

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4139436号  
(P4139436)

(45) 発行日 平成20年8月27日(2008.8.27)

(24) 登録日 平成20年6月13日(2008.6.13)

(51) Int.Cl. F I  
**GO 1 P 21/00 (2006.01)** GO 1 P 21/00  
**GO 1 P 15/02 (2006.01)** GO 1 P 15/02

請求項の数 19 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平9-502718	(73) 特許権者	508020177
(86) (22) 出願日	平成8年6月13日(1996.6.13)		コミサリア・ア・レネルジ・アトミック
(65) 公表番号	特表平10-504401		フランス国、エフ-75015・パリ、リ
(43) 公表日	平成10年4月28日(1998.4.28)		ユ・ドウ・ラ・フェデラシオン、31-3
(86) 国際出願番号	PCT/FR1996/000904		3
(87) 国際公開番号	W01997/000451	(74) 代理人	100062007
(87) 国際公開日	平成9年1月3日(1997.1.3)		弁理士 川口 義雄
審査請求日	平成15年4月10日(2003.4.10)	(72) 発明者	ブラン, ジャン
(31) 優先権主張番号	95/07077		フランス国、エフ-38800・シヤンパ
(32) 優先日	平成7年6月14日(1995.6.14)		ニエ、ドメヌ・ドウ・ロシヤニヨン、1
(33) 優先権主張国	フランス(FR)	(72) 発明者	カブレ, ステファンヌ
			フランス国、エフ-38700・コラン、
			ルート・ドウ・シヤルトルーズ、133

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 重力補償型加速度計と同加速度計の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定すべき加速度によって引起される力を受けることのできるサイズモ質量体(1、10)を含み、サイズモ質量体(1、10)は前記力の影響下で曲がることのできる機械的連結手段(3、12)によって支持体(2、11)に連結され、サイズモ質量体に引起された力から加速度を決定することができる検出手段が設けられ、重力によってサイズモ質量体(1、10)にかかる力を補償するための補償手段が設けられた加速度計であって、機械的連結手段(3、12)は、この機械的連結手段(3、12)に重力によってサイズモ質量体(1、10)にかかる力に対抗するプレストレスを引起することにより、前記補償手段を構成する部分(4、5、13)を、少なくとも一つ含んでおり、重力によってサイズモ質量体(1、10)にかかる力を補償する手段は、機械的連結手段(3)上に付着された表面層(4、5)によって構成され、この表面層(4、5)は、サイズモ質量体(1)に対して重力によってかけられる力に対抗するように、機械的連結手段(3)の片面に形成されており、前記機械的連結手段(3)に対して応力をかけるために必要な特性を有する材料から成ることを特徴とする加速度計。

【請求項2】

応力をかける前記材料が、クロム、モリブデン、タングステン、これらの合金の一つ、またはPZT型セラミックの群中から選択されることを特徴とする請求項1に記載の加速度計。

【請求項3】

表面層が、サイズモ質量体（31）から前記支持体（32）に向かって延びる互いに平行な線形状の複数の被覆（34）によって構成されることを特徴とする請求項1または2に記載の加速度計。

【請求項4】

表面層が、応力に対して固有の異方性を有するものであり、プレストレスが作用すべき方向の応力を他の方向の応力よりも強めるように、配置されていることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の加速度計。

【請求項5】

表面層（4、5）が、サイズモ質量体から前記支持体に向かって延びる少なくとも一つのスリットによって切り込まれていることを特徴とする請求項1または2に記載の加速度計

10

【請求項6】

測定すべき加速度によって引起される力を受けることのできるサイズモ質量体（1、10）を含み、サイズモ質量体（1、10）は前記力の影響下で曲がることのできる機械的連結手段（3、12）によって支持体（2、11）に連結され、サイズモ質量体に引起された力から加速度を決定することができる検出手段が設けられ、重力によってサイズモ質量体（1、10）にかかる力を補償するための補償手段が設けられた加速度計であって、機械的連結手段（3、12）は、この機械的連結手段（3、12）に重力によってサイズモ質量体（1、10）にかかる力に対抗するプレストレスを引起することにより、前記補償手段を構成する部分（4、5、13）を、少なくとも一つ含んでおり、重力によってサイ

20

【請求項7】

二つの表面層（4、5）が、逆の符号を有する応力を与えるように、異なる技術によって付着されたモリブデンの薄層で構成されることを特徴とする請求項6に記載の加速度計。

【請求項8】

機械的連結手段（3、12）が少なくとも一つのビームを有し、このビームの形状は、重力が作用する方向に沿って見た場合、支持体（2、11）に固定された底辺とサイズモ質量体（1、10）に固定された頂点とを有する三角形の形状であることを特徴とする請求項1から7のいずれか一項に記載の加速度計。

