

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-48179  
(P2014-48179A)

(43) 公開日 平成26年3月17日(2014.3.17)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**GO 1 P 3/44 (2006.01)** GO 1 P 3/44 Z  
**GO 1 P 15/13 (2006.01)** GO 1 P 15/13 B

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-191929 (P2012-191929)	(71) 出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22) 出願日	平成24年8月31日 (2012.8.31)	(74) 代理人	100101454 弁理士 山田 卓二
		(74) 代理人	100081422 弁理士 田中 光雄
		(74) 代理人	100100479 弁理士 竹内 三喜夫
		(72) 発明者	伊藤 恭彦 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
		(72) 発明者	平田 善明 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

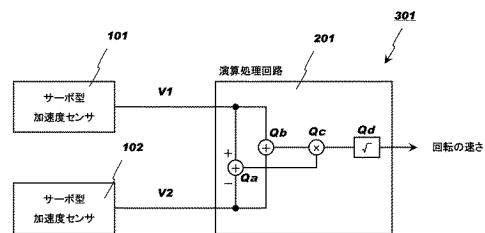
(54) 【発明の名称】 回転検出装置および方法

(57) 【要約】

【課題】 加速度センサに生じた誤差の影響が以降の検出出力に及ばず、従来よりも回路規模を縮小できる回転検出装置および方法を提供する。

【解決手段】 回転検出装置は、一対のサーボ型加速度センサ101、102と、各サーボ型加速度センサ101、102からの出力信号を演算する演算処理回路201とを備える。各サーボ型加速度センサ101、102は、回転可能な構造物103の一平面内に、ある距離Rを隔てて配置され、各センサの加速度検出方向が、互いに平行で、かつ各センサ位置を結ぶ線分104に対しても平行に配置される。演算処理回路201は、各サーボ型加速度センサ101、102からのサーボ電圧(V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>)の和(V<sub>1</sub>+V<sub>2</sub>)および差(V<sub>1</sub>-V<sub>2</sub>)を計算し、得られた和値と差値の積(V<sub>1</sub>+V<sub>2</sub>)×(V<sub>1</sub>-V<sub>2</sub>)の平方根を算出して、構造物103の回転の速さとして出力する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

一対のサーボ型加速度センサと、  
各サーボ型加速度センサからの出力信号を演算する演算処理回路とを備え、  
各サーボ型加速度センサは、回転可能な構造物の一平面内に、ある距離を隔てて配置され、各センサの加速度検出方向が、互いに平行で、かつ各センサ位置を結ぶ線分に対しても平行に配置された回転検出装置であって、

前記演算処理回路は、各サーボ型加速度センサからのサーボ電圧 ( $V_1$ ,  $V_2$ ) の和 ( $V_1 + V_2$ ) および差 ( $V_1 - V_2$ ) を計算し、得られた和値と差値の積 ( $V_1 + V_2$ )  $\times$  ( $V_1 - V_2$ ) の平方根を算出して、構造物の回転の速さとして出力することを特徴とする回転検出装置。

10

## 【請求項 2】

前記サーボ型加速度センサは、  
変位自在に支持された可動電極、ならびに該可動電極に対向してそれぞれ配置された駆動電極および検出電極を有するセンサ素子と、

可動電極と検出電極との間の静電容量を測定して、可動電極の変位を検出する変位検出部と、

変位検出部が検出した可動電極の変位に応じて、可動電極の変位を減少させるためのサーボ電圧を駆動電極へ印加するサーボ制御部と、を備えることを特徴とする請求項 1 記載の回転検出装置。

20

## 【請求項 3】

前記センサ素子は、基板の面内方向に延びる櫛歯状の可動電極、ならびに該可動電極に対向してそれぞれ配置された櫛歯状の駆動電極および櫛歯状の検出電極を有することを特徴とする請求項 2 記載の回転検出装置。

## 【請求項 4】

一対のサーボ型加速度センサを用いた回転検出方法であって、

各サーボ型加速度センサを、回転可能な構造物の一平面内に、ある距離を隔てて配置し、各センサの加速度検出方向を、互いに平行で、かつ各センサ位置を結ぶ線分に対しても平行に配置するステップと、

各サーボ型加速度センサからのサーボ電圧 ( $V_1$ ,  $V_2$ ) の和 ( $V_1 + V_2$ ) および差 ( $V_1 - V_2$ ) を計算し、得られた和値と差値の積 ( $V_1 + V_2$ )  $\times$  ( $V_1 - V_2$ ) の平方根を算出して、構造物の回転の速さとして出力するステップと、を含む回転検出方法。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、加速度センサを用いた回転検出装置および方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、回転検出装置として、運動体の一平面上に、ある距離を隔てて配置された 2 つの加速度センサからの各出力の差分から、この平面に垂直な軸の周りの角加速度を検出し、その積分により回転を検出する装置が知られている (例えば、特許文献 1 参照)。また、同様に 2 つの加速度センサ出力の差分を用い、2 つの加速度センサの加速度検出方向が互いに平行でかつ互いの配置位置を結ぶ線分に対しても平行に配置することによって、その各出力の差分を積分せずに角速度の 2 乗を得る方法も広く知られている。

40

## 【0003】

また、従来、加速度センサとして、加速度の作用に伴って生じる、センサ内の静電容量の変化をもとに、作用した加速度を検出する静電容量型の加速度センサも知られている。さらにこの静電容量型の加速度センサでは、検出分解能の向上、可動電極と基板との接触による動作不良あるいは破損防止等のために、この加速度センサをサーボ型として使用するものが提案されている (例えば、特許文献 2 参照)。即ち、このようなサーボ型の加速

50

度センサに作用した加速度によって、センサ内の可動電極がねじれ梁の周りにねじれ、ねじれ梁を中心とした可動電極の左右側と、各駆動電極との間の静電容量に不均衡が生じる。この不均衡量をフィードバックし、不均衡量に応じた電圧を駆動電極に印加して、可動電極と駆動電極との間に生じる静電力によって、可動電極のねじれを変位 0 の位置に戻すようにする。このときの、変位 0 の位置に戻すための駆動電極への印加電圧に基づいて、作用した加速度が求められる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開昭 62 - 70766 号公報

10

【特許文献 2】国際公開第 2003 / 044539 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述の回転検出装置では、角加速度を検出しその積分により回転を検出するため、加速度センサに誤差が生じた場合、以降の検出出力に影響が長く残ってしまうという課題がある。

【0006】

また、上述のサーボ型加速度センサでは、可動電極と駆動電極との間に生じる静電力の大きさは、駆動電極に印加した電圧の 2 乗に比例する。よって、駆動電極に印加した電圧に基づいて作用した加速度を求める際には、電圧値の 2 乗を演算する乗算回路が必要となる。

20

【0007】

たとえば、デジタル演算処理回路では、一般に、加算処理及び減算処理に比べて 2 乗演算等の乗算処理は、回路規模が大きくなる。例えば、 $n$  ビットの数値同士の加算及び減算回路の規模を 1 とすれば、その数値同士の乗算回路の規模は、概ね  $n$  の 2 乗の規模となる。したがって、上述のサーボ型加速度センサを 2 つ用いて、加速度センサの加速度検出方向が互いに平行でかつ互いの配置位置を結ぶ線分に対しても平行に配置することによって、その各出力の差分を積分せずに角速度の 2 乗を得る方法を適用した回転検出装置を構成する場合、図 2-1 に示すように、乗算回路がそれぞれの加速度センサに 1 つずつを要し、計 2 つの加速度センサが必要となり、総じて回路規模が大きくなるという課題がある。

