

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5081586号  
(P5081586)

(45) 発行日 平成24年11月28日(2012.11.28)

(24) 登録日 平成24年9月7日(2012.9.7)

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

請求項の数 4 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2007-290259 (P2007-290259)	(73) 特許権者	000001889
(22) 出願日	平成19年11月8日(2007.11.8)		三洋電機株式会社
(65) 公開番号	特開2009-118281 (P2009-118281A)		大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
(43) 公開日	平成21年5月28日(2009.5.28)	(74) 代理人	100100114
審査請求日	平成22年10月28日(2010.10.28)		弁理士 西岡 伸泰
		(74) 代理人	100128831
			弁理士 杉岡 佳子
		(74) 代理人	100066728
			弁理士 丸山 敏之
		(74) 代理人	100100099
			弁理士 宮野 孝雄
		(74) 代理人	100119596
			弁理士 長塚 俊也
		(74) 代理人	100141841
			弁理士 久徳 高寛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロメカニカル共振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板(9)上に両端部が支持された共振ビーム(52)と、該共振ビーム(52)の両端部間の軸部に対向して配置された2つの電極(1)(2)とを具え、共振ビーム(52)の両端部間にて、一方の電極(1)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1 或いは複数のギャップ部が形成されると共に、他方の電極(2)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1 或いは複数のギャップ部が形成され、高周波信号の入力により何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間に交番静電気力を発生させて共振ビーム(52)に振動を与え、何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間の静電容量の変化を高周波信号として出力するマイクロメカニカル共振器において、

10

前記共振ビーム(52)には、所望の高次振動の節となる複数の領域にそれぞれ、他の領域よりも軸垂直方向における断面積の小さなくびれ部(54)が形成されており、隣接する2つのくびれ部(54)(54)間に形成された非くびれ部(53)に面して前記ギャップ部が形成されており、これらの複数のくびれ部(54)は、共振ビーム(52)の両端部寄りのくびれ部(54)よりも共振ビーム(52)の中央部寄りのくびれ部(54)の方が断面一次モーメントの大きな断面形状を有しており、これによって1次の共振モードの振動を抑えて高次の共振モードの振動を増大させたことを特徴とするマイクロメカニカル共振器。

【請求項2】

前記共振ビーム(52)の中央に位置する非くびれ部(53)を挟んで両側に、前記何れか一方の電極と、該電極に印加される高周波信号と同一の位相を有する高周波バイアス電圧が印

20

加されるべき外力調整用電極パッド(41)を配備することにより、該外力調整用電極パッド(41)が対向する非くびれ部(53)に作用する静電気力の変動幅を調節することが可能な請求項1に記載のマイクロメカニカル共振器。

【請求項3】

基板(9)上に両端部が支持された共振ビーム(52)と、該共振ビーム(52)の両端部間の軸部に対向して配置された2つの電極(1)(2)とを具え、共振ビーム(52)の両端部間に、一方の電極(1)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1 或いは複数のギャップ部が形成されると共に、他方の電極(2)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1 或いは複数のギャップ部が形成され、高周波信号の入力により何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間に交番静電気力を発生させて共振ビーム(52)に振動を与え、何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間の静電容量の変化を高周波信号として出力するマイクロメカニカル共振器において、

10

前記共振ビーム(52)には、所望の高次振動の節となる複数の領域にそれぞれ、他の領域よりも軸垂直方向における断面積の小さなくびれ部(54)が形成されており、隣接する2つのくびれ部(54)(54)間に形成された非くびれ部(53)に面して前記ギャップ部が形成されており、共振ビーム(52)の中央に位置する非くびれ部(53)を挟んで両側に、前記何れか一方の電極と、該電極に印加される高周波信号と同一の位相を有する高周波バイアス電圧が印加されるべき外力調整用電極パッド(41)を配備することにより、該外力調整用電極パッド(41)が対向する非くびれ部(53)に作用する静電気力の変動幅が、共振ビーム(52)の両端部に位置する非くびれ部(53)に作用する静電気力の変動幅よりも小さくなる様に設定されており、これによって1次の共振モードの振動を抑えて高次の共振モードの振動を増大させたことを特徴とするマイクロメカニカル共振器。

20

【請求項4】

基板(9)上に両端部が支持された共振ビーム(52)と、該共振ビーム(52)の両端部間の軸部に対向して配置された2つの電極(1)(2)とを具え、共振ビーム(52)の両端部間に、一方の電極(1)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1 或いは複数のギャップ部が形成されると共に、他方の電極(2)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1 或いは複数のギャップ部が形成され、高周波信号の入力により何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間に交番静電気力を発生させて共振ビーム(52)に振動を与え、何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間の静電容量の変化を高周波信号として出力するマイクロメカニカル共振器において、

30

前記共振ビーム(52)には、所望の高次振動の腹となる複数の領域に面して前記ギャップ部が形成されており、前記共振ビーム(52)の中央部に位置する振動の腹部分を挟んで両側に、前記何れか一方の電極と、該電極に印加される高周波信号と同一の位相を有する高周波バイアス電圧が印加されるべき外力調整用電極パッド(41)を配備することにより、該外力調整用電極パッド(41)が対向する前記振動の腹部分に作用する静電気力の変動幅が、共振ビーム(52)の両端部に位置する振動の腹部分に作用する静電気力の変動幅よりも小さくなる様に設定されており、これによって1次の共振モードの振動を抑えて高次の共振モードの振動を増大させたことを特徴とするマイクロメカニカル共振器。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、入力された高周波信号を機械的な信号に変換した後に再び高周波信号に変換して出力する共振器に関し、特に、半導体分野における微細加工技術を利用して作製されるマイクロメカニカル共振器に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体分野における微細加工技術を利用して、微細な機械構造を電子回路と一体化して形成する、所謂マイクロエレクトロメカニカルシステム(MEMS)技術が開発されており、フィルターや共振器への応用が検討されている。