30

【請求項9】

測定すべき加速度によって引起される力を受けることのできるサイズモ質量体（1、10）を含み、サイズモ質量体（1、10）は前記力の影響下で曲がることのできる機械的連結手段（3、12）によって支持体（2、11）に連結され、サイズモ質量体に引起された力から加速度を決定することができる検出手段が設けられ、重力によってサイズモ質量体（1、10）にかかる力を補償するための補償手段が設けられた加速度計であって、機械的連結手段（3、12）は、この機械的連結手段（3、12）に重力によってサイズモ質量体（1、10）にかかる力に対抗するプレストレスを引起することにより、前記補償手段を構成する部分（4、5、13）を、少なくとも一つ含んでおり、重力によってサイ

40

【請求項10】

前記表面の改質が、機械的連結手段（3、12）を構成する材料の表面ドーピングから成ることを特徴とする請求項9に記載の加速度計。

【請求項11】

50

機械的連結手段(3、12)が単結晶シリコンでできており、機械的連結手段の面の一つが、リン、ホウ素、キセノン、チタン、ヒ素、及びアルゴンから成る群中から選ばれたドーパントによってドーピングされていることを特徴とする請求項10に記載の加速度計。

【請求項12】

表面ドーピングが、機械的連結手段(3)の対向する二つの面に行われ、これら二つの面の各々が異なるドーパントによってドーピングされ、ドーパントの一方は引張り応力を引起し、他方は圧縮応力を引起し、結果として機械的連結手段(3)の厚み中に応力勾配を引起し、この応力勾配が、重力によってサイズモ質量体にかかる力に対抗することを特徴とする請求項10に記載の加速度計。

【請求項13】

機械的連結手段(3)がケイ素でできており、機械的連結手段(3)の面の一方はホウ素によってドーピングされ、他方はアルゴンによってドーピングされていることを特徴とする請求項12に記載の加速度計。

【請求項14】

機械的連結手段(3、12)が少なくとも一つのビームを含むことを特徴とする請求項1から13のいずれか一項に記載の加速度計。

【請求項15】

サイズモ質量体(10)が、サイズモ質量体(10)の両側に配置された少なくとも一組の二本のビーム(12)によって支持されることを特徴とする請求項14に記載の加速度計。

【請求項16】

サイズモ質量体(21、22)が二本ずつ対向する四本の上部ビームと二本ずつ対向する四本の下部ビームによって支持されることを特徴とする請求項15に記載の加速度計。

【請求項17】

サイズモ質量体(1、10)、機械的連結手段(3、12)、及び支持体(2、11)が、一体形の組立体を構成することを特徴とする請求項1から16のいずれか一項に記載の加速度計。

【請求項18】

測定すべき加速度によってサイズモ質量体(1、10)に引起された力の影響の下で曲ることができる機械的連結手段(3、12)によって支持体(2、11)に連結されたサイズモ質量体(1、10)を含み、また重力によってサイズモ質量体(1、10)にかかる力を補償するための補償手段が設けられている加速度計の製造方法であって、サイズモ質量体(41)と支持体を画定するために、基板(40)の主要面の一つ、すなわち第一面をマスクするステップと、

第一面から、反対の主要面、すなわち第二面(43)の方向にエッチングの底部と第二面(43)との間に薄膜(42)が残るまで基板(40)をエッチングして、エッチングによりサイズモ質量体(41)と支持体を画定するステップと、

支持体、サイズモ質量体(41)、及び機械的連結手段をマスクするために、基板(40)の第二面(43)をマスクするステップと、

薄膜(42)のマスクされていない部分を開口させるために、基板(40)を第二面からエッチングするステップと、

重力によってサイズモ質量体(41)にかかる力に対抗するプレストレスを引起し、前記補償手段を構成するために、機械的連結手段の少なくとも一部分を表面処理するステップと

を含んでおり、

前記表面処理が、応力を発生させる材料を付着させることから成ることを特徴とする加速度計の製造方法。

【請求項19】

測定すべき加速度によってサイズモ質量体(1、10)に引起された力の影響の下で曲ることができる機械的連結手段(3、12)によって支持体(2、11)に連結されたサ

10

20

30

40

50

イズモ質量体(1、10)を含み、また重力によってサイズモ質量体(1、10)にかかる力を補償するための補償手段が設けられている加速度計の製造方法であって、  
サイズモ質量体(41)と支持体を画定するために、基板(40)の主要面の一つ、すなわち第一面をマスクするステップと、

第一面から、反対の主要面、すなわち第二面(43)の方向にエッチングの底部と第二面(43)との間に薄膜(42)が残るまで基板(40)をエッチングして、エッチングによりサイズモ質量体(41)と支持体を画定するステップと、

