

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-203692

(P2017-203692A)

(43) 公開日 平成29年11月16日(2017.11.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1C 19/5628 (2012.01)	GO1C 19/5628	2F105
HO1L 41/253 (2013.01)	HO1L 41/253	
HO1L 41/09 (2006.01)	HO1L 41/09	
HO1L 41/113 (2006.01)	HO1L 41/113	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2016-95446 (P2016-95446)
 (22) 出願日 平成28年5月11日 (2016.5.11)

(71) 出願人 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
 (74) 代理人 100091292
 弁理士 増田 達哉
 (74) 代理人 100091627
 弁理士 朝比 一夫
 (72) 発明者 志村 匡史
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
 Fターム(参考) 2F105 AA02 AA08 BB04 BB07 CC01
 CD02 CD06 CD13

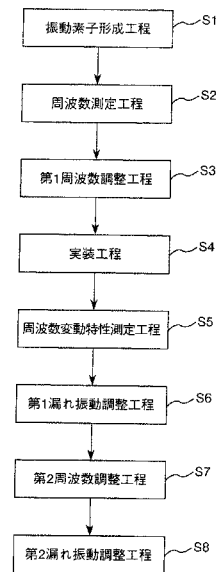
(54) 【発明の名称】 物理量センサーの製造方法および振動素子の周波数調整方法

(57) 【要約】

【課題】 2つの振動腕を有する振動素子の素子ごとの特性のバラツキを低減することができる物理量センサーの製造方法および振動素子の周波数調整方法を提供すること。

【解決手段】 第1振動部および第2振動部を有する振動素子を形成する振動素子形成工程と、前記第1振動部および前記第2振動部のそれぞれの共振周波数を測定する周波数測定工程と、前記周波数測定工程の結果に基づいて、前記第2振動部の共振周波数を目標値まで調整するときの前記第1振動部の共振周波数の変動量を予測変動量として求め、前記予測変動量および前記周波数測定工程において測定した前記第1振動部の共振周波数に基づいて、前記第1振動部の共振周波数を調整する第1周波数調整工程と、前記第2振動部の共振周波数を調整する第2周波数調整工程と、を有することを特徴とする物理量センサーの製造方法。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 振動部および第 2 振動部を有する振動素子を形成する振動素子形成工程と、
前記第 1 振動部および前記第 2 振動部のそれぞれの共振周波数を測定する周波数測定工程と、

前記周波数測定工程の結果に基づいて、前記第 2 振動部の共振周波数を目標値まで調整するときの前記第 1 振動部の共振周波数の変動量を予測変動量として求め、前記予測変動量および前記周波数測定工程において測定した前記第 1 振動部の共振周波数に基づいて、前記第 1 振動部の共振周波数を調整する第 1 周波数調整工程と、

前記第 2 振動部の共振周波数を調整する第 2 周波数調整工程と、を有することを特徴とする物理量センサーの製造方法。 10

【請求項 2】

前記第 1 周波数調整工程において、前記第 2 振動部の共振周波数を調整するときの調整量に対する前記第 1 振動部の共振周波数の変動量の関係式、前記周波数測定工程で測定された前記第 2 振動部の共振周波数、および、前記第 2 周波数調整工程における前記第 2 振動部の共振周波数の目標値を用いて、前記予測変動量を求める請求項 1 に記載の物理量センサーの製造方法。

【請求項 3】

前記関係式が 1 次式であり、

前記第 1 周波数調整工程において、前記関係式、および、前記周波数測定工程で測定された前記第 2 振動部の共振周波数と前記第 2 周波数調整工程における前記第 2 振動部の共振周波数の目標値との差分を用いて、前記予測変動量を求める請求項 2 に記載の物理量センサーの製造方法。 20

【請求項 4】

前記第 2 振動部は、駆動信号に応じて駆動振動する駆動振動部であり、

前記第 1 振動部は、前記第 2 振動部に働くコリオリ力に応じて検出振動して検出信号を出力する検出振動部である請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の物理量センサーの製造方法。

【請求項 5】

前記第 1 周波数調整工程と前記第 2 周波数調整工程との間に、前記第 2 振動部の振動漏れを低減させる調整を行う第 1 漏れ振動調整工程と、 30

前記第 2 周波数調整工程の後に、前記第 2 振動部の振動漏れを低減させる調整を行う第 2 漏れ振動調整工程と、を有し、

前記第 2 漏れ振動調整工程における前記第 2 振動部の共振周波数の変化量は、前記第 1 漏れ振動調整工程における前記第 2 振動部の共振周波数の変化量よりも小さい請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の物理量センサーの製造方法。

【請求項 6】

前記第 2 周波数調整工程において、前記第 2 振動部の共振周波数の調整を複数回に分けて行う請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の物理量センサーの製造方法。

【請求項 7】 40

前記振動素子は、

基部と、

前記基部から互いに異なる方向に延出している第 1 検出振動腕および第 2 検出振動腕と、

、

前記基部から互いに異なる方向に延出している第 1 連結腕および第 2 連結腕と、

前記第 1 連結腕の先端部から互いに異なる方向に延出している第 1 駆動振動腕および第 2 駆動振動腕と、

前記第 2 連結腕の先端部から互いに異なる方向に延出している第 3 駆動振動腕および第 4 駆動振動腕と、を備え、

前記第 1 駆動振動腕には、第 1 錘膜が設けられ、 50

前記第 2 駆動振動腕には、第 2 錘膜が設けられ、
 前記第 3 駆動振動腕には、第 3 錘膜が設けられ、
 前記第 4 駆動振動腕には、第 4 錘膜が設けられ、
 前記第 1 検出振動腕には、第 5 錘膜が設けられ、
 前記第 2 検出振動腕には、第 6 錘膜が設けられ、
 前記第 1 検出振動腕および前記第 2 検出振動腕が前記第 1 振動部であり、
 前記第 1 駆動振動腕、前記第 2 駆動振動腕、前記第 3 駆動振動腕および前記第 4 駆動振動腕が前記第 2 振動部であり、

前記第 1 周波数調整工程において、前記第 5 錘膜および前記第 6 錘膜のうちの少なくとも一方の一部を除去することで、前記第 1 振動部の共振周波数を調整し、

前記第 2 周波数調整工程において、前記第 1 錘膜、前記第 2 錘膜、前記第 3 錘膜および前記第 4 錘膜のうちの少なくとも 1 つの一部を除去することで、前記第 2 振動部の共振周波数を調整する請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の物理量センサーの製造方法。

【請求項 8】

前記第 1 周波数調整工程と前記第 2 周波数調整工程との間に、前記第 2 振動部の振動漏れを低減させるための調整を行う漏れ振動調整工程を有し、

前記第 1 錘膜、前記第 2 錘膜、前記第 3 錘膜および前記第 4 錘膜のそれぞれを 2 つの領域に分割して捉え、

前記漏れ振動調整工程において、前記第 1 錘膜、前記第 2 錘膜、前記第 3 錘膜および前記第 4 錘膜の少なくともいずれかの前記 2 つの領域のうちの一方の領域の少なくとも一部を除去し、

前記第 2 周波数調整工程において、前記 2 つの領域のうちの他方の領域の少なくとも一部を除去する請求項 7 に記載の物理量センサーの製造方法。

【請求項 9】

第 1 振動部および第 2 振動部を有する振動素子の周波数調整方法であって、

前記第 1 振動部および前記第 2 振動部のそれぞれの共振周波数を測定する周波数測定工程と、

前記周波数測定工程の結果に基づいて、前記第 2 振動部の共振周波数を目標値まで調整するときの前記第 1 振動部の共振周波数の変動量を予測変動量として求め、前記予測変動量および前記周波数測定工程において測定した前記第 1 振動部の共振周波数に基づいて、前記第 1 振動部の共振周波数を調整する第 1 周波数調整工程と、

前記第 2 振動部の共振周波数を調整する第 2 周波数調整工程と、を有することを特徴とする振動素子の周波数調整方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物理量センサーの製造方法および振動素子の周波数調整方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

物理量センサーとしては、例えば、車両における車体制御、カーナビゲーションシステムの自車位置検出、デジタルカメラやビデオカメラ等の振動制御補正（いわゆる手ぶれ補正）等に用いられ、角速度、加速度等の物理量を検出するセンサーが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

例えば、特許文献 1 に記載の振動ジャイロセンサーは、基部と、基部から延出された連結アームと、連結アームの先端部から延出された駆動アームと、基部から延出された検出アームとを備える。このような振動ジャイロセンサーは、駆動アームを屈曲振動させた状態で、所定方向の角速度を受けると、駆動アームにコリオリ力が作用し、それに伴って、検出アームが屈曲振動する。このような検出アームの屈曲振動を検出することにより、角

10

20

30

40

50

速度を検出することができる。

【 0 0 0 4 】

また、特許文献 1 に記載の振動ジャイロセンサーでは、駆動アームおよび検出アームの先端部にそれぞれ金属で構成された錘層が設けられている。そして、この錘層の一部を必要に応じてレーザー光の照射により除去することにより、駆動アームおよび検出アームの共振周波数（固有振動数）の調整を行う。より具体的には、検出アームの共振周波数を調整することで、検出アームの共振周波数と駆動アームの共振周波数との差である離調周波数を調整した後、複数の駆動アームの共振周波数のアンバランスによって生じる駆動アームから基部への振動漏れを防止するため、駆動アームの共振周波数を調整する。

【 先行技術文献 】

10

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 6 - 1 0 5 6 1 4 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

特許文献 1 に記載の振動ジャイロセンサーにおいて、駆動アームおよび検出アームは、基部を介して互いに接続されているため、完全には独立した振動系ではない。そのため、駆動アームの共振周波数を調整したときに、その調整に伴って検出アームの共振周波数も変動してしまう。特許文献 1 に記載の共振周波数の調整方法では、このような変動を考慮していないため、検出アームの共振周波数を調整しても、素子ごとの駆動アームの共振周波数の調整量のバラつきによって、駆動アームの共振周波数の調整後の検出アームの共振周波数が素子ごとにバラつき、それに伴って、離調周波数も素子ごとにバラついてしまうという問題がある。

