

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4728242号
(P4728242)

(45) 発行日 平成23年7月20日(2011.7.20)

(24) 登録日 平成23年4月22日(2011.4.22)

(51) Int.Cl.		F I	
HO3H	9/24	(2006.01)	HO3H 9/24 Z
HO3H	9/46	(2006.01)	HO3H 9/46 Z
HO3H	9/00	(2006.01)	HO3H 9/00
B81B	3/00	(2006.01)	B81B 3/00

請求項の数 8 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2006-531388 (P2006-531388)	(73) 特許権者	000005821 パナソニック株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(86) (22) 出願日	平成17年7月22日(2005.7.22)	(73) 特許権者	504289691 川勝 英樹 東京都世田谷区尾山台1-9-18
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/013502	(74) 代理人	100105647 弁理士 小栗 昌平
(87) 国際公開番号	W02006/013741	(74) 代理人	100108589 弁理士 市川 利光
(87) 国際公開日	平成18年2月9日(2006.2.9)	(74) 代理人	100119552 弁理士 橋本 公秀
審査請求日	平成20年3月27日(2008.3.27)	(72) 発明者	川勝 英樹 東京都世田谷区尾山台1-9-18
(31) 優先権主張番号	特願2004-229666 (P2004-229666)		
(32) 優先日	平成16年8月5日(2004.8.5)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振り共振器およびこれを用いたフィルタ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

梁構造体で構成され、振り振動を行う振動体と、

前記振動体の前記梁構造体の軸に対し対称な部分に近接し、前記振動体との間の電位差により生ずる静電力が、前記梁構造体の軸を中心軸としたモーメントを生起し、前記振動体の振り振動に伴い、一方の電極と前記振動体との距離が遠ざかるとき、他方の電極と前記振動体との距離が近づく位置にそれぞれ配置された電極対と、

前記電極対のそれぞれに、前記振動体の電位を基準として、同一の交流信号と、互いに極性の異なる直流バイアス電圧とを印加するように構成された駆動手段と、
を具備した振り共振器。

【請求項2】

請求項1に記載の振り共振器であって、

前記梁構造体は、軸対称となる位置に突出部を具備した梁を備えた振り共振器。

【請求項3】

請求項1または2に記載の振り共振器であって、

前記梁構造体は、パドル状の突出部を具備した振り共振器。

【請求項4】

請求項1乃至3のいずれか1項に記載の振り共振器であって、

2対以上の電極対を有し、

前記駆動手段は、前記電極対の少なくとも一部の電極に印加される直流バイアス電圧の

極性を切り替えることで、振り共振の低次モードと高次モードとを切り替えるようにした振り共振器。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の振り共振器であって、異なる振り共振周波数を有する前記複数の振り共振器と、前記振り共振器の少なくとも 1 つを選択するスイッチ素子とを備えた振り共振器。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の振り共振器であって、電氣的に並列に配置された複数の振り共振器を備えた振り共振器。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の振り共振器であって、前記振り共振器が、雰囲気真空に封止したケース内に収納された振り共振器。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の振り共振器を用いたフィルタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振り共振器およびこれを用いたフィルタに係り、特に高密度に集積化された電気回路内において、振り共振を用いて高性能のフィルタ回路を実現するものに関する。

【背景技術】

【0002】

従来の機械共振器について図 18 を参照して説明する。図 18 は非特許文献 1 に紹介されている「たわみ振動を用いた機械振動フィルタ」の構成を簡略化して示した図である。

このフィルタは、シリコン基板上に薄膜プロセスを用いてパターン形成を行うことで形成され、入力線路 104 と、出力線路 105 と、それぞれの線路に対して 1 ミクロン以下の空隙をもって配置された両持ち梁 101、102 と、その 2 つの梁を結合する結合梁 103 とで構成されている。入力線路 104 から入力した信号は、梁 101 と容量的に結合し、梁 101 に静電力を発生させる。信号の周波数が、梁 101、102 および結合梁 103 からなる弾性構造体の共振周波数近傍と一致したときのみ、機械振動が励振され、この機械振動をさらに出力線路 105 と梁 102 との間の静電容量の変化として検出することで、入力信号のフィルタリング出力を取り出すようにしたものである。

【0003】

矩形断面の両持ち梁の場合、弾性率 E、密度 ρ 、厚み h、長さ L とすると、たわみ振動の共振周波数 f は、次式となる。

【数 1】

$$f = 1.03 \frac{h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

【0004】

材料をポリシリコンとすると $E = 160 \text{ GPa}$ 、 $\rho = 2.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、また寸法を $L = 40 \mu\text{m}$ 、 $h = 1.5 \mu\text{m}$ とすると $f = 8.2 \text{ MHz}$ となり、約 8 MHz 帯のフィルタを構成することが可能である。コンデンサやコイルなどの受動回路で構成したフィルタに比べて、機械共振を用いることで、Q 値の高い急峻な周波数選択特性を得ることができる。

【0005】

しかしながら、上記構成では、さらに高周波帯のフィルタを構成するには、以下のような制約がある。すなわち、(数 1) から明らかなように、第 1 に材料を変更して E / ρ を

10

20

30

40

50

大きくすることが望ましいことがわかるが、Eを大きくすると、梁をたわませる力が同じであっても梁の変位量は小さくなってしまい、梁の変位を検知することが難しくなる。また、梁の曲がりやすさをあらわす指標を、両持ち梁の梁表面に静荷重を加えたときの梁中心部のたわみ量dと梁の長さLの比d/Lとすると、d/Lは、次式の比例関係で表される。

