

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7388568号
(P7388568)

(45)発行日 令和5年11月29日(2023.11.29)

(24)登録日 令和5年11月20日(2023.11.20)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 L 9/00 (2006.01) G 0 1 L 9/00 3 0 5 U

請求項の数 4 (全18頁)

(21)出願番号	特願2022-545545(P2022-545545)	(73)特許権者	000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(86)(22)出願日	令和3年7月21日(2021.7.21)	(74)代理人	100132241 弁理士 岡部 博史
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/027282	(74)代理人	100189555 弁理士 徳山 英浩
(87)国際公開番号	WO2022/044632	(74)代理人	100100479 弁理士 竹内 三喜夫
(87)国際公開日	令和4年3月3日(2022.3.3)	(72)発明者	杉林 英明 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内
審査請求日	令和5年2月10日(2023.2.10)	審査官	岡田 卓弥
(31)優先権主張番号	特願2020-144621(P2020-144621)		
(32)優先日	令和2年8月28日(2020.8.28)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 センサ装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基準電位に保持される第1電極部と、
該第1電極部に対向して設けられ、周囲の圧力変化に応じて変位する第2電極部と、
該第2電極部の外側に設けられ、基準電位に保持されるケーシング部材と、
前記第2電極部からの信号を増幅して、予め定めたサンプリング周期で前記第1電極部と前記第2電極部との間の静電容量を検出する容量検出回路と、
サンプリング前後の静電容量値の差分 C を計測し、該差分 C と予め定めた閾値 C_{ta} を比較して、 $C > C_{ta}$ である場合に前記ケーシング部材への異物の付着を判定する信号処理回路と、を備えるセンサ装置。

【請求項2】

基準電位に保持される第1電極部と、
該第1電極部に対向して設けられ、周囲の圧力変化に応じて変位する第2電極部と、
該第2電極部の外側に設けられ、基準電位に保持されるケーシング部材と、
前記第2電極部からの信号を増幅して、前記第1電極部と前記第2電極部との間の静電容量を検出する容量検出回路と、
検出した静電容量値 C_s と予め定めた閾値 C_{tb} を比較して、 $C_s > C_{tb}$ である場合に前記ケーシング部材への異物の付着を判定する信号処理回路と、を備えるセンサ装置。

【請求項3】

異物の付着を判定した場合、前記容量検出回路及び/又は前記信号処理回路のゲインが

調整される、請求項 1 または 2 に記載のセンサ装置。

【請求項 4】

前記信号処理回路と外部ホストとの間でデータ伝送を行うインタフェース回路をさらに備え、

異物の付着を判定した場合、前記インタフェース回路を経由して前記外部ホストにアラーム信号を送信する、請求項 1 または 2 に記載のセンサ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、気圧や水圧などの圧力および、音波や超音波などの圧力変化を測定するためのセンサ装置に関する。 10

【背景技術】

【0002】

圧力センサは、半導体製造技術を応用したMEMS（マイクロ電気機械システム）技術を用いて製造でき、例えば、約0.5～2mm角の超小型センサが実現できる。典型的な圧力センサは、2つの電極を備えたキャパシタ構造を有し、周囲圧力の変化に起因した静電容量の変化を検知することによって圧力測定が可能である。こうしたキャパシタ構造は、電極間に空気、各種ガス、電気絶縁体、圧電体などを含んでもよい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2011-120170号公報

【文献】国際公開第2016/114172号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来の圧力センサでは、水没や結露に起因して水滴などの異物が付着すると、検知窓が閉塞したり、電極の周囲に存在する電気力線の分布が攪乱され、測定値を変動させることがある。 20

【0005】

しかしながら、圧力センサからの信号を受信する外部ホストは、異物の付着という状態を認識しなければ、変動した測定値をそのまま真の値として取り扱うことになる。その結果、誤った信号処理が行われ、ユーザに不正確な情報を提示する可能性がある。 30

本発明の目的は、異物の付着を確実に検知できるセンサ装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様に係るセンサ装置は、

基準電位に保持される第1電極部と、

該第1電極部に対向して設けられ、周囲の圧力変化に応じて変位する第2電極部と、

該第2電極部の外側に設けられ、基準電位に保持されるケーシング部材と、 40

前記第2電極部からの信号を増幅して、予め定めたサンプリング周期で前記第1電極部と前記第2電極部との間の静電容量を検出する容量検出回路と、

サンプリング前後の静電容量値の差分 C を計測し、該差分 C と予め定めた閾値 C_{ta} を比較して、 $C < C_{ta}$ である場合に前記ケーシング部材への異物の付着を判定する信号処理回路と、を備える。

【0007】

本発明の他の態様に係るセンサ装置は、

基準電位に保持される第1電極部と、

該第1電極部に対向して設けられ、周囲の圧力変化に応じて変位する第2電極部と、

該第2電極部の外側に設けられ、基準電位に保持されるケーシング部材と、 50

前記第 2 電極部からの信号を増幅して、前記第 1 電極部と前記第 2 電極部との間の静電容量を検出する容量検出回路と、

検出した静電容量値 C_s と予め定めた閾値 C_{tb} を比較して、 $C_s > C_{tb}$ である場合に前記ケーシング部材への異物の付着を判定する信号処理回路と、を備える。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、異物の付着を確実に検知できる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】本発明の実施形態 1 に係るセンサ装置の電極構造の一例を示す断面図である。 10

【図 2】本発明の実施形態 1 に係るセンサ装置の機械的構成の一例を示す断面図である。

【図 3】本発明の実施形態 1 に係るセンサ装置の電氣的構成の一例を示すブロック図である。

【図 4】図 4 (A) は、センサ装置の開口に水滴が付着した状態を示す断面図である。図 4 (B) は、検出対象の静電容量の時間変化を示すグラフである。

【図 5】水滴 W による寄生容量 C_{pwd} の発生を示す説明図である。

【図 6】サンプリング前後の圧力値の差分 P の時間変化を示すグラフである。

【図 7】センサ装置が出力する絶対圧力 P の時間変化を示すグラフである。

【図 8】外部ホストおよびセンサ装置の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 9】本発明の実施形態 2 に係るセンサ装置の電極構造の一例を示す断面図である。 20

【図 10】本発明の実施形態 2 に係るセンサ装置の電氣的構成の一例を示すブロック図である。

【図 11】水滴付着に起因した寄生容量を示す説明図である。

【図 12】本発明の実施形態 2 に係るセンサ装置の水滴検知回路の一例を示すブロック図である。

【図 13】本発明の実施形態 3 に係るセンサ装置の電極構造の一例を示す断面図である。

【図 14】本発明の実施形態 3 に係るセンサ装置の電氣的構成の一例を示すブロック図である。

【図 15】水滴付着に起因した寄生容量を示す説明図である。

【図 16】本発明の実施形態 3 に係るセンサ装置の水滴検知回路の一例を示すブロック図である。 30

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明の一態様に係るセンサ装置は、
基準電位に保持される第 1 電極部と、
該第 1 電極部に対向して設けられ、周囲の圧力変化に応じて変位する第 2 電極部と、
該第 2 電極部の外側に設けられ、基準電位に保持されるケーシング部材と、
前記第 2 電極部からの信号を増幅して、予め定めたサンプリング周期で前記第 1 電極部と前記第 2 電極部との間の静電容量を検出する容量検出回路と、

