

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6469736号  
(P6469736)

(45) 発行日 平成31年2月13日(2019.2.13)

(24) 登録日 平成31年1月25日(2019.1.25)

(51) Int.Cl.			F I		
<b>GO1N</b>	<b>5/02</b>	<b>(2006.01)</b>	GO1N	5/02	A
<b>HO3H</b>	<b>9/17</b>	<b>(2006.01)</b>	HO3H	9/17	F
<b>HO3B</b>	<b>5/32</b>	<b>(2006.01)</b>	HO3B	5/32	
<b>HO3H</b>	<b>7/18</b>	<b>(2006.01)</b>	HO3H	7/18	Z

請求項の数 11 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2017-6151 (P2017-6151)	(73) 特許権者	000204284
(22) 出願日	平成29年1月17日(2017.1.17)		太陽誘電株式会社
(65) 公開番号	特開2018-115927 (P2018-115927A)		東京都中央区京橋二丁目7番19号
(43) 公開日	平成30年7月26日(2018.7.26)	(74) 代理人	100087480
審査請求日	平成30年3月5日(2018.3.5)		弁理士 片山 修平
		(72) 発明者	佐治 哲夫
			東京都青梅市新町六丁目16番地3 太陽誘電モバイルテクノロジー株式会社内
		審査官	山口 剛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 センサ回路およびセンシング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

感応部の質量が変化することで共振周波数および/または反共振周波数が変化する共振器と、

前記共振周波数または前記反共振周波数に対応する発振信号を出力する増幅器と、

前記発振信号が分岐された第1信号および第2信号の位相差を前記発振信号の周波数の変化に対応して変化させる移相回路と、

前記移相回路が位相差を変化させた前記第1信号と前記第2信号とをミキシングすることで前記共振器の前記共振周波数または反共振周波数の変化に対応する信号を出力するミキサと、

を具備するセンサ回路。

【請求項2】

前記移相回路は、前記第1信号の位相を第1移相量で変化させる第1移相器と、前記第2信号の位相を第2移相量で変化させ、前記第2信号の周波数の変化に対する前記第2移相量の変化量は前記第1信号の周波数の変化に対する第1移相量の変化量と異なる第2移相器と、を有する請求項1記載のセンサ回路。

【請求項3】

前記第1移相器は、第1弾性波共振器を有する請求項2記載のセンサ回路。

【請求項4】

前記第1弾性波共振器は、前記第1信号が伝送する伝送線路にシャント接続されている

請求項 3 記載のセンサ回路。

【請求項 5】

前記第 1 移相器は、前記第 1 弾性波共振器に並列に、前記伝送線路にシャント接続されたキャパシタを有する請求項 4 記載のセンサ回路。

【請求項 6】

前記第 1 信号の周波数は、前記第 1 弾性波共振器の反共振周波数近傍に位置する請求項 4 または 5 記載のセンサ回路。

【請求項 7】

前記共振器は第 2 弾性波共振器を含む請求項 1 から 6 のいずれか一項記載のセンサ回路。

10

【請求項 8】

前記第 2 弾性波共振器は、  
 圧電層と、  
 前記圧電層の少なくとも一部を挟む第 1 電極および第 2 電極と、  
 前記第 2 電極の前記圧電層と反対側に設けられ、前記感応部である感応膜と、  
 を有する請求項 7 記載のセンサ回路。

【請求項 9】

前記ミキサの出力端子に接続され、前記発振信号の周波数のより低い遮断周波数を有するローパスフィルタを具備する請求項 1 から 8 のいずれか一項記載のセンサ回路。

【請求項 10】

センシング前に前記共振器の共振周波数および / または反共振周波数を調整する制御部を具備する請求項 1 から 9 のいずれか一項記載のセンサ回路。

20

【請求項 11】

感応部の質量が変化することで変化する共振器の共振周波数または反共振周波数に対応する発振信号を出力するステップと、

前記発振信号が分岐された第 1 信号および第 2 信号の位相差を前記発振信号の周波数の変化に対応して変化させるステップと、

前記位相差を変化させた前記第 1 信号と前記第 2 信号とをミキシングすることで前記共振器の前記共振周波数または前記反共振周波数の変化に対応する信号を出力するステップと、

30

を含むセンシング方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、センサ回路およびセンシング方法に関し、例えば共振器を有するセンサ回路およびセンシング方法に関する。

【背景技術】

【0002】

感応膜の質量の変化を検出することで、気体もしくは液体中の特定原子もしくは分子の濃度、温度、または湿度等の物理量を検出する環境センサが知られている。感応膜（物質を検出する表面）を有する弾性波共振器を移相器として用い、基準発振信号の位相シフト量で物質を検出するセンサ回路が知られている（例えば特許文献 1）。感応膜（物質を検出する反応性膜または化学的インタラクティブ膜）を有する弾性波共振器と基準となる弾性波共振器との共振周波数の差で物質を検出するセンサ回路が知られている（例えば特許文献 2 および 3）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許第 5 9 3 2 9 5 3 号明細書

【特許文献 2】特開 2 0 0 4 - 2 2 6 4 0 5 号公報

50

【特許文献3】特表2008-544259号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1では、感応膜を有する弾性波共振器はQ値が小さくなる。このため、感応膜の質量変化に対する位相シフト量が小さくなり、検出感度が低下する。特許文献2、3では、弾性波共振器を有する発振器を2つ用いることになり回路規模が大きくなる。

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、検出感度が良好でかつ小型化可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、感応部の質量が変化することで共振周波数および/または反共振周波数が変化する共振器と、前記共振周波数または前記反共振周波数に対応する発振信号を出力する増幅器と、前記発振信号が分岐された第1信号および第2信号の位相差を前記発振信号の周波数の変化に対応して変化させる移相回路と、前記移相回路が位相差を変化させた前記第1信号と前記第2信号とをミキシングすることで前記共振器の前記共振周波数または反共振周波数の変化に対応する信号を出力するミキサと、を具備するセンサ回路である。

【0007】

上記構成において、前記移相回路は、前記第1信号の位相を第1移相量で変化させる第1移相器と、前記第2信号の位相を第2移相量で変化させ、前記第2信号の周波数の変化に対する前記第2移相量の変化量は前記第1信号の周波数の変化に対する第1移相量の変化量と異なる第2移相器と、を有する構成とすることができる。

【0008】

上記構成において、前記第1移相器は、第1弾性波共振器を有する構成とすることができる。

【0009】

上記構成において、前記第1弾性波共振器は、前記第1信号が伝送する伝送線路にシャント接続されている構成とすることができる。

【0010】

上記構成において、前記第1移相器は、前記第1弾性波共振器に並列に、前記伝送線路にシャント接続されたキャパシタを有する構成とすることができる。

【0011】

上記構成において、前記第1信号の周波数は、前記第1弾性波共振器の反共振周波数近傍に位置する構成とすることができる。

【0012】

上記構成において、前記共振器は第2弾性波共振器を含む構成とすることができる。

【0013】

上記構成において、前記第2弾性波共振器は、圧電層と、前記圧電層の少なくとも一部を挟む第1電極および第2電極と、前記第2電極の前記圧電層と反対側に設けられ、前記感応部である感応膜と、を有する構成とすることができる。

【0014】

上記構成において、前記ミキサの出力端子に接続され、前記発振信号の周波数より低い遮断周波数を有するローパスフィルタを具備する構成とすることができる。

【0015】

上記構成において、センシング前に前記共振器の共振周波数および/または反共振周波数を調整する制御部を具備する構成とすることができる。

【0016】

本発明は、感応部の質量が変化することで変化する共振器の共振周波数または反共振周波数に対応する発振信号を出力するステップと、前記発振信号が分岐された第1信号およ

10

20

30

40

50

び第2信号の位相差を前記発振信号の周波数の変化に対応して変化させるステップと、前記位相差を変化させた前記第1信号と前記第2信号とをミキシングすることで前記共振器の前記共振周波数または前記反共振周波数の変化に対応する信号を出力するステップと、を含むセンシング方法である。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、検出感度が良好でかつ小型化可能とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】図1は、実施例1に係るセンサ回路の回路図である。