【数2】

$$\frac{d}{L} \propto \frac{L^3}{h^3} \cdot \frac{1}{E}$$

10

【0006】

これらから、d/Lの値を保ちながら共振周波数を上げるには、少なくともEは変更できず、密度の低い材料を求める必要があるが、ポリシリコンと同等のヤング率で密度が低い材料としてはCFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 等の複合材料を用いる必要がある。この場合、半導体プロセスで微小機械振動フィルタを構成することは難しくなる。

【0007】

そこで、このような複合材料を用いない第2の方法としては、(数1)において梁の寸法を変更して、 $h \cdot L^{-2}$ を大きくすることがある。しかし、梁の厚みhを大きくすると、梁の長さLを小さくすることは、たわみやすさの指標である(数2)のd/Lを小さくしてしまい、梁のたわみを検出することが困難となる。

20

【0008】

(数1)および(数2)について、 $\log(L)$ と $\log(h)$ の関係を図19に示すと、直線191は(数1)から求まる関係であり、直線192は(数2)から求まる関係である。この図19において、現寸法A点を起点に傾き「2」の直線より上の範囲(領域A)のLとhを選ぶとfは大きくなり、傾き「1」の直線より下の範囲(領域B)のLとhを選ぶとd/Lは大きくなる。従って、図中のハッチング部分(領域C)が梁のたわみ量も確保しつつ、共振周波数を上げることができるLとhの範囲である。

30

【0009】

図19より明らかなことは、機械振動フィルタの高周波化には、梁の長さLおよび梁の厚みh双方の寸法の微小化が必要条件であり、Lおよびhを同じスケールで小型化すること、すなわち傾き1の直線に乗りながらLとhを小さくすることは、図19のハッチング部分の十分条件である。

【0010】

このように、従来の機械共振器では機械振動体の寸法を小型化することで、共振周波数は高周波化される。しかし、概して寸法を小型化することで、たわみ振動の機械的Q値が低下するという課題を有していた。この現象については例えば非特許文献2において、単結晶シリコン片持ち梁を用いて、梁の長さ、厚みおよびたわみ共振のQ値の関係を測定した結果が示されている。この非特許文献2では、梁の長さを短く、かつ梁の厚さを薄くすることでQ値は低下していることが示されている。従って、従来のたわみ振動を用いた共振器を小型化してフィルタに適用すると、望ましい周波数選択特性を得るために必要なQ値が得られない場合も生じるという課題を有していた。

40

【0011】

そこで、Q値のすぐれた共振器として振り振動子を利用した振り共振器が考えられる。例えば図21に示すように、この振り共振器は、両持ち梁中央部にパドル202を有する振動子201を用いて、入力線路204とパドル202との間の静電力で振動子を励振し、出力線路205とパドル202間の静電容量の変化を電気信号に変換する。この振り共振器においては、パドルと入力線路間電圧Vi、パドル202と出力線路205間電圧V

50

○各々の大きさや位相差によって励起されるモードが異なる。今、 $|V_i| > |V_o|$ とし、 V_o による静電力の梁の振動への関与が極めて少ないとすると、振動子にはたわみ振動と捩り振動が励起される。

【0012】

このように、捩り振動子を利用した捩り共振器には捩り振動以外、すなわち捩り振動を励起する電極でたわみ振動も励起してしまうことになり、このような捩り共振器をフィルタに応用した場合は、通過帯域以外にも意図しない通過帯域を有することになる。

【0013】

また、特定の振動モードを選択的に励起する方法として、特許文献1に記載された作動シグナリングがある。これは、複数個の腹を有する高次のたわみ振動に対する励振方法であり、交流信号 v と180度位相の異なる $-v$ の信号のうち、一方を腹に近づく電極に印加し、他方を腹と遠ざかる電極に印加する。交流信号 v から交流信号 $-v$ を作製するには、 v を分波して180度移相器に通すのが一般的である。

【0014】

【非特許文献1】

Frank D.Bannon III, John R.Clark, and Clark T.-C.Nguyen, "High-Q HF Microelectromechanical Filters," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 35, No.4, pp.512-526, April 2000.

【非特許文献2】

K. Y. Yasumura et al., "Quality Factors in Micron-and Submicron-Thick Cantilevers", IEEE Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 9, No.1, March 2000.

【特許文献1】

特表2002-535865号公報(第20-21頁、図8)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

しかしながら、特許文献1の方法では、移相器には通常、波長オーダーの線路長が必要となるためフィルタの小型化の妨げとなる。また、180度の位相を精度良く作るための調整が必要となる。さらに目的とする周波数1点以外では目的とする移相量からのずれが生じるため、この交流信号を用いて適応的に共振周波数が可変な共振器を励振しようとすると、ある共振周波数では v と $-v$ で励振できても、異なる共振周波数に切り替えた場合は、 $-v$ の信号を確保するのが困難となる。

本発明は、前記実情に鑑みてなされたもので、簡易な方法で捩り共振器の捩り振動以外の振動モードを極力抑制することができ、高周波での使用が可能な捩り共振器を提供することを目的とする。

特に、本発明は、適応的に共振周波数が切替可能な共振器に対しても、簡易な方法で捩り振動以外の振動モードを極力抑制できる共振器を提供することも目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0016】

前記課題を解決するため、本発明の捩り共振器は、振動体が梁構造、または梁構造上にパドル状の突起構造を付加したものであり、電極と振動体間の電位差により生ずる静電力が、振動体の梁の軸を中心軸としたモーメントを加えるもので、かつ梁にたわみを生ずる力を加えないものであることを特徴とする。