支持体、サイズモ質量体(41)、及び機械的連結手段をマスクするために、基板(40)の第二面(43)をマスクするステップと、

薄膜(42)のマスクされていない部分を開口させるために、基板(40)を第二面からエッチングするステップと、

重力によってサイズモ質量体(41)にかかる力に対抗するプレストレスを引起し、前記補償手段を構成するために、機械的連結手段の少なくとも一部分を表面処理するステップと

を含んでおり、

前記表面処理がドーピングから成ることを特徴とする加速度計の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、重力補償型加速度計に関する。加速度計のサイズモ質量体(マス)に対する重力の影響を補償することによって、加速度の変化に対する加速度計の感度を向上することができる。

【0002】

本発明は特に小型の装置に適用される。この性質が、この加速度計を機械技術、超小型機械技術、または超小型電子技術(例えばマイクロマシニング)による製造に適したものにしている。

【0003】

本発明による加速度計の主な適用分野は、重力を受ける環境の動きまたは挙動の研究(例えば地震学)にある。

【0004】

したがって本発明は、従来の技術による単体型加速度計ではなし得なかった、重力補償単体型加速度計の設計を可能にするものである。従来の技術によるこの種の加速度計は、例えばM.「Development of micromachined silicon accelerometer(超小型機械加工されたシリコン加速度計の開発)」、Sumitomo Electric Technical Review, No. 38号, 1994年6月, pp. 72 - 77、及びMichael E. Hoenkの論文「Small inertial measurements units - sources of error and limitations on accuracy(小型慣性測定装置 - エラー源と精度の限界)」、S P I E, Vol. 2220, pp. 15 - 26に記載されている。

【背景技術】

【0005】

加速度を測定するために使用される最も普遍的な方法は、加速度自体を直接に測定するのではなく、問題とする加速度の影響により質量Mにかかる力Fを測定することから成る。運動の基本法則 $F = M \cdot a$ によれば、Mの値がわかっている場合には、Fを測定して加速度の値を得ることができる。

【0006】

したがって、最も普遍的な型の加速度センサは、一般に一つまたは複数のばねによって支持されている慣性質量すなわちサイズモ質量体から構成される。この質量は加速度の変化を受けると、変位してばねが変形する。加速度によって生じる力が無くなると、すぐにシステムは最初の位置に戻る。

【0007】

10

20

30

40

50

静止状態では、水平加速度センサはいかなる妨害力にも感応しない。これに対して、垂直受感軸加速時計は重力による力と同等の最小力、 $F = M \cdot g$ を受ける。ただし  $g$  は重力定数である。

【 0 0 0 8 】

この重力による最小力は、非常に小さな垂直加速度 ( $10^{-6} G$  以下) を測定しようとする場合には不都合である。したがってこの場合には、重力による力を、重力とは反対の方向に向けた力によって補償することが重要である。今日、重力を補償する方法は下記の二つに類別される。すなわち、

- 電気エネルギー源を使用する方法。電磁界または静電界でサイズモ質量体を懸架状態に維持する。この方法は複雑なサーボシステムを必要とする。
- ばねの復元力を使用する方法。予め変形されたばねによって質量を懸架された状態で平衡を保つ。

10

【 0 0 0 9 】

また、静電力または電磁力とばねの復元力を同時に使用する、ハイブリッドシステムも存在する。このようなシステムは、例えば Shi Jung Chen と Kuan Chen の論文「The effects of spring and magnetic distortions on electromagnetic geophones (電磁ジオフォンに対するばねと磁気ひずみの影響)」(J. Phys. E: Sci. Instrum. pp. 21 (1988), pp. 943 - 947) に記載されている。

【 0 0 1 0 】

これらの技術は別の不都合がある。

20

【 0 0 1 1 】

静電装置または電磁装置の場合には、電子サーボシステムの存在は、所望の感度とは両立しない妨害ノイズを発生させる可能性がある。その上、単なる静電補償ではシステムの不安定性を招き、これはサーボ制御を困難にする。

【 0 0 1 2 】

サイズモ質量体に対する重力の影響をばねによって補償する垂直受感軸センサは、現在様々な機械部品を組み合わせられて作られている。このようなセンサは、例えば E. Wielandt と G. Streckeisen の論文「The leaf spring seismometer: design and performance (板ばね式地震計の設計と性能)」(Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 72, No. 6, pp. 2349 - 2367, 1982年12月) に記載されている。この形式の装置は、その構造上非常に高い  $Q$  因子を持たない。この構造パラメータは、下記の関係式による装置のブラウンノイズの密度  $S$  に関係する。

30

【 数 1 】

$$S = \frac{4 k_b T \omega_\gamma}{\sqrt{MQ \left[ (\omega^2 - \omega_\gamma^2)^2 + \frac{\omega^2 \omega_\gamma^2}{Q^2} \right]}}$$