10

【図2】図2は、実施例1における各信号の時間に対する電圧を示す図である

【図3】図3は、実施例1の信号S2とS3の位相差に対する信号S5の電圧を示す図である。

【図4】図4は、実施例1における周波数の対する移相器の移相量を示す図である。

【図5】図5は、実施例1における発振信号の周波数変位に対するS3 - S2位相差およびS5信号の電圧を示す図である。

【図6】図6(a)は、実施例1における共振器の例を示す平面図、図6(b)は、図6(a)のA - A断面図である。

【図7】図7は、実施例1における発振回路の例を示す回路図である。

【図8】図8は、実施例1における共振器の通過特性および移相器の移相量を示す図である。

20

【図9】図9は、実施例1における発振回路の別の例を示す回路図である。

【図10】図10(a)から図10(c)は、実施例1における移相器の例を示す回路図である。

【図11】図11(a)および図11(b)は、図10(a)および図10(b)の移相器における周波数に対する移相量を示す図である。

【図12】図12は、図10(b)の移相器の通過特性および移相器の移相量を示す図である。

【図13】図13(a)は、実施例1における移相器の回路図、図13(b)は、移相器の周波数に対する移相量を示す図である。

30

【図14】図14は、実施例2に係るセンサ回路の回路図である。

【図15】図15は、実施例2におけるセンシング方法を示すフローチャートである。

【図16】図16(a)から図16(b)は、実施例1および2における共振器の弾性波共振器の別の例である。

【図17】図17(a)から図17(b)は、実施例1および2における共振器の弾性波共振器の別の例である。

【図18】図18は、実施例1および2における共振器および移相器の弾性波共振器の例を示す平面図である。

【図19】図19(a)および図19(b)は、それぞれ図18のA - AおよびB - B断面図である。

40

【図20】図20(a)および図20(b)は、それぞれ図18のA - AおよびB - B断面図の別の例である。

【図21】図21は、実施例1および2における付加膜の平面図である。

【図22】図22(a)および図22(b)は、実施例1および2におけるセンサ回路の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、図面を参照し実施例について説明する。

【実施例1】

【0020】

50

図1は、実施例1に係るセンサ回路の回路図である。センサ回路100は、発振回路10、分岐回路16、移相回路18、ミキサ24およびローパスフィルタ(LPF)26を備えている。

【0021】

発振回路10は、共振器12および増幅器14を有している。共振器12は、感応部の質量の変化に応じ共振周波数および/または反共振周波数が変化する。感応部は、環境変化により質量が変化する部位である。例えば気体または液体中の特定の原子または分子が感応部に吸着すると感応部の質量が増加する。また、雰囲気湿度が高くなると、水分が感応部に吸着し感応部の質量が増加する。温度が変化すると感応部の質量が変化する。また、紫外線等の光が感応部に照射されると感応部の質量が変化する。増幅器14は、発振器として機能し、共振器の共振周波数または反共振周波数に対応する発振信号S1を出力する。

10

【0022】

分岐回路16は例えばパワースプリッタであり、発振信号S1を周波数、位相およびパワーが互いにほぼ同じ信号S1aおよびS1bに分岐する。移相回路18は、移相器20および22を有している。移相器20は、信号S1aの位相をシフトさせ信号S2を出力する。移相器22は、信号S1bの位相をシフトさせ信号S3を出力する。信号S2とS3との位相差は、発振信号S1の周波数により変化する。例えば移相器20は、信号S1aの周波数の変化に応じ位相の変化量を変化させる。移相器22は、信号S1aの周波数に対し位相の変化量はほとんど変わらない。

20

【0023】

ミキサ24は、乗算器であり、信号S2とS3をミキシング(乗算)した信号S4を出力する。LPF26は、発振信号S1の周波数より低い遮断周波数を有しており、信号S4から発振信号S1の周波数より低い周波数成分の信号S5を出力端子T<sub>out</sub>に出力する。

【0024】

図2は、実施例1における各信号の時間に対する電圧を示す図である。時間および電圧は任意単位(a.u.: arbitrary unit)である。図2に示すように、発振信号S1を正弦波とする。発振信号S1は数式1に表される。A0は振幅を示す。

$$S1 = A0 \cdot \cos(t) \quad \text{数式1}$$

30

【0025】

移相器20は、信号S2の位相を発振信号S1より遅らせる。移相器22は、信号S3の位相を発振信号より進める。信号S2およびS3はそれぞれ数式2および3のように表される。A1およびA2は振幅を示す。数式2および3のように、信号S2およびS3の周波数は発振信号S1と同じであり、信号S2とS3の位相が異なっている。

$$S2 = A1 \cdot \cos(t + 1) \quad \text{数式2}$$

$$S3 = A2 \cdot \cos(t + 2) \quad \text{数式3}$$

【0026】

ミキサ24は、信号S2とS3を乗算する。信号S4は、数式4のように表される。信号S4は、主に発振信号の周波数の約2倍の周波数成分と、信号S2とS3の位相差1-2に相当する周波数成分と、を有する。

40

$$S4 = A1 \cdot \cos(t + 1) \times A2 \cdot \cos(t + 2) \\ = 0.5 \cdot A1 \cdot A2 \cdot \{ \cos(1 - 2) + A2 \cdot \cos(2t + 1 + 2) \} \quad \text{数式4}$$

【0027】

LPF26は、信号S4のうち発振信号S1の2倍の周波数成分を除去する。信号S5は数式5のように表される。数式5のように、信号S5は、位相差1-2に対応する周波数成分となる。位相差1-2に対応する周波数は発振信号S1の周波数に対し十分小さいため、発振信号S1の周波数に対しほぼ直流成分とみなせる。

$$S5 = 0.5 \cdot A1 \cdot A2 \cdot \cos(1 - 2) \quad \text{数式5}$$

50

## 【 0 0 2 8 】

図3は、実施例1の信号S2とS3の位相差に対する信号S5の電圧を示す図である。電圧は任意単位であり例えばVである。図3に示すように位相差が90°のとき、信号S5の電圧は0となる。位相差が90°より小さくなると、信号S5の電圧は大きくなる。位相差が0°のとき、信号S5の電圧は0.5となる。このように、信号2とS3の位相差が変化すると信号S5の電圧が変化する。S3 - S2の位相差が90°のとき、S3 - S2位相差に対するS5電圧の傾きは最も大きくなる。よって、検出感度の観点からS3 - S2の位相差は90°付近が好ましい。

## 【 0 0 2 9 】

図4は、実施例1における周波数に対する移相器の移相量を示す図である。実線は移相器20の移相量、破線は移相器22の移相量を示している。図4に示すように、移相器20は、位相を主に遅らせる（移相量がマイナス）。2.4GHzから2.45GHzにおいて、移相器20の移相量はピークを有する。移相量のピーク付近では移相量はプラスとなる（位相が進む）。移相器22は位相を進める（移相量がプラス）。移相器22の移相量は周波数依存がほとんどない。

10

## 【 0 0 3 0 】

移相器20は、2.43GHzと2.45GHzとの間において、移相量は周波数に対し急激にほぼ線形的に変化する。センサ回路がセンシングを始めると、発振信号S1の周波数が低くなる場合を考える。このとき、センサ回路のセンシング前の初期状態の基準周波数 $f_0$ は、急激にほぼ線形的に変化する周波数範囲の高周波数端付近とする。また、図3のように基準周波数 $f_0$ のS3 - S2位相差を90°付近とする。これらを考慮し、図4の例では基準周波数 $f_0$ およびこのときの移相量を以下とする。

20

基準周波数 $f_0$  : 2.45GHz

移相器20の移相量 : -25°

移相器22の移相量 : +50°

信号S3 - S2の位相差 : +75°

## 【 0 0 3 1 】

センサ回路がセンシングをはじめ、感応部の質量が大きくなり共振周波数が低くなる。例えば矢印80のように、発振信号S1の周波数 $f_1$ およびこのときの移相量が以下のように変化したとする。

