

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第5649810号
(P5649810)

(45) 発行日 平成27年1月7日(2015.1.7)

(24) 登録日 平成26年11月21日(2014.11.21)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 P 15/125 (2006.01)	GO 1 P 15/125 Z
GO 1 P 21/00 (2006.01)	GO 1 P 15/125 V
GO 1 P 15/08 (2006.01)	GO 1 P 21/00
	GO 1 P 15/08 P

請求項の数 19 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2009-249424 (P2009-249424)	(73) 特許権者	509186579
(22) 出願日	平成21年10月29日 (2009.10.29)		日立オートモティブシステムズ株式会社
(65) 公開番号	特開2011-95104 (P2011-95104A)		茨城県ひたちなか市高場2 5 2 〇番地
(43) 公開日	平成23年5月12日 (2011.5.12)	(74) 代理人	100080001
審査請求日	平成24年10月2日 (2012.10.2)		弁理士 筒井 大和
		(72) 発明者	鄭 希元
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目2 8 〇番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
		(72) 発明者	山中 聖子
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目2 8 〇番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
		(72) 発明者	後藤 康
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目2 8 〇番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静電容量式センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

- (a) 基板と、
- (b) 前記基板に形成された空洞部と、
- (c) 前記空洞部内に形成された固定部と、
- (d) 前記空洞部内に形成され、前記固定部と接続された弾性変形部と、
- (e) 前記空洞部内に形成され、前記弾性変形部と接続された可動部と、
- (f) 前記空洞部内に形成された第1固定電極と、前記可動部に形成された第1可動電極とを互いに対向させた第1容量素子を含み、前記可動部が変位することで生じる前記第1容量素子の容量変化を出力する容量検出部と、
- (g) 前記容量検出部から出力された容量変化に基づいて外力の物理量を求める物理量算出部と接続される物理量算出端子と、
- (h) 前記空洞部内に形成された第2固定電極と、前記可動部に形成された第2可動電極とを互いに対向させた第2容量素子を含み、かつ、前記第2固定電極と前記第2可動電極の間に診断信号を印加するための診断信号印加用端子とを含み、前記診断信号印加用端子に診断信号を印加することにより、前記第2固定電極と前記第2可動電極の間に静電気力を発生させて強制振動させる強制振動生成部と、
- (i) 前記強制振動生成部で発生した強制振動に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する異常判断部と間接的に接続される前記物理量算出端子とを備え、
- 前記容量検出部に含まれる前記第1容量素子と、前記強制振動生成部に含まれる前記第

2 容量素子とは分離され、

前記可動部の強制振動による加振周波数は、前記外力による前記可動部の変位に基づく外力応答周波数よりも高く、

前記物理量算出部は、

(j 1) 前記容量検出部から出力された容量変化を電圧信号に変換する電圧変換部と、

(j 2) 前記電圧変換部から出力された電圧信号から前記加振周波数と前記外力応答周波数を含む第 1 特定帯域の信号を抽出する第 1 同期検波部と、

(j 3) 前記第 1 同期検波部で抽出された前記第 1 特定帯域の信号から前記外力応答周波数の信号を抽出する第 1 低帯域通過フィルタと、

(j 4) 前記第 1 低帯域通過フィルタを通過した前記外力応答周波数の信号から前記外力の前記物理量を算出する算出部とを有し、

前記異常判断部は、

(l 1) 前記第 1 同期検波部で抽出された前記第 1 特定帯域の信号を入力し、入力した前記第 1 特定帯域の信号から前記加振周波数の信号に対応した第 1 検波周波数の信号と、前記第 1 検波周波数よりも高く、前記加振周波数の信号に対応した第 2 検波周波数の信号とを抽出する第 2 同期検波部と、

(l 2) 前記第 2 同期検波部で抽出された前記第 1 検波周波数の信号と前記第 2 検波周波数の信号のうち、前記第 1 検波周波数の信号を通過させる第 2 低帯域通過フィルタと、

(l 3) 前記第 2 低帯域通過フィルタを通過した前記第 1 検波周波数の信号と、予め定められている既定値とを比較する比較部と、

(l 4) 前記比較部の結果に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する判断部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 2】

(a) 基板と、

(b) 前記基板に形成された空洞部と、

(c) 前記空洞部内に形成された固定部と、

(d) 前記空洞部内に形成され、前記固定部と接続された弾性変形部と、

(e) 前記空洞部内に形成され、前記弾性変形部と接続された可動部と、

(f) 前記空洞部内に形成された第 1 固定電極と、前記可動部に形成された第 1 可動電極とを互いに対向させた第 1 容量素子を含み、前記可動部が変位することで生じる前記第 1 容量素子の容量変化を出力する容量検出部と、

(g) 前記容量検出部から出力された容量変化に基づいて外力の物理量を求める物理量算出部と接続される物理量算出端子と、

(h) 前記空洞部内に形成された第 2 固定電極と、前記可動部に形成された第 2 可動電極とを互いに対向させた第 2 容量素子を含み、かつ、前記第 2 固定電極と前記第 2 可動電極の間に診断信号を印加するための診断信号印加用端子とを含み、前記診断信号印加用端子に診断信号を印加することにより、前記第 2 固定電極と前記第 2 可動電極の間に静電気力を発生させて強制振動させる強制振動生成部と、

(i) 前記強制振動生成部で発生した強制振動に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する異常判断部と間接的に接続される前記物理量算出端子とを備え、

前記容量検出部に含まれる前記第 1 容量素子と、前記強制振動生成部に含まれる前記第 2 容量素子とは分離され、

前記可動部の強制振動による加振周波数は、前記外力による前記可動部の変位に基づく外力応答周波数よりも高く、

前記物理量算出部は、

(j 1) 前記容量検出部から出力された容量変化を電圧信号に変換する電圧変換部と、

(j 2) 前記電圧変換部から出力された電圧信号から前記加振周波数と前記外力応答周波数を含む第 1 特定帯域の信号を抽出する第 1 同期検波部と、

(j 3) 前記第 1 同期検波部で抽出された前記第 1 特定帯域の信号から前記外力応答周波数の信号を抽出する第 1 低帯域通過フィルタと、

10

20

30

40

50

(j 4) 前記第 1 低帯域通過フィルタを通過した前記外力応答周波数の信号から前記外力の前記物理量を算出する算出部とを有し、

前記異常判断部は、

(1 1) 前記第 1 同期検波部で抽出された前記第 1 特定帯域の信号を入力し、入力した前記第 1 特定帯域の信号から前記加振周波数の信号に対応した第 1 検波周波数の信号と、前記第 1 検波周波数よりも高く、前記加振周波数の信号に対応した第 2 検波周波数の信号とを抽出する第 2 同期検波部と、

(1 2) 前記第 2 同期検波部で抽出された前記第 1 検波周波数の信号と前記第 2 検波周波数の信号のうち、前記第 2 検波周波数の信号を通過させる第 2 高帯域通過フィルタと、

(1 3) 前記第 2 高帯域通過フィルタを通過した前記第 2 検波周波数の信号と、予め定められている既定値とを比較する比較部と、

(1 4) 前記比較部の結果に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する判断部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の静電容量式センサであって、さらに、

(j) 前記物理量算出端子と接続される前記物理量算出部と、

(k) 前記診断信号を生成し、前記診断信号印加用端子と接続される診断信号生成部と

、
(l) 前記物理量算出端子と間接的に接続される前記異常判断部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 4】

請求項 3 記載の静電容量式センサであって、さらに、

(m) 前記可動部に変調信号を印加するための変調信号印加用端子と、

(n) 前記変調信号を生成し、前記変調信号印加用端子と接続された変調信号生成部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 5】

請求項 4 記載の静電容量式センサであって、

前記第 1 容量素子の容量変化は、前記外力による前記可動部の変位に起因する第 1 容量変化と、前記強制振動生成部による前記可動部の強制振動に起因する第 2 容量変化が含まれていることを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 6】

請求項 5 記載の静電容量式センサであって、

前記可動部の強制振動による前記加振周波数は、前記変調信号の搬送波周波数よりも低いことを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 7】

請求項 1 記載の静電容量式センサであって、

前記異常判断部は、さらに、前記第 2 同期検波部の前に、前記第 1 特定帯域の信号を入力し、入力した前記第 1 特定帯域の信号のうち、前記外力応答周波数よりも高い帯域の信号を通過させる第 1 高帯域通過フィルタを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 8】

請求項 2 記載の静電容量式センサであって、

前記異常判断部は、さらに、前記第 2 同期検波部の前に、前記第 1 特定帯域の信号を入力し、入力した前記第 1 特定帯域の信号のうち、前記外力応答周波数よりも高い帯域の信号を通過させる第 1 高帯域通過フィルタを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 9】

請求項 1 記載の静電容量式センサであって、さらに、

(j) 前記物理量算出端子と接続される前記物理量算出部と、

(k) 前記診断信号を生成し、前記診断信号印加用端子と接続される診断信号生成部と

、
(l) 前記物理量算出端子と間接的に接続される前記異常判断部とを有し、

前記診断信号生成部と前記診断信号印加用端子との間にスイッチを有し、
 前記異常判断部は、前記スイッチを周期的にオン/オフし、
 前記比較部は、さらに、オン時の前記第1検波周波数の信号とオフ時の前記第1検波周波数の信号との差分値を算出し、
 前記判断部は、さらに、前記差分値に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項10】

請求項2記載の静電容量式センサであって、さらに、
 (j) 前記物理量算出端子と接続される前記物理量算出部と、
 (k) 前記診断信号を生成し、前記診断信号印加用端子と接続される診断信号生成部と

10

(l) 前記物理量算出端子と間接的に接続される前記異常判断部とを有し、
 前記診断信号生成部と前記診断信号印加用端子との間にスイッチを有し、
 前記異常判断部は、前記スイッチを周期的にオン/オフし、
 前記比較部は、さらに、オン時の前記第2検波周波数の信号とオフ時の前記第2検波周波数の信号との差分値を算出し、
 前記判断部は、さらに、前記差分値に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項11】

請求項6記載の静電容量式センサであって、
 前記外力の物理量は加速度であることを特徴とする静電容量式センサ。

20

【請求項12】

請求項11記載の静電容量式センサであって、
 さらに、角速度センサを構成する構造体が形成されており、
 前記構造体は、動作時に振動させている振動体と、前記振動体を特定周波数で振動させる駆動部とを含むことを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項13】

請求項12記載の静電容量式センサであって、
 加速度センサの前記可動部を強制振動させている前記加振周波数は、前記特定周波数の2のべき乗分の1の周波数であることを特徴とする静電容量式センサ。

30

【請求項14】

請求項12記載の静電容量式センサであって、
 前記診断信号生成部と前記診断信号印加用端子との間にスイッチを有し、
 前記異常判断部は、前記スイッチのオン/オフを、前記特定周波数の2のべき乗分の1の周波数で制御していることを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項15】

(a) 基板と、
 (b) 前記基板に形成された空洞部と、
 (c) 前記空洞部内に形成された固定部と、
 (d) 前記空洞部内に形成され、前記固定部と接続された弾性変形部と、
 (e) 前記空洞部内に形成され、前記弾性変形部と接続された可動部と、
 (f) 前記空洞部内に形成された第1固定電極と、前記可動部に形成された第1可動電極とを互いに対向させた第1容量素子を含み、前記可動部が変位することで生じる前記第1容量素子の容量変化を出力する容量検出部と、
 (g) 前記容量検出部から出力された容量変化に基づいて外力の物理量を求める物理量算出部と接続される物理量算出端子と、
 (h) 前記空洞部内に形成された第2固定電極と、前記可動部に形成された第2可動電極とを互いに対向させた第2容量素子とを含み、かつ、前記第2固定電極と前記第2可動電極の間に第1診断信号を印加するための第1診断信号印加用端子と、前記第2固定電極と前記第2可動電極の間に第2診断信号を印加するための第2診断信号印加用端子とを含

40

50

み、動作開始時、前記第1診断信号印加用端子に前記第1診断信号を印加することにより、前記可動部を第1方向へ変位させ、前記第2診断信号印加用端子に前記第2診断信号を印加することにより、前記可動部を前記第1方向とは反対側の第2方向へ変位させる強制変位生成部と、

(i) 前記強制変位生成部で発生した強制変位に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する異常判断部と間接的に接続される前記物理量算出端子とを備え、

前記容量検出部に含まれる前記第1容量素子と、前記強制変位生成部に含まれる前記第2容量素子とは分離され、

前記異常判断部は、

(11) 動作開始時、前記物理量算出部から入力した初期オフセット値と、前記第1診断信号印加用端子に前記第1診断信号を印加することにより、前記可動部を前記第1方向へ変位させたとき、前記物理量算出部から入力した第1入力値と、前記第2診断信号印加用端子に前記第2診断信号を印加することにより、前記可動部を前記第2方向へ変位させたとき、前記物理量算出部から入力した第2入力値とを記憶する記憶部と、

(12) 前記記憶部に記憶されている前記第1入力値と前記第2入力値の差分値を算出する演算部と、

(13) 前記演算部で算出された前記差分値と予め設定されている既定範囲値とを比較する比較部と、

(14) 前記比較部の結果に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する判断部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項16】

請求項15記載の静電容量式センサであって、さらに、

(j) 前記物理量算出端子と接続される前記物理量算出部と、

(k) 前記第1診断信号あるいは前記第2診断信号を生成し、前記第1診断信号印加用端子あるいは前記第2診断信号印加用端子と接続される診断信号生成部と、

(l) 前記物理量算出端子と間接的に接続される前記異常判断部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項17】

(a) 基板と、

(b) 前記基板に形成された空洞部と、

(c) 前記空洞部内に形成された固定部と、

(d) 前記空洞部内に形成され、前記固定部と接続された弾性変形部と、

(e) 前記空洞部内に形成され、前記弾性変形部と接続された可動部と、

(f) 前記空洞部内に形成された第1固定電極と、前記可動部に形成された第1可動電極とを互に対向させた第1容量素子を含み、前記可動部が変位することで生じる前記第1容量素子の容量変化を出力する容量検出部と、

(g) 前記容量検出部から出力された容量変化に基づいて外力の物理量を求める物理量算出部と、

(h) 前記空洞部内に形成された第2固定電極と、前記可動部に形成された第2可動電極とを互に対向させた第2容量素子を含み、かつ、前記第2固定電極と前記第2可動電極の間に診断信号を印加するための診断信号印加用端子とを含み、前記診断信号印加用端子に前記診断信号を印加することにより、前記第2固定電極と前記第2可動電極の間に静電気力を発生させて強制振動させる強制振動生成部と、

(i) 前記強制振動生成部で発生した強制振動に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する異常判断部とを備え、