ただし、 $\omega$  は脈動、

$\omega_\gamma$  は共振脈動、

$k_b$  はボルツマン定数、

40

$T$  は温度、

$M$  はサイズモ質量体である。

【 0 0 1 3 】

この関係式についてさらに詳しくは、Hoenk の前掲論文を参照されたい。この関係式は、 $S$  が  $Q$  及び  $M$  に反比例することを示す。

【 0 0 1 4 】

ブラウンノイズを測定の妨害とならないレベルに保持するために、現在の装置は大きな質量  $M$  を持っている。しかしながら、この解決法では組立品の小型化が制限される。したがって、最も小型の高性能装置 (例えば、 $1 G$  以下の数ナノ  $G$  の変化を検出できるもの) の重さは数キログラムであり、容積は数  $10 \text{ cm}^3$  である。

50

## 【 0 0 1 5 】

結局、現在の垂直軸加速度計は、感度が低いかまたは重くてかさばるものである。高性能装置の小型化には、サイズモ質量体 Mを減らすこと、したがってQの増加が要求される。これは、例えば単結晶シリコンのように高いQを有する材料のセンサの組立品（ばねによる重力補償の場合にはサイズモ質量体とばね）を使用することによって得ることができる。しかしながら、サイズモ質量体に固定されたばねを含むコンパクトな装置の製造には、技術的な困難がある。実際に、内部摩擦が大きくてQに有害な減衰現象を引き起こす領域を作り出すことなく、ねじなどの機械的手段または接着剤によって、ばねやサイズモ質量体などの小さな機械部品を固定することは困難である。さらに、ばねには高い柔軟性を保持させることが必要で、この柔軟性はセンサの感度に影響するものである。

10

## 【 発明の開示 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 1 6 】

本発明が提案する重力補償技法は、ばねによって支えられたサイズモ質量体を有するセンサ群に属する。この解決法には、他の装置に必要なサーボシステムによって発生する妨害ノイズを減らすという利点がある。この補償技法は、サイズモ質量体を支える構成部分（例えばビーム）の表面にプレストレスを与えることによって形成される板ばねの原理に基づく。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 1 7 】

したがって本発明は、測定すべき加速度によって引起される力を受けることのできるサイズモ質量体を含み、サイズモ質量体は前記力の影響下で曲がることのできる機械的連結手段によって支持体に連結され、サイズモ質量体に引起された力から加速度を決定することができる検出手段が設けられ、重力によってサイズモ質量体にかかる力を補償するための補償手段が設けられる加速度計であって、機械的連結手段は、この機械的連結手段中に重力によってサイズモ質量体にかかる力に対抗するプレストレスを引起すことにより、前記補償手段を構成する少なくとも一つの部分を含むことを特徴とする、加速度計を対象とする。

20

## 【 0 0 1 8 】

重力によってサイズモ質量体にかかる力を補償する手段は、機械的連結手段上に付着された表面層によって構成することができ、この表面層は、サイズモ質量体に対して重力によってかけられる力に対抗するように、機械的連結手段の片面に形成されており、前記機械的連結手段に対して応力をかけるために必要な特性を有する材料から成っている。

30

## 【 0 0 1 9 】

この場合、前記応力をかける材料は、クロム、モリブデン、タンゲステン、これらの合金の一つ、またはP Z T型セラミックからなる群中から選ぶことができる。

## 【 0 0 2 0 】

重力によってサイズモ質量体にかかる力を補償する手段は、機械的連結手段が備えている二つの表面層によって構成することができ、これらの表面層は機械的連結手段の対向する二つの面上に形成され、表面層の一方は引張り応力を引起す材料でできており、他方は圧縮応力を引起し、これらの二つの表面層の組合せが、機械的連結手段の厚み中に応力勾配を引起し、この応力勾配が重力によってサイズモ質量体にかかる力に対抗する。

40

## 【 0 0 2 1 】

この場合、二つの表面層は、逆の符号を有する応力を与えるように、異なる技術によって付着されたモリブデンの薄層で構成することができる。

## 【 0 0 2 2 】

他の一変形実施例によれば、重力によってサイズモ質量体にかかる力を補償する手段は、機械的連結手段中に前記プレストレスを引起す、機械的連結手段の表面の改質によって構成することができる。

## 【 0 0 2 3 】

50

この表面の改質は、機械的連結手段を構成する材料の表面をドーブすることによるのが有利である。

【0024】

この場合、機械的連結手段は単結晶シリコンでできており、機械的連結手段の面の一方を、リン、ホウ素、キセノン、チタン、ヒ素、及びアルゴンから成る群中から選ばれたドーピング剤によってドーブすることができる。

