

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5906394号
(P5906394)

(45) 発行日 平成28年4月20日(2016.4.20)

(24) 登録日 平成28年4月1日(2016.4.1)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 P 15/08 (2006.01)	GO 1 P 15/08 1 O 2 A
GO 1 P 15/12 (2006.01)	GO 1 P 15/08 1 O 1 C
GO 1 P 15/18 (2013.01)	GO 1 P 15/12 D
GO 1 P 15/125 (2006.01)	GO 1 P 15/18
GO 1 C 19/5621 (2012.01)	GO 1 P 15/125 Z
請求項の数 10 (全 33 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2012-521331 (P2012-521331)	(73) 特許権者 314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区域見2丁目1番61号
(86) (22) 出願日 平成23年6月22日(2011.6.22)	
(86) 国際出願番号 PCT/JP2011/003558	(74) 代理人 100120156 弁理士 藤井 兼太郎
(87) 国際公開番号 W02011/161958	(74) 代理人 100106116 弁理士 鎌田 健司
(87) 国際公開日 平成23年12月29日(2011.12.29)	(74) 代理人 100170494 弁理士 前田 浩夫
審査請求日 平成26年3月28日(2014.3.28)	(72) 発明者 今中 崇 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(31) 優先権主張番号 特願2011-25738 (P2011-25738)	(72) 発明者 相澤 宏幸 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(32) 優先日 平成23年2月9日(2011.2.9)	最終頁に続く
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	
(31) 優先権主張番号 特願2010-248079 (P2010-248079)	
(32) 優先日 平成22年11月5日(2010.11.5)	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	
(31) 優先権主張番号 特願2010-248078 (P2010-248078)	
(32) 優先日 平成22年11月5日(2010.11.5)	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	

(54) 【発明の名称】 慣性力検出素子とそれを用いた慣性力センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1面と前記第1面の裏側の第2面とを有するとともに、内側に中空領域が形成されることで内縁を有する枠部と、
前記枠部の前記中空領域内に設けられ、前記枠部の前記内縁に接続された可撓部と、
前記枠部に接着部にて接着され、前記枠部の前記第1面または前記第2面に対向して設けられた支持体と、
前記可撓部に設けられた検出部と、を備える慣性力検出素子であって、
前記枠部の前記接着部と前記可撓部との間には貫通孔が設けられ、
前記枠部は、
固定部と、前記固定部に接続された外側梁部と、を有する外枠部と、
上面視で方形状の内側梁部と、で構成され、
前記貫通孔は、前記内側梁部を囲む第1スリットであり、
前記内側梁部と前記可撓部とは、前記外枠部に第1スリットを介して囲まれたセンシング部を構成し、前記外枠部と前記センシング部とは第2接続部で連結され、前記第1スリットは、前記第2接続部を除いて前記センシング部を囲むように形成され、
前記固定部は前記外側梁部を挟んで対向するように一対で形成され、
前記外側梁部は前記固定部を挟んで対向するように一対で形成され、
前記第2接続部は、前記外側梁部と前記内側梁部とが平行な2箇所、形成され、
互いに直交するX軸、Y軸、Z軸において、

前記慣性力検出素子はX軸とY軸とからなるXY平面に延伸するように形成され、
前記検出部は、Z軸周りの角速度検出部であり、
前記内側梁部の、前記固定部に平行な辺上に形成されたX軸周りの角速度検出部をさらに
備える慣性力検出素子。

【請求項2】

前記可撓部は、

前記内側梁部の対向する辺を繋ぐとともに、前記外側梁部に平行な中央梁部と、
前記内側梁部の内側に配置され、前記中央梁部に連結された第1アームと、
前記中央梁部に対し前記第1アームと同じ側であって、かつ前記内側梁部の内側に配置さ
れ、前記中央梁部に連結されるとともに、前記第1アームと線対称に形成された第2ア
ームと、

10

前記中央梁部に対し前記第1アームと反対側であって、かつ前記内側梁部の内側に配置さ
れ、前記中央梁部に連結されるとともに、前記第1アームと線対称に形成された第3ア
ームと、

前記中央梁部に対し前記第3アームと同じ側であって、かつ前記内側梁部の内側に配置さ
れ、前記中央梁部に連結されるとともに、前記第3アームと線対称に形成された第4ア
ームと、を有し、

前記検出部は前記第1アームと、前記第2アームと、前記第3アームと、前記第4アーム
の上にそれぞれ設けられ、

前記第1アームと、前記第2アームと、前記第3アームと、前記第4アームの上にそれぞ
れ駆動部が設けられた、

20

請求項1記載の慣性力検出素子。

【請求項3】

前記X軸周りの角速度検出部に隣接して、前記内側梁部に第2スリットが形成された、
請求項1記載の慣性力検出素子。

【請求項4】

前記第2スリットは、前記X軸周りの角速度検出部よりも前記内側梁部の頂点側に形成さ
れた、

請求項3記載の慣性力検出素子。

【請求項5】

前記第2スリットは上面視で、上底と前記上底より長い下底と前記上底と前記下底とを繋
ぐ斜辺とを有する直角台形形状であり、前記下底が前記内側梁部の幅方向において外側
になるよう形成され、前記斜辺が前記内側梁部の頂点側に形成された、

30

請求項4記載の慣性力検出素子。

【請求項6】

互いに直交するX軸、Y軸、Z軸において、

前記慣性力検出素子はX軸とY軸とからなるXY平面に延伸するように形成され、

前記検出部は、Z軸周りの角速度検出部であり、

前記内側梁部の、前記外側梁部に平行な辺上に形成されたY軸周りの角速度検出部をさら
に備えた、

40

請求項1記載の慣性力検出素子。

【請求項7】

前記Y軸周りの角速度検出部に隣接して、前記内側梁部に第2スリットが形成された、

請求項6記載の慣性力検出素子。

【請求項8】

前記第2スリットは、前記Y軸周りの角速度検出部よりも前記内側梁部の頂点側に形成さ
れた、

請求項7記載の慣性力検出素子。

【請求項9】

前記第2スリットは上面視で、上底と前記上底より長い下底と前記上底と前記下底とを繋

50

ぐ斜辺とを有する直角台形形状であり、前記下底が前記内側梁部の幅方向において外側になるよう形成され、前記斜辺が前記内側梁部の頂点側に形成された、請求項 8 記載の慣性力検出素子。

【請求項 10】

請求項 1 記載の慣性力検出素子と、前記慣性力検出素子の前記検出部より出力された信号を受けて処理する検出回路と、を備えた、慣性力センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、携帯端末や車両等に用いられる加速度や角速度等を検出する慣性力検出素子とそれを用いた慣性力センサに関する。

【背景技術】

【0002】

図 30 は従来 of 慣性力検出素子 1 の上面図である。慣性力検出素子 1 は、内側に中空領域 4 A が形成された枠部 4 と、枠部 4 の中空領域 4 A に設けられ、枠部 4 の内縁 4 B に接続された可撓部 5 とを有する（例えば、特許文献 1）。

【0003】

この構成において、枠部 4 の上に上蓋（図示せず）を設ける場合、枠部 4 と上蓋との接着時の残留応力が可撓部 5 に蓄積し、慣性力検出素子 1 の感度が経時変化する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2007 - 85800 号公報

【発明の概要】

【0005】

本発明の慣性力検出素子は、枠部と、可撓部と、支持体と、検出部とを有する。枠部は、第 1 面とこの第 1 面の裏側の第 2 面とを有するとともに、内側に中空領域が形成されることで内縁を有する。可撓部は枠部の中空領域内に設けられ、枠部の内縁に接続されている。支持体は枠部に接着部にて接着され、枠部の第 1 面または第 2 面に対向して設けられている。検出部は可撓部に設けられている。枠部の接着部と可撓部との間には貫通孔が設けられている。この構成により、枠部と支持体とを接着する際に、可撓部に蓄積される残留応力を軽減することができ、慣性力検出素子の感度の経時変化を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図 1】図 1 は本発明の実施の形態 1 における慣性力検出素子の上面図である。

【図 2】図 2 は図 1 に示す慣性力検出素子の断面図である。

【図 3】図 3 は図 1 に示す慣性力検出素子の部分拡大上面図である。

【図 4】図 4 は本発明の実施の形態 1 における慣性力検出素子の一例である加速度検出素子の上面図である。

【図 5 A】図 5 A は本発明の実施の形態 1 における加速度検出素子の回路例を示す図である。

【図 5 B】図 5 B は本発明の実施の形態 1 における加速度検出素子の回路例を示す図である。

【図 5 C】図 5 C は本発明の実施の形態 1 における加速度検出素子の回路例を示す図である。

【図 6 A】図 6 A は本発明の実施の形態 1 における加速度検出素子の X 軸方向の感度の時間変化を示した図である。

【図 6 B】図 6 B は本発明の実施の形態 1 における加速度検出素子の Z 軸方向の感度の時

10

20

30

40

50

間変化を示した図である。

【図 7】図 7 は本発明の実施の形態 1 における他の慣性力検出素子の上面図である。

【図 8】図 8 は本発明の実施の形態 1 におけるさらに他の慣性力検出素子の上面図である。

【図 9】図 9 は本発明の実施の形態 1 におけるさらに他の慣性力検出素子の上面図である。

【図 10】図 10 は本発明の実施の形態 1 におけるさらに他の慣性力検出素子の、下支持体を除いた状態の下面図である。

【図 11A】図 11A は本発明の実施の形態 1 におけるさらに他の慣性力検出素子の、下支持体を除いた状態の下面図である。

10

【図 11B】図 11B は本発明の実施の形態 1 におけるさらに他の慣性力検出素子の、下支持体を除いた状態の下面図である。

【図 11C】図 11C は本発明の実施の形態 1 におけるさらに他の慣性力検出素子の、下支持体を除いた状態の下面図である。

【図 11D】図 11D は本発明の実施の形態 1 におけるさらに他の慣性力検出素子の、下支持体を除いた状態の下面図である。

【図 12】図 12 は図 11A から図 11D に示す慣性力検出素子の Z 軸方向の感度比を示す図である。

【図 13】図 13 は本発明の実施の形態 1 における他の慣性力検出素子の断面図である。

【図 14A】図 14A は本発明の実施の形態 2 による慣性力検出素子の一例である角速度検出素子の上面図である。

20

【図 14B】図 14B は図 14A に示す角速度検出素子の断面図である。

【図 15】図 15 は図 14A に示す角速度検出素子の要部断面図である。

【図 16】図 16 は図 14A に示す角速度検出素子の駆動信号の位相とアームの振動の関係を示す図である。

【図 17】図 17 は図 14A に示す角速度検出素子と駆動回路との接続関係を示す図である。

【図 18】図 18 は図 14A に示す角速度検出素子に Z 軸周りの角速度が印加された場合の挙動を示す上面図である。

【図 19】図 19 は図 14A に示す角速度検出素子に Y 軸周りの角速度が印加された場合の挙動を示す上面図である。

30

【図 20】図 20 は図 14A に示す角速度検出素子の検出部から出力される信号の位相を示す図である。

【図 21】図 21 は図 14A に示す角速度検出素子と検出回路との接続関係を示す図である。

【図 22】図 22 は本発明の実施の形態 2 による他の角速度検出素子の上面図である。

【図 23】図 23 は本発明の実施の形態 2 によるさらに他の慣性力検出素子である角速度検出素子の上面図である。

【図 24】図 24 は図 23 に示す角速度検出素子の検出部から出力される信号の位相を示す図である。

40

【図 25】図 25 は本発明の実施の形態 2 によるさらに他の慣性力検出素子である角速度検出素子の上面図である。

【図 26】図 26 は図 25 に示す角速度検出素子の検出部から出力される信号の位相を示す図である。

【図 27】図 27 は本発明の実施の形態 2 によるさらに他の慣性力検出素子である角速度検出素子の部分上面図である。

【図 28】図 28 は本発明の実施の形態 2 によるさらに他の慣性力検出素子である角速度検出素子の上面図である。

【図 29A】図 29A は本発明の実施の形態 2 によるさらに他の慣性力検出素子である角速度検出素子の上面図である。

50

【図29B】図29Bは本発明の実施の形態2によるさらに他の慣性力検出素子である角速度検出素子の上面図である。

【図30】図30は従来の慣性力検出素子の上面図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1における慣性力検出素子105の上面図である。図2は、図1における2-2線における断面図である。

【0008】

慣性力検出素子105は、枠部106と、可撓部107と、上蓋である上支持体110Aと、下支持体110Bとを有する。枠部106は上面(第1面)と上面の裏側の下面(第2面)とを有するとともに、内側に中空領域106Aが形成されることで内縁106Bを有する。可撓部107は中空領域106Aの内側に設けられ、内縁106Bに接続されている。上支持体110Aは接着部108にて枠部106に接着され、枠部106の上面に対向している。また、枠部106は下面に設けられた第2の接着部108Uにより下支持体110Bに接着されている。枠部106の接着部108と可撓部107との間には貫通孔109が設けられている。より具体的には貫通孔109は上面視でL字型のスリットであり枠部106の上面から下面まで貫通している。

【0009】

接着部108の厚みにより、図2に示すように枠部106と上支持体110Aとは離間し、第2の接着部108Uの厚みにより枠部106と下支持体110Bとは離間している。

【0010】

この構成により、枠部106と上支持体110Aとを接着する際の応力を緩和することができ、可撓部107に蓄積される残留応力を軽減することができる。その結果、慣性力検出素子105の感度の経時変化を抑制することができる。

【0011】

以下、各構成要素について説明する。枠部106は4辺を有する方形状であり、中心部に中空領域106Aが設けられている。なお、枠部106は方形状以外の形状であってもよい。

【0012】

可撓部107は、4つの梁部107Aと、錘部107Bと、4つの補助錘部107Cとを有する。4つの梁部107Aはそれぞれ、錘部107Bと枠部106との間に接続されている。すなわち、4つの梁部107Aはそれぞれ、一端が内縁106Bの四辺の中央部に接続され、他端が錘部107Bに接続されている。また、4つの補助錘部107Cはそれぞれ、錘部107Bから中空領域106A内に延出するように形成されている。

【0013】

枠部106、梁部107A、錘部107B及び補助錘部107Cは、種々の材料を用いて形成することができる。好ましくは、シリコンを用いて枠部106、梁部107A、錘部107B及び補助錘部107Cを形成することにより、微細加工技術を用いて小型の慣性力検出素子を作製することができる。

【0014】

また、図2に示すように、梁部107Aは、枠部106、錘部107B及び補助錘部107CよりもZ軸方向の厚みが薄く形成されていることが好ましい。この場合、上面において梁部107A、枠部106、錘部107B及び補助錘部107Cは同一面上にあり、梁部107Aは下面に表出していない。このように梁部107Aを薄く形成することにより、梁部107Aが撓みやすくなり、外部から与えられた慣性力によって錘部107B及び補助錘部107Cが変位し易くなる。また、枠部106、錘部107B及び補助錘部107Cは同じ厚さとすることにより、加工工程を簡略化することができる。また、錘部107B及び補助錘部107Cの質量を大きくすることができ、慣性力検出素子105の感

