

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4538503号
(P4538503)

(45) 発行日 平成22年9月8日(2010.9.8)

(24) 登録日 平成22年6月25日(2010.6.25)

(51) Int.Cl. F I
H03H 9/24 (2006.01) H03H 9/24 Z
B81B 3/00 (2006.01) B81B 3/00

請求項の数 3 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-8972 (P2008-8972) (22) 出願日 平成20年1月18日 (2008.1.18) (65) 公開番号 特開2009-171394 (P2009-171394A) (43) 公開日 平成21年7月30日 (2009.7.30) 審査請求日 平成21年3月16日 (2009.3.16)</p>	<p>(73) 特許権者 308033711 OKIセミコンダクタ株式会社 東京都八王子市東浅川町550番地1 (74) 代理人 100079119 弁理士 藤村 元彦 (74) 代理人 100109036 弁理士 永岡 重幸 (74) 代理人 100147728 弁理士 高野 信司 (72) 発明者 倪 威 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電 気工業株式会社内 審査官 崎間 伸洋</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1支持部と、前記第1支持部から水平方向に延在する第1腕部とを有する第1電極と
 、
第2支持部と、前記第2支持部から前記第1電極の方向に向かって水平方向に延在する第2腕部とを有する第2電極と、
前記第1腕部と前記第2腕部の下方に配置され、前記第1支持部に電氣的に接続された出力電極と、を有し、
前記第1電極又は前記第2電極は、少なくとも一方が複数の前記第1腕部又は前記第2腕部を含み、
前記第1腕部と前記第2腕部は、互いに離間して平行且つ互い違いに並列配置されていることを特徴とする共振器。

【請求項2】

第1支持部と、前記第1支持部から水平方向に延在する第1腕部とを有する第1電極と
 、
第2支持部と、前記第2支持部から前記第1電極の方向に向かって水平方向に延在する第2腕部とを有する第2電極と、
前記第1腕部と前記第2腕部の下方に配置され、前記第1支持部に電氣的に接続された出力電極と、を有し、
前記第1腕部と前記第2腕部は、互いに離間して平行に並列配置され、

前記出力電極は前記第 1 支持部に接続された電極とスイッチ群に接続された複数の電極とから構成され、前記複数の電極のそれぞれに独立して電圧を印加可能であることを特徴とする共振器。

【請求項 3】

第 1 支持部と、前記第 1 支持部から水平方向に延在する第 1 腕部とを有する第 1 電極と

第 2 支持部と、前記第 2 支持部から前記第 1 電極の方向に向かって水平方向に延在する第 2 腕部とを有する第 2 電極と、

前記第 1 腕部と前記第 2 腕部の下方に配置され、前記第 1 支持部に電氣的に接続された出力電極と、

前記第 2 腕部の上方に配置され、前記第 2 腕部に接続された並行平板電極と、を有し、前記第 1 腕部と前記第 2 腕部は、互いに離間して平行に並列配置されていることを特徴とする共振器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は共振周波数を出力する共振器に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、Si 等の基板の上に超微細加工プロセスを利用してエレクトロメカニカルな機構が形成され、機械的な機能と電氣的な機能とを併せ持った極めて小型の装置である MEMS (Micro Electro Mechanical System) が、これまでに実現されていない機能を実現可能にするということで注目を集めてきた。基板上に形成されたエレクトロメカニカルな機構とは、機械要素部品、センサー、アクチュエータ及び電子回路等を 1 つの基板上に集積化したものである。

【0003】

MEMS に用いられるアクチュエータとしては、静電力を用いたもの、電磁力を用いたもの、圧電効果を用いたもの、熱歪みを用いたもの等がある。特に構造が簡単で小型化が容易な静電力を用いたものが最も使用されている駆動原理である。また、静電力を利用した駆動原理として、平行平板型静電アクチュエータ、櫛歯形静電アクチュエータ又は静電モータ等が使用されている。

【0004】

実際に MEMS を利用した市販製品としては、インクジェットプリンタ、圧力センサー、加速度センサー、ジャイロスコープ及び DMD (プロジェクター) 等が存在している。また、MEMS 技術によって共振器を製造することも可能であり、かかる共振器は小型で高い Q 値を実現できることから水晶フィルタ、水晶振動子と置き換えて使用することが出来る。

【0005】

上述した共振器においては、入出力間に加わるバイアス電圧と出力される共振周波数とが重要あり、平行平板型の共振器においては以下のような関係式である数式 1 が成り立つ。(非特許文献 1 の式 1.2 参照)

【0006】

【数 1】

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_m - k_e}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_m}{m} \left(1 - \frac{k_e}{k_m}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

【0007】

ここで、 m は共振器の質量、 k_e は共振器の電氣的バネ定数、 k_m は共振器の機械的バネ定数である。一般的には、数式2が成立することから数式1をテイラー展開すると数式3が得られる。

【0008】

【数2】

$$k_m \gg k_e$$

【0009】

【数3】

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_m}{m} \left(1 - \frac{k_e}{2k_m}\right)}$$

10

【0010】

また、共振器の電氣的バネ定数 k_e は数式4で示される。

【0011】

【数4】

$$k_e = \frac{\varepsilon A V^2}{d^3}$$

20

【0012】

数式4を数式3に代入すると数式5が得られる。

【0013】

【数5】

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_m}{m} \left(1 - \frac{\varepsilon A V^2}{2k_m d^3}\right)} = -\frac{\varepsilon A}{2\pi k_m d^3} \sqrt{\frac{k_m}{m}} V^2 + \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_m}{m}}$$

30

【0014】

ここで、 A は共振器の電極の対向面積、 V は共振器の電極間のバイアス電圧、 d は共振器の電極間の距離、 ε は誘電材料の誘電率である。

【0015】

数式5から共振周波数 f は $-V^2$ に比例することが判る。また、バイアス電圧依存性の大きさを表わす値は数式5の V^2 の係数であることから、電極の対向面積 A 、電極間の距離 d 、誘電材料の誘電率 ε 、共振器の質量 m 及び共振器の機械的バネ定数 k_m によって決定される。

【0016】

また、櫛歯形状の電極を備える共振器として、特許文献1に記載されているような、水晶基板上にSAW共振用のIDT及び一対の分布形反射器を形成した弾性表面波素子が知られている。

40

【非特許文献1】F. T. Bannon, J. R. Clark, C. T. -C. Neuyen, "High-Q HF Microelectromechanical Filters" proceedings, IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 35M NO.4, APRIL 2000, pp. 512-526.