30

周波数 $f_1$  : 2.44GHz

移相器20の移相量 : +5°

移相器22の移相量 : +50°

信号S3 - S2の位相差 : +45°

## 【 0 0 3 2 】

図5は、実施例1における発振信号の周波数変位に対するS3 - S2位相差およびS5信号の電圧を示す図である。実線は位相差を示し、破線はS5の電圧を示す。周波数変位は、センシングのときの基準周波数 $f_0$ を基準とした周波数変位である。図4において基準周波数 $f_0$  (2.45GHz)のとき周波数変位は0MHzであり、周波数 $f_1$  (2.44GHz)のとき周波数変位は-10MHzである。周波数変位が0MHzのとき図4のように信号S3 - S2位相差は75°である。このとき、図3の矢印81aのように、信号S5の電圧は0.13である。周波数変位が-10MHzとなると、図4のように信号S3 - S2位相差は45°となる。図3の矢印81bのように、信号S5の電圧は0.37となる。よって、図5の矢印82aのように周波数変位が0MHzから-10MHzに変化すると、矢印82bのように、S3 - S2位相差は75°から45°に変化し、矢印82cのように、S5電圧は、0.13から0.37に変化する。

40

## 【 0 0 3 3 】

以上のように、共振器12の共振周波数を基準周波数 $f_0$ に設定しておく。感応部の質量が増加すると、共振器12の共振周波数は低くなり、周波数 $f_1$ となる。これにより、発振信号S1の周波数は $f_0$ から $f_1$ に変化する。図4のように、信号S3とS2との位

50

相差が小さくなる。図5のように、基準周波数  $f_0$  からの変位により  $S_5$  の電圧が変化する。このように、感応部の質量変化を信号  $S_5$  の電圧の変化に変換できる。

【0034】

予め、信号  $S_5$  の電圧と検知する物理量（例えば気体または液体中の特定分子の濃度、温度、湿度または紫外線量）との関係を求めておく。これにより、信号  $S_5$  の電圧から物理量を検出できる。

【0035】

実施例1によれば、共振器12は、感応部の質量が変化することで共振周波数および/または反共振周波数が変化する。発振器として機能する増幅器14は、共振周波数または反共振周波数に対応する発振信号  $S_1$  を出力する。移相回路18は発振信号  $S_1$  が分岐された信号  $S_1a$ （第1信号）および  $S_1b$ （第2信号）の位相差を発振信号  $S_1$  の周波数の変化に対応して変化させる。ミキサ24は、移相回路18が位相差を変化させた信号  $S_2$  と  $S_3$  とをミキシングすることで共振器12の共振周波数または反共振周波数の変化に対応する信号を出力する。

【0036】

発振器は一個のため、特許文献2および3に比ベセンサ回路を小型化できる。また、発振器を複数設けることによる発振周波数間の変動のような測定誤差を抑制できる。また、移相器20に感応部を設けていない。よって、移相器20のQ値を高くでき、周波数変位の検出感度を高くできる。

【0037】

図4のように、移相器20（第1移相器）は、信号  $S_1a$  の位相を第1移相量で変化させる。移相器22（第2移相器）は、信号  $S_1b$  の位相を第2移相量で変化させる。信号  $S_1a$  の周波数の変化に対する第2移相量の変化量は信号  $S_1a$  の周波数の変化に対する第1移相量の変化量と異なる。これにより、図5のように、感応部の質量変化にともなう周波数変位を検出できる。

【0038】

信号  $S_3$  と  $S_2$  の位相差の周波数依存性を大きくするため、移相器22の第2移相量の周波数に対する傾きは0に近いことが好ましい。さらに、移相器20と22との移相量の周波数に対する傾きが逆符号であることが好ましい。

【0039】

さらに、ミキサ24の出力端子に、発振信号  $S_1$  の周波数より低い遮断周波数を有するLPF26を接続することが好ましい。これにより、周波数変位を直流信号として出力できる。LPF26の遮断周波数は発振信号  $S_1$  の周波数の  $1/2$  より低いことがより好ましい。

【0040】

[共振器の例]

共振器として圧電薄膜共振器を用いる例を説明する。図6(a)は、実施例1における共振器の例を示す平面図、図6(b)は、図6(a)のA-A断面図である。図6(a)および図6(b)に示すように、基板40上に圧電膜42が設けられている。圧電膜42を挟むように下部電極41および上部電極43が設けられている。下部電極41と基板40との間に空隙46が形成されている。共振領域48は、圧電膜42の少なくとも一部を挟み下部電極41と上部電極43とが対向する領域である。共振領域48において、下部電極41および上部電極43は圧電膜42内に厚み縦振動モードの弾性波を励振する。基板40上に下部電極41、圧電膜42および上部電極43を覆うように保護膜44が設けられている。保護膜44上に感応膜45が設けられている。平面視において感応膜45は共振領域48を含んでいる。基板40の下面には電極51が設けられている。基板40および圧電膜42を貫通する貫通電極50が設けられている。貫通電極50は、下部電極41および上部電極43を電極51に接続する。

【0041】

感応膜45に気体または液体の分子が吸着すると、感応膜45の質量が増加する。また

10

20

30

40

50

、温度または湿度が変化すると感応膜 4 5 の質量が変化する。共振領域 4 8 内の感応膜 4 5 の質量が増加すると、圧電薄膜共振器の共振周波数および反共振周波数が低くなる。

【 0 0 4 2 】

基板 4 0 は、例えばサファイア基板、アルミナ基板、スピネル基板またはシリコン基板である。下部電極 4 1 および上部電極 4 3 は例えばルテニウム ( R u ) 膜等の金属膜である。圧電膜 4 2 は、例えば窒化アルミニウム ( A l N ) 膜、酸化亜鉛 ( Z n O ) 膜または水晶層等である。保護膜 4 4 は例えば酸化シリコン膜または窒化シリコン膜等の絶縁膜である。貫通電極 5 0 および電極 5 1 は例えば金 ( A u ) 層または銅 ( C u ) 層等の金属層である。

【 0 0 4 3 】

感応膜 4 5 は、感応部に相当する。感応膜 4 5 としては、有機高分子膜、有機低分子膜、または無機膜等を用いることができる。感応膜 4 5 の形成方法としては、感応膜の材料を溶剤に溶解させ塗布する方法、蒸着法、スパッタリング法または C V D ( Chemical Vapor Deposition ) 法を用いることができる。

【 0 0 4 4 】

有機高分子材料としては、例えばポリスチレン、ポリメタクリル酸メチル、6 - ナイロン、セルロースアセテート、ポリ-9, 9 - ジオクチルフルオレン、ポリビニルアルコール、ポリビニルカルバゾール、ポリエチレンオキシド、ポリ塩化ビニル、ポリ-p - フェニレンエーテルスルホン、ポリ-1 - ブテン、ポリブタジエン、ポリフェニルメチルシラン、ポリカプロラクトン、ポリビスフェノキシホスファゼン、ポリプロピレンなどの単一構造からなるホモポリマー、ホモポリマー 2 種以上の共重合体であるコポリマー、これらを混合したブレンドポリマーなどを用いることができる。

【 0 0 4 5 】

例えば、有機低分子材料としては、トリス ( 8 - キノリノラト ) アルミニウム ( A l q 3 )、ナフチルジアミン ( - N P D )、B C P ( 2,9 - dimethyl - 4,7 - diphenyl - 1,10 - phenanthroline)、C B P ( 4,4' - N,N' - dicarbazole - biphenyl )、銅フタロシアニン、フラレーン、ペンタセン、アントラセン、チオフェン、I r ( p p y ( 2 - phenylpyridinato ) ) <sub>3</sub>、トリアジンチオール誘導体、ジオクチルフルオレン誘導体、テトラテトラコンタン、パリレンなどを用いることができる。

【 0 0 4 6 】

例えば、無機材料としては、アルミナ、チタニア、五酸化バナジウム、酸化タングステン、フッ化リチウム、フッ化マグネシウム、アルミニウム、金、銀、スズ、インジウム・シン・オキサイド ( I T O )、カーボンナノチューブ、塩化ナトリウム、塩化マグネシウムなどを用いることができる。