【0025】

機械的連結手段の対向する二つの面に表面ドーピングを行うことができ、これらの面の各々は異なったドーピング剤によってドーブされ、これらのドーピング剤の一方は引張り応力を引起し、他方は圧縮応力を引起し、これらの組合せの結果、機械的連結手段の厚み中に、重力によってサイズモ質量体にかかる力に対抗する応力勾配を引起すことになる。

10

【0026】

機械的連結手段がシリコンでできている場合には、機械的連結手段の面の一方をホウ素によってドーブし、他方をアルゴンによってドーブすることができる。

【0027】

機械的連結手段は、一つまたは複数のビームによって構成することができる。

【0028】

このような設計によって、サイズモ質量体、機械的連結手段、及び単体組立品としての支持体を実現することができる。こうして、周知の技術による単体形式の加速度計とは異なり、本発明によって単体形式の重力補償加速度計を得ることが可能になる。

20

【0029】

したがって本発明はまた、測定すべき加速度によってサイズモ質量体中に引起された力の影響の下で曲がることのできる機械的連結手段によって支持体に連結されたサイズモ質量体を含み、重力によってサイズモ質量体にかかる力を補償するための補償手段が設けられている加速度計の製造方法をも対象としており、この方法は、

- サイズモ質量体と支持体を画定するために、基板の主要面の一つ、すなわち第一面をマスクするステップ、
- 第一面から、反対の主要面すなわち第二面の方向にエッチングの底部と第二面の間に薄膜が残るまで基板をエッチングして、エッチングによりサイズモ質量体と支持体を画定するステップ、
- 支持体、サイズモ質量体、及び機械的連結手段をマスクするために、基板の第二面をマスクするステップ、
- 薄膜のマスクされていない部分を開口させるために、基板を第二面からエッチングするステップ、及び
- 重力によってサイズモ質量体にかかる力に対抗するプレストレスを引起し、前記補償手段を構成するために、機械的連結手段の少なくとも一部分を表面処理するステップを含むことを特徴とする。

30

【0030】

添付の図面を参照して非限定的な例として示す以下の説明によって、本発明がよりよく記述され、本発明の他の利点と特徴がさらに明らかになる。

40

【0031】

次に、サイズモ質量体を含む加速度計について説明する。このサイズモ質量体は、これを支持体に機械的に連結する要素から区別され、この連結要素は一つまたは複数のビームによって構成することができる。このことは本発明を限定するものではなく、本発明は、サイズモ質量体がビームと区別されていない、すなわちビームと一体となっている場合にも適用される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

図1は、本発明の原理を垂直受感軸加速度計について概略的に示した図である。この図には、一本のビーム3によって支持体2に連結された質量Mを有するサイズモ質量体1が示

50

されている。したがって、サイズモ質量体 1 は支持体 2 に対して不安定に置かれている。ビーム 3 の質量を無視すると、サイズモ質量体 1 の重心は、加速度  $g$  に従って サイズモ質量体 にかかる力  $F$  の作用を受ける。

【 0 0 3 3 】

サイズモ質量体 1 に対する重力の影響を補償するために、ビーム 3 の上部表面 4 を、プレストレスを引起するように処理する。このプレストレスの結果、サイズモ質量体 に重力によって引起される力を補償する力がこの サイズモ質量体 にかかるようになる。

【 0 0 3 4 】

ビームのこの表面応力付与は種々の方法で得ることができる。これは、ビームの表面に薄膜を付着するか、または応力効果を生成させるために十分にビームの表面を改質することによって得ることができる。こうして処理されると、ビームは曲がる傾向を有するようになり、重力による力に対抗する力をかける。応力付与の条件は、図 1 の曲線矢印で示すように、ビームの端部が上向きの補償力をかけるようにしなければならない。応力が十分に強い場合には、この抵抗力は重力による力と平衡するのに十分である。

【 0 0 3 5 】

ビームの上に層を付着する場合には、使用できる付着材料は、金属またはその合金中から、あるいは例えば P Z T と呼ばれ化学式  $P b ( Z r_x T i_{1-x} ) O_3$  で示されるセラミックのようなある種の誘電材料など、応力を出すことが知られる材料中から選ぶことができる。クロム、モリブデン、タングステン、またはこれらの合金の一つを使用することが好ましい。

【 0 0 3 6 】

ビームの改質は、ビーム自体を構成する材料の表面域を改質するために適当な方法を使用することを意味する。この方法は、ビームの表面をわずかな厚さでドーピングすることでもよい。この場合には、ビームのドーピング部分とドーピングしない部分との間でバイメタル効果が得られるように、ビームを構成する材料に応じてドーピング剤を選択するのが有利である。ビームが単結晶シリコンでできている場合には、次の元素、すなわちリン、ホウ素、キセノン、チタン、ヒ素、アルゴン中から選ばれたドーピング剤を使用することができる。

