(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3730689号
(P3730689)
(45)発行日　平成18年1月5日(2006.1.5)　(24)登録日　平成17年10月14日(2005.10.14)

(51)Int.Cl.		F I		
G01N 11/16	(2006.01)	G01N	11/16	B
A61B 8/00	(2006.01)	A61B	8/00	
H04R 17/00	(2006.01)	H04R	17/00	

請求項の数 5　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願平7-251144
(22)出願日　平成7年9月28日(1995.9.28)
(65)公開番号　特開平9-89746
(43)公開日　平成9年4月4日(1997.4.4)
審査請求日　平成14年9月30日(2002.9.30)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100058479
弁理士　鈴江　武彦
(72)発明者　安達　日出夫
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス光学工業株式会社内
(72)発明者　今橋　拓也
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス光学工業株式会社内

審査官　小野　忠悦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】センサ及びモノリシック圧電振動子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

時間の経過に応じて異なる周波数をもつ入力信号を入力するための入力部と、

この入力部から入力される入力信号を増幅する増幅手段と、

この増幅手段に接続して設けられ、前記入力信号の特定の周波数に対して共振する圧電振動子と、

前記入力部から入力信号を入力し、前記圧電振動子が共振したときの前記増幅手段の出力に基づいて、前記圧電振動子の共振周波数と共振抵抗とを分離して同時に検出する信号処理手段と、を設けたセンサであって、

前記圧電振動子が、該圧電振動子の第１の面に第１、第２の電極を並列して配置し、前記圧電振動子の第２の面には第１、第２、第３の電極を並列して配置して、前記第１の面に設けられた第１の電極と前記第２の面に設けられた第１の電極とからなるＳモード検出用の第１の圧電振動子と、前記第１の面に設けられた第２の電極と前記第２の面に設けられた第２及び第３の電極とからなるＡモード検出用の第２の圧電振動子とを含む、異なる２つの検出モードを有する複数の圧電振動子を同一の圧電板に形成したモノリシック圧電振動子であることを特徴としたセンサ。

【請求項２】

前記増幅手段がトランジスタまたは電界効果形トランジスタ（ＦＥＴ）であり、前記第１の圧電振動子は、前記トランジスタのエミッタ抵抗または前記ＦＥＴのソース抵抗に並列に接続されていることを特徴とする請求項１記載のセンサ。

【請求項３】
前記増幅手段がトランジスタまたは電界効果形トランジスタ（ＦＥＴ）であり、前記第２の圧電振動子は、前記トランジスタのベースまたは前記ＦＥＴのゲートに接続されていることを特徴とする請求項１記載のセンサ。
【請求項４】
前記増幅手段がトランジスタまたは電界効果形トランジスタ（ＦＥＴ）であり、前記第１の圧電振動子は、前記トランジスタのエミッタ抵抗または前記ＦＥＴのソース抵抗に並列に接続され、前記第２の圧電振動子は、トランジスタのベースまたはＦＥＴのゲートに接続されたものであることを特徴とする請求項１記載のセンサ。
【請求項５】
前記増幅手段がオペアンプであり、前記第１の圧電振動子は、前記オペアンプの帰還部分に接続され、前記第２の圧電振動子は、前記オペアンプの非反転入力端子に接続されていることを特徴とする請求項１記載のセンサ。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明はモノリシック圧電振動子を用いたセンサに関する。
【０００２】
【従来の技術】
特開平２－２９０５２９号公報は圧電振動子を用いたセンサの一例を示しており、図１２はこのようなセンサの構成を示している。同図において、圧電素子３と増幅器１６とは自励発振回路８を構成しており、センサヘッド１、増幅器１６、周波数カウンタ９ａ、周波数－電圧コンバータ１７、Ａ／Ｄコンバータ１８は自励発振周波数変化検知回路を構成している。このような構成において、センサヘッド１が物体と接触したときの発振周波数の変化は周波数カウンタ９ａで検出され、周波数－電圧コンバータ１７でレベル出力に変換され、さらにこのレベル出力はＡ－Ｄコンバータ１８でＡ－Ｄ変換されて硬さの値を示す情報として出力される。
【０００３】
また、発振器１２ａ、センサヘッド１、増幅器１６、整流回路１４ａ、平滑回路１４ｂ、Ａ－Ｄコンバータ１８はレベル変化検知回路を構成する。このような構成において、センサヘッド１が物体と接触すると、発振器１２ａの印加による交流電圧で出力レベルに変化を生じる。この出力レベルの変化は整流回路１４ａで整流され、平滑回路１４ｂで平滑され、Ａ－Ｄコンバータ１８でＡ－Ｄ変換されて硬さの値を示す情報として出力される。
【０００４】
上記した２つの回路、すなわち自励発振周波数変化検知回路と、出力レベル変化検知回路とはアナログスイッチ回路１９で連動操作される３種のスイッチＳＷ１、ＳＷ２、ＳＷ３により切り換えられる。このアナログスイッチ回路１９はタイマ２０により所定時間毎に切り換えられる。そして、演算回路２１はタイマ２０を駆動制御する他に、上述の各回路から出力される２つの硬さの情報に基づいて硬さ情報を求めている。
【０００５】
このように上記したセンサは、センサヘッド１に物体が接触したときにおける自励発振周波数（共振周波数）の変化と出力レベルの変化すなわち共振抵抗の変化を３つのスイッチＳＷ１、ＳＷ２、ＳＷ３を切り換えることによって求めている。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら、上記したような構成のセンサでは、圧電振動子の共振周波数と共振抵抗とを分離して同時に測定することができなかった。
本発明はこのような課題に着目してなされたものであり、その目的とするところは、圧電振動子の共振周波数と共振抵抗とを分離して同時に検出して、負荷の弾性特性と粘性特性とを求めるようにしたセンサを提供することにある。

また、本発明の他の目的は、小型で測定の信頼性を向上したモノリッシック圧電振動子を提供することにある。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、第１の発明に係るセンサは、時間の経過に応じて異なる周波数をもつ入力信号を入力するための入力部と、この入力部から入力される入力信号を増幅する増幅手段と、この増幅手段に接続して設けられ、前記入力信号の特定の周波数に対して共振する圧電振動子と、前記入力部から入力信号を入力し、前記圧電振動子が共振したときの前記増幅手段の出力に基づいて、前記圧電振動子の共振周波数と共振抵抗とを分離して同時に検出する信号処理手段と、を設けたセンサにおいて、前記圧電振動子が、該圧電振動子の第１の面に第１、第２の電極を並列して配置し、前記圧電振動子の第２の面には第１、第２、第３の電極を並列して配置して、前記第１の面に設けられた第１の電極と前記第２の面に設けられた第１の電極とからなるＳモード検出用の第１の圧電振動子と、前記第１の面に設けられた第２の電極と前記第２の面に設けられた第２及び第３の電極とからなるＡモード検出用の第２の圧電振動子とを含む、異なる２つの検出モードを有する複数の圧電振動子を同一の圧電板に形成したモノリシック圧電振動子である。