【 0 0 4 7 】

空隙 4 6 の代わりに圧電膜 4 2 を縦方向に伝搬する弾性波を反射する音響反射膜を用いることができる。共振領域 4 8 の平面形状は楕円形状以外に四角形または五角形等の多角形でもよい。

【 0 0 4 8 】

[ 発振回路の例 ]

図 7 は、実施例 1 における発振回路の例を示す回路図である。図 7 に示すように、発振回路 1 0 は、共振器 1 2 および増幅器 1 4 を有している。共振器 1 2 は、弾性波共振器 1 1 および可変キャパシタ V C 1 を有している。弾性波共振器 1 1 は、例えば図 6 ( a ) および図 6 ( b ) に示した圧電薄膜共振器である。弾性波共振器 1 1 および可変キャパシタ V C 1 は出力端子 T 1 とグランドとの間に並列に接続されている。

【 0 0 4 9 】

増幅器 1 4 は、トランジスタ T r 1、抵抗 R 1 から R 3、キャパシタ C 1 から C 3、インダクタ L 1 を有している。トランジスタ T r 1 のエミッタは抵抗 R 3 およびキャパシタ C 2 を並列に介しグランドに接続されている。トランジスタ T r 1 のベースは抵抗 R 2 およびキャパシタ C 3 を並列に介しグランドに接続され、抵抗 R 1 を介し電源端子 V c c に

10

20

30

40

50

接続されている。トランジスタ $T r 1$ のコレクタはインダクタ $L 1$ を介し電源端子 $V c c$ に接続され、キャパシタ $C 1$ を介しエミッタに接続され、かつ出力端子 $T 1$ に接続されている。

【 0 0 5 0 】

抵抗 $R 1$ から $R 2$ はトランジスタ $T r 1$ の各端子に供給されるバイアス電圧を定める抵抗である。インダクタ $L 1$ は高周波信号が電源端子 $V c c$ に漏れることを抑制する。キャパシタ $C 1$ から $C 3$ はコレクタの出力をベースに正帰還する。

【 0 0 5 1 】

図8は、実施例1における共振器の通過特性および移相器の移相量を示す図である。実線は共振器12の通過特性（トランジスタ $T r 1$ のコレクタから出力端子 $T 1$ への通過特性）の例を示す。共振周波数 $f r$ および反共振周波数 $f a$ は、共振器12の共振周波数および反共振周波数に対応する。破線は、移相器20の移相量の例を示す。図8に示すように、共振器12は共振周波数 $f r$ のとき減衰量が大きくなり、反共振周波数 $f a$ のとき減衰量が小さくなる。これにより、発振回路10は反共振周波数 $f a$ の発振信号 $S 1$ を出力する。共振器12において、可変キャパシタ $V C 1$ のキャパシタンスを変化させると、反共振周波数 $f a$ が変化する。これにより、可変キャパシタ $V C 1$ を調整することにより発振信号 $S 1$ の周波数を調整できる。

10

【 0 0 5 2 】

共振器12の反共振周波数 $f a$ を移相器20の移相量が大きく変化する周波数範囲の高周波側の周波数（範囲83：例えば移相量が $0^{\circ}$ から $-45^{\circ}$ の範囲）のあたりに調整する。これにより、弾性波共振器11の感応膜の質量が増加することで、質量の増加を感度よく検出できる。

20

【 0 0 5 3 】

図6(a)および図6(b)のような圧電薄膜共振器では、感応膜45の質量が変化すると、共振周波数より反共振周波数の方が大きく変化する。よって、検出感度を向上させるため、発振回路10は共振器12の反共振周波数において発振することが好ましい。また、後述するように、移相器22を弾性波共振器で構成した場合、範囲83は弾性波共振器の反共振周波数近傍に相当する。よって、共振器12と移相器20で同様の構造の弾性波共振器を用いた場合、共振器12の反共振周波数 $f a$ を発振周波数とすることで基準周波数 $f 0$ と移相器20の移相量との周波数温度特性をほぼ同じとすることができる。これにより、センサ回路の温度特性を改善できる。

30

【 0 0 5 4 】

図9は、実施例1における発振回路の別の例を示す回路図である。図9に示すように、図7と比較し、共振器12はトランジスタ $T r 1$ のエミッタとコレクタとの間に接続されている。弾性波共振器11と可変キャパシタ $V C 1$ とは直列に接続されている。その他の構成は図7と同じであり説明を省略する。

【 0 0 5 5 】

図9の例では、共振器12の共振周波数において正帰還のインピーダンスが低くなる。よって、発振回路10の発振信号 $S 1$ の周波数は共振器12の共振周波数 $f r$ となる。可変キャパシタ $V C 1$ を調整することで、共振器12の共振周波数を調整できる。例えば共振周波数 $f r$ を図8の範囲83内とする。可変キャパシタ $V C 1$ のキャパシタンスにより共振器12の共振周波数 $f r$ が大きく変化する。このため、発振信号 $S 1$ の周波数を大きく調整する場合に適している。

40

【 0 0 5 6 】

以上のように、共振器12は弾性波共振器11（第2弾性波共振器）を用いることで、 $Q$ 値を高くすることができる。

【 0 0 5 7 】

また、弾性波共振器11として、圧電薄膜共振器を用いる。図6(a)および図6(b)のように、圧電薄膜共振器では、下部電極41（第1電極）と上部電極43（第2電極）は圧電膜42の少なくとも一部を挟んで設けられている。感応部である感応膜45は上

50

部電極 43 の圧電膜 42 と反対側に設けられている。圧電薄膜共振器では感応膜 45 の質量の変化に敏感に共振周波数および反共振周波数が変化する。よって、センサ回路の検出感度を向上できる。

【0058】

感応膜 45 の質量変化に対応し反共振周波数は共振周波数より大きく変化する。よって、検出感度を向上させるためには、図 7 のように信号経路に対しシャントに弾性波共振器 11 を接続することが好ましい。

【0059】

共振器 12 では、弾性波共振器 11 に並列または直列に可変キャパシタ VC1 が接続されている。これにより、可変キャパシタ VC1 の調整により、共振周波数または反共振周波数を調整できる。よって、発振回路 10 の発振周波数を移相回路 18 の感度の高い周波数に調整できる。

【0060】

[ 移相器 20 の例 ]

図 10 ( a ) から図 10 ( c ) は、実施例 1 における移相器の例を示す回路図である。図 10 ( a ) の移相器 20 では、信号 S1a が入力する端子 T2 と信号 S2 が出力する端子 T3 の間に弾性波共振器 21 がシャント接続されている。図 10 ( b ) の移相器 20 では、端子 T2 と T3 との間に弾性波共振器 21 とキャパシタ C4 がシャント接続されている。図 10 ( c ) の移相器 20 では、端子 T2 と T3 との間に弾性波共振器 21 とキャパシタ C4 とが並列に接続されている。

【0061】

図 11 ( a ) および図 11 ( b ) は、図 10 ( a ) および図 10 ( b ) の移相器における周波数に対する移相量を示す図である。図 11 ( a ) に示すように、図 10 ( a ) の移相器 20 では、弾性波共振器 21 の反共振周波数  $f_a$  付近で周波数に対する移相量の傾きが緩やかである。このため、周波数変位に対する検出感度は低い。

【0062】

図 11 ( b ) に示すように、図 10 ( b ) の移相器 20 では、キャパシタ C4 により、反共振周波数  $f_a$  が図 10 ( a ) より低周波数側に移動する。このため、反共振周波数  $f_a$  付近で周波数に対する移相量の傾きが急峻である。このため、周波数変位に対する検出感度は高い。

【0063】

図 12 は、図 10 ( b ) の移相器の通過特性および移相器の移相量を示す図である。移相器 20 の通過特性は端子 T2 から T3 への通過特性である。図 12 に示すように、移相器 20 は共振周波数  $f_r$  のとき減衰量が大きくなり、反共振周波数  $f_a$  のとき減衰量が小さくなる。図 10 ( a ) および図 10 ( b ) のように、弾性波共振器 21 をシャント接続すると、反共振周波数  $f_a$  近傍 84 において減衰量が小さくなる。このため移相器 20 による挿入損失を抑制できる。また、周波数に対する移相量が比較的直線的に変化する。一方、共振周波数  $f_r$  近傍 86 では、減衰量が大きく移相器 20 の挿入損失が大きくなる。また、周波数に対する移相量が急激に変化する。よって、反共振周波数  $f_a$  近傍の範囲 84 で位相シフトさせることが好ましい。