【 0 0 3 7 】

したがって、本発明によって提案される解決法は、別の要素で作られた機械的連結手段を利用することなしに、小さな寸法にすることのできる組立品を形成する、サイズモ質量体 に連結されたばねの設計が可能である。

【 0 0 3 8 】

図 1 は、最も簡単なバージョン、すなわちビームを一つだけ含む加速度計を示す。しかし本発明は多くのビームを有する加速度計にも適用される。

【 0 0 3 9 】

本発明は、(並進運動及び重心の周りの回転運動における) サイズモ質量体 の自由度を垂直移動に制限するために、二、四、または八本のビームを有する加速度計に適用することもできる。したがって、これらのビームは場合に応じて二本ずつまたは四本ずつに対向して配置される。

【 0 0 4 0 】

図 2 は、この形式の加速度計を示す。サイズモ質量体 1 0 は支持体 1 1 に連結されており、支持体 1 1 は、図を単純化するために二本ずつ対向して配置された四本のビーム 1 2 によって サイズモ質量体 のレベルで平坦になっている。重力によって生じ サイズモ質量体 1 0 にその作用をかける力を補償するために、四本のビーム 1 2 並びに サイズモ質量体 1 0 を被覆する適当な表面層 1 3 が付着された。

【 0 0 4 1 】

図 3 は、図 2 と同じ図示様式で、八本のビームを有する加速度計を示す。この加速度計は、各々四本のビーム(すなわち各々が図 2 に示された形式のビーム)を含む二つの構造 2 1、2 2 の接着によって得ることができる。この接着は、例えば O . Zucker、W . Langhe

10

20

30

40

50

inrich、M. kulozik及びH. Guebelの論文「Application of oxygen plasma processing to silicon direct bonding (シリコン直接接着への酸素プラズマ法の適用)」(La revue Sensors and Actuators A. 36, 1993, pp. 227 - 231)に記載の、周知の接着法または固着法によって行うことができる。表面層は重力を補償するためにその作用をかけなければならないので、これらの表面層23、24は、加速度計が組み立てられた後にビームの最上部になる表面に取り付けられる。

【0042】

ビームの表面に付着された薄層によってかけられる平面応力は、第一変形の方に垂直に、ビームの横断変形をも引起す。その結果生ずる輪郭は、ビームの慣性モーメントを、したがってセンサの感度に影響するシステムの剛性を際立たせる。この現象が過度に妨害になると考えられる場合には、多くの方法で矯正することができる。

10

【0043】

第一の解決法は、本発明による加速度計の部分上面図である図4に示すような、ビームの上に断続的な層を付着することから成る。サイズモ質量体31はビーム33によって支持体32に連結されていることを確認されたい。ビーム33の上面は、連続層によってではなく、サイズモ質量体と支持体32との間に配向された平行な線34によって被覆されている。この形状では、付着された薄層は線に垂直に作用する応力から構成部分を部分的に緩和しようとする。この点について詳しくは、L. Maniguet、M. Ignat、M. Dupeux、J. J. Bacmann、及びP. Normandonの論文「Analyse par diffraction des rayons X, de l' evolution des contraintes residuelles associee a la gravure de lignes dans un depot mince de tungstene CVD sur substrat de Si (Si基板上のCVDタングステン薄層にエッチングされた線に伴う残留応力発生のX線回折による解析)」、La Revue de Metallurgie - CIT/Science et Genie des Materiaux, 1993年9月、pp. 1109を参照されたい。

20

【0044】

第二の解決法は、最大応力を最も好ましい方向に、すなわちサイズモ質量体と支持体との間に向けるために、いくつかの薄い金属膜における応力の固有異方性を利用することから成る。この応力固有異方性現象は、特にP. Gergaud及びJ. J. Bacmannの論文「Internal stress tensor determination in molybdenum and molybdenum-carbon thin films deposited by D.C. magnetron sputtering (直流マグネトロンスパッタリングによって蒸着されたモリブデン及びモリブデン炭素の薄膜における内部応力テンソルの決定)」、La revue Materials Science Forum, Vol. 133 - 136, 1993年, pp. 873 - 878に記載されている。

30

【0045】

これらの二つの解決法を同時に実施することによって、これらの現象を合併することができ、またある場合には横断応力を除去することができる。

【0046】

第3の解決法は、ビーム中に、サイズモ質量体から支持体に向かう方向を有する1本または複数本の縦スリットを設けることから成る。重力補償手段がビームの上に付着された表面層によって構成されている場合には、この層は、図4に示すものに似たパターンで好ましくは厚み全体にわたるスリットである。