20

【 0 0 0 7 】

本発明の目的は、2つの振動腕を有する振動素子の素子ごとの特性のバラツキを低減することができる物理量センサーの製造方法および振動素子の周波数調整方法を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

30

上記目的は、下記の本発明により達成される。

本発明の物理量センサーの製造方法は、第 1 振動部および第 2 振動部を有する振動素子を形成する振動素子形成工程と、

前記第 1 振動部および前記第 2 振動部のそれぞれの共振周波数を測定する周波数測定工程と、

前記周波数測定工程の結果に基づいて、前記第 2 振動部の共振周波数を目標値まで調整するときの前記第 1 振動部の共振周波数の変動量を予測変動量として求め、前記予測変動量および前記周波数測定工程において測定した前記第 1 振動部の共振周波数に基づいて、前記第 1 振動部の共振周波数を調整する第 1 周波数調整工程と、

前記第 2 振動部の共振周波数を調整する第 2 周波数調整工程と、を有することを特徴とする。

40

【 0 0 0 9 】

このような物理量センサーの製造方法によれば、第 1 周波数調整工程において、第 2 振動部の共振周波数をその目標値まで調整するときの第 1 振動部の共振周波数の変動量を予測し、予測した当該変動量を考慮して、第 1 振動部の共振周波数を調整するため、第 2 周波数調整工程において、第 2 振動部の共振周波数を調整するのに伴って、第 1 振動部の共振周波数を目標値に調整することができる。そのため、第 1 振動部および第 2 振動部の共振周波数をそれぞれの目標値に高精度に調整し、それに伴って、第 1 振動部の共振周波数と第 2 振動部の共振周波数との差である離調周波数もその目標値に高精度に調整することができる。よって、2つの振動腕（第 1、第 2 振動部）を有する振動素子の素子ごとの特

50

性のバラツキを低減することができる。

【0010】

本発明の物理量センサーの製造方法では、前記第1周波数調整工程において、前記第2振動部の共振周波数を調整するときの調整量に対する前記第1振動部の共振周波数の変動量の関係式、前記周波数測定工程で測定された前記第2振動部の共振周波数、および、前記第2周波数調整工程における前記第2振動部の共振周波数の目標値を用いて、前記予測変動量を求めることが好ましい。

【0011】

これにより、第2振動部の共振周波数をその目標値まで調整するときの第1振動部の共振周波数の変動量を簡単かつ高精度に求めることができる。

10

【0012】

本発明の物理量センサーの製造方法では、前記関係式が1次式であり、前記第1周波数調整工程において、前記関係式、および、前記周波数測定工程で測定された前記第2振動部の共振周波数と前記第2周波数調整工程における前記第2振動部の共振周波数の目標値との差分を用いて、前記予測変動量を求めることが好ましい。

【0013】

これにより、第2振動部の共振周波数をその目標値まで調整するときの第1振動部の共振周波数の変動量をより簡単かつ高精度に求めることができる。

【0014】

本発明の物理量センサーの製造方法では、前記第2振動部は、駆動信号に応じて駆動振動する駆動振動部であり、

20

前記第1振動部は、前記第2振動部に働くコリオリ力に応じて検出振動して検出信号を出力する検出振動部であることが好ましい。

【0015】

これにより、周波数測定工程において、駆動信号のための配線を利用して第2振動部の共振周波数を測定するとともに、検出信号のための配線を利用して第1振動部の共振周波数を測定することができる。また、第1振動部である検出振動部の共振周波数の調整の後に、第2振動部である駆動振動部の共振周波数の調整を行うため、製品に近い実装状態で駆動振動部の共振周波数の調整を行うことができる。

【0016】

30

本発明の物理量センサーの製造方法では、前記第1周波数調整工程と前記第2周波数調整工程との間に、前記第2振動部の振動漏れを低減させる調整を行う第1漏れ振動調整工程と、

前記第2周波数調整工程の後に、前記第2振動部の振動漏れを低減させる調整を行う第2漏れ振動調整工程と、を有し、

前記第2漏れ振動調整工程における前記第2振動部の共振周波数の変化量は、前記第1漏れ振動調整工程における前記第2振動部の共振周波数の変化量よりも小さいことが好ましい。

【0017】

40

これにより、得られる物理量センサーにおいて、第2振動部の漏れ振動を低減することができる。特に、第2振動部の漏れ振動を低減する工程を、第2周波数調整工程を挟んで第1漏れ振動調整工程および第2漏れ振動調整工程の2回に分け、第2漏れ振動調整工程における第2振動部の共振周波数の変化量を第1漏れ振動調整工程における第2振動部の共振周波数の変化量よりも小さくすることで、第2振動部の共振周波数の変動を低減しつつ、第2振動部の漏れ振動を効果的に低減することができる。

【0018】

本発明の物理量センサーの製造方法では、前記第2周波数調整工程において、前記第2振動部の共振周波数の調整を複数回に分けて行うことが好ましい。

【0019】

これにより、歩留まりよく、第2振動部の共振周波数を高精度に調整することができる

50

。

【0020】

本発明の物理量センサーの製造方法では、前記振動素子は、基部と、

前記基部から互いに異なる方向に延出している第1検出振動腕および第2検出振動腕と

、

前記基部から互いに異なる方向に延出している第1連結腕および第2連結腕と、

前記第1連結腕の先端部から互いに異なる方向に延出している第1駆動振動腕および第2駆動振動腕と、

前記第2連結腕の先端部から互いに異なる方向に延出している第3駆動振動腕および第

10

4駆動振動腕と、を備え、

前記第1駆動振動腕には、第1錘膜が設けられ、

前記第2駆動振動腕には、第2錘膜が設けられ、

前記第3駆動振動腕には、第3錘膜が設けられ、

前記第4駆動振動腕には、第4錘膜が設けられ、

前記第1検出振動腕には、第5錘膜が設けられ、

前記第2検出振動腕には、第6錘膜が設けられ、

前記第1検出振動腕および前記第2検出振動腕が前記第1振動部であり、

前記第1駆動振動腕、前記第2駆動振動腕、前記第3駆動振動腕および前記第4駆動振動腕が前記第2振動部であり、

20

前記第1周波数調整工程において、前記第5錘膜および前記第6錘膜のうちの少なくとも一方の一部を除去することで、前記第1振動部の共振周波数を調整し、

前記第2周波数調整工程において、前記第1錘膜、前記第2錘膜、前記第3錘膜および前記第4錘膜のうちの少なくとも1つの一部を除去することで、前記第2振動部の共振周波数を調整することが好ましい。

【0021】

これにより、いわゆるダブルT型の振動素子の駆動周波数、検出周波数および離調周波数の調整を簡単かつ高精度に行うことができる。

【0022】

本発明の物理量センサーの製造方法では、前記第1周波数調整工程と前記第2周波数調整工程との間に、前記第2振動部の振動漏れを低減させるための調整を行う漏れ振動調整工程を有し、

30

前記第1錘膜、前記第2錘膜、前記第3錘膜および前記第4錘膜のそれぞれを2つの領域に分割して捉え、

前記漏れ振動調整工程において、前記第1錘膜、前記第2錘膜、前記第3錘膜および前記第4錘膜の少なくともいずれかの前記2つの領域のうちの一方の領域の少なくとも一部を除去し、

前記第2周波数調整工程において、前記2つの領域のうちの他方の領域の少なくとも一部を除去することが好ましい。

【0023】

40

これにより、第2周波数調整工程における錘膜の除去位置が漏れ振動調整工程における錘膜の除去位置の影響を受けるのを低減することができる。そのため、第2周波数調整工程における第2振動部の共振周波数の調整を簡単かつ高精度に行うことができる。

【0024】

本発明の振動素子の周波数調整方法は、第1振動部および第2振動部を有する振動素子の周波数調整方法であって、

前記第1振動部および前記第2振動部のそれぞれの共振周波数を測定する周波数測定工程と、

前記周波数測定工程の結果に基づいて、前記第2振動部の共振周波数を目標値まで調整するときの前記第1振動部の共振周波数の変動量を予測変動量として求め、前記予測変動

50

量および前記周波数測定工程において測定した前記第 1 振動部の共振周波数に基づいて、前記第 1 振動部の共振周波数を調整する第 1 周波数調整工程と、

前記第 2 振動部の共振周波数を調整する第 2 周波数調整工程と、を有することを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

このような振動素子の周波数調整方法によれば、第 1 周波数調整工程において、第 2 振動部の共振周波数をその目標値まで調整するときの第 1 振動部の共振周波数の変動量を予測し、予測した当該変動量を考慮して、第 1 振動部の共振周波数を調整するため、第 2 周波数調整工程において、第 2 振動部の共振周波数を調整するのに伴って、第 1 振動部の共振周波数を目標値に調整することができる。そのため、第 1 振動部および第 2 振動部の共振周波数をそれぞれの目標値に高精度に調整し、それに伴って、第 1 振動部の共振周波数と第 2 振動部の共振周波数との差である離調周波数もその目標値に高精度に調整することができる。よって、2 つの振動腕（第 1、第 2 振動部）を有する振動素子の素子ごとの特性のバラツキを低減することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 6 】