10

20

30

40

50

度を向上させることができる。

【 0 0 1 5 】

上支持体 1 1 0 A は、静電容量方式により慣性力検出素子 1 0 5 の駆動或いは慣性力の検出を行う際の対向基板として用いることができる。この場合、可撓部 1 0 7 の上面に下部電極を設け、対向基板としての上支持体 1 1 0 A の下面に上部電極を設ければよい。これらの上部電極及び下部電極を駆動電極として用いる場合、上部電極と下部電極の間に電圧を印加することにより、可撓部 1 0 7 を Z 軸方向に変位させることができる。また、上部電極及び下部電極を検出電極として用いる場合は、上部電極と下部電極との電位差を検出することにより、慣性力による可撓部 1 0 7 の変位量を検出し、この変位量に基づいて慣性力検出素子 1 0 5 に外部から与えられた慣性力を検出することができる。

10

【 0 0 1 6 】

なお過大な衝撃が印加された場合には、可撓部 1 0 7 が Z 軸方向に過大な変位を生じて不可逆的な変形をしそうになる。このような場合、上支持体 1 1 0 A がこの不可逆的な変形を防止する。すなわち、上支持体 1 1 0 A は、ストッパーとしても機能する。

【 0 0 1 7 】

接着部 1 0 8 には、エポキシ系樹脂やシリコン系樹脂等の接着剤が用いられる。接着部 1 0 8 を加熱して接着剤を硬化させる際に、接着剤自身の硬化や枠部 1 0 6 と上支持体 1 1 0 A との線膨張係数の差に起因する応力が発生する。そのため、この応力が梁部 1 0 7 A に残留応力として蓄積され、慣性力検出素子 1 0 5 の感度の経時変化の原因となる。また、この残留応力のばらつきに起因して、慣性力検出素子 1 0 5 の感度の経時変化のばらつきの原因となる。なお、接着部 1 0 8 にシリコン系樹脂を用いることにより、接着剤自身の硬化による応力を小さくすることができる。

20

【 0 0 1 8 】

なお、上支持体 1 1 0 A として枠部 1 0 6 と異なる材料を用いた場合には、接着部 1 0 8 を加熱した際にパッケージと枠部 1 0 6 との線膨張係数の差に起因する応力が発生する。そのため、可撓部 1 0 7 に蓄積される残留応力はさらに大きくなる。

【 0 0 1 9 】

貫通孔 1 0 9 は、接着部 1 0 8 と可撓部 1 0 7 との間に設けられている。そのため、貫通孔 1 0 9 は、接着部 1 0 8 を加熱して硬化させる際に発生する応力が可撓部 1 0 7 に伝わることを抑制することができる。

30

【 0 0 2 0 】

図 1 に示す慣性力検出素子 1 0 5 においては、4 つの梁部 1 0 7 A の一端はそれぞれ、枠部 1 0 6 の四辺の内縁 1 0 6 B の中央部に接続されている。また、接着部 1 0 8 が枠部 1 0 6 の 4 つの角部に設けられている。この構成では、枠部 1 0 6 と上支持体 1 1 0 A とを接着する際の応力は、1 つの接着部 1 0 8 に近接する 2 つの梁部 1 0 7 A に伝わる。したがって、この 1 つの接着部 1 0 8 の付近に角部を有し、近接する 2 つの梁部 1 0 7 A に向かって伸びるように貫通孔 1 0 9 を形成することが好ましい。このような位置および形状により、接着部 1 0 8 から梁部 1 0 7 A に伝わる応力を効果的に軽減することができる。

【 0 0 2 1 】

40

図 3 は、図 1 の点線で囲った部分 3 の部分拡大図である。貫通孔 1 0 9 の幅を $W 1 1$ 、枠部 1 0 6 と補助錘部 1 0 7 C との間隙部 1 1 1 の幅を $W 1 2$ とすると、 $W 1 1 = W 1 2$ とすることが好ましい。これにより、同じエッチングレートで貫通孔 1 0 9 及び枠部 1 0 6 と補助錘部 1 0 7 C との間隙部 1 1 1 を形成することができる。そのため、幅 $W 1 1$ 及び幅 $W 1 2$ のばらつきを小さくすることができ、慣性力検出素子 1 0 5 の感度ばらつきを小さくすることができる。

【 0 0 2 2 】

図 4 は、慣性力検出素子 1 0 5 の一例として、加速度を検出する加速度検出素子 1 1 2 の構成例を示す上面図であり、図 5 A ~ 図 5 C は加速度を検出する回路例を示している。

【 0 0 2 3 】

50

図4において、加速度検出素子112は、錘部107Bから見てX軸の負側に設けられた梁部1107Aにおいて、枠部106側の端に歪抵抗RX1、RZ4を有し、錘部107B側の端に歪抵抗RX2、RZ3を有している。また、錘部107Bから見てX軸の正側に設けられた梁部207Aにおいて、枠部106側の端に歪抵抗RX4、RZ2を有し、錘部107B側の端に歪抵抗RX3、RZ1を有している。また、錘部107Bから見てY軸の正側に設けられた梁部307Aにおいて、枠部106側の端には歪抵抗RY1が設けられ、錘部107B側の端には歪抵抗RY2が設けられている。また、錘部107Bから見てY軸の負側に設けられた梁部407Aにおいて、枠部106側の端には歪抵抗RY4が設けられ、錘部107B側の端には歪抵抗RY3が設けられている。なお、歪抵抗RX1~RX4、RY1~RY4及びRZ1~RZ4として、イオン注入型の半導体ピエゾ抵抗素子を用いてもよいし、金属酸化物の歪抵抗薄膜素子を用いてもよい。歪抵抗RX1~RX4、RY1~RY4及びRZ1~RZ4は可撓部107に設けられた検出部である。

10

【0024】

図5AはX軸方向の加速度を検出する場合の回路例である。RX1~RX4をブリッジ接続し、対向する一对の接続点間に電圧Eを印加する。そして残りの一对の接続点間に設けた電圧検出部113の検出電圧により、X軸方向の加速度を検出することができる。

【0025】

図5BはY軸方向の加速度を検出する場合の回路例である。RY1~RY4をブリッジ接続し、対向する一对の接続点間に電圧Eを印加する。そして残りの一对の接続点間に設けた電圧検出部114の検出電圧により、Y軸方向の加速度を検出することができる。

20

【0026】

図5CはZ軸方向の加速度を検出する場合の回路例である。RZ1~RZ4をブリッジ接続し、対向する一对の接続点間に電圧Eを印加する。そして残りの一对の接続点間に設けた電圧検出部115の検出電圧により、Z軸方向の加速度を検出することができる。

【0027】

以上のように、加速度検出素子112では、外部から与えられた加速度によって錘部107B及び補助錘部107Cが変位し、これにより梁部1107A、207A、307A、407Aに歪が生じる。この歪を検出することにより、加速度検出素子112に印加された加速度を検出することができる。なお、X軸方向、Y軸方向、Z軸方向の加速度を検出できる原理については例えば、特開2008-224294号公報に開示されている。

30

【0028】

電圧検出部113、114、115は、慣性力検出素子である加速度検出素子112の検出部より出力された信号を受けて処理する検出回路の一部を構成している。

【0029】

加速度検出素子112の接着部108と可撓部107との間には貫通孔109が設けられている。そのため、枠部106と上支持体110Aとを接着する際の応力が梁部1107A~407Aに蓄積されにくく、加速度検出素子112の感度の経時変化を抑制することが可能となる。

【0030】

40

図6A、図6Bは加速度検出素子112の感度の経時変化を示したグラフである。

【0031】

図6Aにおいて横軸は時間、縦軸はX軸の感度変化[%]を示している。特性116は加速度検出素子112に貫通孔109を設けない場合のX軸の感度変化であり、特性117は加速度検出素子112に貫通孔109を設けた場合のX軸の感度変化である。貫通孔109を設けない場合の特性116では、数100時間程度経過するとX軸の感度が2%程度の経時変化をするのに対し、貫通孔109を設けた場合の特性117では、X軸の感度はほとんど変化しない。このように、貫通孔109を設けたことにより、X軸の感度の経時変化を抑制できたことが分かる。

【0032】

50

同様に、図6BはZ軸の感度の経時変化を示している。特性118は加速度検出素子112に貫通孔109を設けない場合のZ軸の感度変化であり、特性119は加速度検出素子112に貫通孔109を設けた場合のZ軸の感度変化である。貫通孔109を設けない場合の特性118では、Z軸の感度が数100時間程度経過すると7%程度の経時変化をするのに対し、貫通孔109を設けた場合の特性119では、Z軸の感度はほとんど変化していない。このように、貫通孔109を設けたことにより、Z軸の感度の経時変化を抑制できたことが分かる。

【0033】

なお、Y軸の感度の時間変化については図示していないが、同様に、貫通孔109により感度の経時変化を抑制することができる。

10

【0034】

なお、図4及び図5A～図5Cを用いて加速度を検出する例を説明したが、本発明は加速度検出素子に限定されない。角速度や角加速度など、可撓部107の撓みを利用して外部から与えられた慣性力を検出するセンサであれば、接着部108と可撓部107との間に貫通孔109を設けることにより、慣性力を検出する感度の経時変化を抑制する効果を奏することが可能である。

【0035】

次に、接続部、貫通孔の好ましい配置や形状について、図7～図9を参照しながら説明する。図7～図9はそれぞれ、本実施の形態における他の慣性力検出素子の上面図である。以下、特徴部分について、図1に示す慣性力検出素子105との相違点を中心に説明する。

20

【0036】

図7に示す慣性力検出素子120において、上支持体110Aは、点線で示すように、枠部106よりも幅が狭い形状を有する。この構成により、枠部106において、上支持体110Aの短辺方向の端部106C、106Dは、上支持体110Aに覆われてない。したがって、端部106C、106DにPAD電極(図示せず)を設け、パッケージ(図示せず)やIC(図示せず)との接続を行うことができる。

【0037】

この構成の場合、接着部108は枠部106において、上支持体110Aの長辺に沿った方向の両端に位置する辺106E、106Fに設けられる。すなわち、図7の構成では、枠部106は4辺を有する方形状であり、可撓部107は枠部106の4辺の内縁106Bにそれぞれ接続されている。接着部108A～108Dは枠部106の対向する2辺にそれぞれ設けられ、貫通孔109は接着部108A～108Dが設けられた2辺において、接着部108A～108Dのそれぞれと可撓部107との間に設けられている。

30

【0038】

ここで、接着部108A、108Bは辺106Eに設けられ、接着部108C、108Dは辺106Fに設けられているものとする。また、可撓部107が辺106Eと接続する位置を接続部107Eとし、可撓部107が辺106Fと接続する位置を接続部107Fとする。

【0039】

貫通孔109は、接着部108A、108Bと接続部107Eとを結ぶ線A、B上に設けることが望ましい。この構成により、接着部108A、108Bから接続部107Eを介して可撓部107に伝わる応力を効果的に軽減することができる。さらに、線A、Bを共に仕切るように直線状に貫通孔109を設けることにより、簡易な構成で貫通孔109を形成することができる。

40

【0040】

同様に、貫通孔109は、接着部108C、108Dと接続部107Fとを結ぶ線C、D上に設けることが望ましい。この構成により、接着部108C、108Dから接続部107Fを介して可撓部107に伝わる応力を効果的に軽減することができる。さらに、線C、Dを共に仕切るように直線状に貫通孔109を設けることにより、簡易な構成で貫通

50

孔 109 を形成することができる。

【0041】

次に図 8 に示す慣性力検出素子 121 について説明する。慣性力検出素子 121 では、図 7 に示す慣性力検出素子 120 に加え、枠部 106 において、上支持体 110A の短辺に沿った方向の端部 106C、106D にも、貫通孔 109 が設けられている。すなわち、貫通孔 109 は、接着部 108A ~ 108D が設けられていない 2 辺にも設けられている。このように、貫通孔 109 を X 軸及び Y 軸に対して対称に設けることにより、可撓部 107 の X 軸方向の撓みと Y 軸方向の撓みを同等にすることができ、X 軸方向の感度と Y 軸方向の感度の差を小さくすることができる。

【0042】

次に図 9 に示す慣性力検出素子 122 について説明する。慣性力検出素子 122 では、図 8 に示す慣性力検出素子 121 に加え、接着部 108 が枠部 106 の四辺の中央部に設けられている。すなわち、枠部 106 は 4 辺を有する方形形状であり、可撓部 107 は枠部 106 の 4 辺の内縁 106B にそれぞれ接続され、接着部 108 は枠部 106 の 4 辺にそれぞれ設けられている。この構成の場合、貫通孔 109 は、枠部 106 の四辺において、接着部 108 と可撓部 107 との間に設けることにより、接着部 108 から可撓部 107 に伝わる応力を軽減することができる。

【0043】

なお図 7 ~ 図 9 の構成において、上支持体 110A の大きさに係らず、接着部や貫通孔の位置、形状による効果は発揮される。すなわち、上面視における上支持体 110A の外形は枠部 106 の外形と同等であってもよい。

【0044】

次に、接続部、貫通孔の好ましい別の配置や形状について、図 10 ~ 図 12 を参照しながら説明する。図 10 は、慣性力検出素子 123 の、下支持体 110B を除いた状態の下面図である。以下、特徴部分について、慣性力検出素子 105、120 ~ 122 との相違点を中心に説明する。

【0045】

慣性力検出素子 123 においては、図 8 に示す慣性力検出素子 121 と比べて、枠部 106 の内縁 106B と貫通孔 109 との間の内枠部 106G に薄肉部 106H が設けられている。すなわち、内枠部 106G のうち、薄肉部 106H の厚み（Z 軸方向の長さ）は枠部 106 の他の部分の厚みよりも薄く、枠部 106 の薄肉部 106H 以外の部分の厚みは同じになっている。このように内枠部 106G に薄肉部 106H を設けることにより、接着部 108 から可撓部 107 に伝わる応力を更に軽減することができる。

【0046】

なお、図 10 においては、薄肉部 106H は内枠部 106G の中央に設けているが、中央に限らず、どの位置に設けても応力を軽減する効果が得られる。

【0047】

また、薄肉部 106H の厚みを梁部 107A の厚みと同じとすることが望ましい。この構成により、慣性力検出素子 123 の製造時において、薄肉部 106H と梁部 107A とを同一のエッチングで形成することができる。

【0048】

なお、内枠部 106G の中央部に薄肉部 106H を設けることにより、接着部 108 から可撓部 107 に伝わる応力を更に軽減することができるものの、Z 軸方向の加速度の感度が低下する。そこで、薄肉部の最適配置について検討した結果を説明する。

【0049】

図 11A ~ 図 11D は本発明の実施の形態 1 におけるさらに他の慣性力検出素子の、下支持体を除いた状態の下面図である。図 12 は図 11A ~ 図 11D に示す慣性力検出素子の Z 軸方向の感度比を相対値で示すグラフである。

