1 8 】

有利には、第 1 および第 2 の振動要素は中央部分ウェーハに形成されている。特に中央部分ウェーハは上面および下面を加工可能である。これにより質量体または補助的な質量要素を対称に取り付けることができるので、中心面に関する対称性が保証されている。対称性によりセンサ特性の温度ドリフトが低減する。

【 0 0 1 9 】

有利には、底部ウェーハおよび / またはカバーウェーハはアルカリを含んだガラスウェーハから製造され、たとえばボロフロート或いはパイレックス（登録商標）ガラスから製造され、そのうちたとえば少なくとも 1 つのウェーハは電極構造部を備えている。これにより、電極構造部が絶縁材上にあるので、散乱能およびクロストーク能が低減する。特に、たとえば熱膨張率は中央部分ウェーハのシリコンに適合しており、それゆえ製造中の熱応力を低く抑えることができ、その結果作動中のセンサの温度感度が低減する。さらに、アルカリを含んだガラスウェーハを使用することで、シリコンから成る中央部分ウェーハとの確実な結合が陽極結合方式により可能になる。

【 0 0 2 0 】

ウェーハまたは中央部分ウェーハをたとえば陽極結合により底部ウェーハおよびカバーウェーハと結合させることにより、製造のために最大で 450 の温度を必要とする確実な結合が得られる。この最大温度は、適当に選定された金属被覆部分を不変に保つためには、すなわち酸化や合金の形成が生じないようにするには十分に低い温度である。陽極結合は、結合工程で液相が生じないのでウェーハ同士の位置調整を良好にさせる。それゆえ回転速度センサの位置調整公差は少なくとも数 μm 以下である。

【 0 0 2 1 】

10

20

30

40

50

有利には、中央部分ウェーハと底部ウェーハとの間、或いは、中央部分ウェーハとカバーウェーハとの間に隙間間隔が設けられる。この隙間間隔は電極の横方向の拡がりに比べて小さい。互いに境を接するウェーハ間のこの間隔は振動要素の動作振動および／または検知振動の静電励起および／または容量性読み取りのために用いる。隙間間隔と電極の横方向の拡がりとの比率はたとえば1：20よりも小さく、有利には1：50よりも小さく、特に有利には1：100または1：1000よりも小さい。これにより、検知用の高い電気信号または動作作用の大きな静電力を可能にするような非常に大きな容量値が得られる。

【0022】

有利には、第1の振動要素の励起振動を可能にする動作構造部用隙間間隔は、第2の振動要素の読み取り振動を可能にする隙間間隔よりも大きい。これにより非常に大きな機械的振動で動作振動を行うことができる。さらに、隙間間隔が比較的大きい場合の振動の緩衝は小さく (Squeezed Film Damping)、このため共振励起の場合には機械的振動がより大きくなる。他方、検知構造における隙間間隔が狭いことにより大きな容量が生じ、よって高い電気出力信号が生じる。

10

【0023】

有利には、機械的構造部または第1および第2の振動要素がエッチングされるウェーハは単結晶シリコンから製造されている。この場合、センサの振動構造部またはジンバル構造部はたとえば中実のウェーハからエッチングで形成され、すなわちバルク技術で製造される。振動構造部はたとえば第1および第2の振動要素を含み、有利には中央部分ウェーハから構造化して形成される。単結晶シリコンを使用することにより材料ダンピングが非常に小さくなり、さらに疲労老化現象がごく少なくなる。シリコン技術による製造は製造公差を小さくさせるとともに、コストを低下させる。さらにシリコンは機械的負荷耐性が大きく、同時に密度が小さいので、堅牢で負荷可能な機械的構造部が生じる。

20

【0024】

有利には、第1および／または第2の振動要素は非直角に形成され、すなわち振動構造部は非矩形の幾何学的形状または対称な凸状の自由形状を有している。振動要素はたとえば円形に構成してよく、或いは、90°以上の角度で互いに境を接するエッジを有していてもよい。たとえば振動要素は8角であってよい。

【0025】

特に、感度を向上させる大きな補助的な慣性質量を考慮すると、たとえば容量面積が大きくなるとともに曲げ剛性が大きくなり、よってフレームまたは外側の振動構造部の固有振動数が高くなる。

30

【0026】

したがって、フレームまたはねじれ懸架部の回転ベルトを固定するための高い剛性が達成され、このような剛性は矩形構造では得ることができない。ねじり振動数は主に懸架部としてのトーションベルトまたは回転ベルト自身によって決定される。よって回転ベルトを極めて短くさせることができ、ねじり振動数にほとんど依存せずに設定可能で、ウェーハ面に対し垂直に指向するセンサのZモードを達成できる。

【0027】

補助質量体の上述した幾何学的形状と特別な配置とにより、振動構造部の所定の面積において特に高感度が小型の構成で達成できる。

40

【0028】

さらに、非矩形の幾何学的形状により機械的構造部の固有振動数スペクトルをより好都合に構成できる。揺動体または内側の振動構造部のねじり固有振動数とフレームまたは外側の振動構造部のねじり固有振動数とが構造部の最低固有モードであり、且つ他のすべてのモードがこれよりもかなり高い振動数にあるような非矩形の幾何学的形状を見出すことができる。これにより、たとえば起伏のある環境での機械的妨害スペクトルとセンサの作動固有モードとの間で必要な振動数間隔を保証することができる。

【0029】

有利には、励起ユニットにより生じる動作振動の振動数、および／または、コリオリの力

50

によって生じる検知振動の振動数は、第 1 および第 2 の振動要素によって形成される振動構造部の最低固有モードである。これにより、衝撃負荷および機械的振動に対する機械的構造部の特に高い堅牢性が得られる。

【 0 0 3 0 】

センサ要素を構成する際に機械的な緩衝要素、たとえば機械的な低域フィルタを使用することにより、回転率信号を高周波数の妨害信号から切り離すことが可能である。この場合、回転率信号はたとえば 0 ないし 1 0 0 H z の帯域幅を有している。低周波数の妨害信号（その帯域幅は回転率の帯域幅と比較可能である）は、センサ構造部の固有振動数の状態によりセンサ挙動に影響せず、或いは、かなり抑制されて影響する。センサ構造部の固有振動数、すなわち動作振動と検知振動とはほぼ 1 0 k H z であるのに対し、他のすべての固有モードはそれ以上である。 10

【 0 0 3 1 】

特に、第 2 の振動要素と第 1 の振動要素との面積比が 5 : 1 よりも大きく、有利には 1 0 : 1 よりも大きい。外側の検知構造部または第 2 の振動要素を形成しているフレームと、内側の動作構造部または第 1 の振動要素を形成している揺動体とのこの面積比により、センサ電気信号がさらに大きくなるとともに、センサ構造部の機械的構成または固有モードの状態が最適になる。しかも揺動体とフレームとの固有振動数が十分に切り離される。この面積比とこれにより得られる慣性モーメントの比率とにより、揺動体の固有振動数を実質的に慣性体または質量要素に依存して決定することが可能であり、そしてフレームの固有振動数を実質的にフレームの幾何学的形状に依存して決定することが可能である。したがってほとんど独立的な周波数トラッキングが達成され、すなわちセンサを簡単且つ高精度でトリムすることができる。 20

【 0 0 3 2 】

有利には、マイクロメカニカル回転速度センサは電極または電極構造部を形成させるための金属被覆部を有している。金属被覆部は誘電層で覆われている。これによりパシベーションが行われるので、金属被覆部は腐食に対し保護されている。金属被覆部は特にセンサの固定不動部分にのみ着座しているので、パシベーションの種類、方式に関する制限はほとんどない。

【 0 0 3 3 】

有利には、マイクロメカニカル回転速度センサは閉じた導体軌道によって取り囲まれている 1 個または複数個の電極を有している。導体軌道はたとえば特に接触させてよい。対応するリード線も閉じた導体軌道によって取り囲まれていてよい。この処置により検知用の電極および / または動作電極の電気的なクロストークが低減される。金属被覆された電極はたとえばカバーおよび / または底部ウェーハにのみ着座し、この場合構造化された中央部分には着座していないので、保護電極を容易に接触させることができ、しかも、保護電極を中央部分に取り付ける必要がある場合も保護電極の幾何学的形状および性状に関する境界条件は少ない。 30

【 0 0 3 4 】

有利には、マイクロメカニカル回転速度センサは中央部分ウェーハを底部ウェーハ或いは底部ウェーハのボンディングパッドに接続させるためのオーム圧接部を有している。カバーウェーハもこのようにして接触させてよい。中央部分上には金属被覆部を設けないのが有利である。特に、中央部分ウェーハの構造全体は電気ポテンシャルを持っている。 40

【 0 0 3 5 】

これにより、中央部分ウェーハの電気接続はたとえば 1 0 0 μ m \times 1 0 0 μ m のサイズを持つ規準化されたワイヤーボンディングパッドを介して行うことが可能である。これにより、接続パッド全体を 1 つの面内に設けて、互いに並列させて配置することができる。これはセンサ要素を動作および検知用の付属の電子系と電氣的に接触させる際の手間をかなり低減させる。

【 0 0 3 6 】

中央部分ウェーハ上に金属被覆部分が設けられていないことにより、中央部分ウェーハの 50

製造コストが著しく低減する。さらに、振動構造部は非常にわずかな材料ダンピングしか示さず、機械的固定部を有していない。これはセンサ特性の温度依存性の減少にさらに寄与する。

【0037】

センサ内部空間は気密に密閉されていてよく、この場合たとえば埋設した導体軌道はセンサ内部空間内の電極を接触させるために用いる。埋設した導体軌道を用いてセンサ内部空間内のボンディングパッドと電極面とを結合させることによりセンサ内部空間を気密に密閉することができ、したがって汚染もしなければ、腐食もせず、或いは湿気または周囲の他の影響により変化することもない。

【0038】

本発明によるマイクロメカニカル回転速度センサの製造方法は以下のステップを含んでいる。すなわち少なくとも3つのウェーハを準備するステップと、個々のウェーハを構造化し、これらウェーハのうち1つのウェーハにカルダン式振動構造部を形成させるステップと、前記構造部の第1の振動を励起するための励起ユニットを形成させるステップと、第1の振動に対し垂直に行なわれる前記構造部の第2の振動を検知するための読み取りユニットを形成させるステップと、ウェーハを継ぎ合わせ、両面に振動構造部を備えたウェーハを他のウェーハと結合させるステップとがそれである。この方法により、振動能のある中央部分上に極めて大きな対称な補助質量体を配置することが可能であり、よって極めて高いセンサ解像度を達成することが可能である。

【0039】

回転速度センサを少なくとも3つの個別に加工されたウェーハから製造して、これらウェーハを最終的に継ぎ合わせるその他の利点は、すでに本発明による回転速度センサとの関連で述べたとおりである。

【0040】

特に、振動構造部に補助的な質量要素を第1および/または第2の振動の軸線に関し対称に固定してよい。また、ウェーハの上面および下面に振動構造部を加工してよい。

【0041】

有利には、センサの振動構造部またはジンバル構造部をただ1つの中実なウェーハからエッチングし、その際1回のエッチング工程で、センサの中央部分を形成する機械的構造部または振動構造部の懸架部を形成させる。これにより、たとえば複数個のマスクを互いに位置調整する必要がないので、幾何学的構造部または振動構造部の高い製造精度が達成される。また、ウェーハ面に対し垂直な側面を持つようにシリコンを構造化してもよい。それゆえ中央部分は高精度に上下対称である。これにより“直角位相エラー (quadrature error)”の実質的な原因が排除される。さらに、たとえば異方性プラズマエッチング技術を使用して横方向の幾何学的形状を自在に構成できる。