【 図 1 】本発明の実施形態に係る物理量センサー（振動素子を実装した状態）を示す断面図である。

【 図 2 】図 1 に示す物理量センサーが備える振動素子（周波数調整前の振動素子）の平面図である。

【 図 3 】本発明の第 1 実施形態に係る物理量センサーの製造方法（振動素子の周波数調整方法）を説明するフローチャートである。

【 図 4 】図 3 に示す周波数測定工程の測定結果（素子ごとの駆動周波数および検出周波数）の一例を説明するグラフである。

【 図 5 】図 3 に示す第 1 周波数調整工程における振動素子を説明する平面図である。

【 図 6 】図 3 に示す第 1 周波数調整工程後の素子ごとの駆動周波数および検出周波数の一例を説明するグラフである。

【 図 7 】図 2 に示す振動素子の駆動周波数の調整による変化に伴う検出周波数の変化を示すグラフである。

【 図 8 】図 3 に示す周波数変動特性測定工程における振動素子を説明する平面図である。

【 図 9 】図 3 に示す第 1 漏れ振動調整工程における振動素子を説明する平面図である。

【 図 1 0 】図 3 に示す第 2 周波数調整工程における振動素子を説明する平面図である。

【 図 1 1 】図 3 に示す第 2 周波数調整工程後の素子ごとの駆動周波数および検出周波数の一例を説明するグラフである。

【 図 1 2 】本発明の第 2 実施形態に係る第 1 周波数調整工程における振動素子を説明する平面図である。

【 図 1 3 】本発明の第 2 実施形態に係る第 1 漏れ振動調整工程における振動素子を説明する平面図である。

【 図 1 4 】本発明の第 2 実施形態に係る第 2 周波数調整工程における振動素子を説明する平面図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 7 】

以下、本発明の物理量センサーの製造方法および振動素子の周波数調整方法について、添付図面に示す好適実施形態に基づいて詳細に説明する。

【 0 0 2 8 】

1. 物理量センサー

まず、本発明の物理量センサーの製造方法の説明に先立ち、本発明の物理量センサーの製造方法によって製造される物理量センサーについて簡単に説明する。

【 0 0 2 9 】

図 1 は、本発明の実施形態に係る物理量センサー（振動素子を実装した状態）を示す断

10

20

30

40

50

面図である。

【0030】

図1に示す物理量センサー10は、振動素子1（センサー素子）と、この振動素子1を収容するパッケージ11と、振動素子1をパッケージ11に対して支持している支持基板12および配線パターン13と、パッケージ11内に配置されている回路素子14と、を有している。

【0031】

パッケージ11は、振動素子1を収納する凹部を有する箱状のベース111と、ベース111の凹部の開口を塞ぐようにベース111に接合部材113を介して接合された板状のリッド112と、を有する。パッケージ11内の空間は、減圧（真空）状態となつてもよいし、窒素、ヘリウム、アルゴン等の不活性ガスが封入されていてもよい。

10

【0032】

ベース111の凹部は、開口側に位置する上段面と、底部側に位置する下段面と、これらの面の間に位置する中段面と、を有する。このベース111の構成材料としては、特に限定されないが、酸化アルミニウム等の各種セラミックスや、各種ガラス材料を用いることができる。また、リッド112の構成材料としては、特に限定されないが、ベース111の構成材料と線膨張係数が近似する部材であると良い。例えば、ベース111の構成材料を前述のようなセラミックスとした場合には、コパール等の合金とするのが好ましい。なお、ベース111とリッド112の接合方法は、特に限定されず、例えば、接着材やろう材を介して接合することができる。本実施形態では、リッド112は、シームリング、低融点ガラス、接着剤等の接合部材113を介してベース111に接合されている。

20

【0033】

ベース111の凹部の上段面および中段面には、それぞれ、複数の接続端子（図示せず）が設けられている。中段面に設けられている複数の接続端子のうち、一部は、ベース111に設けられた配線層（図示せず）を介して、ベース111の底面に設けられた端子（図示せず）に電氣的に接続され、残部は、上段に設けられている複数の接続端子に配線（図示せず）を介して電氣的に接続されている。これら接続端子は、導電性を有していれば特に限定されないが、例えば、Cr（クロム）、W（タングステン）等のメタライズ層（下地層）に、Ni（ニッケル）、Au（金）、Ag（銀）、Cu（銅）等の各被膜を積層した金属被膜で構成されている。

30

【0034】

回路素子14は、ベース111の凹部の下段面に接着剤等によって固定されている。回路素子14は、図示しない複数の端子を有し、この各端子が導電性ワイヤー15によって、前述した中段面に設けられている各接続端子と電氣的に接続されている。この回路素子14は、振動素子1を駆動振動させるための駆動回路と、角速度が加わったときに振動素子1に生じる検出振動を検出する検出回路と、を有する。

【0035】

また、ベース111の凹部の中段面に設けられている複数の接続端子には、導電性接着剤（図示せず）を介して、配線パターン13が接続されている。この配線パターン13は、支持基板12に接合されている。

40

【0036】

支持基板12は、中央部に開口を有しており、その開口内には、配線パターン13が有する複数の長尺状のリードが延びている。これらリードの先端部には、導電性のバンプ（図示せず）を介して振動素子1が接続されている。

【0037】

なお、本実施形態では、回路素子14がパッケージ11の内部に設けられているが、回路素子14は、パッケージ11の外部に設けられていてもよい。

【0038】

2. 振動素子

図2は、図1に示す物理量センサーが備える振動素子（周波数調整前の振動素子）の平

50

面図である。なお、図 2 では、説明の便宜上、互いに直交する 3 つの軸として、X 軸、Y 軸および Z 軸を図示しており、各軸を示す矢印の先端側を「+」、基端側を「-」とする。また、X 軸に平行な方向を「X 軸方向」、Y 軸に平行な方向を「Y 軸方向」、Z 軸に平行な方向を「Z 軸方向」という。また、+ Z 軸方向側を「上」、- Z 軸方向側を「下」ともいう。また、本実施形態では、X 軸、Y 軸および Z 軸は、水晶の結晶軸である電気軸、機械軸および光軸にそれぞれ対応している。

【 0 0 3 9 】

図 2 に示す振動素子 1 は、Z 軸まわりの角速度 を検出するセンサー素子である。この振動素子 1 は、振動体 4 と、振動体 4 の表面に形成された電極膜パターン（図示せず）および錘膜パターン 5 と、を有している。

10

【 0 0 4 0 】

- 振動体 -

振動体 4 は、水晶基板の結晶軸である Y 軸（機械軸）および X 軸（電気軸）で規定される X Y 平面に広がりをも有し、Z 軸（光軸）方向に厚みを有する板状をなしている。すなわち、振動体 4 は、Z カット水晶板で構成されている。なお、Z 軸は、振動体 4 の厚さ方向と必ずしも一致している必要はなく、常温近傍における周波数の温度による変化を小さくする観点から、厚さ方向に対して若干傾けてもよい。具体的には、Z カット水晶板とは、Z 軸に直交した面を X 軸および Y 軸の少なくとも一方を中心に 0 度 ~ 10 度の範囲で回転させた面が、主面となるようなカット角の水晶板を含む。なお、振動体 4 は、シリコン等の圧電性を有しないものであってもよく、この場合、振動体 4 上に圧電素子を適宜設ければよい。

20

【 0 0 4 1 】

本実施形態の振動体 4 は、いわゆるダブル T 型の形状をなしている。この振動体 4 は、基部 4 1 と、基部 4 1 から延出している 1 対の連結腕 4 2、4 3 と、連結腕 4 2 から延出している 1 対の駆動振動腕 4 4、4 5 と、連結腕 4 3 から延出している 1 対の駆動振動腕 4 6、4 7 と、基部 4 1 から延出している 1 対の検出振動腕 4 8、4 9 と、を有している。なお、この振動体 4 は、図 2 中の左右で対称に形成されている。

【 0 0 4 2 】

基部 4 1 は、前述した支持基板 1 2 および配線パターン 1 3 を介して、パッケージ 1 1 のベース 1 1 1 に固定されている。

30

【 0 0 4 3 】

連結腕 4 2、4 3 は、基部 4 1 から X 軸方向に沿って互いに反対方向に延出している。なお、連結腕 4 2、4 3 の上面および下面のそれぞれに、その長さ方向（X 軸方向）に延在する溝または孔を設けてもよい。

【 0 0 4 4 】

駆動振動腕 4 4、4 5 は、連結腕 4 2 の先端部から Y 軸方向に沿って互いに反対方向に延出している。同様に、駆動振動腕 4 6、4 7 は、連結腕 4 3 の先端部から Y 軸方向に沿って互いに反対方向に延出している。本実施形態では、駆動振動腕 4 4、4 5、4 6、4 7 の先端部には、それぞれ、駆動振動腕 4 4、4 5、4 6、4 7 の基端部よりも幅の広い幅広部 4 4 1、4 5 1、4 6 1、4 7 1 が設けられている。なお、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の上面および下面には、それぞれ、その延出方向に延在する溝または孔が設けられてもよい。

40

【 0 0 4 5 】

検出振動腕 4 8、4 9 は、基部 4 1 から Y 軸方向に沿って互いに反対方向に延出している。本実施形態では、検出振動腕 4 8、4 9 の先端部には、それぞれ、検出振動腕 4 8、4 9 の基端部よりも幅の広い幅広部 4 8 1、4 9 1 が設けられている。なお、検出振動腕 4 8、4 9 の上面および下面には、それぞれ、その延出方向に延在する溝または孔が設けられてもよい。

【 0 0 4 6 】

- 電極膜パターン

50

前述した振動体 4 の表面に設けられている電極膜パターンは、図示しないが、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 に設けられている駆動信号電極および駆動接地電極と、検出振動腕 4 8、4 9 に設けられている検出信号電極および検出接地電極と、これらの電極に対応して基部 4 1 に設けられている複数の端子と、を有している。

【0047】

- 錘膜パターン -

錘膜パターン 5 は、図示しないが、前述した電極膜パターン上に設けられている。図 2 に示すように、複数の錘膜パターン 5 は、駆動振動腕 4 4、4 5、4 6、4 7 の先端部に設けられている錘膜 5 1、5 2、5 3、5 4 と、検出振動腕 4 8、4 9 の先端部に設けられている錘膜 5 5、5 6 と、を有している。