本構成によって、簡易な方法で捩り共振器の捩り振動以外の振動モードを極力抑制することが可能となる。

【0017】

すなわち、本発明の捩り共振器は、梁構造体で構成され、捩り振動を行う振動体と、前記振動体の前記梁構造体の軸に対し対称な部分に近接し、前記振動体との間の電位差により生ずる静電力が、前記梁構造体の軸を中心軸としたモーメントを生起し、前記振動体の捩り振動に伴い、一方の電極と前記振動体との距離が遠ざかるとき、他方の電極と前記振

10

20

30

40

50

動体との距離が近づく位置にそれぞれ配置された電極対と、前記電極対のそれぞれに、前記振動体の電位を基準として、同一の交流信号と、互いに極性の異なる直流バイアス電圧とを印加するように構成された駆動手段と、を具備したことを特徴とする。

上記構成によれば、簡単な構成で振り振動を生起することができ、望ましいQ値をもつ共振特性を得ることができる。また、この構成によれば、簡単な構成で、振り振動のみを生起することができる。

【0018】

また、本発明の振り共振器は、前記梁構造体が、軸対称となる位置に突出部を具備した梁を備えたものを含む。

この構成によれば、電極と梁構造体との間で静電力を生起しやすく、効率よく振り振動を生起することができる。またこの梁は両持ち梁であれば、より安定であるが、片持ち梁であってもよい。

【0019】

また、本発明の振り共振器は、前記梁構造体が、パドル状の突出部を具備したものを含む。

【0020】

また、本発明の振り共振器は、2対以上の電極対を有し、前記駆動手段は、前記電極対の少なくとも一部の電極に印加される直流バイアス電圧の極性を切り替えることで、振り共振の低次モードと高次モードとを切り替えるようにしたものを含む。

【0021】

また、本発明の参考例の振り共振器は、前記電極が、前記振動体の振り振動に伴い、前記振動体との距離が等しくなるように、前記振動体に対し振れの方に配置されて電極対を構成しており、前記駆動手段は、前記振動体の振り振動に伴い、前記電極対には、同一交流信号と、同一の直流バイアス電圧を印加するように構成されたことを特徴とする。

この構成によれば、各電極に同一電圧を印加すればよいため、駆動手段を簡略化することができる。

【0022】

また、本発明の振り共振器は、異なる振り共振周波数を有する前記複数の振り共振器と、前記振り共振器の少なくとも1つを選択するスイッチ素子とを備えたものを含む。

【0023】

また、本発明の振り共振器は、電氣的に並列に配置された複数個の振り共振器を備えたものを含む。

【0024】

また、本発明の振り共振器は、前記振り共振器が、雰囲気真空に封止したケース内に収納されたものを含む。

また、本発明のフィルタは、上記振り共振器を用いたものを含む。

【発明の効果】

【0025】

本発明の振り共振器の構成によれば、Q値が高く、数百MHz～数GHz帯で使用可能なフィルタを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しつつ詳細に説明する。

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1における振り共振器の斜視図である。本実施の形態1の振り共振器は、軸対称位置にパドル状突起3a、3b、3c、3dを有する機械的振動を行う振動体1と、各パドル状突起3a、3b、3c、3dに近接して配置された電極4a、4b、4c、4dとを有し、各パドル状突起3a、3b、3c、3dとこれらにそれぞれ対応する電極4a、4b、4c、4dとの間の電圧変化を、前記振動体の振動に変換する電気機械変換機能を有する電気機械共振器であり、前記電極4a、4b、4c、4dと

10

20

30

40

50

前記振動体との間の電位差により生ずる静電力が、前記振動体 1 の梁構造体の軸を中心軸としたモーメントを生起するように構成された駆動手段とを具備したことを特徴とする。

【0027】

ここで、振動体 1 は両端を固定された両持ち梁である。振動体 1 には、4 つのパドル 3 a ~ 3 d が配置されている。各パドル 3 に対向して基板 2 上には電極 4 a ~ 4 d がギャップ g を介して配置されている。梁の材料はヤング率約 160 GPa の単結晶シリコンであり、長さ L は 1.0 μm 、厚さ t は 100 nm、幅 W は 100 nm、パドル長 L_p は 100 nm とした。

【0028】

振動体 1 は電氣的に接地されており、駆動手段 10 は、電極 4 a 乃至 4 d への通電を以下のように制御している。すなわち電極 4 a と 4 d にはバイアス電圧 V_p が印加されており、電極 4 b と 4 c にはバイアス電圧 - V_p が印加され、各電極 4 a ~ 4 d には交流信号が印加された状態を形成している。交流電圧の電位のピークにおいては、パドル 3 a と 3 d には最大の静電力が基板方向に向かって印加されている。また、そのときパドル 3 b と 3 c には、最小の静電力が基板方向に向かって印加されている。これは、動作点（交流電圧の電位が 0 のとき）からみると、パドル 3 a と 3 d には基板方向へ向かう力が、パドル 3 b と 3 c には基板 2 の上方へ向かう力が作用していることと等価となる。この結果、振動体 1 は軸まわりのモーメントを受けることになり、ねじり振動が励起される。図 1 の状態で、振動体 1 への励振を行った時のパドル先端の変位量を、周波数軸上で示した結果が図 2 である。図 3 に示したような共振波形を有する 1.8 GHz の捩り 2 次共振に、スペクトルのピークを持つ共振器が実現されている。ここで、共振波形とは、「振動子の軸がねじれている形」を意味し、軸がねじれることによってパドルは変位するが、パドル自身の変形するものではない。」