【0042】

有利には、3つのウェーハのうち底部ウェーハ上にたとえばコンデンサ面、リード線、接続パッドを形成する金属被覆構造部を薄層技術を用いて被着させる。これにより、金属被覆部分がただ1つのウェーハ上にしか設けられないので、製造コストが低減する。薄層技術は、再現可能な隙間間隔にとって必要な再現可能な厚さを持つ小さな構造部の製造を可能にする。たとえば導体軌道の幅は $10\text{ }\mu\text{m}$ であり、導体軌道と電極の厚さは $140\text{ }\mu\text{m}$ 、隙間間隔は $1.5\text{ }\mu\text{m}$ である。センサ要素と動作電子系および検知電子系との電気的な接続は、たとえば規準化されたワイヤーボンディングパッドを介して行う。そのサイズはたとえば $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ である。

【0043】

回転速度センサまたは第1の振動要素の励起は多面的に行うことができ、たとえば静電方式、圧電方式、磁歪方式または磁気方式、或いは磁氣的補助質量体を使用して行うことができる。このような場合、回転速度センサは静電要素、圧電要素、磁歪要素または磁気要素、或いは磁氣的補助質量体を備えている。

【0044】

10

20

30

40

50

補助的に、励起振動を制御および／または強制するための電子系を有する制御装置を設けてもよい。上記電子系は、第１の振動要素がその固有振動数で振動するように適当な回路により構成されていてよい。他方この電子系を、第１の振動要素が特定の振動数（必ずしも固有振動数である必要はない）で振動するよう強制する構成にしてもよい。この構成には特に、第２の振動要素の振動を測定するための読み取り電極が第１の振動要素を励起させるための電極に近接配置されている場合、および／または、第１の振動要素の自由振動が影響を受ける場合でも、前記読み取り電極がセンサの機能を損なわないという利点、或いは測定結果を狂わせないという利点がある。

【００４５】

励起電極の電極形状を適当に選定することにより、第２の振動要素の振動を測定するための読み取り電極の影響はさらに低下する。たとえば、前記影響を排除または補償するために、一对の励起電極の個々の電極を分割し、電子系により別個に制御してよい。

【００４６】

読み取り方法もいくつかの公知の方法で実現してよく、特に容量性方式或いは光学方式でも行うことができる。この場合回転速度センサは、コリオリの力によって生じる第２の振動要素の振動を読み取るための容量性要素または光学要素を備えている。

【００４７】

作動中には連続的な自動テストおよび自動校正が可能である。

【００４８】

次に、本発明による回転速度センサを有利な実施形態に関し図面を用いて説明する。

【００４９】

図１はマイクロメカニカル回転速度センサ１０を示している。マイクロメカニカル回転速度センサ１０はカバー部分１と、中央部分２と、底部部分３とによって形成されている。これらの部分は個別に加工されて最終的に継ぎ合わされたウェーハである。中央部分２は第１の振動要素４と第２の振動要素５とを備えた振動構造を形成している。第１の振動要素４は揺動体を形成し、第２の振動要素５はフレームを形成しており、フレーム内に揺動体が第１の回転軸線Ａのまわりに回転可能に支持されている。フレームまたは第２の振動要素５はウェーハ面内で第１の回転軸線Ａに対し垂直に延びている第２の回転軸線Ｂのまわりに回転可能にセンサ内部に支持されている。中央部分２または第１の振動要素４の上面２ａおよび下面２ｂにはそれぞれ補助的な質量要素６ａ，６ｂが設けられている。補助的な質量要素６ａ，６ｂは中央部分２に対し、または回転軸線ＡとＢによって形成される中央部分面に対し対称に配置されている。図示した有利な実施形態では、補助的な質量要素６ａと６ｂは回転軸線Ａに対し対称に且つ回転軸線Ｂに対し対称に配置されており、すなわち両回転軸線ＡとＢに対し且つ両回転軸線ＡとＢの交点に関し左右対称である。

【００５０】

電極７は図示していない制御部とともに励起ユニットを形成して、第１の振動要素４または揺動体を回転軸線Ａのまわりに振動させる。他の電極８は図示していない電子系とともに読み取りユニットを形成して、回転軸線Ｂのまわりでの第２の振動要素５またはフレームの振動を検知する。振動の励起と読み取りとは静電方式または容量性方式で行なわれる。このため中央部分２は電気ポテンシャルをもっている。

【００５１】

カバー部分１内と底部部分３内には凹部１ａまたは３ａが設けられ、これら凹部にはそれぞれ質量要素６ａまたは６ｂが突出している。この場合、質量要素６ａ，６ｂとそれぞれに境を接しているカバー部分１または底部部分３の構造部との間には遊び空間または間隔があり、この遊び空間または間隔は揺動体と結合されている質量要素６ａ，６ｂの凹部１ａまたは３ａ内部での往復振動を可能にする。

【００５２】

カバー部分１と中央部分２との間には隙間間隔ｄがあり、中央部分２と底部部分３との間にも隙間間隔ｅ１，ｅ２がある。隙間間隔ｄ，ｅ１，ｅ２は中央部分２の振動構造の動作振動および検知振動の静電的励起または容量性読み取りのために用いる。隙間間隔ｄ，

10

20

30

40

50

1, e 2 は電極構造部の横方向の拡がり、すなわち、フレームまたは第 2 の振動要素 5 の振動を励起するために用いる電極 8 の横方向の拡がりに比べて非常に小さい。電極 8 の横方向の広がりに対する隙間間隔 d および隙間間隔 e 2 の比率はほぼ 1 : 100 或いはそれ以下である。これにより検知用の非常に高い容量値或いは動作用の大きな静電力が得られる。

【0053】

底部部分 3 と第 1 の振動要素 4 との隙間間隔 e 1 は回転軸線 A のまわりでの第 1 の振動要素 4 の傾動または振動を可能にさせるが、この隙間間隔 e 1 は回転軸線 B のまわりでの傾動を可能にする底部部分 3 と第 2 の振動要素またはフレーム 5 との隙間間隔 e 2 よりも大きい。これにより共振励起時の大きな機械的振幅が可能になり、他方読み取り時の隙間間隔が狭く、よって容量が大きいので、高い電気出力信号が得られる。

10

【0054】

カバー部分 1 はそのエッジに突起 11 を有しており、この突起 11 によりカバー部分 1 は中央部分のエッジ 21 と固定結合されている。突起 11 により、或いは、これによって形成される、カバー部分の中心領域に対し隆起したエッジにより、センサ 10 の内部に内部空間 9 が形成される。内部空間 9 は両振動要素 4, 5 に対し、または振動構造に対し、励起振動或いは読み取り振動を実施するために十分な空間を提供している。底部部分 3 もその表面に突出した結合領域を有しており、すなわち底部部分 3 を中央部分 2 に結合させるために用いられ、これにより振動のための空間を提供している領域 31 を有している。

【0055】

20

底部部分 3 (底部ウェーハまたは底部ウェーハの一部であってよい) は残りのウェーハ部分、すなわちカバー部分 1 と中央部分 2 を形成しているウェーハよりも横方向の拡がりが大きい。すなわち底部部分 3 は、中央部分 2 またはカバー部分 1 のエッジを越えて延びているエッジ領域を有している。底部部分 3 またはウェーハのエッジ領域の表面には接続パッドの形態で接触面 32 が設けられている。接触面 32 はセンサの内部空間 9 内で金属被覆部分または電極 7, 8 を接触させるために用いる。接触面 32 は導体軌道 33 を介して電極 7, 8 と結合されており、この場合接触面 32 と導体軌道 33 と電極 7, 8 とは底部部分 3 または下部ウェーハの表面上の面内に形成されている。導体軌道 33 は埋設した導体軌道であり、すなわちウェーハのなかに組み込まれ、或いは加工されている。これにより内部空間 9 の気密な、または真空気密な密封が行われる。

30

【0056】

図 2 は有利な実施形態による回転速度センサの中央部分 2 の平面図である。中央部分 2 はウェーハの一部でも、またウェーハ全体であってよい。内側の振動要素 4 または揺動体は振動可能またはねじれ可能な 2 つの対向する懸架部 41 を介して外側の振動要素 5 またはフレームと結合されている。振動可能な懸架部 41 により、両懸架部 41 を通る軸線 A のまわりに揺動体を傾動または振動させることができる。フレームまたは外側の振動要素 5 は振動可能またはねじれ可能な懸架部 42 を介してウェーハまたは中央部分 2 の残りの部分と結合されている。この残りの部分は、ウェーハのカバー部分 1 と底部部分 3 との間に固定された保持構造部 21 を形成している。フレームまたは第 2 の振動要素 5 を保持構造部 21 で懸架している振動可能な懸架部 42 により、両懸架部 42 を通り且つ第 1 の振動要素 4 の回転軸線 A に対し垂直に指向している軸線 B のまわりでのフレームの傾動または振動が可能である。

40

【0057】

上部の補助的な質量要素 6a は揺動体とフレームとから形成されている振動構造部の中心に対称に固定されており、この場合同時に揺動体または第 1 の振動要素 4 の中心に配置されている。すぐ下には、同一に構成された第 2 の補助的な質量要素 6b が配置されている (図 1 を参照)。

【0058】

振動要素 4, 5 はエッジ 4a, 5a を有し、これらエッジ 4a, 5a は互いに直角に指向しておらず、角度 θ を成しており、角度 θ は 90° よりも大きい。すなわち、両振動要素

50

4と5から形成されている振動構造部は非矩形の幾何学的形状を持っており、これにより容量面積が大きくなるとともにフレームの曲げ剛性が高くなり、よってフレームの固有振動数が高くなる。また、懸架部42またはフレームの回転ベルトをかなり短くすることができる。総じて、非矩形の幾何学的形状により機械的構造部の固有振動数スペクトルを好都合に構成することができる。非矩形の幾何学的形状の他の利点は前述したとおりである。

【0059】

図3は底部部分3上に形成された金属被覆部分の平面図である。金属被覆部分は平坦に構成された2つの電極8を形成している。これら電極8はフレームまたは第2の振動要素5の振動の容量性読み取りのために用いる。フレームまたは第2の振動要素5の振動は、センサが振動要素4と5の回転軸線に対し垂直に指向している検知軸線のまわりに回転する際にコリオリの力に基づいて発生するものである。電極7は図示していないが、同様に構成されている。

10

【0060】

中央部分ウェーハまたは中央部分2の構造全体は電気ポテンシャルを有している。この電気ポテンシャルは底部部分2上の金属被覆部分または電極7,8に対向している。これにより、励起および読み取りのために電極7,8に対向する金属被覆部分(図1を参照)を振動構造部にも取り付けの必要がない。

【0061】

各電極7,8は環状電極12によって完全に囲まれている。環状電極12は電極7,8と外側へ通じている導体軌道33および外側にある接触面32を取り囲んでいる。この場合環状電極12はセンサ内部空間の外側にある固有の接触面34を介して別個に接触可能である。導体軌道を形成している環状電極12は検知用および動作の電極7,8間の電氣的クロストークを低減させる。

20

【0062】

図4はセンサ10のエッジ領域における中央部分2と底部部分3との結合部を拡大して示したものである。この場合、中央部分ウェーハまたは中央部分2はオーム圧接部35を介して底部ウェーハ3のボンディングパッドまたは接続パッドに接続されている。ボンディングパッドまたは接続パッドは接触面36の形態で底部部分3上に形成されている。接続パッド全体は1つの面上にあり、互いに並列して配置されている。これにより電極7,8も中央部分ウェーハ2も簡単に且つ極めて低コストで電氣的に接触させることができる。

30

【0063】

有利な実施形態では、中央部分2は単結晶シリコンから成っており、他方底部部分3とカバー部分2とはたとえばボロフロートガラスまたはパイレックス(登録商標)ガラスのようなアルカリを含んだガラスウェーハから製造されている。これらウェーハのうち1つのウェーハは電極構造を備えている。もちろんセンサ部に対し他の材料も可能で、この場合材料の選択はその都度の必要条件に応じて行なう。

【0064】

本実施形態の場合質量要素6a,6bは鋼球であり、それぞれ揺動体または第1の振動要素4の上面および下面の膨出部で支持されている。この場合鋼球は正確に対向しあっており、その結果高度な幾何学的形状が保証されている。有利な実施形態では、自動的に相互に指向しあう磁気鋼球が使用される。もちろん鋼球以外にも他の形状および材料を質量要素6a,6bの構成のために使用してもよく、この場合適宜選択すればセンサパラメータを調整することができる。