【0064】

図 10 ( c ) の移相器 20 では、共振周波数  $f_r$  近傍で減衰量が小さくなる。しかし、共振周波数  $f_r$  近傍では、周波数に対する減衰量が急激に変化する。このため、移相器 20 の挿入損失の周波数依存性が大きい。しかし、共振周波数  $f_r$  近傍では反共振周波数  $f_a$  近傍に比べ急峻な移相特性が得られる。よって、図 10 ( c ) の移相器 20 より図 10 ( a ) および図 10 ( b ) の移相器 20 が好ましい。

【0065】

[ 移相器 22 の例 ]

図 13 ( a ) は、実施例 1 における移相器 22 の回路図、図 13 ( b ) は、移相器の周波数に対する移相量を示す図である。図 13 ( a ) に示すように、移相器 22 では、信号

10

20

30

40

50

S 1 b が入力する端子 T 4 と信号 S 3 が出力する端子 T 5 の間にキャパシタ C 5 が直列に接続されている。

【 0 0 6 6 】

図 1 3 ( b ) の実線は移相器 2 2 の移相量、破線は移相器 2 0 の移相量を示している。図 1 3 ( a ) の移相器 2 2 は、移相量の周波数変化が小さい。また、移相量が正である。これにより、移相器 2 0 との位相差を大きくできる。

【 0 0 6 7 】

図 1 0 ( a ) から図 1 0 ( c ) のように、移相器 2 0 は、弾性波共振器 2 1 ( 第 2 弾性波共振器 ) を有する。これにより、信号 S 1 a の周波数の変化に対し移相量を大きく変更できる。よって、センサ回路の検出感度を向上できる。

10

【 0 0 6 8 】

図 1 0 ( a ) および図 1 0 ( b ) のように、弾性波共振器 2 1 は、信号 S 1 a が伝送する伝送線路にシャント接続されている。これにより、図 1 2 のように、移相器 2 0 の挿入損失を抑制し、移相量の周波数依存を線形に近くできる。

【 0 0 6 9 】

図 1 0 ( b ) のように、移相器 2 0 は、弾性波共振器 2 1 に並列に、伝送線路にシャント接続されたキャパシタ C 4 を有する。これにより、図 1 1 ( b ) のように、センサ回路の検出感度を向上できる。

【 0 0 7 0 】

図 1 2 のように、信号 S 1 a の周波数は、弾性波共振器 2 1 の反共振周波数  $f_a$  近傍に位置することが好ましい。これにより、移相器 2 0 の挿入損失を抑制し、移相量の周波数依存を線形に近くできる。

20

【 0 0 7 1 】

弾性波共振器 2 1 としては圧電薄膜共振器または弾性表面波共振器を用いることができる。移相器 2 0 は、弾性波共振器 2 1 以外を用いてもよい。

【 0 0 7 2 】

移相器 2 2 としてキャパシタ C 5 を用いる例を説明したが、弾性波共振器等を用いてもよい。

【 実施例 2 】

【 0 0 7 3 】

図 1 4 は、実施例 2 に係るセンサ回路の回路図である。図 1 4 に示すように、実施例 2 のセンサ回路 1 0 2 は、実施例 1 のセンサ回路 1 0 0 に比べ増幅回路 2 8、3 0 および制御部 3 2 をさらに有している。増幅回路 2 8 は発振回路 1 0 の発振信号 S 1 を増幅する。増幅回路 3 0 は L P F 2 6 が出力する信号 S 5 を増幅する。増幅された信号 S 6 は制御部 3 2 に入力される。制御部 3 2 は、例えばプロセッサまたはコンピュータであり、信号 S 6 に基づき、共振器 1 2 の共振周波数を調整するための信号 S 7 を出力する。その他の構成は実施例 1 と同じであり説明を省略する。

30

【 0 0 7 4 】

図 1 5 は、実施例 2 におけるセンシング方法を示すフローチャートである。図 1 2 に示すように、センサ回路 1 0 2 がセンシングを行なう前の初期化ステップとして、制御部 3 2 は、発振回路 1 0 の発振信号 S 1 の周波数を調整する ( ステップ S 1 0 ) 。例えば、制御部 3 2 は発振信号 S 1 の周波数が図 4 の基準周波数  $f_0$  となるように共振器 1 2 に信号 S 7 を出力する。図 7 および図 9 の可変キャパシタ V C 1 のキャパシタンスを調整することで、発振信号 S 1 の周波数を調整できる。例えば、制御部 3 2 は、信号 S 6 が目標電圧となるようにフィードバック制御することで、発振信号 S 1 の周波数を基準周波数  $f_0$  とする。以降のセンシング期間では、制御部 3 2 は可変キャパシタ V C 1 のキャパシタンスを固定する。

40

【 0 0 7 5 】

センサ回路 1 0 2 のセンシングが開始されると、感応膜 4 5 がセンシングする環境に曝される。感応膜 4 5 の質量が変化すると、発振回路 1 0 の発振信号 S 1 の周波数が変化す

50

る。発振回路 10 は、周波数が変化した発振信号 S1 を出力する (ステップ S12)。増幅回路 28 は発振信号 S1 を増幅する。移相回路 18 は、発振信号 S1 が分岐された信号 S2 と S3 の位相をシフトさせる (ステップ S14)。ミキサ 24 は、信号 S2 と S3 をミキシングする (ステップ S16)。LPF 26 は、ミキシングされた信号 S4 をフィルタリングし、低周波数信号を抽出する (ステップ S18)。増幅回路 30 はフィルタリングされた信号 S5 を増幅し信号 S6 を制御部 32 に出力する。制御部 32 は、終了するか判定する (ステップ S20)。センシングを終了するとき Yes と判定する。Yes のとき終了する。No のときステップ S12 に戻る。

【0076】

実施例 2 によれば、図 15 のステップ S10 のように制御部 32 は、センシング前に共振器 12 の共振周波数 (反共振周波数) を調整する。これにより、発振信号 S1 の周波数を移相回路 18 の検出感度のよい基準周波数  $f_0$  に制御できる。

【0077】

増幅回路 28 はバッファアンプとして機能する。これにより、信号 S1 の周波数が安定化する。増幅回路 30 は信号 S5 を増幅する。これにより、信号 S5 の振幅が小さくてもセンサ回路を動作させることができる。

【0078】

[ 共振器の弾性波共振器の例 ]

実施例 1 および 2 に用いる共振器 12 の弾性波共振器 11 の別の例を説明する。図 16 (a) から図 17 (b) は、実施例 1 および 2 における共振器の弾性波共振器の別の例である。図 16 (a) に示すように、貫通電極 50 および電極 52 を設けず、保護膜 44 に開口を設け開口内に端子 54 を設ける。端子 54 はそれぞれ下部電極 41 および上部電極 43 に電気的に接続されている。これにより、端子 54 にボンディングワイヤを接合させる、またはパンプによりフィリップチップ実装を行うことが可能となる。その他の構成は図 6 (a) および図 6 (b) と同じであり説明を省略する。

【0079】

図 16 (b) に示すように、共振領域 48 の外周の外側の圧電膜 42 が溝状に除去されている。共振領域 48 の外周の外側の圧電膜 42 を除去することで、弾性波共振器 11 の Q 値を向上できる。その他の構成は図 6 (a) および図 6 (b) と同じであり説明を省略する。

【0080】

図 17 (a) のように、共振領域 48 内の上部電極 43 と保護膜 44 との間に周波数調整用の付加膜 47 が設けられていてもよい。付加膜 47 の膜厚を変えることで共振周波数を調整できる。付加膜 47 は、上部電極 43 内、圧電膜 42 と上部電極 43 の間、下部電極 41 と圧電膜 42 の間、または下部電極 41 内に設けてもよい。その他の構成は図 16 (b) と同じであり説明を省略する。