【0029】

なお、図 4 に示すように、対角線上にある電極 4 a と 4 d のみに、バイアス電圧 V_p と交流信号を印加したときの変位量のスペクトルは図 5 のようになり、1.8 GHz のねじり 2 次共振以外にも 0.70 GHz のたわみ 1 次共振（基板垂直方向）、2.9 GHz のたわみ 3 次共振（基板垂直方向）も励起されてしまい、本捩り共振器をフィルタ回路に適用する場合には、目的以外の周波数帯域にも通過域を持ってしまうことになり好ましくない。

【0030】

さらに、図 6 に示すように、1 つの電極 4 a のみに、バイアス電圧 V_p と交流信号を印加したときの変位量のスペクトルは図 7 となり、さらに 1.2 GHz のねじり共振 1 次と 1.5 GHz のたわみ 2 次共振（基板垂直方向）も励起されてしまう。

【0031】

以上、図 2 を図 5、7 と比較して明らかなように、図 1 の構成による各パドル 3 a 乃至 3 d に対応する電極 4 a 乃至 4 d にそれぞれ電力供給し、互いにねじれ方向の力を各パドルに生起する静電力を印加するようにした励振により、最も優れたフィルタ特性を提供できるものであることがわかる。

【0032】

なお、図 1 の励振に用いる駆動手段 10 を構成する駆動回路は例えば図 8 のように、交流信号を分配する分配器 11 と、分配器 11 の出力を、コンデンサ 12 a、12 b で直流カットしたあとに、インダクタンス 13 a、13 b を介して一方をバイアス電圧 V_p でプルアップしたもの、もう一方をバイアス電圧 - V_p でプルアップしたものを、それぞれ図 1 の捩り共振器の電極 4 a、4 d と、4 b、4 c に供給することで実現できる。

電氣的に位相を変える一般的な移相器は、波長オーダの線路長が必要となり共振器の励振回路の小型化に難があり、また正確に 180 度の移相調整が必要となるが、本実施例のように極性の異なるバイアス電圧とインダクタで同一交流信号をプルアップすることで、位相が正確に 180 度異なる梁への励振力を得ることができる。

【0033】

10

20

30

40

50

また、図1の捩り共振器は、振動体1の共振点付近で電氣的インピーダンスが最小になり、最も大きな電流が捩り共振器に流れ込む。例えば図9に示したように、バイアス電圧 V_p でプルアップした側の端子電極の一方である、例えば電極4dに電流-電圧変換回路15を設け、この電流-電圧変換回路15の出力を出力端子とすることで、入出力電圧端子を備えたフィルタを構成することができる。

【0034】

なお、図9に示したフィルタの電流-電圧変換回路は、図10のようなトランジスタ回路で構成できる。ここでは、極性の異なるバイアス電圧 V_p と $-V_p$ とが印加された2つの交流信号ラインに、それぞれ相補的なトランジスタ対を設けて、ベース共通型の増幅器を構成している。捩り共振器は、ベースと接地間に挿入した。各トランジスタのコレクタからは、位相の異なる2系統のフィルタ出力が得られる。

10

【0035】

次に本発明の実施の形態1における捩り共振器の製造方法について説明する。図11(a)乃至(c)は、梁の一部分を拡大したものであり、その製造工程を示している。

この工程では、SOI(Silicon on Insulator)基板を用いている。この場合、SOI基板の上部の単結晶シリコン層が梁構造となる。

この図では、ベース層としてのシリコン基板を省略しているが、シリコン基板表面に酸化シリコン膜からなる酸化膜31を介して、デバイス形成層としての所望のキャリア濃度の単結晶シリコン層32を貼着したSOI(Silicon-On-Insulator)基板を用いる。

20

【0036】

まず単結晶シリコン層32上にレジストを塗布してパターニングする(図11(a))。このレジストをマスクとして、RIE(反応性イオンエッチング)を用いてシリコンを垂直方向に加工する(図11(b))。単結晶シリコン層32の壁面には(100)面が露出している。次にKOHで単結晶シリコン層32の異方性エッチングを行い、マスクのパターン幅よりも細かいシリコンの構造体を形成する(図11(c))。

【0037】

上記構成によれば、たわみ振動を含む共振器に比べて、Q値が高い捩り共振器を提供することができる。

本発明者らは、たわみ振動と捩り振動のQ値の差異を実証するために、厚さ約 $2\mu\text{m}$ 、長さ約10、20、 $30\mu\text{m}$ のアルミニウムスパッタ薄膜を用いて構成された両持ち梁を励振し、Q値の値を測定した。図20の横軸は真空度、縦軸はQ値である。長さ約 $30\mu\text{m}$ のたわみ共振3次、長さ約 $20\mu\text{m}$ のたわみ共振2次、長さ約 $10\mu\text{m}$ のたわみ共振1次のQ値が200~400であるのに対して、長さ $20\mu\text{m}$ の捩り共振1次のQ値は2000であり、Q値に関して、捩り振動は、たわみ振動に対して優位性を持つことを示している。

30

【0038】

このように、共振器を小型化して共振の高周波化を図る上で、捩り振動を用いた共振器を用いることで、たわみ振動に比べてQ値の高い共振器を構成することが可能と考えられる。

【0039】

なお、非特許文献3においては、両持ち梁を静電力で励振し、同一共振器のたわみ共振と捩り共振を観察している。非特許文献3によれば、たわみ共振スペクトルと捩り共振スペクトルが示されており、たわみ共振ではスペクトルから非線形性が見られる。これは励振する静電力の大きさによって顕著であり、フィルタ回路に利用するには好ましくない特性である。しかし、捩り共振スペクトルからは非線形性は観察されず、フィルタ回路に捩り共振器を利用することにより良好な特性を得ることができることがわかる。

40

【0040】

【非特許文献3】

S. Evoy et al., "Nanofabrication and electrostatic operation of single-crystal silicon paddle oscillators", Journal of Applied Physics, Vol. 86, No.11, 1 Decemb

50

er 1999, pp.6072-6077.