40

【0065】

静電励起ユニット以外にも種々の励起方式が可能で、たとえば圧電励起方式、磁歪励起方式、或いは磁気励起方式も可能である。読み取り方式も他の公知の方式で行なってもよく、この場合、容量性方式の読み取り以外に光学的読み取り方式も可能である。

【0066】

次にセンサ10の製造例を説明する。

50

【0067】

センサを製造するため、カバー部分1、中央部分2、底部部分3を形成する3個のウェーハを別個に加工する。カバー部分1用のウェーハと底部部分3用のウェーハとは、その中央に質量要素6a, 6b用の凹部が設けられるように構造化させ、その際振動を実施するために十分な遊び空間が生じる。また、それぞれのウェーハ表面の中心領域をエッジ領域に対して沈降させ、その結果カバー部分および底部部分のこの領域にそれぞれ中央部分2に対する隙間間隔が生じ、この隙間間隔が中央部分の振動構造部の振動を可能にさせる。

【0068】

中央部分ウェーハを上面と下面に加工して中心面に対する対称性を保証させる。この場合、フレームと揺動体とから成っているセンサの振動構造部を中実ウェーハからエッチングさせ、その際懸架部41, 42(図2を参照)を1回のエッチング工程で形成させる。

10

【0069】

この時点で質量要素6a, 6bを、中央部分2として設けられているウェーハの上面および下面に固定させ、たとえば接着或いは磁気により固定させる。

【0070】

底部部分3用に設けられているウェーハ上に、電極またはコンデンサ面およびリード線と接続パッドを形成する金属被覆構造部を薄層技術により被着させる。その際金属被覆部分をパシベーションのために誘電層で覆う。

【0071】

3個のウェーハまたはセンサ部分を予め別個に製造した後、これらを継ぎ合わせて互いに固定結合させる。その際、センサの内部空間9に真空が生じるように適当な処置を施す。

20

【0072】

左右対称なセンサにより特に温度ドリフトのようなエラー源が効果的に防止され、測定結果が改善される。中央部分2上の左右対称な質量体はセンサ解像度を著しく向上させる。センサの機械的構成が高度に左右対称であるため、長期間にわたる高安定性と少ないオフセットドリフトが得られる。すなわちセンサは長期間にわたり安定に作動し、正確な測定結果を提供する。センサは機械的に負荷可能であり、この種の負荷時に測定結果が狂うことはない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の有利な実施形態によるマイクロメカニカル回転速度センサの断面図である。

30

【図2】有利な実施形態による回転速度センサの中央部分の平面図である。

【図3】回転速度センサの電極構造の平面図である。

【図4】センサのエッジ領域を、中央部分と底部部分との結合部とともに示した断面図である。

【国際公開パンフレット】

(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
21. Februar 2002 (21.02.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/14787 A1

(51) Internationale Patentklassifikation: **G01C 19/56**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **EADS DEUTSCHLAND GMBH** [DE/DE]; 81663
München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/09066

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. August 2001 (06.08.2001)

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BAUER, Karin**
[DE/DE]; Gaugrabenstrasse 5, 82041 Oberhaching (DE).
GLEISSNER, Tanjo [DE/DE]; Edeltraudstr. 21, 81827
München (DE). **LENTNER, Konrad** [DE/DE]; Isarweg
7B, 85375 Mintraching (DE). **SASSEN, Stefan** [DE/DE];
Baderstr. 49, 80469 München (DE). **SCHALK, Josef**
[DE/DE]; Am Anger 19a, 84051 Altheim (DE). **VOSS,**
Ralf [DE/US]; 3847 Normanwood, West Bloomfield, MI
48232 (US).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

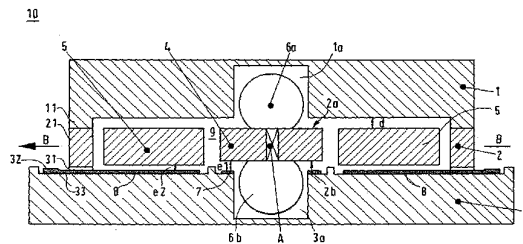
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 40 537.1 18. August 2000 (18.08.2000) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICROMECHANICAL SPEED SENSOR AND A METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: MIKROMECHANISCHER DREHRATENSOR UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a micromechanical rotational speed sensor comprising a cardanic structure, capable of oscillation. Said sensor consists of two oscillating elements (4, 5), which are mounted so that they can pivot about two axes (A, B) that are aligned in a perpendicular manner in relation to one another. An excitation unit in the form of an electrode (7) causes the first oscillating element (4) to oscillate about the first rotational axis (A). A readout unit in the form of a readout electrode (8) registers a tilting or oscillation of the second oscillating element (5) about the second rotational axis (B) and uses said movement as a measure for the rotational speed of the sensor. Additional elements of mass (6a, 6b), which are symmetrically aligned, are located on the upper face (2a) and the lower face (2b) of the first oscillating element (4), said element forming a rocker. The sensor is produced from at least three individually machined wafers, which are subsequently combined to form a cover section (1), a central section (2) and a base section (3).

(57) Zusammenfassung: Ein mikromechanischer Drehratensensor mit einer kardanischen, schwingfähigen Struktur umfasst zwei Schwingelemente (4, 5), die um zwei senkrecht zueinander gerichtete Achsen (A, B) schwenkbar gelagert sind. Eine Anregungseinheit in Form einer Elektrode (7) versetzt

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/14787 A1

WO 02/14787 A1



(81) **Bestimmungsstaaten** (*national*): JP, US.

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

das erste Schwingelement (4) in eine Schwingung um die erste Drehachse (A). Eine Ausleseeinheit in Form einer Ausleseelektrode (8) erfasst eine Verkipfung bzw. Schwingung des zweiten Schwingelements (5) um die zweite Drehachse (B) als Mass für die Drehrate des Sensors. Auf der Oberseite (2a) und der Unterseite (2b) des ersten Schwingelements (4), die eine Wippe bildet, befinden sich zusätzliche Masselemente (6a, 6b), die symmetrisch ausgerichtet sind. Der Sensor ist aus mindestens drei einzeln bearbeiteten Wafern hergestellt, die abschliessend zusammengefügt werden und ein Deckelteil (1), ein Mittelteil (2) und ein Bodenteil (3) bilden.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

1

Mikromechanischer Drehratensensor und Verfahren zu seiner Herstellung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen mikromechanischen Drehratensensor gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines

5 mikromechanischen Drehratensensors.

Kardanisch aufgehängte, mikromechanische Drehratensensoren besitzen z.B. zwei schwingfähige Rahmen mit einer zentralen Inertialmasse. Durch einen elektrostatischen Antrieb wird die Masse zu resonanten Schwingungen um eine Anregungsachse gebracht.

10 Bei einer Rotation des Sensors um eine Drehachse, die senkrecht zur Anregungsachse gerichtet ist, wirkt die Corioliskraft auf die oszillierende Inertialmasse. Dadurch wird periodisch eine Schwingung um eine Ausleseachse angeregt, die senkrecht zur Anregungsachse und zur Drehachse gerichtet ist. Die Amplitude der so erzeugten Oszillation ist ein direktes Maß für die zu messende Drehrate. Die Auslesung der

15 Amplitude kann z.B. elektrostatisch erfolgen.

Derartige mikromechanische Drehratensensoren können z.B. in der Kraftfahrzeugtechnik, in der Luft und Raumfahrttechnik, sowie bei Explorations- und Produktionsverfahren eingesetzt werden. Beispielsweise können die Drehratensensoren zur

20 Fahrzeugstabilisierung, zur Fahrdynamikregelung und für Navigationssysteme oder auch innerhalb von Systemen für autonomes Fahren eingesetzt werden. Weitere Einsatzmöglichkeiten bestehen in der Flugkörpernavigation und -stabilisierung. Im Bereich der Raumfahrt können mit derartigen Sensoren Plattformen stabilisiert und in ihrer Lage geregelt werden. Navigationssysteme, wie z.B. GPS/INS, werden durch derartige

25 Drehratensensoren ergänzt, insbesondere im Bereich der Avionik. Bei der Exploration von Rohstoffen können z.B. Bohrköpfe mit Drehratensensoren gesteuert werden. Bei modernen Produktionstechnologien werden Drehratensensoren zur Steuerung von Robotern eingesetzt.

30 In dem US Patent Nr. 4,598,585 ist ein Drehratensensor mit einer kardanischen Struktur beschrieben, bei der ein Rahmen schwingungsfähig um eine y-Achse gelagert ist. Innerhalb des Rahmens befindet sich ein Element, das schwingungsfähig um eine x-Achse an dem

CONFIRMATION COPY

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

2

Rahmen befestigt ist. Auf dem inneren Element ist eine Inertialmasse angeordnet. Antriebs Elemente dienen dazu, den Rahmen in Schwingungen um die y-Achse zu versetzen. Die Auslenkung des inneren Elements aufgrund der Corioliskraft wird kapazitiv gemessen.

5

Die bekannten mikromechanischen Drehratensensoren haben jedoch den Nachteil, dass die Messgenauigkeit oft unzureichend ist. Auch treten in der Regel sehr große Querempfindlichkeiten auf. Darüberhinaus ist oftmals auch eine große Empfindlichkeit auf Vibrationen festzustellen. Darüberhinaus sind die bekannten Drehratensensoren meist mit hohen Herstellungskosten verbunden.

10

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen mikromechanischen Drehratensensor zu schaffen und ein Verfahren zu seiner Herstellung anzugeben, der eine hohe Sensorempfindlichkeit und geringe Querempfindlichkeit aufweist. Darüberhinaus soll der Drehratensensor robust sein, geringe Empfindlichkeiten gegen mechanische Vibrationen haben und kostengünstig herstellbar sein.

15

Diese Aufgabe wird gelöst durch den mikromechanischen Drehratensensor gemäß Patentanspruch 1 und das Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Drehratensensors gemäß Patentanspruch 22. Weitere vorteilhafte Merkmale, Details und Aspekte der Erfindung sind aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen ersichtlich.

20

Der erfindungsgemäße mikromechanische Drehratensensor umfaßt ein erstes Schwingelement, das schwenkbar um eine erste Achse gelagert ist, ein zweites Schwingelement, das schwenkbar um eine zweite Achse gelagert ist, die senkrecht zur ersten Achse gerichtet ist, eine Anregungseinheit, um das erste Schwingelement in Schwingungen um die erste Achse zu versetzen und eine Ausleseseinheit zum Erfassen von Schwingungen des zweiten Schwingelements um die zweite Achse, wobei an dem ersten Schwingelement mindestens zwei zusätzliche Massenelemente befestigt sind, die symmetrisch zu einer Ebene ausgerichtet sind, die durch die erste und zweite Achse definiert ist.

25

30

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

3

Durch die symmetrisch ausgerichteten, zusätzlichen Massenelemente ergibt sich eine deutlich höhere Sensorauflösung und Empfindlichkeit. Dabei können die Zusatzmassen bzw. zusätzlichen Massenelemente extrem groß ausgestaltet sein. Dadurch ergibt sich

5 eine weite Auslagerung der Massenschwerpunkte symmetrisch zur Drehachse, was eine extreme Erhöhung der Sensorempfindlichkeit bewirkt. Der symmetrische Aufbau reduziert die Querempfindlichkeit gegenüber Drehraten ausserhalb der Empfindlichkeitsachse des Sensors und reduziert die Empfindlichkeit gegenüber einer auf den Sensor wirkenden Beschleunigung. Der Sensor ist kostengünstig herstellbar und kann äußerst robust

10 ausgelegt werden.

Vorteilhafterweise liegt der gemeinsame Schwerpunkt der beiden Masseelemente im Schnittpunkt der ersten und zweiten Achse. Dadurch ergibt sich eine maximale Symmetrie.