【0050】

図 11A は、図 8 に示す慣性力検出素子 121 の、下支持体を除いた状態の下面図であ

10

20

30

40

50

り、薄肉部 106H が設けられていない。図 11B は、図 10 に示す慣性力検出素子 123 を示しており、内枠部 106G の中央部に薄肉部 106H が設けられている。図 11C は、内縁 106B と貫通孔 109 との間の部分を全て薄肉部 106H とした構成の慣性力検出素子 123C を示している。図 11D は内枠部 106G の両端に薄肉部 106H を設けた構成の慣性力検出素子 123D を示している。

【0051】

図 12 に示すように、図 11A に示す慣性力検出素子 121 の Z 軸方向の感度が一番良好であるが、薄肉部 106H を設けていないため、接着部 108 から可撓部 107 に伝わる応力の低減効果が小さい。

【0052】

慣性力検出素子 123、123C、123D を比較すると、図 12 に示すように、慣性力検出素子 123D の Z 軸方向の感度が一番大きい。これは、内枠部 106G において、梁部 107A が接続される部分が厚いほど、梁部 107A の撓み量が大きくなるためであると考えられる。

【0053】

以上より、図 11D に示すように、内枠部 106G の両端に薄肉部 106H を設けた構成とすることにより、接着部 108 から可撓部 107 に伝わる応力を低減して感度の経時変化を抑制するとともに、Z 軸方向の感度を大きくすることができる。

【0054】

なおこのように配置された薄肉部を図 1、図 7、図 9 に示す慣性力検出素子に適用してもよい。すなわち、枠部 106 は、内縁 106B と貫通孔 109 との間に薄肉部 106H を有することが好ましく、薄肉部 106H は枠部 106 の中空領域 106A の各辺の両端に設けられていることがさらに好ましい。

【0055】

なお、以上の説明では、枠部 106 の上面に対向配置された上支持体 110A が、接着部 108 にて枠部 106 に接着された例について説明した。これ以外に、枠部 106 の下面（第 2 面）に対向配置された下支持体 110B が、接着部 108 にて枠部 106 に接着されていてもよい。このような構成について図 13 を参照しながら簡単に説明する。図 13 は本発明の実施の形態 1 における他の慣性力検出素子 105A の断面図である。

【0056】

図 1 に示す慣性力検出素子 105 との違いは、上支持体 110A の代わりに枠部 106 の下面（第 2 面）に対向配置された下支持体 110B が、接着部 108 にて枠部 106 に接着されている点である。このように構成しても、慣性力検出素子 105 と同様の効果を奏する。また、図 4 に示す加速度検出素子、図 7～図 10、図 11D に示す慣性力検出素子の構造を適用することもでき、同様の効果を奏する。

【0057】

なお、この場合、図 13 に示すように、上支持体 110A を設けなくてもよい。この場合、慣性力検出素子 105A の上側は、直接に慣性力検出素子 105A に接触しない、例えば金属製のキャップで覆ってもよい。

【0058】

（実施の形態 2）

図 14A は、本発明の実施の形態 2 による慣性力検出素子である角速度検出素子 16 の上面図である。図 14B は角速度検出素子 16 の 14B - 14B 線における断面図である。

【0059】

角速度検出素子 16 は、固定部 17A、17B と、固定部 17A、17B に接続された外側梁部 18A、18B で構成された外枠部を有する。さらに角速度検出素子 16 は、この外枠部に第 1 スリット 80A、80B を介して囲まれたセンシング部と、外枠部とセンシング部とを連結した接続部 19A、19B とを有する。第 1 スリット 80A、80B は、接続部 19A、19B を除いてセンシング部を囲むように形成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

センシング部は、内側梁部 2 0 A と、中央梁部 2 0 B と、第 1 アーム 2 1、第 2 アーム 2 2、第 3 アーム 2 3、第 4 アーム 2 4 (以下、アーム 2 1 ~ 2 4) と、駆動部 2 9 ~ 3 6 と、検出部 4 1 ~ 4 8 とを有する。センシング部はさらに、第 1 アーム 2 1、第 2 アーム 2 2、第 3 アーム 2 3、第 4 アーム 2 4 のそれぞれの端部に設けられた錘 2 5 ~ 2 8 を有する。

【 0 0 6 1 】

内側梁部 2 0 A は上面視で方形状である。中央梁部 2 0 B は内側梁部 2 0 A の対向する辺を繋ぐとともに、外側梁部 1 8 A に平行に形成されている。アーム 2 1 ~ 2 4 は内側梁部 2 0 A の内側に配置され、中央梁部 2 0 B に連結されている。

10

【 0 0 6 2 】

すなわち、固定部 1 7 A、1 7 B と、外側梁部 1 8 A、1 8 B と、内側梁部 2 0 A とは、上面 (第 1 面) と下面 (第 2 面) とを有するとともに、内側に中空領域 1 2 が形成されることで内縁 1 4 を有する枠部を構成している。図 1 4 B に示すように、この枠部の下面に対向するように、下支持体 1 1 0 B が設けられている。下支持体 1 1 0 B は固定部 1 7 A、1 7 B に接着部 1 0 8 にて接着されている。中央梁部 2 0 B、アーム 2 1 ~ 2 4、錘 2 5 ~ 2 8 は、枠部の中空領域 1 2 内に設けられ、枠部の内縁 1 4 に接続された可撓部を構成している。内側梁部 2 0 A を囲む第 1 スリット 8 0 A、8 0 B は、枠部の接着部 1 0 8 と可撓部との間に設けられた貫通孔である。

【 0 0 6 3 】

なお図 1 4 A において、接着部 1 0 8 は外枠部の四隅に設けられているが、固定部 1 7 A、1 7 B に沿って外側梁部 1 8 A から外側梁部 1 8 B にかけて長く形成されていてもよい。さらに、外側梁部 1 8 A、1 8 B に沿って接着部 1 0 8 を形成してもよい。

20

【 0 0 6 4 】

アーム 2 2 は中央梁部 2 0 B に対しアーム 2 1 と同じ側にあつて、かつアーム 2 1 と線対称に形成されている。すなわち、中央梁部 2 0 B に直交する C 軸を中心に、アーム 2 2 はアーム 2 1 と線対称に形成されている。C 軸は Y 軸に平行である。

【 0 0 6 5 】

アーム 2 3 は中央梁部 2 0 B に対しアーム 2 1 と反対側にあつて、かつアーム 2 1 と線対称に形成されている。すなわち、中央梁部 2 0 B の中心を通る D 軸を中心に、アーム 2 3 はアーム 2 1 と線対称に形成されている。D 軸は X 軸に平行である。

30

【 0 0 6 6 】

アーム 2 4 は中央梁部 2 0 B に対しアーム 2 3 と同じ側にあつて、かつアーム 2 3 と線対称に形成されている。すなわち、C 軸を中心に、アーム 2 4 はアーム 2 3 と線対称に形成されている。このように、アーム 2 1、2 2 は Y 軸の正方向に延出し、アーム 2 3、2 4 は Y 軸の負方向に延出している。

【 0 0 6 7 】

駆動部 2 9、3 0 と検出部 4 1、4 2 は、アーム 2 1 の上に設けられている。駆動部 3 1、3 2 と検出部 4 3、4 4 は、アーム 2 2 の上に設けられている。駆動部 3 3、3 4 と検出部 4 5、4 6 は、アーム 2 3 の上に設けられている。駆動部 3 5、3 6 と検出部 4 7、4 8 は、アーム 2 4 の上に設けられている。駆動部 2 9 ~ 3 6 はアーム 2 1 ~ 2 4 を X 軸方向に駆動させるために設けられている。検出部 4 1 ~ 4 8 はアーム 2 1 ~ 2 4 に設けられた錘 2 5 ~ 2 8 の Y 軸方向への変位又は Z 軸方向への変位を検出する。

40

【 0 0 6 8 】

またアーム 2 1 ~ 2 4 のそれぞれの中央梁部 2 0 B との連結位置近傍にはアーム 2 1 ~ 2 4 の X 軸方向への変位を検出するモニタ部 3 7 ~ 4 0 が設けられている。モニタ部 3 7 ~ 4 0 はアーム 2 1 ~ 2 4 の X 軸方向への変位を検出する。

【 0 0 6 9 】

次に、各構成要素について説明する。固定部 1 7 A、1 7 B は、外側梁部 1 8 A、1 8 B を支持している。すなわち、固定部 1 7 A、1 7 B は、Y 軸と平行に形成され、両端が

50

外側梁部 18 A、18 B に接続されることにより外側枠体を形成している。固定部 17 A、17 B は角速度検出素子 16 を格納するパッケージ（図示せず）に別の支持部材や接着剤等を用いて固定される。なお、固定部 17 A、17 B の外縁部には複数の電極パッド（図示せず）が設けられている。これらの電極パッドは、駆動部 29 ~ 36、モニタ部 37 ~ 40 及び検出部 41 ~ 48 と配線（図示せず）により電氣的に接続されている。

【0070】

内側梁部 20 A は、Y 軸に平行な二辺と X 軸に平行な二辺で構成され、内側枠体を形成している。これにより、内側梁部 20 A の Y 軸に平行な二辺は、Z 軸方向に撓むことができる。また、内側梁部 20 A の Y 軸に平行な二辺は、Y 軸に平行な軸 C に関して、略対称となるように形成されている。これにより、角速度検出素子 16 に与えられた角速度に対して、内側梁部 20 A の Y 軸に平行な二辺は、略同一の振幅で撓む。内側梁部 20 A の X 軸に平行な二辺はそれぞれ、接続部 19 A、19 B で外側梁部 18 A、18 B に、略中央で接続されている。

10

【0071】

中央梁部 20 B は、X 軸と平行に形成され、内側梁部 20 A の Y 軸に平行な二辺の略中点に接続されている。これにより、中央梁部 20 B は、Z 軸方向に撓むことができる。

【0072】

アーム 21 は中央梁部 20 B に接続された一端から Y 軸の正方向に延出し、第 1 関節から X 軸の正方向に伸び、第 2 関節から Y 軸方向の負方向に伸びた略 J 字形状を有する。さらに、他端には錘 25 が形成されている。

20

【0073】

アーム 22 は中央梁部 20 B に接続された一端から Y 軸の正方向に延出し、第 1 関節から X 軸の負方向に伸び、第 2 関節から Y 軸方向の負方向に伸びた略 J 字形状を有する。さらに、他端には錘 26 が形成されている。

【0074】

アーム 23 は中央梁部 20 B に接続された一端から Y 軸の負方向に延出し、第 1 関節から X 軸の正方向に伸び、第 2 関節から Y 軸方向の正方向に伸びた略 J 字形状を有する。さらに、他端には錘 27 が形成されている。

【0075】

アーム 24 は中央梁部 20 B に接続された一端から Y 軸の負方向に延出し、第 1 関節から X 軸の負方向に伸び、第 2 関節から Y 軸方向の正方向に伸びた略 J 字形状を有する。さらに、他端には錘 28 が形成されている。アーム 21 ~ 24 はそれぞれ、略方形の錘 25 ~ 28 の一辺の中央から内部に突出して錘 25 ~ 28 に連結されている。アーム 21 ~ 24 は、X 軸方向、Y 軸方向及び Z 軸方向に撓むことができる。

30

【0076】

また、アーム 21 とアーム 22 とは、Y 軸と平行な軸 C に関して対称に形成されている。アーム 23 とアーム 24 とは、Y 軸と平行な軸 C に関して対称に形成されている。アーム 21 とアーム 23 とは、X 軸と平行な軸 D に関して対称に形成されている。アーム 22 とアーム 24 とは、X 軸と平行な軸 D に関して対称に形成されている。このように軸 C 及び軸 D に関して対称に形成することにより、角速度検出素子 16 に与えられた角速度に対して、アーム 21 ~ 24 は、略同一の振幅で撓む。

40

【0077】

固定部 17 A、17 B、外側梁部 18 A、18 B、内側梁部 20 A、中央梁部 20 B 及びアーム 21 ~ 24 は、水晶、 LiTaO_3 又は LiNbO_3 等の圧電材料を用いて形成されている。あるいはシリコン、ダイヤモンド、溶融石英、アルミナ又は GaAs 等の非圧電材料を用いて形成してもよい。特に、シリコンを用いることにより、微細加工技術を用いてこれらを非常に小型に形成することが可能となるとともに、回路等の IC と一体に形成することも可能となる。

【0078】

固定部 17 A、17 B、外側梁部 18 A、18 B、内側梁部 20 A、中央梁部 20 B 及

50

びアーム 21 ~ 24 は、それぞれ異なる材料又は同一の材料から形成した後に組み立てて形成しても良いし、同一の材料を用いて一体に形成しても良い。同一の材料を用いて一体に形成する場合は、ドライエッチング又はウエットエッチングを用いることにより、固定部 17A、17B、外側梁部 18A、18B、内側梁部 20A、中央梁部 20B 及びアーム 21 ~ 24 を同一プロセスで形成することができる。そのため、これらを効率的に製造することができる。

【0079】

図 15 は、駆動部 29、30 の概略構成を示す断面図であり、図 14A における線 15 における断面を示している。駆動部 29 は piezo 素子 29B を下部電極 29A と上部電極 29C とで挟んで形成され、駆動部 30 は piezo 素子 30B を下部電極 30A と上部電極 30C とで挟んで形成されている。駆動部 29、30 は互いに平行に、アーム 21 の上面に設けられている。

【0080】

下部電極 29A、30A 及び上部電極 29C、30C は、白金 (Pt)、金 (Au)、アルミ (Al) 又はこれらを主成分とした合金又は酸化物で形成されている。なお、下部電極 29A、30A として Pt を用いることが望ましい。これにより、piezo 素子 29B、30B を構成するチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) を一方向に配向させることができる。また、上部電極 29C、30C として、Au を用いることが望ましい。これにより、抵抗値の経時劣化が少ないため、角速度検出素子 16 の信頼性が向上する。

【0081】

下部電極 29A、30A はともに基準電位となっており、上部電極 29C、30C に交流の駆動電圧を印加することにより、アーム 21 を X 軸方向に振動させることができる。なお、下部電極 29A、30A 及び上部電極 29C、30C にともに交流の駆動電圧を印加してもよい。これにより、駆動効率を改善することができる。

【0082】

駆動部 31 ~ 36 も駆動部 29、30 と同様の構造によりアーム 22 ~ 24 の上面にそれぞれ設けられている。なお図 14A に示すように、駆動部 29 ~ 36 を略 J 字形状のアーム 21 ~ 24 における垂 25 ~ 28 の側に設けることが好ましい。この配置により、アーム 21 ~ 24 における中央梁部 20B の側の面積を検出部 41 ~ 48 のために確保することができる。一方、駆動部 29 ~ 36 をアーム 21 ~ 24 における中央梁部 20B の側に設けた場合は、駆動部 29 ~ 36 の駆動効率を改善できるとともに、大きな面積とすることができる。そのため、アーム 21 ~ 24 の振幅を大きくすることができ、角速度検出素子 16 の感度を改善することができる。