【０００８】

また、第２の発明は、第１の発明に係るセンサに関わり、前記増幅手段がトランジスタまたは電界効果形トランジスタ（ＦＥＴ）であり、前記第１の圧電振動子は、前記トランジスタのエミッタ抵抗または前記ＦＥＴのソース抵抗に並列に接続されている。

【０００９】

また、第３の発明は、第１の発明に係るセンサに関わり、前記増幅手段がトランジスタまたは電界効果形トランジスタ（ＦＥＴ）であり、前記第２の圧電振動子は、前記トランジスタのベースまたは前記ＦＥＴのゲートに接続されている。

【００１０】

また、第４の発明は、第１の発明に係るセンサに関わり、前記増幅手段がトランジスタまたは電界効果形トランジスタ（ＦＥＴ）であり、前記第１の圧電振動子は、前記トランジスタのエミッタ抵抗または前記ＦＥＴのソース抵抗に並列に接続され、前記第２の圧電振動子は、トランジスタのベースまたはＦＥＴのゲートに接続されている。

また、第５の発明は、第１の発明に係るセンサに関わり、前記増幅手段がオペアンプであり、前記第１の圧電振動子は、前記オペアンプの帰還部分に接続され、前記第２の圧電振動子は、前記オペアンプの非反転入力端子に接続されている。

【００１１】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。

本実施形態は、圧電振動子のインピーダンスの変化を共振周波数の変化分と共振抵抗の変化分とを分離して同時に検出し、この両検出量から負荷となる粘弾性体対象物の弾性特性と粘性特性とを検出することを特徴とする。

【００１２】

図１は第１実施形態に係る触覚センサ回路５及びその周辺の構成を示す図である。

図１において、８８は触覚センサとしての圧電振動子でトランジスタ８９のエミッタ抵抗９０に並列に接続されている。トランジスタ８９のベース入力にはコンデンサ９６と直流バイアス抵抗Ｒｂ１（９２）とＲｂ２（９３）とによって直流バイアス電圧を供給するための配線１０８が接続されている。トランジスタ８９のコレクター部には負荷抵抗ＲＬ９１が接続され、これを介してコレクタ電圧が供給される様になっている。コレクター出力はコンデンサ９７を経て直流成分が遮断されさらにダイオード１０７を通して直流パルス信号に変換され、端子９８に出力される。そして端子９８に接続された触覚センサ信号伝達線３を経て後述する制御回路ブロック部に信号伝達される。９５は高周波パルス信号を入力する入力端子で信号伝達線２に接続され、直流電源電圧供給端子１５０は整流回路１０９を経て信号伝達線２に接続されている。

【００１３】
図２は上記した触覚センサ回路５を制御する制御回路のブロック図である。図２において、１１０は矩形波１１２を出力する矩形波発生器、１１１は矩形波１１２に同期して間欠鋸波１０２を発生させる鋸波発生器、１１４はバッファー回路である。１１５はバッファ回路１１４の出力電圧値に応じて特定の周波数ｆｉを中心に周波数を変化させるＦＭ変調回路でその出力波形は同じ周波数変化をする高周波パルスからなる高周波パルス列信号となっている。
【００１４】
図３はこのような高周波パルス列信号を発生するＦＭ変調回路の構成を示す図であり、圧電振動子５００１と可変容量ダイオード５００２及びコンデンサ５００３、５００４を構成要素とするコルピッツ発振回路で構成されている。５００５は電源端子、５００６はトランジスタ、５００７はエミッタ抵抗、５００８は直流遮断コンデンサ、５００９は出力端子、５０１０、５０１１は直流バイアス抵抗、５０１２は入力端子、５０１３は入力抵抗であり、高周波パルス列信号は、出力端子５００９から信号伝達線２を経て触覚センサ回路５の端子９５に入力されるように構成されている。
【００１５】
さらに、図２の制御回路には触覚センサパルス列信号Ｓsens（１２１）の信号処理部も含まれている。この信号処理部は、触覚センサパルス列信号１２１のパルスピーク値を検出するピークディテクタ１３１、ピークディテクタ１３１の出力をディジタル信号に変換するＡＤコンバータ１３３、前記同じパルス波形を増幅器１１９で増幅した矩形波の立ち上がり時刻Ｔ１からパルス列信号のピーク時刻までの時間をカウントするカウンター回路１２９、時間をカウントする為のクロック信号発生器１１３、カウンター回路１２９のＢＣＤ出力を演算回路１３４の入力信号に変換するデコーダ１３０、これら２系統の出力を基に演算処理を施し呈示装置１３６への入力信号を出力する演算回路１３４の諸回路から構成されている。
【００１６】
図４（ａ）は触覚センサ回路５の入力端子９５に入力される高周波パルス信号の波形を示す図である。同図に示すように、高周波パルスが立ち上がる時刻Ｔ１（８５）から立ち上がる時刻Ｔ２（８６）にかけて振幅が一定で、図４（ｂ）に示すように、周波数がｆｉ－Δｆｉからｆｉ＋Δｆｉへ連続的に変化する信号と成っている。
【００１７】
以下に、上記した触覚センサ回路５の検出原理を説明する。
図５、図６において、圧電振動子８８は無負荷時（Ａの状態）は９９に示す様な共振抵抗ＺrAが小さく反共振抵抗ＺaAが大きく共振周波数ｆrA、反共振周波数ｆａＡを持つＱｍの大きなインピーダンス特性を示す。これに、図５における１００、１０１、または、図６におけるＢ～Ｅの状態で示されるような負荷が加わると、負荷の内容によって共振抵抗ＺrB、共振周波数ｆrBを有するＢ負荷時インピーダンス特性１００や共振抵抗ＺrC、共振周波数ｆrCを有するＣ負荷時インピーダンス特性１０１を示す様になる。他の負荷状態Ｄ，ＥについてもＺrD，ＺaD，ｆrD，ｆaDやＺrE，ＺaE，ｆrE，ｆaEを持つインピーダンス特性を示す。
【００１８】
この様な共振周波数の変化Δｆ rB＝ｆrA－ｆrB，Δｆ rC＝ｆrA－ｆrC，…や反共振周波数の変化Δｆ aB＝ｆaA－ｆaB，Δｆ aC＝ｆaA－ｆaC，…、または共振抵抗の変化ΔＺrB＝ＺrA－ＺrB，ΔＺrC＝ＺrC－ＺrC，…、反共振抵抗の変化ΔＺaB＝ＺaA－ＺaB，ΔＺaC＝ＺaC－ＺaC，…は負荷が粘弾性体対象物の場合、その粘弾性体の機械的インピーダンスの実数部と虚数部に関係し、さらに、これら両特性Δｆ，ΔＺｒから計算で粘弾性体の弾性率と粘性率を分離して表現出来るようになる。これら両特性Δｆ，ΔＺｒの片方、又は両者の平方和の平方根をとる等して１つの特性として表現すると圧覚センサすなわちセンサが粘弾性対象物に接触した時の押圧力を検出するセンサとして使用可能であることは容易に推測出来ることである。