【 0 0 4 1 】

次に、シリコンの異方性エッチングを用いた別の方法として、非特許文献 4 に紹介されている量子細線の生成方法も利用できる。図 1 2 はその基本的なプロセス図である。

まず、単結晶シリコン基板 3 0 をベース層とし、酸化シリコン層 3 1 を介してシリコン層 3 2 貼着した S O I 基板上に窒化シリコン膜 3 3 を形成して、これをパターンニングする (図 1 2 (a))。このパターンのエッジがシリコン層 3 2 の (1 1 0) に沿うように形成する。

【 0 0 4 2 】

次に K O H を用いて、シリコン層 3 2 の異方性エッチングを行う。(1 1 1) 面のエッチング速度は他の面よりも極めて遅いため、結果として図 1 2 (b) に示すように、(1 1 1) 面が露出するようにエッチングが進行する。

10

【 0 0 4 3 】

そして、上面を、この窒化シリコン膜 3 3 で覆われた状態で酸化を行い、この (1 1 1) 面を局所的に酸化シリコン膜 3 5 で保護し、マスクとした窒化シリコン膜 3 3 を再度パターンニングする。

【 0 0 4 4 】

そして、再び K O H を用いてシリコン層 3 2 の異方性エッチングを行うことで、図 1 2 (c) に示すように、三角形断面のシリコン梁構造体を得ることができる。この構造体は、局所的な S i O ₂ 保護膜と S O I 基板の中間層の酸化シリコン層 3 1 とをフッ酸で除去することで、可動体となる。

20

【 0 0 4 5 】

最終的に捩り共振器の振動子は図 1 2 (d) に示すように、軸対称構造の振動子を構成するように形状加工がなされる。

【 0 0 4 6 】

【 非特許文献 4 】

G. Hashiguchi and H. Mimura, "Fabrication of Silicon Quantum Wires Using Separation by Implanted Oxygen Wafer", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33(1994), pp. L1649-1650.

【 0 0 4 7 】

これら図 1 1、1 2 のプロセスは、半導体プロセスにおけるパターンニング幅の限界を越えた細さの構造物を形成できるので、数百 M H z ~ 数 G H z の微細な共振器を作製するのに有用なプロセスである。

30

【 0 0 4 8 】

(実施の形態 2)

次に本発明の実施の形態 2 について説明する。

図 1 3 は、本発明の実施の形態 2 における捩り共振器を励振する回路のブロック図である。振動子および電極の配置は、実施の形態 1 で示した図 1 と同様であるが、入力信号は分配器 1 1 で 4 つの信号に分配され、電極 4 a ~ 4 d に加えられる、それぞれのバイアス電圧が - V p から V p まで設定可能であることを特徴とする。電極 4 a と 4 d にバイアス電圧 V p を、電極 4 b と 4 c にバイアス電圧 - V p を印加した時の振動子の振幅スペクトルは、図 2 に示したように、捩り 2 次共振のみを持つ。しかし、電極 4 a と 4 c のバイアス電圧を V p に、4 b、4 d のバイアス電圧を - V p に切り替えることで、振動子 1 の振幅スペクトルは、図 1 4 に示すように、捩り 1 次共振のみを持つものに変更することができる。すなわち、バイアス電圧を切り替えることで、異なる捩り共振周波数を有する捩り共振器を形成することができる。

40

【 0 0 4 9 】

図 1 5 (a) は本実施の形態 2 のそれぞれ異なる捩り共振周波数を有する捩り共振器を N 個並列に並べて、そのうちの 1 つをスイッチ素子 3 0 にて選択するものとした構成である。バイアス電圧の切替えと、スイッチの選択により、2 × N 通りの異なる共振周波数を

50

有する振り共振器 2 4 を構成することができる。i 番目の共振器の振り共振周波数を、 f_{i1} 、 f_{i2} の 2 通りに切り替えられるものとする、スペクトルを図 1 5 (b) のように周波数軸上に等間隔に 2 N 個並べることができ、周波数選択型のフィルタとして利用可能となる。

電氣的に位相を変える一般的な移相器では、ある特定の周波数一点での移相量を設定できるが、その他の帯域では移相量が異なってくる。しかし、本実施例のように極性の異なるバイアス電圧とインダクタで同一交流信号をプルアップすることで、共振器の励振モードの高次と低次を適応的に切り替えても、切り替え可能な周波数帯域内でインダクタが十分高インピーダンスとみなすことができれば、位相が正確に 1 8 0 度異なる梁への励振力を得ることができる。

【 0 0 5 0 】

かかる構成によれば、電極と振動体間の電位差により生ずる静電力が、振動体の梁の軸を中心軸としたモーメントを加えるもので、かつ梁にたわみ振動を生ずる力を加えないので、簡易な方法で振り共振器の振り振動以外の振動モードを極力抑制することが可能となり、本振り共振器を用いた Q 値の高い、数百 MHz ~ 数 GHz 帯で使用可能なフィルタを提供することができる。