【0083】

図 16 は、駆動部 29 ~ 36 に与えられる駆動信号の位相と、アーム 21 ~ 24 の振動の位相との関係を示している。駆動部 29、31、33、35 には同位相 (+) の駆動信号が与えられ、駆動部 30、32、34、36 にはこれと逆位相 (-) の駆動信号が与えられる。これにより、アーム 21 とアーム 23 とは同位相 (+) で X 軸方向に振動し、アーム 22 とアーム 24 とはこれと逆位相 (-) で X 軸方向に振動する。

【0084】

モニタ部 37 ~ 40 は、アーム 21 ~ 24 の X 軸方向への変位を検出する。本実施の形態においては、モニタ部 37 ~ 40 は図 15 に示す駆動部 29、30 と同様に piezo 素子を用いた圧電方式で構成されているが、電極間の静電容量を利用した静電方式を用いることもできる。

【0085】

モニタ部 37 ~ 40 は、アーム 21 ~ 24 の上面に設けられている。また、図 16 に示すアーム 21 ~ 24 の振動の位相に対して、モニタ部 37 ~ 40 は、同位相のモニタ信号が得られる位置に設けられている。なお、モニタ部 37 ~ 40 は、図 14A に示すように、略 J 字形状のアーム 21 ~ 24 における中央梁部 20B の側に設けることにより、小さな面積で効率よく歪を検出することが可能となる。なお、検出部 41 ~ 48 のための面積

10

20

30

40

50

を確保するため、モニタ部 37 ~ 40 の面積は検出部 41 ~ 48 よりも小さくすることが望ましい。

【0086】

検出部 41 ~ 48 は、アーム 21 ~ 24 の Y 軸方向への変位又は Z 軸方向への変位を検出する。検出部 41 ~ 48 は図 15 に示す駆動部 29、30 と同様にピエゾ素子を用いた圧電方式で構成されているが、電極間の静電容量を利用した静電方式を用いることもできる。

【0087】

検出部 41 ~ 48 は、アーム 21 ~ 24 の上面に設けられている。なお、検出部 41 ~ 48 は、図 14A に示すように、略 J 字形状のアーム 21 ~ 24 における中央梁部 20B の側に設けることにより、検出部 41 ~ 48 の検出効率を改善することができる。大きな面積とすることができる。そのため、角速度検出素子 16 の感度を改善することができる。一方、検出部 41 ~ 48 をアーム 21 ~ 24 における錘 25 ~ 28 の側に設けた場合は、アーム 21 ~ 24 における中央梁部 20B の側の面積を駆動部 29 ~ 36 のために確保することができる。

10

【0088】

検出部 41、42 と検出部 43、44 とは、Y 軸と平行な軸 C に関して対称に設けられ、検出部 45、46 と検出部 47、48 とは、軸 C に関して対称に設けられている。そして、検出部 41、42 と検出部 45、46 とは、X 軸と平行な軸 D に関して対称に設けられ、検出部 43、44 と検出部 47、48 とは、軸 D に関して対称に設けられている。このように検出部 41 ~ 48 を C 軸及び D 軸に対称に設けることにより、加速度や衝撃等の外乱に起因する不要信号を相殺することができ、角速度の検出精度を改善することができる。

20

【0089】

また、第 1 スリット 80A、80B が、接続部 19A、19B を除いてセンシング部を囲むように形成されている。すなわち、センシング部は接続部 19A、19B で吊られている。そのため、固定部 17A、17B や外側梁部 18A、18B に応力が印加され、角速度検出素子 16 が X 軸方向に引っ張られたり、あるいは固定部 17A、17B や外側梁部 18A、18B が曲げられたりしても、その応力はセンシング部に伝わりにくい。そのため、センシング部に対する外部応力の影響を緩和することができる。したがって角速度検出素子 16 の外部から応力が印加されても検出部 41 ~ 48 からの出力の変動が小さくなる。具体的には、角速度検出素子 16 の大きさが 2.5×2.5 mm 程度で基材が $150 \mu\text{m}$ 厚のシリコン (Si) で構成されている場合、センシング部における応力の影響は $1/3$ 程度になる。この効果は、検出部 41 ~ 48 の配置に依る効果とは独立して発揮される。

30

【0090】

以下、角速度検出素子 16 と接続される駆動回路及び検出回路について説明し、検出部 41 ~ 48 を C 軸及び D 軸に対称に設けることによる、角速度の検出精度の改善効果について説明する。

【0091】

図 17 は、角速度検出素子 16 と駆動回路 50 との接続関係を示した図である。固定部 17A、17B に設けられた電極パッドの一部である電極パッド 49A ~ 49H は、それぞれ駆動部 29 ~ 36 と電氣的に接続されている。また電極パッド 49J ~ 49M は、それぞれモニタ部 37 ~ 40 と電氣的に接続されている。

40

【0092】

電極パッド 49J ~ 49M から出力されたモニタ信号は結線され、IV 変換アンプ 51 で電圧に変換された後、AGC (Auto Gain Control) 52 で一定振幅の電圧に調整される。さらに、フィルタ 53 で不要周波数成分を除去した後、ドライブアンプ 54 で反転増幅されて電極パッド 49B、49D、49F、49H に供給されている。また、ドライブアンプ 54 から出力された駆動信号は、ドライブアンプ 55 で反転増幅

50

されて電極パッド49A、49C、49E、49Gに供給されている。この構成により、駆動回路50は、図16に示す位相の駆動信号を駆動部29～36に与え、アーム21～24を図16に示す位相で振動させることができる。

【0093】

図18、図19は、角速度検出素子16に角速度が加わった場合の挙動を示す上面図である。図18は、Z軸周りの角速度を検出する場合を示している。角速度検出素子16には、駆動回路50から駆動部29～36に対して駆動信号が与えられることにより、X軸方向の固有の駆動振動周波数で駆動振動56が発生する。角速度検出素子16にZ軸周りの角速度57が与えられると、錘25～28にY軸方向のコリオリの力が発生し、検出振動58が発生する。錘25～28にY軸方向の検出振動58が発生する結果、アーム21～24はX軸方向に振動する。なお、アーム21、23とアーム22、24とは、逆位相で駆動振動しているため、アーム21、23の検出振動とアーム22、24の検出振動とは逆位相となる。

10

【0094】

検出振動58により検出部41～48から出力される検出信号は、駆動振動56と同じ周波数で、かつ、角速度57に依存した振幅を有する。したがって、この検出信号の大きさを測定することにより、角速度57の大きさ z を検出することができる。

【0095】

図19は、Y軸周りの角速度を検出する場合を示している。Y軸周りの角速度59が入力されると、コリオリの力により錘25～28にZ軸方向の検出振動60が発生する。なお、アーム21、23とアーム22、24とは、逆位相で駆動振動しているため、アーム21、23の検出振動とアーム22、24の検出振動とは逆位相となる。

20

【0096】

検出振動60により検出部41～48から出力される検出信号は、駆動振動56と同じ周波数で、かつ、角速度59に依存した振幅を有する。したがって、この検出信号の大きさを測定することにより、角速度59の大きさ y を検出することができる。

【0097】

図20は、角速度検出素子16の検出部41～48から出力される信号の位相を示す図である。ここでは検出部41～48から出力される信号をそれぞれS1～S8として示している。そして駆動回路50から与えられる駆動信号の位相に対して、各検出部に生じる駆動信号の位相と、X軸、Y軸及びZ軸周りの角速度が加わった場合の位相、及びX軸、Y軸及びZ軸方向の加速度が加わった場合の位相を示している。

30

【0098】

図20より、Z軸周りの角速度57の大きさ z は、数式(1)により算出される。

【0099】

$$z = \{ (S2 + S5) + (S3 + S8) \} - \{ (S1 + S6) + (S4 + S7) \} \quad (1)$$

また、Y軸周りの角速度59の大きさ y は、数式(2)により算出される。

【0100】

$$y = \{ (S2 + S5) + (S1 + S6) \} - \{ (S3 + S8) + (S4 + S7) \} \quad (2)$$

40

上記の数式(1)及び数式(2)の演算は、図21に示す検出回路61で行うことができる。図21は角速度検出素子16と検出回路との接続関係を示す図である。検出回路61は角速度検出素子16の検出部41～48より出力された信号S1～S8を受けて処理する。

【0101】

数式(1)に対して、駆動信号の位相を代入すると、結果は0となる。すなわち、検出部41～48には駆動信号が不要信号として混入されるが、この駆動信号は数式(1)の演算により互いに相殺される。同様に、数式(1)にX軸周りの角速度、Y軸周りの角速度、X軸方向の加速度、Y軸方向の加速度、Z軸方向の加速度が加わった場合の位相を代

50

入すると、結果はそれぞれ0となる。すなわち、不要信号である他軸周りの角速度、他軸方向の加速度による不要信号が混入しても、数式(1)の演算により互いに相殺される。

【0102】

数式(2)に対して、駆動信号、X軸周りの角速度、Z軸周りの角速度、X軸方向の加速度、Y軸方向の加速度、Z軸方向の加速度が加わった場合の位相を代入すると、結果はそれぞれ0となる。すなわち、不要信号である駆動信号、他軸周りの角速度及び他軸方向の加速度による不要信号が混入しても、数式(2)の演算により互いに相殺される。

【0103】

このように、検出部41~48をY軸に平行な軸C及びX軸に平行な軸Dに関して対称に設けることにより、不要信号である駆動信号、他軸周りの角速度及び他軸方向の加速度の成分を互いに相殺させることが可能となる。

10

【0104】

図21は、角速度検出素子16と検出回路61との接続関係を示した図である。固定部17A、17Bに設けられた電極パッドの一部である電極パッド491~498は、それぞれ検出部41~48と電氣的に接続されている。

【0105】

電極パッド492からの出力配線と電極パッド495からの出力配線とは結線されてIV変換アンプ62Aに接続されている。すなわち、信号S2と信号S5とは重畳されてIV変換アンプ62Aに入力する。また電極パッド493からの出力配線と電極パッド498からの出力配線とは結線されてIV変換アンプ62Bに接続されている。すなわち、信号S3と信号S8とは重畳されてIV変換アンプ62Bに入力する。また電極パッド491からの出力配線と電極パッド496からの出力配線とは結線されてIV変換アンプ62Cに接続されている。すなわち、信号S1と信号S6とは重畳されてIV変換アンプ62Cに入力する。また電極パッド494からの出力配線と電極パッド497からの出力配線とは結線されてIV変換アンプ62Dに接続されている。すなわち、信号S4と信号S7とは重畳されてIV変換アンプ62Dに入力する。

20

【0106】

Z軸周りの角速度は以下の構成により算出される。IV変換アンプ62Aからの出力配線とIV変換アンプ62Bからの出力配線とが結線され、IV変換アンプ62Cからの出力配線とIV変換アンプ62Dからの出力配線とが結線されている。これらの結線で合成された信号がそれぞれ差動アンプ63Zに入力される。さらに差動アンプ63Zから出力された信号は、駆動回路50から出力された信号を用いて検波回路64Zで検波される。そしてローパスフィルタ65Zで信号を抽出する。このようにしてZ軸周りの角速度57の大きさ ω_z は出力端子66Zから出力される。

30

【0107】

Y軸周りの角速度は以下の構成により算出される。IV変換アンプ62Aからの出力配線とIV変換アンプ62Cからの出力配線とが結線され、IV変換アンプ62Bからの出力配線とIV変換アンプ62Dからの出力とが結線配線されている。これらの結線で合成された信号がそれぞれ差動アンプ63Yに入力される。さらに差動アンプ63Yから出力された信号は、駆動回路50から出力された信号を用いて検波回路64Yで検波される。そしてローパスフィルタ65Yで信号を抽出する。このようにしてY軸周りの角速度59の大きさ ω_y は出力端子66Yから出力される。

40

【0108】

図20、図21から分かるように、駆動信号は、IV変換アンプ62A~IV変換アンプ62Dへ入力される前に、電極パッド491~電極パッド498の結線により、相殺されている。したがって、IV変換アンプ62A~IV変換アンプ62Dで増幅する前に、駆動信号を相殺することができる。

【0109】

また、Y軸周りの角速度は、Z軸周りの角速度を検出するための差動アンプ63Zへ入力される前に、IV変換アンプ62A~IV変換アンプ62Dの結線により相殺されてい

50

る。したがって、差動アンプ 6 3 Z で増幅する前に、Y 軸周りの角速度を相殺することができる。

【 0 1 1 0 】

また、Z 軸周りの角速度成分は、Y 軸周りの角速度を検出するための差動アンプ 6 3 Y へ入力される前に、I V 変換アンプ 6 2 A ~ I V 変換アンプ 6 2 D の結線により相殺されている。

【 0 1 1 1 】

また、X 軸方向の加速度は、I V 変換アンプ 6 2 A ~ I V 変換アンプ 6 2 D へ入力される前に相殺することができ、Y 軸方向の加速度は、差動アンプ 6 3 Z で増幅する前に相殺することができる。

10

【 0 1 1 2 】

以上のように、検出部 4 1 ~ 4 8 を Y 軸に平行な軸 C 及び X 軸に平行な軸 D に関して対称に設けたことにより、不要信号である駆動信号、他軸周りの角速度及び他軸方向の加速度の成分を互いに相殺させることができる。

【 0 1 1 3 】

なお、図 2 2 に示すように、アーム 2 1 ~ 2 4 に駆動部 6 7 ~ 7 4 をさらに設けてもよい。図 2 2 は本実施の形態による他の角速度検出素子 1 6 A の上面図である。これにより、アーム 2 1 ~ 2 4 を Y 軸方向にも振動させることができ、X 軸周りの角速度をも検出することが可能となる。この場合、X 軸周りの角速度の大きさ x は、数式 (3) により算出することができる。

20

【 0 1 1 4 】

$$x = (S 1 + S 2 + S 3 + S 4) - (S 5 + S 6 + S 7 + S 8) \quad (3)$$

このように、駆動部 6 7 ~ 7 4 を設けることにより、3 軸の角速度を同時に検出することができる。また、各軸の角速度の検出過程において、不要信号である駆動信号、他軸周りの角速度及び他軸方向の加速度を互いに相殺させることが可能となる。

【 0 1 1 5 】

なお、本実施の形態における角速度検出素子 1 6、1 6 A では、錘 2 5 ~ 2 8 を設けられたアーム 2 1 ~ 2 4 を中央梁部 2 0 B が支持し、中央梁部 2 0 B を内側梁部 2 0 A が支持している。さらに接続部 1 9 A、1 9 B を介して、内側梁部 2 0 A を外側梁部 1 8 A、1 8 B が支持している。この構造により、角速度検出素子 1 6 A は 3 軸の角速度を同時に検出することができる。しかしながら、加速度や衝撃等の影響を受けやすくなるというデメリットが生じる。したがって、角速度検出素子 1 6 の素子構造において特に、他軸周りの角速度及び他軸方向の加速度を互いに相殺させる効果が顕著となる。また第 1 スリット 8 0 A、8 0 B でセンシング部を外枠部内に懸架することにより、外部応力の影響を軽減することができる。