50

## 【 0 0 0 3 】

図 1 4 は、MEMS 技術を用いた従来のマイクロメカニカル共振器を表わしている(非特許文献 1)。該マイクロメカニカル共振器は、図示の如く基板(96)上に共振子(90)を具え、該共振子(90)は、角柱状の共振ビーム(92)と、該共振ビーム(92)の両端部を支持すべき 4 本の角柱状の支持ビーム(91)～(91)とから構成されており、各支持ビーム(91)の基端部はそれぞれアンカー(93)によって基板(96)上に固定されている。これによって、共振子(90)は、基板(96)の表面から僅かに浮上した位置に保持されている。

## 【 0 0 0 4 】

又、共振子(90)の共振ビーム(92)の両側には、共振ビーム(92)の中央部を挟んで入力電極(94)と出力電極(95)が配備され、共振ビーム(92)と両電極(94)95)との間に所定のギャップ部 G が形成されている。

10

そして、入力電極(94)には高周波電源(6)が接続されると共に、1つのアンカー(93)には主電圧電源(7)が接続されている。

## 【 0 0 0 5 】

アンカー(93)を介して共振子(90)に直流電圧  $V_p$  を印加した状態で、入力電極(94)に高周波信号  $V_i$  を入力すると、入力電極(94)と共振ビーム(92)との間にギャップ部 G を介して交番静電気が発生し、該静電気力によって共振子(90)が基板(96)の表面と平行な面内で振動する。この共振子(90)の振動により、共振ビーム(92)と両電極(95)(94)との間に形成される静電容量が変化し、該静電容量の変化が出力電極(95)から高周波信号  $I_o$  として出力される。

20

## 【 0 0 0 6 】

又、図 1 5 は、従来の他のマイクロメカニカル共振器を表わしている(非特許文献 2、特許文献 1)。該マイクロメカニカル共振器は、基板(107)上に平板状の共振子(100)を具え、該共振子(100)は、両端部と中央部の 3 カ所に支持部(103)を有すると共に、隣接する 2 つの支持部(103)(103)間に共振ビーム(102)を有している。各支持部(103)には支持ビーム(101)が突設され、各支持ビーム(101)の基端部はそれぞれアンカー(104)によって基板(107)に固定されている。これによって、共振子(100)は、基板(107)の表面から僅かに浮上した位置に保持されている。

## 【 0 0 0 7 】

又、基板(107)上には、共振子(100)の 2 つの共振ビーム(102)(102)との間に、入力電極(106)と出力電極(105)が配備され、一方の共振ビーム(102)と入力電極(106)の間、並びに他方の共振ビーム(102)と出力電極(105)との間に、所定のギャップ部が形成されている。

30

そして、入力電極(106)には高周波電源(6)が接続されると共に、1つのアンカー(104)には主電圧電源(7)が接続されている。

## 【 0 0 0 8 】

アンカー(104)を介して共振子(100)に直流電圧  $V_p$  を印加した状態で、入力電極(106)に高周波信号  $V_i$  を入力すると、入力電極(106)と共振ビーム(102)との間にギャップ部を介して交番静電気が発生し、該静電気力によって共振子(100)が基板(107)の表面と垂直な面内で振動する。この共振子(100)の振動により、共振子(100)と両電極(106)(105)との間に形成される静電容量が変化し、該静電容量の変化が出力電極(105)から高周波信号  $I_o$  として出力される。

40

## 【 0 0 0 9 】

【非特許文献 1】W.-T.Hsu, J.R.Clark, and C.T.-C.Nguyen, "Q-optimized lateral free-free beam micromechanical resonators," Digest of Technical papers, the 11th Int. Conf. on Solid-State Sensors & Actuators (Transducers '01), Munich, Germany, June 10-14, 2001, pp.1110-1113.

【非特許文献 2】M.U.Demirci and C.T.-C.Nguyen, "Higher-mode free-free beam micromechanical resonators," Proceedings, 2003 IEEE Int. Frequency Control Symposium, Tampa, May 5-8, 2003, pp.810-818.

【特許文献 1】特表 2 0 0 2 - 5 3 5 8 6 5 号公報

50

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0010】

上述の如きマイクロメカニカル共振器においては、図16(a)に示す1次の共振モードの他、同図(b)に示す2次の共振モードや同図(c)に示す3次の共振モード等の高次の共振モードが混在して発生するが、特にマイクロメカニカル共振器をGHz帯で動作する高周波無線通信機器に応用する場合、製造時の加工を容易にするため、共振器のサイズを大きく出来る、高次の共振モードを利用する必要がある。しかしながら、図17に示す如く、1次の共振モードの強度が最も高く、3次の共振モード、5次の共振モードと、高次になるほど強度が低くなるため、応用が進んでいないのが実状である。

10

## 【0011】

そこで本発明の目的は、1次の共振モードの振動を抑えて高次の共振モードの振動を増大させることが可能なマイクロメカニカル共振器を提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0012】

本発明に係る第1のマイクロメカニカル共振器は、基板(9)上に両端部が支持された共振ビーム(52)と、該共振ビーム(52)の両端部間の軸部に対向して配置された2つの電極(1)(2)とを具え、共振ビーム(52)の両端部間にて、一方の電極(1)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1或いは複数のギャップ部が形成されると共に、他方の電極(2)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1或いは複数のギャップ部が形成され、高周波信号の入力により何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間に交番静電気を発生させて共振ビーム(52)に振動を与え、何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間の静電容量の変化を高周波信号として出力するものである。

20

## 【0013】

そして、前記共振ビーム(52)には、所望の高次振動の節となる複数の領域にそれぞれ、他の領域よりも軸垂直方向における断面積の小さなくびれ部(54)が形成されており、隣接する2つのくびれ部(54)(54)間に形成された非くびれ部(53)に面して前記ギャップ部が形成されており、これらの複数のくびれ部(54)は、共振ビーム(52)の両端部寄りのくびれ部(54)よりも共振ビーム(52)の中央部寄りのくびれ部(54)の方が断面一次モーメントの大きな断面形状を有している。

30

## 【0014】

上記本発明のマイクロメカニカル共振器においては、共振ビーム(52)に形成されている複数のくびれ部(54)の断面一次モーメントをくびれ部(54)の位置によって変化させることにより、共振ビーム(52)を中央のくびれ部(54)で最も曲がり難く、両端部のくびれ部(54)で最も曲がり易い形状としているので、共振ビーム(52)に発生する高次共振モードの振動波形は、該波形に含まれる複数のピーク値が互いに等しくなる理想的なものに近づき、その結果、1次の共振モードの振動が抑えられて高次の共振モードの振動が増大することになる。