前記容量検出部に含まれる前記第1容量素子と、前記強制振動生成部に含まれる前記第2容量素子とは分離され、

前記可動部の強制振動による加振周波数は、前記外力による前記可動部の変位に基づく外力応答周波数よりも高く、

前記物理量算出部は、

10

20

30

40

50

(j 1) 前記容量検出部から出力された容量変化を電圧信号に変換する電圧変換部と、
(j 2) 前記電圧変換部から出力された電圧信号から前記加振周波数と前記外力応答周波数を含む第 1 特定帯域の信号を抽出する第 1 同期検波部と、

(j 3) 前記第 1 同期検波部で抽出された前記第 1 特定帯域の信号から前記外力応答周波数の信号を抽出する第 1 低帯域通過フィルタと、

(j 4) 前記第 1 低帯域通過フィルタを通過した前記外力応答周波数の信号から前記外力の前記物理量を算出する算出部とを有し、

前記異常判断部は、

(l 1) 前記第 1 同期検波部で抽出された前記第 1 特定帯域の信号を入力し、入力した前記第 1 特定帯域の信号から前記加振周波数の信号に対応した第 1 検波周波数の信号と、前記第 1 検波周波数よりも高く、前記加振周波数の信号に対応した第 2 検波周波数の信号とを抽出する第 2 同期検波部と、

(l 2) 前記第 2 同期検波部で抽出された前記第 1 検波周波数の信号と前記第 2 検波周波数の信号のうち、前記第 1 検波周波数の信号を通過させる第 2 低帯域通過フィルタと、

(l 3) 前記第 2 低帯域通過フィルタを通過した前記第 1 検波周波数の信号と、予め定められている既定値とを比較する比較部と、

(l 4) 前記比較部の結果に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する判断部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 18】

(a) 基板と、

(b) 前記基板に形成された空洞部と、

(c) 前記空洞部内に形成された固定部と、

(d) 前記空洞部内に形成され、前記固定部と接続された弾性変形部と、

(e) 前記空洞部内に形成され、前記弾性変形部と接続された可動部と、

(f) 前記空洞部内に形成された第 1 固定電極と、前記可動部に形成された第 1 可動電極とを互いに対向させた第 1 容量素子を含み、前記可動部が変位することで生じる前記第 1 容量素子の容量変化を出力する容量検出部と、

(g) 前記容量検出部から出力された容量変化に基づいて外力の物理量を求める物理量算出部と、

(h) 前記空洞部内に形成された第 2 固定電極と、前記可動部に形成された第 2 可動電極とを互いに対向させた第 2 容量素子を含み、かつ、前記第 2 固定電極と前記第 2 可動電極の間に診断信号を印加するための診断信号印加用端子とを含み、前記診断信号印加用端子に前記診断信号を印加することにより、前記第 2 固定電極と前記第 2 可動電極の間に静電気力を発生させて強制振動させる強制振動生成部と、

(i) 前記強制振動生成部で発生した強制振動に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する異常判断部とを備え、

前記容量検出部に含まれる前記第 1 容量素子と、前記強制振動生成部に含まれる前記第 2 容量素子とは分離され、

前記可動部の強制振動による加振周波数は、前記外力による前記可動部の変位に基づく外力応答周波数よりも高く、

前記物理量算出部は、

(j 1) 前記容量検出部から出力された容量変化を電圧信号に変換する電圧変換部と、

(j 2) 前記電圧変換部から出力された電圧信号から前記加振周波数と前記外力応答周波数を含む第 1 特定帯域の信号を抽出する第 1 同期検波部と、

(j 3) 前記第 1 同期検波部で抽出された前記第 1 特定帯域の信号から前記外力応答周波数の信号を抽出する第 1 低帯域通過フィルタと、

(j 4) 前記第 1 低帯域通過フィルタを通過した前記外力応答周波数の信号から前記外力の前記物理量を算出する算出部とを有し、

前記異常判断部は、

(l 1) 前記第 1 同期検波部で抽出された前記第 1 特定帯域の信号を入力し、入力した

10

20

30

40

50

前記第 1 特定帯域の信号から前記加振周波数の信号に対応した第 1 検波周波数の信号と、前記第 1 検波周波数よりも高く、前記加振周波数の信号に対応した第 2 検波周波数の信号とを抽出する第 2 同期検波部と、

(1 2) 前記第 2 同期検波部で抽出された前記第 1 検波周波数の信号と前記第 2 検波周波数の信号のうち、前記第 2 検波周波数の信号を通過させる第 2 高帯域通過フィルタと、

(1 3) 前記第 2 高帯域通過フィルタを通過した前記第 2 検波周波数の信号と、予め定められている既定値とを比較する比較部と、

(1 4) 前記比較部の結果に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する判断部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【請求項 19】

(a) 基板と、
(b) 前記基板に形成された空洞部と、
(c) 前記空洞部内に形成された固定部と、
(d) 前記空洞部内に形成され、前記固定部と接続された弾性変形部と、
(e) 前記空洞部内に形成され、前記弾性変形部と接続された可動部と、
(f) 前記空洞部内に形成された第 1 固定電極と、前記可動部に形成された第 1 可動電極とを互に対向させた第 1 容量素子を含み、前記可動部が変位することで生じる前記第 1 容量素子の容量変化を出力する容量検出部と、

(g) 前記容量検出部から出力された容量変化に基づいて外力の物理量を求める物理量算出部と、

(h) 前記空洞部内に形成された第 2 固定電極と、前記可動部に形成された第 2 可動電極とを互に対向させた第 2 容量素子とを含み、かつ、前記第 2 固定電極と前記第 2 可動電極の間に第 1 診断信号を印加するための第 1 診断信号印加用端子と、前記第 2 固定電極と前記第 2 可動電極の間に第 2 診断信号を印加するための第 2 診断信号印加用端子とを含み、動作開始時、前記第 1 診断信号印加用端子に前記第 1 診断信号を印加することにより、前記可動部を第 1 方向へ変位させ、前記第 2 診断信号印加用端子に前記第 2 診断信号を印加することにより、前記可動部を前記第 1 方向とは反対側の第 2 方向へ変位させる強制変位生成部と、

(i) 前記強制変位生成部で発生した強制変位に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する異常判断部とを備え、

前記容量検出部に含まれる前記第 1 容量素子と、前記強制変位生成部に含まれる前記第 2 容量素子とは分離されており、

前記異常判断部は、

(1 1) 動作開始時、前記物理量算出部から入力した初期オフセット値と、前記第 1 診断信号印加用端子に前記第 1 診断信号を印加することにより、前記可動部を前記第 1 方向へ変位させたとき、前記物理量算出部から入力した第 1 入力値と、前記第 2 診断信号印加用端子に前記第 2 診断信号を印加することにより、前記可動部を前記第 2 方向へ変位させたとき、前記物理量算出部から入力した第 2 入力値とを記憶する記憶部と、

(1 2) 前記記憶部に記憶されている前記第 1 入力値と前記第 2 入力値の差分値を算出する演算部と、

(1 3) 前記演算部で算出された前記差分値と予め設定されている既定範囲値とを比較する比較部と、

(1 4) 前記比較部の結果に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する判断部とを有することを特徴とする静電容量式センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、静電容量式センサに関し、特に、故障（異常）の有無を判断する診断機能を備える静電容量式センサに適用して有効な技術に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 2 】

M E M S (Micro Electro Mechanical Systems) センサの 1 つである加速度センサは、錘 (可動部) と支持梁 (弾性変形部) とで構成されており、錘に働く加速度を電気信号に変換するものである。このような M E M S センサとしては、コンデンサを構成する電極間の容量変化として加速度を検出する静電容量式センサがあり、この静電容量式センサは、錘に働く加速度を容量などの変化として捉え、それを L S I 回路で電気信号に変換して M E M S センサの出力としている。

【 0 0 0 3 】

例えば、車の横滑りやスピンを抑制して安全な走行を支援する姿勢制御システムには、角速度を検出する角速度センサや、前後方向および横方向の加速度を検出する加速度センサなどの M E M S センサがキーデバイスとして用いられる。この姿勢制御システムでは、角速度センサや加速度センサからの出力を元にエンジンの出力やブレーキの制動力を制御することで車の横滑りやスピンを抑制している。このことから、角速度センサや加速度センサの故障は事故に繋がる可能性が高く、角速度センサや加速度センサの故障時にはすぐに知らせる必要がある。

10

【 0 0 0 4 】

特開 2 0 0 7 - 2 4 8 3 2 8 号公報 (特許文献 1) には、加速度に起因して可動する 2 つの可動電極と、これらの可動電極のそれぞれに対向配置させた 2 つの検出電極とを有する検知素子と、交流バイアス電圧信号を可動電極に inputs するドライブ回路と、2 つの検出電極から出力された 2 つの検出信号に基づいて加速度信号を出力する検出回路とを備える加速度センサが記載されている。そして、この加速度センサの検出回路において、2 つの増幅器に inputs する基準電圧信号とは別に、検知電圧印加部から検知電圧信号を 2 つの増幅器に inputs して差動検出器から出力される検知差動信号に基づいて故障を検知する故障検知手段を設けているとしている。

20

【 0 0 0 5 】

特開平 0 5 - 2 8 1 2 5 6 号公報 (特許文献 2) には、検出電極の静電容量を検出するために印加する交流信号に低周波数の診断信号を重畳させることで、可動電極と固定電極間の静電容量を変化させることが記載されている。そして、その結果発生する加速度センサの出力が振動しているか否かを観測することで信号である加速度を検出しながらも加速度センサの故障の有無を判断することができると記載されている。

30

【 0 0 0 6 】

このとき、低周波数の診断信号は加速度の測定に支障が出ない程度の振幅で出力を振動させるため、加速度を検出しながら故障の有無を診断する常時診断が可能であると記載されている。また、診断信号 (診断種類の切換信号) がローレベルの場合は、可動電極を大きく強制的に振動させる高加速度診断も可能であると記載されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 7 - 2 4 8 3 2 8 号公報

【 特許文献 2 】 特開平 0 5 - 2 8 1 2 5 6 号公報

40

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

上述したように、加速度センサに代表される静電容量式センサが故障した際にはすぐに故障を検知できることが望ましい。したがって、静電容量式センサを動作させながら故障の有無を診断できることが、直ぐに故障を検知する観点から望ましいことになる。

【 0 0 0 9 】

ここで、故障の有無を診断する診断機能を有する従来の加速度センサでも、例えば、上述した特許文献 1 に記載された技術は、加速度を測定する場合と、故障を診断する場合とを別々に行なう必要があり、加速度を検出しながら故障の有無を診断するという常時診断

50

を実現できていない。すなわち、特許文献 1 に記載された技術では、加速度センサを動作させている際に故障が発生しても、すぐに故障を検出することができない。

【 0 0 1 0 】

一方、上述した特許文献 2 に記載された技術によれば、検出電極の静電容量を検出するために印加する交流信号に低周波数の診断信号を重畳させることにより、加速度を検出しながらも加速度センサの故障の有無を判断することができる。

【 0 0 1 1 】

しかし、加速度を検出する検出電極自体に直接診断信号を重畳させる場合、診断信号が、検出電極の容量変化を電圧信号に変換する容量 / 電圧変換部に入力される電荷量に影響を及ぼすため、加速度センサの出力の零点が変動するオフセットドリフトが発生する。オフセットドリフトが発生すると、加速度が印加されていないにもかかわらず、あたかも加速度が印加されているように加速度センサが振舞うことになる。このことは、加速度センサが誤検出することを示している。

【 0 0 1 2 】

また、上述した零点オフセットに関する問題は、加速度を検出しながら故障の有無を診断するという常時診断の場合だけでなく、加速度センサを動作させる前に行なう初期診断の場合にも存在する。例えば、加速度センサが傾斜した場所に置かれている場合、加速度センサに加速度が加わっていないに関わらず、重力加速度によって、可動部は零点から変位して零点オフセットが生じることになる。この場合、加速度センサは正常であるにも関わらず故障と誤診断されるおそれがある。

【 0 0 1 3 】

本発明の目的は、加速度センサに代表される静電容量式センサにおいて、誤検出や誤診断を抑制できる技術を提供することにある。

【 0 0 1 4 】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 5 】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【 0 0 1 6 】

代表的な実施の形態による静電容量式センサは、(a) 基板と、(b) 前記基板に形成された空洞部と、(c) 前記空洞部内に形成された固定部と、(d) 前記空洞部内に形成され、前記固定部と接続された弾性変形部と、(e) 前記空洞部内に形成され、前記弾性変形部と接続された可動部とを備える。そして、(f) 前記空洞部内に形成された第 1 固定電極と、前記可動部に形成された第 1 可動電極とを互に対向させた第 1 容量素子を含み、前記可動部が変位することで生じる前記第 1 容量素子の容量変化を出力する容量検出部と、(g) 前記容量検出部から出力された容量変化に基づいて外力の物理量を求める物理量算出部と接続される物理量算出端子とを備える。さらに、(h) 前記空洞部内に形成された第 2 固定電極と、前記可動部に形成された第 2 可動電極とを互に対向させた第 2 容量素子を含み、かつ、前記第 2 固定電極と前記第 2 可動電極の間に診断信号を印加するための診断信号印加用端子とを含み、前記診断信号印加用端子に診断信号を印加することにより、前記第 2 固定電極と前記第 2 可動電極の間に静電気力を発生させて強制振動させる強制振動生成部とを備える。その上、(i) 前記強制振動生成部で発生した強制振動に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する異常判断部と間接的に接続される前記物理量算出端子を備える。ここで、前記容量検出部に含まれる前記第 1 容量素子と、前記強制振動生成部に含まれる前記第 2 容量素子とは分離されていることを特徴とするものである。

【 0 0 1 7 】

また、代表的な実施の形態による静電容量式センサは、(a) 基板と、(b) 前記基板

10

20

30

40

50

に形成された空洞部と、(c)前記空洞部内に形成された固定部と、(d)前記空洞部内に形成され、前記固定部と接続された弾性変形部と、(e)前記空洞部内に形成され、前記弾性変形部と接続された可動部とを備える。そして、(f)前記空洞部内に形成された第1固定電極と、前記可動部に形成された第1可動電極とを互いに対向させた第1容量素子を含み、前記可動部が変位することで生じる前記第1容量素子の容量変化を出力する容量検出部とを備える。さらに、(g)前記容量検出部から出力された容量変化に基づいて外力の物理量を求める物理量算出部と接続される物理量算出端子とを備える。その上、(h)前記空洞部内に形成された第2固定電極と、前記可動部に形成された第2可動電極とを互いに対向させた第2容量素子を含み、かつ、前記第2固定電極と前記第2可動電極の間に第1診断信号を印加するための第1診断信号印加用端子と、前記第2固定電極と前記第2可動電極の間に第2診断信号を印加するための第2診断信号印加用端子とを含み、動作開始時、前記第1診断信号印加用端子に前記第1診断信号を印加することにより、前記可動部を第1方向へ変位させ、前記第2診断信号印加用端子に前記第2診断信号を印加することにより、前記可動部を前記第1方向とは反対側の第2方向へ変位させる強制変位生成部とを備える。そして、(i)前記強制変位生成部で発生した強制変位に基づいて、静電容量式センサの異常の有無を判断する異常判断部と間接的に接続される前記物理量算出端子を備える。ここで、前記容量検出部に含まれる前記第1容量素子と、前記強制変位生成部に含まれる前記第2容量素子とは分離されていることを特徴とするものである。