40

【0047】

表面応力は、付着によって、またはビームの厚み中に応力勾配を作り出す処理によって行使させることができる。薄膜の使用によって、二層システム、すなわち図1を参照すると、一つの薄膜4と一つの薄膜5とがそれぞれビームの対向する各面に付着されたものの設計が可能になる。上部薄膜は引張り応力を加え、また下部薄膜は圧縮応力を加える。加工条件に従って逆符号の応力を示す薄膜用材料(例えばモリブデン)もある。D. W. Hoffman及びJ. A. Thorntonの論文「Internal stresses in sputtered chromium (スパッタリングによって付着されたクロムにおける内部応力)」、Thin Solid Films, 40 (1997), pp. 355 - 363は、クロムの場合におけるこの現象を記載している。

50

## 【 0 0 4 8 】

さらに、超小型電子技術の分野では、注入される元素の性質と注入条件に応じて圧縮応力または引張り応力を得ることが可能な、ドーピング技法がある。これは、R . Fabbri、M . Servidori、及びA . Zaniによる論文「Parallel stress and perpendicular strain depth distribution in [001] silicon amorphized by ion implantation (イオン注入によって無定形化された [001] ケイ素における平行応力と垂直応力の深さの分布)」、La revue J . Appl . Phys . 66 ( 10 ) , 1989年11月15日 , pp . 4715 - 4718で論じられている。例えば、ホウ素によるドーピングはケイ素中に引張り応力を発生させるが、アルゴンによるドーピングは同じ元素中に圧縮応力を発生させる。

## 【 0 0 4 9 】

上部薄層を形成するために使用される（そして引張り力を加える）材料が、下部薄層を形成するために使用され（そして圧縮力を加える）材料と同じ場合には、これらの薄層各々の熱膨脹率は非常に近いどころか同一であり、このためシステムは温度に感応しない。薄層をビームの対向する両面に付着する場合には、モリブデンを使用することが好ましい。ビームを構成する材料（例えばケイ素）をドーピングすることによって薄層を作る場合には、各面のドーピング剤が異なっても、ドーピング剤を受ける基板材料が同じである以上、各層の熱膨脹率はほとんど変わらない。

## 【 0 0 5 0 】

ここで、本発明による加速度計の一実施例を述べることにする。選んだのは、超小型電子技術を利用した、図 2 に示す形式の四ビーム式加速度計の実施例である。このセンサは < 1 0 0 > 配向ケイ素によって作られている。化学洗浄をした後に、ケイ素を、窒化ケイ素  $Si_3N_4$  の層でもよいマスクで覆う。通常の写真製版法を用いて、サイズモ質量体を画定するゾーンの開口部をマスク中に作成する。それからケイ素の異方性エッチングを、例えば苛性カリ KOH 浴で行う（例えば、ウエダ等の前掲論文を参照のこと）。エッチング時間は、サイズモ質量体の周りに薄いケイ素の膜ができるのに十分な長さにする。

## 【 0 0 5 1 】

図 5 は、製造方法のこの段階を終わって得られた結果を示す。この図では、出発基板 4 0 が断面で示されている。この断面はサイズモ質量体 4 1 を通り、サイズモ質量体 4 1 の周りに残る膜 4 2 の厚さの見当を示す。

## 【 0 0 5 2 】

次いで、膜の側に位置する基板 4 0 の面 4 3 を、酸化ケイ素  $SiO_2$  の層で覆う。上述と同様に、ビームの側部とサイズモ質量体の周囲を画定するように、この被覆を開く。次に、三塩化ホウ素  $BCl_3$  と塩素  $Cl_2$  の混合気体中における物理的エッチング技法（プラズマエッチング）によって、マスクされていない膜のケイ素を除去することができる。この作業の後、サイズモ質量体は構造から解放され、ビームのみによって支持される。残りの酸化ケイ素の層は、トリフルオロメタン  $CHF_3$  と酸素  $O_2$  の混合気体中でプラズマエッチングによって除去される。

## 【 0 0 5 3 】

次いで、マグネトロン陰極スパッタリングによって薄板上に応力薄膜を付着する。（モリブデン製の）金属膜を形成するためのパラメータを調節して、材料中に引張り応力を生成する。

## 【 0 0 5 4 】

こうして、超小型電子技術で使用される超小型加工技術により、この形式の構造をシリコンまたは石英で製造することができる。この製造方式では、Q が高い単体シリコン組立品（すなわち、センサのすべての部分が固体基板中で機械加工される組立品）の製造が可能である。このため、より小さな質量を、したがってよりコンパクトな構造を設計することができる。

## 【 0 0 5 5 】

ビームがバイメタル型である場合には、重力と平衡するための応力は、ビームの形状に大きく影響される。本発明者は、（ビームを重力の方向で見た場合の）矩形のバイメタル片

10

20

30

40

50

は、三角形の底辺が支持体中に埋め込まれ頂点がサイズモ質量体に固定されている三角形状よりも、重力を補償するためには十分でないことを確認した。

【0056】

本発明による加速度計の製造は簡単なため、センサの大量生産を企画し、したがってコストを減少させることが可能である。本発明は特に、堀削井戸の中に導入できるような寸法の小さなサイズミック計の製造に使用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0057】