## 【0015】

本発明に係る第2のマイクロメカニカル共振器は、基板(9)上に両端部が支持された共振ビーム(52)と、該共振ビーム(52)の両端部間の軸部に対向して配置された2つの電極(1)(2)とを具え、共振ビーム(52)の両端部間にて、一方の電極(1)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1或いは複数のギャップ部が形成されると共に、他方の電極(2)と共振ビーム(52)とが互いに対向して、1或いは複数のギャップ部が形成され、高周波信号の入力により何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間に交番静電気を発生させて共振ビーム(52)に振動を与え、何れか一方若しくは両方の電極(1)(2)と共振ビーム(52)との間の静電容量の変化を高周波信号として出力するものである。

40

## 【0016】

そして、前記共振ビーム(52)には、所望の高次振動の節となる複数の領域にそれぞれ、他の領域よりも軸垂直方向における断面積の小さなくびれ部(54)が形成されており、隣接

50

する2つのくびれ部(54)(54)間に形成された非くびれ部(53)に面して前記ギャップ部が形成されており、共振ビーム(52)の中央に位置する非くびれ部(53)を挟んで両側に、前記何れか一方の電極と、該電極に印加される高周波信号と同一の位相を有する高周波バイアス電圧が印加されるべき外力調整用電極パッド(41)を配備することにより、該外力調整用電極パッド(41)が対向する非くびれ部(53)に作用する静電気力の変動幅が、共振ビーム(52)の両端部に位置する非くびれ部(53)に作用する静電気力の変動幅よりも小さくなる様に設定されている。

【0017】

上記本発明のマイクロメカニカル共振器においては、共振ビーム(52)の中央の非くびれ部(53)を挟んで両側に、入力信号としての高周波信号が印加される電極と、該高周波信号と同一位相の高周波バイアス電圧が印加される外力調整用電極パッド(41)とが配備されているので、該電極によって該非くびれ部(53)に作用する静電気力の一部が、外力調整用電極パッド(41)によって該非くびれ部(53)に作用する静電気力によって打ち消される。

10

【0018】

これによって、共振ビーム(52)に対して各ギャップ部を介して作用する静電気力の変動幅が、共振ビーム(52)の中央部近傍のギャップ部で最も小さく且つ両端部近傍のギャップ部で最も大きくなるので、共振ビーム(52)に発生する高次共振モードの振動波形は、該波形に含まれる複数のピーク値が互いに等しくなる理想的なものに近づき、その結果、1次の共振モードの振動が抑えられて高次の共振モードの振動が増大することになる。

【発明の効果】

20

【0019】

本発明に係るマイクロメカニカル共振器によれば、1次の共振モードの振動よりも高次の共振モードの振動が増大するので、該高次共振モードを利用することにより、従来よりも高い周波数帯域で動作する高周波無線通信機器を容易に構成することが出来る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

先ず、本発明の前提となるマイクロメカニカル共振器について説明する。

本発明者らは、1次の共振モードの振動を抑えて高次の共振モードの振動を増大させることが可能なマイクロメカニカル共振器を提供するべく鋭気研究を重ねる過程で、図3に示す如きマイクロメカニカル共振器を発明した。

30

【0021】

該マイクロメカニカル共振器においては、基板(9)上に共振ビーム(52)が配備され、該共振ビーム(52)の両端部はそれぞれアンカー(3)により基板(9)に固定されており、これによって、共振ビーム(52)は基板(9)の表面から僅かに浮上した位置に保持されている。

斯くして、共振ビーム(52)は、両アンカー(3)(3)が支持部(50)(50)となって、基板(9)の表面と平行な面内で振動が可能である。

【0022】

共振ビーム(52)には、その両端部を含む4つの領域に、他の領域よりも断面積の小さなくびれ部(54)~(54)が凹設されており、これによって形成される3つの非くびれ部(53)(53)(53)を挟んで両側には、1つの電極突出部(10)を有する第1の電極と2つの電極突出部(20)(20)を有する第2の電極とが対向配備され、3つの電極突出部(10)(20)(20)と3つの非くびれ部(53)(53)(53)との間にはそれぞれ所定のギャップ部が形成されている。

40

図3の例は3次共振モードを得るための構成を示し、共振ビーム(52)における3次共振モードの腹の部分に対応して電極突出部(10)(20)(20)が配置され、節の部分に対応してくびれ部(54)~(54)が形成される。

【0023】

そして、2つの電極には高周波電源(図示省略)が接続されると共に、一方のアンカー(3)には主電圧電源(図示省略)が接続されて、他方のアンカー(3)から高周波信号が出力される。

この場合、一方のアンカー(3)を介して共振ビーム(52)に直流電圧を印加した状態で、

50

2つの電極に高周波信号を入力すると、共振ビーム(52)と両電極の間にギャップ部を介して交番静電気力が発生し、該静電気力によって共振ビーム(52)が基板(9)の表面と平行な面内で振動する。この共振ビーム(52)の振動により、共振ビーム(52)と両電極の間の静電容量が変化し、該静電容量の変化が他方のアンカー(3)から高周波信号として出力される。

【0024】

ここで、共振ビーム(52)に対して各ギャップ部を介して作用する静電気力は、その変動幅が共振ビーム(52)の中央部近傍のギャップ部で最も小さく且つ両端部近傍のギャップ部で最も大きくなる様に設定されている。

即ち、図3の場合、共振ビーム(52)の中央の非くびれ部(53)と電極突出部(10)との間に作用する交番静電気力の変動幅のピーク値を $F_a$ 、両側の非くびれ部(53)と電極突出部(20)との間に作用する交番静電気力の変動幅のピーク値を $F_b$ とすると、 $F_a < F_b$ の大小関係となる様に設定されている。