15 Bevorzugt sind die zusätzlichen Massenelemente getrennt von dem ersten und/oder zweiten Schwingelement gefertigt, wobei insbesondere Form, Größe oder auch Material der Massenelemente gezielt ausgewählt sind, um die Parameter des Sensors festzulegen. Durch die freie Wahl von Form, Größe und Material der Zusatzmassen kann die

20 Masseverteilung, die Gesamtmasse und die Verteilung der Trägheitsmomente des Sensors gezielt gewählt werden. Damit ergeben sich zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten, den Sensor im Hinblick auf Auflösung, Querempfindlichkeit, Schockempfindlichkeit, reduziertem Einfluss von Fertigungstoleranzen, oder auch reduzierter Empfindlichkeit gegenüber Vibrationen zu optimieren.

25 Insbesondere können durch die freie Wahl der Materialien für die zusätzlichen Massenelemente Zusatzmassen mit speziellen physikalischen Eigenschaften gebildet werden, die je nach den Anforderungen des Drehratensensors besonders geeignet sind. Weiterhin kann durch spezielle Wahl der Zusatzmassen, das Sensorelement getrimmt

30 werden, ohne dass an den übrigen Strukturen bzw. an der herausgeätzten kardanischnen Struktur Veränderungen oder Einwirkungen vorgenommen werden müssen.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

4

- Die Zusatzmassen können kostengünstig mit hoher Präzision hergestellt werden. Besonders bevorzugt werden Kugeln als Massenelemente verwendet, die kostengünstig mit einer sehr geringen Geometrietoleranz von beispielsweise 0,1% hergestellt werden können. Durch die Verwendung von Kugeln ergibt sich damit eine sehr hohe
- 5 Reproduzierbarkeit der Masseverteilung des Drehratensensors. Es können aber auch Quader, Kegel, Pyramiden bzw. Pyramidenstümpfe und Zylinder als Massenelemente verwendet werden, die ebenfalls sehr kostengünstig und mit geringer Geometrietoleranz herstellbar sind. Besonders günstig ist es, die Kegel bzw. Pyramiden mit ihren Spitzen zueinander ausgerichtet anzuordnen. Dadurch sind die Schwerpunkte der einzelnen
- 10 Masselemente möglichst weit ausgelagert bzw. möglichst weit voneinander entfernt.

- Insbesondere haben die zusätzlichen Massenelemente z.B. magnetische Eigenschaften. Dies bewirkt eine gegenseitige Anziehung der zusätzlichen Massenelemente, so dass sie sich selbst vollständig symmetrisch ausrichten. Weitere Vorteile sind die sich daraus
- 15 ergebende Haftung am Substrat, die Möglichkeit einer Selbstkalibrierung, sowie die Möglichkeit einer magnetischen oder elektromagnetischen Anregung zu Schwingungen.

- Bevorzugt sind die zusätzlichen Massenelemente aus einem Material gefertigt, das eine höhere Dichte als das Material des ersten und/oder des zweiten Schwingelements hat.
- 20 Dies führt zu einer günstigeren Verteilung der Massenträgheitsmomente. Dabei können z.B. Metalle, insbesondere Stahl, als Material für die zusätzlichen Massenelemente verwendet werden, wo hingegen für die übrige Sensorstruktur bzw. für das erste und zweite Schwingelement z.B. Silizium verwendet wird. Es besteht also eine freie Materialwahl für die Zusatzmassen, da das Material der Zusatzmassen nicht kompatibel
- 25 mit den Bearbeitungsschritten z.B. für einen Siliziumwafer sein muss, aus dem die Schwingelemente bzw. die schwingfähige Struktur vorteilhafterweise hergestellt wird. Dadurch kann auf sehr kostengünstige Weise eine extreme Erhöhung der Sensorempfindlichkeit erfolgen.
- 30 Beispielsweise ist das erste Schwingelement eine Wippe und das zweite Schwingelement ein Rahmen, wobei die Wippe und der Rahmen eine kardansche, schwingfähige Struktur bilden, die in einer Haltestruktur befestigt ist.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

5

- Vorteilhafterweise ist der Drehratensensor aus mindestens drei zusammengefügt
Wafeln hergestellt, die bevorzugt einzeln bearbeitet sind. Dabei hat der Drehratensensor
z.B. einen Bodenwafer, einen Mittelteilwafer und einen Deckelwafer. Dadurch ergibt sich
5 eine reduzierte Komplexität beim Herstellungsverfahren, sowie die Möglichkeit, die
Einzelkomponenten zu testen. Weiterhin wird die Ausbeute erhöht, wodurch sich für die
Sensoren reduzierte Kosten ergeben. Weiterhin lassen sich Gruben- und
Elektrodenstrukturen, die sich nach dem Zusammenfügen im Inneren des Sensors
befinden, frei gestalten. Darüberhinaus besteht eine größere Auswahlmöglichkeit für
10 Elektrodenmaterial und für das Material der Zusatzmassen, da das Material mit weniger
Herstellungsschritten kompatibel sein muss. Die Verwendung von baugleichen Deckel-
und Bodenwafern ist möglich. Dies ermöglicht einen zur Mittelebene vollständig
symmetrischen Aufbau.
- 15 Bevorzugt ist das erste und das zweite Schwingelement in dem Mittelteilwafer ausgebildet.
Insbesondere ist der Mittelteilwafer auf der Ober- und Unterseite bearbeitbar. Dadurch ist
die Symmetrie zur Mittelebene gewährleistet, da die Massen bzw. zusätzlichen
Massenelemente symmetrisch angebracht werden können. Durch die Symmetrie wird die
Temperaturdrift der Sensoreigenschaften reduziert.
- 20 Vorteilhafterweise ist der Boden- und/oder der Deckelwafer aus alkalihaltigen Glaswafern
hergestellt, wie z.B. Borofloat- oder Pyrex-Glas, wovon z.B. mindestens ein Wafer mit einer
Elektrodenstruktur versehen ist. Dadurch werden Streu- und Übersprechkapazitäten
reduziert, da sich die Elektrodenstruktur auf isolierendem Material befindet. Insbesondere
25 ist z.B. der thermische Ausdehnungskoeffizient an das Silizium des Mittelteilwafers
angepasst, weshalb die thermischen Verspannungen während der Herstellung gering
gehalten werden können und woraus sich eine reduzierte Temperaturempfindlichkeit des
Sensors während des Betriebs ergibt. Die Verwendung alkalihaltiger Glaswafer ermöglicht
darüberhinaus eine zuverlässige Verbindung mit dem Mittelteilwafer aus Silizium mittels
30 einem anodischen Bondverfahren.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

6

- Dadurch, dass die Wafer bzw. der Mittelteilwafer mit dem Bodenwafer und dem Deckelwafer z.B. durch anodisches Bonden verbunden werden, ergibt sich eine zuverlässige Verbindung, die für die Herstellung eine Temperatur von maximal 450°C benötigt. Diese Maximaltemperatur ist niedrig genug, damit geeignet gewählte
- 5 Metallisierungen nicht verändert werden, d.h., es ergibt sich keine Oxidation und auch keine Bildung von Legierungen. Das anodische Bonden erlaubt eine gute Justage der Wafer zueinander, da während des Bondvorgangs keine flüssige Phase auftritt. Die Justagetoleranz des Drehratensensors ist deshalb zumeist geringer als einige μm .
- 10 Vorteilhafterweise befindet sich zwischen dem Mittelteilwafer und dem Bodenwafer bzw. zwischen dem Mittelteilwafer und dem Deckelwafer ein Spaltabstand, der im Verhältnis zur lateralen Elektrodenausdehnung klein ist. Dieser Abstand zwischen aneinandergrenzenden Wafern dient zur elektrostatischen Anregung und/oder zur kapazitiven Auslesung der Aktorik- und/oder Sensorikschwingung der Schwingelemente.
- 15 Das Verhältnis zwischen dem Spaltabstand und der lateralen Elektrodenausdehnung ist z.B. kleiner als 1:20, bevorzugt kleiner als 1:50, und insbesondere bevorzugt kleiner als 1:100 oder sogar 1:1000. Dadurch ergeben sich sehr große Kapazitätswerte, die wiederum hohe elektrische Signale für die Sensorik bzw. große elektrostatische Kräfte für die Aktorik ermöglichen.
- 20 Bevorzugt ist der Spaltabstand für die Aktorikstruktur, die die Anregungsschwingung des ersten Schwingelements ermöglicht, größer als der Spaltabstand für die Sensorikstruktur, die die Ausleseschwingung des zweiten Schwingelements ermöglicht. Dadurch kann die Aktorikschwingung mit einer sehr hohen mechanischen Amplitude erfolgen. Darüberhinaus
- 25 ist die Dämpfung der Schwingung bei größerem Spaltabstand geringer (Squeezed Film Damping), was bei resonanter Anregung zu höherer mechanischer Amplitude führt. Andererseits ergibt sich durch den geringen Spaltabstand bei der Sensorikstruktur eine große Kapazität und damit ein hohes elektrisches Ausgangssignal.
- 30 Vorteilhafterweise ist der Wafer, aus dem die mechanische Struktur bzw. das erste und zweite Schwingelement geätzt wird, aus einkristallinem Silizium gefertigt. Dabei ist die schwingungsfähige Struktur bzw. Gimbalstruktur des Sensors z.B. aus einem vollen Wafer

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

7

- geätzt, d.h. in Bulk-Technologie hergestellt. Die schwingungsfähige Struktur umfaßt z.B. das erste und zweite Schwingelement und ist bevorzugt aus dem Mittelteilwafer herausstrukturiert. Durch die Verwendung von einkristallinem Silizium ergibt sich eine sehr geringe Materialdämpfung und weiterhin verschwindend geringe Ermüdungs- und Alterungserscheinungen. Die Fertigung in Siliziumtechnologie führt zu geringen Fertigungstoleranzen bei gleichzeitig niedrigen Kosten. Darüberhinaus besitzt Silizium eine hohe mechanische Belastbarkeit bei gleichzeitig niedriger Dichte, woraus eine robuste und belastbare mechanische Struktur resultiert.
- 10 Vorteilhafterweise ist das erste und/oder das zweite Schwingelement nicht-rechtwinklig ausgebildet, d.h. die schwingungsfähige Struktur hat eine nichtrechtwinklige Geometrie bzw. eine symmetrische konvexe Freiform. Die Schwingelemente können z.B. rund ausgestaltet sein oder auch Kanten aufweisen, die in einem Winkel von mehr als 90° aneinandergrenzen. Beispielsweise können die Schwingelemente 8-eckig sein.
- 15 Insbesondere unter Berücksichtigung großer zusätzlicher Inertialmassen, die die Erhöhung der Empfindlichkeit verursachen, ergibt sich z.B. eine Vergrößerung der Kapazitätsflächen bei gleichzeitig höherer Biegesteifigkeit, und damit höhere Eigenfrequenzen des Rahmens bzw. der äußeren schwingfähigen Struktur.
- 20 Damit wird eine hohe Steifigkeit für die Einspannung des Drehbandes des Rahmens bzw. der Torsionsaufhängung erreicht, die mit einer rechtwinkligen Struktur nicht erzielt werden kann. Die Torsionsfrequenz wird wesentlich durch das Torsions- bzw. Drehband als Aufhängung selbst bestimmt. Man kann somit das Drehband stark verkürzen und eine von
- 25 der Torsionsfrequenz fast unabhängig einstellbare Z-Mode des Sensors, die senkrecht zur Waferebene gerichtet ist, erreichen.
- Durch die oben beschriebene Geometrie und durch die besondere Anordnung der Zusatzmassen kann bei vorgegebener Fläche der schwingfähigen Struktur eine besonders
- 30 hohe Empfindlichkeit bei kleiner Bauweise erreicht werden.
- Weiterhin kann das Eigenfrequenzspektrum der mechanischen Struktur durch die nicht

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

8

-rechtwinklige Geometrie günstiger gestaltet werden. Es lassen sich nichtrechtwinklige Geometrien finden, bei denen die Torsionseigenfrequenzen der Wippe bzw. der inneren schwingfähigen Struktur und des Rahmens bzw. der äußeren schwingfähigen Struktur die niedrigsten Eigenmoden der Struktur sind und alle anderen Moden bei deutlich höheren Frequenzen zu liegen kommen. Damit kann man den benötigten Frequenzabstand zwischen dem mechanischen Störspektrum, beispielsweise in einer rauen Umgebung, und den Betriebs- und Eigenmoden des Sensors gewährleisten.