30

【 0 1 1 6 】

なお図 1 4 A、図 2 2 に示すように、外側梁部 1 8 A、1 8 B を挟んで対向するように一対で固定部 1 7 A、1 7 B が形成され、外側梁部 1 8 A、1 8 B は固定部 1 7 A、1 7 B を挟んで対向するように一対で形成されている。この構造において、接続部 1 9 A、1 9 B は、外側梁部 1 8 A、1 8 B と内側梁部 2 0 A とが平行な 2 箇所形成されていることが好ましい。これにより、角速度検出素子 1 6 の設置方向に関係なくセンシング部を外枠部内に懸架することができる。

40

【 0 1 1 7 】

なお外側梁部 1 8 A、1 8 B に平行な方向に応力が印加されない条件では、接続部 1 9 A、1 9 B は固定部 1 7 A、1 7 B と内側梁部 2 0 A とが平行な 2 箇所形成してもよい。

【 0 1 1 8 】

次に本実施の形態における他の角速度検出素子について説明する。

【 0 1 1 9 】

図 2 3 は、本発明の実施の形態 2 によるさらに他の角速度検出素子 1 6 B の上面図であ

50

る。以下、特徴部分について、図 1 4 A、図 2 2 に示す角速度検出素子 1 6、1 6 A との相違点を中心に説明する。

【 0 1 2 0 】

角速度検出素子 1 6 B では、内側梁部 2 0 A の固定部 1 7 A と第 1 スリット 8 0 B を介して対向する辺におけるアーム 2 1 側に検出部 7 6 が設けられ、アーム 2 3 側に検出部 7 8 が設けられている。また、内側梁部 2 0 A の固定部 1 7 B と第 1 スリット 8 0 A を介して対向する辺におけるアーム 2 2 側に検出部 7 7 が設けられ、アーム 2 4 側に検出部 7 9 が設けられている。検出部 7 6、7 8 と検出部 7 7、7 9 とは軸 C に関して対象に設けられ、検出部 7 6、7 7 と検出部 7 8、7 9 とは軸 D に関して対称に設けられている。これ以外の構成は図 2 2 に示す角速度検出素子 1 6 A と同様である。検出部 7 6 ~ 7 9 を用いて、角速度検出素子 1 6 B に加わる X 軸周りの角速度を検出することができる。

10

【 0 1 2 1 】

図 2 4 では、検出部 7 6 ~ 7 9 から出力される信号をそれぞれ S 9 ~ S 1 2 として示している。図 2 4 は駆動回路 5 0 から与えられる駆動信号の位相に対して、各検出部に生じる駆動信号の位相と、X 軸、Y 軸及び Z 軸周りの角速度が加わった場合の位相と、X 軸、Y 軸及び Z 軸方向の加速度が加わった場合の位相を示している。

【 0 1 2 2 】

図 2 4 より、X 軸周りの角速度の大きさ x_2 は、数式 (4) により算出することができる。

【 0 1 2 3 】

$$x_2 = (S 9 + S 1 1) - (S 1 0 + S 1 2) \quad (4)$$

数式 (4) に対して、駆動信号、Y 軸及び Z 軸周りの角速度、X 軸、Y 軸及び Z 軸方向の加速度が加わった場合の位相を代入すると、結果はそれぞれ 0 となる。すなわち、不要信号である他軸周りの角速度、他軸方向の加速度が混入しても、数式 (4) の演算により互いに相殺される。

20

【 0 1 2 4 】

なお、図 2 4 から分かるように、検出部 7 6 ~ 7 9 を軸 C 及び軸 D に関して対称となるように内側梁部 2 0 A に設けることにより、検出部 7 6 ~ 7 9 に駆動信号が現れなくなる。これにより、複数の検出部から出力される信号を加算せずとも、不要信号で駆動信号の影響をなくすことができる。

30

【 0 1 2 5 】

図 1 4 A、図 2 2 の構成では、例えば、外枠部に対して検出部 4 1 ~ 4 8 の位置がずれた場合には、数式 (1) や数式 (2)、数式 (3) の演算を行っても駆動信号を相殺することができない。一方、角速度検出素子 1 6 B では、外枠部に対して検出部 7 6 ~ 7 9 の位置がずれた場合であっても、駆動信号成分の影響をなくすことが可能となる。同様に、不要信号である Y 軸周りの角速度、Z 軸周りの角速度及び Y 方向の加速度についても、検出部 4 1 ~ 4 8 に現れないため、同様の効果を奏する。

【 0 1 2 6 】

以上のように、検出部 7 6 ~ 7 9 を軸 C 及び軸 D に関して対称に設けることにより、不要信号である駆動信号、他軸周りの角速度及び他軸方向の加速度の成分をなくす、あるいは互いに相殺させることが可能となる。

40

【 0 1 2 7 】

このように、互いに直交する X 軸、Y 軸、Z 軸において、角速度検出素子 1 6 B は X 軸と Y 軸とからなる X Y 平面に延伸するように形成されている。このとき、アーム 2 1 ~ 2 4 に設けられた検出部 4 1 ~ 4 8 を Z 軸周りの角速度検出部とし、内側梁部 2 0 A の、固定部 1 7 A、1 7 B に平行な辺上に X 軸周りの角速度を検出する検出部 7 6 ~ 7 9 を設けることが好ましい。

【 0 1 2 8 】

次に本実施の形態におけるさらに他の角速度検出素子について説明する。図 2 5 は、本発明の実施の形態 2 による角速度検出素子 1 6 C の上面図である。以下、特徴部分につい

50

て、図 1 4 A、図 2 2 に示す角速度検出素子 1 6、1 6 A との相違点を中心に説明する。

【 0 1 2 9 】

角速度検出素子 1 6 C では、中央梁部 2 0 B におけるアーム 2 1 側に検出部 8 1 が設けられ、アーム 2 2 側に検出部 8 2 が設けられ、アーム 2 3 側に検出部 8 3 が設けられ、アーム 2 4 側に検出部 8 4 が設けられている。それ以外の構成は図 2 2 に示す角速度検出素子 1 6 A と同様である。ここで、検出部 8 1、8 3 と検出部 8 2、8 4 とは軸 C に関して対象に設けられている。また、検出部 8 1、8 2 と検出部 8 3、8 4 とは軸 D に関して対称に設けられている。検出部 8 1 ~ 8 4 を用いて、角速度検出素子 1 6 C に加わる Y 軸周りの角速度を検出することができる。

【 0 1 3 0 】

図 2 6 では、検出部 8 1 ~ 8 4 から出力される信号をそれぞれ S 1 3 ~ S 1 6 として示している。図 2 6 は、駆動回路 5 0 から与えられる駆動信号の位相に対して、各検出部に生じる駆動信号の位相と、X 軸、Y 軸及び Z 軸周りの角速度が加わった場合の位相と、X 軸、Y 軸及び Z 軸方向の加速度が加わった場合の位相とを示している。

【 0 1 3 1 】

図 2 6 より、Y 軸周りの角速度の大きさ y_2 は、数式 (5) により算出することができる。

【 0 1 3 2 】

$$y_2 = (S 1 3 + S 1 5) - (S 1 4 + S 1 6) \quad (5)$$

数式 (5) に対して、駆動信号、X 軸及び Z 軸周りの角速度、X 軸、Y 軸及び Z 軸方向の加速度が加わった場合の位相を代入すると、結果はそれぞれ 0 となる。すなわち、不要信号である他軸周りの角速度、他軸方向の加速度が混入しても、数式 (5) の演算により互いに相殺される。

【 0 1 3 3 】

なお、図 2 6 から分かるように、検出部 8 1 ~ 8 4 を軸 C 及び軸 D に関して対称となるように中央梁部 2 0 B に設けることにより、検出部 8 1 ~ 8 4 に駆動信号が現れなくなる。これにより、複数の検出部から出力される信号を加算せずとも、不要信号で駆動信号の影響をなくすることができる。図 1 4 A、図 2 2 の構成では、例えば、外枠部に対して検出部 4 1 ~ 4 8 の位置がずれた場合には、数式 (1) や数式 (2)、数式 (3) の演算を行っても駆動信号を相殺することができない。これに対し、角速度検出素子 1 6 C は、外枠部に対して検出部 8 1 ~ 8 4 の位置がずれても、駆動信号成分の影響をなくすることが可能となる。同様に、不要信号である X 軸周りの角速度、Z 軸周りの角速度及び X 方向の加速度についても、検出部 8 1 ~ 8 4 に現れないため、同様の効果を奏する。

【 0 1 3 4 】

以上のように、検出部 8 1 ~ 8 4 を軸 C 及び軸 D に関して対称に設けることにより、不要信号である駆動信号、他軸周りの角速度及び他軸方向の加速度の成分をなくす、或いは互いに相殺させることが可能となる。

【 0 1 3 5 】

次に本実施の形態におけるさらに他の角速度検出素子について説明する。図 2 7 は本発明の実施の形態 2 による角速度検出素子 1 6 G の部分上面図である。以下、特徴部分について、図 1 4 A、図 2 2 に示す角速度検出素子 1 6、1 6 A との相違点を中心に説明する。

【 0 1 3 6 】

角速度検出素子 1 6 G は、図 1 4 A に示す角速度検出素子 1 6 とはアームの形状が異なる。また駆動部、検出部の配置が異なる。図 2 7 は一例として第 1 アーム (以下、アーム) 2 1 1 の形状を示している。図示していないが、図 1 4 A におけるアーム 2 2、2 3、2 4 に相当する第 2 アーム、第 3 アーム、第 4 アームもアーム 2 1 1 と同様の形状を有する。各アームの対称関係は角速度検出素子 1 6 と同様である。

【 0 1 3 7 】

アーム 2 1 1 は、中央梁部 2 0 B に連結された第 1 端 2 1 1 A と、第 1 角部 2 1 1 B と

10

20

30

40

50

第2角部211Cを有する。すなわちアーム211は、第1アーム部211Eと、第2アーム部211Fと、第3アーム部211Gとで構成されたJ字状の形状を有する。第1アーム部211Eは第1端211Aと第1角部211Bとの間の部分、第2アーム部211Fは第1角部211Bと第2角部211Cとの間の部分、第3アーム部211Gは第2角部211Cと第2端211Dとの間の部分である。第2端211Dには錘25が接続されている。錘25は、第3アーム部211Gの外側の延長が略方形の錘25の一辺と一致するようにアーム211に連結されている。

【0138】

アーム211および錘25はXY平面内で駆動振動させることができ、また、Z軸方向にも撓ませることができる。アーム211及び錘25を構成する材料については図14A

10

【0139】

駆動部29、30は第1アーム部211E上に設けられている。検出部41、42は第2アーム部211F上に設けられている。検出部41、42や駆動部29、30の構成は図14Aに示す構成と同様である。駆動部29、30にそれぞれ逆位相の電圧を印加することによって、アーム211をXY平面内に駆動振動させることができる。

【0140】

次に、この角速度検出素子の原理を説明する。外部の駆動回路(図示せず)から、駆動部29、30に駆動振動共振周波数の交流電圧を印加されると、アーム211と錘25とが駆動振動方向D1に沿ってXY平面内で駆動振動する。このとき、Z軸周りに角速度が加わると、駆動振動方向D1と直交した方向にコリオリ力が発生する。このコリオリ力によって、検出振動方向D2に駆動振動と同調した検出振動が励起される。この検出振動により発生したアーム211の歪みを検出部41、42がアーム211の変位として検出することによって角速度を検出することができる。

20

【0141】

ところで、通常は検出振動方向D2の検出振動共振周波数は、駆動振動方向D1の駆動振動共振周波数の近傍に設定される。これは、角速度が加わった際に発生する検出振動は駆動振動と同調するため、検出振動共振周波数が駆動振動共振周波数に近ければ、それだけ検出振動が大きく励起されやすいためである。

【0142】

なお駆動振動方向D1と検出振動方向D2の向きが異なるため、駆動振動共振周波数と検出振動共振周波数とを近づけるのは困難である。例えば、図14Aに示す角速度検出素子16で駆動振動共振周波数を40kHz程度に設計すると、検出振動共振周波数は65kHz付近になり、互いの共振周波数が25kHzも離れてしまう。このため、Z軸周りの角速度感度が低くなってしまう。

30

【0143】

それに対して図27に示す構成では、アーム211のX軸方向の長さW1は、錘25のX軸方向の長さW2よりも大きく設定されている。これによって、Z軸周り角速度印加時の検出共振振動時に応力が集中しやすい第2角部211C付近の剛性が下がり、Z軸周り角速度印加時の検出共振振動の共振周波数を下げることが可能になる。このような構成で角速度検出素子を設計すると、駆動振動共振周波数40kHzに対して、検出振動共振周波数は45kHz程度の設計が可能になり、互いの共振周波数差を5kHz以内に収めることができる。これによって、Z軸周りの角速度感度に比べて約5倍の感度を得ることができる。

40

【0144】

なお、図27に示すように、第2アーム部211Fの幅211Kを、第1アーム部211Eの幅211Hよりも小さくしてもよい。この構成により、第2角部211C付近の剛性を下げることができるため、駆動振動共振周波数と検出振動共振周波数とを近づけることができる。また、第3アーム部211Gの幅211Jを、第2アーム部211Fの幅211Kよりも小さくしてもよい。あるいは、第1角部211Bの曲率半径を第2角部21

50

1 Cの曲率半径よりも大きくしてもよい。これらの構成によっても、それぞれ同様の理由で駆動振動共振周波数と検出振動共振周波数とを近づけることができる。これらの構成はそれぞれ単独でも効果が得られるが、組み合わせることによってさらに駆動振動共振周波数と検出振動共振周波数とを近づけることができる。その結果、Z軸周りの角速度感度をさらに高めることができる。

【0145】

なお、駆動振動方向D1にアーム211と錘25とを駆動振動させた場合、第1アーム部211Eに歪みが集中しやすい。したがって、第1アーム部211Eに駆動部29、30を設けることにより、駆動効率を改善することができる。

【0146】

同様に、検出振動方向D2にアーム211と錘25とを検出振動させた場合、第2アーム部211Fに歪みが集中しやすい。したがって、第2アーム部211Fに検出部41、42を設けることにより、検出効率を改善することができる。ただし、アーム211は駆動振動方向D1に沿って駆動振動し、検出振動方向D2に沿って検出振動させるため、第3アーム部211Gに検出部41、42を設けても検出振動を検出することができる。

【0147】

以上のように、角速度検出素子の駆動振動の共振周波数とZ軸周りの角速度検出振動の共振周波数を近づけることができるため、角速度センサのZ軸周りの角速度の検出感度を向上させることができる。

【0148】

次に本実施の形態におけるさらに他の角速度検出素子について説明する。図28は本発明の実施の形態2による角速度検出素子16Dの上面図である。以下、特徴部分について、図27に示す角速度検出素子16Gとの相違点を中心に説明する。

【0149】

角速度検出素子16Dでは、Y軸回りの角速度を検出する検出部91～94が内側梁部20Aの、外側梁部18A、18Bに平行な辺上に形成されている。これ以外の構成は角速度検出素子16Gと同様である。

【0150】

このように検出部91～94を内側梁部20Aの、外側梁部18A、18Bに平行な辺上に形成することで、中央梁部20Bを細くすることができる。これにより、XY面内の不要な共振の周波数を下げることができる。その結果、不要な共振周波数と駆動振動の共振周波数との差を大きくすることができ、駆動振動に基づく検出振動を精度よく検出することができる。