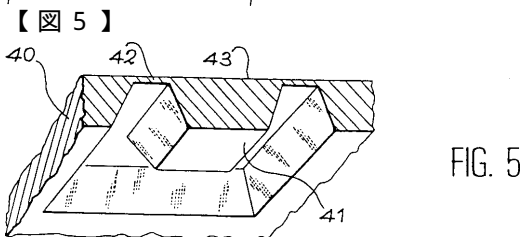
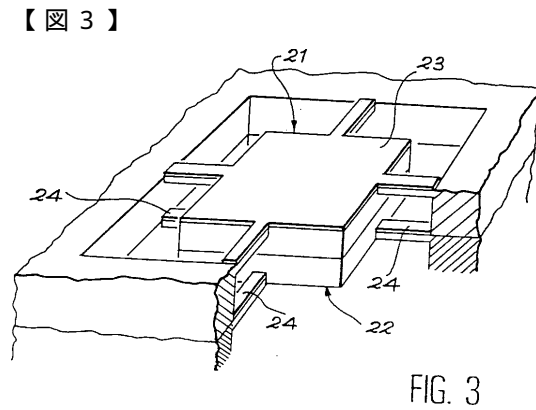
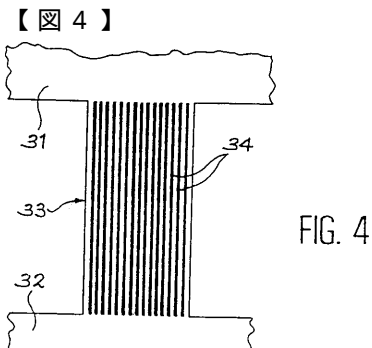
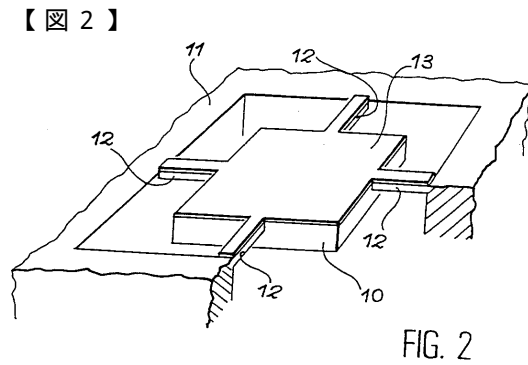
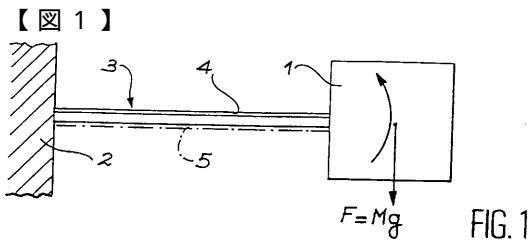
【図1】本発明の第一変形例による重力補償加速度計の側面図である。

【図2】本発明の第二変形例による重力補償加速度計の部分斜視図である。

【図3】本発明の第三変形例による重力補償加速度計の部分斜視図である。

【図4】本発明による加速度計用の、応力層によって被覆されエッチングされた、サイズモ質量体を支えるビームの上面図である。

【図5】製造中の本発明による加速度計の斜視図である。



## フロントページの続き

- (72)発明者 トウレ, パトリシア  
フランス国、エフ - 3 8 1 3 0 ・ エシロール、リュ・ギ - モケ、9
- (72)発明者 リュジ, ジエラル  
フランス国、エフ - 9 1 4 1 0 ・ ドウルダン、リュ・ミシエル、14

審査官 鈴野 幹夫

- (56)参考文献 特開平04 - 232875 (JP, A)  
特開平02 - 093371 (JP, A)  
特開平02 - 116755 (JP, A)  
特開平07 - 098327 (JP, A)  
特開平06 - 317606 (JP, A)  
特開平06 - 275850 (JP, A)  
特開平05 - 164778 (JP, A)  
特開平06 - 050986 (JP, A)  
特開平04 - 233468 (JP, A)  
特開平03 - 210478 (JP, A)  
特開平04 - 296657 (JP, A)  
特開平05 - 304303 (JP, A)  
特開昭63 - 132172 (JP, A)  
特公平06 - 058378 (JP, B2)  
特公平05 - 023068 (JP, B2)  
特表平05 - 508914 (JP, A)  
特表平03 - 501887 (JP, A)  
特開昭56 - 042148 (JP, A)  
実開平04 - 008970 (JP, U)  
特開昭61 - 234064 (JP, A)  
特開平07 - 167885 (JP, A)  
特開昭62 - 121367 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01P 21/00

G01P 15/02