30

【0008】

本発明の目的は、加速度センサに生じた誤差の影響が以降の検出出力に及ばず、従来よりも回路規模を縮小できる回転検出装置および方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明の一態様に係る回転検出装置は、一対のサーボ型加速度センサと、

各サーボ型加速度センサからの出力信号を演算する演算処理回路とを備え、

各サーボ型加速度センサは、回転可能な構造物の一平面内に、ある距離を隔てて配置され、各センサの加速度検出方向が、互いに平行で、かつ各センサ位置を結ぶ線分に対しても平行に配置され、

40

前記演算処理回路は、各サーボ型加速度センサからのサーボ電圧 ( $V_1$ ,  $V_2$ ) の和 ( $V_1 + V_2$ ) および差 ( $V_1 - V_2$ ) を計算し、得られた和値と差値の積 ( $V_1 + V_2$ )  $\times$  ( $V_1 - V_2$ ) の平方根を算出して、構造物の回転の速さとして出力する。

【発明の効果】

【0010】

本発明の一態様によれば、従来に比べて乗算回路の個数を削減できるため、演算処理回路の規模縮小を図ることができる。その結果、装置の小型化、省電力を図ることができる。また、積分回路を用いることなく回転の速さを算出できるため、加速度センサに生じた

50

誤差の影響が以降の検出出力に及ばないという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施の形態1を示すブロック図である。

【図2】図1に示す回転検出装置の機能を示すブロック図である。

【図3】図2に示すサーボ型加速度センサの機能を示すブロック図である。

【図4】センサ素子構造体を示す平面図である。

【図5】図4に示すセンサ素子構造体から変位ユニットを除いた部分を示す平面図である。

【図6】図4に示すA-A線に沿った端面図である。

【図7】図4に示すセンサ素子構造体において形成される静電容量の説明図である。

【図8】図3に示す容量-電圧変換回路の構成を示す回路図である。

【図9】図2に示すサーボ型加速度センサの動作を示す説明図である。

【図10】図2に示すサーボ型加速度センサの動作を示す説明図である。

【図11】図2に示すサーボ型加速度センサの動作を示す説明図である。

【図12】作用した加速度と、加速度によって生じた変位を0にする電圧との関係を示すグラフである。

【図13】作用した加速度とサーボ型加速度センサの出力との関係を示すグラフである。

【図14】回転検出装置が回転するとき、サーボ型加速度センサが受ける力を示した説明図である。

【図15】実装基板上に2つのサーボ型加速度センサが一体的に配置された構成例を示す平面図である。

【図16】本発明の実施の形態2に係る回転検出装置におけるセンサ素子構造体を示す平面図である。

【図17】図16に示すB-B線に沿った端面図である。

【図18】図16に示すセンサ素子構造体において形成される静電容量の説明図である。

【図19】図16に示すセンサ素子構造体において形成される静電容量の説明図である。

【図20】図16に示すセンサ素子構造体を同一の基板上に作製した構成例を示す平面図である。

【図21】2つの乗算回路を搭載した従来の回転検出装置の機能を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

実施の形態1.

図1は、本発明の実施の形態1を示すブロック図である。回転検出装置301は、2つのサーボ型加速度センサ101、102と、演算処理回路201とを備える。2つのサーボ型加速度センサ101、102は、回転中心を中心として回転可能に支持され、加速度の作用が可能のように構成された構造物103に、距離Rを隔てて配置されている。さらに、各センサ101、102の加速度検出方向は、互いに平行であり、かつ各センサ位置、例えば、各センサの中心位置を結ぶ線分104に対しても平行に配置されている。ここで、各センサの加速度検出方向を検出軸DAとして示す。また、図1では、演算処理回路201も構造物103に設置した形態を例示しているが、演算処理回路201は、構造物103とは別に設置してもよい。

【0013】

図2は、回転検出装置301の機能を示すブロック図である。サーボ型加速度センサ101、102では、以下に詳しく説明するように、構造物103に加速度が作用することで、各サーボ型加速度センサ101、102に設けた慣性質量体が相対変位する。この変位を、加速度が作用していない状態、つまり変位0の位置まで戻すために必要な静電力を発生させるための電圧(サーボ電圧)を、各サーボ型加速度センサ101、102は出力する。

10

20

30

40

50

## 【0014】

演算処理回路201は、引算回路Qa、加算回路Qb、乗算回路Qcおよび平方根回路Qdなどを含み、2つのサーボ型加速度センサ101, 102がそれぞれ出力するサーボ電圧( $V_1$ ,  $V_2$ )の和( $V_1 + V_2$ )および差( $V_1 - V_2$ )を計算し、得られた和値と差値の積( $V_1 + V_2$ ) × ( $V_1 - V_2$ )の平方根を算出して、構造物103の回転の速さとして出力する。なお、 $V_1 < V_2$ の場合は( $V_2 - V_1$ )を差値とする。これらの回路Qa ~ Qdは、デジタル回路、マイクロプロセッサ、FPGA(Field Programmable Gate Array)、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)などで実現できる。この演算処理回路201の動作については後で詳しく説明する。

## 【0015】

図3は、回転検出装置301におけるサーボ型加速度センサ101, 102の機能を示すブロック図である。各サーボ型加速度センサ101, 102は、センサ素子構造体15と、容量-電圧変換回路20と、サーボ制御回路30と、アナログデジタル変換回路40とをそれぞれ備える。なお、サーボ型加速度センサ102は、サーボ型加速度センサ101と同じ構成であるため、図示を省略している。

## 【0016】

センサ素子構造体15は、回転変位可能に支持された可動電極、ならびに可動電極に対向してそれぞれ配置された駆動電極および検出電極を備えており、その詳細は図4 ~ 図7を参照して後述する。容量-電圧変換回路20は、可動電極と検出電極との間の静電容量を測定して、可動電極の変位を検出する機能を有する。サーボ制御回路30は、印加電圧制御部31、スイッチ32などを備え、容量-電圧変換回路20が検出した可動電極の変位に応じて、可動電極の変位を減少させるためのサーボ電圧を駆動電極へ印加する機能を有する。アナログデジタル変換回路40は、サーボ制御回路30から出力されるアナログ信号をデジタル信号に変換して、後段の演算処理回路201に出力する機能を有する。

## 【0017】

図4は、センサ素子構造体15を示す平面図である。図5は、理解促進のため、図4に示すセンサ素子構造体15から変位ユニット2を除いた部分を示す平面図である。図6は、図4に示すA-A線に沿った端面図である。図7は、センサ素子構造体15において形成される静電容量の説明図である。

## 【0018】

センサ素子構造体15は、図4と図5に示すように、表面に電気絶縁体9が形成された基板1と、基板1上に電気絶縁体9を介して固定された柱状のアンカー5と、アンカー5によって支持された変位ユニット2などを備える。