10

【発明の効果】

【0018】

20

本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば以下のとおりである。

【0019】

加速度センサに代表される静電容量式センサにおいて、誤検出や誤診断を抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の加速度センサを構成するMEMS構造体を示す平面図である。

【図2】図1のA-A線で切断した断面図である。

【図3】加速度センサの実装構成例を示す断面図である。

【図4】実施の形態1における加速度センサの構成を示す図である。

30

【図5】実施の形態1における加速度センサの周波数応答特性を示すグラフである。

【図6】実施の形態2における加速度センサの構成を示す図である。

【図7】実施の形態3における加速度センサの構成を示す図である。

【図8】実施の形態4における加速度センサの構成を示す図である。

【図9】実施の形態5における複合センサの構成を示す図である。

【図10】実施の形態6における加速度センサの構成を示す図である。

【図11】実施の形態6における初期診断の流れを示すフローチャートである。

【図12】零点オフセットと診断信号印加時の出力との関係を示すグラフである。

【図13】図12の一部を拡大したグラフである。

【図14】可動部に形成されている容量素子の構造を示す図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下の実施の形態においては便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。

【0022】

また、以下の実施の形態において、要素の数等(個数、数値、量、範囲等を含む)に言及する場合、特に明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でもよい。

【0023】

50

さらに、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。

【0024】

同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうではないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。

【0025】

また、実施の形態を説明するための全図において、同一の部材には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。なお、図面をわかりやすくするために平面図であってもハッチングを付す場合がある。

【0026】

（実施の形態1）

本実施の形態1におけるMEMSセンサ（静電容量式センサ）について図面を参照しながら説明する。本実施の形態1では、MEMSセンサの一例として、加速度センサを例に挙げて説明する。図1は、半導体チップCHP1に形成された加速度センサを構成する構造体を示す平面図である。図1に示すように、半導体チップCHP1には、枠部1が形成されており、この枠部1に囲まれるように空洞部2が形成されている。空洞部2の内部には、固定部3が設けられており、この固定部3には、梁（弾性変形部）4が接続されている。そして、梁4は、加速度センサの錘となる可動部5と接続されている。つまり、固定部3と可動部5は弾性変形可能な梁4で接続されており、可動部5は、図1のX方向に変位できるようになっている。

【0027】

可動部5には、可動部5と一体的に形成された検出用可動電極6aが形成されており、この検出用可動電極6aと対向するように、検出用固定電極6bおよび検出用固定電極6cが形成されている。この検出用可動電極6aと検出用固定電極6b、あるいは、検出用可動電極6aと検出用固定電極6cは、それぞれ容量素子を形成しており、外部から印加された加速度によって可動部5がX方向に変位すると、上述した容量素子の容量が変化している。つまり、検出用可動電極6aと検出用固定電極6b、あるいは、検出用可動電極6aと検出用固定電極6cから構成される容量素子は、可動部5のX方向の変位を容量変化として検出する容量検出部として機能する。

【0028】

また、可動部5には、可動部5と一体的に形成された診断用可動電極8aが形成されており、この診断用可動電極8aと対向するように、診断用固定電極8bおよび診断用固定電極8cが形成されている。診断用可動電極8aと診断用固定電極8b、あるいは、診断用可動電極8aと診断用固定電極8cは、それぞれ容量素子を形成している。この容量素子を形成している診断用可動電極8aと診断用固定電極8b、および、診断用可動電極8aと診断用固定電極8cの間に周期的な診断信号を印加すると、診断用可動電極8aと診断用固定電極8bの間、および、診断用可動電極8aと診断用固定電極8cの間に静電気が働き、診断用可動電極8aが振動するようになっている。この診断用可動電極8aがX方向に振動すると、診断用可動電極8aと一体的に形成されている可動部5も振動することになる。つまり、診断用可動電極8aと診断用固定電極8b、あるいは、診断用可動電極8aと診断用固定電極8cから構成される容量素子は、可動部5をX方向に強制振動させる強制振動生成部として機能する。

【0029】

このように構成された加速度センサの構造体は、シリコンなどの半導体材料から構成されている。したがって、互いに梁4を介して接続されている固定部3と可動部5とは電氣的に接続されており、可動部5に印加される電位は、固定部3に形成されているパッド3aから供給されるように構成されている。一方、検出用固定電極6bおよび検出用固定電

10

20

30

40

50

極 6 c にも、それぞれパッド 7 a およびパッド 7 b が形成されており、可動部 5 が X 方向に変位することで生じる容量変化により、検出用固定電極 6 b や検出用固定電極 6 c に電荷が流入あるいは流出できるように構成されている。また、診断用固定電極 8 b および診断用固定電極 8 c にも、それぞれパッド 9 a およびパッド 9 b が形成されており、パッド 9 a やパッド 9 b から、診断用固定電極 8 b や診断用固定電極 8 c に診断信号を印加できるようにになっている。

【 0 0 3 0 】

図 2 は、図 1 の A - A 線で切断した断面図である。図 2 に示すように、半導体チップ C H P 1 は、基板層 1 S 上に埋め込み絶縁層 B O X が形成され、この埋め込み絶縁層 B O X 上に形成されたシリコン層とを有している。つまり、本実施の形態 1 では、加速度センサを構成する半導体チップ C H P 1 は、基板層 1 S と埋め込み絶縁層 B O X とシリコン層とを備える S O I (Silicon On Insulator) 基板から構成されている。そして、図 2 に示されている枠部 1、固定部 3、可動部 5、検出用可動電極 6 a、検出用固定電極 6 b、および、検出用固定電極 6 c と、図 2 に示されていない梁 4、診断用可動電極 8 a、診断用固定電極 8 b、および、診断用固定電極 8 c は、S O I 基板のシリコン層を加工して形成されている。例えば、図 2 において、枠部 1 と固定部 3 は埋め込み絶縁層 B O X 上に形成されており固定されていることがわかる。一方、例えば、可動部 5 もシリコン層から形成されているが、可動部 5 の下層に形成されている埋め込み絶縁層 B O X は除去されている。同様に、図 2 に示されていない梁 4 の下層に形成されている埋め込み絶縁層 B O X も除去されている。したがって、可動部 5 は、空洞部の中に配置され、かつ、梁 4 によって支持されていることになる。このことから、可動部 5 は変位可能なように形成されていることになる。

【 0 0 3 1 】

本実施の形態 1 における加速度センサは、例えば、S O I 基板をフォトリソグラフィ技術と D R I E (Deep Reactive Ion Etching) を用いて加工することで形成する場合を想定している。もちろん、本実施の形態 1 では、S O I 基板を使用して加速度センサを製造する例を説明しているだけであって、本実施の形態 1 における概念は、ガラス・シリコン・ガラスの接合技術などを使用して、シリコン基板の表面と裏面の両方を加工することで加速度センサ (M E M S 構造体) を形成する (バルク M E M S プロセス) 場合にも適用することができる。さらに、予めトランジスタなどの信号処理回路が形成されているシリコン基板の表面に薄膜を堆積し、堆積した薄膜をパターニングすることを繰り返すことで加速度センサ (M E M S 構造体) を形成する (表面 M E M S プロセス) 場合にも適用することができる。

【 0 0 3 2 】

本実施の形態 1 における加速度センサ (M E M S 構造体) を形成した半導体チップ C H P 1 は上記のように構成されており、以下に、この半導体チップ C H P 1 を実装する構成例について説明する。本実施の形態 1 では、加速度センサ (M E M S 構造体) と、この加速度センサからの出力信号を信号処理する L S I とを別々の半導体チップに形成する例について説明するが、これに限らず、加速度センサを構成する M E M S 構造体と、信号処理回路を構成するトランジスタとを同一の半導体チップに形成する場合にも適用することができる。

【 0 0 3 3 】

図 3 は、本実施の形態 1 における加速度センサの実装構成例を示す断面図である。図 3 に示すように、凹部を有する外枠体 1 0 の底部には、接着材 1 1 を介して半導体チップ C H P 2 が搭載されている。外枠体 1 0 は、例えば、セラミックから構成されている。半導体チップ C H P 2 には、通常の半導体製造技術により、トランジスタや受動素子からなる集積回路が形成されている。この半導体チップ C H P 2 に形成されている集積回路は、加速度センサ (M E M S 構造体) からの出力信号を信号処理する機能を有しており、最終的に加速度信号を出力する回路である。

【 0 0 3 4 】

この半導体チップＣＨＰ２上には、接着材１３を介して半導体チップＣＨＰ１が搭載されている。この半導体チップＣＨＰ１は、図１や図２で説明した加速度センサを構成するＭＥＭＳ構造体が形成されている半導体チップである。この半導体チップＣＨＰ１に形成されているパッドと、半導体チップＣＨＰ２に形成されているパッド１２ａは、例えば、ワイヤ１４ａで接続されている。さらに、半導体チップＣＨＰ２に形成されているパッド１２ｂは、外枠体１０に形成されている端子とワイヤ１４ｂで接続されている。

【００３５】

そして、外枠体１０内に積層して配置された半導体チップＣＨＰ１と半導体チップＣＨＰ２は、外枠体１０の上部をリッド１５で封止することにより密閉される。このようにして、本実施の形態１における加速度センサが実装構成されている。図３に示す加速度センサによれば、半導体チップＣＨＰ１で検出した信号を半導体チップＣＨＰ２に入力することができる。その後、半導体チップＣＨＰ２に入力された信号は、半導体チップＣＨＰ２内に形成されている集積回路で信号処理され、最終的に加速度に対応した加速度信号が出力される。半導体チップＣＨＰ２から出力された加速度信号は、ワイヤ１４ｂを介して外枠体１０に形成された端子に出力され、外部へと取り出すことが可能になっている。なお、本実施の形態１では、外枠体１０を使用したセラミックパッケージについて説明しているが、本発明はこれに限らず、例えば、ガラス陽極接合を使用したウェハレベルパッケージによる実装形態にも適用することができる。

【００３６】

続いて、本実施の形態１における加速度センサの基本的な動作原理について説明する。図１に示すように、本実施の形態１における加速度センサは、Ｘ方向に変位することができる可動部５を有している。例えば、この可動部５はＸ方向に加速度が印加されると、Ｘ方向に変位する。可動部５には検出用可動電極６ａが形成されており、この検出用可動電極６ａと相対するように検出用固定電極６ｂおよび検出用固定電極６ｃが形成されている。この場合、可動部５が変位すると、これに伴って検出用可動電極６ａが変位する。一方、検出用固定電極６ｂおよび検出用固定電極６ｃは固定されたまま変位しない。したがって、Ｘ方向に加速度が印加されて可動部５が変位すると、検出用可動電極６ａと検出用固定電極６ｂ、あるいは、検出用可動電極６ａと検出用固定電極６ｃからなる容量素子の電極間距離が変化する。容量素子の電極間距離が変化するということは、容量素子の電気容量（静電容量）が変化するを意味している。このように、Ｘ方向に加速度が印加されると、Ｘ方向に可動部５が変位し、その結果、容量素子の静電容量が変化する。この容量変化は、電圧変換部で電圧信号に変換され、変換された電気信号に基づいて加速度信号が加速度センサから出力される。このことから、加速度センサに印加された加速度は、容量素子の容量変化として検出され、検出された容量変化は電圧信号に変換されて最終的に加速度信号が加速度センサから出力されることがわかる。

【００３７】

以上が加速度センサの基本的な動作原理であるが、実際の加速度センサの動作は、高感度を実現するため、より複雑なものになっている。この理由について説明する。例えば、加速度センサに印加される加速度は、ＤＣ～数十Ｈｚという低い周波数の信号である。したがって、上述した基本原理での動作では、低い周波数の加速度に対応して容量素子の容量変化もＤＣ～数十Ｈｚで変化するることになり、この容量変化を変換した電圧信号もＤＣ～数十Ｈｚの信号となる。この場合、低い周波数の電圧信号は、アナログ回路で発生するＤＣ的なノイズ、特に、 $1/f$ ノイズの影響を受けやすくなるのである。 $1/f$ ノイズとは、周波数に反比例するノイズであり、信号の周波数が低くなると大きくなり、信号の周波数が高くなるにつれて小さくなる特徴がある。したがって、容量変化を変換した電圧信号は、ＤＣ～数十Ｈｚという低い周波数の信号であるため、 $1/f$ ノイズも大きくなる。このことは、信号に対するノイズが大きくなることを意味し、いわゆるＳ／Ｎ比が小さくなることを意味する。Ｓ／Ｎ比が小さくなるということは、微弱な信号を検出することができなくなり、検出精度が劣化することを意味する。

【００３８】

そこで、加速度センサでは、DC～数十Hzの信号を、 $1/f$ ノイズの少ない高周波の信号に変換することが行なわれている。具体的には、例えば、数百kHzの搬送波を使用して加速度センサの可動部5を振動させる。これにより、DC～数十Hzの静電容量変化は、搬送波と同じ周波数を持つ高周波信号に変換される。この高周波信号が存在する高周波帯域では、DC～数十Hzの低周波帯域に比べて、 $1/f$ ノイズが小さくなる。このことから、DC～数十Hzの微弱な静電容量変化を搬送波によって、 $1/f$ ノイズが少ない高周波信号に変換することにより、微弱な静電容量変化でも高精度に検出することができるのである。つまり、可動部5を数百kHzの搬送波で振動させることにより、加速度によるDC～数十Hzの静電容量変化を高周波信号に重畳し、この高周波信号に対して信号処理を施す。これにより、 $1/f$ ノイズの影響を抑制してS/N比を向上させることができ、加速度信号の検出精度を向上させることができるのである。

10

【0039】

以上のように実際の加速度センサでは、数百kHzの搬送波で可動部5を振動させることが行なわれる。以下では、実際の加速度センサの構成を説明し、その後、その動作について説明する。

【0040】

図4は、本実施の形態1における加速度センサの構成を示す図である。図4に示すように、本実施の形態1における加速度センサは、半導体チップCHP1と半導体チップCHP2とを有しており、半導体チップCHP1にMEMS構造体が形成され、半導体チップCHP2に信号処理回路が形成されている。