10

【0048】

錘膜 5 1 ~ 5 4 は、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数（以下、「駆動周波数」とも言う）を調整する機能を有する。錘膜 5 5、5 6 は、検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数（以下、「検出周波数」とも言う）を調整する機能を有する。後述するが、これら錘膜 5 1 ~ 5 6 の少なくとも一部を除去することにより、駆動周波数または検出周波数を調整（周波数調整）することができる。なお、図 2 に示す錘膜 5 1 ~ 5 6 は、周波数調整前の状態を示している。

【0049】

このような錘膜 5 1 ~ 5 6 の構成材料としては、特に限定されず、例えば、金属（金属材料）、無機化合物、樹脂等を用いることができるが、金属または無機化合物を用いるのが好ましい。金属または無機化合物は、気相成膜法により簡単かつ高精度に成膜することができる。また、金属または無機化合物で構成された錘膜 5 1 ~ 5 6 は、エネルギー線（特にレーザー）の照射により簡単かつ高精度に除去することができる。このようなことから、錘膜パターン 5 を金属または無機化合物で成膜することにより形成することで、後述する周波数調整がより簡単かつ高精度なものとなる。

20

【0050】

かかる金属材料としては、例えば、ニッケル（Ni）、金（Au）、金合金、白金（Pt）、アルミニウム（Al）、アルミニウム合金、銀（Ag）、銀合金、クロム（Cr）、クロム合金、銅（Cu）、モリブデン（Mo）、ニオブ（Nb）、タングステン（W）、鉄（Fe）、チタン（Ti）、コバルト（Co）、亜鉛（Zn）、ジルコニウム（Zr）等が挙げられ、これらのうち 1 種または 2 種以上を組み合わせ用いることができる。中でも、駆動電極や検出電極と一括形成できるという観点から、かかる金属材料としては、Al、Cr、Fe、Ni、Cu、Ag、Au、Pt またはこれらのうちの少なくとも 1 種を含む合金を用いるのが好ましい。

30

【0051】

また、かかる無機化合物としては、アルミナ（酸化アルミニウム）、シリカ（酸化シリコン）、チタニア（酸化チタン）、ジルコニア、イットリア、リン酸カルシウム等の酸化物セラミックス、窒化珪素、窒化アルミ、窒化チタン、窒化ボロン等の窒化物セラミックス、グラファイト、タングステンカーバイド等の炭化物系セラミックス、その他、例えばチタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、PZT、PLZT、PLLZT 等の強誘電体材料などが挙げられ、中でも、酸化シリコン（SiO₂）、酸化チタン（TiO₂）、酸化アルミニウム（Al₂O₃）等の絶縁材料を用いるのが好ましい。

40

【0052】

また、各錘膜 5 1 ~ 5 6 の厚さ（平均厚さ）は、特に限定されないが、例えば、10 nm 以上 10000 nm 以下程度である。

【0053】

以上説明したように構成された振動素子 1 では、振動素子 1 に角速度が加わらない状態において、駆動信号端子に駆動信号を入力することで駆動信号電極と駆動接地電極との間に電界が生じると、各駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 が図 2 中の矢印 に示す方向に屈曲振動（駆動振動）を行う。このとき、駆動振動腕 4 4、4 5 と駆動振動腕 4 6、4 7 とが図 2 にて

50

左右対称の振動を行っているため、基部 4 1 および検出振動腕 4 8、4 9 は、ほとんど振動しない。

【0054】

この駆動振動を行っている状態で、Z 軸に沿った中心軸 a (重心) 周りの角速度が振動素子 1 に加わると、検出振動 (検出モードの振動) が励振される。具体的には、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 および連結腕 4 2、4 3 に図 2 中矢印で示す方向のコリオリの力が働き、新たな振動が励起される。これに伴い、この連結腕 4 2、4 3 の振動を打ち消すように、検出振動腕 4 8、4 9 に図 2 中矢印に示す方向の検出振動が励起される。そして、この検出振動により検出振動腕 4 8、4 9 に発生した電荷を、検出信号電極から検出信号として取り出し、この検出信号に基づいて角速度が求められる。

10

【0055】

3. 物理量センサーの製造方法および振動素子の周波数調整方法

次に、本発明の物理量センサーの製造方法について、前述した物理量センサー 10 を製造する場合を例に説明する。

【0056】

図 3 は、本発明の第 1 実施形態に係る物理量センサーの製造方法 (振動素子の周波数調整方法) を説明するフローチャートである。

【0057】

物理量センサー 10 の製造方法は、図 3 に示すように、[1] 振動素子形成工程 (ステップ S 1) と、[2] 周波数測定工程 (ステップ S 2) と、[3] 第 1 周波数調整工程 (ステップ S 3) と、[4] 実装工程 (ステップ S 4) と、[5] 周波数変動特性測定工程 (ステップ S 5) と、[6] 第 1 漏れ振動調整工程 (ステップ S 6) と、[7] 第 2 周波数調整工程 (ステップ S 7) と、[8] 第 2 漏れ振動調整工程 (ステップ S 8) と、を有している。ここで、物理量センサー 10 の製造方法は、振動素子 1 の周波数調整方法を含んでおり、振動素子 1 の周波数調整方法は、上記 [1] ~ [8] 工程のうち、[2] ~ [8] 工程を有している。以下、各工程を順次説明する。

20

【0058】

[1] 振動素子形成工程 (ステップ S 1)

まず、前述した周波数調整前の錘膜 5 1 ~ 5 6 を有する振動素子 1 を形成する (図 2 参照)。すなわち、[1] 振動素子形成工程は、振動する検出振動腕 4 8、4 9 (第 1 振動部) および駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 (第 2 振動部) を有する振動素子 1 を形成する。

30

【0059】

ここで、前述したように、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 は、駆動信号に応じて駆動振動する「駆動振動部 (第 2 振動部)」であり、検出振動腕 4 8、4 9 は、コリオリ力に応じて検出振動して検出信号を出力する「検出振動部 (第 1 振動部)」である。また、検出振動腕 4 8、4 9 は、基部 4 1 から互いに異なる方向に延出している「第 1、第 2 検出振動腕」であり、連結腕 4 2、4 3 は、基部 4 1 から互いに異なる方向に延出している「第 1、第 2 連結腕」であり、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 は、連結腕 4 2、4 3 の先端部から互いに異なる方向に延出している「第 1 ~ 第 4 駆動振動腕」である。また、錘膜 5 1 ~ 5 6 は、「第 1 ~ 第 6 錘膜」である。

40

【0060】

具体的には、例えば、まず、振動体 4 の母材である水晶基板を用意し、その水晶基板の一方の面上にフォトリソを塗布して、振動体 4 に対応する形状に露光・現像することにより、レジストマスク (図示せず) を得る。次に、レジストマスクが形成された状態で水晶基板の両面にそれぞれ、例えば蒸着法、スパッタ法等により Cr 層、Au 層をこの順で成膜し、Au 層上に例えばめっき法等により Ni 層を成膜する。その後、レジストマスクを例えばエッチング等により除去することによりマスクを得る。

【0061】

次に、水晶基板の一方の面側からマスクを介して水晶基板を例えば C_4F_8 をエッチングガスとして用いた反応性イオンエッチング (RIE) によりドライエッチングする。こ

50

れにより、振動体 4 を形成する。なお、この段階では、振動体 4 は、水晶基板の他の部分に連結した状態（以下、「ウエハー状態」とも言う）である。このウエハー状態では、振動体 4 は、例えば、幅および厚さのうちの少なくとも一方が小さく脆弱に形成された折り取り部を介して水晶基板の他の部分に連結されている。また、ウエハー状態では、水晶基板に複数の振動素子 1 を一括して形成することができる。

【 0 0 6 2 】

その後は、例えば、振動体 4 の表面に、例えば、スパッタリング等の成膜装置によって金属膜を一様に形成する。そして、フォトリジストを塗布して、露光・現像することにより、レジストマスクを得た後、エッチング液を用いて、レジストマスクから露出している部分の金属膜を除去する。これにより、電極膜パターンが形成される。

10

【 0 0 6 3 】

次いで、電極膜パターン上に、例えばマスク蒸着により、錘膜パターン 5（錘膜 5 1 ~ 5 6）を形成する。

以上のようにして振動素子 1 を形成する。

【 0 0 6 4 】

[2] 周波数測定工程（ステップ S 2）

次に、振動素子 1 の駆動周波数および検出周波数をそれぞれ測定する。すなわち、[2] 周波数測定工程は、検出振動腕 4 8、4 9（第 1 振動部）および駆動振動腕 4 4 ~ 4 7（第 2 振動部）のそれぞれの共振周波数を測定する。このとき、振動素子 1 は、ウエハー状態であって、パッケージ 1 1 に実装されていない。

20

【 0 0 6 5 】

図 4 は、図 3 に示す周波数測定工程の測定結果（素子ごとの駆動周波数および検出周波数）の一例を説明するグラフである。なお、図 4 に示すグラフにおいて、縦軸は「周波数（Hz）」であり、横軸は「素子 NO.」であり、1 つの振動素子に対して 1 組の駆動周波数および検出周波数が対応している。

【 0 0 6 6 】

駆動周波数および検出周波数の調整を行っていない振動素子 1 は、図 4 に示すように、各素子において、駆動周波数 f_{dr} がその目標値 A_{dr} よりも低くなっていると同時に、検出周波数 f_{de} がその目標値 A_{de} よりも低くなっている。また、駆動周波数 f_{dr} および検出周波数 f_{de} がそれぞれ素子ごとにバラついている。

30

【 0 0 6 7 】

このような結果から、振動素子 1 の駆動周波数 f_{dr} および検出周波数 f_{de} がそれぞれ素子ごとに目標値 A_{dr} および目標値 A_{de} からどの程度ずれているかがわかる。したがって、後述する [3] 第 1 周波数調整工程および [7] 第 2 周波数調整工程において、そのずれ量分、駆動周波数 f_{dr} および検出周波数 f_{de} を上昇させて調整すればよい。