【0025】

図3に示す本発明の前提となるマイクロメカニカル共振器と、従来のマイクロメカニカル共振器、即ち、共振ビーム(52)にくびれ部を有せず、且つ共振ビーム(52)の中央部に作用する交番静電気力のピーク値 $F_a$ と両側部に作用する交番静電気力のピーク値 $F_b$ を同一( $F_a = F_b$ )としたマイクロメカニカル共振器とを対象として、1次共振モード、3次共振モード及び5次共振モードのそれぞれについての周波数特性をコンピュータシミュレーションにより計算した。図4及び図5はそれぞれ従来のマイクロメカニカル共振器と本発明の前提となるマイクロメカニカル共振器についての計算結果を表わしている。

【0026】

尚、従来のマイクロメカニカル共振器においては交番静電気力のピーク値 $F_a$ 、 $F_b$ を共に $0.01 \text{ MPa}$ に設定し、本発明の前提となるマイクロメカニカル共振器においては交番静電気力のピーク値 $F_a$ と $F_b$ をそれぞれ $0.0086 \text{ MPa}$ と $0.01 \text{ MPa}$ に設定した。

【0027】

従来のマイクロメカニカル共振器においては図4から明らかな様に、1次共振モードのハーモニック変位が最も大きく、3次共振モードのハーモニック変位や5次共振モードのハーモニック変位はそれよりも小さくなっているのに対し、本発明の前提となるマイクロメカニカル共振器においては図5から明らかな様に、1次共振モードのハーモニック変位が抑制されて、3次共振モードのハーモニック変位が最も大きくなっている。

【0028】

この様に本発明の前提となるマイクロメカニカル共振器によれば、1次共振モードの振動が抑制されて、高次共振モードの振動が増大するので、その高次共振モードを利用することによって、従来よりも高い周波数帯域で動作する高周波無線通信機器を容易に構成することが出来る。

【0029】

但し、本発明の前提となるマイクロメカニカル共振器においては、共振ビーム(52)の複数の非くびれ部(53)に対して異なる大きさの交番静電気力を作用させるための構成が必要である。

例えば、共振ビーム(52)に電極を対向させて形成されている複数のギャップ部のギャップ長を、共振ビーム(52)の中央部のギャップ部で最も大きく且つ両端部のギャップ部で最も小さくなる様に設定する構成や、共振ビーム(52)に対向する電極部の幅(ギャップ部の幅)を、共振ビーム(52)の中央部のギャップ部で最も小さく且つ両端部のギャップ部で最も大きくなる様に設定する構成を採用することが出来る。

【0030】

又、図6は、共振ビームにくびれ部を有しない3種類のマイクロメカニカル共振器C1、C2、C3と、共振ビームに4つのくびれ部を有するマイクロメカニカル共振器C4とを対象として、共振ビームの両端部に対向する2つの電極による静電気力(両端電極外力)

10

20

30

40

50

を  $0.01$  [MPa] の一定値に設定した状態で共振ビームの中央部に対向する中央電極による静電気力(中央電極外力)を変化させた場合の、3次共振モードの振幅に対する1次共振モードの振幅の比(1次/3次共振モード振幅比)の変化を表わしている。

【0031】

尚、くびれ部を有しない3種類のマイクロメカニカル共振器C1、C2、C3はそれぞれ共振ビームの厚さ(振動方向の厚さ)を  $1.80\ \mu\text{m}$ 、 $2.46\ \mu\text{m}$ 、 $3.00\ \mu\text{m}$  に設定したものであり、くびれ部を有するマイクロメカニカル共振器C4は、くびれ部の厚さを  $1.80\ \mu\text{m}$ 、非くびれ部の厚さを  $3.00\ \mu\text{m}$  に設定したものである。又、電極幅は全てのマイクロメカニカル共振器C1~C4において一定の  $4\ \mu\text{m}$  に設定した。勿論、共振ビームには振動方向と垂直な方向にもくびれを形成してもよい。

10

【0032】

図6に示す特性曲線において、1次/3次共振モード振幅比の減少は、1次共振モードの振動が抑制されて3次共振モードの振動が増大することを意味しており、1次/3次共振モード振幅比が極小値(逆ピーク値)を生じる点が、最適の中央電極外力となる。

【0033】

図示の如く、くびれ部を有しないマイクロメカニカル共振器C1、C2、C3においては、共振ビームの厚さが大きいもの程、1次/3次共振モード振幅比が極小値(逆ピーク値)となる中央電極外力が大きくなっており、両端電極外力の  $0.01$  [MPa] に近づいているが、共振ビームにくびれ部を有するマイクロメカニカル共振器においては、1次/3次共振モード振幅比が極小値(逆ピーク値)となる中央電極外力が、くびれ部を有しない

20

【0034】

即ち、共振ビームにくびれ部を形成することにより、中央電極外力を両端電極外力に可及的に近づけることが可能であり、これによって、前述のギャップ長やギャップ幅に差異を与えることによるインピーダンスの増大を抑制することが出来る。

【0035】

本発明に係るマイクロメカニカル共振器は、共振ビームにくびれ部を形成したもののにおいて、更にインピーダンスの低減を図るべく、図3に示されたマイクロメカニカル共振器に改良を加えたものである。以下、本発明の2つの実施形態につき、図面に沿って具体的に説明する。

30

【0036】

第1の実施形態

図1は、本発明に係るマイクロメカニカル共振器の第1の実施形態を表わしている。該マイクロメカニカル共振器においては、基板(9)上に共振ビーム(52)が配備され、該共振ビーム(52)の両端部はそれぞれアンカー(3)により基板(9)に固定されており、これによって、共振ビーム(52)は基板(9)の表面から僅かに浮上した位置に保持されている。

斯くして、共振ビーム(52)は、両アンカー(3)(3)が支持部(50)(50)となって、基板(9)の表面と平行な面内で振動が可能である。

【0037】

共振ビーム(52)には、その両端部を含む4つの領域に、他の領域よりも断面積の小さなくびれ部(54a)(54a)(54b)(54b)が凹設されており、これによって形成される3つの非くびれ部(53)(53)(53)を挟んで両側には、1つの電極突出部(10)を有する第1の電極(1)と2つの電極突出部(20)(20)を有する第2の電極(2)とが対向配備され、3つの電極突出部(10)(20)(20)と3つの非くびれ部(53)(53)(53)との間にはそれぞれ所定のギャップ部が形成されている。