サンプリング前後の静電容量値の差分 C を計測し、該差分 C と予め定めた閾値 C_{ta} を比較して、 $C > C_{ta}$ である場合に前記ケーシング部材への異物の付着を判定する信号処理回路と、を備える。 40

【0011】

この構成によれば、第 2 電極部の外側に設けられたケーシング部材は基準電位に保持される。水滴などの異物がケーシング部材に付着すると、ケーシング部材と第 2 電極部との間に存在する寄生容量が変化し、典型的には増加して、検出した静電容量値が増加するようになる。信号処理回路は、静電容量値の差分 C を計測し、この差分 C が閾値 C_{ta} に等しいか、これを上回った場合にケーシング部材への異物の付着を判定する。これにより異物の付着を確実に検知できる。

【0012】

本発明の他の態様に係るセンサ装置は、
 基準電位に保持される第 1 電極部と、
 該第 1 電極部に対向して設けられ、周囲の圧力変化に応じて変位する第 2 電極部と、
 該第 2 電極部の外側に設けられ、基準電位に保持されるケーシング部材と、
 前記第 2 電極部からの信号を増幅して、前記第 1 電極部と前記第 2 電極部との間の静電容量を検出する容量検出回路と、

検出した静電容量値 C_s と予め定めた閾値 C_{tb} を比較して、 $C_s > C_{tb}$ である場合に前記ケーシング部材への異物の付着を判定する信号処理回路と、を備える。

【0013】

この構成によれば、第 2 電極部の外側に設けられたケーシング部材は基準電位に保持される。水滴などの異物がケーシング部材に付着すると、第 1 電極部と第 2 電極部との間に存在する寄生容量が変化し、典型的には増加して、検出した静電容量値が増加ようになる。信号処理回路は、静電容量値 C_s が閾値 C_{tb} を上回った場合にケーシング部材への異物の付着を判定する。これにより異物の付着を確実に検知できる。

10

【0014】

本発明において、異物の付着を判定した場合、前記容量検出回路及び/又は前記信号処理回路のゲインが調整されることが好ましい。

【0015】

この構成によれば、異物が付着すると、検出した値が変化し、測定系のダイナミックレンジを逸脱して上限値または下限値に飽和することがある。そこで、圧力検出回路及び/又は前記信号処理回路のゲインを減少または増加させることによって、検出した値をダイナミックレンジ内に維持することが可能になる。

20

【0016】

本発明において、前記信号処理回路と外部ホストとの間でデータ伝送を行うインタフェース回路をさらに備え、

異物の付着を判定した場合、前記インタフェース回路を経由して前記外部ホストにアラーム信号を送信することが好ましい。

【0017】

この構成によれば、異物の付着を判定した場合、インタフェース回路を経由して外部ホストにアラーム信号を送信することによって、異物付着状態を外部ホストに通知することが可能になる。これにより外部ホストは、ユーザに提示する情報に誤差があることを通知したり、ユーザへの情報提示を停止したりできる。

30

【0018】

(実施形態 1)

図 1 は、本発明の実施形態 1 に係るセンサ装置の電極構造の一例を示す断面図である。この電極構造 10 は、第 1 電極部として機能する導電性のベース基板 11 と、第 2 電極部として機能するメンブレン 15 と、両者間に間隙 G を維持するスペーサ部とを備える。ベース基板 11 は導電性がない場合は内側の面に電極を付加してもよい。スペーサ部は、ガード電極層 13 と、その上下に配置された電気絶縁層 12, 14 とを含む。ベース基板 11 とメンブレン 15 は間隙側に電極を付けて外部端子へ引き出してもよい。

40

【0019】

電極間の静電容量 C_s は、間隙 G の誘電率 ϵ 、電極面積 S、電極間距離 d を用いて、 $C_s = \epsilon \times S / d$ で表される。外部と間隙 G との圧力差に応じてメンブレン 15 が弾性変形すると、メンブレン 15 とベース基板 11 との間の電極間距離 d が変化し、それに伴って静電容量 C_s も変化する。静電容量 C_s の変化は、センス端子 T S を経由して外部回路によって検出される。

【0020】

ベース基板 11 とメンブレン 15 との間の静電容量を測定する場合、ベース端子 T B とセンス端子 T S との間に正電圧または負電圧を一定周期で印加し、発生する電荷を取り出して A / D (アナログ/デジタル) 変換し、続いてデジタル演算によって直線性や温度特

50

性を補正して適正な圧力値に変換している。

【0021】

ベース基板11およびメンブレン15は、例えば、多結晶Si、アモルファスSi、単結晶Siなどの導電性材料で形成される。電気絶縁層12、14は、酸化シリコンなどの電気絶縁性材料で形成される。ガード電極層13は、メンブレン15とベース基板11との間に介在することにより、圧力変化に関係しない浮遊静電容量をキャンセルすることが可能になる。

【0022】

図2は、本発明の実施形態1に係るセンサ装置の機械的構成の一例を示す断面図である。センサ装置20は、基板21と、基板21の上に搭載された集積回路30と、図1に示した電極構造10と、ケーシング22などを備える。

10

【0023】

集積回路30は、例えば、ASIC、FPGA、PLD、CPLDなどで構成され、アナログ回路およびプログラム可能なデジタル回路が内蔵されている。電極構造10は、集積回路30の上に搭載可能であり、ボンディングワイヤを用いて互いに電氣的に接続される。基板21には、配線パターン、電源端子、インタフェース端子などが設けられ、その上面には集積回路30が搭載され、ボンディングワイヤを用いて互いに電氣的に接続される。

【0024】

ケーシング22は、金属などの導電性材料で形成された筒状部材であり、基板21の上面に固定された状態で電極構造10および集積回路30を収納するための内部空間を確保している。ケーシング22の上部には、外気と内部空間とを連通するための開口22aが設けられる。内部空間は、空気だけでもよく、あるいは図示のようにゲル(gel)23が充填されてもよい。ゲル23は、電極構造10および集積回路30を封入するために使用される。ゲル23の柔軟性により、外部圧力は電極構造10へ伝達可能である。さらにゲル23の防水性、耐水性、防食性により電極構造10および集積回路30の保護が図られる。