## 【0019】

変位ユニット2は、ねじれ梁6と、検出フレーム7と、リンク梁4と、慣性質量体3などを備える。ねじれ梁6は、アンカー5の両側面からねじれ軸6aに沿って水平方向に延出しており、ねじれ軸6aの周りのねじれ運動を許容する機能を有する。検出フレーム7は、全体として矩形板状をなし、中央には矩形形状の開口部が設けられ、この開口部の内壁にねじれ梁6の先端が一体的に連結されている。これにより検出フレーム7は、ねじれ梁6によってねじれ軸6aの周りに回転変位可能に支持される。変位ユニット2、特に、検出フレーム7、ねじれ梁6およびアンカー5は、導電性材料で形成されており、検出フレーム7は、センサ素子の可動電極として機能する。

## 【0020】

リンク梁4は、検出フレーム7と慣性質量体3とを一体的に連結しつつ、両者間の相対ねじれ運動を許容する機能を有する。慣性質量体3は、全体として矩形棒状をなし、検出フレーム7の外側に配置され、リンク梁4を介して中空支持される。リンク梁4は、ねじれ軸6aから一定距離だけ離れた位置に設置されている。そのためセンサ素子構造体に対して、基板1に垂直な方向の加速度が作用した場合、慣性質量体3は慣性によって静止しようとするのに対して、基板1は加速度の方向に変位するため、リンク梁4によるモーメントが作用して検出フレーム7はねじれ軸6aの周りに回転変位を生ずる。こうしてセン

10

20

30

40

50

サの検出軸 D A は、基板 1 に垂直な方向に設定される。

【 0 0 2 1 】

基板 1 の上面には、図 5 と図 6 に示すように、電気絶縁体 9 を介して一对の駆動電極 1 1 a , 1 1 b および一对の検出電極 8 a , 8 b が、アンカー 5 を中心として対称に設置される。そのため駆動電極 1 1 a , 1 1 b および検出電極 8 a , 8 b は、検出フレーム 7 にそれぞれ対向するように間隔 d を隔てて位置決めされる。

【 0 0 2 2 】

駆動電極 1 1 a , 1 1 b は、検出フレーム 7 の電位を基準としてある電圧が印加されることによって、検出フレーム 7 と間に静電力が発生し、これにより検出フレーム 7 を時計回りまたは反時計回りに回転変位させることができる。検出電極 8 a , 8 b は、検出フレーム 7 との間で 2 つのキャパシタを形成しており、検出フレーム 7 の回転変位に伴って各キャパシタの静電容量が変化する。

10

【 0 0 2 3 】

こうしたセンサ素子構造体 1 5 は、基板 1 上への成膜、パターニング、エッチングといったプロセスを繰り返し行う半導体微細加工技術を利用した、いわゆる M E M S ( Micro Electro Mechanical Systems ) デバイス製造技術によって製造可能である。

【 0 0 2 4 】

基板 1 としては、シリコン基板、ガラス基板などを用いることができる。電気絶縁体 9 としては、窒化シリコン膜、酸化シリコン膜を用いることができる。またアンカー 5、ねじれ梁 6、検出フレーム 7、リンク梁 4、慣性質量体 3、駆動電極 1 1 a , 1 1 b、検出電極 8 a , 8 b としては、導電性ポリシリコン膜を用いることができる。この導電性ポリシリコン膜は、低応力で、かつ応力分布がないことが望ましい。

20

【 0 0 2 5 】

アンカー 5 および変位ユニット 2 の各部材は、等電位になるように相互に電氣的に接続されているが、基板 1、駆動電極 1 1 a , 1 1 b、検出電極 8 a , 8 b とは電氣的に絶縁されている。

【 0 0 2 6 】

こうしたセンサ素子構造体 1 5 をサーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 として使用する場合、検出電極 8 a , 8 b は容量 - 電圧変換回路 2 0 と電氣的に接続され、駆動電極 1 1 a , 1 1 b はサーボ制御回路 3 0 と電氣的に接続されている。この電氣的な接続は、図示していないが、基板 1 上の配線パターン、ボンディングワイヤ等を用いて実現できる。

30

【 0 0 2 7 】

図 7 に示すように、可動電極として機能する検出フレーム 7 と検出電極 8 a との間には静電容量 C d a が形成され、検出フレーム 7 と検出電極 8 b との間には静電容量 C d b が形成される。同様に、検出フレーム 7 と駆動電極 1 1 a との間には静電容量 C s a が形成され、検出フレーム 7 と駆動電極 1 1 b との間には静電容量 C s b が形成される。

【 0 0 2 8 】

図 8 は、容量 - 電圧変換回路 2 0 の構成を示す回路図である。容量 - 電圧変換回路 2 0 は、静電容量 C d a , C d b に差が生じた場合、その差分に応じた電圧を出力する。図 8 に示すように、静電容量 C d a , C d b は直列に接続され、静電容量 C d a の一端には一定電位 V d が印加され、静電容量 C d b の一端は接地されている。また、静電容量 C d a と静電容量 C d b との接続部には、出力端子が設けられる。この端子の出力電位 V o u t は、次の式 ( 1 ) で表される。

40

【 0 0 2 9 】

【 数 1 】

$$V_{out} = \frac{C_{da}}{C_{da} + C_{db}} V_d = \left( 1 + \frac{C_{da} - C_{db}}{C_{da} + C_{db}} \right) \frac{V_d}{2} \quad (1)$$

【 0 0 3 0 】

検出フレーム 7 がねじれ軸 6 a の周りに回転変位すると、静電容量 C d a , C d b は、

50

その増減方向が互いに反対に変化する。即ち、検出フレーム 7 の回転変位によって、静電容量  $C_{da}$  が増加すれば静電容量  $C_{db}$  が減少し、一方、静電容量  $C_{da}$  が減少すれば静電容量  $C_{db}$  が増加する。検出電極 8 a , 8 b と検出フレーム 7 との間隔  $d$  と比べて検出フレーム 7 の回転変位が充分小さい領域では、静電容量の合計 ( $C_{da} + C_{db}$ ) は一定であるとともに、静電容量の差 ( $C_{da} - C_{db}$ ) は回転変位に比例して変化する。そのため容量 - 電圧変換回路 20 は、検出フレーム 7 の回転変位に比例した電位  $V_{out}$  を出力する。

#### 【0031】

次に、サーボ制御回路 30 について説明する。図 3 において、サーボ制御回路 30 は、容量 - 電圧変換回路 20 の出力の大きさに応じて、スイッチ 32 により駆動電極 11 a , 11 b のどちらに電圧を印加するかを選択することによって、センサ素子構造体 15 の駆動電極 11 a または駆動電極 11 b に電圧を印加する。即ち、サーボ制御回路 30 は、容量 - 電圧変換回路 20 の出力電位  $V_{out}$  が ( $V_d / 2$ ) よりも大きい場合には、駆動電極 11 b に電圧を印加し、一方、出力電位  $V_{out}$  が ( $V_d / 2$ ) よりも小さい場合には駆動電極 11 a に電圧を印加し、その結果、検出フレーム 7 の変位を変位 0 の位置、つまり加速度が作用していないときの検出フレーム 7 の状態に戻すように作用する。

#### 【0032】

以上のように構成されたサーボ型加速度センサ 101 , 102 の動作について、図 9 ~ 図 11 を参照して説明する。なお、図 9 ~ 図 11 では、サーボ型加速度センサ 101 , 102 に対して、基板 1 の上面から裏面に向かう正方向 401 の加速度が印加された状態を例示している。