【特許文献1】特開平6 - 13836号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

しかしながら、上述した平行平板型の共振器においては、数式5から判るようにバイア

50

ス電圧を増加すると共振周波数は必ず減少するため、バイアス電圧を増加させた場合に共振周波数の維持又は増加を行うことができない。また、バイアス電圧を増加させたときの共振周波数の減少を抑えるには、バイアス電圧依存性の大きさを調整すべく、数式5に示された V^2 の係数を調整する必要があった。従って、バイアス電圧依存性によって使用上及び設計上の制限がなされてしまう。

【0018】

本発明は、以上の如き事情に鑑みてなされたものであり、バイアス電圧依存性による使用上及び設計上の制限を緩和し、使用条件及び設計条件を容易に決定することが出来る共振器を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0019】

上述した課題を解決するために、第1支持部と、前記第1支持部から水平方向に延在する第1腕部とを有する第1電極と、第2支持部と、前記第2支持部から前記第1電極の方向に向かって水平方向に延在する第2腕部とを有する第2電極と、前記第1腕部と前記第2腕部の下方に配置され、前記第1支持部に電氣的に接続された出力電極と、を有し、前記第1電極又は前記第2電極は、少なくとも一方が複数の前記第1腕部又は前記第2腕部を含み、前記第1腕部と前記第2腕部は、互いに離間して平行且つ互い違いに並列配置されていることを特徴とする共振器が提供される。

【発明の効果】

【0022】

本発明の共振器においては、固定電極及び前記固定電極に対向してこれを挟む可動電極を設け、更に、前記固定電極及び前記可動電極の対向面に交差する平面に沿った延長部を設けることにより、バイアス電圧依存性による使用上及び設計上の制限を緩和し、使用条件及び設計条件を容易に決定することが出来る。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の実施例について添付図面を参照しつつ詳細に説明する。

【実施例1】

【0024】

図1及び図2(a)、(b)、(c)を参照しつつ、本発明の実施例の共振器10を詳細に説明する。

【0025】

図1及び図2(a)、(b)、(c)に示されているように、シリコン基板11上には、絶縁膜であるSiN膜12がシリコン基板11の上面を覆うように形成されている。SiN膜12上には、出力電極13及び入力電極14の2つの電極が形成されている。例えば、出力電極13及び入力電極14の電極の主面形状(すなわち、Z軸をよぎる平面の形状)は略長形状(X軸方向よりもY軸方向が長い)であり、かかる2つの電極は、Z軸方向において所定の厚みを有している。かかる2つの電極間に所定のバイアス電圧が掛けられることとなる。また、入力電極14に所定の入力信号が入力され、出力電極13から共振周波数が出力されることとなる。

【0026】

出力電極13上には、固定電極(請求項における第1電極)15が形成されている。固定電極15は、出力電極13に接続された支持部15aと、シリコン基板11と平行であり、且つ、支持部15aから入力電極14の方向(すなわち、X軸マイナス方向)に向かって形成された3つの腕部15bと、から構成されている。すなわち、固定電極15は、出力電極13と接続されていない一端が櫛歯形状になっている。また、支持部15aの主面形状(すなわち、Z軸をよぎる平面の形状)は略長形状(X軸方向よりもY軸方向が長い)であって、出力電極13よりも小さく、その厚みは出力電極13の約2倍である。腕部15bは支持部15aの約半分の厚みであって、支持部15aの上部から入力電極14の方向(すなわち、X軸マイナス方向)に向かって形成されている。従って、腕部15b

10

20

30

40

50

と出力電極 13 とは、出力電極 13 の厚みだけ離間していることとなる。また、出力電極 13 の X 軸方向の長さは、支持部 15 a の X 軸のマイナス方向に向かって更に、長さ L だけ長くなっている。なお、腕部 15 b の数量は、3 つに限定されることはなく、出力する共振周波数によって変更可能である。

【0027】

入力電極 14 上には、可動電極（請求項における第 2 電極）16 が形成されている。可動電極 16 は、入力電極 14 に接続された支持部 16 a と、シリコン基板 11 に平行であり、且つ、支持部 16 a から出力電極 13 の方向（すなわち X 軸プラス方向）に向かって形成された梁部 16 b と、梁部 16 b の支持部 16 a に接続されていない側である先端部分に形成された 4 つの腕部 16 c と、から構成されている。梁部 16 b は、Z 軸をよぎる平面においては略 T 字形状であり、T 字形状の Y 軸方向に広がった部分（すなわち、先端部分）から腕部 16 c が X 軸プラス方向に延びている。可動電極 16 は、入力電極 14 に接続されていない一端が櫛歯形状になっている。