20

【0025】

図3は、本発明の実施形態1に係るセンサ装置の電氣的構成の一例を示すブロック図である。集積回路30は、増幅器31と、CDC(Capacitance to Digital Convertor)回路32と、デジタルフィルタ33と、温度センサ35と、TDC(Temperature to Digital Convertor)回路36と、デジタルフィルタ37と、同期回路40と、デジタル補正部41と、メモリ部42と、ロジック部43と、デジタルI/F(インタフェース)部44などで構成される。なお、図示していないが、電極構造10と増幅器31の間には、電極構造10に矩形波電圧を供給するパルス発生器が設けられる。こうした集積回路30は、CPU、GPUなどの演算プロセッサ、EEPROM、RAMなどのメモリ、ソフトウェア、アナログ回路などのハードウェアの組合せで実装できる。

30

【0026】

増幅器31は、上述した電極構造10からの電荷信号をアナログ圧力信号に変換して適正なレベルまで増幅する。CDC回路32は、増幅器31からの圧力信号をデジタル信号に変換する。デジタルフィルタ33は、CDC回路32からのデジタル信号に対してフィルタリングを施し、高域周波数のノイズ成分を除去し、低域周波数帯の信号を出力する。

40

【0027】

温度センサ35は、PN接合ダイオードやサーミスタなどを含み、電極構造10近傍の温度を計測してアナログ温度信号を出力する。TDC回路36は、温度センサ35からの温度信号をデジタル信号に変換する。デジタルフィルタ37は、TDC回路36からのデジタル信号に対してフィルタリングを施し、高域周波数のノイズ成分を除去し、低域周波数帯の信号を出力する。

【0028】

デジタル補正部41は、温度センサ35からのデジタル温度信号およびメモリ部42に保存された補正係数を用いて、デジタルフィルタ33から出力されるデジタル圧力信号を

50

補正し、温度補正および直線性補正を行う。

【 0 0 2 9 】

同期回路 4 0 は、C D C 回路 3 2、T D C 回路 3 6、デジタルフィルタ 3 3、3 7 に所定周期のクロックを供給してデジタル動作を同期させる。このクロックに基づいて圧力信号のサンプリング周期が設定される。クロックは、固定された単一周期でもよく、あるいは複数の周期から選択可能でもよい。

【 0 0 3 0 】

メモリ部 4 2 は、E E P R O M、ポリヒューズ、R A M などで構成され、レジスタおよび F I F O バッファを有する。レジスタは、測定データ、補正係数などの各種デジタルデータを保存する機能を有する。F I F O バッファは、デジタルデータを一時的に保存して、入力と出力のタイミングを調整する機能を有する。一括でデジタルデータを読み出すことで通信の頻度を低減し、消費電力をセーブすることが可能である。

10

【 0 0 3 1 】

デジタル I / F 部 4 4 は、外部ホストと通信する機能を有し、各種デジタルデータの送受信を行う。外部ホストは、P C (パーソナルコンピュータ)、スマートフォン、携帯電子機器、腕時計などとして構成され、C P U、G P U などの演算プロセッサ、E E P R O M、R A M などのメモリ、ソフトウェア、アナログ回路などのハードウェアの組合せで構成でき、類似の通信インタフェースを含む。

【 0 0 3 2 】

ロジック部 4 3 は、ソフトウェアで実装される各種プログラムを保存する機能を有し、例えば、メモリ部 4 2 に保存された測定データに対して信号処理を施すプログラム、集積回路 3 0 の全体動作を制御するプログラム、外部ホストへの送信データ (例えば、アラーム) を生成するプログラム、外部ホストからの受信データを処理するプログラムなどが保存される。

20

【 0 0 3 3 】

次にデジタル補正部 4 1 の特性補正機能について説明する。センサ装置 2 0 は、出荷前の特性検査の際に製品テストを用いて絶対圧力値の校正を行ってから出荷する。絶対圧力値の校正は、例えば、温度：- 2 0 / 2 5 / 6 5、圧力範囲：3 0 k P a ~ 1 1 0 k P a の環境にてセンサ出力の初期値を測定する。これらの初期値に基づいて、補正係数 a_{ij} (i, j は整数) を算出し、これらを集積回路 3 0 内の不揮発メモリに保存しておく。

30

【 0 0 3 4 】

次に、センサ装置 2 0 を搭載した電子機器において実際に圧力センシングを実施する場合、デジタル補正部 4 1 は、補正係数 a_{ij} を読み出し、測定した圧力値と温度値を用いて多項式演算を行い、下記の最終出力 $p(L, T)$ が得られる。ここで、 a_{ij} は温度 / 直線性の補正係数、 $f(L)$ は直線性の関数、 $f(T)$ は温度の関数である。

$$p(L, T) = [a_{ij} \cdot f(L) \cdot f(T)] \quad \dots (1)$$

【 0 0 3 5 】

これらの補正演算は、集積回路 3 0 内の C P U によって 1 m s 以内に実行され、結果として温度特性と直線性が補正され、使用温度範囲にて高精度な絶対圧力値が得られる。

【 0 0 3 6 】

次にロジック部 4 3 の各種機能について説明する。一例として、ロジック部 4 3 には下記のような機能を有するプログラムが保存される。

40

- ・水滴検知機能
- ・ゲイン調整機能
- ・閾値 / ゲイン設定機能
- ・ゲイン初期化機能
- ・アラーム機能
- ・高速 O D R (Output Data Rate) 機能

【 0 0 3 7 】

最初に水滴検知機能について説明する。図 4 (A) は、センサ装置 2 0 の開口 2 2 a に

50

水滴Wが付着した状態を示す断面図である。図4(B)は、検出対象の静電容量Cの時間変化を示すグラフである。図5は、水滴Wによる寄生容量C_{pwd}の発生を示す説明図である。ケーシング22は接地され、ベース基板11とともにグランド電位に保持される。

【0038】

水滴Wが付着していない場合、センサ装置20のメンブレン15が気圧に応じて撓み変形しており、電極間の静電容量C_sの計測によって気圧を正確に検出できる。一方、図4に示すように、時刻t₀で水滴Wが開口22aに接触し始めて、時刻t₁で水滴Wが完全に付着すると、電極間の静電容量C_sに対して水滴Wによる静電容量Cが追加されるようになる。一例として、時刻t₀から時刻t₁までは約1ms(ミリ秒)以内であり、Cは約0.1pF~10pFである。

10

【0039】

図6は、サンプリング前後の圧力値の差分Pの時間変化を示すグラフである。圧力値の差分Pは、静電容量の差分Cに対応する。気圧が変化しない場合、差分Pはゼロを示すが、時刻t₀~t₁で水滴Wが付着すると、Pはパルス状に増加して、その後再びゼロに戻る。このとき差分Pと予め定めた閾値P_{th}を比較して、P>P_{th}である場合にケーシング22への水滴Wの付着を判定することができる。圧力閾値P_{th}は、静電容量の閾値C_{ta}に対応する。