#### 【0033】

サーボ型加速度センサ 101 , 102 に対して正方向 401 の加速度  $G$  が印加されると、図 9 に示すように、慣性質量体 3 は慣性力  $F_i$  を受けて、基板 1 に対し相対的に基板 1 から離れる方向 (負方向 402) に変位する。このときリンク梁 4 は、慣性質量体 3 とともに負方向 402 に変位する。検出フレーム 7 は、リンク梁 4 の変位によって時計回りのモーメントが作用し、リンク梁 4 及びねじれ梁 6 の変形による復元力と釣り合うまで、ねじれ軸 6 a の周りに回転変位する。この回転変位により、検出フレーム 7 と検出電極 8 a , 8 b との間隔がそれぞれ変化し、検出電極 8 a での静電容量  $C_{da}$  は減少し、検出電極 8 b での静電容量  $C_{db}$  は増加する。容量 - 電圧変換回路 20 は、静電容量  $C_{da}$  ,  $C_{db}$  の変化に基づいて、検出フレーム 7 の変位を出力電位  $V_{out}$  として出力する。

#### 【0034】

ここで、駆動電極 11 a に電圧  $V_{s_{11a}}$  を印加すると、図 10 に示すように、静電力  $F_{s_{11a}}$  が生じる。静電力  $F_{s_{11a}}$  は、印加電圧  $V_{s_{11a}}$ 、間隔  $d$ 、駆動電極 11 a が検出フレーム 7 と対向する面積  $S_{11}$ 、誘電率  $\epsilon$  を用いて、次の式 (2) のように表される。

#### 【0035】

#### 【数 2】

$$F_{s_{11a}} = \frac{\epsilon S_{11}}{d^2} V_{s_{11a}}^2 \quad (2)$$

#### 【0036】

駆動電極 11 a への印加電圧  $V_{s_{11a}}$  を変化させることにより、発生する静電力  $F_{s_{11a}}$  を変化させることができるので、検出フレーム 7 の変位を 0 とするように印加電圧  $V_{s_{11a}}$  を制御することができる。ここで、検出フレーム 7 の変位を 0 とする印加電圧を  $V_{11a}$ 、このときに発生する静電力を  $F_{11a}$  とする。印加電圧  $V_{11a}$  は、検出フレーム 7 の変位に対して単調関数であり、検出フレーム 7 の変位は、作用した加速度に対して単調関数である。よって、作用した加速度に対して、印加電圧  $V_{11a}$  は一意に定まる。

10

20

30

50

## 【 0 0 3 7 】

印加電圧  $V_{11a}$  を駆動電極 1 1 a へ印加すると、図 1 1 に示すように、静電力  $F_{11a}$  によって、検出フレーム 7 の回転変位が元に戻る方向に検出フレーム 7 は回転変位する。その結果、検出フレーム 7 は、静電力  $F_{11a}$  と、リンク梁 4 およびねじれ梁 6 の復元力と、慣性力  $F_i$  とが釣り合う位置に変位し、変位 0 に戻る。

## 【 0 0 3 8 】

作用した加速度によって生じる慣性質量体 3 の変位は、作用した加速度に比例し、リンク梁 4 及びねじれ梁 6 の変形による復元力は、慣性質量体 3 の変位に比例するため、変位 0 の位置に戻すために必要な静電力  $F_{11a}$  は、作用した加速度に比例する。

## 【 0 0 3 9 】

図 1 2 は、作用した加速度  $G$  と、作用した加速度によって生じた変位を 0 にする電圧  $V_{11a}$  との関係を示すグラフである。図 1 2 において、横軸は加速度センサに作用した加速度  $G$ 、縦軸は変位を 0 にする印加電圧を示している。上述の式 ( 2 ) を参照して、間隔  $d$  が一定のもとでは、静電力の大きさは、印加電圧の 2 乗に比例することから、作用した加速度  $G$  と、変位を 0 にする印加電圧  $V_{11a}$  との関係は、次の式 ( 3 ) のように表され、印加電圧の 2 乗は加速度  $G$  に比例する。

## 【 0 0 4 0 】

## 【 数 3 】

$$V_{11a}^2 \propto G \quad (3)$$

## 【 0 0 4 1 】

同様に、サーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 に負方向 4 0 2 の加速度が印加された場合にも、サーボ制御回路 3 0 のスイッチ 3 2 の切り替えにより、駆動電極 1 1 a の代わりに駆動電極 1 1 b に電圧  $V_{11b}$  を印加することによって、検出フレーム 7 の変位を 0 にすることができる。また、印加電圧の 2 乗は加速度の大きさに比例する。

## 【 0 0 4 2 】

また、作用した加速度の方向 ( 正、負 ) は、前述のように、容量 - 電圧変換回路 2 0 の出力  $V_{out}$  が  $(V_d / 2)$  よりも大きければ正、小さければ負として認識できる。

## 【 0 0 4 3 】

本実施形態に係る回転検出装置 3 0 1 において、サーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 は、検出フレーム 7 を変位 0 の位置に戻すために駆動電極 1 1 a , 1 1 b へ印加する電圧を出力するが、加速度が正方向 4 0 1 に作用している場合には印加電圧  $V_{11a}$  を、加速度が負方向 4 0 2 に作用している場合には、印加電圧  $V_{11b}$  を、その符号を反転して、 $-V_{11b}$  として出力する。即ち、サーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 の出力  $V$  は、次の式 ( 4 ) で表される。

## 【 0 0 4 4 】

## 【 数 4 】

$$\begin{cases} V = Va_{11} & (G \text{ が正方向、すなわち } V_{out} > (V_d/2) \text{ のとき}) \\ V = 0 & (G=0、すなわち } V_{out}=(V_d/2) \text{ のとき}) \\ V = -Vb_{11} & (G \text{ が負方向、すなわち } V_{out} < (V_d/2) \text{ のとき}) \end{cases} \quad (4)$$

## 【 0 0 4 5 】

図 1 3 は、作用した加速度とサーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 の出力との関係を示すグラフである。図 1 3 において、横軸はサーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 に作用した加速度  $G$ 、縦軸はサーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 の出力を示している。2 つのサーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 は、検出軸方向に作用した加速度、すなわち力に応じ



て電圧  $V_1$  ,  $V_2$  をそれぞれ出力する。

【 0 0 4 6 】

次に、本実施形態に係る回転検出装置 3 0 1 の動作について説明する。

【 0 0 4 7 】

図 1 4 は、回転検出装置 3 0 1 が回転中心 O を中心に回転するとき、サーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 が受ける力、すなわち加速度を示した説明図である。図 1 と図 2 に示す回転検出装置 3 0 1 が、図 1 4 のように、紙面に対して垂直方向を回転軸 RA として、回転中心 O を中心に、角速度変化を伴って回転するとき、2 つのサーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 は、それぞれ、図 1 4 に示すように、角速度  $\Omega$  の回転による遠心力および、角加速度  $\frac{\partial \Omega}{\partial t}$  に伴う力  $F_c$  を受ける。遠心力は、回転の半径方向 ( 5 0 1 , 5 0 2 ) に、角加速度に伴う力は、回転の円周方向 ( 6 0 1 , 6 0 2 ) に生ずる。サーボ型加速度センサ 1 0 1 が受ける、回転による遠心力  $F_{r1}$  と角加速度に伴う力  $F_{c1}$  は次の式 ( 5 )、式 ( 6 ) で表される。ここで、図 1 4 に示すように、 $R_1$  は、回転中心 O からサーボ型加速度センサ 1 0 1 までの距離、 $\theta_1$  は、センサ検出軸と、回転中心 O - センサ間を結ぶ線分とが成す角度である。