【 0 0 5 1 】

なお、本発明の実施の形態 1、2 において、バイアス電圧として正の電圧 V_p と負の電圧 $-V_p$ の 2 系統を用いたが、0 V と V_p の 2 系統を用いても良い。このとき図 1 中の振動子 1 には、 $V_p / 2$ のバイアス電位を加えておけばよい。

【 0 0 5 2 】

(参考例 1)

次に参考例 1 について説明する。

前記実施の形態 1 乃至 2 では、各電極に印加する電圧の位相をずらすように分配器を用いて調整したが、本参考例 1 では、図 1 6 (a) および (b) に示すように、各電極 4 a 乃至 4 d に印加する直流バイアス電圧の大きさは同一とし、梁 1 に対して軸対称方向に電極を配置し、振動体である梁 1 の振り方向に静電力が印加されるように構成したことを特徴とするものである。すなわち、これら電極は、振動体である梁 1 の振り振動に伴い、振動体との距離が等しくなるように、振動体に対し、振りの方向に配置されて電極対を構成している。そして、駆動手段は、振動体の振り振動に伴い、電極対には、同一交流信号と、同一の直流バイアス電圧を印加するように構成される。他は前記実施の形態 1 と同様である。なお、同一部位には同一符号を付した。

【 0 0 5 3 】

また本参考例 1 では梁 1 はパドル状ではなく、断面長方形の棒状体で構成した。図 1 6 (b) は、図 1 6 (a) の A - A 断面図である。

本参考例 1 の共振器によれば、突出部がないため、振動子に付加される質量が低減され、共振周波数の高周波数化が可能となる。また同一位相交流信号と同一の直流バイアス電圧を各電極に印加すればよいため、駆動手段を構成する駆動回路が極めて簡略化される。

【 0 0 5 4 】

(参考例 2)

次に本発明の参考例 2 について説明する。

前記参考例 1 では、梁 1 は棒状体としたが、本参考例 2 では、図 1 7 (a) に示すように、各電極 4 a 乃至 4 d に対向する部分に、切り欠き 1 S を形成したものである。本実施の形態においても実施の形態 3 と同様に、印加する交流信号の位相および直流バイアス電圧の大きさは同一とし、梁 1 に対して軸対称方向に電極を配置し、梁の振り方向に静電力が印加されるように構成すればよい。他は前記実施の形態 1 と同様である。なお、同一部位には同一符号を付した。

形状加工は若干複雑となるが、MEMS 技術を用いて容易に形成可能である。

また図 1 7 (b) に変形例を示すように電極 4 a 乃至 4 d と振動体とは相対向していればよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 5 】

なお、本発明の実施の形態における共振器を真空封止することで、振動子の振動が空気の粘性の影響を受けない高いQ値の共振器を得ることができる。

【 0 0 5 6 】

また、実施の形態では両持ち梁を振り振動子に用いているが、両持ち梁に限定するものではなく、片持ち梁を使用してもよい。

また、本発明の実施の形態で示した共振器は容量性の高インピーダンスを有するので、適宜複数個の共振器を電氣的に並列接続し、インピーダンスを下げ、入力電気エネルギーを効率よく共振器に伝達させるように構成してもよい。

【 産業上の利用可能性 】

10

【 0 0 5 7 】

本発明にかかる振り共振器は、半導体プロセスで作製可能な極めて微細な構造体が主に静電力で励振されるようにしたものであって、Q値が高い振り共振器を利用し、かつ振り以外のたわみ振動が励振されない共振周波数の単一性を実現するものであるため、携帯型無線端末に積載される高密度に集積化された高周波フィルタ回路等として有用である。また、音声帯域や超音波帯域におけるスペクトル解析や、機械共振による質量分析等の医療用や環境分野等の用途にも適用できる。