【0151】

なおこの構成は図14A、図22、図23、図25に示す角速度検出素子16、16A、16B、16Cに適用してもよい。すなわち、図25における検出部81～84に代えて、検出部91～94を設けてもよい。

【0152】

このように、互いに直交するX軸、Y軸、Z軸において、角速度検出素子16DはX軸とY軸とからなるXY平面に延伸するように形成されている。このとき、アーム211～214に設けられた検出部41～48をZ軸周りの角速度検出部とし、内側梁部20Aの、外側梁部18A、18Bに平行な辺上にX軸周りの角速度を検出する検出部91～94を設けることが好ましい。

【0153】

なお、X軸回りの角速度を検出する検出部76～79は内側梁部20Aの、固定部17A、17Bに平行な辺上に形成されている。この構成による効果は、図23に示す構成と同様である。

【0154】

次に本実施の形態におけるさらに他の角速度検出素子について説明する。図29A、図29Bは本発明の実施の形態2による角速度検出素子16E、16Fの上面図である。以

10

20

30

40

50

下、特徴部分について、図 28 に示す角速度検出素子 16D との相違点を中心に説明する。

【0155】

図 29A に示す角速度検出素子 16E では内側梁部 20A の、外側梁部 18A、18B に平行な辺上に形成された検出部 91～94 に隣接して、内側梁部 20A に第 2 スリット 96A～96D が形成されている。

【0156】

検出部 91～94 の感度を向上させるには、検出部 91～94 の面積を大きくする必要がある。しかしながら検出部 91～94 の面積を大きくするために内側梁部 20A の幅を大きくすると、内側梁部 20A の剛性が大きくなる。そのため、アーム 211～214 の不要な共振の周波数が高まり、駆動周波数に近づく。その結果、不安定な振動状態が誘発され、測定精度が低下する。

10

【0157】

これに対し、図 29A に示す構成では第 2 スリット 96A～96D を設けている。これにより、内側梁部 20A の上面面積に対し相対的に検出部 91～94 の面積を大きくしつつ、内側梁部 20A の剛性を低下させることができる。これにより検出部 91～94 の感度を向上しつつ、アーム 211～214 の駆動周波数と不要な共振の周波数との差を大きくすることができる。

【0158】

なお内側梁部 20A の頂点側は辺中央に比べて剛性が大きい。そのためアーム 211～214 の駆動周波数と不要な共振の周波数との差を大きくするには、第 2 スリット 96A～96D を内側梁部 20A の頂点側に形成することが好ましい。

20

【0159】

また第 2 スリット 96A～96D は上面視で、上底とこの上底より長い下底と上底と下底とを繋ぐ斜辺とを有する直角台形状であり、下底が内側梁部 20A の幅方向において外側になるよう形成され、斜辺が内側梁部 20A の頂点側に形成されていることがさらに好ましい。このような形状に第 2 スリット 96A～96D を形成することで、内側梁部 20A の剛性と検出部 91～94 の感度を調整しやすい。

【0160】

図 29B に示す角速度検出素子 16F では内側梁部 20A の、固定部 17A、17B に平行な辺上に形成された検出部 76～79 に隣接して、内側梁部 20A に第 2 スリット 98A～98D が形成されている。

30

【0161】

図 29A の場合と同様に、検出部 76～79 の感度を向上させるには、検出部 76～79 の面積を大きくする必要がある。しかしながら検出部 76～79 の面積を大きくするために内側梁部 20A の幅を大きくすると、内側梁部 20A の剛性が大きくなる。そのため、アーム 211～214 の不要な共振の周波数が高まり、駆動周波数に近づく。その結果、不安定な振動状態が誘発され、測定精度が低下する。

【0162】

具体的には、アーム 211～214 の駆動周波数と不要な共振の周波数との差は 500 Hz 以上、できれば 1000 Hz 以上であることが好ましい。搭載する装置の小型化に伴い、角速度検出素子 16F も小さくする必要がある。しかしながら角速度検出素子 16F が小さいほど、その質量も小さくなり、その結果、不要共振周波数が大きくなって駆動周波数に近くなる。

40

【0163】

これに対し、図 29B に示す構成では第 2 スリット 98A～98D を設けている。これにより、内側梁部 20A の上面面積に対し相対的に検出部 76～79 の面積を大きくしつつ、内側梁部 20A の剛性を低下させることができる。これにより検出部 76～79 の感度を向上しつつ、アーム 211～214 の駆動周波数と不要な共振の周波数との差を大きくすることができる。

50

【 0 1 6 4 】

具体的には、角速度検出素子 1 6 F の大きさが 2 . 5 × 2 . 5 mm 程度で基材が 1 5 0 μ m 厚の Si で構成されていて、駆動周波数が 4 0 k H z 付近であるとき、上記周波数差は 1 0 0 0 H z 程度になる。なおこの効果は、第 1 スリット 8 0 A、8 0 B を設ける効果とは独立して発揮される。

【 0 1 6 5 】

なお内側梁部 2 0 A の頂点側は辺中央に比べて剛性が大きい。そのためアーム 2 1 1 ~ 2 1 4 の駆動周波数と不要な共振の周波数との差を大きくするには、第 2 スリット 9 8 A ~ 9 8 D を内側梁部 2 0 A の頂点側に形成することが好ましい。また図 2 9 B に示す構造では、固定部 1 7 A、1 7 B と内側梁部 2 0 A との間に接続部はないため、内側梁部 2 0 A の中央梁部 2 0 B 寄りの箇所での感度が大きくなる。したがって検出部 7 6 ~ 7 9 を内側梁部 2 0 A の、中央梁部 2 0 B との接続位置付近に設けることにより検出部 7 6 ~ 7 9 による X 軸周りの角速度検出の感度も向上する。そして感度への寄与の少ない内側梁部 2 0 A の頂点側に第 2 スリット 9 8 A ~ 9 8 D を形成すればよい。

10

【 0 1 6 6 】

また第 2 スリット 9 8 A ~ 9 8 D は上面視で、上底とこの上底より長い下底と上底と下底とを繋ぐ斜辺とを有する直角台形形状であり、下底が内側梁部 2 0 A の幅方向において外側になるよう形成され、斜辺が内側梁部 2 0 A の頂点側に形成されていることがさらに好ましい。このような形状に第 2 スリット 9 8 A ~ 9 8 D を形成することで、内側梁部 2 0 A の剛性と検出部 7 6 ~ 7 9 の感度を調整しやすい。なお必要に応じ、図 2 9 A に示した第 2 スリット 9 6 A ~ 9 6 D と図 2 9 B に示した第 2 スリット 9 8 A ~ 9 8 D との両方を形成してもよい。

20

【 0 1 6 7 】

なお図 2 9 A、図 2 9 B の構成は図 1 4 A、図 2 2、図 2 3、図 2 5 に示す角速度検出素子 1 6、1 6 A、1 6 B、1 6 C 適用してもよい。すなわち、図 2 5 における検出部 8 1 ~ 8 4 に代えて、検出部 9 1 ~ 9 4 を設け、さらに第 2 スリット 9 6 A ~ 9 6 D を形成してもよい。あるいは、図 2 3 の構成において、検出部 7 6 ~ 7 9 を中央梁部 2 0 B 寄りに形成し、さらに第 2 スリット 9 8 A ~ 9 8 D を形成してもよい。

【 0 1 6 8 】

なお、以上の説明では角速度検出素子 1 6 ~ 1 6 F と駆動回路 5 0 と検出回路 6 1 とで角速度センサを構成した例を説明したが、駆動回路 5 0 や検出回路 6 1 は必ずしも角速度センサに組み込まなくてもよい。すなわち角速度センサを取り付ける装置に駆動回路 5 0 や検出回路 6 1 の少なくとも一方を構成してもよい。

30

【産業上の利用可能性】

【 0 1 6 9 】

本発明の慣性力検出素子は、枠部と上支持体とを接着する際に、可撓部に蓄積される残留応力を軽減することにより、慣性力検出素子の感度の経時変化を抑制することができる。そのため、携帯端末や車両等において有用である。

【符号の説明】

【 0 1 7 0 】

1 2 中空領域
 1 4 内縁
 1 6 , 1 6 A , 1 6 B , 1 6 C , 1 6 D , 1 6 E , 1 6 F , 1 6 G 角速度検出素子 (慣性力検出素子)
 1 7 A , 1 7 B 固定部
 1 8 A , 1 8 B 外側梁部
 1 9 A , 1 9 B 接続部 (第 2 接続部)
 2 0 A 内側梁部
 2 0 B 中央梁部
 2 1 , 2 1 1 第 1 アーム (アーム)

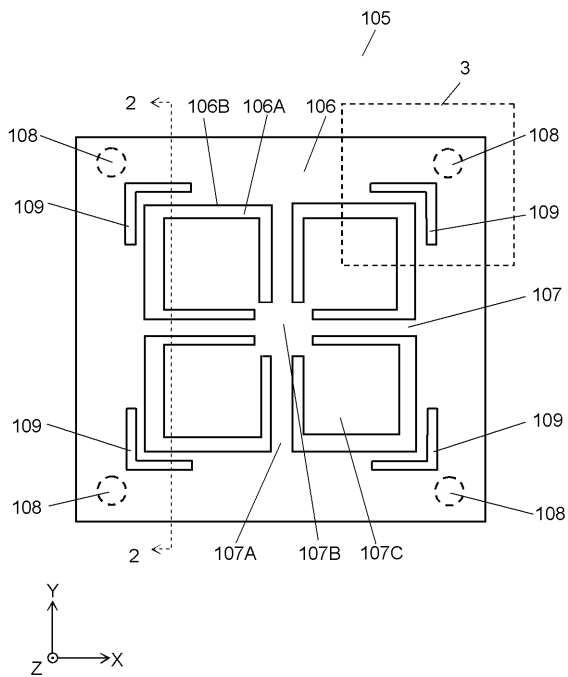
40

50

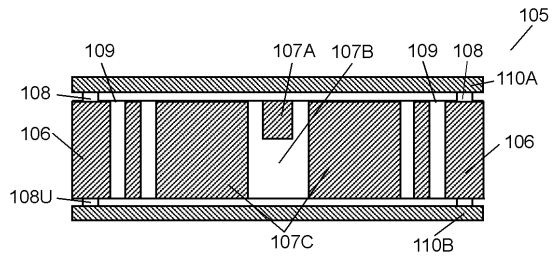
2 2 , 2 1 2	第 2 アーム (アーム)	
2 3 , 2 1 3	第 3 アーム (アーム)	
2 4 , 2 1 4	第 4 アーム (アーム)	
2 5 , 2 6 , 2 7 , 2 8	錘	
2 9 , 3 0 , 3 1 , 3 2 , 3 3 , 3 4 , 3 5 , 3 6 , 6 7 , 6 8 , 6 9 , 7 0 , 7 1 , 7 2 , 7 3 , 7 4	駆動部	
2 9 A , 3 0 A	下部電極	
2 9 B , 3 0 B	ピエゾ素子	
2 9 C , 3 0 C	上部電極	
3 7 , 3 8 , 3 9 , 4 0	モニタ部	10
4 1 , 4 2 , 4 3 , 4 4 , 4 5 , 4 6 , 4 7 , 4 8 , 7 6 , 7 7 , 7 8 , 7 9 , 8 1 , 8 2 , 8 3 , 8 4 , 9 1 , 9 2 , 9 3 , 9 4	検出部	
4 9 A , 4 9 B , 4 9 C , 4 9 D , 4 9 E , 4 9 F , 4 9 G , 4 9 H , 4 9 J , 4 9 K , 4 9 L , 4 9 M , 4 9 1 , 4 9 2 , 4 9 3 , 4 9 4 , 4 9 5 , 4 9 6 , 4 9 7 , 4 9 8	電極パッド	
5 0	駆動回路	
5 1	I V 変換アンプ	
5 2	A G C	
5 3	フィルタ	
5 4 , 5 5	ドライブアンプ	20
5 6	駆動振動	
5 7 , 5 9	角速度	
5 8 , 6 0	検出振動	
6 1	検出回路	
6 2 A , 6 2 B , 6 2 C , 6 2 D	I V 変換アンプ	
6 3 Y , 6 3 Z	差動アンプ	
6 4 Y , 6 4 Z	検波回路	
6 5 Y , 6 5 Z	ローパスフィルタ	
6 6 Y , 6 6 Z	出力端子	
8 0 A , 8 0 B	第 1 スリット (貫通孔)	30
9 6 A , 9 6 B , 9 6 C , 9 6 D , 9 8 A , 9 8 B , 9 8 C , 9 8 D	第 2 スリット	
1 0 5 , 1 0 5 A , 1 2 0 , 1 2 1 , 1 2 2 , 1 2 3 , 1 2 3 C , 1 2 3 D	慣性力検出素子	
1 0 6	枠部	
1 0 6 A	中空領域	
1 0 6 B	内縁	
1 0 6 C , 1 0 6 D	端部	
1 0 6 E , 1 0 6 F	辺	
1 0 6 G	内枠部	
1 0 6 H	薄肉部	40
1 0 7	可撓部	
1 0 7 A , 2 0 7 A , 3 0 7 A , 4 0 7 A , 1 1 0 7 A	梁部	
1 0 7 B	錘部	
1 0 7 C	補助錘部	
1 0 7 E , 1 0 7 F	接続部 (第 1 接続部)	
1 0 8 , 1 0 8 A , 1 0 8 B , 1 0 8 C , 1 0 8 D	接着部	
1 0 9	貫通孔	
1 1 0 A	上支持体	
1 1 0 B	下支持体	
1 1 1	間隙部	50

- 1 1 2 加速度検出素子 (慣性力検出素子)
- 1 1 3 , 1 1 4 , 1 1 5 電圧検出部
- 1 1 6 , 1 1 7 , 1 1 8 , 1 1 9 特性
- 2 1 1 A 第1端
- 2 1 1 B 第1角部
- 2 1 1 C 第2角部
- 2 1 1 D 第2端
- 2 1 1 E 第1アーム部
- 2 1 1 F 第2アーム部
- 2 1 1 G 第3アーム部
- 2 1 1 H , 2 1 1 J , 2 1 1 K 幅