【0081】

図 17 (b) に示すように、保護膜 44 に共振領域 48 を囲む凸部 49 を設けてもよい。凸部 49 は、保護膜 44 上に感応膜 45 を形成するとき、感応膜の材料が溶解した溶剤のダムとなる。その他の構成は図 16 (b) と同じであり説明を省略する。

【0082】

[ 共振器の弾性波共振器と移相器の弾性波共振器の例 ]

図 18 は、実施例 1 および 2 における共振器および移相器の弾性波共振器の例を示す平面図である。図 19 (a) および図 19 (b) は、それぞれ図 18 の A - A および B - B 断面図である。図 18 から図 19 (b) に示すように、同じ基板 40 上に弾性波共振器 11 および 21 が設けられている。弾性波共振器 11 は保護膜 44 上の共振領域 48 内に感応膜 45 を有し、付加膜 47 を有していない。弾性波共振器 21 は上部電極 43 と保護膜 44 の間の共振領域 48 内に付加膜 47 を有し、感応膜 45 を有していない。下部電極 41、圧電膜 42 および上部電極 43 の材料および膜厚は弾性波共振器 11 と 21 とでほぼ同じである。その他の構成は図 6 (a) および図 6 (b) と同じであり説明を省略する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 3 】

図 1 8 から図 1 9 ( b ) では、弾性波共振器 1 1 と 2 1 を同じ基板 4 0 上に設ける。これにより、弾性波共振器 1 1 が発熱した場合においても弾性波共振器 1 1 と 2 1 との温度をほぼ同じにできる。また、共振領域 4 8 内における感応膜 4 5 と付加膜 4 7 の質量を同程度に調整することで、弾性波共振器 1 1 および 2 1 の共振周波数（または反共振周波数）を同程度に調整できる。

## 【 0 0 8 4 】

図 2 0 ( a ) および図 2 0 ( b ) は、それぞれ図 1 8 の A - A および B - B 断面図の別の例である。図 2 0 ( a ) および図 2 0 ( b ) に示すように、弾性波共振器 1 1 には、保護膜 4 4 に凹部 4 4 a が設けられている。凹部 4 4 a 内に感応膜 4 5 が設けられている。凹部 4 4 a は、保護膜 4 4 上に感応膜 4 5 を形成するとき、感応膜の材料が溶解した溶剤のダムとなる。弾性波共振器 2 1 には、凹部 4 4 a および感応膜 4 5 が設けられていない。弾性波共振器 1 1 の共振領域 4 8 内の保護膜 4 4 と感応膜 4 5 の合計の質量と、弾性波共振器 2 1 の共振領域 4 8 内の保護膜 4 4 の質量と、を同程度に調整する。これにより、弾性波共振器 1 1 および 2 1 の共振周波数（または反共振周波数）を同程度に調整できる。

## 【 0 0 8 5 】

弾性波共振器 1 1 の共振周波数（または反共振周波数）は、可変キャパシタ V C 1 等で調整できる。しかし、共振周波数（または反共振周波数）の調整範囲は限られる。そこで、図 1 8 から図 2 0 ( b ) のように、弾性波共振器 1 1 および 2 1 の製造時に弾性波共振器 1 1 および 2 1 の共振周波数（または反共振周波数）を同程度に調整することが好ましい。

## 【 0 0 8 6 】

図 2 1 は、実施例 1 および 2 における付加膜の平面図である。図 2 1 に示すように、共振領域 4 8 内の付加膜 4 7 は複数の島状パターン 4 7 a でもよい。また、共振領域 4 8 の付加膜 4 7 に複数の開口を設けてもよい。これにより、弾性波共振器 1 1 および 2 1 の共振周波数（または反共振周波数）を任意に設定できる。

## 【 0 0 8 7 】

## [ 実装例 ]

図 2 2 ( a ) および図 2 2 ( b ) は、実施例 1 および 2 におけるセンサ回路の断面図である。図 2 2 ( a ) に示すように、基板 4 0 の上面に弾性波共振器 1 1 、 2 1 および配線 6 2 が設けられている。配線 6 2 は、それぞれ弾性波共振器 1 1 および 2 1 の下部電極 4 1 および上部電極 4 3 に接続されている。基板 4 0 の下面に電極 5 2 が設けられている。貫通電極 5 0 は配線 6 2 と電極 5 2 とを電気的に接続する。基板 5 6 は例えばシリコン基板等の半導体基板である。基板 5 6 には、弾性波共振器 1 1 および 2 1 以外の回路素子が設けられている。基板 5 6 の上面に電極 5 8 が設けられている。基板 4 0 は基板 5 6 上にフェースアップ実装されている。電極 5 8 と 5 2 とはバンプ 6 0 により接合されている。その他の構成は、図 1 8 から図 2 0 ( b ) と同様である。

## 【 0 0 8 8 】

図 2 2 ( b ) に示すように、基板 4 0 の下面に弾性波共振器 1 1 、 2 1 および配線 6 2 が設けられている。基板 4 0 は、バンプ 6 0 を用い基板 5 6 上にフリップチップ実装されている。その他の構成は図 2 2 ( a ) と同じであり説明を省略する。

## 【 0 0 8 9 】

図 2 2 ( a ) および図 2 2 ( b ) のように、回路素子が形成された半導体基板上に弾性波共振器 1 1 および 2 1 が形成された基板 4 0 を実装する。これにより、センサ回路を小型化できる。

## 【 0 0 9 0 】

以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

10

20

30

40

50

【符号の説明】

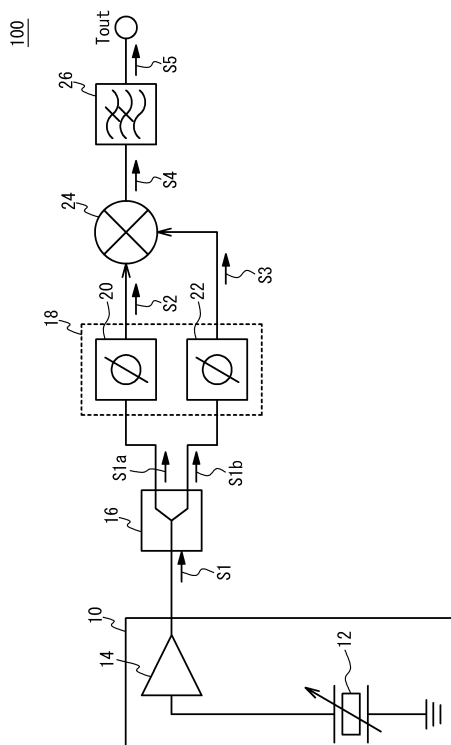
【0091】

- 10 発振回路
- 11、21 弾性波共振器
- 12 共振器
- 14 増幅器
- 16 分岐回路
- 18 移相回路
- 20、22 移相器
- 24 ミキサ
- 26 L P F
- 28、30 増幅回路
- 32 制御部
- 40 基板
- 41 下部電極
- 42 圧電膜
- 43 上部電極
- 44 保護膜
- 45 感応膜
- 46 空隙
- 48 共振領域