【 0 0 5 8 】

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態 1 における振り共振器の斜視図

20

【 図 2 】 本発明の実施の形態 1 における振り共振器の振幅スペクトル

【 図 3 】 本発明の実施の形態 1 における振り 2 次共振波形を示す図

【 図 4 】 たわみ振動も励起する振り共振器の斜視図

【 図 5 】 図 4 の構成における振り共振器の振幅スペクトル

【 図 6 】 たわみ振動も励起する振り共振器の斜視図

【 図 7 】 図 6 の構成における振り共振器の振幅スペクトル

【 図 8 】 本発明の実施の形態 1 における振り共振器励振回路のブロック図

【 図 9 】 本発明の実施の形態 1 において出力電圧信号端子を設けた振り共振器励振回路を示す図ブロック図

【 図 1 0 】 本発明の実施の形態 1 において出力電圧信号端子を設けた振り共振器励振回路の装置説明図

30

【 図 1 1 】 本発明の実施の形態 1 における振り共振器の製造方法の説明図

【 図 1 2 】 本発明の実施の形態 1 における振り共振器の変形例を示す説明図

【 図 1 3 】 本発明の実施の形態 2 における振り共振器励振回路のブロック図

【 図 1 4 】 本発明の実施の形態 2 において振り 1 次振動のみを励振させたときの振動子の振幅スペクトル図

【 図 1 5 】 本発明の実施の形態 2 における振り共振器を N 個並列配置した構成図および振幅スペクトル図

【 図 1 6 】 本発明の参考例 1 の振り共振器を示す図であり、(a) は斜視図、(b) は (a) の A - A 断面図

40

【 図 1 7 】 本発明の参考例 2 の振り共振器を示す図であり、(a) は断面図、(b) は (a) の変形例を示す図

【 図 1 8 】 従来の機械共振器を用いたフィルタを示す概略図

【 図 1 9 】 従来例における、機械共振器の寸法と高周波化の関係を示す特性図

【 図 2 0 】 たわみ振動と振り振動の Q 値を比較した実験結果を示す図

【 図 2 1 】 たわみ振動と振り振動の双方が励起される共振器を示す図

【 符号の説明 】

【 0 0 5 9 】

1 振動子

2 基板

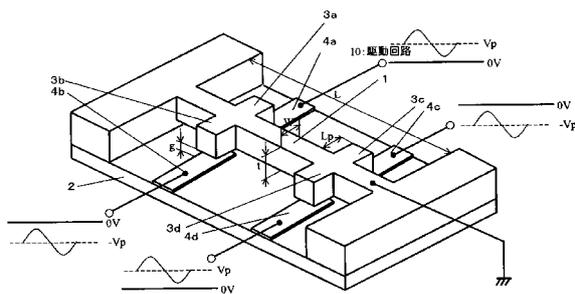
50

- 3 パドル
- 4 電極
- 1 1 分配器
- 1 2 a、1 2 b コンデンサ
- 1 3 a、1 3 b インダクタンス
- 1 4 絞り共振器
- 1 5 電流 - 電圧変換回路
- 3 1 酸化シリコン層
- 3 2 単結晶シリコン層
- R レジスト
- 1 0 1、1 0 2 両持ち梁型振動子
- 1 0 3 結合梁
- 1 0 4 入力線路
- 1 0 5 出力線路
- 1 9 1 同一周波数を有する長さLと厚さhの関係を示す直線
- 1 9 2 同じたわみやすさの指標を有する長さLと厚さhの関係を示す直線
- 2 0 1 振動子
- 2 0 2 パドル
- 2 0 4 入力線路
- 2 0 5 出力線路