【0040】

次にゲイン調整機能について説明する。図7は、センサ装置20が出力する絶対圧力Pの時間変化を示すグラフである。絶対圧力Pは、電極間の静電容量C_sに対応する。水滴Wが付着していない場合、絶対圧力Pは約1気圧に相当する100kPaを示している。ゲイン調整を行わない場合、時刻t₀~t₁で水滴Wが付着すると、水滴Wによる静電容量Cの増加に起因して絶対圧力Pは大きく増加し、測定系のダイナミックレンジを逸脱して上限値U_L(ここでは、130kPa)に飽和してしまう。出力信号が飽和すると、常に一定となり、無意味な数値になる。

20

【0041】

一方、上述のように水滴付着を検知した場合、ゲイン調整機能によりゲインを減少させることによって、グラフの印で示すように、気圧の変化に応じた信号を出力することが可能になる。従って、絶対圧力Pは、水滴Wによる誤差を内在することになるが、圧力の相対変化に関する情報を提示することが可能になる。

30

【0042】

ゲイン調整は、集積回路30の各ブロックのうちの少なくとも1つのゲインを増減させてもよく、あるいはロジック部43においてデジタルデータに対して信号処理を施すプログラムを用いて行ってもよい。

【0043】

次に閾値/ゲイン設定機能とゲイン初期化機能について説明する。上述した閾値P_{th}および集積回路30の各ブロックのゲインは、工場出荷時の初期値および外部ホストが設定可能なユーザ設定値としてメモリ部42に保存可能である。そのため外部ホストからのコマンドに従って、閾値P_{th}および集積回路30のゲインを変更したり、初期化することが可能である。

40

【0044】

一例として、メモリ部42に水滴付着前の初期ゲインおよび水滴付着後のゲインを予め保存する。ゲインは、デジタル補正部41の演算結果に対して乗算することで反映してもよい。ゲイン調整後の最終出力p(L, T, G)は、下記の式(2)で表される。ここで、a_{ij}は温度/直線性の補正係数、f(L)は直線性の関数、f(T)は温度の関数、Gはゲインである。

$$p(L, T, G) = [a_{ij} \cdot f(L) \cdot f(T)] \times G \quad \dots (2)$$

【0045】

例えば、初期ゲインG_i=1.0、水滴付着後ゲインG_w=0.1に設定した場合、水滴付着の前後でゲインが1/10に切り替わるため、水滴の影響によって信号が飽和す

50

ることを回避できる。その後、水滴が蒸発する時間を見計らって、初期ゲインに戻してもよく、これにより通常の圧力測定を再開することが可能である。

【0046】

次にアラーム機能について説明する。上述のように水滴付着を検知した場合、メモリ部42に事前に保存したアラーム情報を、デジタルI/F部44を経由して外部ホストに送信することが可能である。アラーム情報は、テキストデータまたはバイナリデータの形態でもよく、ハードウェアの外部出力の割込み信号の形態でもよい。例えば、水滴付着を検知した場合、メモリ部42の所定アドレスに設定された水滴検知ビット(フラグ)を01に切り替え、このフラグ情報を、例えば、SPI/I2Cなどのシリアル通信規格に従って外部ホストに送信してもよい。あるいは、水滴付着イベントの発生を表示する割込みレジスタにフラグ情報を転送し、外部ホストから読み出してもよい。あるいは、集積回路30の外部出力端子を介して出力レベルが01に切り替わるような割込み信号を出力してもよく、この場合はリアルタイムで通知できる。

10

【0047】

外部ホストが集積回路30からアラームを受信すると、センサ装置20が非定常状態であることを認識できる。これにより外部ホストは、ユーザに提示する情報に誤差があることを通知したり、ユーザへの情報提示を停止したりできる。

【0048】

次に高速ODR(Output Data Rate)機能について説明する。同期回路40は、複数の周波数を有するクロック、例えば、低周波クロックと高周波クロックを選択的に発生するように構成してもよい。同期回路40が発生するクロックの周波数を高くすることによって、1回の圧力測定に要する時間が短くなり、全体の測定時間も短縮されて、高速ODRを実現できる。例えば、クロック周波数66kHz(周期15.1μs)で128回のサンプリングを実施すると、測定時間は15.1μs×128=1940μsとなる。一方、クロック周波数を2倍の132kHz(周期7.6μs)で128回のサンプリングを実施すると、測定時間は7.6μs×128=970μsとなり、全体の測定時間を短縮できる。連続的に測定を続けると、970μs毎に圧力値が得られることになる。

20

【0049】

こうした高速ODR手法を用いて高速レートの圧力測定を行い、連続する2つのサンプリング時刻での圧力差分Pを監視する。例えば、ODR=1000Hzとすると、1ms毎に圧力差分Pが得られる。外部気圧は、その性質上、msオーダーの急激な過渡変化を起こすことはなく、水滴が付着した場合にのみ急激な圧力変化が起こる。そこで、差分Pと予め定めた閾値P_{th}を比較して、P>P_{th}である場合にケーシング22への水滴Wの付着を判定することができる。

30

【0050】

図8は、外部ホストおよびセンサ装置の動作の一例を示すフローチャートである。ユーザがホストにインストールされた圧力測定アプリを起動すると、ステップH1において、ホストはセンサ制御フローを開始する。次にステップH2において、ホストは、水滴検知モードに必要なパラメータを設定するコマンドをセンサに送信する。センサは、ステップS1において水滴検知モードに必要なパラメータ(例えば、サンプリングレート、閾値P_{th}、ゲイン切替えの有効/無効)をメモリに保存する。

40

【0051】

次にステップH3において、ホストは、圧力測定を開始するコマンドをセンサに送信する。センサは、ステップS2において圧力測定を開始し、続いてステップS3において測定した圧力データをメモリに保存する。次にステップH4において、ホストは、圧力データを読み出すためのコマンドをセンサに送信して、測定された圧力データを受信する。次にステップH5において、ホストは、圧力測定アプリの画面に測定された圧力を表示する。ステップS3, H4, H5は、マルチタスク処理によって他のステップと同時並行に実行される。

【0052】

50

続いてセンサは、ステップ S 4 においてサンプリング前後の圧力データの差分 P を算出し、ステップ S 5 において差分 P と予め定めた閾値 P_{th} を比較する。差分 P が閾値 P_{th} より小さい場合 ($P < P_{th}$)、ステップ S 6 に移行して圧力測定を継続するものと判定し、ステップ S 4 に戻る。一方、 $P \geq P_{th}$ である場合、ステップ S 7 に移行してセンサへの水滴付着ありと判定し、水滴検知アラームを発動する。この場合、例えば、割り込み出力端子をローレベルからハイレベルに変化させてもよく、あるいは状態レジスタのフラグを立ててもよい。