20

【0041】

まず、図4には、半導体チップCHP1に形成されているMEMS構造体の可動部5が図示されており、この可動部5と物理量算出端子TE1との間に容量検出部である容量素子C1が形成されている。この容量素子C1は、検出用可動電極6aと検出用固定電極6bから形成されている。また、可動部5と物理量算出端子TE2の間に容量素子C2が形成されている。この容量素子C2は、検出用可動電極6aと検出用固定電極6cから構成されている。

【0042】

続いて、半導体チップCHP2に形成されている信号処理回路の構成について説明する。図4において、半導体チップCHP2には、変調信号（搬送波）を生成する変調信号生成部MSGが形成されている。この変調信号生成部MSGは、例えば、数百kHzの変調信号を生成できるように構成されている。変調信号生成部MSGで生成された変調信号102にはバイアス電圧103が印加されて可動部5に印加されるように構成されている。つまり、変調信号生成部MSGで生成された変調信号102は、変調信号印加用端子TE5を介して可動部5に印加されるようになっている。これにより、可動部5は、数百kHzの変調信号102によって振動することになる。

30

【0043】

次に、半導体チップCHP2には物理量算出部PCUが形成されている。この物理量算出部PCUは、物理量算出端子TE1および物理量算出端子TE2と接続されており、電圧変換部CVT、A/D変換部ADT、第1同期検波部FDU、ローパスフィルタLPF1および算出部CUを有している。

40

【0044】

電圧変換部CVTは、容量素子C1の容量変化を電圧信号に変換するオペアンプOP1と、容量素子C2の容量変化を電圧信号に変換するオペアンプOP2と、オペアンプOP1の出力とオペアンプOP2の出力とを入力して増幅するオペアンプOP3とを有している。オペアンプOP1の負側端子は、物理量算出端子TE1を介して容量素子C1と接続されており、オペアンプOP1の負側端子とオペアンプOP1の出力の間に参照容量Cf1が接続されている。そして、オペアンプOP1の正側端子にはバイアス電圧104が印加されている。同様に、オペアンプOP2の負側端子は、物理量算出端子TE2を介して容量素子C2と接続されており、オペアンプOP2の負側端子とオペアンプOP2の出力

50

の間に参照容量 C_{f2} が接続されている。そして、オペアンプ $OP2$ の正側端子にはバイアス電圧 1.04 が印加されている。また、オペアンプ $OP3$ の負側端子には、オペアンプ $OP1$ の出力が入力されるようになっており、オペアンプ $OP3$ の正側端子には、オペアンプ $OP2$ の出力が入力されるようになっている。

【0045】

続いて、 A/D 変換部 ADT は、電圧変換部 CVT から出力されたアナログ信号をデジタル信号に変換するように構成されており、第1同期検波部 FDU は、搬送波によって高周波信号に変換された信号から元の低い周波数の信号を復元するように構成されている。また、ローパスフィルタ $LPF1$ は、高い周波数の信号を減衰させ、低い周波数の信号を通過させるように構成されており、算出部 CU は、ローパスフィルタ $LPF1$ を通過した信号から加速度信号を算出するように構成されている。

10

【0046】

本実施の形態1における加速度センサは上記のように構成されており、次に、加速度を検出する動作について説明する。

【0047】

まず、変調信号生成部 MSG で生成した数百 kHz (搬送波周波数) の変調信号 102 を変調信号印加用端子 $TE5$ から可動部5に印加する。すると、可動部5は、搬送波周波数(数百 kHz) で振動する。この振動はとても速いので、この振動による容量素子 $C1$ および容量素子 $C2$ の容量変化はないものとみなせる。この状態で、外部から加速度が印加されると、可動部5が変位する。例えば、可動部5が図4の上側に変位する場合、容量素子 $C1$ では、検出用可動電極 $6a$ と検出用固定電極 $6b$ の間の距離が狭くなるので、容量素子 $C1$ の容量が大きくなる。一方、容量素子 $C2$ では、検出用可動電極 $6a$ と検出用固定電極 $6c$ の間の距離が大きくなるので、容量素子 $C2$ の容量が小さくなる。この容量素子 $C1$ の容量変化と、容量素子 $C2$ の容量変化は、外部から印加された加速度に対応する外力応答周波数($DC \sim$ 数十 Hz) の変化となる。ただし、今の場合、可動部5には、変調信号 102 が印加されているので、外力応答周波数($DC \sim$ 数十 Hz) の容量変化は、搬送波周波数(数百 kHz) に重畳される。

20

【0048】

その後、この容量素子 $C1$ での容量変化と変調信号 102 の振幅に基づいて、物理量算出端子 $TE1$ に接続されているオペアンプ $OP1$ の負側端子に電流が流れる。これにより、オペアンプ $OP1$ では、容量素子 $C1$ の容量変化と参照容量 C_{f1} との比で決まる電圧信号がオペアンプ $OP1$ から出力される。同様に、容量素子 $C2$ での容量変化と変調信号 102 の振幅に基づいて、物理量算出端子 $TE2$ に接続されているオペアンプ $OP2$ の負側端子に電流が流れる。これにより、オペアンプ $OP2$ では、容量素子 $C2$ の容量変化と参照容量 C_{f2} との比で決まる電圧信号がオペアンプ $OP2$ から出力される。このようにして、容量素子 $C1$ の容量変化は、オペアンプ $OP1$ で電圧信号に変換され、容量素子 $C2$ の容量変化は、オペアンプ $OP2$ で電圧信号に変換される。そして、オペアンプ $OP1$ から出力された電圧信号と、オペアンプ $OP2$ から出力された電圧信号の差分がオペアンプ $OP3$ で増幅されて、電圧変換部 CVT から電圧信号が出力される。この電圧変換部 CVT から出力される電圧信号(アナログ信号)は、搬送波周波数(数百 kHz) に外力応答周波数($DC \sim$ 数十 Hz) の電圧信号が重畳されたものとなる。

30

40

【0049】

ここで、容量素子 $C1$ と容量素子 $C2$ は、外部から加速度が印加されていない状態では、互いに同じ容量になるように形成(調整)されているため、加速度が印加されていない場合、オペアンプ $OP1$ からの出力信号と、オペアンプ $OP2$ からの出力信号は互いに相殺され、オペアンプ $OP3$ からの出力信号は0となる。

【0050】

次に、電圧変換部 CVT から出力された電圧信号(搬送波周波数(数百 kHz) に外力応答周波数($DC \sim$ 数十 Hz) の電圧信号が重畳された電圧信号)は、 A/D 変換部 ADT に入力され、 A/D 変換部 ADT でデジタル信号に変換される。そして、デジタル信号

50

に変換された電圧信号は、第1同期検波部F D Uに入力される。

【0051】

第1同期検波部F D Uでは、変調信号102の周波数と位相を使用して同期検波を実施する。すなわち、第1同期検波部F D Uでは、搬送波周波数（数百kHz）に外力応答周波数（DC～数十Hz）の電圧信号が重畳された電圧信号（デジタル信号）から、外力応答周波数（DC～数十Hz）の電圧信号が復元される。その後、復元された電圧信号をローパスフィルタLPF1に入力して、必要とする信号以外の高周波成分を減衰させる。そして、算出部CUでは、ローパスフィルタLPF1から出力された電圧信号（DC～数十Hz）に基づいて、加速度信号を算出して出力する。以上のようにして、本実施の形態1における加速度センサにより加速度を検出することができる。このとき、上述したように、加速度センサの可動部5を数百kHzの搬送波で振動させることにより、加速度によるDC～数十Hzの静電容量変化を高周波信号に重畳し、この高周波信号に対して信号処理を施しているため、1/fノイズの影響を抑制してS/N比を向上させることができ、加速度信号の検出精度を向上させることができる。

10

【0052】

上述した加速度センサは、例えば、車の横滑りやスピンを抑制して安全な走行を支援する姿勢制御システムにキーデバイスとして使用される。この姿勢制御システムでは、加速度センサからの出力を元にエンジンの出力やブレーキの制動力を制御することで車の横滑りやスピンを抑制している。このことから、加速度センサの故障は事故に繋がる可能性が高く、加速度センサの故障時にはすぐに知らせる必要がある。

20

【0053】

そこで、加速度センサを動作させながら故障の有無を診断できることが、直ぐに故障を検知する観点から望ましいことになる。したがって、加速度センサには、動作させながら故障の有無を診断する機能が備わっているものがある。本実施の形態1における加速度センサは、動作させながら故障の有無を診断することができる加速度センサであり、以下に、加速度を検出しながら加速度センサの故障の有無を判断する常時診断機能を有する加速度センサの構成について説明する。

【0054】

図4において、半導体チップCHP1に形成されているMEMS構造体の可動部5が図示されており、この可動部5と診断信号印加用端子TE3との間に強制振動生成部である容量素子C3が形成されている。この容量素子C3は、診断用可動電極8aと診断用固定電極8bから形成されている。また、可動部5と診断信号印加用端子TE4の間に容量素子C4が形成されている。この容量素子C4は、診断用可動電極8aと診断用固定電極8cから構成されている。

30

【0055】

続いて、半導体チップCHP2には、診断信号を生成する診断信号生成部DSGと異常判断部WDUが形成されている。この診断信号生成部DSGは、例えば、数百Hzの診断信号を生成できるように構成されている。この診断信号は、例えば、矩形波、正弦波、三角波などから構成されている。診断信号生成部DSGで生成された診断信号100にはバイアス電圧101が印加されて容量素子C3および容量素子C4に印加されるように構成されている。つまり、診断信号生成部DSGで生成された診断信号100は、診断信号印加用端子TE3および診断信号印加用端子TE4を介して容量素子C3および容量素子C4に印加されるようになっている。また、異常判断部WDUは、半導体チップCHP1に形成されている物理量算出端子TE1および物理量算出端子TE2と物理量算出部PCUを介して接続されている。言い換えれば、異常判断部WDUは、物理量算出端子TE1および物理量算出端子TE2と間接的に接続されている。

40

【0056】

このように構成されている加速度センサにおいて、診断信号100は、互いに逆相である2つの信号として、それぞれ、診断用固定電極8bと診断用固定電極8cに印加される。これにより、診断用可動電極8aと診断用固定電極8bの間と、診断用可動電極8aと

50

診断用固定電極 8 c との間に静電力が働き、可動部 5 を強制振動させることができる。可動部 5 が強制振動すれば、可動部 5 が変位することになる。可動部 5 が変位すると、容量検出部を構成する容量素子 C 1 と容量素子 C 2 とに容量変化が生じる。この容量素子 C 1 と容量素子 C 2 に生じた容量変化は、電圧変換部 C V T で電圧信号に変換され、電圧変換部 C V T で変換された電圧信号は、A / D 変換部 A D T と第 1 同期検波部 F D U を経由することにより、元の診断信号に復元される。この復元された診断信号は、異常判断部 W D U に入力して処理されて異常の有無が判断される。このようにして、本実施の形態 1 における加速度センサによれば、加速度センサの異常の有無が判断される。

【 0 0 5 7 】

さらに、数百 H z の診断信号を可動部 5 に印加して強制振動しながら、外部から加速度 (D C ~ 数十 H z) が印加された場合、容量検出部である容量素子 C 1 と容量素子 C 2 には、強制振動による容量変化 (数百 H z) と、加速度による容量変化 (D C ~ 数十 H z) とが加わる。この数百 H z の容量変化と D C ~ 数十 H z の容量変化が変調信号 (数百 k H z) に重畳されることになる。その後、電圧変換部 C V T で上述した容量変化が電圧信号に変換される。この電圧信号には、数百 H z の電圧信号と D C ~ 数十 H z の電圧信号が変調信号 (数百 k H z) に重畳された電圧信号となっている。その後、A / D 変換部 A D T と、第 1 同期検波部 F D U を経由すると、数百 H z の診断信号と、D C ~ 数十 H z の電圧信号に復元される。そして、物理量算出部 P C U では、ローパスフィルタ L P F 1 によって、数百 H z の診断信号を減衰させて、D C ~ 数十 H z の電圧信号を抽出し、この電圧信号に基づいて加速度信号を算出する。一方、異常判断部 W D U では、数百 H z の診断信号に基づいて処理を実施し異常を判断する。以上のようにして、本実施の形態 1 における加速度センサによれば、加速度を検出しながら、加速度センサの異常の有無を判断することができる。

【 0 0 5 8 】

ここで、本実施の形態 1 における加速度センサの特徴は、図 4 に示すように、容量検出部を構成する容量素子 C 1 や容量素子 C 2 と、強制振動生成部を構成する容量素子 C 3 や容量素子 C 4 とが電氣的に分離されている点にある。つまり、本実施の形態 1 では、容量素子 C 3 や容量素子 C 4 を構成する診断用可動電極 8 a が可動部 5 と一体的に形成されている一方、診断用固定電極 8 b や診断用固定電極 8 c が検出用固定電極 6 b や検出用固定電極 6 c と電氣的に分離されている。これにより、誤検出を抑制できる高精度の加速度センサを提供することができるのである。この理由について説明する。

【 0 0 5 9 】

例えば、上述した静電容量式の加速度センサからの出力信号 (加速度信号) は、容量検出部を構成する容量素子 C 1 や容量素子 C 2 の電極に発生する電荷や電荷の時間的变化に大きく依存する。したがって、微細な容量変化を高精度で検出するためには、不要な電気信号による干渉をできるだけ避ける必要がある。特に、図 4 に示している加速度センサでは、1 つの変調信号 1 0 2 を可動部 5 に入力している。さらに、変調信号 1 0 2 には、D C 的なバイアス電圧 1 0 3 が重畳されており、このバイアス電圧 1 0 3 の大きさは、電圧変換部 C V T を構成しているオペアンプ O P 1 およびオペアンプ O P 2 の正側端子に印加されている D C 的なバイアス電圧 1 0 4 と同じ大きさを持つことが多い。

【 0 0 6 0 】

このとき、独立した強制振動生成部を持たない加速度センサでは、診断信号を印加するために以下に示すような手段をとる必要がある。すなわち、静電力を使用して可動部 5 を強制振動させるためには、容量素子 C 1 の検出用固定電極 6 b と可動部 5 の間、および、容量素子 C 2 の検出用固定電極 6 c と可動部 5 の間に電位差を与える必要がある。この場合、検出用固定電極 6 b や検出用固定電極 6 c に直接診断信号を印加するか、あるいは、オペアンプ O P 1 の正側端子と、オペアンプ O P 2 の正側端子とを電氣的に分離して、それぞれの端子に逆位相の診断信号を印加する必要がある。

【 0 0 6 1 】

しかし、このような場合、第 1 の問題点として、容量検出部を構成する容量素子 C 1 や

10

20

30

40

50

容量素子C 2に電氣的に直接診断信号が印加されるため、この印加された診断信号が電圧変換部C V Tに入力される電荷量に影響を及ぼし、加速度センサの零点が変動するオフセットドリフトが発生することが挙げられる。このようなオフセットドリフトが発生すると、加速度が印加されていないにもかかわらず、あたかも加速度が印加されているように加速度センサが振舞うことになる。このことは、加速度センサが誤検出することを示している。特に、上述した問題点は、容量検出部を構成する容量素子C 1や容量素子C 2に初期的あるいは経時的なばらつきがある場合に顕著に現れる。