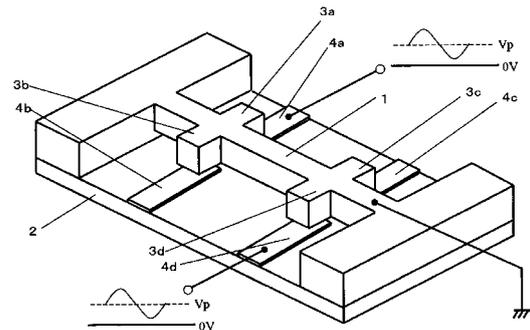
10

20

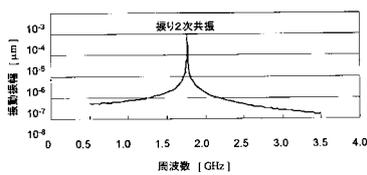
【図1】



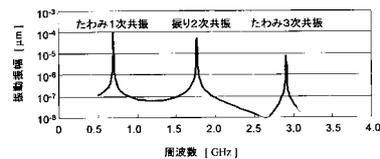
【図4】



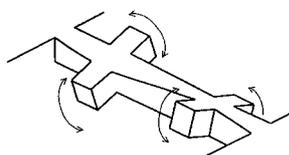
【図2】



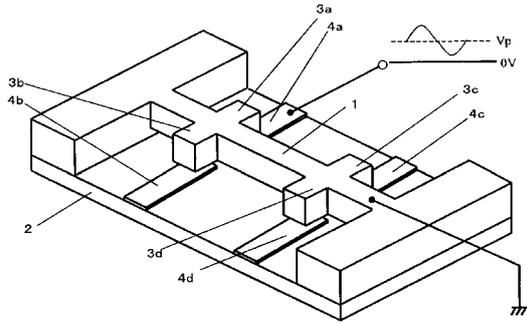
【図5】



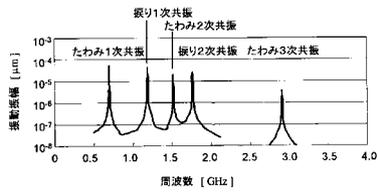
【図3】



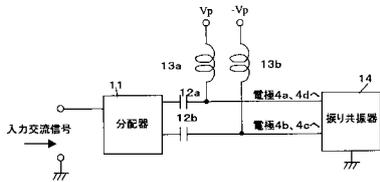
【図6】



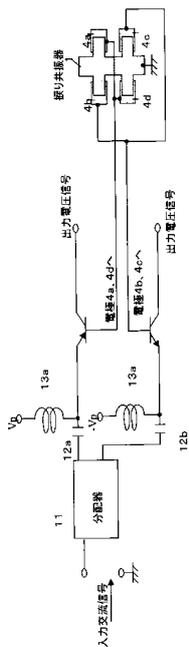
【図7】



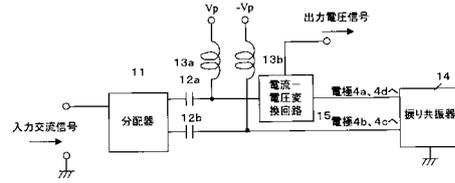
【図8】



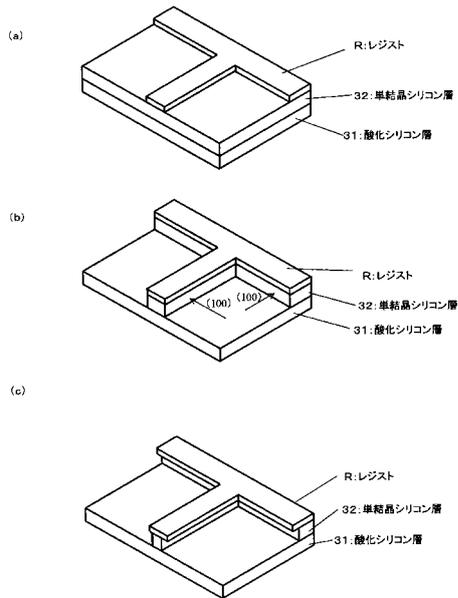
【図10】



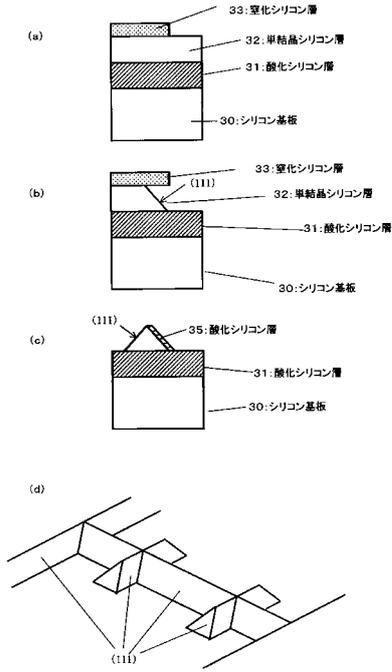
【図9】



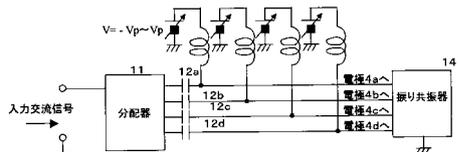
【図11】



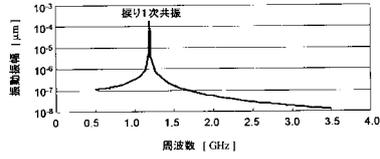
【図12】



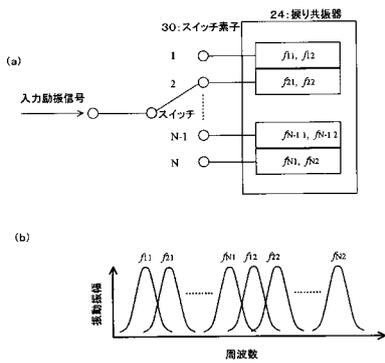
【図13】



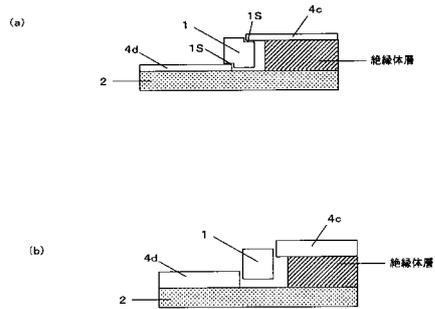
【図14】



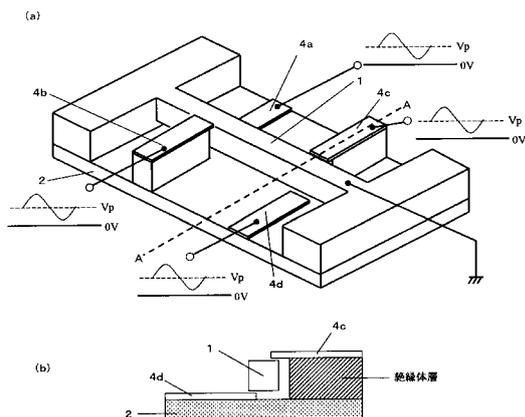
【図15】



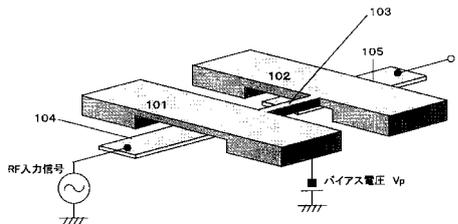
【図17】



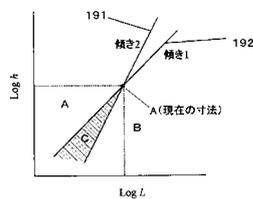
【図16】



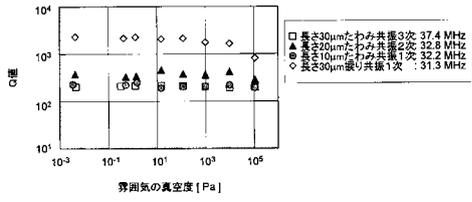
【図18】



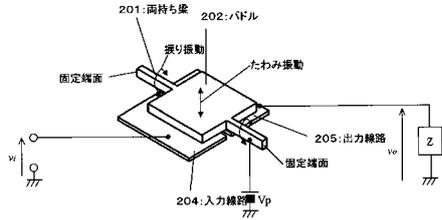
【図19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 邦彦
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

審査官 崎間 伸洋

(56)参考文献 特開昭54-051498(JP,A)
特開2003-127100(JP,A)
特開平05-152886(JP,A)
特表2002-535865(JP,A)
A. Olkhovets, S. Evoy, D. W. Carr, J. M. Parpia, and H. G. Craighead, Actuation and internal friction of torsional nanomechanical silicon resonators, Journal of Vacuum Science & Technology. B. Microelectronics and Nanometer Structures, 米国, 2000年12月, vol.18, no.6, p. 3549-3551
S. Evoy, D. W. Carr, A. Olkhovets, J. M. Parpia, and H. G. Craighead, Nanofabrication and electrostatic operation of single-crystal silicon paddle oscillators, Journal of Applied Physics, 米国, 1999年12月 1日, vol.86, no.11, p. 6072-6077

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H3/007-H03H3/10

H03H9/00-H03H9/76