【 0 0 5 3 】

続いてセンサは、ステップ S 8 においてゲイン切り替えが有効または無効であるかを確認する。無効であれば、ステップ S 9 に移行してゲイン切り替えなしで測定を停止する。一方、有効であれば、ステップ S 10 に移行してゲインを下げて測定を継続する。

10

【 0 0 5 4 】

一方、ステップ H 6 において、ホストは、センサからの水滴検知アラームを確認する。次にステップ H 7 において、圧力測定アプリの画面での圧力表示を停止する。このときアラーム発生メッセージを表示してもよい。次にステップ H 8 において、ホストは、圧力測定を停止するコマンドをセンサに送信する。センサは、ステップ S 11 において圧力測定を停止する。

【 0 0 5 5 】

このように本実施形態によれば、水滴の付着を正確に検出することが可能になる。さらに水滴付着後はゲイン切り替えを行うことが好ましく、これにより測定値がダイナミックレンジの上限値または下限値に飽和するのを回避でき、測定を継続できる。

20

【 0 0 5 6 】

また、ホストを使用しているユーザに向けて水滴検知アラームを通知できるため、ユーザは、センサが非正常状態であることを認識できる。

【 0 0 5 7 】

また、集積回路のデジタル信号処理によって、水滴検出フロー、ゲイン調整フロー、アラーム発動フローなどがプログラミングによって容易に実装可能である。また、簡易なロジック回路で集積化できるため、チップ面積やコストの増加を抑制しつつ、高い付加価値を実現することができる。

【 0 0 5 8 】

(実施形態 2)

図 9 は、本発明の実施形態 2 に係るセンサ装置の電極構造の一例を示す断面図である。この電極構造 50 は、超音波を送信 / 受信する p M U T (Piezo Micro-machined Ultrasonic Transducer) として使用可能であり、一例として、シリコンなどの基板 51 と、A l N などの支持層 52 と、A l N , K N N , P Z T などの圧電体層 53 と、第 1 電極部としての下部電極 54 と、ヒータ 55 と、第 2 電極部としての上部電極 56 と、ケーシング部材としての A l N などの保護膜 57 とを備える。基板 51 には、超音波が通過する窓 51 a が設けられる。

30

【 0 0 5 9 】

図 10 は、本発明の実施形態 2 に係るセンサ装置の電氣的構成の一例を示すブロック図である。集積回路 60 は、CPU などのコントローラ 61 と、電荷ポンプ回路 (昇圧回路) 62 と、増幅器 63 と、バンドパス特性を備えた A D C (Analog to Digital Converter) 回路 64 と、D S P (Digital Signal Processor) 回路 65 と、基準電圧回路 66 と、メモリ 67 と、I 2 C などの I / F (インタフェース) 回路 68 などで構成される。上部電極 56 は、スイッチ回路により、増幅器 63 または A D C 回路 64 に交互に接続される。下部電極 54 は、基準電圧回路 66 に接続される。バンドパス特性は A D C で A D 変換後にデジタルフィルタで構成してもよい。

40

【 0 0 6 0 】

センサ装置の動作に関して、下部電極 54 と上部電極 56 との間に、例えば、周波数 20 k H z ~ 500 k H z の駆動信号をパルス状に印加すると、ピエゾ効果によって圧電体

50

層 5 3 が振動し、空気の圧力変化である超音波 US が窓 5 1 a を通って外部に放出される。放出された超音波 US が物体によって反射され、再び窓 5 1 a を通って圧電体層 5 3 を振動させる。このときピエゾ効果によって下部電極 5 4 と上部電極 5 6 との間にパルス信号が発生する。駆動信号からパルス信号までの時間を測定することにより、センサから物体までの距離が計測できる。

【 0 0 6 1 】

こうしたセンサ装置に、水滴などの異物を検知する機能を付与できる。一例として、図 9 に示すように、保護膜 5 7 には、上部電極 5 6 を露出させる開口 5 7 a が設けられる。保護膜 5 7 の上面には導電性薄膜が設けられ、この薄膜は、下部電極 5 4 とともに基準電圧（例えば、グランド電位）に保持される。

10

【 0 0 6 2 】

図 1 1 は、水滴付着に起因した寄生容量を示す説明図である。保護膜 5 7 には、上部電極 5 6 を露出させる開口 5 7 a が設けられる。保護膜 5 7 の上面には導電性薄膜が設けられ、この薄膜は、下部電極 5 4 とともに基準電圧（例えば、グランド電位）に保持される。下部電極 5 4 と上部電極 5 6 との間には検出対象の静電容量 C_s が存在する。水滴が開口 5 7 a に付着すると、上部電極 5 6 と導電性薄膜とが容量結合し、水滴に起因した新たな寄生容量 C_p が静電容量 C_s に対して並列的に追加される。

【 0 0 6 3 】

図 1 2 は、本発明の実施形態 2 に係るセンサ装置の水滴検知回路の一例を示すブロック図である。集積回路 7 0 は、増幅器 7 1 と、C D C 回路 7 2 と、デジタルフィルタ 7 3 と、同期回路 7 5 と、ロジック部 7 4 と、デジタル I / F 部 7 6 などによって構成される。なお、図示していないが、電極構造 5 0 と増幅器 7 1 との間には、電極構造 5 0 に矩形波電圧を供給するパルス発生器が設けられる。こうした集積回路 7 0 は、C P U、G P U などの演算プロセッサ、E E P R O M、R A M などのメモリ、ソフトウェア、アナログ回路などのハードウェアの組合せで実装できる。

20

【 0 0 6 4 】

増幅器 7 1 は、上述した電極構造 5 0 からの電荷信号をアナログ圧力信号に変換して適正なレベルまで増幅する。C D C 回路 7 2 は、増幅器 7 1 からの圧力信号をデジタル信号に変換する。デジタルフィルタ 7 3 は、C D C 回路 7 2 からのデジタル信号に対してフィルタリングを施し、高域周波数のノイズ成分を除去し、低域周波数帯の信号を出力する。

30

【 0 0 6 5 】

ロジック部 7 4 は、ソフトウェアで実装される各種プログラムを保存する機能を有し、例えば、メモリに保存された測定データに対して信号処理を施すプログラム、集積回路 7 0 の全体動作を制御するプログラム、外部ホストへの送信データ（例えば、アラーム）を生成するプログラム、外部ホストからの受信データを処理するプログラムなどが保存される。

【 0 0 6 6 】

同期回路 7 5 は、C D C 回路 7 2、デジタルフィルタ 7 3、ロジック部 7 4 に所定周期のクロックを供給してデジタル動作を同期させる。このクロックに基づいてサンプリング周期が設定される。