10

【0028】

支持部 16 a の主面形状（すなわち、Z 軸をよぎる平面の形状）は略長方形（X 軸方向よりも Y 軸方向が長い）であって、入力電極 14 よりも小さく、その厚みは入力電極 14 の約 2 倍である。梁部 16 b 及び腕部 16 c は支持部 16 a の約半分の厚みであって、支持部 16 a の上部から出力電極 13 の方向（すなわち、X 軸プラス方向）に向かって形成されている。従って、梁部 16 b 及び腕部 16 c と入力電極 14 とは、入力電極 14 の厚みだけ離間していることとなる。なお、腕部 16 c の数量は、4 つに限定されることはなく、出力する共振周波数によって変更可能である。

20

【0029】

固定電極 15 の腕部 15 b と可動電極 16 の腕部 16 c とは、SiN 膜 12 から Z 軸方向に同じ距離だけ離間して形成されている。当該 2 つの腕部の側面は互いに対向しており、一方の腕部間に他方の腕部が挟まれるように配置されている。また、可動電極 16 の腕部 16 c の底面は、出力電極 13 と部分的に対向することとなる。

【0030】

次に、図 3 を参照しつつ、本発明の実施例の共振器 10 の製造方法の一例を詳細に説明する。

【0031】

まず、シリコン基板 11 上に絶縁層としての SiN 膜 12 を LP-CVD 法により約 500 nm 成膜する（図 3 (a)）。次に、出力電極 13 及び入力電極 14 となる Poly-Si 層 31 を LP-CVD 法によって堆積する（図 3 (b)）。Poly-Si 層 31 の堆積時に、リンをドーピングするため、原料ガスである SiH₄ 以外にも不純物ガスとして PH₃ を同時に導入することとなる。リンをドーピングすることで、Poly-Si 層 31 の抵抗値を低減させることが出来、Poly-Si 層 31 を導体とみなすことが可能となる。

30

【0032】

Poly-Si 層 31 の成膜後、既知のフォトリソグラフィとドライエッチング技術によって、Poly-Si 層 31 に開口 32 を形成することで、出力電極 13 及び入力電極 14 を形成する（図 3 (c)）。出力電極 13 及び入力電極 14 を形成した後に、LP-CVD 法によって、その厚さが約 1 μm の犠牲層である SiO₂ 膜 33 を成膜する（図 3 (d)）。次に、固定電極 15 の支持部 15 a 及び可動電極 16 の支持部 16 a 用の枠を形成するために、SiO₂ 膜 33 を既知のドライエッチング技術によってパターンニングして開口 34、35 を形成する（図 3 (e)）。

40

【0033】

SiO₂ 膜 33 のパターンニング後に、固定電極 15 及び可動電極 16 を形成するために、厚さが約 1 μm の Poly-Si 層 36 を LP-CVD 法によって堆積させる（図 3 (f)）。具体的な堆積方法は図 3 (b) で示された Poly-Si 層 31 の堆積方法と同じである。Poly-Si 層 36 の堆積後に、既知のドライエッチング技術によって所

50

望の形状にパターンニングする(図3(g))。従って、かかるパターンニングによって、図1及び図2(a)で示されている腕部15b、梁部16b及び腕部16cが形成されることとなる。

【0034】

パターンニング後に、梁部16b及び腕部16cが振動可能となるように、 SiO_2 膜33を除去する(図3(h))。例えば、フッ酸を使用したウエットエッチングにより SiO_2 膜のみを除去する。

【0035】

次に、印加するバイアス電圧の変化に応じて出力される共振器10の共振周波数の変化を、図4(a)、(b)を参照しつつ詳細に説明する。

10

【0036】

共振器10は、出力電極13と入力電極14との間に所定のバイアス電圧を印加しつつ、所定の入力信号を入力電極14に入力すると、静電力及び復元力によって梁部16b及び腕部16cがZ軸方向に振動することとなる。例えば、入力電極14を基準電源(図示せず)に接続し、出力電極13を接地電位に接続しても良い。かかる振動による共振周波数が出力電極13から出力される。

【0037】

ここで、静電力は梁部16b及び腕部16cと出力電極13との間に発生し、静電力の大きさは出力電極13の梁部16b及び腕部16cとの対向する面積によって変動する。すなわち、出力電極13のX軸方向の長さに依存して静電力は変化することとなる。かかる静電力の変化の結果を図4(a)に示す。

20

【0038】

図4(a)に示されたグラフにおいて、横軸は印加するバイアス電圧を示し、縦軸は腕部16cの先端部分(すなわち、櫛歯形状の先端部分)のZ軸方向の変動量を示している。また、図4(a)に示されたグラフにおいては、図1に示された出力電極13の長さL毎に、バイアス電圧とZ軸方向の変動量の関係曲線が示されている。

【0039】

図4(a)に示されたグラフから判るように、長さLがX軸に沿って延長されることによって、腕部16cがより大きな静電力によってZ軸マイナス方向に変位することとなる。また、バイアス電圧を増加することによっても静電力が増加し、腕部16cがより大きな静電力によって、Z軸マイナス方向に変位することとなる。腕部16cが静電力によってZ軸マイナス方向に変位すると、出力電極13と腕部16cとの距離が減少することとなる。また、固定電極15の腕部15bと可動電極16の腕部16cの対向面積も減少することとなる。従って、数式(5)で示された V^2 の係数であるバイアス電圧依存性の大きさを表わす値が、バイアス電圧の変化とともに変動することとなる。

30

【0040】

すなわち、バイアス電圧を変動させても、バイアス電圧依存性の大きさを表わす値である V^2 の係数を変動することが出来ない従来の共振器とは異なり、共振器10はバイアス電圧を変化させつつ、バイアス電圧の係数である電極の対向面積及び電極間の距離をも同時に変化させることが出来ることとなる。かかるバイアス電圧の変化と共に、電極の対向面積及び電極間の距離が変化する場合の共振周波数の変化を図4(b)に示す。