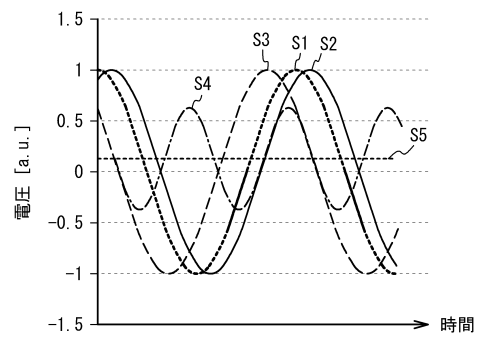
10

20

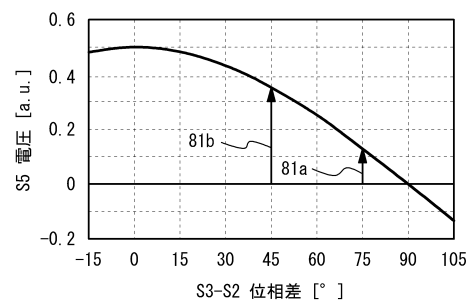
【図1】



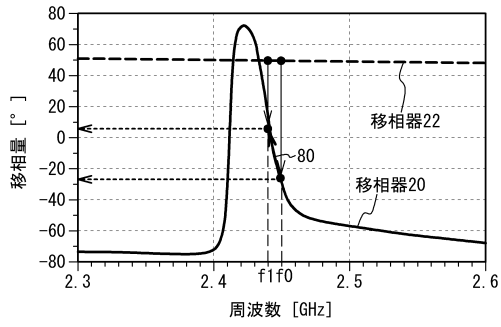
【図2】



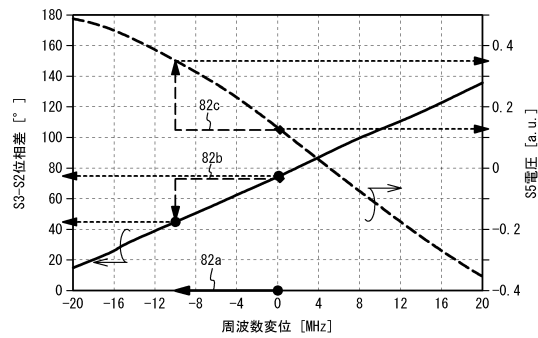
【図3】



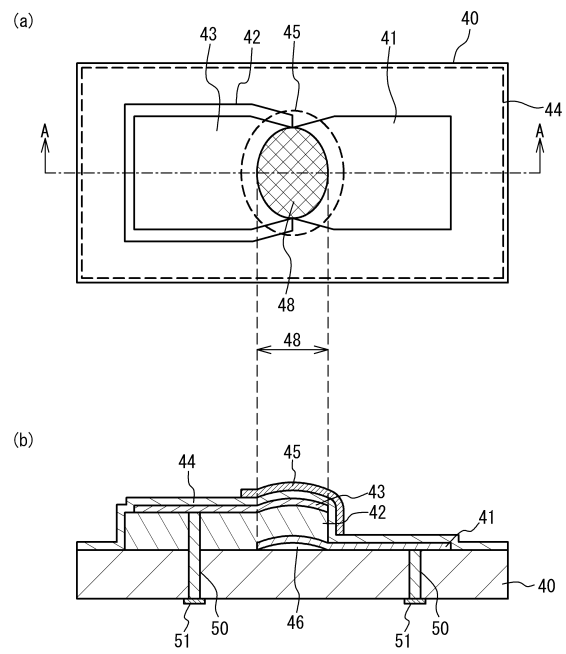
【 図 4 】



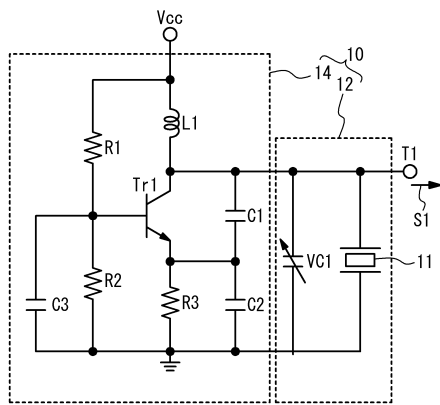
【 図 5 】



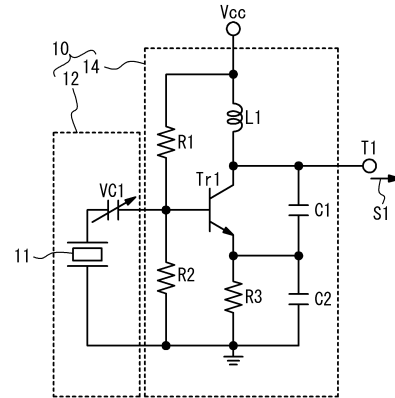
【 図 6 】



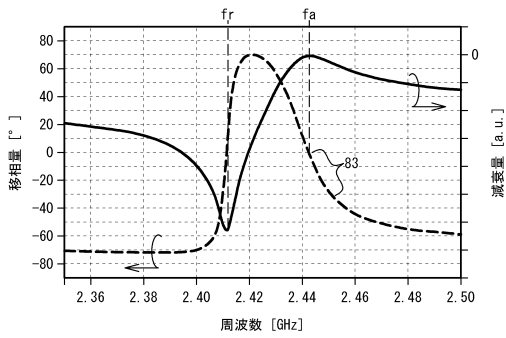
【 図 7 】



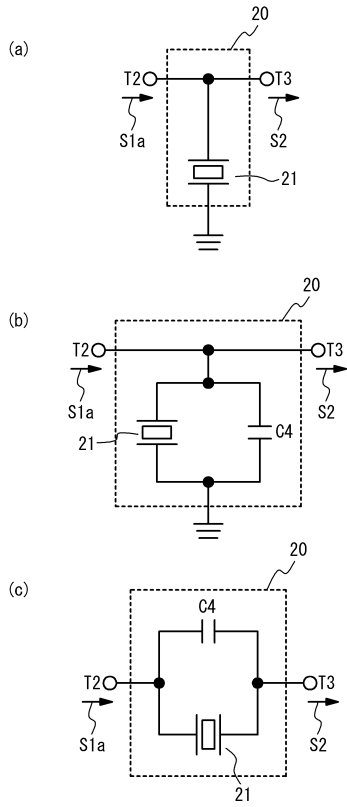
【 図 9 】



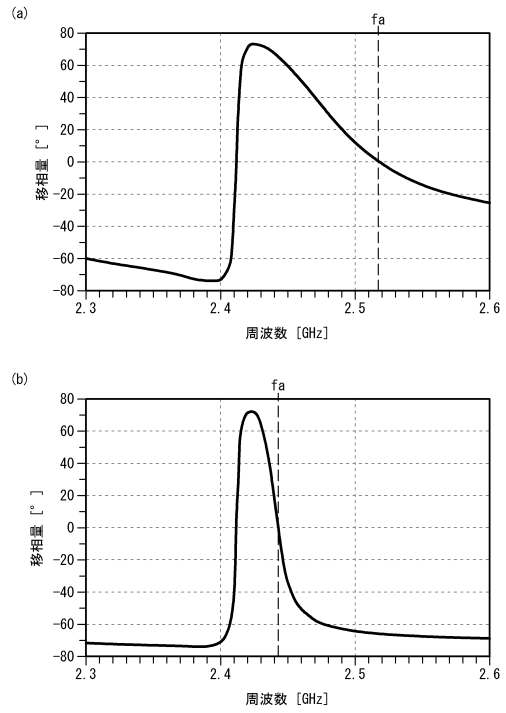
【 図 8 】



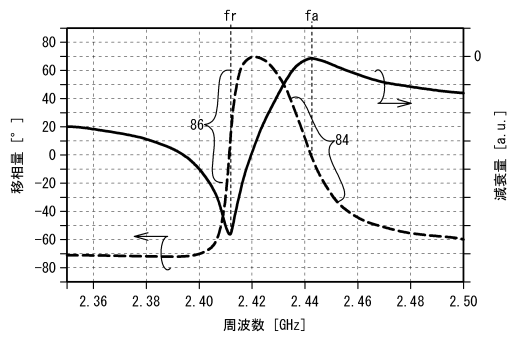
【図10】



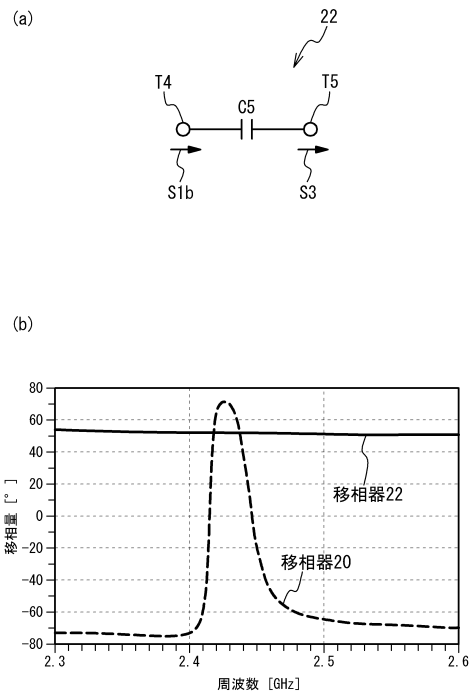
【図11】



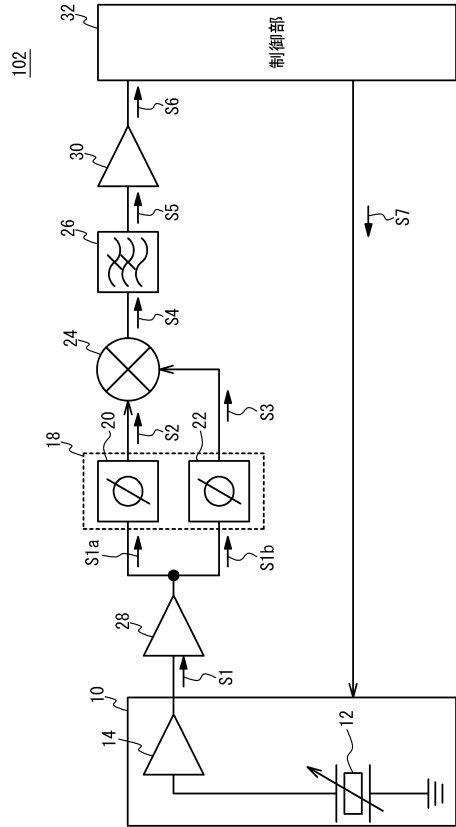
【図12】



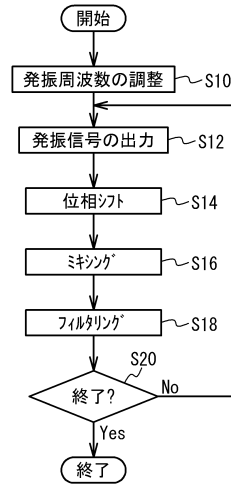
【図13】



【図14】

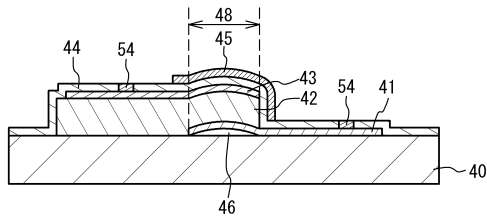


【図15】