40

ここで、3つのギャップ部におけるギャップ幅及びギャップ長は同一に形成されている。

【0038】

尚、図1の例は3次共振モードを得るための構成を示し、共振ビーム(52)における3次

50

共振モードの腹の部分に対応して電極突出部(10)(20)(20)が配置され、節の部分に対応してくびれ部(54a)(54a)(54b)(54b)が形成される。

【0039】

ここで、共振ビーム(52)に形成される4つのくびれ部(54a)(54a)(54b)(54b)の断面形状は、振動面内での曲げ変形に関して、中央の2つのくびれ部(54a)(54a)の断面一次モーメントA1が両側の2つのくびれ部(54b)(54b)の断面一次モーメントA2よりも大きくなる様に形成されている。例えば、共振ビーム(52)の非くびれ部(53)(53)(53)の厚さが一定の場合、中央の2つのくびれ部(54a)(54a)の厚さが両側の2つのくびれ部(54b)(54b)の厚さよりも大きく形成されている。

【0040】

2つの電極(1)(2)には高周波電源(6)が接続されると共に、一方のアンカー(3)には主電圧電源(図示省略)が接続されて、他方のアンカー(3)から高周波信号が出力される。

この場合、一方のアンカー(3)を介して共振ビーム(52)に直流電圧を印加した状態で、2つの電極に高周波信号を入力すると、共振ビーム(52)と両電極の間にギャップ部を介して交番静電気が発生し、該静電気力によって共振ビーム(52)が基板(9)の表面と平行な面内で振動する。この共振ビーム(52)の振動により、共振ビーム(52)と両電極の間の静電容量が変化し、該静電容量の変化が他方のアンカー(3)から高周波信号として出力される。

【0041】

或いは、一方の電極には高周波電源(図示省略)が接続されると共に、一方のアンカー(3)には主電圧電源(図示省略)が接続されて、他方の電極から高周波信号が出力される構成も採用可能である。

この場合、一方のアンカー(3)を介して共振ビーム(52)に直流電圧を印加した状態で、一方の電極に高周波信号を入力すると、共振ビーム(52)と前記一方の電極との間にギャップ部を介して交番静電気が発生し、該静電気力によって共振ビーム(52)が基板(9)の表面と平行な面内で振動する。この共振ビーム(52)の振動により、共振ビーム(52)と両電極の間の静電容量が変化し、該静電容量の変化が他方の電極から高周波信号として出力される。

【0042】

上記本発明のマイクロメカニカル共振器においては、共振ビーム(52)の中央寄りの2つのくびれ部(54a)(54a)の断面一次モーメントA1が両端寄りの2つのくびれ部(54b)(54b)の断面一次モーメントA2よりも大きいので、3つの非くびれ部(53)に対して作用する静電気力が同一であったとしても、中央寄りのくびれ部(54a)(54a)は両端寄りのくびれ部(54b)(54b)よりも振動面内での曲げモーメントに対する耐力が強くなっており、変形し難いことになる。これは、図3に示すマイクロメカニカル共振器において、共振ビーム(52)の中央の非くびれ部(53)に作用する静電気力 $F_a$ を、両側の非くびれ部(53)(53)に作用する静電気力 $F_b$ よりも小さく設定することと同等である。

【0043】

従って、図1に示す本発明のマイクロメカニカル共振器と、従来のマイクロメカニカル共振器とを対象として、1次共振モード、3次共振モード及び5次共振モードのそれぞれについての周波数特性を計算すると、図4及び図5に示す結果が得られることになる。

【0044】

従来のマイクロメカニカル共振器においては図4の如く、1次共振モードのハーモニック変位が最も大きく、3次共振モードのハーモニック変位や5次共振モードのハーモニック変位はそれよりも小さくなるのに対し、本発明のマイクロメカニカル共振器においては図5の如く、1次共振モードのハーモニック変位が抑制されて、3次共振モードのハーモニック変位が最も大きくなる。

【0045】

この様に本発明に係るマイクロメカニカル共振器によれば、1次共振モードの振動が抑制されて、高次共振モードの振動が増大するので、その高次共振モードを利用することに

10

20

30

40

50

よって、従来よりも高い周波数帯域で動作する高周波無線通信機器を容易に構成することが出来る。

【 0 0 4 6 】

図 7 ~ 図 1 3 は、本発明に係るマイクロメカニカル共振器の第 1 実施形態の具体的な構成例を示している。

第 1 構成例

図 7 及び図 8 に示すマイクロメカニカル共振器においては、シリコン或いはガラスからなる基板 ( 9 ) 上に、シリコン、アルミニウム等の導電材料からなる共振子 ( 5 ) が配備されると共に、該共振子 ( 5 ) の両側には、シリコン、アルミニウム等の導電材料からなる一対の駆動電極 ( 1 ) ( 2 ) が配備されている。

10

【 0 0 4 7 】

共振子 ( 5 ) は、長さが例えば  $10 \sim 20 \mu\text{m}$  の角柱状の共振ビーム ( 5 2 ) と、該共振ビーム ( 5 2 ) の両端部に互いに平行に突設された一対の支持ビーム ( 5 1 ) ( 5 1 ) とを具えて、全体が H 字状に形成されている。共振ビーム ( 5 2 ) には、その長手方向の 7 カ所にくびれ部が等間隔に凹設されている。各支持ビーム ( 5 1 ) の両端部は、それぞれシリコン、アルミニウム等の導電材料からなるアンカー ( 3 ) によって、基板 ( 9 ) の表面に固定されており、これによって、共振子 ( 5 ) は、基板 ( 9 ) の表面から僅かに浮上した位置に保持されている。

ここで、共振ビーム ( 5 2 ) に形成されている複数のくびれ部の断面形状は、振動面内での曲げ変形に関して、中央寄りのくびれ部の断面一次モーメントが両端寄りのくびれ部の断面一次モーメントよりも大きくなる様に形成されている。