40

【0041】

図4(b)に示されたグラフにおいて、横軸は印加するバイアス電圧を示し、縦軸は出力電極13から出力される共振周波数を示している。また、図4(b)に示されたグラフにおいては、図1に示された出力電極13のX軸方向に沿って延長された長さL毎に、バイアス電圧と共振周波数の関係曲線が示されている。

【0042】

図4(a)に示されたグラフから判るように、出力電極13の長さLが増加することによって、バイアス電圧の変化に伴う共振周波数の変化を制御することができる。例えば、バイアス電圧が24Vから25Vに変化すると、長さLが0 μm の場合に共振周波数の変

50

化は約 8 k H z、長さ L が 2 μ m の場合に共振周波数の変化は約 4 k H z、長さ L が 6 μ m の場合に共振周波数の変化は約 - 1 k H z、長さ L が 10 μ m の場合に共振周波数の変化は約 - 12 k H z と設定することが出来る。また、長さ L を 6 μ m に設定することで、バイアス電圧の変化に伴った共振周波数の変動が少なくなり、かかる変動の少ない共振周波数を利用するような機器に共振器 10 を使用することが出来ることとなる。

【 0 0 4 3 】

以上のように、本実施例による共振器によれば、出力電極 13 が固定電極 15 の延長部として形成されていることによって、バイアス電圧依存性による使用上及び設計上の制限を緩和し、使用条件及び設計条件の決定を容易に行うことが出来る。

【 実施例 2 】

【 0 0 4 4 】

実施例 1 における出力電極以外の構成を同様として、出力電極の Z 軸方向の長さを変更可能とするように、出力電極を複数の電極の集合電極とし、且つ、複数の電極の各々がスイッチ手段に接続されている構成にしても良い。かかる共振器 50 を図 5 及び図 6 を参照しつつ詳細に説明する。なお、実施例 1 と同様の部分については同じ符号を付して、説明は省略することとする。

【 0 0 4 5 】

図 5 及び図 6 に示されているように、出力電極 51 は固定電極 15 の支持部 15 a に接続された電極 51 a と、スイッチ群 52 に接続された 5 つの電極 51 b と、から構成されている。電極 51 b の各々は、スイッチ 53 の一端に接続されている。スイッチ 53 の電極 51 b に接続されていない他端側は、基準電圧 V_{ref} に接続されている。また、電極 51 a は、スイッチ 53 を介することなく、基準電圧 V_{ref} に接続されている。従って、ON 状態になっているスイッチ 53 に接続されている電極 51 b は、電極 51 a と同じ電圧が印加されていることとなる。一方、OFF 状態になっているスイッチ 53 に接続されている電極 51 b は接地電位となる。

【 0 0 4 6 】

出力電極 51 は上述した構成によって、可動電極 16 の腕部 16 c を Z 軸方向に変位させるための静電力の大きさを調整することが出来る。すなわち、電極 51 b に接続されたスイッチ 53 が全て ON 状態であれば、出力電極 51 の面積は最大となり、可動電極 16 の腕部 16 c の Z 方向の変位が最大となる。一方で、スイッチ 53 が全て OFF 状態となると、可動電極 16 の腕部 16 c の Z 方向の変位が最小となる。スイッチ 53 の ON - OFF を調整することによって、可動電極の腕部 16 c と出力電極 51 との距離を調整することができることとなる。

【 0 0 4 7 】

なお、固定電極 51 が基準電圧 V_{ref} に接続されているため、入出力間にはバイアス電圧がかかることになる。従って、入力電極 14 は、接地電位に接続されていても良い。また、電極 51 b の数量は上述した数量に限られることなく、入力電極 13 の面積調整に合わせて、適宜数量を変更することとしても良い。また、スイッチ 53 は、図 6 に示されているものに限られず、MOS スイッチ、トランジスタスイッチ等であっても良い。

【 0 0 4 8 】

次に、図 7 及び図 8 を参照しつつ、本発明の実施例 2 の共振器 50 の製造方法の一例を詳細に説明する。

【 0 0 4 9 】

先ず、シリコン基板 11 を準備し (図 7 (a))、シリコン基板 11 上にスイッチ 53 を形成する (図 7 (b))。シリコン基板 11 及びスイッチ 53 の上面を覆うように絶縁層としての SiN 膜 12 を LP - CVD 法により約 500 nm 成膜する (図 7 (c))。SiN 膜 12 形成後に、スイッチ 53 の端子部分を露出させるべく、既知のドライエッチ技術によって開口 71 を形成する (図 7 (d))。

【 0 0 5 0 】

次に、出力電極 13 及び入力電極 51 となる Poly - Si 層 72 を LP - CVD 法に

10

20

30

40

50

よって堆積する(図7(e))。Poly-Si層72は、開口71の内部にも堆積されるため、スイッチ53の端子部分と電極51bとが電氣的に導通していることとなる。

【0051】

Poly-Si層72の成膜後、既知のフォトリソグラフィとドライエッチ技術によって、Poly-Si層73に開口74及び開口74を形成する(図7(f))。開口73によって出力電極51と入力電極14が形成され、開口74によって出力電極51を分離して電極51a及び電極51bを形成する。

【0052】

出力電極51及び入力電極14を形成した後に、LP-CVD法によって、その厚さが約1 μ mの犠牲層であるSiO₂膜75を成膜する(図7(g))。次に、固定電極15の支持部15a及び可動電極16の支持部16a用の枠を形成するために、SiO₂膜75を既知のドライエッチング技術によってパターンニングして開口81及び開口82を形成する(図8(h))。

【0053】

SiO₂膜75のパターンニング後に、固定電極15及び可動電極16を形成するために、厚さが約1 μ mのPoly-Si層83をLP-CVD法によって堆積させる(図8(i))。Poly-Si層83の堆積後に、既知のドライエッチ技術によって所望の形状にパターンニングする(図8(j))。従って、かかるパターンニングによって、図5で示されている腕部15b、梁部16b及び腕部16cが形成されることとなる。