【 0 0 6 8 】

[3] 第 1 周波数調整工程（ステップ S 3）

次に、検出振動腕 4 8、4 9 に設けられている錘膜 5 5、5 6 の少なくとも一部を除去して、検出周波数の調整を行う。ここで、[3] 第 1 周波数調整工程は、前述した [2] 周波数測定工程の結果に基づいて、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7（第 2 振動部）の共振周波数をその目標値まで調整するときの検出振動腕 4 8、4 9（第 1 振動部）の共振周波数の変動量を予測し、予測した当該変動量を考慮して、検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数を調整する。

40

【 0 0 6 9 】

図 5 は、図 3 に示す第 1 周波数調整工程における振動素子を説明する平面図である。図 6 は、図 3 に示す第 1 周波数調整工程後の素子ごとの駆動周波数および検出周波数の一例を説明するグラフである。なお、図 6 に示すグラフの縦軸および横軸ならびに図 6 中の「 f_{dr} 」、「 f_{de} 」、「 A_{dr} 」および「 A_{de} 」は、前述した図 4 の説明と同様である。また、図 6 に示すグラフの縦軸のスケールは、前述した図 4 に示すグラフの縦軸のスケールと同じである。

50

【 0 0 7 0 】

本工程では、錘膜 5 5、5 6 の少なくとも一部を例えばレーザーにより除去することで、図 5 に示すように、錘膜 5 5 A、5 6 A を有する振動素子 1 A を得る。このとき、図 6 に示すように、調整後の検出周波数が目標値よりも低くなるように検出周波数の調整を行う。これは、その後の [7] 第 2 周波数調整工程における駆動周波数の変化（高周波数化）に伴って検出周波数も変化（高周波数化）する分を見込んでいるためである。本実施形態では、錘膜 5 5、5 6 の先端側の部分 5 5 R A、5 6 R A を除去する。

【 0 0 7 1 】

図 7 は、図 2 に示す振動素子の駆動周波数の調整による変化に伴う検出周波数の変化を示すグラフである。

10

【 0 0 7 2 】

検出振動腕 4 8、4 9 は、基部 4 1 および連結腕 4 2、4 3 を介して駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 に接続されていて駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 とは完全には独立した振動系でない。そのため、駆動周波数の変化（高周波数化）に伴って検出周波数も変化（高周波数化）してしまう。このような駆動周波数の変化に伴う検出周波数の変化は、図 7 に示すように、線形となる。

【 0 0 7 3 】

なお、図 7 に示す駆動周波数の変化に伴う検出周波数の変化は、ある形態の振動素子について、実験により求めた一例である。また、かかる実験は、錘膜にレーザーを所定ピッチずつずらして複数回ライン状に走査・照射して錘膜を除去することで駆動周波数を変化させ、その際の駆動周波数および検出周波数のそれぞれを測定することにより行ったものである。

20

【 0 0 7 4 】

[3] 第 1 周波数調整工程においては、このような線形の関係式、[2] 周波数測定工程で測定された駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数、および、[7] 第 2 周波数調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の目標値を用いて、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数をその目標値まで調整するときの検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数の変動量を求める。

【 0 0 7 5 】

ここで、かかる関係式が 1 次式であり、[2] 周波数測定工程で測定された駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数と [7] 第 2 周波数調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の目標値との差分を用いて、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数をその目標値まで調整するときの検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数の変動量を求める。

30

【 0 0 7 6 】

より具体的には、[2] 周波数測定工程で得られた駆動周波数 f_{dr} と目標値 A_{dr} との差、すなわち、後述する [7] 第 2 周波数調整工程における駆動周波数の調整量（駆動周波数変化 f_{dr} ）を、前述した関係式に代入することで、[7] 第 2 周波数調整工程での検出周波数の予測変化量（検出周波数変化 f_{de1} ）を求める。

【 0 0 7 7 】

そして、求められた検出周波数の予測変化量分を、[2] 周波数測定工程で得られた検出周波数 f_{de} と目標値 A_{de} との差、すなわち、最終的な検出周波数の調整量から差し引くことで、[3] 第 1 周波数調整工程における検出周波数の調整量を求める。このようにして、目標値 A_{de} よりも低い調整値を求め、その調整値となるように、検出周波数を調整する。

40

【 0 0 7 8 】

[4] 実装工程（ステップ S 4）

次に、図示しないが、ウエハー状態の振動素子 1 を水晶基板から切り離し（例えば折り取り部を折り取り）、前述したパッケージ 1 1 のベース 1 1 1 に実装する。なお、本工程では、リッド 1 1 2 は、ベース 1 1 1 に接合してもよいし、しなくてもよい。

【 0 0 7 9 】

50

[5] 周波数変動特性測定工程 (ステップ S 5)

その後、振動素子 1 をパッケージ 1 1 に実装した状態で、錘膜 5 1 ~ 5 4 の少なくとも 1 つの一部を規定量だけ除去し、それによる駆動周波数の変化量を測定することで、加工量に対する駆動周波数の変化量 (単位加工量あたりの駆動周波数の変化量) を求める。ここで、振動素子 1 が複数ある場合、[5] 周波数変動特性測定工程は、複数の振動素子 1 のうちの少なくとも 1 つを選択して行えばよい。

【 0 0 8 0 】

図 8 は、図 3 に示す周波数変動特性測定工程における振動素子を説明する平面図である。

【 0 0 8 1 】

本工程では、錘膜 5 1 ~ 5 4 のうち、少なくとも 1 つの錘膜 (本実施形態では錘膜 5 3) を選択し、選択された錘膜の一部を 1 ライン分だけ除去する。これにより、例えば、図 8 に示すように、規定量だけ除去された錘膜 5 3 B を有する振動素子 1 B を得る。ここで、選択された錘膜 5 3 は、後述する [6] 第 1 漏れ振動調整工程で加工する錘膜である。本実施形態では、[6] 第 1 漏れ振動調整工程で加工する錘膜は、錘膜 5 3、5 4 であり、錘膜 5 3 の方が錘膜 5 4 よりも [6] 第 1 漏れ振動調整工程での加工量が大きい。また、本工程での加工量は、後述する [6] 第 1 漏れ振動調整工程での加工量よりも少ないことが好ましい。これにより、本工程で加工された振動素子 1 が無駄となることを防止することができる。本実施形態では、錘膜 5 3 の先端側の部分 5 3 R B を除去する。

【 0 0 8 2 】

[6] 第 1 漏れ振動調整工程 (ステップ S 6)

次に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数が互いに等しくなるように、錘膜 5 1 ~ 5 4 の少なくとも一部を除去して、振動漏れの調整 (粗調整) を行う。すなわち、[6] 第 1 漏れ振動調整工程は、[3] 第 1 周波数調整工程と [7] 第 2 周波数調整工程との間に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 (第 2 振動部) の振動漏れを低減させる調整を行う。

【 0 0 8 3 】

ここで、「振動漏れ」とは、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 を駆動振動させており、かつ回転が加わっていない時に、検出振動腕 4 8、4 9 から出力される信号 (オフセットあるいはゼロ点信号) のことをいう。

【 0 0 8 4 】

図 9 は、図 3 に示す第 1 漏れ振動調整工程における振動素子を説明する平面図である。

本工程では、錘膜 5 1 ~ 5 4 (または錘膜 5 1、5 2、5 3 B、5 4) のうち、少なくとも 1 つの錘膜 (本実施形態では錘膜 5 3 B、5 4) を選択し、選択された錘膜の少なくとも一部を除去する。これにより、図 9 に示すように、所定量除去された錘膜 5 3 C、5 4 C を有する振動素子 1 C を得る。本実施形態では、錘膜 5 3 B、5 4 の先端側の部分 5 3 R C、5 4 R C を除去する。

【 0 0 8 5 】

特に、本実施形態では、錘膜 5 3 を長さ方向 (駆動振動腕 4 6 の延出方向) に 2 分割した領域 5 3 a、5 3 b に分けて捉え、その 2 分割した領域 5 3 a、5 3 b のうちの一方 (本実施形態では先端側) の領域 5 3 b を [6] 第 1 漏れ振動調整工程に用い、他方 (本実施形態では基端側) の領域 5 3 a を [7] 第 2 周波数調整工程に用いる。同様に、錘膜 5 1 を領域 5 1 a、5 1 b に分けて捉え、錘膜 5 2 を領域 5 2 a、5 2 b に分けて捉え、錘膜 5 4 を領域 5 4 a、5 4 b に分けて捉える。

【 0 0 8 6 】

[7] 第 2 周波数調整工程 (ステップ S 7)

次に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 に設けられている錘膜 5 1、5 2、5 3 C、5 4 C のそれぞれの少なくとも一部を除去して、駆動周波数、すなわち駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 (第 2 振動部) の共振周波数を調整する。このとき、本実施形態では、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 に設けられている錘膜 5 1、5 2、5 3 C、5 4 C のそれぞれの少なくとも一部を同量ずつ除去する。これにより、漏れ振動が増えるのを低減することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 7 】

図 1 0 は、図 3 に示す第 2 周波数調整工程における振動素子を説明する平面図である。図 1 1 は、図 3 に示す第 2 周波数調整工程後の素子ごとの駆動周波数および検出周波数の一例を説明するグラフである。なお、図 1 1 に示すグラフの縦軸および横軸ならびに図 1 1 中の「f d r」、「f d e」、「A d r」および「A d e」は、前述した図 4 の説明と同様である。また、図 1 1 に示すグラフの縦軸のスケールは、前述した図 4 に示すグラフの縦軸のスケールと同じである。