40

【 0 0 6 7 】

デジタル I / F 部 7 6 は、外部ホストと通信する機能を有し、各種デジタルデータの送受信を行う。

【 0 0 6 8 】

次に水滴検知の動作について説明する。下部電極 5 4 を基準電圧回路 6 6 から切り離し、事前に水滴が付着していない状態で C_s の最大値 C_{s_max} を計測し、閾値 C_{tb} としてメモリに保存する。水滴が付着すると寄生容量 C_p が発生し、電極間容量 C_s は $C_s + C_p$ に変化する。水滴付着の診断モードでは、電極間容量 C_s を定期的に測定する。この場合、上部電極 5 6 に矩形パルスを入力して C_s を測定する。 $C_s > C_{tb}$ の場合に水滴付着と判定できる。

50

【 0 0 6 9 】

代替として、サンプリング前後の静電容量値の差分 C を計測し、該差分 C と予め定められた閾値 C_{ta} を比較して、 $C > C_{ta}$ である場合に水滴付着ありと判定することが可能である。

【 0 0 7 0 】

こうして水滴付着と判定した場合、実施形態 1 と同様に、回路系のゲイン調整機能、アラーム機能を実施することも可能である。

【 0 0 7 1 】

(実施形態 3)

図 1 3 は、本発明の実施形態 3 に係るセンサ装置の電極構造の一例を示す断面図である。この電極構造 8 0 は、音波を電気信号に変換する MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) マイクロホンとして使用可能であり、一例として、シリコンなどの基板 8 1 と、電気絶縁層 8 2 と、第 2 電極部としての導電性の振動板 8 3 と、電気絶縁性のスペーサ 8 4 と、第 1 電極部としての導電性の背極板 8 5 と、電気絶縁層 8 6, 8 7 とを備える。電気絶縁層 8 6, 8 7 には、振動板 8 3 と接続された電極 D_a および背極板 8 5 と接続された電極 D_b が設けられる。背極板 8 5 には、音波が通過する多数の貫通孔 8 5 a が設けられる。

10

【 0 0 7 2 】

図 1 4 は、本発明の実施形態 3 に係るセンサ装置の電氣的構成の一例を示すブロック図である。集積回路 9 0 は、電圧レギュレータ 9 1 と、電荷ポンプ回路 9 2 と、基準電圧回路 9 3 と、増幅器 9 4 と、ADC (Analog to Digital Convertor) 回路 9 5 と、DSP (Digital Signal Processor) 回路 9 6 と、PDM (Pulse Density Modulation) 回路 9 7 と、I2C などの I/F (インタフェース) 回路 9 8 と、フィルタ回路 9 9 と、バッファ回路 1 0 0 などで構成される。背極板 8 5 は、電荷ポンプ回路 (昇圧回路) 9 2 に接続され、所定の DC 電圧に保持される。振動板 8 3 は、基準電圧回路 9 3 および増幅器 9 4 に接続され、所定の基準電圧に保持される。

20

【 0 0 7 3 】

センサ装置の動作に関して、振動板 8 3 と背極板 8 5 との間には DC 電圧が印加される。上方から音波が到来して、貫通孔 8 5 a を通過し、振動板 8 3 を振動させる。このとき電極間距離が変化して、電極間の静電容量 C_s も変化し、振動板 8 3 の電圧が変化する。この電圧信号が増幅され、ADC 回路 9 5 によってデジタル信号に変換され、フィルタ回路 9 9 を経由してアナログ信号としても利用される。こうして空気の圧力変化である音波が電気信号に変換される。

30

【 0 0 7 4 】

こうしたセンサ装置に、水滴などの異物を検知する機能を付与できる。一例として、図 1 5 に示すように、電極構造 8 0 には、導体を有する FPC (フレキシブルプリント基板) が固定され、さらに導電性材料で形成されたケーシング 8 8 が、電気絶縁性の補強板 L_a および接着剤 L_b を介して固定される。ケーシング 8 8 には、音波が通過する開口 8 8 a が設けられる。ケーシング 8 8 は、基準電圧 (例えば、グランド電位) に保持される。振動板 8 3 と背極板 8 5 との間には検出対象の静電容量 C_s が存在する。水滴が開口 8 8 a に付着すると、FPC の導体とケーシング 8 8 とが容量結合し、水滴に起因した新たな寄生容量 C_p が静電容量 C_s に対して並列的に追加される。

40

【 0 0 7 5 】

図 1 6 は、本発明の実施形態 3 に係るセンサ装置の水滴検知回路の一例を示すブロック図である。集積回路 1 1 0 は、増幅器 1 1 1 と、CDC 回路 1 1 2 と、デジタルフィルタ 1 1 3 と、同期回路 1 1 5 と、ロジック部 1 1 4 と、デジタル I/F 部 1 1 6 などで構成される。なお、図示していないが、電極構造 8 0 と増幅器 1 1 1 との間には、電極構造 8 0 に矩形波電圧を供給するパルス発生器が設けられる。こうした集積回路 1 1 0 は、CPU、GPU などの演算プロセッサ、EEPROM、RAM などのメモリ、ソフトウェア、アナログ回路などのハードウェアの組合せで実装できる。

50

【 0 0 7 6 】

増幅器 1 1 1 は、上述した電極構造 8 0 からの電荷信号をアナログ圧力信号に変換して適正なレベルまで増幅する。CDC 回路 1 1 2 は、増幅器 1 1 1 からの圧力信号をデジタル信号に変換する。デジタルフィルタ 1 1 3 は、CDC 回路 1 1 2 からのデジタル信号に対してフィルタリングを施し、高域周波数のノイズ成分を除去し、低域周波数帯の信号を出力する。

【 0 0 7 7 】

ロジック部 1 1 4 は、ソフトウェアで実装される各種プログラムを保存する機能を有し、例えば、メモリに保存された測定データに対して信号処理を施すプログラム、集積回路 1 1 0 の全体動作を制御するプログラム、外部ホストへの送信データ（例えば、アラーム）を生成するプログラム、外部ホストからの受信データを処理するプログラムなどが保存される。

10

【 0 0 7 8 】

同期回路 1 1 5 は、CDC 回路 1 1 2、デジタルフィルタ 1 1 3、ロジック部 1 1 4 に所定周期のクロックを供給してデジタル動作を同期させる。このクロックに基づいてサンプリング周期が設定される。

【 0 0 7 9 】

デジタル I / F 部 1 1 4 は、外部ホストと通信する機能を有し、各種デジタルデータの送受信を行う。

【 0 0 8 0 】

次に水滴検知の動作について説明する。振動板 8 3 を基準電圧回路 9 3 から切り離し、事前に水滴が付着していない状態で C_s の最大値 C_{s_max} を計測し、閾値 C_{tb} としてメモリに保存する。水滴が付着すると寄生容量 C_p が発生し、電極間容量 C_s は $C_s + C_p$ に変化する。水滴付着の診断モードでは、電極間容量 C_s を定期的に測定する。この場合、振動板 8 3 に矩形パルスを入力して C_s を測定する。 $C_s > C_{tb}$ の場合に水滴付着と判定できる。