10

【 0 0 4 8 】

【 数 5 】

$$F_{r1}(t) = \Omega^2 R_1 \quad (5)$$

【 0 0 4 9 】

【 数 6 】

$$F_{c1}(t) = -\frac{\partial \Omega}{\partial t} R_1 \quad (6)$$

20

【 0 0 5 0 】

遠心力  $F_{r1}$ 、角加速度に伴う力  $F_{c1}$  は、それぞれ回転の半径方向、円周方向の力であるから、サーボ型加速度センサ 1 0 1 では、これらの力の検出軸方向成分の和を検出することができる。即ち、図 1 4 に示す作図から、遠心力  $F_{r1}$  についてはその  $\cos \theta_1$  成分を、角加速度に伴う力  $F_{c1}$  はその  $\sin \theta_1$  成分を検出することができる。したがって、サーボ型加速度センサ 1 0 1 が検出軸方向に受ける力  $F_1$  は、次の式 ( 7 ) で表される。

30

【 0 0 5 1 】

【 数 7 】

$$F_1(t) = F_{r1}(t) \cos \theta_1 + F_{c1}(t) \sin \theta_1 = \Omega^2 R_1 \cos \theta_1 - \frac{\partial \Omega}{\partial t} R_1 \sin \theta_1 \quad (7)$$

【 0 0 5 2 】

同様に、サーボ型加速度センサ 1 0 2 が検出軸方向に受ける力  $F_2$  は、次の式 ( 8 ) で表される。ここで、 $R_2$  は回転中心 O からサーボ型加速度センサ 1 0 2 までの距離、 $\theta_2$  はサーボ型加速度センサ 1 0 2 の検出軸と、回転中心 O - センサ間を結ぶ線分とが成す角度である。

40

【 0 0 5 3 】

【 数 8 】

$$F_2(t) = \Omega^2 R_2 \cos \theta_2 - \frac{\partial \Omega}{\partial t} R_2 \sin \theta_2 \quad (8)$$

【 0 0 5 4 】

検出軸方向に受ける力  $F$  により、サーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 の各慣性質量体 3 が変位し、2 つのサーボ型加速度センサ 1 0 1 , 1 0 2 は、それぞれ電圧  $V_1$  と電圧  $V_2$  とを出力する。上記の式 ( 3 ) に基づいて、次の式 ( 9 )、式 ( 1 0 ) の関係がある。

50

【 0 0 5 5 】

【 数 9 】

$$V_1(t) \propto \sqrt{F_1(t)} \quad (9)$$

【 0 0 5 6 】

【 数 1 0 】

$$V_2(t) \propto \sqrt{F_2(t)} \quad (10)$$

【 0 0 5 7 】

ここで、比例定数を  $k$  と置けば、これらの式は、次の式 ( 1 1 )、式 ( 1 2 ) のように表される。

10

【 0 0 5 8 】

【 数 1 1 】

$$V_1(t) = k\sqrt{F_1(t)} \quad (11)$$

【 0 0 5 9 】

【 数 1 2 】

$$V_2(t) = k\sqrt{F_2(t)} \quad (12)$$

【 0 0 6 0 】

ここで、2つのサーボ型加速度センサ 1 0 1、1 0 2 の各出力電圧である印加電圧  $V_1$  と印加電圧  $V_2$  との和 ( $V_1 + V_2$ )、及び印加電圧  $V_1$  と印加電圧  $V_2$  との差 ( $V_1 - V_2$ ) の各値の積 ( $V_1 + V_2$ )  $\times$  ( $V_1 - V_2$ ) を考えると、次の式 ( 1 3 ) が得られる。

20

【 0 0 6 1 】

【 数 1 3 】

$$\begin{aligned} (V_1 + V_2)(V_1 - V_2) &= (V_1^2 - V_2^2) \\ &= k^2 \left( \Omega^2 R_1 \cos \theta_1 - \frac{\partial \Omega}{\partial t} R_1 \sin \theta_1 \right) \\ &\quad - k^2 \left( \Omega^2 R_2 \cos \theta_2 - \frac{\partial \Omega}{\partial t} R_2 \sin \theta_2 \right) \quad (13) \\ &= k^2 \left( \Omega^2 (R_1 \cos \theta_1 - R_2 \cos \theta_2) - \frac{\partial \Omega}{\partial t} (R_1 \sin \theta_1 - R_2 \sin \theta_2) \right) \end{aligned}$$

【 0 0 6 2 】

さらに、図 1 4 より明らかなように、距離  $R$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  の関係は、次の式 ( 1 4 )、式 ( 1 5 ) で表される。

【 0 0 6 3 】

【 数 1 4 】

$$R = R_1 \cos \theta_1 - R_2 \cos \theta_2 \quad (14)$$

40

【 0 0 6 4 】

【 数 1 5 】

$$R_1 \sin \theta_1 = R_2 \sin \theta_2 \quad (15)$$

【 0 0 6 5 】

従って、印加電圧  $V_1$ 、 $V_2$  の和と差の積は、式 ( 1 4 )、式 ( 1 5 ) を用いて次の式 ( 1 6 ) で表される。

【 0 0 6 6 】

50

【数 1 6】

$$\begin{aligned} (V_1 + V_2)(V_1 - V_2) &= k^2 \left( \Omega^2 (R_1 \cos \theta_1 - R_2 \cos \theta_2) - \frac{\partial \Omega}{\partial t} (R_1 \sin \theta_1 - R_2 \sin \theta_2) \right) \quad (16) \\ &= k^2 R \Omega^2 \end{aligned}$$

【0067】

式(16)の両辺を整理し、新たに定数Cを定めると、次の式(17)と式(18)が得られる。

【0068】

【数 1 7】

$$\begin{aligned} \Omega^2 &= \frac{1}{k^2 R} (V_1 + V_2)(V_1 - V_2) \quad (17) \\ &= C(V_1 + V_2)(V_1 - V_2) \end{aligned}$$

【0069】

【数 1 8】

$$|\Omega| \propto \sqrt{(V_1 + V_2)(V_1 - V_2)} \quad (18)$$

【0070】

即ち、2つのサーボ型加速度センサ101, 102が出力する各印加電圧 $V_1$ ,  $V_2$ の値を用いて角速度にに応じた出力、回転の速さを得ることができる。

【0071】

ここで、回転の速さを算出するための乗算処理の回数に注目すれば、本実施形態の回転検出装置301によれば、乗算処理は1回であり、一方、従来方式では、乗算処理は2回である。従って、本実施形態の回転検出装置301は、従来方式に比べ、乗算回路の削減が図られて、演算処理の回路規模を縮小することが可能となる。また、積分回路を用いることなく回転の速さを出力するため、加速度センサに生じた誤差の影響が、以降の検出出力に及ばないという利点もある。