【0054】

パターンニング後に、梁部16b及び腕部16cが振動可能となるように、SiO₂膜75を除去する(図8(k))。例えば、フッ酸を使用したウエットエッチングによりSiO₂膜のみを除去する。

【0055】

実施例2においては、スイッチ群52を操作することで出力電極51の面積を変化させ、出力電極51の面積の変化によって可動電極16の腕部16cをZ軸方向に変位量を調整し、共振周波数を調整することができる。また、実施例2においては、共振器50の製造後においても出力電極51の面積を変化することができるため、バイアス電圧に依存することなく、常に最適な共振周波数を出力することが出来る。

【実施例3】

【0056】

実施例1における出力電極及び可動電極以外の構成を同様として、出力電極の支持部と接続された部分からX軸マイナス方向に延びた電極部分をなくし、且つ、可動電極の腕部の一部上面を覆うように平行平板電極を設けても良い。かかる構成を有する共振器90を図9及び図10(a)、(b)、(c)を参照しつつ詳細に説明する。なお、実施例1と同様の部分については同じ符号を付して、説明は省略することとする。

【0057】

図9及び図10(a)、(b)、(c)に示されているように、出力電極91は、支持部15aとの接続部分から入力電極14に向かった方向(すなわち、X軸のマイナス方向)には形成されていない。従って、出力電極91が腕部16cをZ軸方向に変位させる静電力は非常に小さくなる。

【0058】

また、梁部16bのY軸方向に広がった部分(すなわち、腕部16cと接続している端部)の上面には、平行平板電極92が形成されている。平行平板電極92は、梁部16bに接続された平板支持部92aと、平板支持部92aから腕部16cと平行に形成された振動部92bと、から構成されている。平行支持部92のZ軸方向の厚みは、腕部16cの約2倍の厚みである。また、振動部92bは平行支持部92aの上部からX軸に沿って伸びているため、振動部92bと腕部15b及び腕部16cとは、振動部92bのZ軸方向の厚みと同じ距離だけ離間している。従って、振動部92bは、腕部同士の間隔に平行な方向(すなわち、Z軸方向)に振動可能に支持されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

入出力電極間に所定のバイアス電圧が印加されると、平行平板電極 9 2 と固定電極 1 5 との間に電位差が生じることとなり、振動部 9 2 b が静電力によって Z 軸方向に変位することとなる。従って、腕部 1 6 c が Z 軸方向に変位することがなくても、数式 (5) に示された電極間の距離 (すなわち、腕部 1 5 b と振動部 9 2 b と距離) が変動することとなり、実施例 1 と同様にバイアス電圧の依存性の大きさを変化させることが可能となる。

【 0 0 6 0 】

次に、図 1 1 を参照しつつ、本発明の実施例 3 の共振器 9 0 の製造方法の一例を詳細に説明する。

【 0 0 6 1 】

実施例 1 の製造方法である図 3 (a) から (g) に示された製造工程については、本実施例における製造工程でも同様であるため、かかる工程については説明を省略する。なお、出力電極 9 1 の大きさは実施例 1 と異なるため、本実施例における入出力電極形成の P o l y - S i 層 3 1 のパターンニングについては、図 3 (c) によって示されたパターンニングとは異なる。具体的には、出力電極 9 1 と支持部 1 5 b との一端が X 軸方向において揃うように、P o l y - S i 層 3 1 のパターンニングが行われる。

【 0 0 6 2 】

腕部 1 5 b 及び腕部 1 6 c のパターンニング後に、L P - C V D 法によって、その厚さが約 $1 \mu\text{m}$ の犠牲層である SiO_2 膜 1 1 1 を成膜する (図 1 1 (b))。次に、平行平板電極 9 2 の平行支持部 9 2 a の枠を形成するために、 SiO_2 膜 1 1 1 を既知のドライエッチング技術によってパターンニングして開口 1 1 2 を形成する (図 1 1 (c))。開口 1 1 2 の形成後、平行平板電極 9 2 となる P o l y - S i 層 1 1 3 を L P - C V D 法によって堆積する (図 1 1 (d))。

【 0 0 6 3 】

P o l y - S i 層 1 1 3 の堆積後に、既知のドライエッチング技術によって所望の形状にパターンニングする (図 1 1 (e))。すなわち、パターンニングによって、図 9 及び図 1 0 (a) で示されている振動部 9 2 b を形成することとなる。かかるパターンニング後に、梁部 1 6 b、腕部 1 6 c 及び指示部 9 2 b が振動可能となるように、 SiO_2 膜 3 3、1 1 1 を除去する (図 1 1 (f))。例えば、フッ酸を使用したウエットエッチングにより SiO_2 膜のみを除去する。

【 0 0 6 4 】

また、図 1 2 に示されているように、出力電極 9 1 を実施例 1 と同様な出力電極 1 3 に変更しても良い。すなわち、出力電極の面積を広げ、腕部 1 6 c を静電力によって Z 軸方向に変位させることができる。従って、数式 (5) で示された、バイアス電圧の依存性の大きさをさらわす V^2 の係数の変化をより大きくすることが出来る。

【 0 0 6 5 】

更に、図 1 3 に示されているように、出力電極 9 1 を実施例 2 と同様な出力電極 5 1 に変更しても良い。このようにすると、出力電極の面積が製造後においても調整可能となり、腕部 1 6 c の静電力による Z 軸方向の変位を自在に調整しつつ、数式 (5) で示された、バイアス電圧の依存性の大きさをさらわす V^2 の係数の変化をより大きくすることが出来る。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 6 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施例としての共振器の斜視図である。