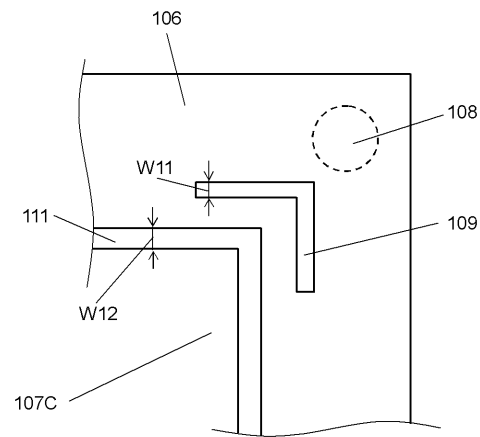
【図1】



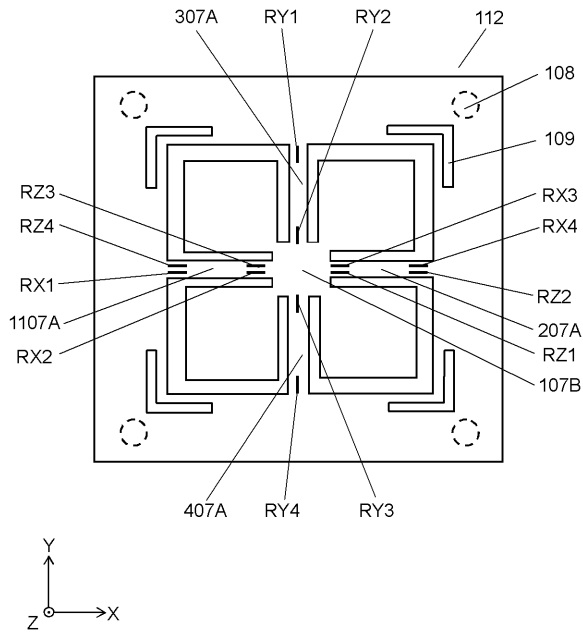
【図2】



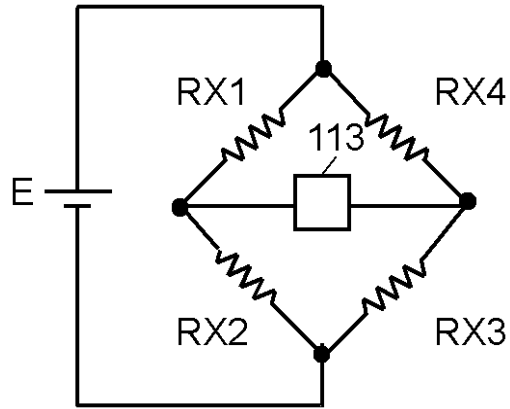
【図3】



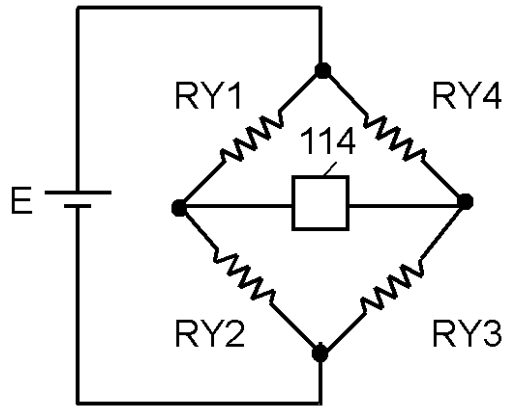
【図4】



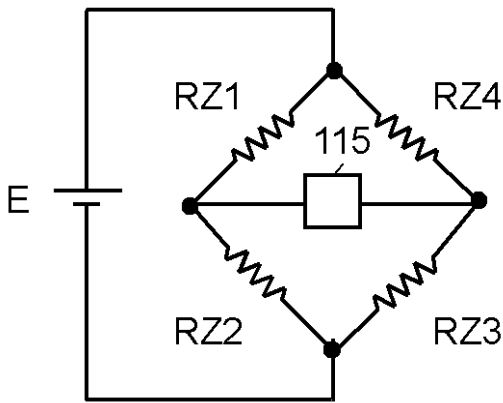
【図5A】



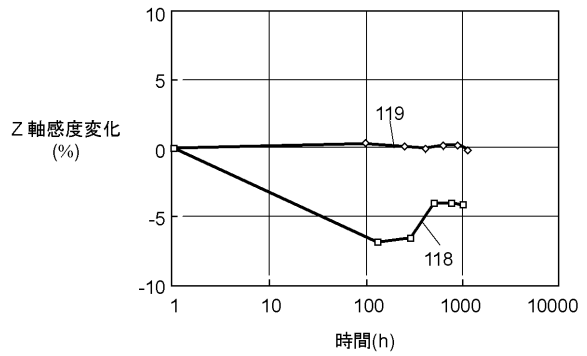
【図5B】



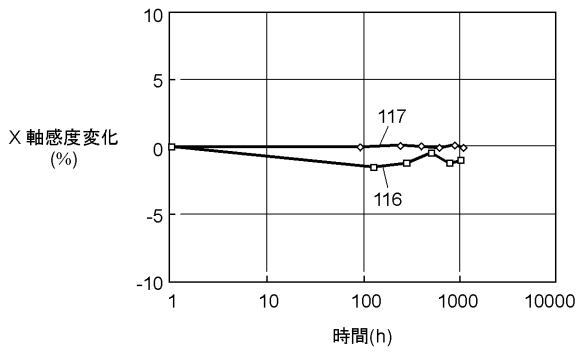
【図5C】



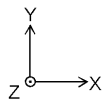
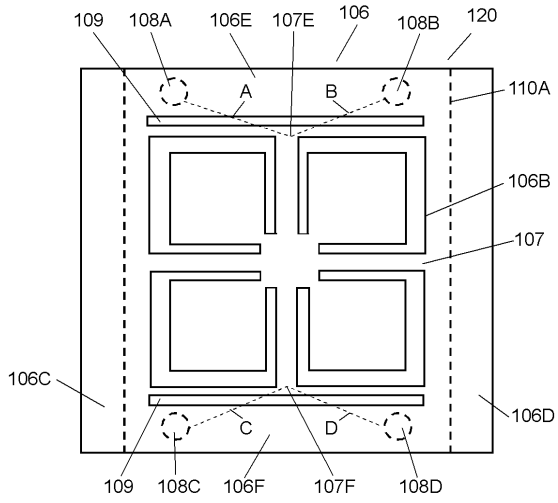
【図6B】



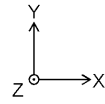
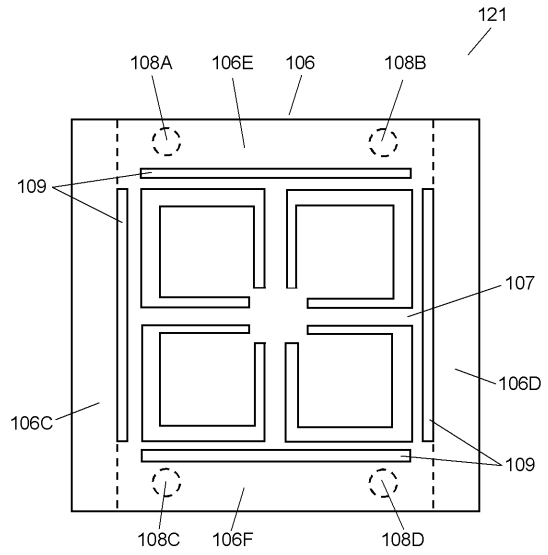
【図6A】



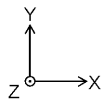
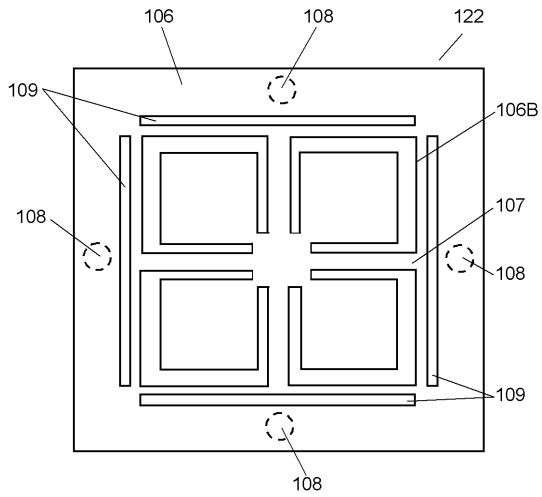
【図 7】



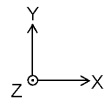
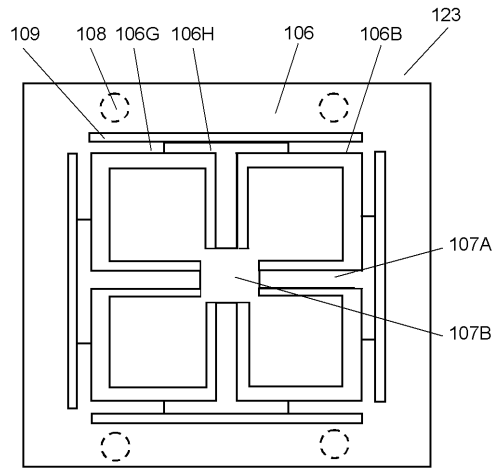
【図 8】



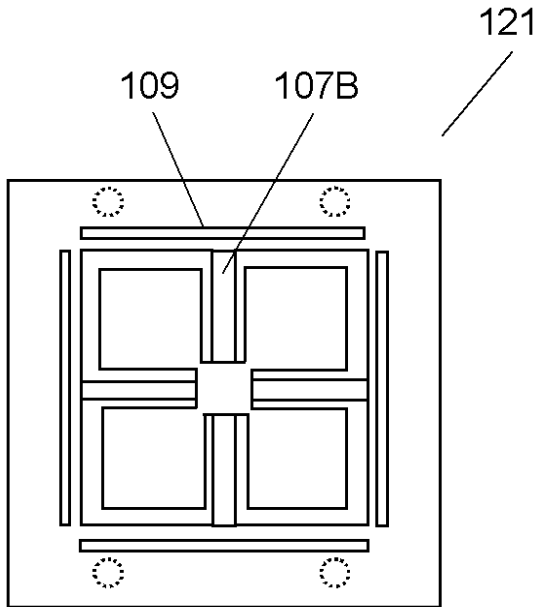
【図 9】



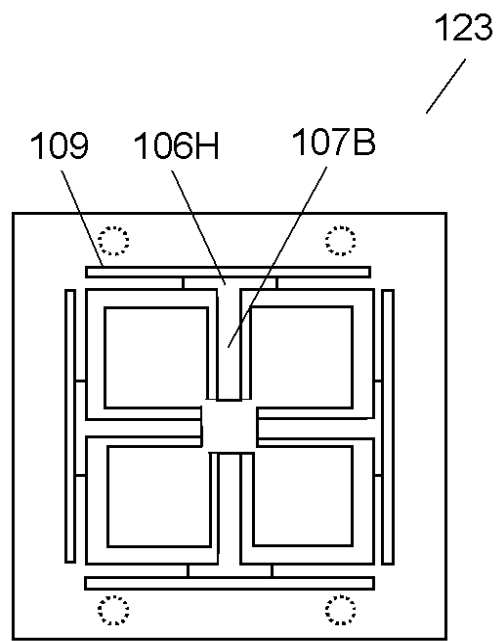
【図 10】



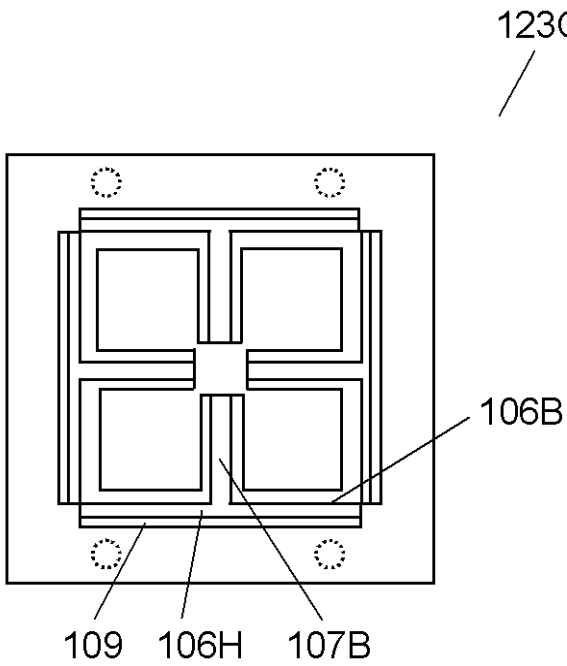
【図11A】



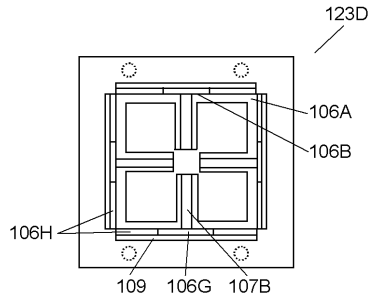
【図11B】



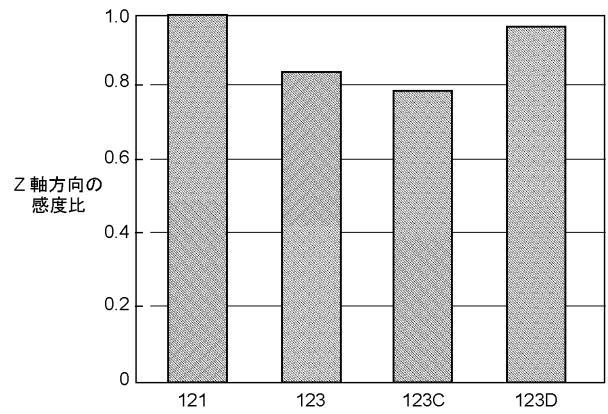
【図11C】



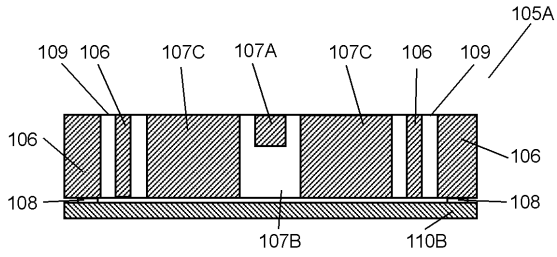
【図11D】



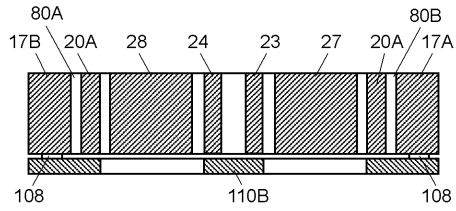
【図12】



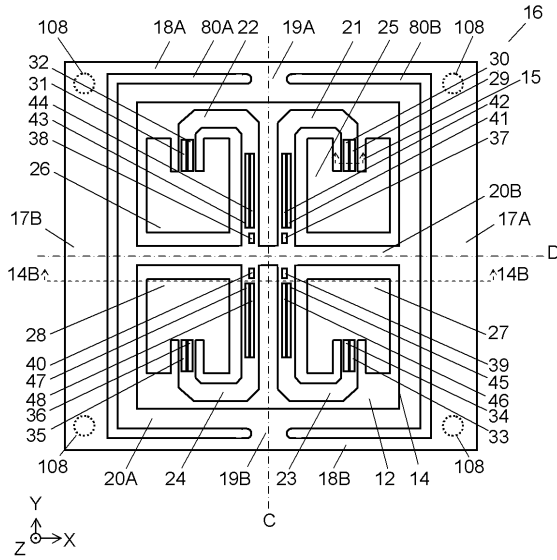
【図13】



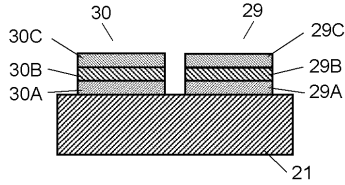
【図14B】



【図14A】



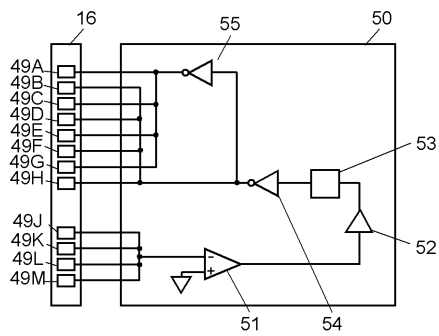
【図15】



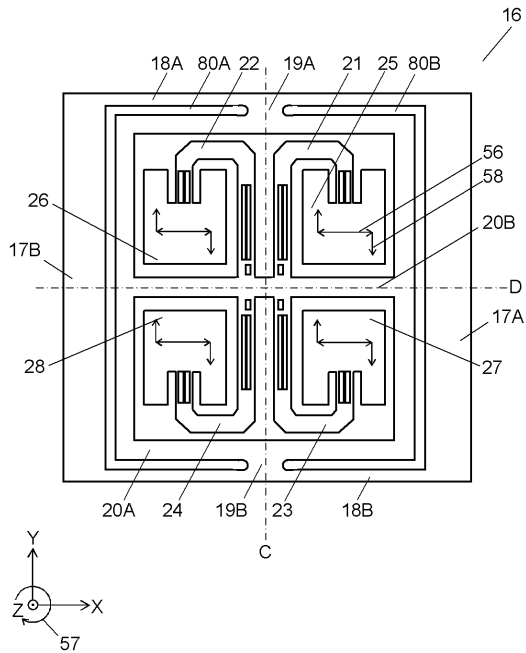
【図16】

		駆動信号の位相	アームの振動の位相
アーム 21	駆動部 29	+	+
	駆動部 30	-	
アーム 22	駆動部 31	+	-
	駆動部 32	-	
アーム 23	駆動部 33	+	+
	駆動部 34	-	
アーム 24	駆動部 35	+	-
	駆動部 36	-	