【0062】

また、第2の問題点として、容量検出部を構成する容量素子C 1や容量素子C 2に直接診断信号が印加される場合、診断信号は高周波成分を含む周期信号であり、診断信号を印加することによりノイズが発生する。つまり、加速度センサの出力信号は、容量検出部を構成する容量素子C 1や容量素子C 2の電極に発生する電荷や電荷の時間的变化に大きく依存する。このため、容量検出部を構成する容量素子C 1および容量素子C 2に電氣的なノイズが発生すると、加速度センサの出力信号に大きな影響を及ぼし、誤検出の原因となる。

【0063】

さらに、第3の問題点として、図4に示す加速度センサでは、検出用固定電極6 bや検出用固定電極6 cに直接診断信号を印加する場合、オペアンプOP 1やオペアンプOP 2の負側端子と正側端子との間に大きな電位差が生じる。また、オペアンプOP 1の正側端子とオペアンプOP 2の正側端子とを電氣的に分離して、それぞれの正側端子に逆位相の診断信号を印加する場合も、オペアンプOP 1やオペアンプOP 2の負側端子と正側端子の間に大きな電位差が生じる。オペアンプOP 1やオペアンプOP 2は、通常、正側端子と負側端子がほぼ同電位（イマジナリショート）である状態で、微弱な電位差を数千倍から数万倍に増幅するように使用される。したがって、オペアンプOP 1とオペアンプOP 2の負側端子と正側端子に大きな電位差が生じると、オペアンプOP 1およびオペアンプOP 2の出力が飽和（サチレーション）してしまい、正常に動作しなくなるのである。

【0064】

これに対し、本実施の形態1における加速度センサのように、容量検出部を構成する容量素子C 1や容量素子C 2と、強制振動生成部を構成する容量素子C 3や容量素子C 4とが電氣的に分離されている構成の場合、敏感な容量検出部を構成する容量素子C 1や容量素子C 2に電氣的に直接診断信号が印加されない。このため、上述した問題点を生じることなく、可動部5に診断信号を印加することができるのである。つまり、図4に示すように、容量検出部を構成する容量素子C 1や容量素子C 2と、強制振動生成部を構成する容量素子C 3や容量素子C 4とが電氣的に分離すると、容量素子C 3や容量素子C 4に印加した診断信号が直接容量素子C 1や容量素子C 2に電氣的な悪影響を及ぼすことはないのである。その一方で、容量素子C 3や容量素子C 4からなる強制振動生成部で生成された強制振動（診断信号）は、容量素子C 1や容量素子C 2の容量変化として伝達することができる。このように本実施の形態1における加速度センサによれば、強制振動生成部と、容量検出部および電圧変換部とが電氣的に分離されているので、互いに信号の干渉を抑制することができる。この結果、加速度を検出しながら診断を行なう常時診断の場合であっても、電氣的なカップリングやノイズによるセンサ性能の低下を防止でき、誤検出を抑制した高精度の加速度センサを提供することができる。

【0065】

続いて、図4に示す異常判断部WDUの詳細な構成について説明する。図4において、異常判断部WDUは、第2同期検波部SDU、ローパスフィルタLPF 2、比較部CPおよび判断部DUを有している。第2同期検波部SDUは、物理量算出部PCUの第1同期検波部FDUから出力される数百Hzの診断信号とDC～数十Hzの電圧信号を含む信号から数百Hzの診断信号を抽出するように構成されている。具体的に、数百Hzの診断信号をcoswtとすると、第2同期検波部SDUでは、数百Hzの診断信号（coswt）とDC～数十Hzの電圧信号を含む信号にcoswtを乗算するように構成されている

。すると、数百Hzの診断信号は、 $\cos \omega t \times \cos \omega t = 1/2 (\cos 2\omega t + \cos 0)$ となる。つまり、数百Hzの診断信号は、診断信号の2倍の周波数($\cos 2\omega t$) (第2検波周波数の信号)の信号と、DC信号($\cos 0$) (第1検波周波数の信号)に変換される。一方、DC～数十Hzの電圧信号には、 $\cos \omega t$ が乗算されて数百Hz帯の信号となる。このように第2同期検波部SDUは、数百Hzの診断信号を検波して2倍の周波数の信号とDC信号に変換するように構成されている。

【0066】

次に、ローパスフィルタLPF2は、 $\cos 2\omega t$ の信号(診断信号の2倍の周波数の信号)と $\cos \omega t$ の信号を減衰させて、DC信号($\cos 0$)を通過させるように構成されている。このローパスフィルタLPF2により、数百Hzの診断信号を変換したDC信号($\cos 0$)を抽出することができる。

10

【0067】

比較部CPは、ローパスフィルタLPF2を通過したDC信号($\cos 0$)と、参照電圧とを比較するように構成されている。このとき、比較する対象がDC信号($\cos 0$)であるため、比較部CPの構成を簡略化できる利点がある。

【0068】

判断部DUは、比較部CPでの比較結果に基づいて、加速度センサの異常の有無を判断するように構成されている。

【0069】

本実施の形態1における加速度センサは上記のように構成されており、加速度を検出しながら異常の有無を診断する動作について説明する。

20

【0070】

図4において、診断信号100は、互いに逆相である2つの信号として、それぞれ、診断用固定電極8bと診断用固定電極8cに印加される。これにより、診断用可動電極8aと診断用固定電極8bの間と、診断用可動電極8aと診断用固定電極8cとの間に静電力が働き、可動部5を強制振動させることができる。可動部5が強制振動すれば、可動部5が変位することになる。可動部5が変位すると、容量検出部を構成する容量素子C1と容量素子C2とに容量変化が生じる。

【0071】

この状態で、外部から加速度(DC～数十Hz)が印加された場合、容量検出部である容量素子C1と容量素子C2には、強制振動による容量変化(数百Hz)と、加速度による容量変化(DC～数十Hz)とが加わる。この数百Hzの容量変化とDC～数十Hzの容量変化が変調信号(数百kHz)に重畳されることになる。その後、電圧変換部CVTで上述した容量変化が電圧信号に変換される。この電圧信号には、数百Hzの電圧信号とDC～数十Hzの電圧信号が変調信号(数百kHz)に重畳された電圧信号となっている。その後、A/D変換部ADTと、第1同期検波部FDUを経由すると、数百Hzの診断信号と、DC～数十Hzの電圧信号に復元される。そして、物理量算出部PCUでは、ローパスフィルタLPF1によって、数百Hzの診断信号を減衰させて、DC～数十Hzの電圧信号を抽出し、この電圧信号に基づいて加速度信号を算出する。

30

【0072】

一方、第1同期検波部FDUから出力された数百Hzの診断信号とDC～数十Hzの電圧信号を含む信号は、第2同期検波部SDUに入力される。この第2同期検波部SDUにおいて、数百Hzの診断信号は、診断信号の2倍の周波数($\cos 2\omega t$)の信号と、DC信号($\cos 0$)に変換される。一方、DC～数十Hzの電圧信号には、 $\cos \omega t$ が乗算されて数百Hz帯の信号となる。

40

【0073】

続いて、第2同期検波部SDUから出力された信号は、ローパスフィルタLPF2に入力され、診断信号の2倍の周波数($\cos 2\omega t$)の信号と、DC～数十Hzの電圧信号に $\cos \omega t$ が乗算された数百Hz帯の信号が減衰され、診断信号に対応したDC信号($\cos 0$)が通過する。

50

【 0 0 7 4 】

その後、比較部 C P は、ローパスフィルタ L P F 2 を通過した D C 信号 (c o s 0) と、参照電圧とを比較する。そして、判断部 D U は、比較部 C P での比較結果に基づいて、加速度センサの異常の有無を判断する。このようにして、本実施の形態 1 における加速度センサによれば、加速度を検出しながら、加速度センサの異常の有無を判断することができる。したがって、本実施の形態 1 における加速度センサによれば、直ぐに故障を検知することができる。

【 0 0 7 5 】

具体的に、異常判断部 W D U での異常の有無は例えば、以下のように判断することができる。比較部 C P に、例えば、所定の参照電圧を設定し、ローパスフィルタ L P F 2 を通過した D C 信号 (c o s 0) と比較する。例えば、診断信号 1 0 0 が可動部 5 に印加されているにもかかわらず、ローパスフィルタ L P F 2 から出力された D C 信号 (c o s 0) がほぼ 0 である場合は、可動部 5 に固着が発生しているとして故障と判断できる。一方、梁 4 が破損するなど可動部 5 の固有振動数が低下し、印加された加速度に対して可動部 5 が過剰に変位する感度スケール異常の場合は、参照電圧よりも大きい信号がローパスフィルタ L P F 2 から入力されるため、異常と判断することができる。

【 0 0 7 6 】

また、本実施の形態 1 における加速度センサでは、図 4 に示すように、スイッチ S W 1 によって診断信号 1 0 0 をオン / オフすることができる。これにより、以下に示す効果が得られる。例えば、本実施の形態 1 における加速度センサを設置している環境が、診断信号 1 0 0 と同じ周波数帯の振動外乱を有している場合が想定される。この場合、スイッチ S W 1 を設けていない場合には、可動部 5 の強制振動が診断信号によるものであるのか、あるいは、振動外乱によるものであるのか判断がつかず誤診断する可能性がある。

【 0 0 7 7 】

これに対し、本実施の形態 1 における加速度センサによれば、スイッチ S W 1 を設けている。このため、このスイッチ S W 1 を周期的にオン / オフし、サンプルホールドなどの方法により平均化や、スイッチ S W 1 のオン時の出力 (D C 信号 (c o s 0) (第 1 検波周波数の信号)) とスイッチ S W 1 のオフ時の出力 (D C 信号 (c o s 0) (第 1 検波周波数の信号)) の差分値を使用して故障を判断するなどの統計的なデータ処理を実施することで、背景の振動外乱の影響を排除することができる。つまり、診断信号 1 0 0 と同じ周波数帯の振動外乱によって可動部 5 が振動している場合は、スイッチ S W 1 のオン / オフにかかわらず、ローパスフィルタ L P F 2 から所定の出力信号が出力される。一方、診断信号 1 0 0 を印加する場合、スイッチ S W 1 をオンにすると、ローパスフィルタ L P F 2 から所定の出力信号が出力されるが、スイッチ S W 1 をオフにすると、ローパスフィルタ L P F 2 からの出力は 0 となる。したがって、例えば、スイッチ S W 1 のオン時の出力とスイッチ S W 1 のオフ時の出力の差分値をとれば、可動部 5 の強制振動が診断信号によるものであるのか、あるいは、振動外乱によるものであるのかを区別することができる。これにより、診断信号と同じ周波数帯の振動外乱が存在する場合でも、誤診断することなく診断することができる。

【 0 0 7 8 】

最後に、診断信号 1 0 0 の周波数に関して詳しく説明する。加速度による信号と区別する必要があるため、診断信号 1 0 0 の周波数は、加速度による外力応答周波数 (D C ~ 数十 H z) よりも高い周波数にする必要がある。さらに、この診断信号 1 0 0 は、ローパスフィルタ L P F 1 により十分に減衰されて、加速度センサの出力信号として現れないことが望ましい。また、診断信号 1 0 0 として用いられる電圧に限りがあることと、強制振動生成部 (容量素子 C 3 、容量素子 C 4) は、他の容量素子 C 1 や容量素子 C 2 とは電氣的に独立しているものの完全にシールドされているわけではないので、多少静電カップリングが発生するおそれがある。このため、なるべく低電圧で必要十分に加振できることが望ましい。以上のことを考慮して、診断信号 1 0 0 の周波数を決めている。

【 0 0 7 9 】

図5は、本実施の形態1における加速度センサの周波数応答特性を示している。横軸は周波数を示しており、縦軸は加速度センサに入力される加速度と出力される信号を加速度に換算した値の比を示している。図5において、丸印の曲線が図4のA点から出力される信号であり、可動部5の周波数応答に対応している。一方、三角印の曲線が図4のB点から出力される信号であり、加速度センサの出力の周波数応答に対応している。

【0080】

可動部5は非共振構造になるように設計されているため、共振ピークをもたない。そして、図5の丸印の曲線からわかるように、約300Hzまで平らな周波数応答特性を有しており、可動部5は減衰することなく入力加速度に比例して変位する。この変位が図4に示す電圧変換部CVT、A/D変換部ADT、第1同期検波部FDUによって電圧信号に変換され、図4に示すローパスフィルタLPF1に入力される。ローパスフィルタLPF1は、30Hzのカットオフ周波数と2次のフィルタ特性を有している。したがって、図5の三角印の曲線からわかるように、ローパスフィルタLPF1を通過した信号(B点の信号)として、第1同期検波部FDUを通過した信号(A点の信号)の中で30Hz以下の信号が出力され、それ以外の高周波信号は減衰される。

【0081】

本実施の形態1における加速度センサは、変調信号(搬送波)102として、896kHzの矩形波を使用している。図5には図示しないが、加速度センサの可動部5は、数百kHzの変調信号102には追従できず、変調信号102による可動部5の強制振動は充分に無視できる。したがって、なるべく低い診断電圧で可動部5を強制振動させるためには、可動部5が充分に追従できる周波数で振動(加振)させる必要がある。ローパスフィルタLPF1の減衰能力にも関係があるが、可動部5は、図5の丸印の曲線からもわかるように、可動部5の機械的カットオフ周波数(約300Hz)以下で振動させればよいことがわかる。本実施の形態1では、例えば、診断信号100として、200Hz(周波数)、150mG(振幅)の矩形波を使用している。この場合、加速度センサの分解能は数~数十mGであり、150mGは充分に区別できる大きさである。さらに、加速度センサの感度スケールが、例えば、2倍や1/2倍になった場合でも分解能以上であるため、感度異常を判断することができる。つまり、診断したい感度異常の大きさに合わせて診断信号100の振幅を決定すればよい。また、図5からわかるように、200Hz、150mGの診断信号100は、ローパスフィルタLPF1を通過することで、約1/100である1.5mGまで減衰する。これは、加速度センサの分解能から見て無視できる値である。以上のことを考慮して、本実施の形態1では、診断信号100の周波数を決定している。

【0082】

(実施の形態2)

本実施の形態2における加速度センサについて図面を参照しながら説明する。図6は、本実施の形態2における加速度センサの構成を示す図である。以下に、本実施の形態2における加速度センサの特徴について説明し、前記実施の形態1と重複するところの説明は省略する。