【 図 2 】 (a) は本発明の第 1 実施例としての共振器の電極の X - Y 平面図、(b) は本発明の第 1 実施例としての共振器の電極の X - Z 平面図、(c) は本発明の第 1 実施例としての共振器の電極の Y - Z 平面図である。

【 図 3 】 本発明の第 1 実施例としての共振器の製造工程毎の断面図である。

【 図 4 】 (a) は本発明の第 1 実施例としての共振器におけるバイアス電圧と腕部の Z 軸方向の変位との関係グラフ、(b) は本発明の第 1 実施例としての共振器におけるバイア

10

20

30

40

50

ス電圧と共振周波数の関係グラフである。

【図5】本発明の第2実施例としての共振器の斜視図である。

【図6】本発明の第2実施例としての共振器の出力電極及び固定電極の構成図である。

【図7】本発明の第2実施例としての共振器の製造工程毎の断面図である。

【図8】本発明の第2実施例としての共振器の製造工程毎の断面図である。

【図9】本発明の第3実施例としての共振器の斜視図である。

【図10】(a)は本発明の第3実施例としての共振器の電極のX-Y平面図、(b)は本発明の第3実施例としての共振器の電極のX-Z平面図、(c)は本発明の第3実施例としての共振器の電極のY-Z平面図である。