20

【 0 0 4 8 】

又、共振子 ( 5 ) の両支持ビーム ( 5 1 ) ( 5 1 ) の外側には、それぞれ支持ビーム ( 5 1 ) の中央部に対向して、一対のバイアス電極 ( 4 ) ( 4 ) が配備されており、支持ビーム ( 5 1 ) とバイアス電極 ( 4 ) の間には所定 (例えば  $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ ) のギャップが形成されている。

【 0 0 4 9 】

一対の駆動電極 ( 1 ) ( 2 ) はそれぞれ、基部 ( 1 1 ) ( 2 1 ) と、該基部 ( 1 1 ) ( 2 1 ) から共振ビーム ( 5 2 ) へ向けて等間隔に突設された 3 つの電極突出部 ( 1 0 ) ( 2 0 ) とを具えて、全体が櫛歯状を呈している。

一方の駆動電極 ( 1 ) の 3 つの電極突出部 ( 1 0 ) ( 1 0 ) ( 1 0 ) と他方の駆動電極 ( 2 ) の 3 つの電極突出部 ( 2 0 ) ( 2 0 ) ( 2 0 ) はそれぞれ、基板 ( 9 ) の表面と平行な面内で、共振ビーム ( 5 2 ) の非くびれ部と交互に対向して、共振ビーム ( 5 2 ) の非くびれ部との間に所定 (例えば  $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ ) のギャップ部 G を形成している。

30

【 0 0 5 0 】

図 8 に示す如く、一対の駆動電極 ( 1 ) ( 2 ) には高周波電源 ( 6 ) が接続され、 1 つのアンカー ( 3 ) には主電圧電源 ( 7 ) が接続されている。又、一対のバイアス電極 ( 4 ) ( 4 ) にはバイアス電圧電源 ( 8 ) が接続されている。

斯くして、図 7 及び図 8 に示すマイクロメカニカル共振器は、高周波電源 ( 6 ) から 2 つの駆動電極 ( 1 ) ( 2 ) に高周波信号が入力されて、 1 つのアンカー ( 3 ) から高周波信号  $I_o$  が出力される 1 ポート型の共振器を構成している。

【 0 0 5 1 】

上記のマイクロメカニカル共振器において、アンカー ( 3 ) を介して共振子 ( 5 ) に直流電圧  $V_p$  を印加した状態で、両駆動電極 ( 1 ) ( 2 ) に高周波信号を入力すると、電極突出部 ( 1 0 ) ( 2 0 ) と支持ビーム ( 5 1 ) の非くびれ部との間に静電気力が発生し、この静電気力によって、共振子 ( 5 ) の共振ビーム ( 5 2 ) は、その両端部を支持部 ( 5 0 ) ( 5 0 ) として、基板 ( 9 ) の表面と平行な面内で振動することになる。

40

【 0 0 5 2 】

共振子 ( 5 ) の共振ビーム ( 5 2 ) は、くびれ部が振動の節、非くびれ部が振動の腹となって振動し、この振動に伴って、共振ビーム ( 5 2 ) と両駆動電極 ( 1 ) ( 2 ) との間に形成される静電容量が変化し、該静電容量の変化が他の 1 つのアンカー ( 3 ) から高周波信号  $I_o$  として出力される。

50

尚、共振ビーム(52)に発生する高次共振モードの振動波形は、該波形に含まれる複数のピーク値が互いに等しくなる理想的なものに近づき、その結果、1次の共振モードの振動が抑えられて高次の共振モードの振動が増大することになる。

【0053】

ここで、バイアス電極(4)(4)にバイアス電圧を印加することにより、共振子(5)の支持ビーム(51)(51)とバイアス電極(4)(4)との間に静電気力が発生し、これによって共振子(5)の共振ビーム(52)は、長手方向の引っ張り力を受けることになる。

従って、バイアス電圧電源(8)のバイアス電圧を調整することにより、共振ビーム(52)の共振周波数を変化させて、アンカー(3)から出力される高周波信号I<sub>o</sub>の周波数を微調整することが出来る。

10

【0054】

上述のマイクロメカニカル共振器によれば、共振子(5)の共振ビーム(52)の長手方向に沿って、複数の電極突出部(10)(20)を交互に配置することにより、その電極突出部(10)(20)の数に応じた高次の共振モードで共振ビーム(52)を意図的に共振させて、GHz帯の共振周波数を得ることが出来る。

【0055】

## 第2構成例

図9に示すマイクロメカニカル共振器においては、シリコン或いはガラスからなる基板(9)上に、シリコン、アルミニウム等の導電材料からなる共振子(5)が配備されると共に、該共振子(5)の両側には、シリコン、アルミニウム等の導電材料からなる入力電極(22)と出力電極(12)が配備されている。

20

【0056】

共振子(5)は、第1構成例と同じ構造を有し、共振ビーム(52)に形成されている複数のくびれ部の断面形状は、振動面内での曲げ変形に関して、中央寄りのくびれ部の断面一次モーメントが両端寄りのくびれ部の断面一次モーメントよりも大きくなる様に形成されている。又、共振子(5)の両支持ビーム(51)(51)の外側には、それぞれ支持ビーム(51)の中央部に対向して、一对のバイアス電極(4)(4)が配備されており、支持ビーム(51)とバイアス電極(4)の間には所定(例えば0.1~0.5μm)のギャップが形成されている。

【0057】

入力電極(22)及び出力電極(12)はそれぞれ、基部(23)(13)と、該基部(23)(13)から共振ビーム(52)へ向けて等間隔に突設された3つの電極突出部(24)(14)とを具えて、全体が櫛歯状を呈している。

30

入力電極(22)の3つの電極突出部(24)(24)(24)と出力電極(12)の3つの電極突出部(14)(14)(14)はそれぞれ、基板(9)の表面と平行な面内で、共振ビーム(52)の非くびれ部と交互に対向して、共振ビーム(52)の非くびれ部との間に所定(例えば0.1~0.5μm)のギャップ部Gを形成している。

【0058】

入力電極(22)には高周波電源(6)が接続され、1つのアンカー(3)には主電圧電源(7)が接続されている。又、一对のバイアス電極(4)(4)にはバイアス電圧電源(8)が接続されている。