【0072】

このような、サーボ型加速度センサ101, 102の各出力電圧である印加電圧 $V_1$ と印加電圧 $V_2$ との和、及び印加電圧 $V_1$ と印加電圧 $V_2$ との差の各値の積を演算し、その平方根を算出する部分が、図2に示す演算処理回路201である。

【0073】

また、回転検出装置301では、加速度が作用していないときでも、駆動電極11a, 11bに電圧を印加することで発生する静電力によって、慣性質量体3を変位させることができる。そのためセンサ素子構造体15が破壊されているか否かを自己診断することも可能である。

【0074】

なお、本実施形態では、容量-電圧変換回路20を用い、検出フレーム7と検出電極8a, 8bとの間に形成された静電容量の差を電圧に変換することで、検出フレーム7の変位を検出する方式について例示したが、これは、変位に応じた信号が得られれば、回路方式、検出方式等に依らない。

【0075】

また、本実施形態では、2つのサーボ型加速度センサ101, 102を構造物103に距離Rを隔てて配置しているが、各センサ101, 102の加速度検出方向が、互いに平行であり、かつ各センサ位置、例えば各中心位置、を結ぶ線分104に対して平行に配置されていればよく、距離R、構造物の大きさに依らない。例えば、図15に示すように、構造物103上に実装された実装基板151上に2つのサーボ型加速度センサ101, 102が一体的に配置されているような形態でもよい。式(17)に示すように、角速度

10

20

30

40

50

の2乗は、2つの加速度センサ出力から算出した値を、2つの加速度センサ間の距離Rで除した値に比例するため、センサを設置する距離が長いほど、精度高く回転の速さを検出することができる。一般に、サーボ型加速度センサでは、サーボ制御を適用しない加速度センサに対して、加速度の検出分解能が向上するため、同じ精度で回転の速さを検出する場合には、加速度センサの設置する距離Rを短くすることが可能になり、装置全体の小型化を図ることが可能になる。

#### 【0076】

実施の形態2.

図16は、本発明の実施の形態2に係る回転検出装置302におけるセンサ素子構造体15-2を示す平面図である。図17は、図16に示すB-B線に沿った端面図である。図18と図19は、センサ素子構造体15-2において形成される静電容量の説明図である。

10

#### 【0077】

本実施の形態2に係る回転検出装置302は、上述したサーボ型加速度センサ101, 102におけるセンサ素子構造体15とは異なる構造を有するセンサ素子構造体15-2を備える。回転検出装置302の電氣的構成、例えば、容量-電圧変換回路20、サーボ制御回路30、アナログデジタル変換回路40、演算処理回路201の構成については、実施の形態1に係る回転検出装置301と同じであるため、重複説明を省略する。以下、相違部分であるセンサ素子構造体15-2の部分について説明する。

#### 【0078】

センサ素子構造体15-2は、図16と図17に示すように、表面に電気絶縁体9が形成された基板1と、基板1上に電気絶縁体9を介して固定された柱状の2つのアンカー5と、アンカー5によって支持された変位ユニット2などを備える。

20

#### 【0079】

変位ユニット2は、支持梁56と、慣性質量体3などを備える。支持梁56は、細長い扁平リング状をなし、短手方向の一端がアンカー5の内側面に固定され、他端が慣性質量体3の端面に固定され、2つのアンカー5を通る方向、即ち、検出軸DAに沿った直線変位運動を許容する機能を有する。慣性質量体3は、全体として直方体状をなし、その両側面には、慣性質量体3の側面に対して垂直な方向に延びる櫛歯状の可動電極12が設置される。

30

#### 【0080】

基板1には、電気絶縁体9を介して、櫛歯状の可動電極12にそれぞれ対向するように、櫛歯状の駆動電極11a, 11bおよび櫛歯状の検出電極8a, 8bが設置される。なお、図16と図17では、作図の都合上、各電極はそれぞれ分離しているように見えるが、同じハッチングで示している電極は、等電位になるように、基板1上に設けた配線パターン等(図示せず)を経由して相互に電氣的に接続されている。

#### 【0081】

こうしたセンサ素子構造体15-2をサーボ型加速度センサ101, 102として使用する場合、検出電極8a, 8bは容量-電圧変換回路20と電氣的に接続され、駆動電極11a, 11bはサーボ制御回路30と電氣的に接続されている。この電氣的な接続は、図示していないが、基板1上の配線パターン、ボンディングワイヤ等を用いて実現できる。

40

#### 【0082】

図18は、検出電極8a, 8bと可動電極12との間にそれぞれ形成される静電容量の説明図である。図19は、駆動電極11a, 11bと可動電極12との間にそれぞれ形成される静電容量の説明図である。センサ素子構造体15-2においても実施の形態1と同様に、可動電極12と検出電極8aとの間には静電容量Cdaが形成され、可動電極12と検出電極8bとの間には静電容量Cdbが形成される。同様に、可動電極12と駆動電極11aとの間には静電容量Csaが形成され、可動電極12と駆動電極11bとの間には静電容量Csbが形成される。

50

## 【0083】

容量 - 電圧変換回路20では、図8と同様に、静電容量 $C_{da}$ 、 $C_{db}$ は直列に接続され、静電容量 $C_{da}$ の一端には一定電位 $V_d$ が印加され、静電容量 $C_{db}$ の一端は接地され、両者の接続部には出力端子が設けられる。慣性質量体3が検出軸DAに沿って直線変位すると、静電容量 $C_{da}$ 、 $C_{db}$ の一方が増加して、他方が減少する。このとき静電容量の合計( $C_{da} + C_{db}$ )は一定であるとともに、静電容量の差( $C_{da} - C_{db}$ )は直線変位に比例して変化する。そのため容量 - 電圧変換回路20は、慣性質量体3の直線変位に比例した電位 $V_{out}$ を出力する。

## 【0084】

サーボ制御回路30は、実施の形態1と同様に、出力電位 $V_{out}$ の大きさに応じて、スイッチ32により駆動電極11a、11bのどちらに電圧を印加するかを選択することによって、センサ素子構造体15-2の駆動電極11aまたは駆動電極11bに電圧を印加し、その結果、慣性質量体3の変位が0に戻るようサーボ制御を行う。

## 【0085】

演算処理回路201は、図2と同様に、引算回路 $Q_a$ 、加算回路 $Q_b$ 、乗算回路 $Q_c$ および平方根回路 $Q_d$ などを含み、センサ素子構造体15-2を含む2つのサーボ型加速度センサ101、102がそれぞれ出力するサーボ電圧( $V_1$ 、 $V_2$ )の和( $V_1 + V_2$ )および差( $V_1 - V_2$ )を計算し、得られた和値と差値の積( $V_1 + V_2$ ) $\times$ ( $V_1 - V_2$ )の平方根を算出して、構造物103の回転の速さとして出力する。

## 【0086】

こうしたセンサ素子構造体15-2を有する回転検出装置302においても、実施の形態1の回転検出装置301と同様に回転を検出することができ、さらに演算処理回路201を備えることから、乗算回路の削減が図られ、演算処理の回路規模を縮小することが可能である。また、積分回路を用いることなく回転の速さを出力するため、加速度センサに生じた誤差の影響が、以降の検出出力に及ばないという利点もある。