【図11】本発明の第3実施例としての共振器の製造工程毎の断面図である。

10

【図12】本発明の第3実施例としての共振器の変形例の斜視図である。

【図13】本発明の第3実施例としての共振器の変形例の斜視図である。

【符号の説明】

【0067】

10 共振器

11 シリコン基板

12 SiN膜

13 出力電極

14 入力電極

15 固定電極

20

15a 支持部

15b 腕部

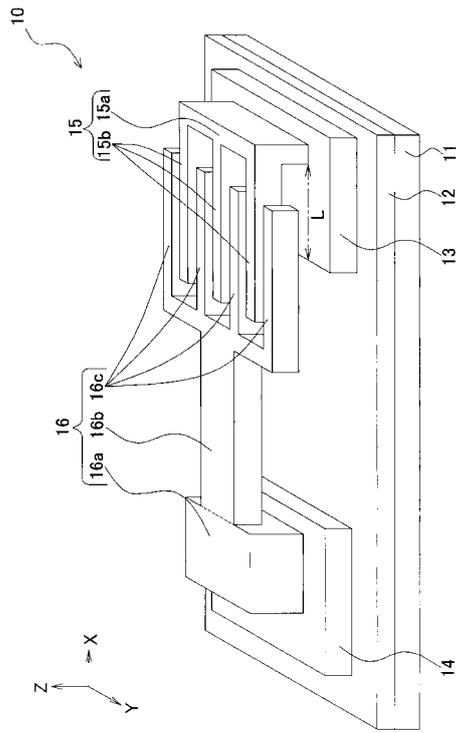
16 可動電極

16a 支持部

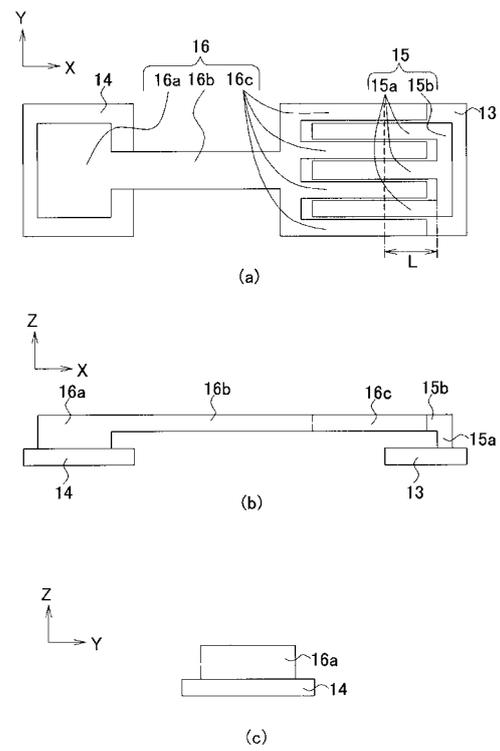
16b 梁部

16c 腕部

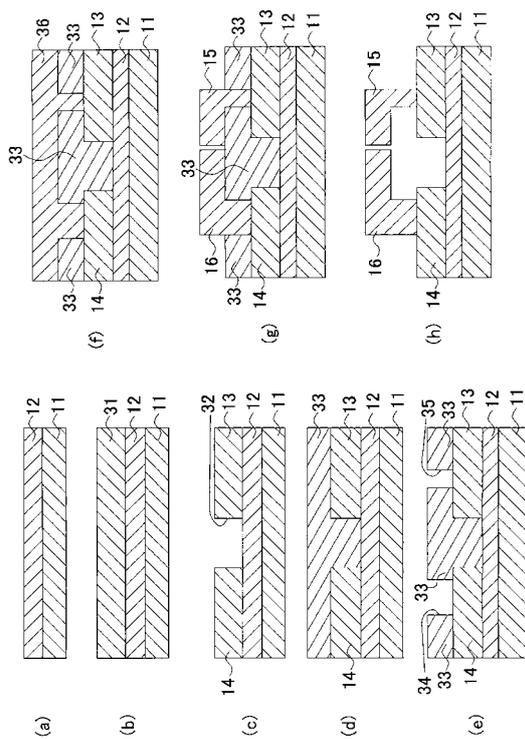
【 図 1 】



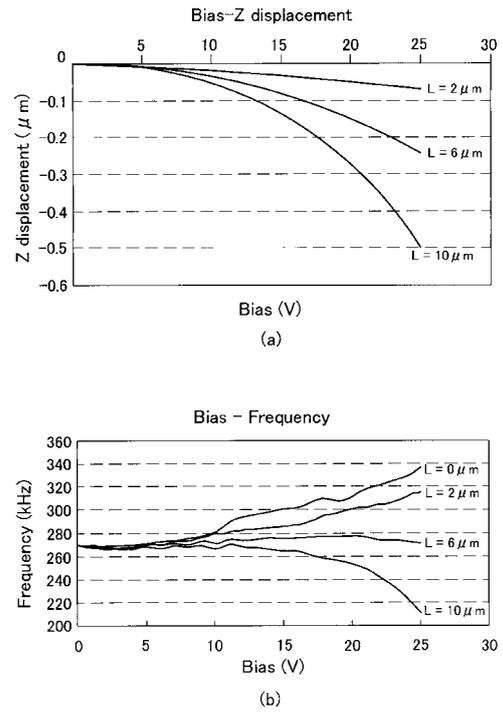
【 図 2 】



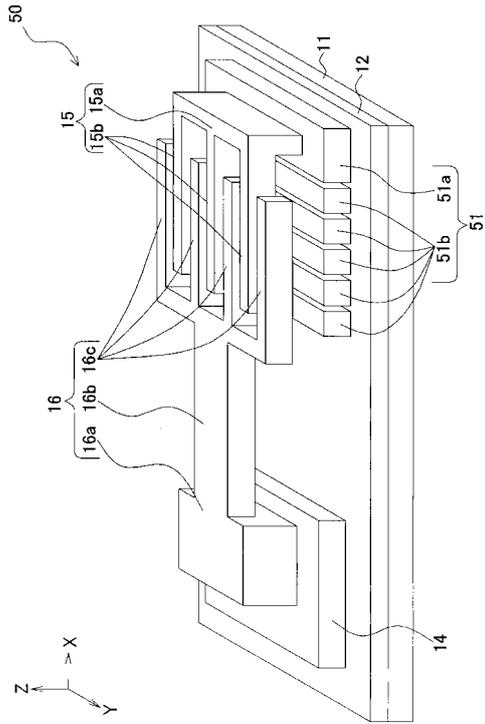
【 図 3 】



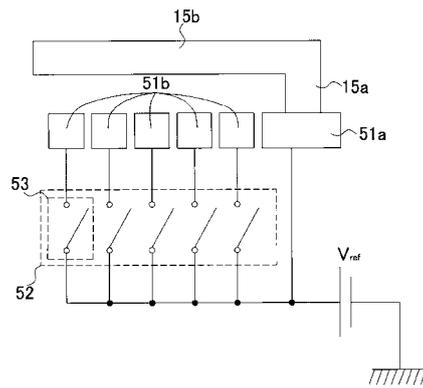
【 図 4 】



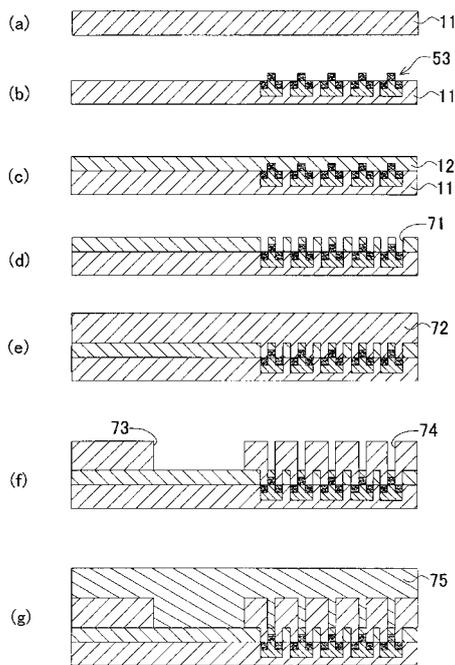
【 図 5 】