Vorteilhafterweise ist die Frequenz der Aktorikschwingung, die durch die Anregungseinheit verursacht wird, und/oder die Frequenz der Sensorikschwingung, die durch die Corioliskraft erzeugt wird, die niedrigsten Eigenmoden der schwingfähigen Struktur, die durch das erste und das zweite Schwingelement gebildet wird. Dadurch ergibt sich insbesondere eine hohe Robustheit der mechanischen Struktur gegenüber Schockbelastungen und mechanischen Vibrationen.

Durch Verwendung mechanischer Dämpfungselemente, beispielsweise mechanischer Tiefpassfilter, beim Aufbau des Sensorelements ist es möglich, das Drehratensignal von höherfrequenten Störsignalen zu trennen. Dabei hat das Drehratensignal beispielsweise eine Bandbreite von 0 bis 100 Hz. Niederfrequente Störsignale, deren Bandbreite vergleichbar ist mit der Bandbreite der Drehrate, können aufgrund der Lage der Eigenfrequenzen der Sensorstruktur nicht oder nur sehr stark unterdrückt das Sensorverhalten beeinflussen. Dabei liegen die Eigenfrequenzen der Sensorstruktur, d.h. die Aktorik- und Sensorikschwingung, bei ca. 10 kHz, während alle anderen Eigenmoden darüberliegen.

Insbesondere ist das Flächenverhältnis zwischen dem zweiten Schwingelement und dem ersten Schwingelement größer als 5:1, bevorzugt größer als 10:1. Durch dieses Flächenverhältnis zwischen dem Rahmen, der die äußere Sensorikstruktur bzw. das zweite Schwingelement bildet, und der Wippe, die die innere Aktorikstruktur bzw. das erste Schwingelement bildet, ergibt sich eine weitere Vergrößerung des elektrischen Sensorsignals bei gleichzeitig optimaler mechanischer Auslegung der Sensorstruktur bzw. der Lage der Eigenmoden. Weiterhin erfolgt eine weitgehende Entkopplung der

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

9

Eigenfrequenzen von Wippe und Rahmen. Durch dieses Flächenverhältnis und dem damit einhergehenden Verhältnis der Massenträgheitsmomente ist es möglich, die Eigenfrequenz der Wippe im wesentlichen in Abhängigkeit von der Inertialmasse bzw. der Massenelemente zu bestimmen, und die Eigenfrequenz des Rahmens im wesentlichen in

5 Abhängigkeit von der Rahmengeometrie zu bestimmen. Damit kann ein nahezu unabhängiger Frequenzabgleich erreicht werden, d.h. der Sensor kann auf einfache Weise und mit hoher Genauigkeit getrimmt werden.

Bevorzugt hat der mikromechanische Drehratensensor eine Metallisierung zur Bildung

10 einer Elektrode bzw. Elektrodenstruktur, die mit einer dielektrischen Schicht bedeckt ist. Dadurch erfolgt eine Passivierung, so dass die Metallisierung vor Korrosion geschützt ist. Leckströme zwischen den isolierten Elektroden werden erheblich reduziert. Da die Metallisierung insbesondere nur auf festen, unbewegten Teilen des Sensors sitzt, gibt es kaum Einschränkungen bezüglich der Art und des Verfahrens der Passivierung.

15 Vorteilhafterweise umfaßt der mikromechanische Drehratensensor ein oder mehrere Elektroden, die von einer geschlossenen Leiterbahn umgeben sind. Dabei kann die Leiterbahn zum Beispiel eigens kontaktiert werden. Auch die entsprechenden Zuleitungen können von der geschlossenen Leiterbahn umgeben sein. Durch diese Massnahme wird

20 das elektrische Übersprechen zwischen den Elektroden für die Sensorik und/oder für die Aktorik reduziert. Da die metallisierten Elektroden z.B. nur im Deckel und/oder Bodenwafer sitzen und in diesem Fall nicht auf dem strukturierten Mittelteil, sind die Guardelektroden leicht zu kontaktieren und unterlegen in ihrer Geometrie und Beschaffenheit weniger Randbedingungen, als wenn sie auf dem Mittelteil angebracht

25 werden müssten.

Bevorzugt hat der mikromechanische Drehratensensor einen ohmschen Druckkontakt zum Anschluss des Mittelteilwafers an den Bodenwafer bzw. an ein Bondpad des Bodenwafers. Auch kann der Deckelwafer auf diese Weise kontaktiert werden. Auf dem Mittelteilwafer

30 selbst befindet sich bevorzugt keine Metallisierung. Insbesondere besitzt die gesamte Struktur des Mittelteilwafers ein elektrisches Potential.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

10

Dadurch ist es möglich, dass der elektrische Anschluss des Mittelteilwafers über standardisierte Drahtbondpads erfolgt, die beispielsweise eine Größe von $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ aufweisen. Dadurch können sich die gesamten Anschlußpads auf einer Ebene befinden und nebeneinander liegend angeordnet werden. Dies reduziert erheblich den Aufwand
5 beim elektrischen Kontaktieren des Sensorelements mit der zugehörigen Elektronik für Aktorik und Sensorik.

Durch das Fehlen einer Metallisierung auf dem Mittelteilwafer wird der Herstellungsaufwand des Mittelteilwafers deutlich reduziert. Weiterhin zeigt die
10 schwingungsfähige Struktur eine nur sehr geringe Materialdämpfung und weist keine mechanischen Verspannungen auf. Dies trägt noch zusätzlich zu einer reduzierten Temperaturabhängigkeit der Sensoreigenschaften bei.

Der Sensorinnenraum kann hermetisch verschlossen sein, wobei z.B. vergrabene
15 Leiterbahnen zur Kontaktierung der Elektroden im Sensorinnenraum dienen. Durch die Verbindung zwischen den Bondpads und den Elektrodenflächen im Sensorinneren mittels vergrabenen Leiterbahnen kann das Sensorinnere hermetisch verschlossen werden und kann somit weder verschmutzen, noch korrodieren oder durch Feuchtigkeit oder andere Umwelteinflüsse verändert werden.

20 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Drehratensensors umfaßt die Schritte: Bereitstellen von mindestens drei Wafern; Strukturieren der einzelnen Wafer, wobei in einem der Wafer eine kardansche, schwingfähige Struktur ausgebildet wird; Ausbilden einer Anregungseinheit zum Anregen
25 einer ersten Schwingung der Struktur; Ausbilden einer Ausleseseinheit zum Erfassen einer zweiten Schwingung der Struktur, die senkrecht zur ersten Schwingung erfolgt; und Zusammenfügen der Wafer, wobei der Wafer mit der schwingfähigen Struktur auf beiden Seiten mit einem weiteren Wafer verbunden wird. Durch dieses Verfahren ist es möglich, extrem große symmetrische Zusatzmassen auf dem schwingfähigen Mittelteil anzuordnen
30 und dadurch eine deutlich höhere Sensorauflösung zu erreichen.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

11

Die weiteren Vorteile, die sich aus der Herstellung des Drehratensensors aus mindestens drei einzeln bearbeiteten Wafern ergeben, die abschließend zusammengefügt werden, wurden oben bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Drehratensensor beschrieben.

5

Insbesondere können an der schwingfähigen Struktur zusätzliche Massenelemente symmetrisch zur Achse der ersten und/oder der zweiten Schwingung befestigt werden. Weiterhin kann der Wafer mit der schwingfähigen Struktur auf seiner Ober- und Unterseite bearbeitet werden.

10

Vorteilhafterweise wird die schwingfähige Struktur bzw. Gimbal-Struktur des Sensors aus einem einzigen, vollen Wafer geätzt und die Aufhängung der mechanischen bzw. schwingfähigen Struktur, die das Mittelteil des Sensors bildet, wird in einem einzigen Ätzschritt hergestellt. Dadurch wird eine hohe Fertigungsgenauigkeit der geometrischen Struktur bzw. schwingungsfähigen Struktur erreicht, da z.B. nicht mehrere Masken zueinander justiert werden müssen. Auch ist es möglich, die Strukturierung des Siliziums mit Flanken senkrecht zur Waferebene durchzuführen. Das Mittelteil selbst ist daher mit hoher Genauigkeit oben-unten-symmetrisch. Damit wird eine wesentliche Quelle für den Quadraturfehler bzw. "quadrature error" ausgeschlossen. Es ergibt sich weiterhin eine freie Gestaltbarkeit der lateralen Geometrie, z.B. bei Verwendung der anisotropen Plasmaätztechnik.

20

Vorteilhafterweise wird auf den Bodenwafer der drei Wafer eine Metallisierungsstruktur mittels Dünnschichttechnologie aufgebracht, die z.B. Kondensatorflächen, Zuleitungen und Anschlußpads bildet. Dadurch wird der Herstellungsaufwand reduziert, da die vollständige Metallisierung sich nur auf einem Wafer befindet. Die Dünnschichttechnologie ermöglicht die Herstellung kleiner Strukturen mit reproduzierbaren Dicken, die für einen reproduzierbaren Spaltabstand notwendig sind. Beispielsweise beträgt die Leiterbahnbreite 10µm, die Leiterbahn- und Elektrodendicke 140nm und der Spaltabstand beispielsweise 1,5µm. Der elektrische Anschluß des Sensorelements an die Aktorik- und Sensorik Elektronik erfolgt beispielsweise über standardisierte Drahtbondpads. Deren Größe beträgt z.B. 100µm x 100µm.

25

30

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

12

Die Anregung des Drehratensensors bzw. des ersten Schwingelements kann auf vielfältige Weise, z.B. elektrostatisch, piezoelektrisch, magnetostruktiv oder auch magnetisch bzw. unter Verwendung von magnetischen Zusatzmassen erfolgen. In diesem Fall ist der

5 Drehratensensor mit elektrostatischen, piezoelektrischen, magnetostruktiven oder auch magnetischen Elementen bzw. magnetischen Zusatzmassen versehen.

Zusätzlich kann eine Steuereinrichtung vorgesehen sein, die eine Elektronik zur Regelung und/oder zum Erzwingen der Anregungsschwingung aufweist. Die Elektronik kann durch

10 entsprechende Schaltungen so ausgelegt sein, daß das erste Schwingelement in seiner Eisenfrequenz schwingt. Sie kann aber auch so ausgelegt sein, daß die Schwingung des ersten Schwingelements mit einer bestimmten Frequenz, die nicht die Eigenfrequenz sein muß, erzwungen wird. Dies hat den besonderen Vorteil, daß die Ausleseelektroden zur Messung der Schwingung des zweiten Schwingelements nicht die Funktion des Sensors

15 beeinträchtigen bzw. die Meßergebnisse verfälschen, selbst wenn sie sehr nahe an den Elektroden zur Anregung des ersten Schwingelements angeordnet sind und/oder eine freie Schwingung des ersten Schwingelements beeinflussen würden.

Durch Wahl einer geeigneten Elektrodenform der Anregungselektroden wird der Einfluß

20 der Ausleseelektroden zur Messung der Schwingung des zweiten Schwingelements weiter minimiert. Beispielsweise können die einzelnen Elektroden eines Paares von Anregungselektroden geteilt sein und durch die Elektronik separat angesteuert werden um den oben genannten Einfluß auszuschalten bzw. zu kompensieren.

25 Das Ausleseverfahren kann ebenfalls auf mehrere bekannte Arten realisiert sein und insbesondere z.B. kapazitiv oder auch optisch erfolgen. In diesem Fall ist der Drehratensensor mit kapazitäten oder optischen Elementen zur Auslesung der durch die Corioliskraft erzeugten Schwingung des zweiten Schwingelements versehen.