【0083】

図6に示すように、本実施の形態2における加速度センサの特徴は、第2同期検波部SDUの前にハイパスフィルタHPF1を設けている点にある。例えば、ハイパスフィルタHPF1を設けない場合、第1同期検波部FDUから出力される信号は、数百Hzの診断信号とDC~数十Hzの電圧信号を含む信号であり、これらの信号が第2同期検波部SDUに入力される。この第2同期検波部SDUにおいて、数百Hzの診断信号は、診断信号の2倍の周波数($\cos 2wt$)の信号と、DC信号($\cos 0$)に変換される。一方、DC~数十Hzの電圧信号には、 $\cos wt$ が乗算されて数百Hz帯($\cos wt$)の信号となる。これらの信号がローパスフィルタLPF2に入力されると、高周波の信号が減衰され、低周波の信号のみがローパスフィルタLPF2から出力される。具体的に、診断信号の2倍の周波数($\cos 2wt$)の信号と、数百Hz帯($\cos wt$)の信号が減衰

され、DC 信号 (cos 0) だけがローパスフィルタLPF 2 を通過する。このとき、数百Hz 帯 (cos wt) の信号を十分に減衰させるためには、ローパスフィルタLPF 2 のカットオフ周波数を十分に小さくし、かつ、フィルタの次数を高くする必要がある。しかし、この場合、ローパスフィルタLPF 2 の時定数が長くなるため、診断に時間がかかることになる。また、診断に使用するDC 信号 (cos 0) より不要な信号 (数百Hz 帯 (cos wt) の信号) が大きいため、信号が飽和し誤診断するおそれがある。さらに、小さなDC 信号 (cos 0) を増幅して取り扱いやすくすることも制限される。

【0084】

そこで、本実施の形態2では、第2同期検波部SDUの前にハイパスフィルタHPF 1 を設けている。これにより、診断に関係のないDC ~ 数十Hz の電圧信号は、第2同期検波部SDUに入力される前に、ハイパスフィルタHPF 1 で減衰させることができる。この結果、第2同期検波部SDUからの出力信号の中から、cos wt が乗算された数百Hz 帯 (cos wt) の信号が減少する。このことは、第2同期検波部SDUの後に設けられているローパスフィルタLPF 2 の時定数を短くすることができることを意味している。したがって、本実施の形態2によれば、診断時間を短縮することができる利点を有することになる。さらに、DC 信号 (cos 0) を取り扱いやすい信号に増幅することもできる。

10

【0085】

このように、第2同期検波部SDUの前にハイパスフィルタHPF 1 を設けることにより、第1同期検波部FDUから出力されたDC ~ 数十Hz の電圧信号を減衰させ、数百Hz の診断信号だけを通過させることができる。これにより、傾斜面での診断や加速時のように大きなDC ~ 数十Hz の電圧信号が存在する場合でも、誤診断することなく短時間で信頼性の高い診断を実現できる。

20

【0086】

(実施の形態3)

本実施の形態3における加速度センサについて図面を参照しながら説明する。図7は、本実施の形態3における加速度センサの構成を示す図である。以下に、本実施の形態3における加速度センサの特徴について説明し、前記実施の形態1と重複するところの説明は省略する。

【0087】

図7に示すように、本実施の形態3における加速度センサの特徴は、第2同期検波部SDUの後に、ローパスフィルタLPF 2 ではなく、ハイパスフィルタHPF 2 を設けている点にある。上述したように、数百Hz の診断信号は、第2同期検波部SDUを通過することで、診断信号の2倍の周波数 (cos 2wt) の信号と、DC 信号 (cos 0) に変換される。ここで、前記実施の形態1では、ローパスフィルタLPF 2 を使用することにより、DC 信号 (cos 0) を抽出して診断を行っていた。これに対し、本実施の形態3では、ローパスフィルタLPF 2 の代わりにハイパスフィルタHPF 2 を使用することにより、DC 信号 (cos 0) を除去し、診断信号の2倍の周波数 (cos 2wt) の信号の振幅値を使用して診断を行なう。このように、診断信号の2倍の周波数 (cos 2wt) の信号を使用することにより、ハイパスフィルタHPF 2 の時定数を選択する範囲が

30

40

【0088】

例えば、診断信号100として200Hz の信号を使用する場合、比較部CPに入力されて診断に使用される信号 (診断信号の2倍の周波数 (cos 2wt) の信号) の周波数は400Hz となる。したがって、1つの例として、ハイパスフィルタHPF 2 のカットオフ周波数を100Hz に設定し、ハイパスフィルタHPF 2 を1次フィルタとして構成する場合であっても、DC 近傍の信号を1/100のレベルまで減衰させることができる。

【0089】

また、本実施の形態3における加速度センサでも、前記実施の形態1と同様に、スイッ

50

チSW1を設けることも有効である。前記実施の形態1と同様に、このスイッチSW1を周期的にオン/オフし、サンプルホールドなどの方法により平均化や、スイッチSW1のオン時の出力（診断信号の2倍の周波数（ $\cos 2\omega t$ ）の信号（第2検波周波数の信号））とスイッチSW1のオフ時の出力（診断信号の2倍の周波数（ $\cos 2\omega t$ ）の信号（第2検波周波数の信号））の差分値を使用して故障を判断するなどの統計的なデータ処理を実施することで、背景の振動外乱の影響を排除することができる。例えば、スイッチSW1のオン時の出力とスイッチSW1のオフ時の出力の差分値をとれば、可動部5の強制振動が診断信号によるものであるのか、あるいは、振動外乱によるものであるのかを区別することができる。これにより、診断信号と同じ周波数帯の振動外乱が存在する場合でも、誤診断することなく診断することができる。

10

【0090】

（実施の形態4）

本実施の形態4における加速度センサについて図面を参照しながら説明する。図8は、本実施の形態4における加速度センサの構成を示す図である。以下に、本実施の形態4における加速度センサの特徴について説明し、前記実施の形態1と重複するところの説明は省略する。

【0091】

図8に示すように、本実施の形態4では、容量検出部を構成する容量素子C1の検出用固定電極6bと、容量素子C2の検出用固定電極6cとに変調信号102を印加し、可動部5からの出力を電圧変換部CVTに入力することにより、可動部5の変位を検出する構成にしている。この構成の場合、電圧変換部CVTを構成するオペアンプOP1を1つにすることができ、回路の単純化を図ることができる利点がある。

20

【0092】

このように構成されている本実施の形態4における加速度センサでも、図8に示すように、容量検出部を構成する容量素子C1や容量素子C2と、強制振動生成部を構成する容量素子C3や容量素子C4とが電気的に分離されている。つまり、本実施の形態4でも、容量素子C3や容量素子C4を構成する診断用可動電極8aが可動部5と一体的に形成されている一方、診断用固定電極8bや診断用固定電極8cが検出用固定電極6bや検出用固定電極6cと電気的に分離されている。これにより、本実施の形態4でも前記実施の形態1と同様に誤検出を抑制できる高精度の加速度センサを提供することができる。

30

【0093】

（実施の形態5）

本実施の形態5における複合センサ（複合型静電容量式センサ）について図面を参照しながら説明する。図9は、本実施の形態5における複合センサの構成を示す図である。以下に、本実施の形態5における複合センサの特徴について説明し、前記実施の形態1と重複するところの説明は省略する。

【0094】

本実施の形態5における複合センサは、印加された加速度とともに角速度も検出することができるセンサである。本実施の形態5における複合センサは、主に前記実施の形態1で説明した加速度の検出や診断に必要な構成要素を備えるとともに、角速度を検出するための振動体20、角速度信号処理部21、分周器22、駆動部23および搬送波生成部24を備えている。例えば、振動体20は半導体チップCHP3に形成され、角速度信号処理部21、分周器22、駆動部23および搬送波生成部24は半導体チップCHP2に形成されている。振動体20には、駆動部23で生成された駆動信号105が印加されるように構成されている。具体的に振動体20に形成された容量素子に駆動信号105が印加されるようになっており、この駆動信号105により振動体20が基準振動するように構成されている。さらに、振動体20には搬送波生成部24で生成された搬送波106も印加できるように構成されている。そして、振動体20にはコリオリ力による変位を検出する容量素子が形成されており、この容量素子は、角速度信号処理部21と接続されている。

40

50

【 0 0 9 5 】

このように構成された角速度センサにおいて、角速度を検出するためには、常に振動体 2 0 を基準振動させておく必要がある。例えば、駆動信号 1 0 5 を振動体 2 0 に印加することにより、図 9 の X 方向に振動体 2 0 を基準振動させておく。この状態で、Z 軸周りに角速度が印加されると、振動体 2 0 の基準振動の振幅、基準振動の周波数、振動体 2 0 の質量および角速度の大きさに比例するコリオリ力が発生し、振動体 2 0 はこのコリオリ力により検出方向 (Y 方向) に変位する。この変位は容量素子の容量変化として捉えられ、この容量変化が角速度信号処理部 2 1 で信号処理されて最終的に角速度信号を出力する。角速度信号処理部 2 1 の構成は、前記実施の形態 1 で説明した物理量算出部 P C U の構成と同様であり、電圧変換部、A / D 変換部、同期検波部、ローパスフィルタおよび算出部

10

【 0 0 9 6 】

駆動部 2 3 では振動体 2 0 をなるべく大きな振幅、かつ、低駆動電圧で振動させるため、振動体 2 0 の共振周波数に追従した駆動信号 1 0 5 を振動体 2 0 に印加している。角速度センサの共振周波数 (固有振動数) は周囲の温度や実装形態、あるいは、経時的な要因によって変化する。このため、振動体 2 0 を常に共振モードで振動させるために、P L L (Phase Locked Loop) 回路などにより共振周波数に追従して駆動部 2 3 からの駆動信号の周波数を変化させている。

20

【 0 0 9 7 】

本実施の形態 5 における複合センサの特徴点は、加速度センサの診断信号 1 0 0 の周波数として、角速度センサの駆動部 2 3 で生成される駆動信号 1 0 5 の 2 のべき乗分の 1 の周波数を使用する点である。

【 0 0 9 8 】

複合センサで使用される各信号の周波数を整理すれば、角速度センサで使用される駆動信号 1 0 5 の周波数、角速度センサで使用される搬送波 1 0 6 の周波数、加速度センサで使用される変調信号 1 0 2 の周波数、診断信号 1 0 0 の周波数、スイッチ S W 1 のオン / オフを制御するオン / オフ周波数などが挙げられる。これらの信号の周波数は、同一の半導体チップ C H P 2 に形成されている集積回路の内部で生成されるため、それぞれ相関関係をもつように設計すれば、分周器 2 2 を使用して 1 つの主クロック信号から生成することが

30

【 0 0 9 9 】

例えば、角速度センサで使用される駆動信号 1 0 5 の周波数を 1 4 k H z に設定したと仮定する。この駆動信号 1 0 5 の周波数は、振動体 2 0 の共振周波数に追従するようになっているため、常に周波数に小さな変動があると考えてよい。この駆動信号 1 0 5 の周波数を元に、搬送波 1 0 6 は分周器 (プログラムカウンタ) 2 2 を使用することで、例えば、6 4 倍である 8 9 6 k H z にすることができる。また、加速度センサで使用する変調信号 1 0 2 の周波数は、必要に応じて選択することができるが、例えば、2 2 4 k H z とすることができる。さらに、診断信号 1 0 0 の周波数は、駆動信号 1 0 5 の周波数の 6 4 分の 1 である 2 1 9 H z としている。最後に、スイッチ S W 1 のオン / オフ周波数は、駆動信号 1 0 5 の周波数の 5 1 2 分の 1 である 2 7 H z、もしくは、駆動信号 1 0 5 の周波数の 3 2 分の 1 である 4 3 8 H z としている。これらの周波数は、駆動信号 1 0 5 を元に分周器 2 2 を使用して容易に生成することができる。なお、上述した周波数の具体的な数値は、分周器 2 2 を使用して 1 つの周波数から生成できることをわかりやすく説明するためのものであり、本発明の内容や範囲を限定するものではない。

40

【 0 1 0 0 】

(実施の形態 6)

本実施の形態 6 における加速度センサについて図面を参照しながら説明する。図 1 0 は、本実施の形態 6 における加速度センサの構成を示す図である。以下に、本実施の形態 6

50

における加速度センサの特徴について説明し、前記実施の形態 1 と重複するところの説明は省略する。

【0101】

本実施の形態 6 における加速度センサは、診断時に加速度センサが傾斜面に配置されている場合であっても精度よく故障診断をすることができる加速度センサである。一般的な加速度センサの場合、重力加速度などの DC 的な信号を計測する場合が多く、特に、被測定物が傾斜面などの配置されている場合は、加速度が印加されていない状態でも可動部が変位する零点オフセットが発生する。この場合、加速度センサは、零点オフセットが発生したまま加速度センサが起動することになる。この状態で、加速度センサの固着、感度異常、各電極の電氣的なリークなどを確認する初期診断を行なった場合、零点オフセットにより、加速度センサが正常であっても故障と判断する誤診断のおそれがある。

10

【0102】

そこで、本実施の形態 6 では、零点オフセットが発生している場合であっても誤診断を抑制できる加速度センサについて説明する。まず、本実施の形態 6 における加速度センサの構成について説明する。

【0103】

図 10 には、半導体チップ CHP 1 に形成されている MEMS 構造体の可動部 5 が図示されており、この可動部 5 と物理量算出端子 TE 1 との間に容量検出部である容量素子 C 1 が形成されている。この容量素子 C 1 は、検出用可動電極 6 a と検出用固定電極 6 b から形成されている。また、可動部 5 と物理量算出端子 TE 2 の間に容量素子 C 2 が形成されている。この容量素子 C 2 は、検出用可動電極 6 a と検出用固定電極 6 c から構成されている。この容量素子 C 1 と容量素子 C 2 が容量検出部を構成している。

20

【0104】

さらに、可動部 5 と診断信号印加用端子 TE 3 の間に容量素子 C 3 が形成されている。この容量素子 C 3 は、診断用可動電極 8 a と診断用固定電極 8 b から形成されている。また、可動部 5 と診断信号印加用端子 TE 4 の間に容量素子 C 4 が形成されている。この容量素子 C 4 は、診断用可動電極 8 a と診断用固定電極 8 c から形成されている。容量素子 C 3 と容量素子 C 4 は、可動部 5 を強制変位させる強制変位生成部として機能する。具体的に、動作開始時、診断信号印加用端子 TE 3 に第 1 診断信号を印加することにより、容量素子 C 3 に静電力を発生させて可動部 5 を第 1 方向（＋方向）へ変位させることができるようになっている。一方、診断信号印加用端子 TE 4 に第 2 診断信号を印加することにより、容量素子 C 4 に静電力を発生させて可動部 5 を第 1 方向（＋方向）とは反対側の第 2 方向（－方向）へ変位させることができるようになっている。