20

【 0 0 8 1 】

代替として、サンプリング前後の静電容量値の差分 C を計測し、該差分 C と予め定めた閾値 C_{ta} を比較して、 $C > C_{ta}$ である場合に水滴付着ありと判定することが可能である。

30

【 0 0 8 2 】

こうして水滴付着と判定した場合、実施形態 1 と同様に、回路系のゲイン調整機能、アラーム機能を実施することも可能である。

【 0 0 8 3 】

以上の実施形態では、異物として水滴を例示したが、それ以外にも油、泥、海水などの各種液体、土、砂、埃、ガラス片、金属片、木片、紙片、布きれなどの各種固体、虫、毛、カビなどの各種生物物質の付着を検出することも可能である。

【 0 0 8 4 】

本発明は、添付図面を参照しながら好ましい実施形態に関連して十分に記載されているが、この技術の熟練した人々にとっては種々の変形や修正は明白である。そのような変形や修正は、添付した請求の範囲による本発明の範囲から外れない限りにおいて、その中に含まれると理解されるべきである。

40

【産業上の利用可能性】

【 0 0 8 5 】

本発明は、異物の付着を確実に検知できるため、産業上極めて有用である。

【符号の説明】

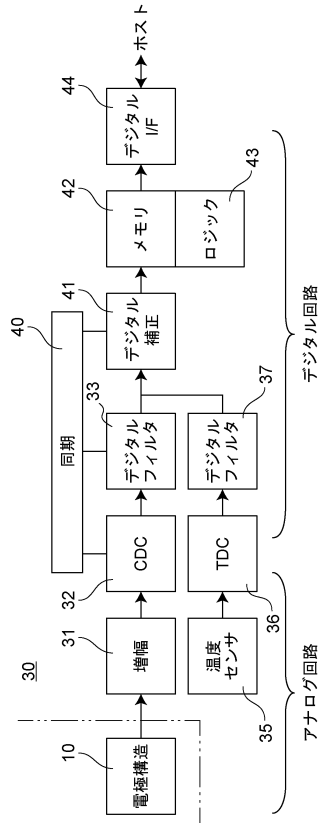
【 0 0 8 6 】

- 1 0 , 5 0 , 8 0 電極構造
- 1 1 ベース基板
- 1 2 , 1 4 電気絶縁層

50

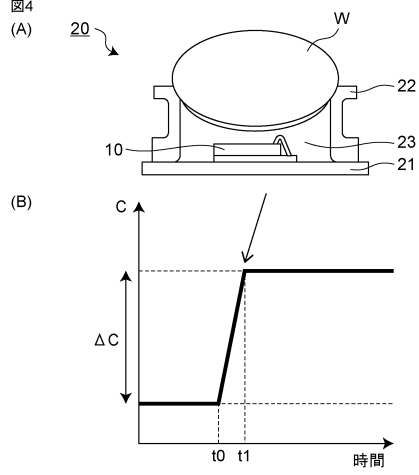
【図3】

図3



【図4】

図4

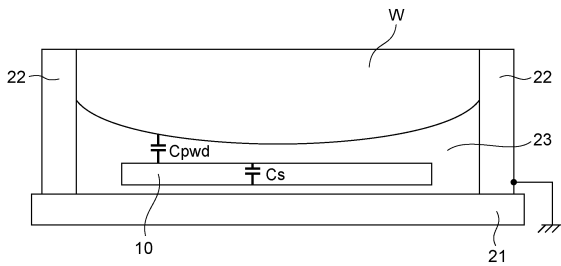


10

20

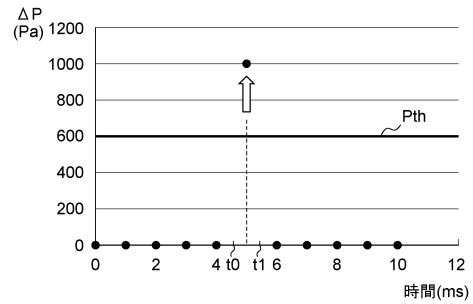
【図5】

図5



【図6】

図6

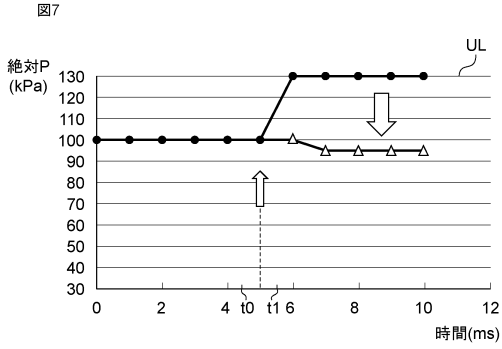