30 Im Betrieb sind kontinuierliche Selbsttest- und Selbstkalibrierungsfunktionen möglich.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

13

Nachfolgend wird der erfindungsgemäße Drehratensensor gemäß einer bevorzugten Ausführungsform beispielhaft anhand der Figuren beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Schnitt durch einen mikromechanischen Drehratensensor gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 2 eine Draufsicht auf das Mittelteil des Drehratensensors gemäß der bevorzugten Ausführungsform;
- Fig. 3 eine Draufsicht auf eine Elektrodenstruktur des Drehratensensors; und
- Fig. 4 einen Schnitt, der den Randbereich des Sensors mit der Verbindung zwischen Mittelteil und Bodenteil darstellt.
- Figur 1 zeigt einen mikromechanischen Drehratensensor 10, der aus einem Deckenteil 1, einem Mittelteil 2 und einem Bodenteil 3 gebildet ist. Diese Teile sind einzeln bearbeitete Wafer, die abschließend zusammengefügt wurden. Das Mittelteil 2 bildet eine schwingfähige Struktur mit einem ersten Schwingelement 4 und mit einem zweiten Schwingelement 5. Das erste Schwingelement 4 bildet eine Wippe und das zweite Schwingelement 5 bildet einen Rahmen, in dem die Wippe schwenkbar um eine erste Drehachse A gelagert ist. Der Rahmen bzw. das zweite Schwingelement 5 ist innerhalb des Sensors schwenkbar um eine zweite Drehachse B gelagert, die in Waferebene senkrecht zur ersten Drehachse A verläuft. Auf der Oberseite 2a und auf der Unterseite 2b des Mittelteils 2 bzw. des ersten Schwingelements 4 befindet sich jeweils ein zusätzliches Masseelement 6a, 6b. Die zusätzlichen Masseelemente 6a, 6b sind symmetrisch zum Mittelteil 2 bzw. zur Mittelteilenebene, die durch die Drehachsen A und B gebildet wird, angeordnet. In der dargestellten, bevorzugten Ausführungsform sind die zusätzlichen Masseelemente 6a und 6b symmetrisch zur Drehachse A und symmetrisch zur Drehachse B angeordnet, d.h. es liegt Symmetrie zu den beiden Drehachsen A und B und zum Schnittpunkt der beiden Drehachsen A und B vor.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

14

Elektroden 7 bilden zusammen mit einer nicht dargestellten Steuerung eine Anregungseinheit, um das erste Schwingelement 4 bzw. die Wippe in Schwingungen um die Drehachse A zu versetzen. Weitere Elektroden 8 bilden zusammen mit einer nicht dargestellten Elektronik eine Ausleseseinheit, um die Schwingungen des zweiten

5 Schwingelements 5 bzw. des Rahmens um die Drehachse B zu erfassen. Die Anregung und die Auslesung der Schwingungen erfolgt elektrostatisch bzw. kapazitiv. Hierzu hat das Mittelteil 2 ein elektrisches Potential.

Im Deckelteil 1 und im Bodenteil 3 sind Aussparungen 1a bzw. 3a vorgesehen, in die

10 jeweils ein Masseelement 6a bzw. 6b hineinragt. Dabei besteht zwischen den Masseelementen 6a, 6b und der jeweils angrenzenden Struktur des Deckelteils 1 bzw. Bodenteils 3 ein Spielraum bzw. Abstand, der ein hin- und herschwingen des mit der Wippe verbundenen Masseelements 6a, 6b innerhalb der Aussparung 1a bzw. 3a ermöglicht.

15 Zwischen dem Deckelteil 1 und dem Mittelteil 2 befindet sich ein Spaltabstand d und zwischen dem Mittelteil 2 und dem Bodenteil 3 befindet sich ebenfalls ein Spaltabstand e1, e2. Die Spaltabstände d, e1, e2 dienen zur elektrostatischen Anregung bzw. zur kapazitiven Auslesung der Aktorik- und Sensorikschwingung der schwingfähigen Struktur

20 des Mittelteils 2. Die Spaltabstände d, e1, e2 sind im Verhältnis zur lateralen Ausdehnung der Elektrodenstruktur bzw. zur lateralen Ausdehnung der Elektroden 8, die zur Auslesung der Schwingung des Rahmens bzw. zweiten Schwingelements 5 dienen, sehr klein. Das Verhältnis des Spaltabstands d und des Spaltabstands e2 zur lateralen Ausdehnung der Elektrode 8 ist ca. 1:100 oder kleiner. Dadurch ergeben sich sehr hohe Kapazitätswerte

25 für die Sensorik bzw. große elektrostatische Kräfte für die Aktorik.

Der Spaltabstand e1 zwischen dem Bodenteil 3 und dem ersten Schwingelement 4, der das Verkippen bzw. Schwingen des ersten Schwingelements 4 um die Drehachse A ermöglicht, ist größer als der Spaltabstand e2 zwischen dem Bodenteil 3 und dem zweiten

30 Schwingelement bzw. Rahmen 5, der das Verkippen um die Drehachse B ermöglicht. Dadurch wird eine große mechanische Amplitude bei der resonanten Anregung möglich,

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

15

während andererseits durch den geringen Spaltabstand bei der Auslesung und die damit verbundene große Kapazität ein hohes elektrisches Ausgangssignal erzielt wird.

- Das Deckelteil 1 weist an seinem Rand einen Vorsprung 11 auf, durch den es mit dem
 5 Rand 21 des Mittelteils fest verbunden ist. Durch den Vorsprung 11 bzw. den dadurch gebildeten, gegenüber dem zentralen Bereich des Deckelteils erhabenen Rand wird innerhalb des Sensors 10 ein Innenraum 9 gebildet, der den beiden Schwingelementen 4, 5 bzw. der schwingungsfähigen Struktur genügend Raum zum Ausführen der Anregungs- bzw. Ausleseschwingung bietet. Auch das Bodenteil 3 weist an seiner Oberfläche einen
 10 hervorstehenden Verbindungsbereich bzw. Bereich 31 auf, der zur Anbindung des Bodenteils 3 an das Mittelteil 2 dient und dadurch Raum für die Schwingungen bietet.

- Das Bodenteil 3, das ein Bodenwafer oder ein Teil eines Bodenwafers sein kann, hat eine größere laterale Ausdehnung als die übrigen Waferteile bzw. Wafer, die das Deckelteil 1
 15 und das Mittelteil 2 bilden. D. h., das Bodenteil 3 hat einen Randbereich, der sich über den Rand des Mittelteils 2 bzw. des Deckelteils 1 hinaus erstreckt. Auf der Oberfläche des Bodenteils 3 bzw. des Wafers im Randbereich sind Kontaktflächen 32 in Form von Anschlußpads vorgesehen, die zur Kontaktierung der Metallisierungen bzw. Elektroden 7, 8 im Innenraum 9 des Sensors dienen. Die Kontaktflächen 32 sind über Leiterbahnen 33 mit
 20 den Elektroden 7, 8 verbunden, wobei die Kontaktflächen 32, die Leiterbahnen 33 und die Elektroden 7, 8 in einer Ebene auf der Oberfläche des Bodenteils 3 bzw. unteren Wafers ausgebildet sind. Die Leiterbahnen 33 sind vergrabene Leiterbahnen, d.h. sie sind in dem Wafer integriert bzw. eingearbeitet. Dadurch erfolgt ein hermetischer bzw. vakuumdichter Verschluss des Innenraums 9.

- 25
 Figur 2 zeigt eine Draufsicht auf das Mittelteil 2, das Teil eines Wafers oder auch ein ganzer Wafer sein kann, des Drehratensensors gemäß der bevorzugten Ausführungsform. Das innere Schwingelement 4 bzw. die Wippe ist über zwei gegenüberliegende, schwingungsfähige bzw. torsionsfähige Aufhängungen 41 mit dem äußeren
 30 Schwingelement 5 bzw. Rahmen verbunden. Die schwingungsfähige Aufhängung 41 erlaubt ein Verkippen bzw. Schwingen der Wippe um die Achse A, die sich durch die beiden Aufhängungen 41 erstreckt. Der Rahmen bzw. das äußere Schwingelement 5 ist

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

16

durch schwingungsfähige bzw. torsionsfähige Aufhängungen 42 mit dem restlichen Teil des Wafers bzw. Mittelteils 2 verbunden, der eine Haltestruktur 21 bildet, die zwischen dem Deckelteil 1 und dem Bodenteil 3 des Wafers fixiert ist. Die schwingungsfähige Aufhängung 42 des Rahmens bzw. zweiten Schwingelements 5 an der Haltestruktur 21 erlaubt ein Kippen bzw. Schwingen des Rahmens um die Achse B die sich durch die beiden Aufhängungen 42 erstreckt und senkrecht zur Drehachse A des ersten Schwingelements 4 ausgerichtet ist.

Das obere zusätzliche Masseelement 6a ist symmetrisch im Zentrum der aus Wippe und Rahmen gebildeten schwingungsfähigen Struktur befestigt und dabei gleichzeitig im Zentrum der Wippe bzw. des ersten Schwingelements 4 angeordnet. Direkt unterhalb ist das zweite zusätzliche, identisch ausgebildete Masselement 6b angeordnet (s. Fig. 1).

Die Schwingelemente 4, 5 weisen Kanten 4a, 5a auf, die nicht rechtwinklig zueinander ausgerichtet sind, sondern einen Winkel α bilden, der größer ist als 90° . D.h., die schwingfähige Struktur, die aus den beiden Schwingelementen 4 und 5 besteht, hat eine nicht-rechtwinklige Geometrie, durch die eine Vergrößerung der Kapazitätsflächen bei gleichzeitig höherer Biegesteifigkeit, und damit höheren Eigenfrequenzen des Rahmens erzielt wird. Auch kann die Aufhängung 42 bzw. das Drehband des Rahmens stark verkürzt werden. Insgesamt kann das Eigenfrequenzspektrum der mechanischen Struktur durch die nicht-rechtwinklige Geometrie günstiger gestaltet werden. Die weiteren Vorteile der nichtrechtwinkligen Geometrie wurden oben bereits beschrieben.

Figur 3 zeigt eine Draufsicht auf eine auf dem Bodenteil 3 ausgebildete Metallisierung. Die Metallisierung bildet die zwei flächig ausgestaltete Elektroden 8, die zur kapazitiven Auslesung der Schwingung des Rahmens bzw. zweiten Schwingelements 5 dienen, die aufgrund der Corioliskraft bei einer Drehung des Sensors um eine senkrecht zu den Drehachsen der Schwingelemente 4 und 5 gerichtete sensitive Achse erzeugt wird. Die Elektroden 7 sind hier nicht dargestellt, jedoch ähnlich ausgestaltet.

Die gesamte Struktur des Mittelteilwafers bzw. Mittelteils 2 besitzt ein elektrisches Potential, das den Metallisierungen bzw. Elektroden 7, 8 auf dem Bodenteil 2

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

17

gegenüberliegt. Dadurch ist es nicht notwendig, an der schwingfähigen Struktur ebenfalls Metallisierungen anzubringen, die den Elektroden 7, 8 zur Anregung und zur Auslesung gegenüberliegen (s. Fig. 1).

- 5 Jede Elektrode 7, 8 ist vollständig von einer Ringelektrode 12 umgeben, die sowohl die Elektrode 7, 8, als auch die nach außen führende Leiterbahn 33 und die außenliegende Kontaktfläche 32 umschließt. Die Ringelektrode 12 ist dabei über eine eigene, außerhalb des Sensorinnenraums gelegene Kontaktfläche 34 separat kontaktierbar. Die Ringelektrode 12, die eine Leiterbahn bildet, reduziert das elektrische Übersprechen
10 zwischen den Elektroden 7, 8 für Sensorik und Aktorik.

- Figur 4 zeigt die Verbindung zwischen Mittelteil 2 und Bodenteil 3 im Randbereich des Sensors 10 in vergrößerter Darstellung. Dabei ist der Mittelteilwafer bzw. das Mittelteil 2 über einen ohmschen Druckkontakt 35 an ein Bond- bzw. Anschlußpad des Bodenwafers 3
15 angeschlossen, das in Form einer Kontaktfläche 36 auf dem Bodenteil 3 ausgebildet ist. Die gesamten Anschlußpads befinden sich auf einer Ebene und sind nebeneinanderliegend angeordnet. Dadurch können sowohl die Elektroden 7, 8 als auch der Mittelteilwafer 2 auf einfache Weise und mit deutlich reduziertem Aufwand elektrisch kontaktiert werden.