【 0 0 8 8 】

本工程では、錘膜 5 1、5 2、5 3 C、5 4 C のそれぞれの少なくとも一部を例えばレーザーにより除去することで、図 1 0 に示すように、錘膜 5 1 D ~ 5 4 D を有する振動素子 1 D を得る。このとき、図 1 1 に示すように、調整後の駆動周波数が目標値となるように駆動周波数の調整を行う。このとき、駆動周波数の変化に伴って検出周波数も変化して目標値となる。本実施形態では、錘膜 5 1、5 2、5 3 C、5 4 C の基端側の部分 5 1 R D ~ 5 4 R D を除去する。これらの部分 5 1 R D ~ 5 4 R D は、互いに平面視で同形状および同面積であり、また、振動素子 1 C の中心から互いに等距離にある。これにより、同じ加工量で駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数を同じ量だけ変化させることができる。そのため、比較的簡単に、前述した [6] 第 1 漏れ振動調整工程後のバランスをできるだけ維持しつつ、各駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数を調整することができる。

【 0 0 8 9 】

特に、本実施形態では、前述した領域 5 1 a ~ 5 4 a を [7] 第 2 周波数調整工程に用いる。これにより、[7] 第 2 周波数調整工程での調整を簡単かつ高精度に行うことができる。これに対し、例えば、[6] 第 1 漏れ振動調整工程および [7] 第 2 周波数調整工程で錘膜 5 3 の一端から連続的に錘膜 5 3 を除去すると、[6] 第 1 漏れ振動調整工程での加工量の変動に伴って、[7] 第 2 周波数調整工程での加工位置が変動してしまい、それに伴って、同じ加工量でも駆動周波数が変動してしまう。

【 0 0 9 0 】

また、[7] 前記第 2 周波数調整工程において、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 (第 2 振動部) の共振周波数の調整は、複数回に分けて行うことが好ましい。これにより、歩留まりよく、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数を高精度に調整することができる。

【 0 0 9 1 】

[8] 第 2 漏れ振動調整工程 (ステップ S 8)

その後、必要に応じて、前述した [6] 第 1 漏れ振動調整工程と同様に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数が互いに等しくなるように、錘膜 5 1 ~ 5 4 の少なくとも一部を除去して、振動漏れの調整 (微調整) を行う。すなわち、[8] 第 2 漏れ振動調整工程は、[7] 第 2 周波数調整工程の後に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 (第 2 振動部) の振動漏れを低減させる調整を行い、[8] 第 2 漏れ振動調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の変化量は、[6] 第 1 漏れ振動調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の変化量よりも小さい。これにより、[6] 第 1 漏れ振動調整工程での調整が不足していたり、[7] 第 2 周波数調整工程で振動素子 1 の振動バランスが崩れたりしても、振動漏れを低減することができる。

以上により、所望の周波数特性を有する物理量センサー 1 0 を得る。

【 0 0 9 2 】

以上説明したような物理量センサー 1 0 の製造方法および振動素子 1 の周波数調整方法は、それぞれ、振動する駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 (第 2 振動部) および検出振動腕 4 8、4 9 (第 1 振動部) を有する振動素子 1 を形成する [1] 振動素子形成工程と、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 および検出振動腕 4 8、4 9 のそれぞれの共振周波数を測定する [2] 周波数測定工程と、[2] 周波数測定工程の結果に基づいて、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数を目標値まで調整するときの検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数の変動量を予測変動量として求め、その予測変動量および [2] 周波数測定工程において測定した検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数に基づいて、検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数を調整する [3]

第1周波数調整工程と、駆動振動腕44～47の共振周波数を調整する[7]第2周波数調整工程と、を有する。

【0093】

ここで、振動素子1は、前述したように、基部41と、基部41から互いに異なる方向に延出している検出振動腕48、49(第1、第2検出振動腕)と、基部41から互いに異なる方向に延出している連結腕42、43(第1、第2連結腕)と、連結腕42、43の先端部から互いに異なる方向に延出している駆動振動腕44～47(第1～第4駆動振動腕)と、を備え、第2振動部である駆動振動腕44～47には、錘膜51～54(第1～第4錘膜)が設けられ、第1振動部である検出振動腕48、49には、錘膜55、56(第5、第6錘膜)が設けられている。

10

【0094】

そして、[3]第1周波数調整工程において、錘膜55、56のうちの少なくとも一方の一部を除去することで、検出振動腕48、49の共振周波数を調整し、[7]第2周波数調整工程において、錘膜51～54のうちの少なくとも1つの一部を除去することで、駆動振動腕44～47の共振周波数を調整する。これにより、いわゆるダブルT型の振動素子1の駆動周波数、検出周波数および離調周波数の調整を簡単かつ高精度に行うことができる。

【0095】

このような物理量センサー10の製造方法および振動素子1の周波数調整方法によれば、それぞれ、[3]第1周波数調整工程において、駆動振動腕44～47の共振周波数をその目標値まで調整するときの検出振動腕48、49の共振周波数の変動量を予測し、予測した当該変動量を考慮して、検出振動腕48、49の共振周波数を調整するため、[7]第2周波数調整工程において、駆動振動腕44～47の共振周波数を調整するのに伴って、検出振動腕48、49の共振周波数を目標値に調整することができる。そのため、駆動振動腕44～47および検出振動腕48、49の共振周波数をそれぞれの目標値に高精度に調整し、それに伴って、駆動振動腕44～47の共振周波数と検出振動腕48、49の共振周波数との差である離調周波数もその目標値に高精度に調整することができる。よって、駆動振動腕44～47および検出振動腕48、49を有する振動素子1の素子ごとの特性のバラツキを低減することができる。

20

【0096】

特に、[3]第1周波数調整工程において、駆動振動腕44～47(第2振動部)の共振周波数を調整するときの調整量に対する検出振動腕48、49(第1振動部)の共振周波数の変動量の関係式、[2]周波数測定工程で測定された駆動振動腕44～47の共振周波数、および、[7]第2周波数調整工程における駆動振動腕44～47の共振周波数の目標値を用いて、前述した予測変動量を求める。これにより、駆動振動腕44～47の共振周波数をその目標値まで調整するときの検出振動腕48、49の共振周波数の変動量を簡単かつ高精度に求めることができる。

30

【0097】

ここで、かかる関係式が1次式であり、[3]第1周波数調整工程において、かかる関係式、および、[2]周波数測定工程で測定された駆動振動腕44～47(第2振動部)の共振周波数と[7]第2周波数調整工程における駆動振動腕44～47の共振周波数の目標値との差分を用いて、前述した予測変動量を求める。これにより、駆動振動腕44～47の共振周波数をその目標値まで調整するときの検出振動腕48、49の共振周波数の変動量をより簡単かつ高精度に求めることができる。

40

【0098】

また、振動素子1において、第2振動部(駆動振動部)である駆動振動腕44～47は、駆動信号に応じて駆動振動し、第1振動部(検出振動部)である検出振動腕48、49は、駆動振動腕44～47に働くコリオリ力に応じて検出振動して検出信号を出力する。このような駆動振動腕44～47および検出振動腕48、49を有する振動素子1は、[2]周波数測定工程において、駆動信号のための配線を利用して駆動振動腕44～47の

50

共振周波数を測定するとともに、検出信号のための配線を利用して検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数を測定することができる。また、検出振動腕 4 8、4 9 の共振周波数の調整の後に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の調整を行うため、製品に近い実装状態で駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の調整を行うことができる。

【 0 0 9 9 】

また、物理量センサー 1 0 の製造方法は、[6] 第 1 漏れ振動調整工程および [8] 第 2 漏れ振動調整工程を有し、[6] 第 1 漏れ振動調整工程は、[3] 第 1 周波数調整工程と [7] 第 2 周波数調整工程との間に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 (第 2 振動部) の振動漏れを低減させる調整を行い、[8] 第 2 漏れ振動調整工程は、[7] 第 2 周波数調整工程の後に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の振動漏れを低減させる調整を行う。ここで、[8] 第 2 漏れ振動調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の変化量は、[6] 第 1 漏れ振動調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の変化量よりも小さい。これにより、得られる物理量センサー 1 0 において、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の漏れ振動を低減することができる。特に、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の漏れ振動を低減する工程を、[7] 第 2 周波数調整工程を挟んで [6] 第 1 漏れ振動調整工程および [8] 第 2 漏れ振動調整工程の 2 回に分け、[8] 第 2 漏れ振動調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の変化量を [6] 第 1 漏れ振動調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の変化量よりも小さくすることで、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の変動を低減しつつ、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の漏れ振動を効果的に低減することができる。

10

20

【 0 1 0 0 】

特に、錘膜 5 1 ~ 5 4 (第 1 ~ 第 4 錘膜) のそれぞれを 2 つの領域に分割 (領域 5 1 a ~ 5 4 a と領域 5 1 b ~ 5 4 b とに分割) して捉え、漏れ振動調整工程である [6] 第 1 漏れ振動調整工程において、各錘膜 5 1 ~ 5 4 の少なくともいずれかの 2 つの領域のうちの一方の領域 (領域 5 1 b ~ 5 4 b) の少なくとも一部を除去する。そして、[7] 第 2 周波数調整工程において、各錘膜 5 1 ~ 5 4 の 2 つの領域のうち他方の領域 (領域 5 1 a ~ 5 4 a) の少なくとも一部を除去する。これにより、[7] 第 2 周波数調整工程における錘膜 5 1 ~ 5 4 の除去位置が [6] 第 1 漏れ振動調整工程における錘膜 5 1 ~ 5 4 の除去位置の影響を受けるのを低減することができる。そのため、[7] 第 2 周波数調整工程における駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数の調整を簡単かつ高精度に行うことができる。

30

【 0 1 0 1 】

< 第 2 実施形態 >

図 1 2 は、本発明の第 2 実施形態に係る第 1 周波数調整工程における振動素子を説明する平面図である。図 1 3 は、本発明の第 2 実施形態に係る第 1 漏れ振動調整工程における振動素子を説明する平面図である。図 1 4 は、本発明の第 2 実施形態に係る第 2 周波数調整工程における振動素子を説明する平面図である。