【００１９】
以上のインピーダンス特性から、周波数と振幅が一定の高周波信号に対して圧電振動子８８のインピーダンスは負荷を加えることによって変化するが、この変化量は、前記した説明で分かる通り、共振周波数の変化による分と、共振抵抗の変化による分の両方の効果によることが分かる。この両方の効果によるインピーダンスの変化が負荷の印加によって起こると、図１に示す回路の端子９５に図４（ａ）に示すような振幅Ｖin，周波数ｆinを有した高周波パルス信号を入力することによって、コンデンサＣc2（９７）の出力端子９７には振幅Ｖout ＝Ｖin×ＲＬ／（ＲＥ∥Ｚ）、周波数ｆout ＝ｆinの高周波増幅出力が得られる。
【００２０】
負荷を印加しない時に比べ負荷を印加した時のＶout は負荷印加による圧電振動子８８のインピーダンスの増加に対応して前記式に従って小さくなるので、このＶout の変化を検出することによって圧電振動子８８のインピーダンスＺの変化が分かり、このインピーダンスＺの変化から負荷の印加の状態が判断出来ることになる。
【００２１】
ここで、振幅は一定で、前記入力周波数ｆinを、図７の１０３に示した直線の様に時刻Ｔ１からＴ２にかけてｆｉ－Δｆｉからｆｉ＋Δｆｉまで単調に増加させると、圧電振動子８８が無負荷状態なら図５の様に共振抵抗がＺｒで共振周波数ｆｒのインピーダンス特性９９を示すことに対応して、ｆinがｆｒに等しくなる時刻Ｔ0 で最大振幅の高周波パルス信号を出力し、コンデンサ９７とダイオード１０７を経たあとの端子９８に出力される信号は図７の１０４に示したピーク値Ｖを示す直流パルス信号となる。
【００２２】
また、圧電振動子８８に例えば図５に於けるＡ負荷が加わって、共振抵抗がＺｒ’，共振周波数がｆｒ’のインピーダンス特性１００を示す様になると、これに対応して端子９８の出力のピーク電圧は共振抵抗が増加してＺｒ’になったことに対応して小さくなり、ピーク電圧を示す時刻も印加周波数ｆinがｆｒ’に成る時刻Ｔ’にシフトする。圧電振動子８８に図５に於けるＢ負荷が加わり１０１なるインピーダンス特性に変化した時も同様に印加周波数ｆinがｆｒ”に成る時刻Ｔ”にシフトする。
【００２３】
次にこのシフト量とピーク値を検出する方法について図２を用いて説明する。まず、矩形波発生器１１０によって得られる矩形波１１２を鋸波発生器１１１に入力し、間欠鋸波１０２に変換する。この間欠鋸波１０２をバッファー回路１１４に入力し、その出力信号をＦＭ変調器１１５に入力する。すると、このＦＭ変調器からの出力は時刻Ｔ１から時刻Ｔ２にかけて周波数ｆｉを中心にｆｉ－Δｆｉからｆｉ＋Δｆｉに変化し、図４（ａ）、（ｂ）の様な信号からなるパルス列信号が得られる。前記高周波パルス信号がある瞬間、ｆｉ－Δｆｉからｆｉ＋Δｆｉに変化する高周波パルスが図１の触覚センサ回路５に入力されると、ｆｉを共振周波数とする圧電振動子８８を含んだ触覚センサ回路５の出力端子９８に直流パルス信号を出力する。他の瞬間において負荷の状態が変化すると触覚センサ回路５からそれぞれのタイミングに対応した直流パルス信号が出力されるので全ての瞬間を統合すると、図２に示した様な触覚センサパルス列信号１２１となる。
【００２４】
この信号が分岐された後、その一方は図２に示した制御回路ブロックの増幅器（コンパレータ）１１９に入力される。前記直流パルス信号は前記コンパレータ１１９によって矩形パルス波信号に変換され、時刻Ｔ１からこの矩形波の立ち上がりまたは立ち下がり時刻までの時間をカウンター回路１２９で計数する。負荷の印加によるこの計算値の変化即ち共振周波数の変化はクロック信号発生器１１３からのクロック信号のカウント数から算出される。
【００２５】
他の一方は図２に示した制御回路ブロックのピークディテクタ１３１に入力され、ピーク値が検出される。そして、その検出信号をＡＤ変換器１３３によってディジタル信号に変

換され、演算回路１３４で前記計数値とともに処理され呈示装置１３６を駆動する。

【００２６】

上記した第１実施形態によれば、粘弾性体対象物の弾性率、粘性率を分離して同時に検出できるようになる。

以下に本発明の第２実施形態を説明する。コルピッツ回路を用いた触覚センサは、コルピッツ回路の圧電振動子の共振抵抗が大きいと発振しにくくなりセンサとしてのダイナミックレンジが極めて悪くなる。一方、圧電振動子の電極は配線の容易さや小型化の必要性を考慮すると電気配線端子が同一面側にあることが好ましい。この様な駆動による振動はＡモード厚み縦振動と呼ばれ良好なインピーダンス特性を示すが、共振抵抗が高いためコルピッツ発振器の安定な発振出力を得ることが困難であった。第２実施形態はこの様な課題を解決するものである。