30

【0105】

このように構成されている MEMS 構造体でも、図 10 に示すように、容量検出部を構成する容量素子 C 1 や容量素子 C 2 と、強制変位生成部を構成する容量素子 C 3 や容量素子 C 4 とが電氣的に分離されている。つまり、本実施の形態 6 でも、容量素子 C 3 や容量素子 C 4 を構成する診断用可動電極 8 a が可動部 5 と一体的に形成されている一方、診断用固定電極 8 b や診断用固定電極 8 c が検出用固定電極 6 b や検出用固定電極 6 c と電氣的に分離されている。

40

【0106】

続いて、半導体チップ CHP 2 に形成されている信号処理回路の構成について説明する。図 10 において、半導体チップ CHP 2 には、診断信号を発生させる診断信号生成部 107 が形成されており、この診断信号を診断信号印加用端子 TE 3 から容量素子 C 3 に印加する場合と、診断信号印加用端子 TE 4 から容量素子 C 4 に印加する場合とを切り替えることができるスイッチ SW 2 を有している。診断信号は、零点オフセットが 0 の場合に、センサフルスケール（最大測定範囲）相当の変位を可動部 5 に発生させる信号である。この診断信号を容量素子 C 3 に印加すると、可動部 5 が第 1 方向（＋方向）に強制変位する一方、診断信号を容量素子 C 4 に印加すると、可動部 5 が第 2 方向（－方向）に強制変位するようになっている。

50

【 0 1 0 7 】

また、半導体チップ C H P 2 には、変調信号（搬送波）を生成する変調信号生成部 M S G が形成されている。この変調信号生成部 M S G は、例えば、数百 k H z の変調信号を生成できるように構成されている。変調信号生成部 M S G で生成された変調信号 1 0 2 にはバイアス電圧 1 0 3 が印加されて可動部 5 に印加されるように構成されている。つまり、変調信号生成部 M S G で生成された変調信号 1 0 2 は、変調信号印加用端子 T E 5 を介して可動部 5 に印加されるようになっている。これにより、可動部 5 は、数百 k H z の変調信号 1 0 2 によって振動することになる。

【 0 1 0 8 】

次に、半導体チップ C H P 2 には物理量算出部 P C U が形成されている。この物理量算出部 P C U は、物理量算出端子 T E 1 および物理量算出端子 T E 2 と接続されており、電圧変換部 C V T、A / D 変換部 A D T、第 1 同期検波部 F D U、ローパスフィルタ L P F 1 および算出部 C U を有している。

【 0 1 0 9 】

さらに、半導体チップ C H P 2 には、異常判断部 W D U が形成されている。この異常判断部 W D U は、半導体チップ C H P 1 に形成されている物理量算出端子 T E 1 および物理量算出端子 T E 2 と物理量算出部 P C U を介して接続されている。言い換えれば、異常判断部 W D U は、物理量算出端子 T E 1 および物理量算出端子 T E 2 と間接的に接続されている。この異常判断部 W D U は、記憶部 M U、演算部 O U、比較部 C P および判断部 D U を有している。

【 0 1 1 0 】

本実施の形態 6 における加速度センサは上記のように構成されており以下に初期診断時における動作について図 1 0 と図 1 1 を参照しながら説明する。図 1 1 は本実施の形態 6 における初期診断の流れを示すフローチャートである。まず、診断信号を可動部 5 に印加しない初期状態で診断を開始し、(S 1 0 1) 診断開始時における加速度センサの出力（物理量算出部 P C U の出力）を異常判断部 W D U で読み取り、零点オフセット G o f f として記憶部 M U に記憶する (S 1 0 2)。続いて、スイッチ S W 2 を使用して診断信号印加用端子 T E 3 から容量素子 C 3 に診断信号を印加する。これにより、可動部 5 は + 方向に変位する。この状態での加速度センサの出力（物理量算出部 P C U の出力）を異常判断部 W D U で読み取り、G p として記憶部 M U に記憶する (S 1 0 3)。次に、スイッチ S W 2 を使用して診断信号印加用端子 T E 4 から容量素子 C 4 に診断信号を印加する。これにより、可動部 5 は - 方向に変位する。この状態での加速度センサの出力（物理量算出部 P C U の出力）を異常判断部 W D U で読み取り、G n として記憶部 M U に記憶する (S 1 0 4)。なお、診断信号が診断信号印加用端子 T E 3 に印加される場合、診断信号印加用端子 T E 4 は、仮想接地（電圧変換部 C V T のバイアス電圧 1 0 4 と接続）される。

【 0 1 1 1 】

続いて、演算部 O U は、記憶部 M U に記憶されている G p と G n の差分を計算して G s p a n を計算する (S 1 0 5)。その後、比較部 C P は、予め定められている既定範囲と演算部 O U で計算された G s p a n とを比較する (S 1 0 6)。そして、判断部 D U は、比較部 C P での比較結果に基づいて加速度センサの異常の有無を判断する。具体的に、判断部 D U は、G s p a n が既定範囲外にあるという比較結果を得た場合、加速度センサに異常があると判断する (S 1 0 7)。一方、判断部 D U は、G s p a n が既定範囲内にあるという比較結果を得た場合、加速度センサが正常であると判断する (S 1 0 8)。このようにして初期診断を終了する (S 1 0 9)。

【 0 1 1 2 】

次に既定範囲の設定について説明する。図 1 2 は、零点オフセット G o f f と診断信号印加時の出力との関係を示すグラフである。横軸が零点オフセットを示しており、縦軸が診断信号印加時の出力を示している。図 1 2 において、三角印の曲線は G s p a n を示している。また、四角印の曲線が G p を示し、丸印の曲線が G n（実際の値は表示の値に - 1 を掛けた値）を示している。また、図 1 3 は、G s p a n が描画されている領域を拡大

したグラフである。

【 0 1 1 3 】

図 1 2 において、零点オフセット G_{off} が 0 の場合、 G_p と G_n は 1 . 5 2 5 となっており、加速度センサの最大測定範囲（フルスケール） $\pm 1 . 5$ の診断を行なうため、 G_p と G_n は 1 . 5 よりも大きな値となっている。したがって、加速度センサに故障がなく、かつ、零点オフセットも 0 の状態（理想的に平坦な状態に置かれている状態）での G_{span} は 3 . 0 5 となる。そして、図 1 2 および図 1 3 に示すように、零点オフセットが存在する場合、 G_p と G_n が非線形的に変化し、 G_{span} の値がすべて 3 . 0 5 以上であることがわかる。本実施の形態 6 では、平行平板型の容量素子 C_3 および容量素子 C_4 の非線形的な性質を使用して診断を行なっている。つまり、図 1 2 および図 1 3 に示すように、零点オフセットが発生している場合、 G_{span} は零点オフセットが 0 の場合よりも必ず大きくなる。一方、可動部 5 が固着して動かない場合や電極間に異物が挟まって可動部 5 の変位が制限される場合、変位範囲が制限されることから、 G_{span} は 3 . 0 5 より小さくなる。したがって、加速度センサの異常による変位異常と、零点オフセットによる変位とは、零点オフセットが 0 の場合の G_{span} の値（3 . 0 5）を境に分離することができる。本実施の形態 6 では、この特徴を利用して、加速度センサの異常と零点オフセットとを区別しているのである。また、加速度センサの梁 4 が破損して可動部 5 が正常状態より動きやすくなる場合は、 G_{span} が異常に大きくなることから、 G_{span} に上限値（例えば、3 . 1 5（図 1 1 参照））を設けることにより、この異常を検出することができる。以上のことから、本実施の形態 6 では、 G_{span} に対して既定範囲を設定し、この既定範囲から外れている場合だけを異常と診断することにより、加速度センサが正常状態で、かつ、零点オフセットが発生している状態を異常であると誤診断することを抑制できる。

【 0 1 1 4 】

次に、平行平板型の容量素子 C_3 および容量素子 C_4 が非線形的な性質を有するメカニズムについて説明する。図 1 4 は、可動部 5 に形成されている容量素子 $C_1 \sim C_4$ の構造を示している。容量素子 C_1 と容量素子 C_2 は、容量検出部を構成し、容量素子 C_3 と容量素子 C_4 は強制変位生成部を構成している。本実施の形態 6 のように容量素子 C_3 および容量素子 C_4 を使用して強制変位を生じさせるためには、非対称な電極構成とする必要がある。本実施の形態 6 の場合、強制変位生成部を構成する容量素子 C_3 および容量素子 C_4 は、平行平板型の電極構成となっており、1 : 3（ $d : 3d$ ）のギャップ比をもつように形成されている。例えば、1 : 1 のギャップ比をもつように容量素子 C_3 を構成すると、静電力 F_{po} と静電力 F_{pi} が釣り合ってしまう可動部 5 を変位させることができなくなってしまうからである。

【 0 1 1 5 】

診断信号によって可動部 5 に印加される静電力は式 1 ~ 式 3 および式 4 ~ 式 6 に示される。式 1 ~ 式 3 は、容量素子 C_3 に印加される静電力を示しており、式 4 ~ 式 6 は、容量素子 C_4 に印加される静電力を示している。

【 0 1 1 6 】

$$F_{po} = 1 / 2 \times A / (d - y)^2 \times V_{diag}^2 \quad \dots (1)$$

$$F_{pi} = 1 / 2 \times A / (3d + y)^2 \times V_{diag}^2 \quad \dots (2)$$

$$F_p = F_{po} - F_{pi} \quad \dots (3)$$

$$F_{no} = 1 / 2 \times A / (d + y)^2 \times V_{diag}^2 \quad \dots (4)$$

$$F_{ni} = 1 / 2 \times A / (3d - y)^2 \times V_{diag}^2 \quad \dots (5)$$

$$F_n = F_{no} - F_{ni} \quad \dots (6)$$

ここで、 ϵ_0 は空気の誘電率、 A は電極の対向面積、 d は電極間ギャップ、 y は可動部 5 の零点オフセットによる変位置、 V_{diag} は診断信号の電圧を示している。

【 0 1 1 7 】

以上の式 1 ~ 式 6 により、平行平板型の電極構造の場合、零点オフセットが式 1 ~ 式 6 中の分母にある y に影響を及ぼすため、零点オフセットが変化すると、静電力 F_p および静電力 F_n が非線形的に変化することがわかる。

【0118】

さらに、静電力 F_p および静電力 F_n は、図 14 の梁 4 のバネ定数を k とし、零点オフセット G_{off} を加算すれば式 (7) で示される初期診断時の加速度センサの出力を得ることができる。

【0119】

$$G_p = F_p / k + G_{off}, \quad G_n = F_n / k + G_{off} \quad \cdots (7)$$

10

上述した G_p と G_n の結果を使用して加速度センサの故障の有無を判断する 1 つの指標をつくるため、 G_p と G_n の差分をとることにより、式 (8) で示される G_{span} が得られる。

【0120】

$$\begin{aligned} G_{span} &= G_p - G_n = F_p / k + G_{off} - (F_n / k + G_{off}) \\ &= F_p / k - F_n / k \quad \cdots (8) \end{aligned}$$

上述した図 12 のグラフは、式 (1) ~ 式 (8) を使用して、0 から $\pm 0.8 G$ までの零点オフセットを想定した場合における G_p 、 G_n 、 G_{span} の値である。つまり、加速度センサに異常 (故障) がない場合、いかなる零点オフセット G_{off} に対しても、 G_{span} の値は、零点オフセット G_{off} が 0 である場合の G_{span} の値 (3.05) よりも大きくなる。これを判断基準とすれば、加速度センサの異常の有無を判断することができるのである。

20

【0121】

例えば、可動部 5 が固着して動かない場合や、容量素子 C_1 ~ 容量素子 C_4 を構成する電極間に異物が挟まって可動部 5 の変位が制限される場合、 G_{span} の値は 3.05 よりも小さくなり、加速度センサが異常であると診断することができる。また、加速度センサの出力に影響を及ぼすほどの電氣的なリークが容量素子 C_1 ~ 容量素子 C_4 に発生した場合でも G_{span} は 3.05 以下となるため、加速度センサが異常であると診断することができる。一方、梁 4 が破損して可動部 5 が正常状態よりも動きやすくなった場合、 G_{span} の値が設定されている既定範囲を超えるため、異常であると診断することができる。これに対し、零点オフセット G_{off} によって可動部 5 が変位する場合、 G_{span} は 3.05 より大きく既定範囲に入ることになる。したがって、加速度センサの異常による変位異常と、零点オフセットによる変位とは、零点オフセットが 0 の場合の G_{span} の値 (3.05) を境に分離することができることがわかる。以上のことから、本実施の形態 6 では、 G_{span} に対して既定範囲を設定し、この既定範囲から外れている場合だけを異常と診断することにより、加速度センサが正常状態で、かつ、零点オフセットが発生している状態を異常であると誤診断することを抑制できることがわかる。

30

【0122】

なお、図 12 のグラフからわかるように、想定する零点オフセット G_{off} の大きさに応じて加速度センサの測定範囲を広げる必要がある。例えば、本実施の形態 6 における加速度センサの場合、センサ出力としては最大 $\pm 1.5 G$ の測定範囲であるが、零点オフセット G_{off} を $\pm 0.8 G$ まで想定すると、加速度センサの内部的には約 $\pm 2.5 G$ まで測定できるように設計する必要がある。

40

【0123】

以上、本発明者によってなされた発明をその実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【0124】

50

本発明は、主に加速度センサに代表される静電容量式センサに利用することができる。
特に、自動車の姿勢制御や介護ロボットの姿勢・動作制御などの高信頼性が要求される静電容量式センサに幅広く利用することができる。

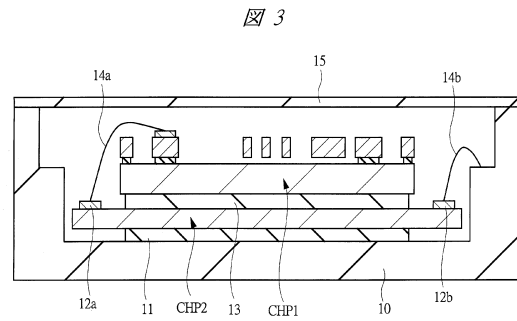
【符号の説明】

【 0 1 2 5 】

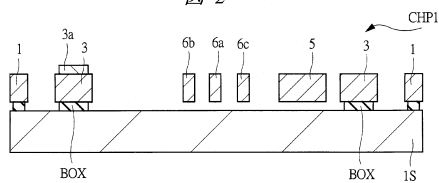
1	枠部	
1 S	基板層	
2	空洞部	
3	固定部	
3 a	パッド	10
4	梁	
5	可動部	
6 a	検出用可動電極	
6 b	検出用固定電極	
6 c	検出用固定電極	
7 a	パッド	
7 b	パッド	
8 a	診断用可動電極	
8 b	診断用固定電極	
8 c	診断用固定電極	20
9 a	パッド	
9 b	パッド	
1 0	外枠体	
1 1	接着材	
1 2 a	パッド	
1 2 b	パッド	
1 3	接着材	
1 4 a	ワイヤ	
1 4 b	ワイヤ	
1 5	リッド	30
2 0	振動体	
2 1	角速度信号処理部	
2 2	分周器	
2 3	駆動部	
2 4	搬送波生成部	
1 0 0	診断信号	
1 0 1	バイアス電圧	
1 0 2	変調信号	
1 0 3	バイアス電圧	
1 0 4	バイアス電圧	40
1 0 5	駆動信号	
1 0 6	搬送波	
1 0 7	診断信号生成部	
A D T	A / D変換部	
B O X	埋め込み絶縁層	
C f 1	参照容量	
C f 2	参照容量	
C H P 1	半導体チップ	
C H P 2	半導体チップ	
C H P 3	半導体チップ	50