## 【0087】

本実施形態の回転検出装置302では、検出電極8a、8bの外側、即ち、アンカー5寄りに駆動電極11a、11bを配置しているが、検出電極8a、8bおよび駆動電極11a、11bは、可動電極12との間に静電容量を形成し、駆動電極11a、11bと可動電極12との間に静電力を発生させることができればよく、各電極の位置、配置は問わない。また、変位ユニット2は、作用した加速度に応じて基板1に対して面内方向の加速度の検出ができればよく、支持梁56の形態、慣性質量体3の支持方法は問わない。

## 【0088】

本実施形態では、2つのサーボ型加速度センサ101、102を構造物103に距離Rを隔てて配置されているが、各センサ101、102の加速度検出方向が、互いに平行であり、かつ各センサ位置、例えば各中心位置、を結ぶ線分104に対して平行に配置されていればよく、距離R、構造物の大きさに依らない。例えば、図15と同様に、構造物103上に実装された実装基板151上に2つのセンサが一体的に配置されているような形態でもよい。

## 【0089】

また、図20に示すように、サーボ型加速度センサ101、102を構成する2つのセンサ素子構造体15-2を同一の基板1-2上に作製してもよい。同一の基板上に作製することで、2つのセンサの加速度検出方向とその配置位置とが常に一定に保たれ、変化しない。そのため、別の部材として実装配置しているときにはそれぞれの部材の取付精度や距離、さらにその経年変化に起因する検出誤差が懸念されるのに対し、これらの誤差を発生させにくく、回転の速さを精度よく検出することができ、また、回転検出装置の小型化を図ることができる。

## 【0090】

さらに、サーボ型加速度センサ101、102のセンサ素子構造体とともに、容量 - 電圧変換回路20、サーボ制御回路30、アナログデジタル変換回路40、演算処理回路2

10

20

30

40

50

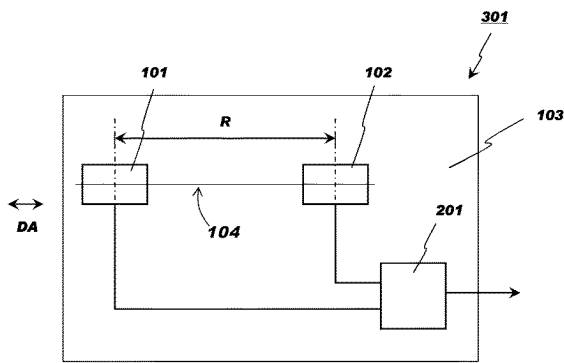
01の一部あるいは全部を同一の基板上に作製してもよく、これにより回転検出装置の更なる小型化を図ることができる。

【符号の説明】

【0091】

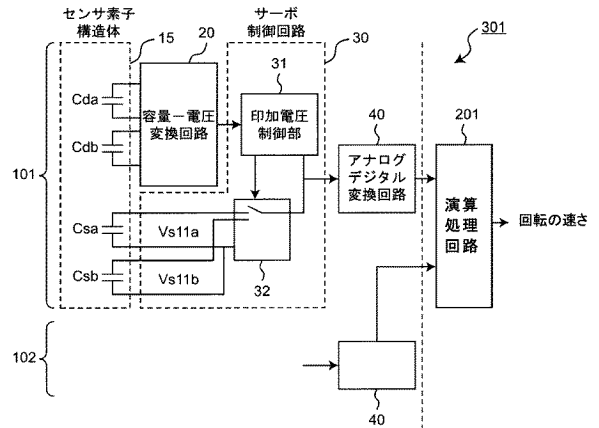
- 1, 1-2 基板、 2 変位ユニット、 3 慣性質量体、 4 リンク梁、
- 5 アンカー、 6 ねじれ梁、 6a ねじれ軸、 7 検出フレーム、
- 9 電気絶縁体、 8a, 8b 検出電極、 11a, 11b 駆動電極、
- 12 可動電極、 15, 15-2 センサ素子構造体、
- 20 容量-電圧変換回路、 30 サーボ制御回路、 32 スイッチ、
- 56 支持梁、 101, 102 サーボ型加速度センサ、 103 構造物、
- 201 演算処理回路、 301, 302 回転検出装置、 DA 検出軸。

【図1】

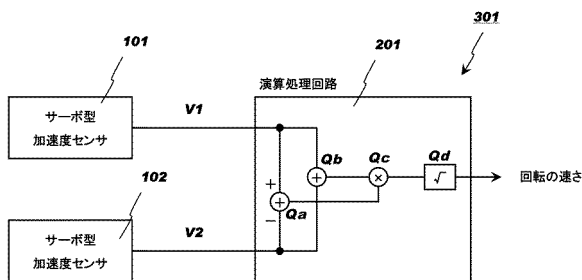


101:サーボ型加速度センサ, 102:サーボ型加速度センサ  
 201:演算処理回路, 301:回転検出装置

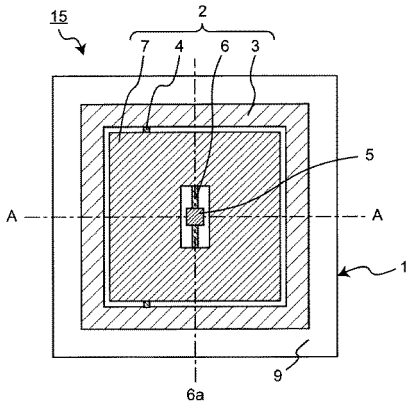
【図3】



【図2】



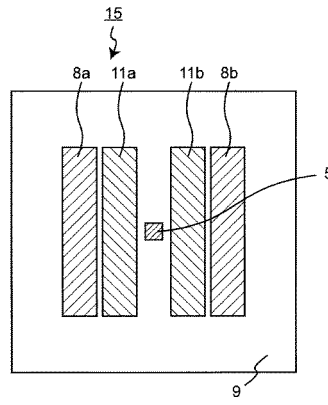
【図4】



- 1 基板
- 2 変位ユニット
- 3 慣性質量体
- 4 リンク梁
- 5 アンカー
- 6 ねじれ梁
- 6a ねじれ軸
- 7 検出フレーム
- 9 電気絶縁体
- 15 センサ素子構造体