【００２７】

第２実施形態の構成が第１実施形態と異なる点は図１に示した触覚センサ回路の構成に於いて圧電振動子８８の構造とエミッタ抵抗９０、負荷抵抗（コレクター抵抗）９１の値である。

【００２８】

以下、本実施形態の構成について図８（ａ）、（ｂ）、（ｃ）を用いて説明する。第１実施形態において使用した圧電振動子（図８（ａ））はエミッタ抵抗９０に並列に接続されておりＳモード圧電振動子と呼ばれる。これに対して図８（ｂ）に示すように、圧電振動子１３８の電極は対象物に接触する側に共通電極１４１が設けられ、その反対側の面には２つに分割した電極１３９，１４０が設けられている。このような圧電振動子はＡモード圧電振動子と呼ばれる。共通電極１４１は分割電極１３９の面積と分割電極１４０の面積との和程度の面積を有し、配線等一切必要としない。従って、共通電極１４１側の面には凹凸が一切無く、更にこの上に弾性部材や、対象物との良好な接触状態を実現するための突起物等を形成しやすくなる。

【００２９】

図８（ｃ）に示すようにこの様な構成のＡモード厚み縦圧電振動子のインピーダンス特性は一般にＳモード厚み縦圧電振動子のインピーダンス特性１４４にくらべ共振抵抗が大きなインピーダンス特性１４３を示す。

【００３０】

従って、先の実施例と同程度のセンサ感度を得る為にはこのインピーダンス値に対応させてエミッタ抵抗１４２と図１に示す負荷抵抗（コレクタ抵抗９１）を増加させる必要がある。また同時に図８（ｃ）に示すように、Ａモード厚み縦圧電振動子のインピーダンス１４３は共振周波数も高周波側にずれるので高周波パルス列信号の中心周波数をｆraに等しくなるように設定する。他の構成や波形は第１実施形態と全く同じであるので省略する。

【００３１】

上記した第２実施形態によれば、圧電振動子の片面が凹凸の全くない構造となるので、共通電極側の面には凹凸が一切無く、更にこの上に弾性部材や、対象物との良好な接触状態を実現するための突起物等を形成しやすくなる。

【００３２】

以下に本発明の第３実施形態を説明する。以上の様に、粘弾性対象物を負荷とした時、複数の圧電振動子の共振周波数ｆｒと共振抵抗Ｚｒの変化を検出し、その結果を用いて粘性係数、弾性係数を導き出す具体的な構成について記述してきた。しかしながら粘弾性対象物を負荷とした時に変化するのは実際には図６に示した様に、前記共振周波数ｆｒと共振抵抗Ｚｒのみでなく、反共振周波数ｆａと反共振抵抗Ｚａも変化する。本実施形態はこれら反共振周波数ｆａと反共振抵抗Ｚａの変化も用いて、更に感度の向上をはかることが目的である。

【００３３】

図９は第３実施形態の構成を示す図である。２００１は触覚センサとなるモノリシック圧電振動子で、トランジスタ２００６のエミッタ抵抗２００７に並列に接続されるＡモード

圧電振動子２００２とその一端がトランジスタ２００６のベースに接続される２つのコンデンサ２００４，２００５及びＳモード圧電振動子２００３がＴ字型に接続された回路素子から構成されている。図では上記２つのモードの圧電振動子２００２、２００３は一体になっているが、別体に構成するようにしてもよい。

【００３４】

該トランジスタ２００６のベースには、更に直流バイアス抵抗Ｒｂ１　２０１１とＲｂ２　２０１２とが接続され該トランジスタ２００６の直流動作点が決定される。該トランジスタ２００６のコレクター部には負荷抵抗２００８が接続され、更に、端子２０１５は整流回路２０３０を介し信号線２に接続されている。コレクター部には直流遮断用コンデンサ２００９と、直流パルス信号に変換する為のダイオード２０１０と、その出力をセンサ信号伝達線３に伝達する為の端子２０１４が設けられている。

【００３５】

又、前記Ｔ字型回路素子の他の一端には端子２０１３が設けられていて、信号線２に接続され、高周波パルス信号を入力出来るようになっている。前記Ｔ字型回路素子の最後の一端は前記Ａモード圧電振動子２００２の片側の端子（Ｂ）に共々接地されている（２０１６）。先記した整流回路２０３０は図１に示したのと同等の整流回路を用いてアドレス信号線２に接続されている。

【００３６】

尚、前記Ａモード圧電振動子２００２の共振周波数ｆrAと前記Ｓモード圧電振動子２００３の反共振周波数ｆasとは電極寸法や配置などの設計でほぼ一致するように作製されている。

【００３７】

図１０は触覚センサ素子である上記した２種類の圧電振動子と２つのコンデンサを一体化したモノリシック圧電振動子２００１の断面図を示している。以下にこのようなモノリシック圧電振動子２００１の製造方法を説明する。まず、ＰＺＴ薄片を後で除去出来る予備電極（図示していない）を用いて領域２０１８を分極し、領域２０１９は未分極の状態にしておく。

【００３８】

分極後予備電極を除去し、正式な電極Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ，Ｆを真空蒸着やスパッタ等の手段で形成し、パターン成膜する。尚、基板上にＰＺＴ厚膜等の圧電厚膜を形成した圧電振動子を利用する時は予備電極の手段は用いることが出来ない。そこで、基板表面に予め電極Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄを形成しておき、ＰＺＴ厚膜を本発明者らが既に開示しているジェットプリンティングシステム法（ＪＰＳ法）で成膜し、熱処理後、上部電極Ｅ，Ｆを通常の方法で形成し、その後、電極Ｅ，Ｆを導通接続させ一方の分極用端子とし、また下部電極のうちＡ，Ｂを導通接続してもう一方の分極用端子とする。これら両分極用端子間に直流電圧を印加し、分極する。

【００３９】

しかる後、前記導通接続状態を解除させる。尚、前記基板はシリコン単結晶基板であり、表面酸化処理をし、且つ前記トランジスタ２００６や他の抵抗素子２００７，２００８，２０１１，２０１２とこれらを図９の回路になるようにする配線が内部形成されている。そして、このトランジスタ２００６のベース部、エミッター部、及びアース部が表面酸化膜に設けたヴィアホールを介してそれぞれ対応するパッド電極に導通されている。また、上部電極Ｅ、Ｆの表面には絶縁皮膜がコーテイングされており、対象物との接触側を構成している。