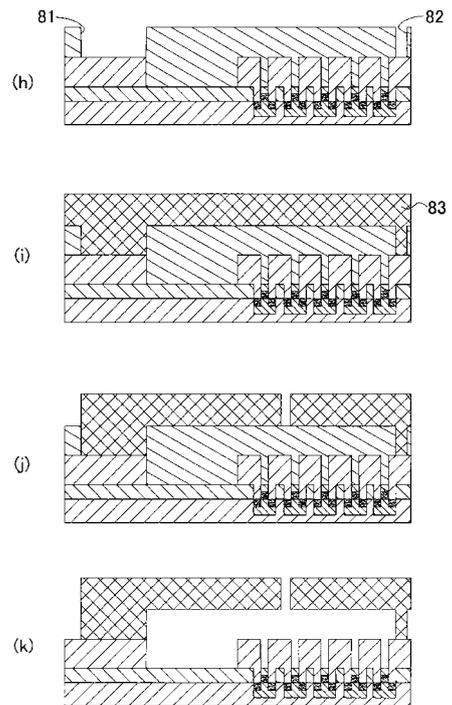
【 図 6 】



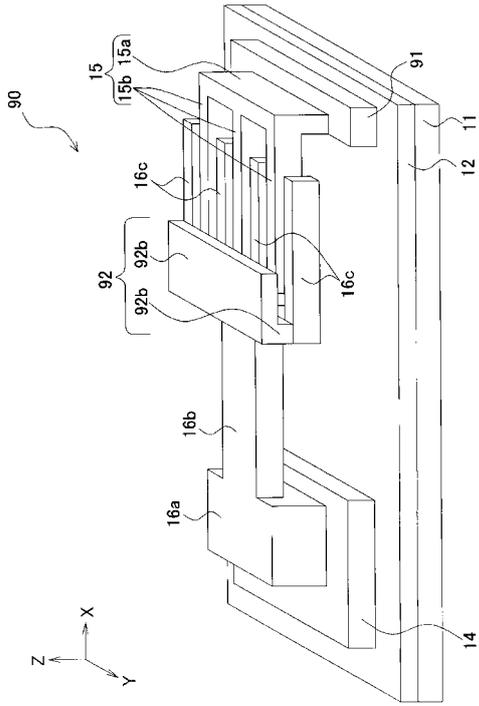
【 図 7 】



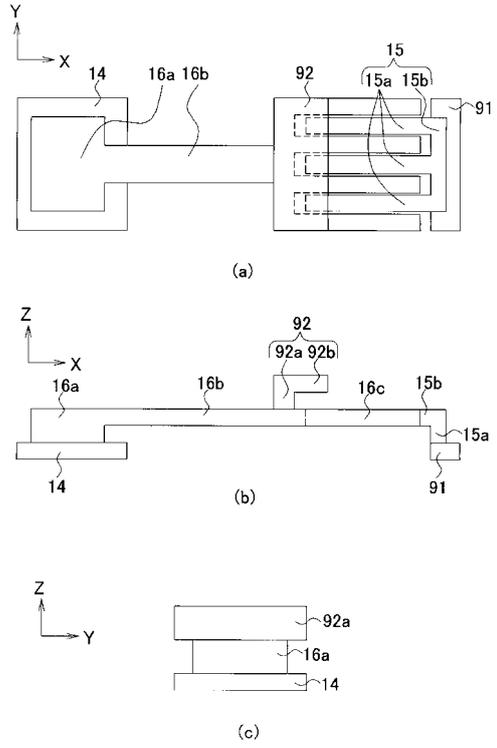
【 図 8 】



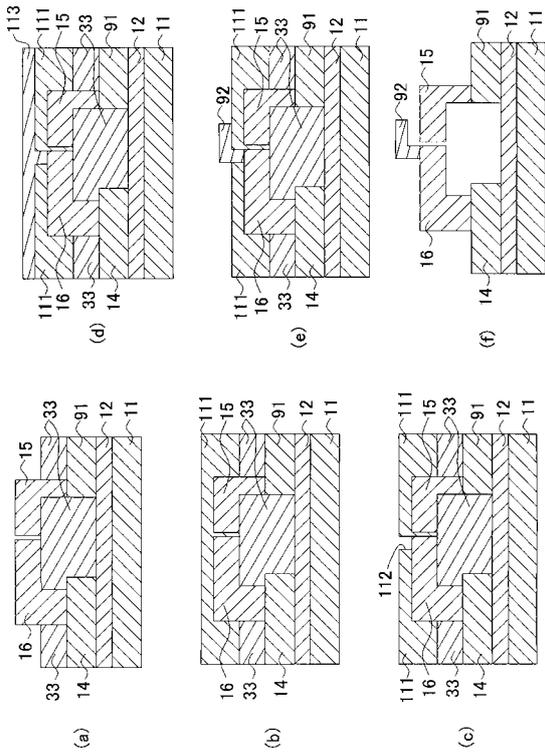
【図9】



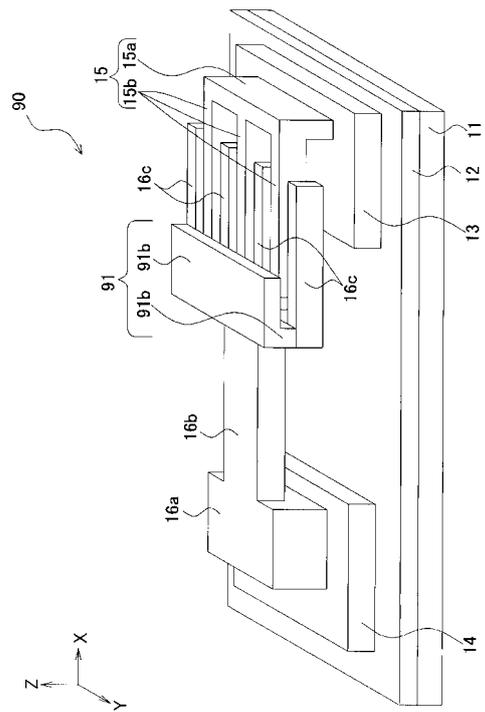
【図10】



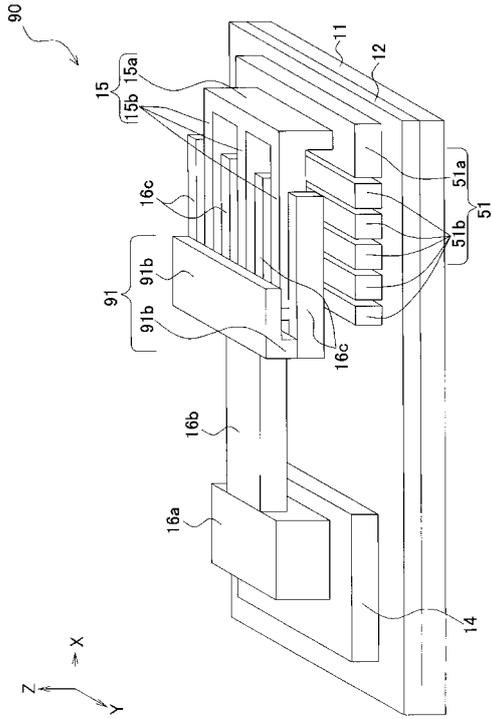
【図11】



【図12】



【 図 13 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2005-229564(JP,A)
特開2005-258081(JP,A)
特開2005-224934(JP,A)
特開2005-323271(JP,A)
特開2006-128912(JP,A)
特開2006-210265(JP,A)
特表2005-528010(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H3/007 - H03H3/10、H03H9/00 - 9/76、B81B3/00