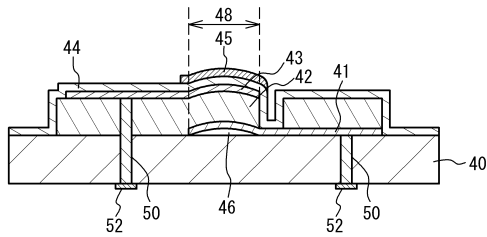


【図16】

(a)

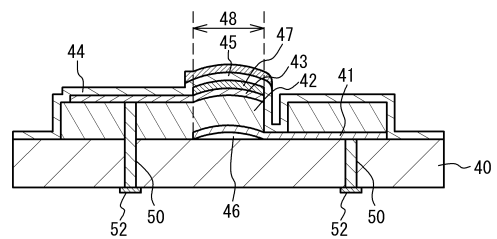


(b)

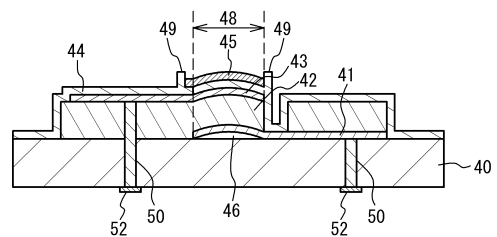


【図17】

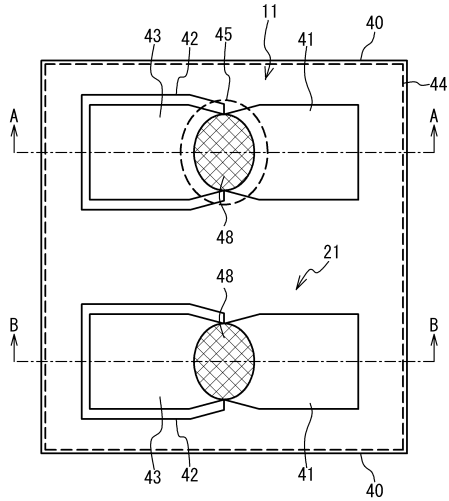
(a)



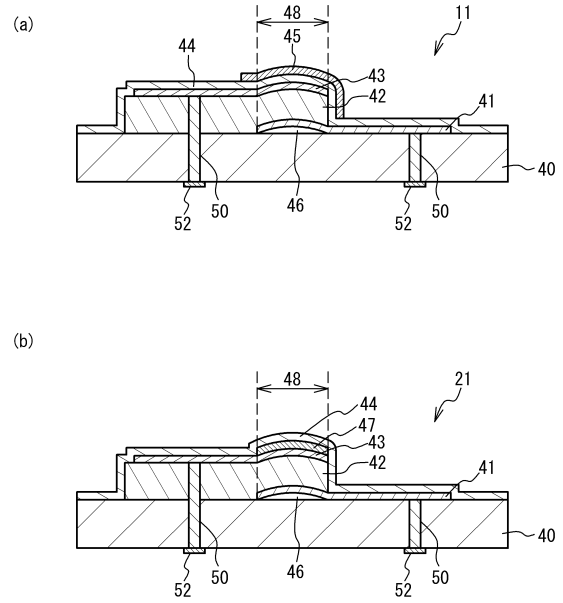
(b)



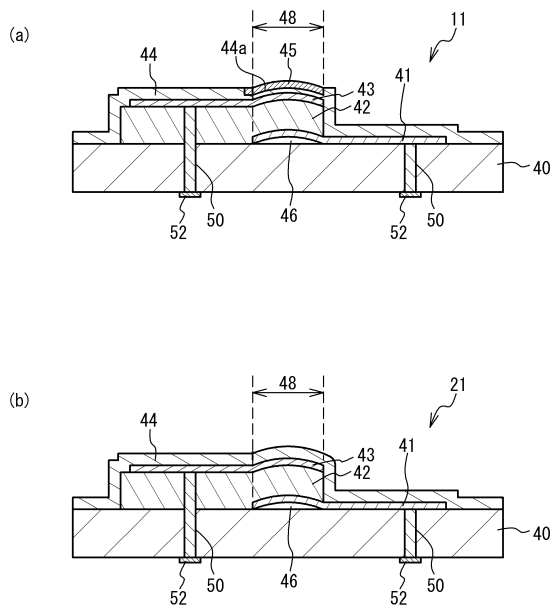
【 図 18 】



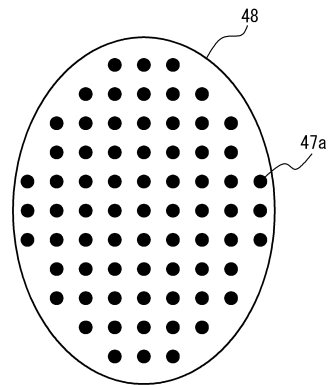
【 図 19 】



【 図 20 】

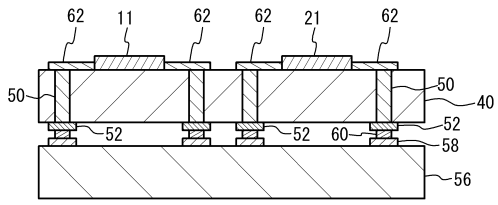


【 図 21 】

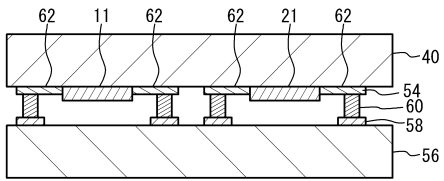


【 図 2 2 】

(a)



(b)



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07 - 035669 (JP, A)  
特表2012 - 530923 (JP, A)  
米国特許第06161420 (US, A)  
特開2011 - 252932 (JP, A)  
米国特許第05932953 (US, A)  
特開2004 - 226405 (JP, A)  
特表2008 - 544259 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N	5/00	-	5/04
H03B	5/32		
H03H	7/18		
H03H	9/17		