【００４０】

以下に上記した構成の作用を説明する。信号線２を経て端子２０１３に入力された高周波パルス信号はコンデンサ２００４とＳモード圧電振動子２００３のインピーダンス比で分圧される結合コンデンサ２００５を経てトランジスタ２００６のベースに入力される。この分圧信号は圧電振動子のインピーダンスが大きい程大きな値をとる。従って、反共振周波数ｆａに相当する周波数を有した高周波パルス信号が入力された時に最大の電圧を示し

、負荷が加わった状態では次第に反共振抵抗の低下とともに該分圧電圧は低下する。

【００４１】

一方、Ｓモード圧電振動子２００３の反共振周波数ｆａはＡモード圧電振動子２００２の共振周波数ｆｒに相当するので、最低のインピーダンス値Ｚｒを示す。従ってエミッター抵抗２００７との合成抵抗も最低になり、負荷抵抗２００８と前記合成抵抗の比で表される電圧増幅度が最大になる。また負荷が加わるとＡモード圧電振動子２００２の共振抵抗Ｚｒが増加するので増幅度が低下する。

【００４２】

この様にＳモード圧電振動子２００３の反共振周波数ｆａ、即ちＡモード圧電振動子２００２の共振周波数ｆｒにも等しい周波数の高周波パルス信号が入力すると、端子２０１４に出力される直流パルス信号のピーク電圧は最大になり、負荷を加えると、Ａモード圧電振動子２００２の共振抵抗Ｚｒの増加とＳモード圧電振動子２００３の反共振抵抗Ｚｒの減少が相乗的に作用し、大きな出力変化が得られるようになる。

【００４３】

以上のように図９，図１０に示した触覚センサ回路の構成にすることにより、大きな感度が得られるようになり、かつモノリシック圧電振動子の採用と、図９に示した、モノリシック圧電振動子以外の回路要素を全てシリコン基板に埋め込むことによって大幅な小型化がはかれ、医療用マイクロ触覚センシング等の分野に利用し易いセンサ装置を提供出来るようになる。

【００４４】

なお、図１１に示すように、Ｓモード圧電振動子２００３のみを用いた場合でも反共振周波数ｆａと反共振抵抗Ｚｒとを求めることができる。

上記した圧電振動子の構成によれば、負荷の受ける面は端子構造が一切無いので負荷を安定に再現性良く受けることができる。また、裏面の端子を接続する面も同一面内にあるので、シリコン基板上に配設した電極パッドに接合しやすくなる。圧電振動子を膜形成するとき、あらかじめ基板上に配設した電極パッド上にそのまま成膜し、その後、上部電極を形成するだけで配線は一切不要となり、構造的な信頼性向上につながる。

【００４５】

「上記実施形態では、増幅素子としてトランジスタを用いているが、トランジスタに代えてＦＥＴや、オペアンプを用いてもよい。なお、ＦＥＴを用いる場合は、上記実施形態とほぼ同様の回路構成となるが、オペアンプを用いる場合には、図１２に示すような回路構成となる。

【００４６】

また、ＳモードとＡモードの振動子を対で用いたが、Ｓモード同士で一対の組み合わせでも、一方の反共振周波数が他方の共振周波数に一致していればよい。この場合、圧電振動子は、途中で厚さが変化するものを用いる。

【００４７】

以上、本発明を、実施の形態に基づいて説明したが、本発明からは、以下のような構成の技術的思想が導き出される。

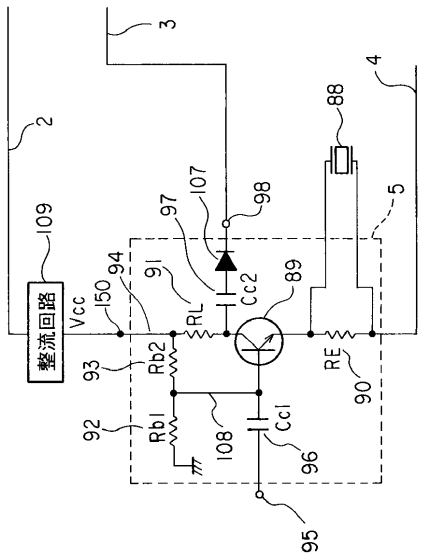
（１）．時間の経過に応じて異なる周波数をもつ入力信号を入力するための入力部と、この入力部から入力される入力信号を増幅する増幅手段と、この増幅手段に関して設けられ、前記入力信号の特定の周波数に対して共振する圧電振動子とを具備し、前記入力部から入力信号を入力し、前記圧電振動子が共振したときの前記増幅手段の出力に基づいて、前記圧電振動子の共振周波数と共振抵抗とを分離して同時に検出する信号処理手段を設けたことを特徴とするセンサ。

（２）．構成（１）において、前記圧電振動子は、その第１の面に第１、第２の電極を並列して配置し、第２の面には第１、第２、第３の電極を並列して配置して、前記第１の面に設けられた第１の電極と前記第２の面に設けられた第１の電極とからなるＳモード検出用の第１の圧電振動子と、前記第１の面に設けられた第２の電極と前記第２の面に設けられた第２及び第３の電極とからなるＡモード検出用の第２の圧電振動子という異なる２つ