- 20 Der Mittelteilwafer 2 besteht in der bevorzugten Ausführungsform aus einkristlinem Silizium, während das Bodenteil 3 und das Deckenteil 2 z.B. aus alkalihaltigen Glaswafern, wie z.B. Borofloat- oder Pyrex-Glas, hergestellt sind. Mindestens einer der Wafer ist mit einer Elektrodenstruktur versehen. Selbstverständlich sind auch andere Materialien für die Sensorteile möglich, wobei sich die Materialwahl nach den jeweiligen Erfordernissen
25 richtet.

- Die Masseelemente 6a, 6b sind im vorliegenden Fall Stahlkugeln, die jeweils in einer Ausbuchtung auf der Ober- und Unterseite der Wippe bzw. des ersten Schwingelements 4 gelagert sind. Dabei liegen sich die Stahlkugeln genau gegenüber, so dass eine hohe
30 Geometrie gewährleistet ist. In einer besonderen Ausführungsform werden magnetische Stahlkugeln verwendet, die sich selbst gegenseitig ausrichten. Neben Stahlkugeln sind selbstverständlich auch andere Formen und Materialien zur Ausgestaltung der

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

18

Masseelemente 6a, 6b möglich, wobei die Sensorparameter durch geeignete Auswahl eingestellt werden können.

Neben einer elektrostatischen Anregungseinheit sind die verschiedensten Anregungsverfahren möglich, wie z.B. piezoelektrische, magnetostruktive, oder auch magnetische Anregungsverfahren. Auch das Ausleseverfahren kann auf andere bekannte Arten erfolgen, wobei neben kapazitiven Auslesungen auch optische Ausleseverfahren möglich sind.

10 Nachfolgend wird ein Beispiel für die Herstellung des Sensors 10 beschrieben.

Zur Herstellung des Sensors werden drei Wafer einzeln bearbeitet, die das Deckenteil 1, das Mittelteil 2 und das Bodenteil 3 bilden. Die Wafer für das Deckenteil 1 und für das Bodenteil 3 werden so strukturiert, dass in ihrem Zentrum Ausnehmungen für die Masseelemente 6a, 6b vorhanden sind, wobei sich genügend Spielraum zum Ausführen der Schwingungen bietet. Auch wird ein zentraler Bereich der jeweiligen Waferoberfläche gegenüber dem Randbereich abgesenkt, so dass sich in diesem Bereich des Deckel- und Bodenteils jeweils ein Spaltabstand zum Mittelteil 2 ergibt, der das Schwingen der schwingfähigen Struktur des Mittelteils ermöglicht.

20 Der Mittelteilwafer wird auf der Ober- und Unterseite bearbeitet, so dass die Symmetrie zur Mittelebene gewährleistet ist. Dabei wird die schwingungsfähige Struktur des Sensors, bestehend aus Rahmen und Wippe, aus einem vollen Wafer geätzt, wobei die Aufhängungen 41, 42 (siehe Figur 2) in einem Ätzschritt hergestellt werden.

25 Nun werden die Masseelemente 6a, 6b auf der Oberseite und der Unterseite des Wafers, der als Mittelteil 2 vorgesehen ist, befestigt, beispielsweise durch Kleben oder magnetisch.

Auf dem Wafer, der für das Bodenteil 3 vorgesehen ist, wird eine Metallisierungsstruktur mittels Dünnschichttechnologie aufgebracht, die die Elektroden bzw. Kondensatorflächen sowie die Zuleitungen und Anschlußpads bildet. Dabei wird die Metallisierung zur Passivierung mit einer dielektrischen Schicht bedeckt.

30

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

19

Nach der separaten Vorfertigung der drei Wafer bzw. Sensorteile werden diese
zusammengefügt und fest miteinander verbunden. Dabei werden geeignete Vorkehrungen
getroffen, dass sich im Innenraum 9 des Sensors ein Vakuum befindet.

5

Durch den symmetrischen Sensor werden Fehlerquellen, wie insbesondere eine
Temperaturdrift wirksam vermieden und es ergeben sich verbesserte Messergebnisse. Die
symmetrischen Zusatzmassen auf dem Mittelteil 2 ergeben eine deutlich höhere
Sensorauflösung. Der hochsymmetrische mechanische Aufbau des Sensors führt zu einer
hohen Langzeitstabilität bzw. geringen Offset-Drift. Das heißt, der Sensor arbeitet
langfristig stabil und liefert genauere Messergebnisse. Er ist mechanisch belastbar, ohne
dass bei derartigen Belastungen die Messergebnisse verfälscht werden.

15

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

20

Patentansprüche

1. Mikromechanischer Drehratensensor, mit
5 einem ersten Schwingelement (4), das schwenkbar um eine erste Achse (A) gelagert ist,
einem zweiten Schwingelement (5), das schwenkbar um eine zweite Achse (B) gelagert ist, die senkrecht zur ersten Achse (A) gerichtet ist,
einer Anregungseinheit (7), um das erste Schwingelement (6) in Schwingungen um
10 die erste Achse (A) zu versetzen, und
einer Ausleseeinheit (8) zum Erfassen von Schwingungen des zweiten Schwingelements (5) um die zweite Achse (B),
dadurch gekennzeichnet,
dass an dem ersten Schwingelement (4) mindestens zwei zusätzliche
15 Masseelemente (6a, 6b) befestigt sind, die symmetrisch zu einer Ebene ausgerichtet sind, die durch die erste und zweite Achse (A,B) definiert ist.
2. Mikromechanischer Drehratensensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass die zusätzlichen Masseelemente (6a, 6b) getrennt von dem ersten und
20 zweiten Schwingelement (4, 5) gefertigt sind, wobei Form, Größe und/oder Material der Masseelemente (6a, 6b) ausgewählt sind um Sensorparameter zu bestimmen und/oder wesentlich zu beeinflussen.
3. Mikromechanischer Drehratensensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
25 gekennzeichnet, dass die Masseelemente (6a, 6b) achsialsymmetrische Körper sind, die auf der Oberseite (2a) und der Unterseite (2b) des ersten Schwingelements (4) befestigt sind, wobei die Masseelemente bevorzugt Kugeln, Quader, Zylinder, Kegel, Pyramiden oder Prismen sind.
- 30 4. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Schwingelement (4) eine Wippe und das zweite Schwingelement (5) ein Rahmen ist, wobei die Wippe und der Rahmen eine

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

21

kardanische, schwingfähige Struktur bilden, die in einer Haltestruktur (21) befestigt ist.

5. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
5 dadurch gekennzeichnet, dass die zusätzlichen Masseelemente (6a, 6b) magnetisch sind.
6. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die zusätzlichen Masseelemente (6a, 6b) aus einem
10 Material gefertigt sind, das eine höhere Dichte als das Material des ersten und zweiten Schwingelements (4, 5) hat.
7. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass er aus mindestens drei zusammengefügt Wafern
15 hergestellt ist, die ein Bodenteil (3), ein Mittelteil (2) und ein Deckteil (1) bilden.
8. Mikromechanischer Drehratensensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
dass das Bodenteil (3) und/oder das Deckteil (1) aus alkalihaltigen Glaswafern
hergestellt sind, wobei mindestens einer der Wafer mit einer Elektrodenstruktur (7,
20 8) versehen ist.
9. Mikromechanischer Drehratensensor nach Anspruch 7 oder 8, dadurch
gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Schwingelement (4, 5) in dem
Mittelteil (2) ausgebildet sind, dessen Oberseite und Unterseite bearbeitet ist.
25
10. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass ein Spaltabstand (d, e1, e2) zwischen
aneinandergrenzenden Waferteilen oder Wafern, der eine Auslenkung des ersten
und/oder zweiten Schwingelements (4, 5) ermöglicht, klein gegenüber der
30 lateralen Ausdehnung von Anregungs- und/oder Ausleseelektroden (7, 8) ist, wobei
das Verhältnis zwischen Spaltabstand und lateraler Elektrodenausdehnung kleiner
als 1:10 ist, bevorzugt kleiner als 1:50, insbesondere bevorzugt kleiner als 1:100

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

22

oder 1:1000.

11. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Spaltabstand (e1) für eine Anregungsschwingung des ersten Schwingelements (4) größer ist als ein Spaltabstand (e2) für eine Ausleseschwingung des zweiten Schwingelements (5).
12. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass er aus einkristallinem Silizium hergestellt ist, wobei das erste und das zweite Schwingelement (4, 5) aus einem einzigen Wafer gefertigt sind.
13. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und/oder zweite Schwingelement (4, 5) nicht-rechtwinklig ausgebildet ist.
14. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und/oder zweite Schwingelement (4, 5) Kanten (4a, 5a) aufweist, die in einem Winkel von mehr als 90 Grad aneinandergrenzen.
15. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz einer Aktorikschwingung und die Frequenz der Sensorikschwingung die niedrigsten Eigenmoden des ersten und/oder zweiten Schwingelements (4, 5) sind.
16. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Flächenverhältnis zwischen dem zweiten Schwingelement (5) und dem ersten Schwingelement (4) größer ist als 5:1, bevorzugt größer ist als 10:1.

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

23

17. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Metallisierung zur Bildung einer Elektrode (7, 8), die mit einer dielektrischen Schicht bedeckt ist.
- 5 18. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein oder mehrere Elektroden (7, 8), die von einer geschlossenen Leiterbahn (12) umgeben ist.
- 10 19. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen ohmschen Druckkontakt (35) zum Anschluß eines Wafers, der ein Mittelteil (2) bildet, an einen weiteren Wafer, der ein Boden- oder Deckenteil (1, 3) bildet.
- 15 20. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Sensorinnenraum (9), der hermetisch verschlossen ist, wobei vergrabene Leiterbahnen (33) zur Kontaktierung von Elektroden (7, 8) im Sensorinnenraum (9) vorgesehen sind.
- 20 21. Mikromechanischer Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der gemeinsame Schwerpunkt der Masseelemente (6a, 6b) im Schnittpunkt der ersten Achse (A) und der zweiten Achse (B) liegen.
22. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Drehratensensors, gekennzeichnet durch die Schritte:
- 25 Bereitstellen von mindestens 3 Wafern (1, 2, 3);
Strukturieren der einzelnen Wafer (1, 2, 3), wobei in einem der Wafer (2) eine kardansche, schwingfähige Struktur (4, 5) ausgebildet wird;
Ausbilden einer Anregungseinheit (7) zum Anregen einer ersten Schwingung der Struktur;
- 30 Ausbilden einer Ausleseseinheit (8) zum Erfassen einer zweiten Schwingung der Struktur, die senkrecht zur ersten Schwingung erfolgt; und
Zusammenfügen der Wafer (1, 2, 3), wobei der Wafer (2) mit der schwingfähigen

WO 02/14787

PCT/EP01/09066

24

Struktur (4, 5) auf beiden Seiten mit einem weiteren Wafer (1, 3) verbunden wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß an der schwingfähigen Struktur (4, 5) zusätzliche Masseelemente (6a, 6b) symmetrisch zur Achse (A, B) der ersten und/oder zweiten Schwingung befestigt werden.
24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Wafer (2) mit der schwingfähigen Struktur (4, 5) auf seiner Ober- und Unterseite bearbeitet wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die schwingfähige Struktur (4, 5) aus einem einzigen, vollen Wafer (2) geätzt wird, wobei Aufhängungen (41, 42) der schwingfähigen Struktur (4, 5) in einem einzigen Ätzschritt hergestellt werden.