30

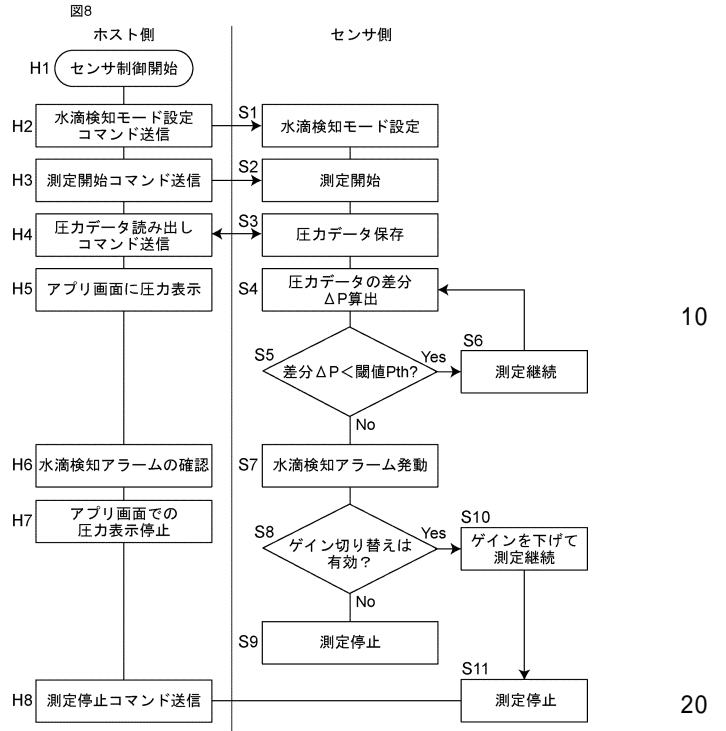
40

50

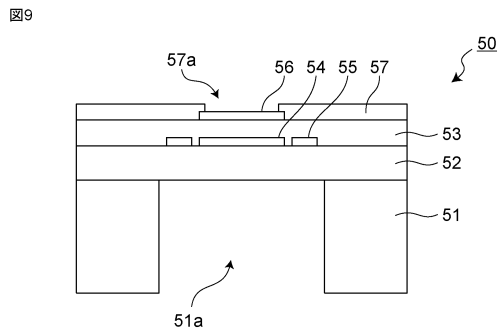
【 図 7 】



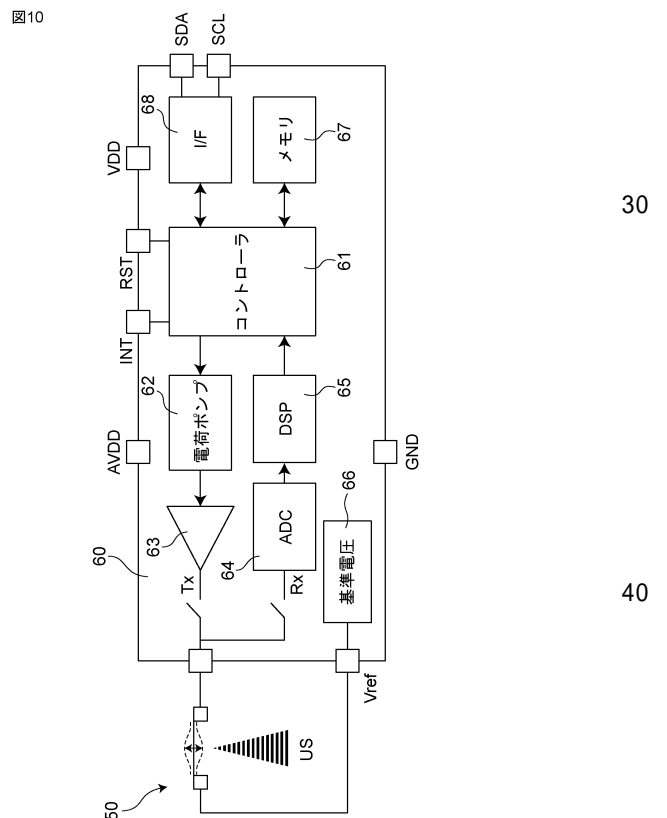
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



10

20

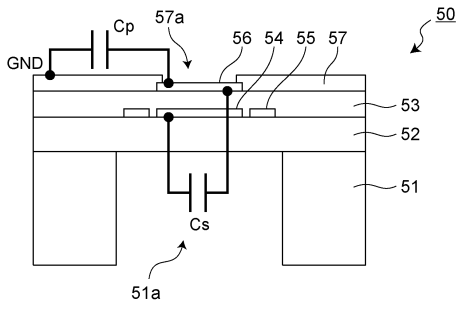
30

40

50

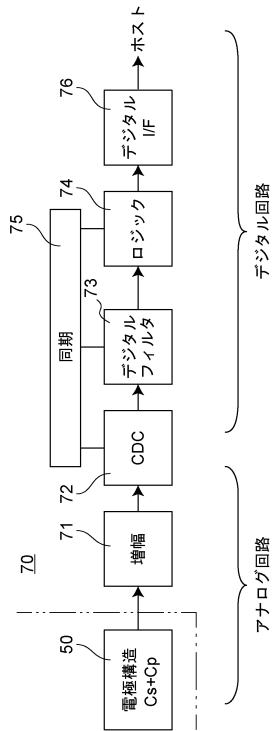
【図 1 1】

図11



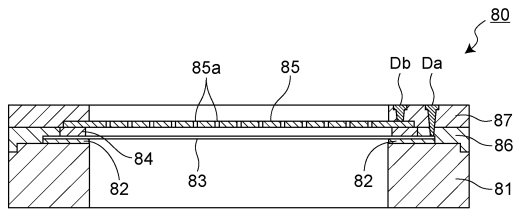
【図 1 2】

図12



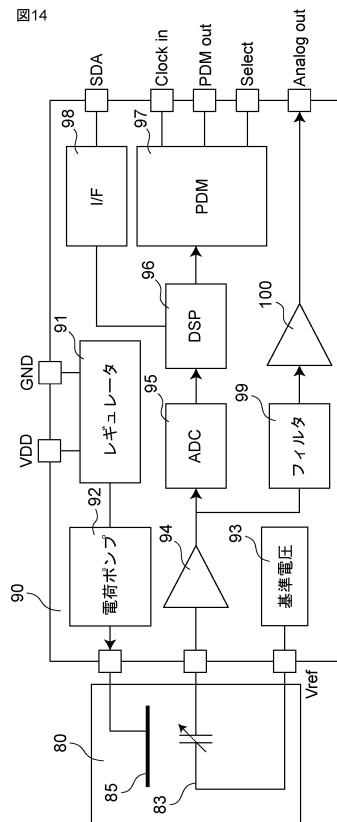
【図 1 3】

図13



【図 1 4】

図14



10

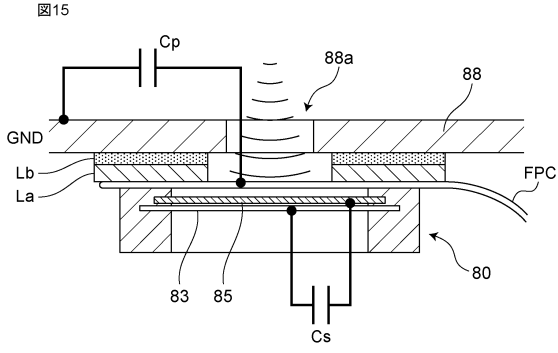
20

30

40

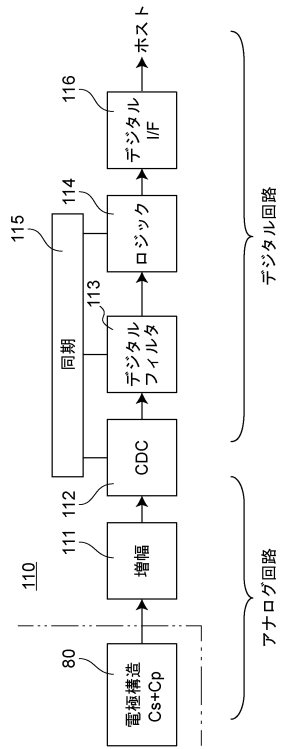
50

【図15】



【図16】

図16



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2015-165222(JP,A)
特開2005-337924(JP,A)
特開2001-141592(JP,A)
特開平7-12669(JP,A)
米国特許出願公開第2018/0180505(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01L 7/00 - 23/32
G01L 27/00 - 27/02
H01L 29/84
H04R 17/00
H04R 19/04