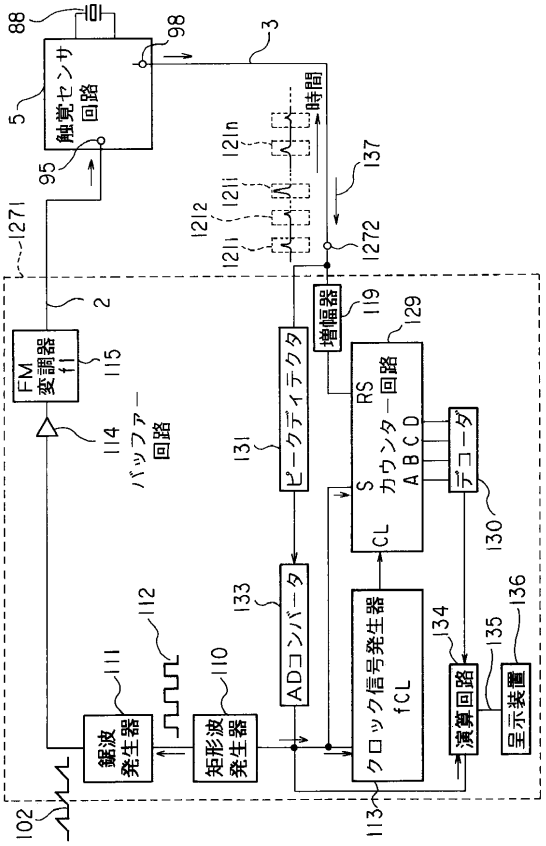
の検出モードを有する複数の圧電振動子を同一の圧電板に形成したモノリシック圧電振動子であることを特徴とするセンサ。
（３）．構成（１）において、前記増幅手段がトランジスタまたはＦＥＴ（電界効果形トランジスタ）であり、前記圧電振動子はこのトランジスタのエミッタ抵抗またはＦＥＴのソース抵抗に並列に接続されていることを特徴とするセンサ。
（４）．構成（１）において、前記増幅手段がトランジスタまたはＦＥＴ（電界効果形トランジスタ）であり、前記圧電振動子はこのトランジスタのベースまたはＦＥＴのゲートに接続されていることを特徴とするセンサ。
（５）．構成（２）において、前記増幅手段がトランジスタまたはＦＥＴ（電界効果形トランジスタ）であり、前記第１の圧電振動子はこのトランジスタのエミッタ抵抗またはＦＥＴのソース抵抗に並列に接続され、前記第２の圧電振動子はトランジスタのベースまたはＦＥＴのゲートに接続されたものであることを特徴とするセンサ。
（６）．構成（２）において、前記増幅手段がオペアンプであり、前記第１の圧電振動子は前記オペアンプの帰還部分に接続され、前記第２の圧電振動子はこのオペアンプの非反転入力端子に接続されていることを特徴とするセンサ。
（７）．複数の圧電振動子を同一の圧電板に形成したモノリシック圧電振動子において、該圧電振動子の第１の面には第１、第２の電極を並列して配置するとともに、前記圧電振動子の第２の面には第１、第２、第３の電極を並列して配置し、前記第１の面に設けられた第１の電極と前記第２の面に設けられた第１の電極とで、Ｓモードの圧電振動子を構成し、前記第１の面に設けられた第２の電極と、前記第２の面に設けられた第２及び第３の電極とでＡモードの圧電振動子を構成したことを特徴とするモノリシック圧電振動子。
（８）．構成（７）において、前記第１の面の第１、第２の電極は、端子を接続しない電極であり、前記第２の面の第１、第２、第３の電極を端子接続電極としたことを特徴とする請求項５記載のモノリシック圧電振動子。
【００４８】
上記構成（１）～（６）における作用効果は以下の通りである。
（作用）
圧電振動子のインピーダンスの変化を、共振周波数の変化分と、共振抵抗の変化分とに分離して同時に検出される。
（効果）
共振周波数の変化分と共振抵抗の変化分の両検出量から、負荷となる粘弾性体対象物の弾性特性と粘性特性とを求めることが可能なセンサを提供することができる。
【００４９】
上記構成（７）～（８）における作用効果は以下の通りである。
（作用）
圧電振動子の第１の面には第１、第２の電極を並列して配置するとともに、前記圧電振動子の第２の面には第１、第２、第３の電極を並列して配置することにより、前記第１の面に設けられた第１の電極と前記第２の面に設けられた第１の電極とで構成されるＳモードの圧電振動子と、前記第１の面に設けられた第２の電極と、前記第２の面に設けられた第２及び第３の電極とでＡモードの圧電振動子からなる２つの検出モードを合わせもつ圧電振動子がモノリシックに形成される。
（効果）
小型で測定の信頼性が向上したモノリシック圧電振動子を提供することができる。」
【００５０】
【発明の効果】
本発明によれば、圧電振動子の共振周波数と共振抵抗とを分離して同時に求めることができるようになる。また、小型で測定の信頼性を向上したモノリッシック圧電振動子が得られる。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の第１実施形態に係る触覚センサ回路の構成を示す図である。

【図２】触覚センサ回路の制御ブロック図である。
【図３】図２のＦＭ変調器の構成を示す図である。
【図４】（ａ）は触覚センサ用高周波パルス信号波形を示す図であり、（ｂ）は（ａ）の高周波パルス信号の周波数が時間と共にどのように変化するかを示す図である。
【図５】負荷の有無による圧電振動子のインピーダンス特性の差を示す図である。
【図６】圧電振動子のインピーダンス特性と触覚センサ回路の出力との関係を示す図である。
【図７】各部の信号波形を示す図である。
【図８】本発明の第２実施形態を説明するための図である。
【図９】本発明の第３実施形態の構成を示す図である。
【図１０】モノリシック圧電振動子の断面図である。
【図１１】本発明の第３実施形態の変形例を示す図である。
【図１２】オペアンプを用いた実施形態の回路構成を示す図である。
【図１３】従来のセンサの構成を示す図である。
【符号の説明】
８８…圧力電気振動子、８９…トランジスタ、９０…エミッター抵抗、９１…コレクター抵抗、９２，９３…直流バイアス抵抗、９４…電源電圧供給端子、９５…高周波パルス信号入力端子，９６，９７…コンデンサ、９８…出力端子。