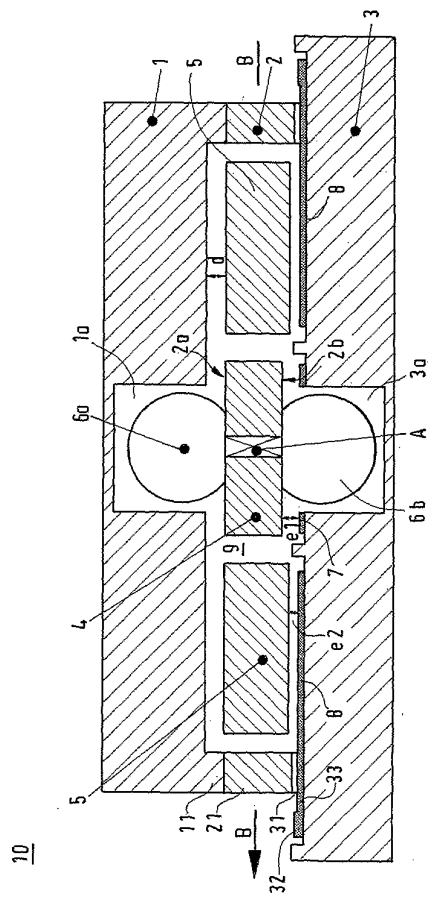
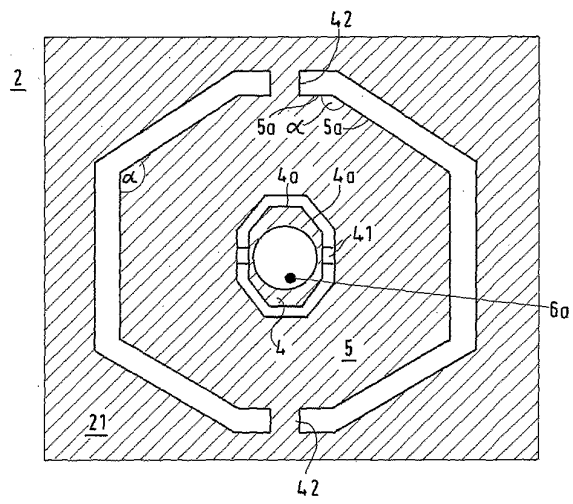


FIG.1

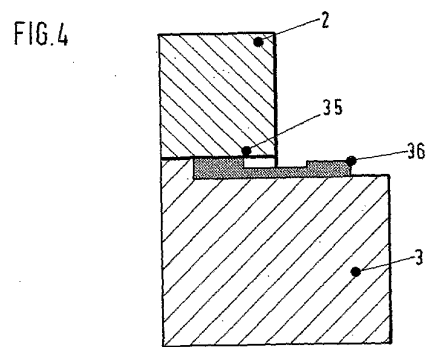
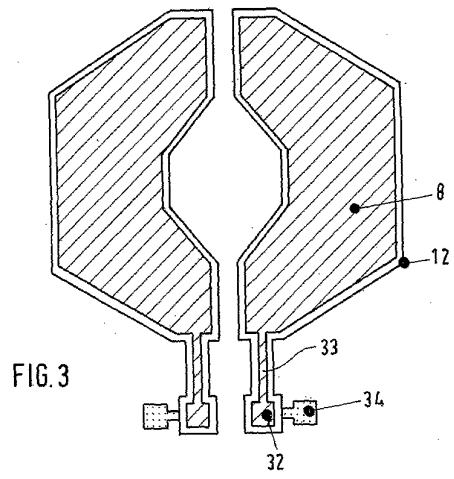
FIG.2



WO 02/14787

3/3

PCT/EP01/09066



【手続補正書】

【提出日】平成14年6月21日(2002.6.21)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項1】

第1の軸線(A)のまわりを回動可能に支持されている第1の振動要素(4)と、
第1の軸線(A)に対し垂直に指向している第2の軸線(B)のまわりを回動可能に支持されている第2の振動要素(5)と、
第1の振動要素(4)を第1の軸線(A)のまわりで振動させるための励起ユニット(7)と、
第2の軸線(B)のまわりでの第2の振動要素(5)の振動を検知するための読み取りユニット(8)と、
を備えたマイクロメカニカル回転速度センサにおいて、
第1の振動要素(4)に少なくとも2つの補助的な質量要素(6a, 6b)が固定され、これら質量要素(6a, 6b)が第1および第2の軸線(A, B)により定義される面に関し対称に指向していること、第1の振動要素(4)を励起振動させるための隙間間隔(e1)が第2の振動要素(5)を読み取り振動させるための隙間間隔(e2)よりも大きいことを特徴とするマイクロメカニカル回転速度センサ。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項11

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項11】

質量要素(6a, 6b)が金属から製造されていることを特徴とする、上記請求項のいずれか一つに記載のマイクロメカニカル回転速度センサ。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項22

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項22】

マイクロメカニカル回転速度センサの製造方法において、
少なくとも3つのウェーハ(1, 2, 3)を準備するステップと、
個々のウェーハ(1, 2, 3)を構造化し、これらウェーハのうち1つのウェーハ(2)にカルダン式振動構造部(4, 5)を形成させるステップと、
前記構造部の第1の振動を励起するための励起ユニット(7)を形成させるステップと、
第1の振動に対し垂直に行なわれる前記構造部の第2の振動を検知するための読み取りユニット(8)を形成させるステップと、
ウェーハ(1, 2, 3)を継ぎ合わせ、両面に振動構造部(4, 5)を備えたウェーハ(2)を他のウェーハ(1, 3)と結合させ、その際前記構造部(4, 5)に第1の振動を励起させるためのウェーハ(2, 3)間の隙間間隔(e1)が前記構造部(4, 5)の第2の振動を検知するための隙間間隔(e2)よりも大きいように設定するステップと、
を特徴とする製造方法。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/EP 01/09066
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 601C19/56		
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) IPC 7 601C 601P		
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, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 016 072 A (GREIFF PAUL) 14 May 1991 (1991-05-14) the whole document	1-25
Y	DE 35 09 948 A (DRAPER LAB CHARLES S) 26 September 1985 (1985-09-26) the whole document	1-25
Y	US 5 195 371 A (GREIFF PAUL) 23 March 1993 (1993-03-23) the whole document	1-25
Y	US 6 032 531 A (ROSHART TERRY V) 7 March 2000 (2000-03-07) the whole document	1-25
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 "I" 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 "B" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 21 December 2001		Date of mailing of the international search report 16/01/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5918 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2240, Tx: 31 051 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3010		Authorized officer Springer, O

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1999)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/EP 01/09066

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 203 208 A (BERNSTEIN JONATHAN J) 20 April 1993 (1993-04-20) the whole document	1-25

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/EP 01/09066

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5016072	A	14-05-1991	AT 154166 T CA 2057919 A1 DE 69126381 D1 DE 69126381 T2 EP 0472717 A1 JP 5502945 T WO 9114285 A1 US 5216490 A US 5060039 A US 5195371 A US 5111693 A	15-06-1997 15-09-1991 10-07-1997 18-09-1997 04-03-1992 20-05-1993 19-09-1991 01-06-1993 22-10-1991 23-03-1993 12-05-1992
DE 3509948	A	26-09-1985	US 4598585 A CA 1227059 A1 DE 3509948 A1 FR 2561389 A1 GB 2156523 A , B JP 1984788 C JP 7003337 B JP 60213814 A US 4699006 A	08-07-1986 22-09-1987 26-09-1985 20-09-1985 09-10-1985 25-10-1995 18-01-1995 26-10-1985 13-10-1987
US 5195371	A	23-03-1993	CA 2034663 A1 EP 0442280 A2 JP 5133976 A US 5473945 A US 5635739 A US 5126812 A US 5216490 A US 5060039 A US 5016072 A US 5111693 A	15-08-1991 21-08-1991 28-05-1993 12-12-1995 03-06-1997 30-06-1992 01-06-1993 22-10-1991 14-05-1991 12-05-1992
US 6032531	A	07-03-2000	NONE	
US 5203208	A	20-04-1993	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 01/09066A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01C19/56

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Forscherteiler Mindestprüfstoff (Klassifikationsystem und Klassifikationsymbole)
IPK 7 G01C G01P

Forscherteiler 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, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 5 016 072 A (GREIFF PAUL) 14. Mai 1991 (1991-05-14) das ganze Dokument	1-25
Y	DE 35 09 948 A (DRAPER LAB CHARLES S) 26. September 1985 (1985-09-26) das ganze Dokument	1-25
Y	US 5 195 371 A (GREIFF PAUL) 23. März 1993 (1993-03-23) das ganze Dokument	1-25
Y	US 6 032 531 A (ROSHART TERRY V) 7. März 2000 (2000-03-07) das ganze Dokument	1-25
	-/-	

☒ 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 zu vollstreckt erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen in Recherchebericht 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 Demonstration, 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 anzusehen ist.

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindungsfähiger Tätigkeit beruhend betrachtet werden.

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindungsfähiger 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.

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist.

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

21. Dezember 2001

Abschlußdatum des internationalen Recherchenberichts

16/01/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchebehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Palatinen 2
NL - 2000 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Reaktionsleiter

Springer, 0

Formblatt PCT/ISA210 (Beit. 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Abkürzungszeichen
PCT/EP 01/09066

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 5 203 208 A (BERNSTEIN JONATHAN J) 20. April 1993 (1993-04-20) das ganze Dokument -----	1-25

Formblatt PCTISA/210 (Fortsetzung von Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT				Internationales Aktenzeichen	
Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören				PCT/EP 01/09066	
Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
US 5016072	A	14-05-1991	AT	154166 T	15-06-1997
			CA	2057919 A1	15-09-1991
			DE	69126381 D1	10-07-1997
			DE	69126381 T2	18-09-1997
			EP	0472717 A1	04-03-1992
			JP	5502945 T	20-05-1993
			WO	9114285 A1	19-09-1991
			US	5216490 A	01-06-1993
			US	5060039 A	22-10-1991
			US	5195371 A	23-03-1993
US	5111693 A	12-05-1992			
DE 3509948	A	26-09-1985	US	4598585 A	08-07-1986
			CA	1227059 A1	22-09-1987
			DE	3509948 A1	26-09-1985
			FR	2561389 A1	20-09-1985
			GB	2156523 A , B	09-10-1985
			JP	1984788 C	25-10-1995
			JP	7003337 B	18-01-1995
			JP	60213814 A	26-10-1985
			US	4699006 A	13-10-1987
			US 5195371	A	23-03-1993
EP	0442280 A2	21-08-1991			
JP	5133976 A	28-05-1993			
US	5473945 A	12-12-1995			
US	5635739 A	03-06-1997			
US	5126812 A	30-06-1992			
US	5216490 A	01-06-1993			
US	5060039 A	22-10-1991			
US	5016072 A	14-05-1991			
US	5111693 A	12-05-1992			
US 6032531	A	07-03-2000	KEINE		
US 5203208	A	20-04-1993	KEINE		

Formblatt PCT/ISA210 (Antrag Patentfamilie) (Juli 1998)

フロントページの続き

- (72)発明者 バウアー, カリン
ドイツ連邦共和国 8 2 0 4 1 オベールハッヒング, ガウグラヘンシュトラッセ 5
- (72)発明者 グレイスネル, タンヨ
ドイツ連邦共和国 8 1 8 2 7 ミュンヘン, エーデルトラウトシュトラッセ 2 1
- (72)発明者 レントネル, コンラッド
ドイツ連邦共和国 8 5 3 7 5 ミントラッヒング, アイザーヴェック 7 ベー
- (72)発明者 ザッセン, シュテファン
ドイツ連邦共和国 8 0 4 6 9 ミュンヘン, バーデルシュトラッセ 4 9
- (72)発明者 シャルク, ヨゼフ
ドイツ連邦共和国 8 4 0 5 1 アルトハイム, アム アンゲル 1 9 アー
- (72)発明者 ボス, ラルフ
アメリカ合衆国 ミシガン州 4 8 2 3 2, ウェスト ブルームフィールド, ノーマンウッド 3
8 4 7
- F ターム(参考) 2F105 AA02 AA03 AA05 BB02 BB03 BB12 BB14 CC04 CD03 CD05
CD07