【 0 1 0 2 】

以下、本実施形態について、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

【 0 1 0 3 】

本実施形態の物理量センサー 1 0 の製造方法では、図 1 2 に示すように、錘膜 5 1 を幅方向 (駆動振動腕 4 4 の幅方向) に 2 分割した領域 5 1 c、5 1 d に分けて捉え、その 2 分割した領域 5 1 c、5 1 d のうちの一方 (本実施形態では基部 4 1 側) の領域 5 1 c を [6] 第 1 漏れ振動調整工程に用い、他方 (本実施形態では基部 4 1 とは反対側) の領域 5 1 d を [7] 第 2 周波数調整工程に用いる。同様に、錘膜 5 2 を領域 5 2 c、5 2 d に分けて捉え、錘膜 5 3 を領域 5 3 c、5 3 d に分けて捉え、錘膜 5 4 を領域 5 4 c、5 4 d に分けて捉える。

40

【 0 1 0 4 】

本実施形態の [6] 第 1 漏れ振動調整工程では、駆動振動腕 4 4 ~ 4 7 の共振周波数が互いに等しくなるように、錘膜 5 3、5 4 の領域 5 3 c、5 4 c のそれぞれの一部 (図示

50

では、部分 5 3 R E、5 4 R E) を除去して、振動漏れの調整 (粗調整) を行う。これにより、図 1 3 に示すように、所定量除去された錘膜 5 3 E、5 4 E を有する振動素子 1 E を得る。

【0105】

また、本実施形態の [7] 第 2 周波数調整工程では、錘膜 5 1 ~ 5 4 の領域 5 1 d ~ 5 4 d のそれぞれの少なくとも一部 (図示では、部分 5 1 R F ~ 5 4 R F) を同量ずつ除去して、駆動周波数の調整を行う。図 1 4 に示すように、錘膜 5 1 F ~ 5 4 F を有する振動素子 1 F を得る。

【0106】

以上説明したような製造方法によって製造された物理量センサー 1 0 は、各種デバイス、各種電子機器、各種移動体等に組み込んで使用することができる。

10

【0107】

以上、本発明の物理量センサーの製造方法および振動素子の周波数調整方法について、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これらに限定されるものではない。

【0108】

また、本発明では、各部の構成は、同様の機能を発揮する任意の構成のものに置換することができるが、また、任意の構成を付加することもできる。

【0109】

また、前述した実施形態では、ダブル T 型の振動素子に本発明を適用した場合を例に説明したが、本発明を適用可能な振動素子は、2 つ以上の振動腕 (第 1 振動部および第 2 振動部) を有する振動素子であれば、特に限定されず、例えば、H 型の振動素子であってもよい。また、図示の振動素子の形状、大きさ等の形態は、説明の便宜上模式的に示したものであり、本発明を適用可能な振動素子が図示のものに限定されないことは言うまでもない。

20

【符号の説明】

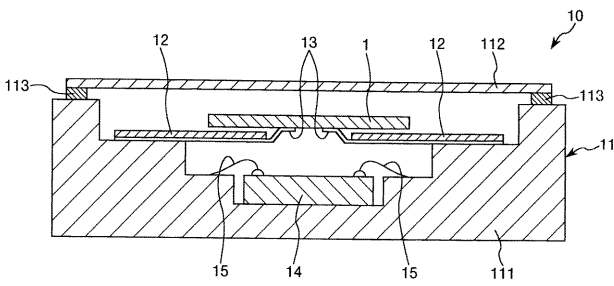
【0110】

1 ... 振動素子、1 A ... 振動素子、1 B ... 振動素子、1 C ... 振動素子、1 D ... 振動素子、1 E ... 振動素子、1 F ... 振動素子、4 ... 振動体、5 ... 錘膜パターン、1 0 ... 物理量センサー、1 1 ... パッケージ、1 2 ... 支持基板、1 3 ... 配線パターン、1 4 ... 回路素子、1 5 ... 導電性ワイヤー、4 1 ... 基部、4 2 ... 連結腕、4 3 ... 連結腕、4 4 ... 駆動振動腕、4 5 ... 駆動振動腕、4 6 ... 駆動振動腕、4 7 ... 駆動振動腕、4 8 ... 検出振動腕、4 9 ... 検出振動腕、5 1 ... 錘膜、5 1 D ... 錘膜、5 1 F ... 錘膜、5 1 R A ... 部分、5 1 R D ~ 5 4 R D ... 部分、5 1 R F ~ 5 4 R F ... 部分、5 1 a ... 領域、5 1 b ... 領域、5 1 c ... 領域、5 1 d ... 領域、5 2 ... 錘膜、5 2 D ... 錘膜、5 2 F ... 錘膜、5 2 a ... 領域、5 2 b ... 領域、5 2 c ... 領域、5 2 d ... 領域、5 3 ... 錘膜、5 3 B ... 錘膜、5 3 C ... 錘膜、5 3 D ... 錘膜、5 3 E ... 錘膜、5 3 F ... 錘膜、5 3 R B ... 部分、5 3 R C ... 部分、5 1 R E ... 部分、5 3 a ... 領域、5 3 b ... 領域、5 3 c ... 領域、5 3 d ... 領域、5 4 ... 錘膜、5 4 C ... 錘膜、5 4 D ... 錘膜、5 4 E ... 錘膜、5 4 F ... 錘膜、5 4 R C ... 部分、5 1 R E ... 部分、5 4 a ... 領域、5 4 b ... 領域、5 4 c ... 領域、5 4 d ... 領域、5 5 ... 錘膜、5 5 A ... 錘膜、5 5 R A ... 部分、5 6 ... 錘膜、5 6 A ... 錘膜、5 6 R A ... 部分、1 1 1 ... ベース、1 1 2 ... リッド、1 1 3 ... 接合部材、4 4 1 ... 幅広部、4 5 1 ... 幅広部、4 6 1 ... 幅広部、4 7 1 ... 幅広部、4 8 1 ... 幅広部、4 9 1 ... 幅広部、A d e ... 目標値、A d r ... 目標値、S 1 ... ステップ、S 2 ... ステップ、S 3 ... ステップ、S 4 ... ステップ、S 5 ... ステップ、S 6 ... ステップ、S 7 ... ステップ、S 8 ... ステップ、a ... 中心軸、f d e ... 検出周波数、f d r ... 駆動周波数、... 矢印、... 矢印、... 矢印、... 角速度