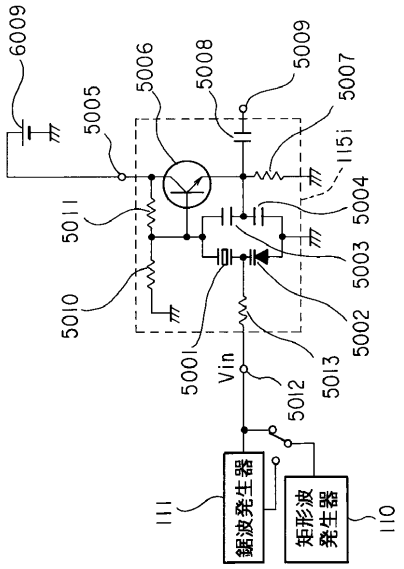
【図１】



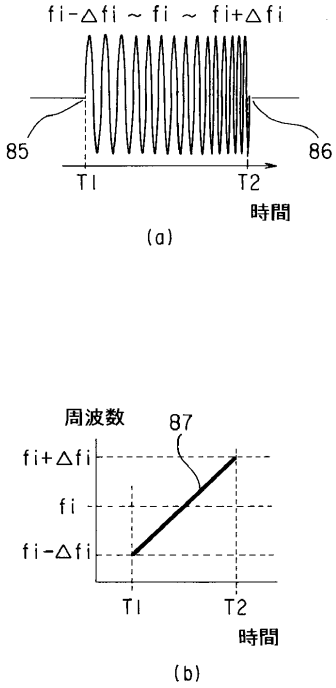
【図２】



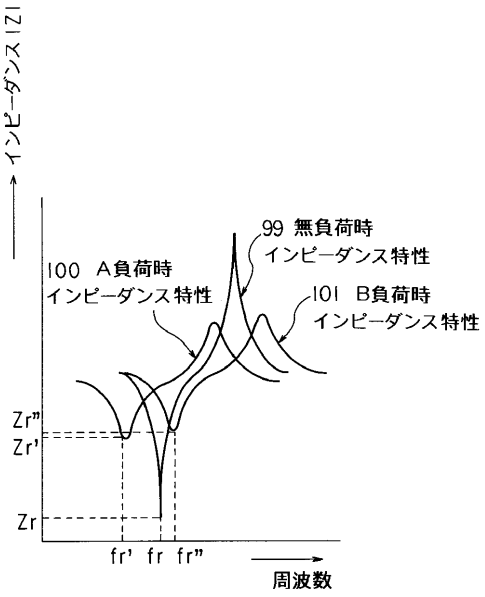
【図３】


6009
5005
5006
5008
5009
5007
115i
5004
5011
5003
5010
5002
5001
Vin
5013
5012
111
鋸波発生器
矩形波発生器
110

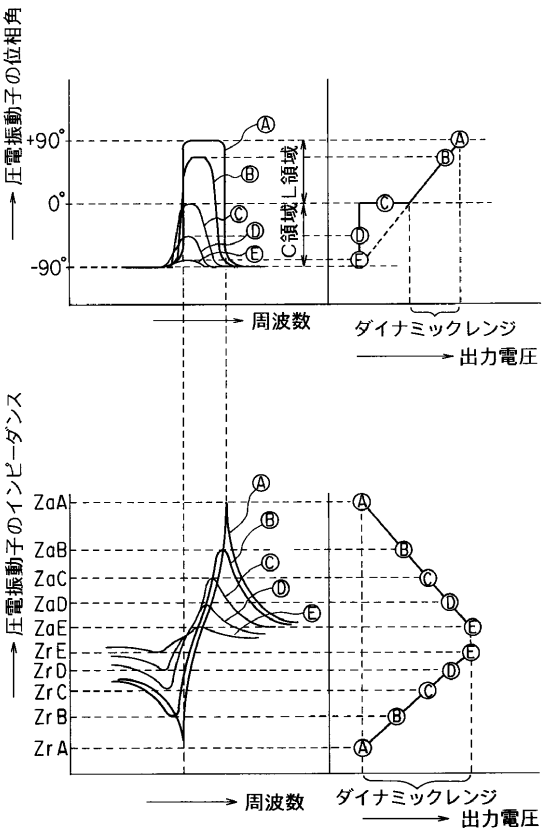
【図４】


fi-△fi ~ fi ~ fi+△fi
85
86
T1
T2
時間
(a)
周波数
87
fi+△fi
fi
fi-△fi
T1
T2
時間
(b)

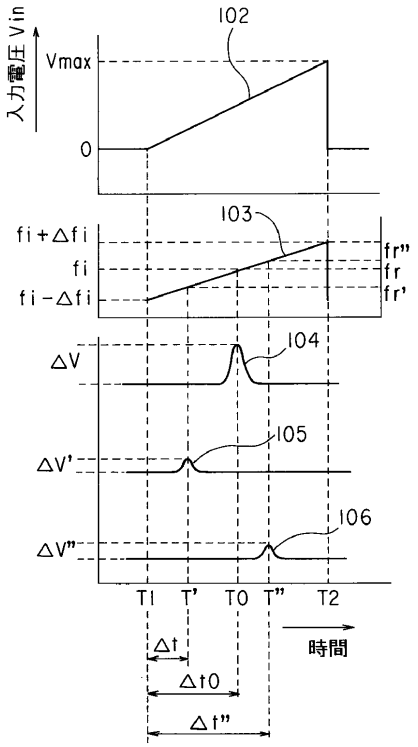
【図５】


インピーダンス|Z|
99 無負荷時
インピーダンス特性
100 A負荷時
インピーダンス特性
101 B負荷時
インピーダンス特性
Zr"
Zr'
Zr
fr' fr fr"
周波数

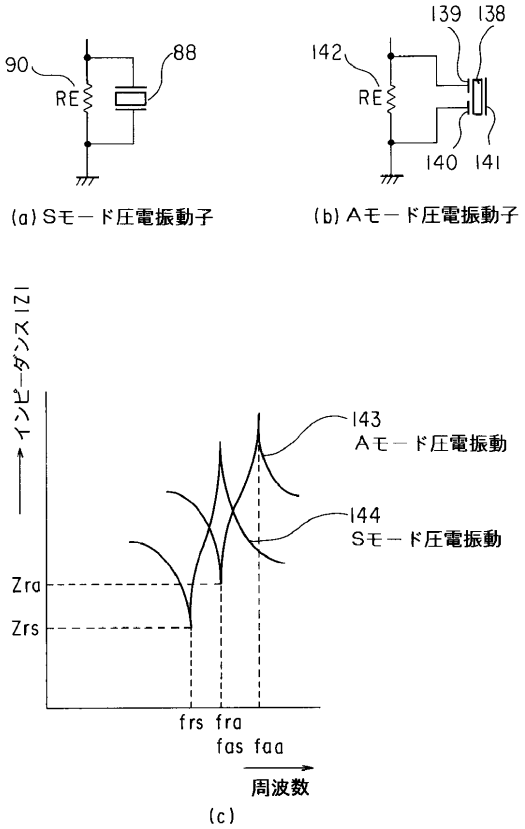
【図６】


圧電振動子の位相角
+90°
0°
-90°
C領域
L領域
周波数
ダイナミックレンジ
出力電圧
圧電振動子のインピーダンス
ZaA
ZaB
ZaC
ZaD
ZaE
ZrE
ZrD
ZrC
ZrB
ZrA
周波数
ダイナミックレンジ
出力電圧