C P	比較部	
C U	算出部	
C V T	電圧変換部	
C 1	容量素子	
C 2	容量素子	
C 3	容量素子	
C 4	容量素子	
D S G	診断信号生成部	
D U	判断部	
F D U	第 1 同期検波部	10
F n i	静電力	
F n o	静電力	
F p i	静電力	
F p o	静電力	
H P F 1	ハイパスフィルタ	
H P F 2	ハイパスフィルタ	
L P F 1	ローパスフィルタ	
L P F 2	ローパスフィルタ	
M S G	変調信号生成部	
M U	記憶部	20
O P 1	オペアンプ	
O P 2	オペアンプ	
O P 3	オペアンプ	
O U	演算部	
P C U	物理量算出部	
S D U	第 2 同期検波部	
S W 1	スイッチ	
T E 1	物理量算出端子	
T E 2	物理量算出端子	
T E 3	診断信号印加用端子	30
T E 4	診断信号印加用端子	
T E 5	変調信号印加用端子	
W D U	異常判断部	

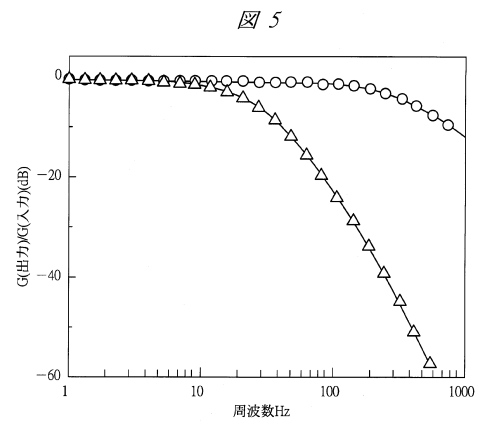
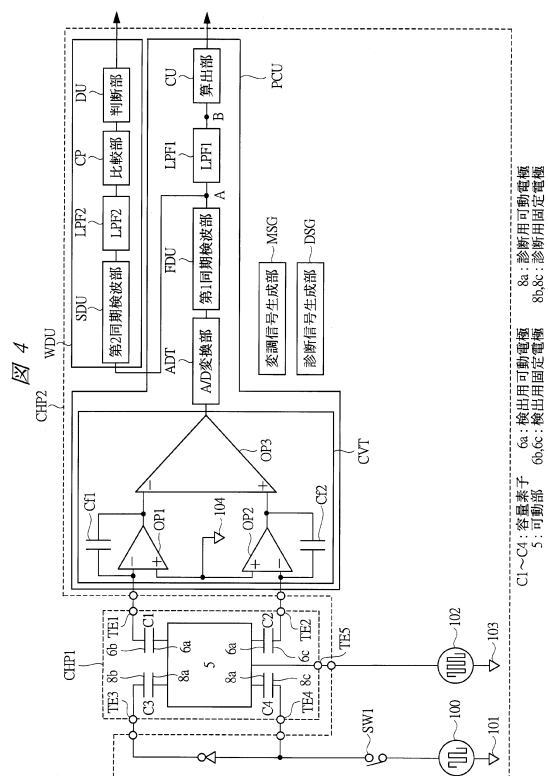
【 図 3 】



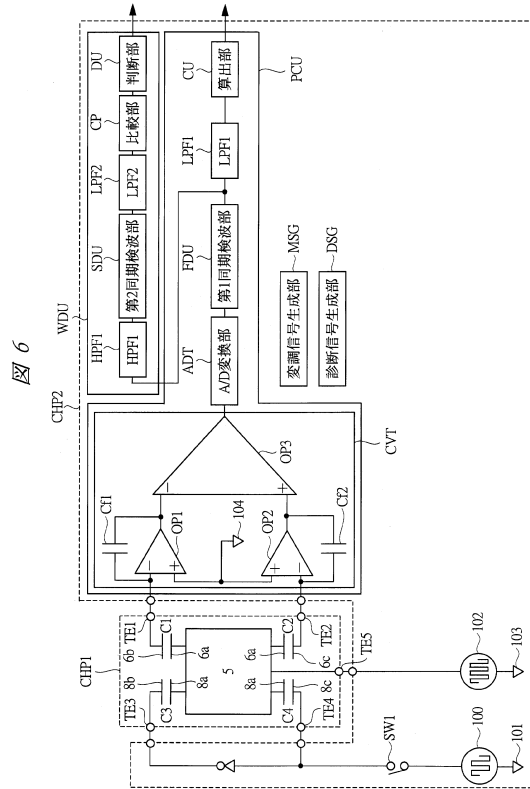
2



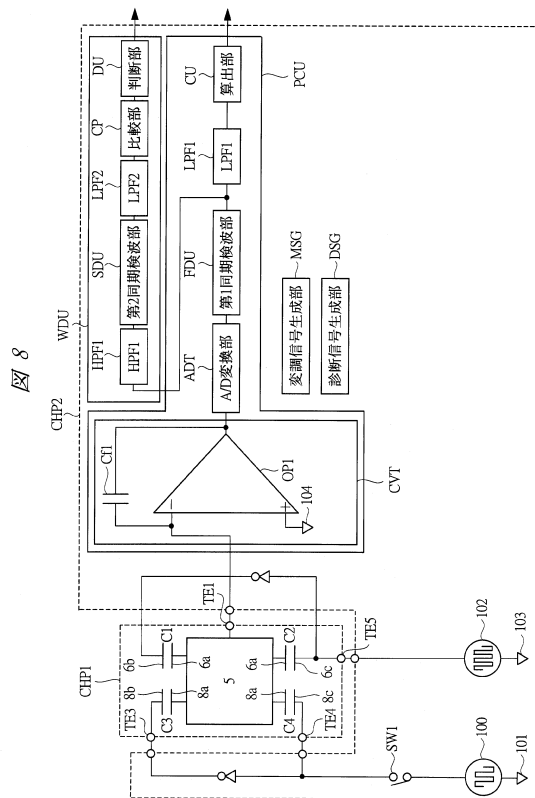
【 図 5 】



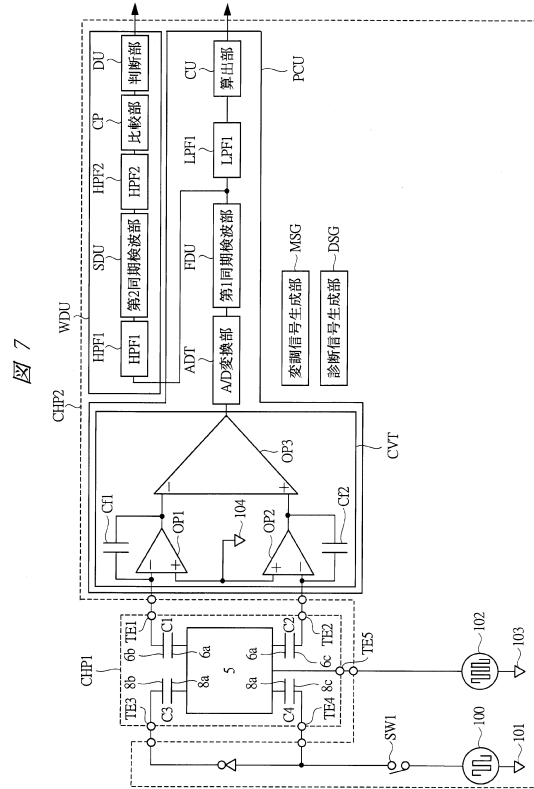
【 図 6 】



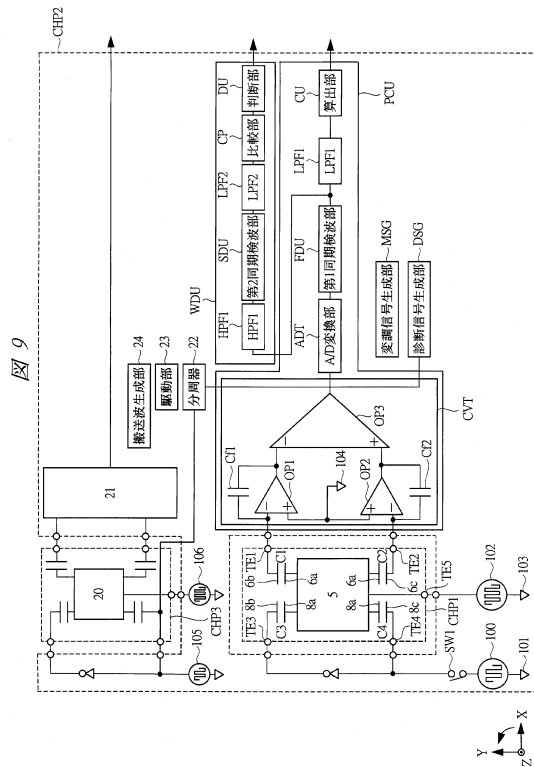
【 図 8 】



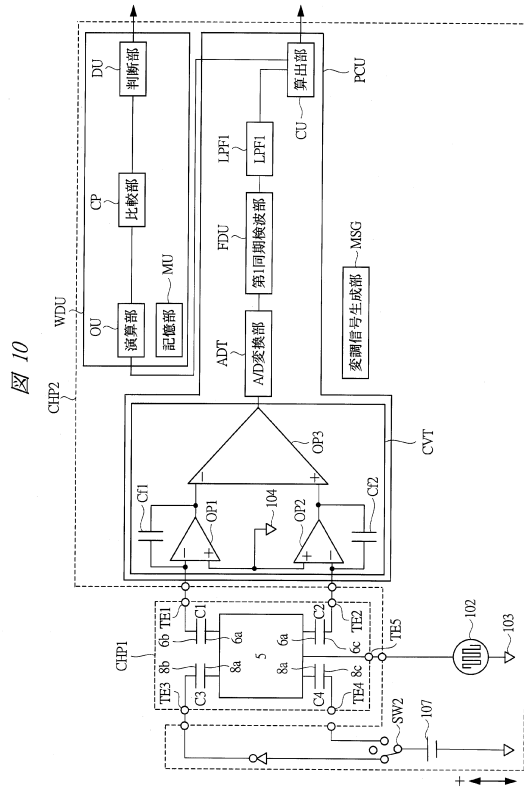
【圖 7】



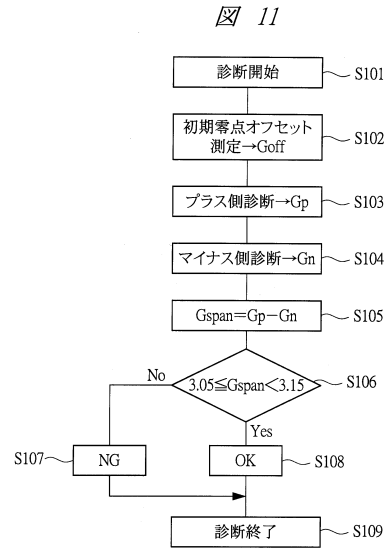
【 図 9 】



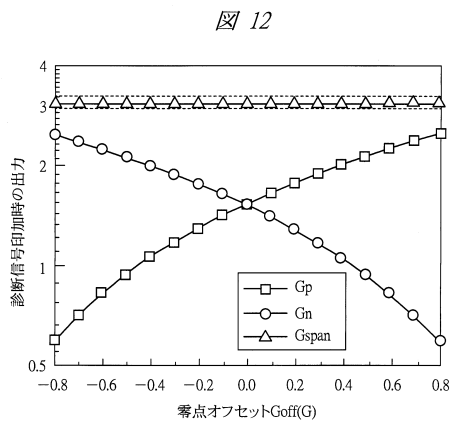
【 図 1 0 】



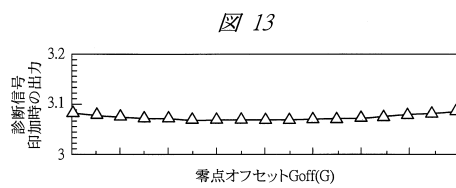
【 図 1 1 】



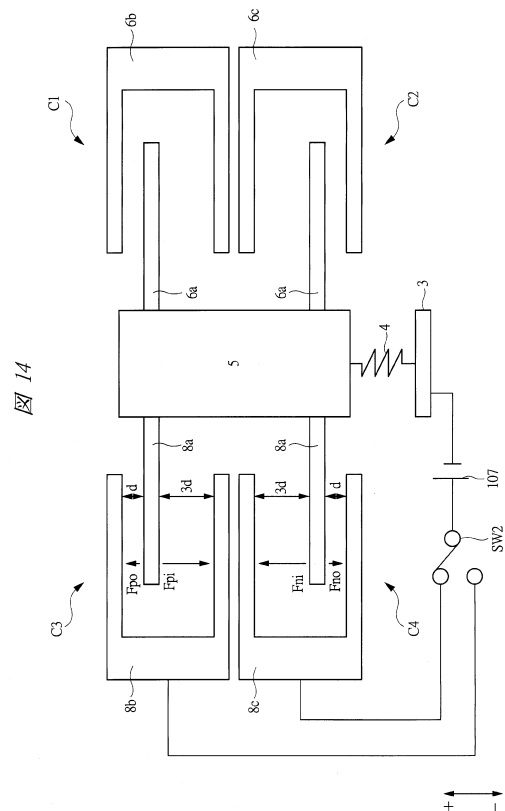
【 図 1 2 】



【 ㄨ 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 敏明

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内

(72)発明者 林 雅秀

茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内

審査官 續山 浩二

(56)参考文献 特開2008-039435(JP,A)

特開2006-170704(JP,A)

特開2008-107108(JP,A)

特開2005-003648(JP,A)

特開2002-005950(JP,A)

特開平08-110355(JP,A)

特開2000-146729(JP,A)

特開平07-167891(JP,A)

特開2008-107349(JP,A)

特開平05-223844(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01P 15/125

G01P 15/08

G01P 21/00