40

斯くして、図9に示すマイクロメカニカル共振器は、高周波電源(6)から入力電極(22)に高周波信号が入力されて、出力電極(12)から高周波信号I<sub>o</sub>が出力される2ポート型の共振器を構成している。

【0059】

上記のマイクロメカニカル共振器において、アンカー(3)を介して共振子(5)に直流電圧V<sub>p</sub>を印加した状態で、入力電極(22)に高周波信号を入力すると、電極突出部(24)と支持ビーム(51)の非くびれ部との間に静電気力が発生し、この静電気力によって、共振子(5)の共振ビーム(52)は、その両端部を支持部(50)(50)として、基板(9)の表面と平行な面内で振動することになる。

【0060】

50

共振子(5)の共振ビーム(52)は、くびれ部が振動の節、非くびれ部が振動の腹となって振動し、この振動に伴って、共振ビーム(52)と出力電極(12)との間に形成される静電容量が変化し、該静電容量の変化が出力電極(12)から高周波信号I<sub>o</sub>として出力される。

尚、共振ビーム(52)に発生する高次共振モードの振動波形は、該波形に含まれる複数のピーク値が互いに等しくなる理想的なものに近づき、その結果、1次の共振モードの振動が抑えられて高次の共振モードの振動が増大することになる。

【0061】

ここで、バイアス電極(4)(4)にバイアス電圧を印加することにより、共振子(5)の支持ビーム(51)(51)とバイアス電極(4)(4)との間に静電気が発生し、これによって共振子(5)の共振ビーム(52)は、長手方向の引っ張り力を受けることになる。

従って、バイアス電圧電源(8)のバイアス電圧を調整することにより、共振ビーム(52)の共振周波数を変化させて、アンカー(3)から出力される高周波信号I<sub>o</sub>の周波数を微調整することが出来る。

【0062】

上述のマイクロメカニカル共振器によれば、共振子(5)の共振ビーム(52)の長手方向に沿って、複数の電極突出部(14)(24)を交互に配置することにより、その電極突出部(14)(24)の数に応じた高次の共振モードで共振ビーム(52)を意図的に共振させて、GHz帯の発振周波数を得ることが出来る。

【0063】

### 第3構成例

図10に示すマイクロメカニカル共振器においては、シリコン或いはガラスからなる基板(9)上に、シリコン、アルミニウム等の導電材料からなる共振子(5)が配備されると共に、該共振子(5)の両側には、シリコン、アルミニウム等の導電材料からなる一对の駆動電極(15)(25)が配備されている。

【0064】

共振子(5)において、共振ビーム(52)に形成されている複数のくびれ部の断面形状は、中央寄りのくびれ部の断面一次モーメントが両端寄りのくびれ部の断面一次モーメントよりも大きくなる様に振動方向の厚さを変えて形成されている。又、共振子(5)の両支持ビーム(51)(51)の外側には、それぞれ支持ビーム(51)の中央部に対向して、一对のバイアス電極(4)(4)が配備されており、支持ビーム(51)とバイアス電極(4)の間には所定(例えば0.1~0.5μm)のギャップが形成されている。

【0065】

一方の駆動電極(15)は、共振ビーム(52)の下方、即ち共振ビーム(52)と基板(9)の間へ向けて等間隔に突出する3つの電極突出部(16)(16)(16)を具え、他方の駆動電極(25)は、共振ビーム(52)の上方へ向けて等間隔に突出する3つの電極突出部(26)(26)(26)を具えている。

一方の駆動電極(15)の3つの電極突出部(16)(16)(16)と他方の駆動電極(25)の3つの電極突出部(26)(26)(26)はそれぞれ、基板(9)の表面と垂直な面内で、共振ビーム(52)の非くびれ部と交互に対向して、共振ビーム(52)の非くびれ部との間に所定(例えば0.1~0.5μm)のギャップ部を形成している。

【0066】

一对の駆動電極(15)(25)には高周波電源(6)が接続され、1つのアンカー(3)には主電圧電源(7)が接続されている。又、一对のバイアス電極(4)(4)にはバイアス電圧電源(8)が接続されている。

斯くして、図10に示すマイクロメカニカル共振器は、高周波電源(6)から2つの駆動電極(15)(25)に高周波信号が入力されて、1つのアンカー(3)から高周波信号I<sub>o</sub>が出力される1ポート型の共振器を構成している。

【0067】

上記のマイクロメカニカル共振器において、アンカー(3)を介して共振子(5)に直流電圧V<sub>p</sub>を印加した状態で、両駆動電極(15)(25)に高周波信号を入力すると、電極突出部(1

10

20

30

40

50

6)(26)と支持ビーム(51)の非くびれ部との間に静電気力が発生し、この静電気力によって、共振子(5)の共振ビーム(52)は、その両端部を支持部(50)(50)として、基板(9)の表面と垂直な面内で振動することになる。

【0068】

共振子(5)の共振ビーム(52)は、図11に示す様に、くびれ部が振動の節、非くびれ部が振動の腹となって振動し、この振動に伴って、共振ビーム(52)と両駆動電極(1)(2)との間に形成される静電容量が変化し、該静電容量の変化が他の1つのアンカー(3)から高周波信号I<sub>o</sub>として出力される。

尚、共振ビーム(52)に発生する高次共振モードの振動波形は、該波形に含まれる複数のピーク値が互いに等しくなる理想的なものに近づき、その結果、1次の共振モードの振動が抑えられて高次の共振モードの振動が増大することになる。

【0069】

ここで、バイアス電極(4)(4)にバイアス電圧を印加することにより、共振子(5)の支持ビーム(51)(51)とバイアス電極(4)(4)との間に静電気力が発生し、これによって共振子(5)の共振ビーム(52)は、長手方向の引っ張り力を受けることになる。

従って、バイアス電圧電源(8)のバイアス電圧を調整することにより、共振ビーム(52)の共振周波数を変化させて、アンカー(3)から出力される高周波信号I<sub>o</sub>の周波数を微調整することが出来る。

【0070】

上述のマイクロメカニカル共振器によれば、共振子(5)の共振ビーム(52)の長手方向に沿って、複数の電極突出部(16)(26)を交互に配置することにより、その電極突出部(16)(26)の数に応じた高次の共振モードで共振ビーム(52)を意図的に共振させて、GHz帯の発振周波数を得ることが出来る。