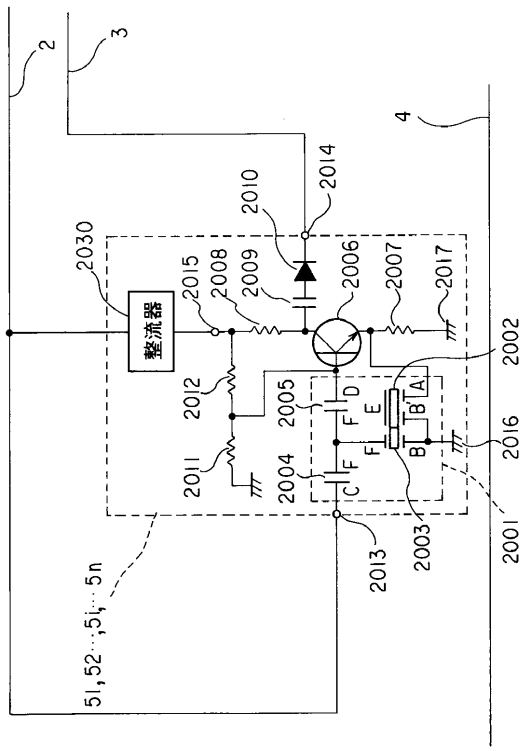
【図７】


入力電圧 Vin
Vmax
0
102
103
fi+Δfi
fi
fi-Δfi
fr"
fr
fr'
ΔV
104
ΔV'
105
ΔV"
106
T1
T'
T0
T"
T2
時間
Δt
Δt0
Δt"

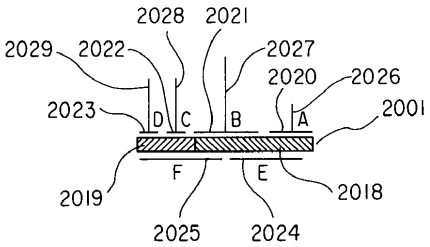
【図８】


90
RE
88
(a) Sモード圧電振動子
139
138
142
RE
140
141
(b) Aモード圧電振動子
インピーダンス |Z|
143
Aモード圧電振動
144
Sモード圧電振動
Zra
Zrs
frs fra
fas faa
周波数
(c)

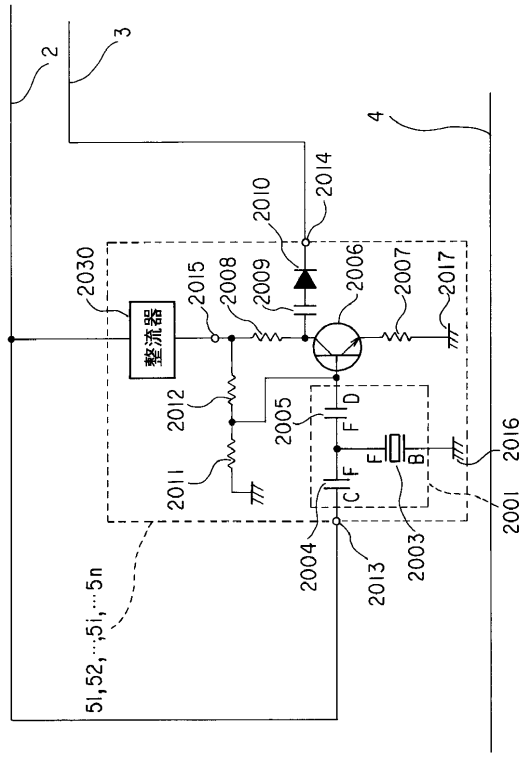
【図９】


2
3
4
2014
2010
2030
2015
2008
2009
2006
2007
2017
整流器
2012
2005
2002
2016
2011
2004
2003
2001
2013
51,52…5i…5n

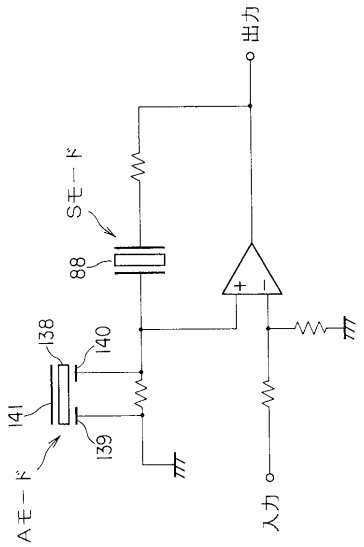
【図１０】


2028
2021
2029
2022
2027
2020
2026
2023
2001
D
C
B
A
F
E
2019
2018
2025
2024

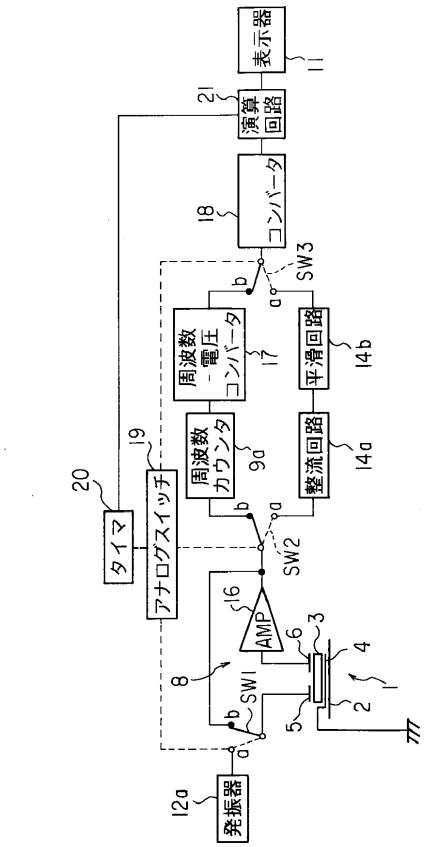
【図１１】


2
3
4
2014
2010
2030
2015
2008
2009
2006
2007
2017
整流器
2012
2005
2011
2016
2001
2004
2013
2003
51,52,…5i,…5n

【図１２】


出力
Sモード
88
138
140
141
139
Aモード
入力

【図１３】


表示器
11
演算回路
21
コンバータ
18
SW3
周波数-電圧コンバータ
17
平滑回路
14b
周波数カウンタ
9a
整流回路
14a
19
20
タイマ
アナログスイッチ
SW2
16
AMP
6
3
4
8
SW1
5
2
1
12a
発振器

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平５－６６１８９（ＪＰ，Ａ）
特開平１－１６４１０４（ＪＰ，Ａ）
特開平２－２９０５２９（ＪＰ，Ａ）
特開昭５１－１４２２８６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G01N 11/00-11/16
A61B 8/00
H04R 17/00