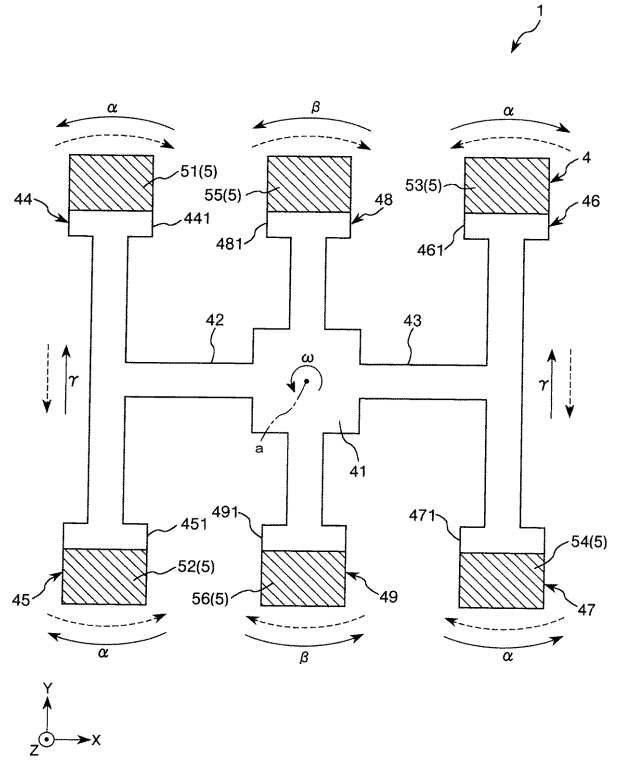
30

40

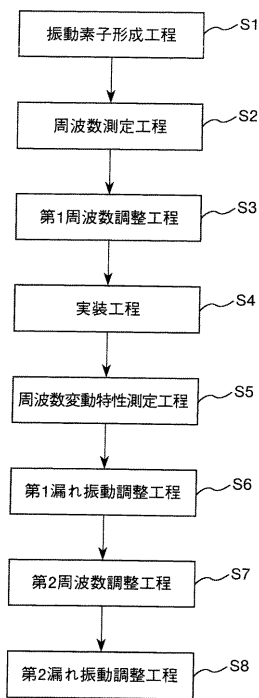
【 図 1 】



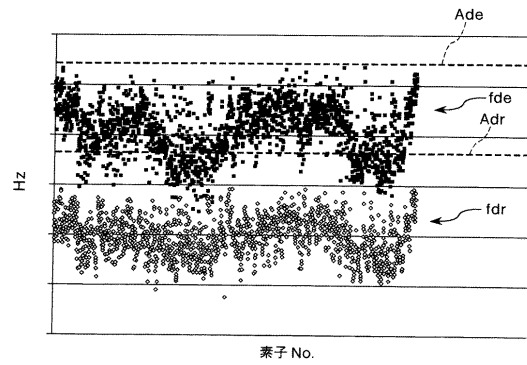
【 図 2 】



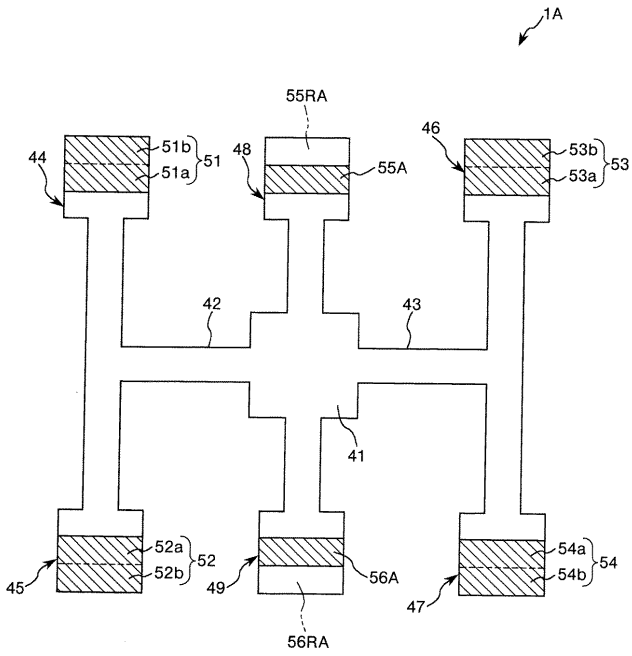
【 図 3 】



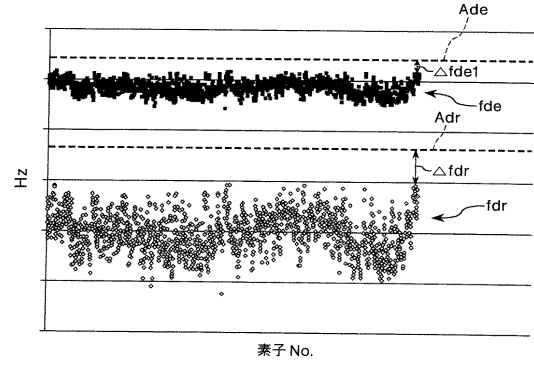
【 図 4 】



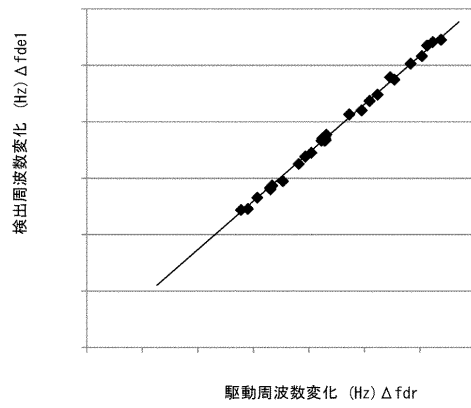
【 図 5 】



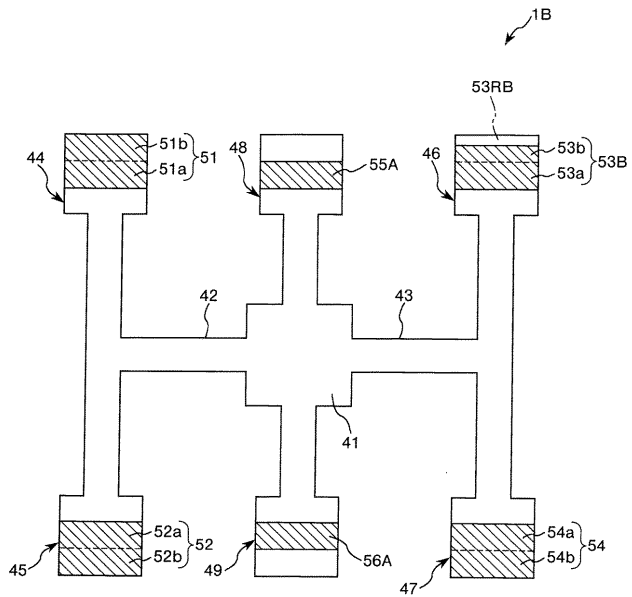
【 図 6 】



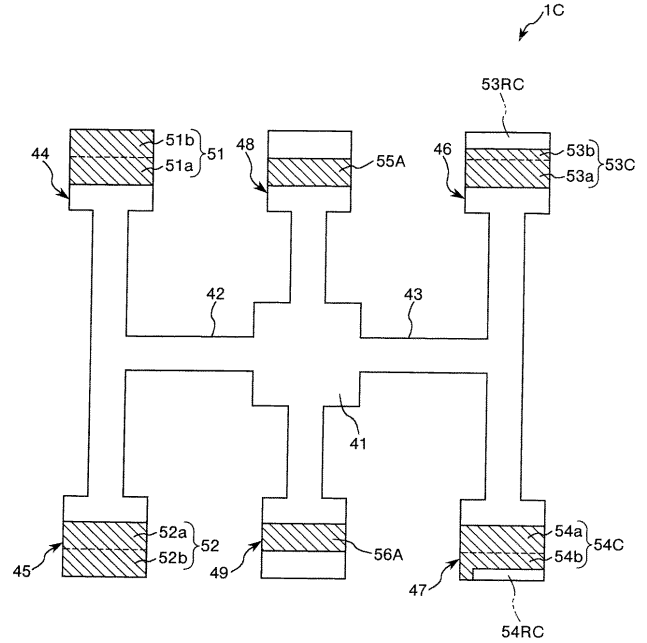
【 図 7 】



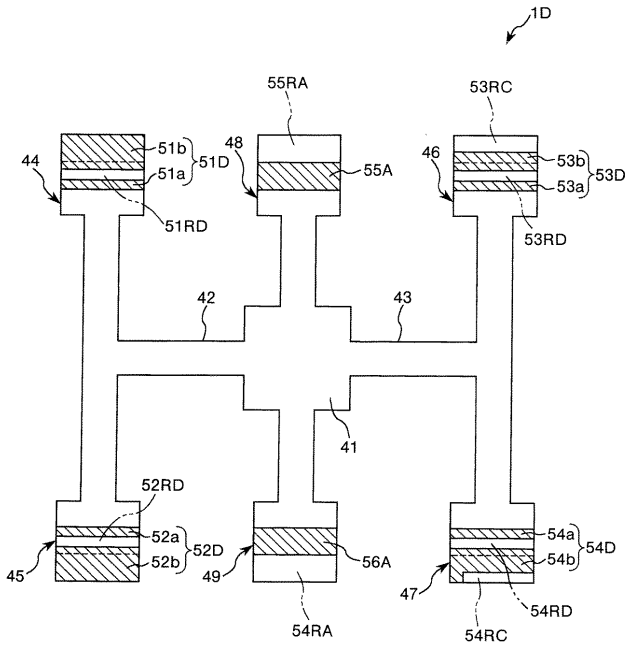
【 図 8 】



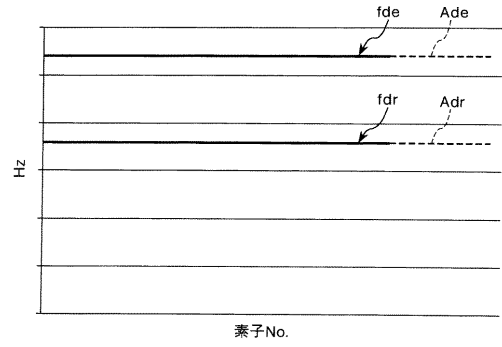
【 図 9 】



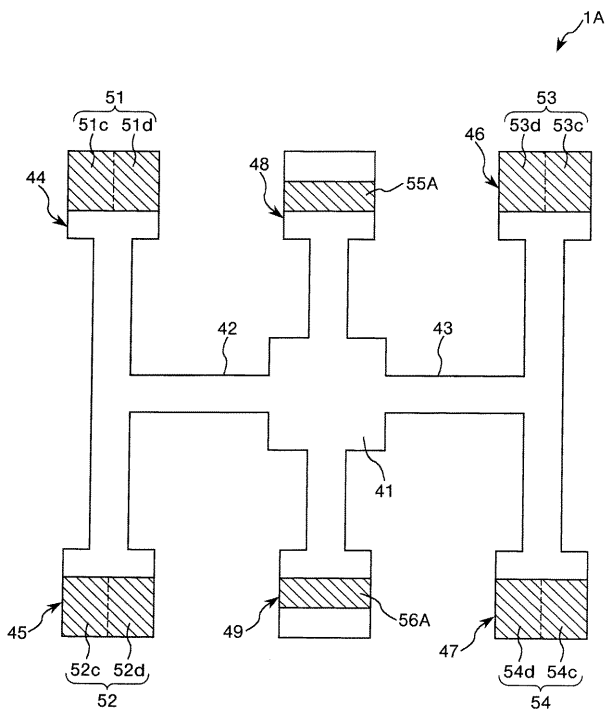
【 図 1 0 】



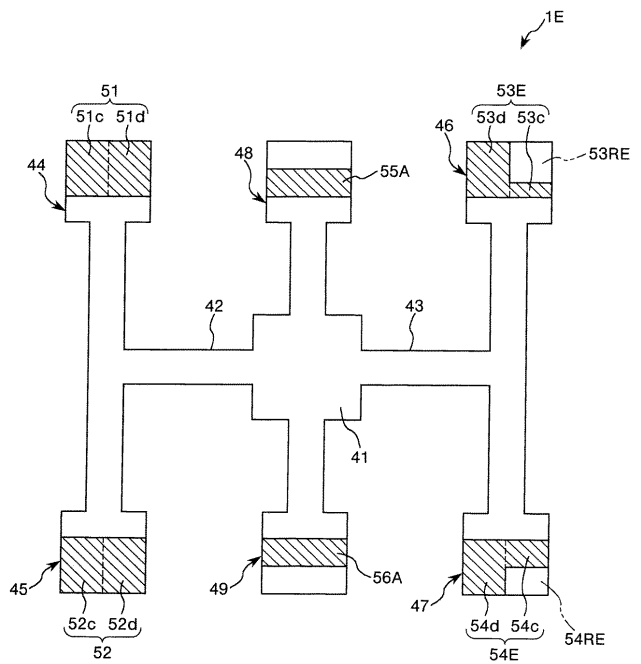
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