DA  
⊙

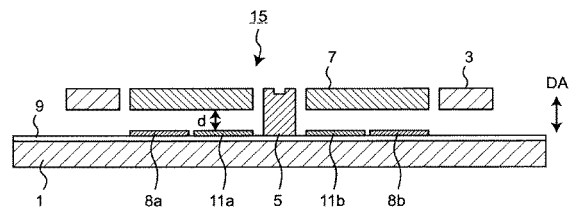
【図5】



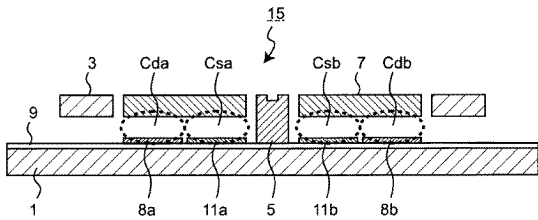
8a, 8b 検出電極  
11a, 11b 駆動電極

DA  
⊙

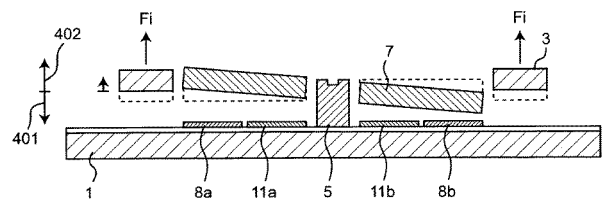
【図6】



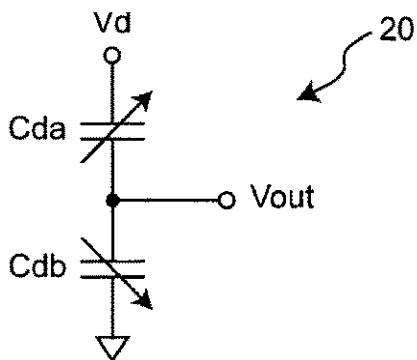
【図7】



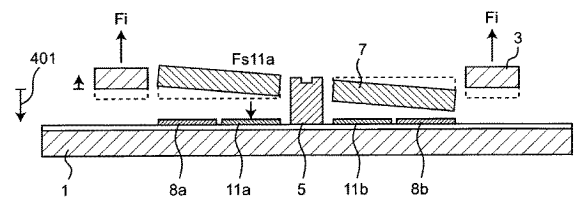
【図9】



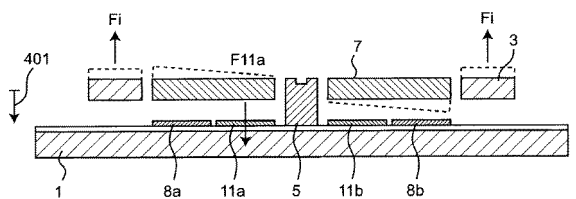
【図8】



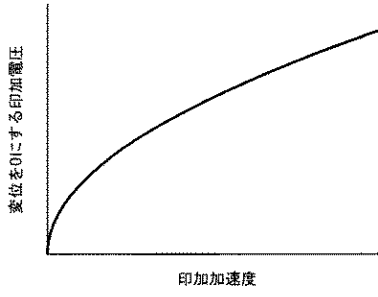
【図10】



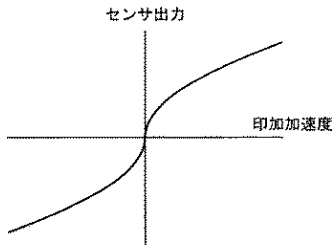
【図11】



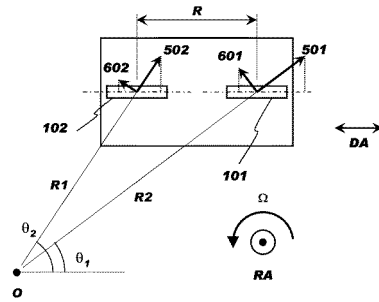
【図12】



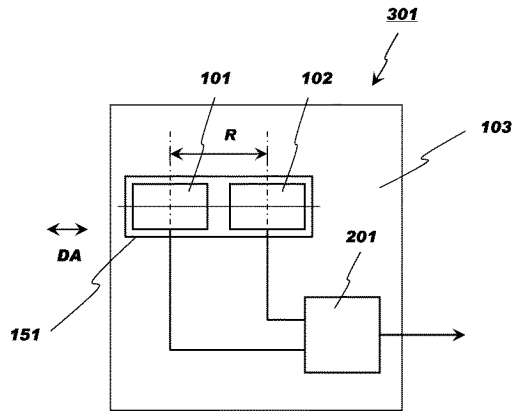
【図13】



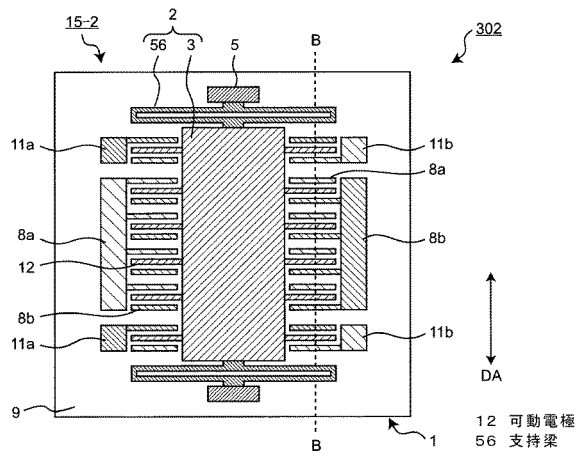
【図14】



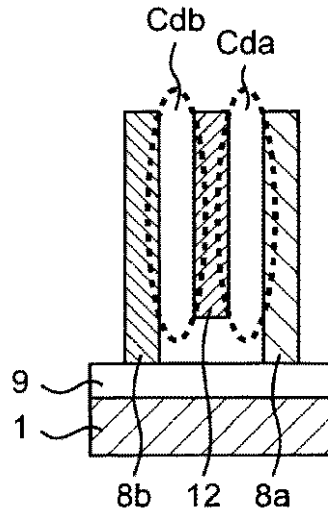
【図15】



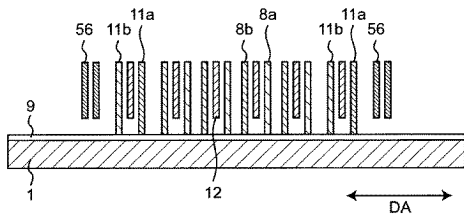
【図16】



【図18】

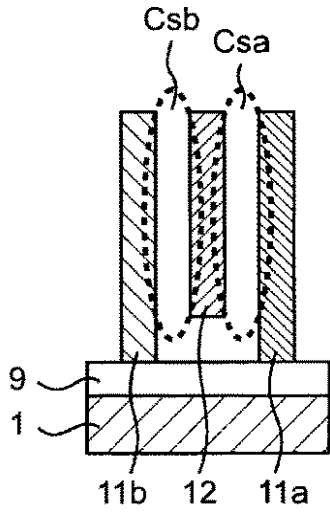


【図17】

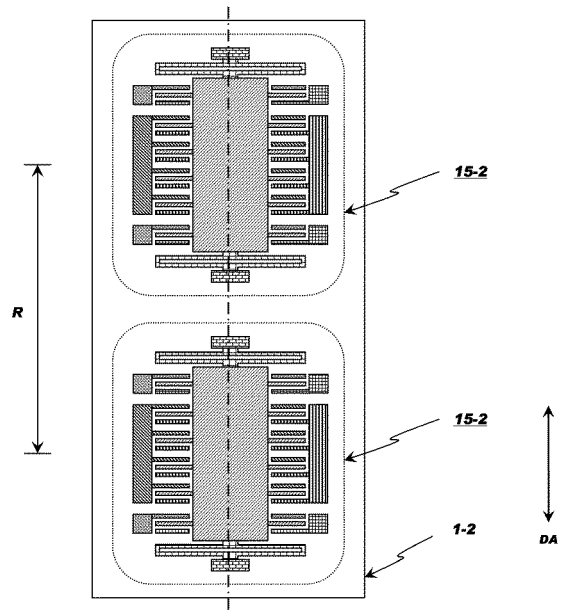




【図 19】



【図 20】



【図 21】