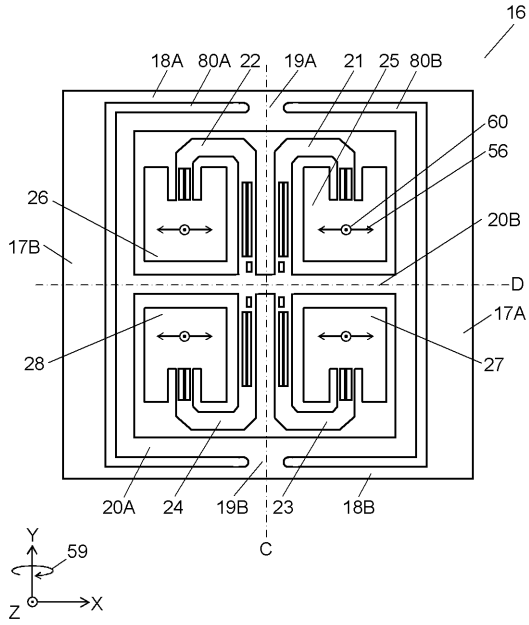
【図17】



【図18】



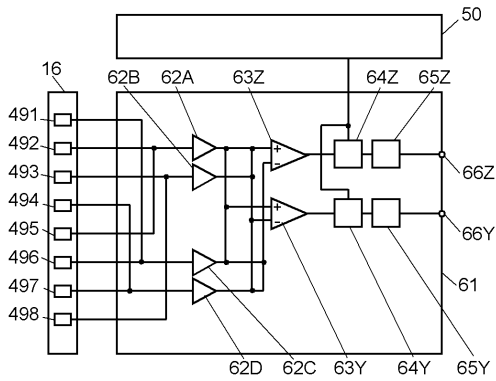
【図 19】



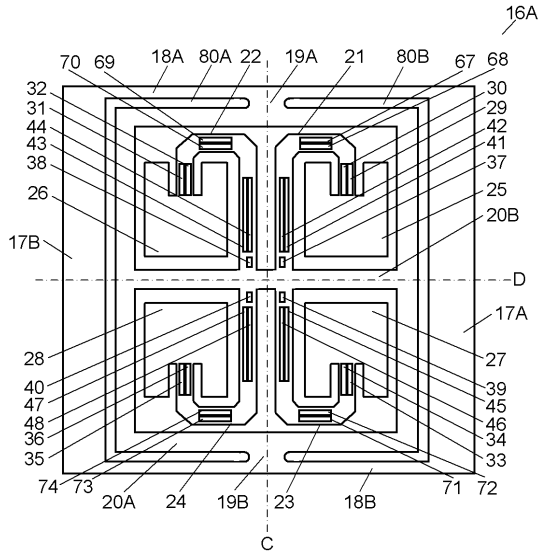
【図 20】

	駆動	X軸周り 角速度	Y軸周り 角速度	Z軸周り 角速度	X軸方向 加速度	Y軸方向 加速度	Z軸方向 加速度
S1 (検出部 41 から 出力される信号)	+	+	+	-	+	-	+
S2 (検出部 42 から 出力される信号)	-	+	+	+	-	+	+
S3 (検出部 43 から 出力される信号)	+	+	-	+	-	-	+
S4 (検出部 44 から 出力される信号)	-	+	-	-	+	+	+
S5 (検出部 45 から 出力される信号)	+	-	+	+	+	+	+
S6 (検出部 46 から 出力される信号)	-	-	+	-	-	-	+
S7 (検出部 47 から 出力される信号)	+	-	-	-	-	+	+
S8 (検出部 48 から 出力される信号)	-	-	-	+	+	-	+
数式(1)	0	0	0	8+	0	0	0
数式(2)	0	0	8+	0	0	0	0
数式(3)	0	8+	0	0	0	0	0

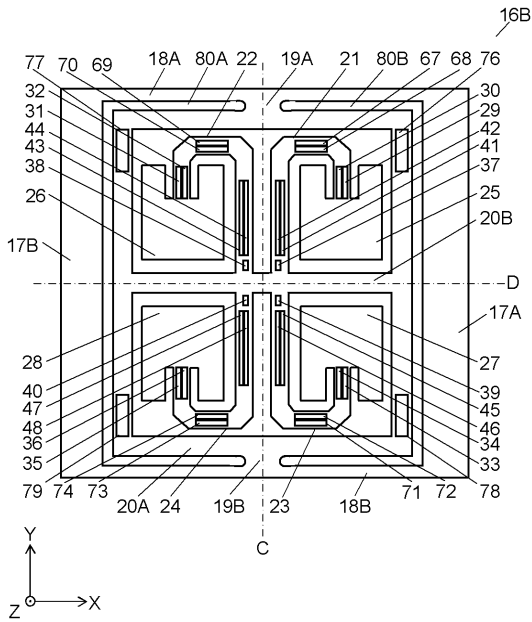
【図 21】



【図 22】



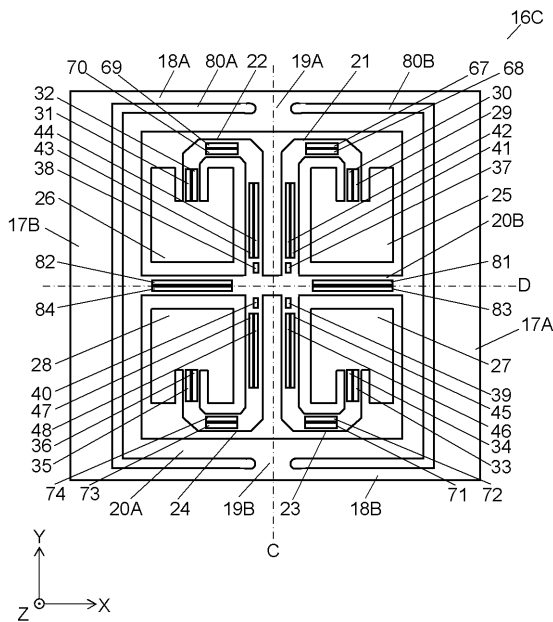
【図 2 3】



【図 2 4】

	駆動	X軸周り 角速度	Y軸周り 角速度	Z軸周り 角速度	X軸方向 加速度	Y軸方向 加速度	Z軸方向 加速度
S9 (検出部 76 から 出力される信号)	0	+	0	0	+	0	+
S10 (検出部 77 から 出力される信号)	0	-	0	0	+	0	+
S11 (検出部 78 から 出力される信号)	0	+	0	0	-	0	+
S12 (検出部 79 から 出力される信号)	0	-	0	0	-	0	+
数式(4)	0	4+	0	0	0	0	0

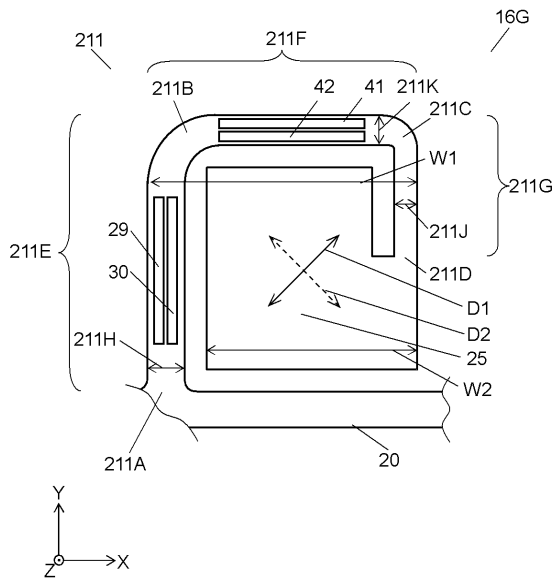
【図 2 5】



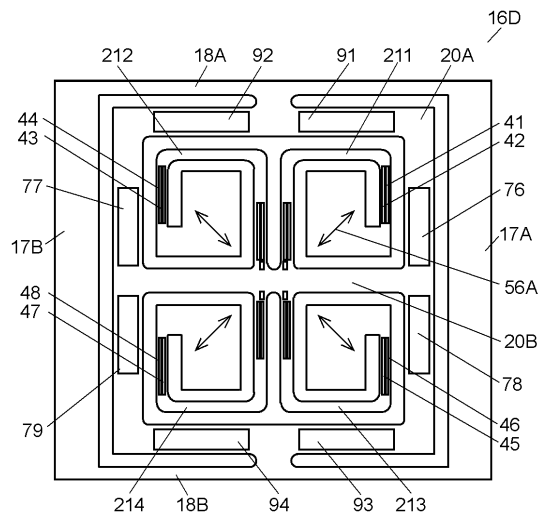
【図 2 6】

	駆動	X軸周り 角速度	Y軸周り 角速度	Z軸周り 角速度	X軸方向 加速度	Y軸方向 加速度	Z軸方向 加速度
S13 (検出部 81 から 出力 される信号)	0	0	+	0	0	+	+
S14 (検出部 82 から 出力される信号)	0	0	-	0	0	+	+
S15 (検出部 83 から 出力される信号)	0	0	+	0	0	-	+
S16 (検出部 84 から 出力される信号)	0	0	-	0	0	-	+
数式(5)	0	0	4+	0	0	0	0

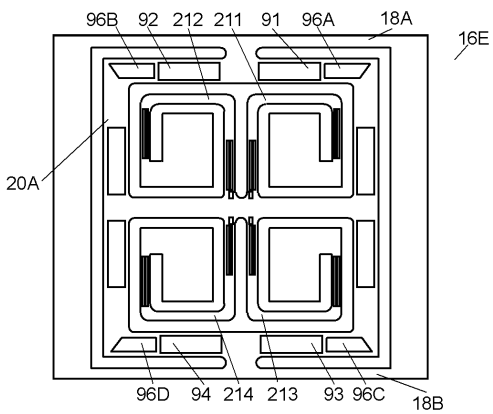
【図 27】



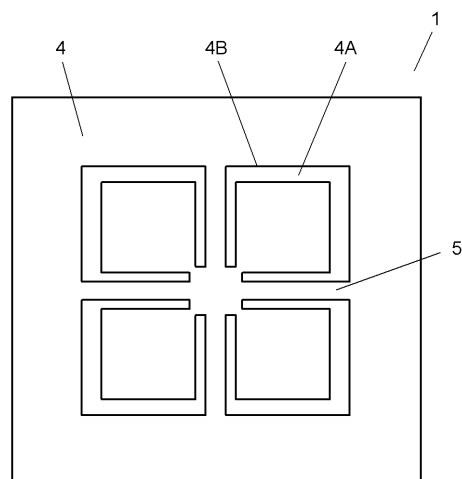
【図 28】



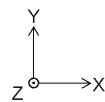
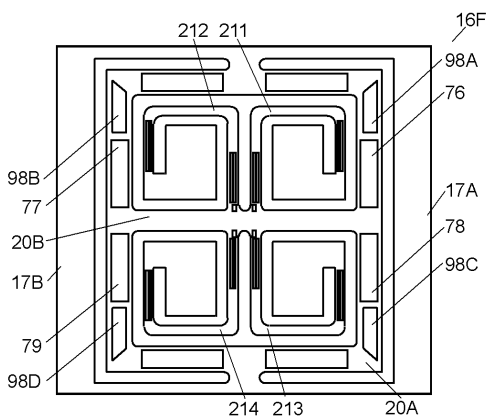
【図 29 A】



【図 30】



【図 29 B】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
G 0 1 C	19/5614	(2012.01)	G 0 1 C	19/56 1 2 1
H 0 1 L	29/84	(2006.01)	G 0 1 C	19/56 1 1 4
H 0 1 L	41/18	(2006.01)	H 0 1 L	29/84 A
H 0 1 L	41/187	(2006.01)	H 0 1 L	41/18 1 0 1 A
H 0 1 L	41/08	(2006.01)	H 0 1 L	41/18 1 0 1 D
H 0 1 L	41/09	(2006.01)	H 0 1 L	41/08 Z
			H 0 1 L	41/08 C

(31)優先権主張番号 特願2010-144643(P2010-144643)

(32)優先日 平成22年6月25日(2010.6.25)

(33)優先権主張国 日本国(JP)

(31)優先権主張番号 特願2010-144642(P2010-144642)

(32)優先日 平成22年6月25日(2010.6.25)

(33)優先権主張国 日本国(JP)

(72)発明者 山本 賢作

大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 續山 浩二

- (56)参考文献 特開2007-108044(JP,A)
 特開2005-337874(JP,A)
 国際公開第2008/129865(WO,A1)
 特開平06-345495(JP,A)
 特開平06-291334(JP,A)
 特開平06-123631(JP,A)
 特開2010-008128(JP,A)
 国際公開第2011/093077(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 P 1 5 / 0 8
 G 0 1 C 1 9 / 5 6 1 4
 G 0 1 C 1 9 / 5 6 2 1
 G 0 1 P 1 5 / 1 2
 G 0 1 P 1 5 / 1 2 5
 G 0 1 P 1 5 / 1 8
 H 0 1 L 2 9 / 8 4
 H 0 1 L 4 1 / 0 8
 H 0 1 L 4 1 / 0 9
 H 0 1 L 4 1 / 1 8
 H 0 1 L 4 1 / 1 8 7