【0071】

#### 第4構成例

図12に示すマイクロメカニカル共振器においては、シリコン或いはガラスからなる基板(9)上に、シリコン、アルミニウム等の導電材料からなる共振子(5)が配備されると共に、該共振子(5)の両側には、シリコン、アルミニウム等の導電材料からなる入力電極(27)と出力電極(17)が配備されている。

【0072】

共振子(5)は、第3構成例と同じ構造を有し、共振ビーム(52)に形成されている複数のくびれ部の断面形状は、中央寄りのくびれ部の断面一次モーメントが両端寄りのくびれ部の断面一次モーメントよりも大きくなる様に形成されている。又、共振子(5)の両支持ビーム(51)(51)の外側には、それぞれ支持ビーム(51)の中央部に対向して、一对のバイアス電極(4)(4)が配備されており、支持ビーム(51)とバイアス電極(4)の間には所定(例えば0.1~0.5μm)のギャップが形成されている。

【0073】

入力電極(27)及び出力電極(17)はそれぞれ、共振ビーム(52)の下方、即ち共振ビーム(52)と基板(9)の間へ向けて等間隔に突出する3つの電極突出部(28)(18)を具え、これらの電極突出部(28)(18)はそれぞれ、基板(9)の表面と垂直な面内で、共振ビーム(52)の非くびれ部と交互に対向して、共振ビーム(52)の非くびれ部との間に所定(例えば0.1~0.5μm)のギャップ部を形成している。

【0074】

入力電極(27)には高周波電源(6)が接続され、1つのアンカー(3)には主電圧電源(7)が接続されている。又、一对のバイアス電極(4)(4)にはバイアス電圧電源(8)が接続されている。

斯くして、図12に示すマイクロメカニカル共振器は、高周波電源(6)から入力電極(27)に高周波信号が入力されて、出力電極(17)から高周波信号I<sub>o</sub>が出力される2ポート型の共振器を構成している。

【0075】

10

20

30

40

50

上記のマイクロメカニカル共振器において、アンカー(3)を介して共振子(5)に直流電圧 $V_p$ を印加した状態で、入力電極(27)に高周波信号を入力すると、電極突出部(28)と支持ビーム(51)の非くびれ部との間に静電気力が発生し、この静電気力によって、共振子(5)の共振ビーム(52)は、その両端部を支持部(50)(50)として、基板(9)の表面と垂直な面内で振動することになる。

【0076】

共振子(5)の共振ビーム(52)は、図13に示す様に、くびれ部が振動の節、非くびれ部が振動の腹となって振動し、この振動に伴って、共振ビーム(52)と出力電極(17)との間に形成される静電容量が変化し、該静電容量の変化が出力電極(17)から高周波信号 $I_o$ として出力される。

10

尚、共振ビーム(52)に発生する高次共振モードの振動波形は、該波形に含まれる複数のピーク値が互いに等しくなる理想的なものに近づき、その結果、1次の共振モードの振動が抑えられて高次の共振モードの振動が増大することになる。

【0077】

ここで、バイアス電極(4)(4)にバイアス電圧を印加することにより、共振子(5)の支持ビーム(51)(51)とバイアス電極(4)(4)との間に静電気力が発生し、これによって共振子(5)の共振ビーム(52)は、長手方向の引っ張り力を受けることになる。

従って、バイアス電圧電源(8)のバイアス電圧を調整することにより、共振ビーム(52)の共振周波数を変化させて、アンカー(3)から出力される高周波信号 $I_o$ の周波数を微調整することが出来る。

20

【0078】

上述のマイクロメカニカル共振器によれば、共振子(5)の共振ビーム(52)の長手方向に沿って、複数の電極突出部(18)(28)を交互に配置することにより、その電極突出部(18)(28)の数に応じた高次の共振モードで共振ビーム(52)を意図的に共振させて、GHz帯の共振周波数を得ることが出来る。

【0079】

第2の実施形態

図2は、本発明に係るマイクロメカニカル共振器の第2実施形態を表わしている。該マイクロメカニカル共振器においては、基板(9)上に共振ビーム(52)が配備され、該共振ビーム(52)の両端部はそれぞれアンカー(3)により基板(9)に固定されており、これによ

30

って、共振ビーム(52)は基板(9)の表面から僅かに浮上した位置に保持されている。斯くして、共振ビーム(52)は、両アンカー(3)(3)が支持部(50)(50)となって、基板(9)の表面と平行な面内で振動が可能である。

【0080】

共振ビーム(52)には、その両端部を含む4つの領域に、他の領域よりも断面積の小さなくびれ部(54)~(54)が凹設されており、これによって形成される3つの非くびれ部(53)(53)(53)を挟んで両側には、1つの電極突出部(10)を有する第1の電極(1)と2つの電極突出部(20)(20)を有する第2の電極(2)とが対向配備され、3つの電極突出部(10)(20)(20)と3つの非くびれ部(53)(53)(53)の間にはそれぞれ所定のギャップ部が形成されている。

40

又、共振ビーム(52)の中央の非くびれ部(53)を挟んで、第1電極(1)の電極突出部(10)と反対側には、外力調整用電極パッド(41)が形成されている。

【0081】

尚、共振ビーム(52)に形成されている4つのくびれ部(54)~(54)の断面形状は、同一に形成されている。又、3つのギャップ部におけるギャップ幅及びギャップ長は同一に形成されている。

【0082】

2つの電極(1)(2)には高周波電源(6)が接続されると共に、一方のアンカー(3)には主電圧電源(図示省略)が接続されて、他方のアンカー(3)から高周波信号が出力される。

又、外力調整用電極パッド(41)には、減衰器(42)を介して高周波電源(6)が接続されて

50

いる。

【 0 0 8 3 】

この場合、一方のアンカー(3)を介して共振ビーム(52)に直流電圧を印加した状態で、2つの電極に高周波信号を入力すると、共振ビーム(52)と両電極の間にギャップ部を介して交番静電気力が発生し、該静電気力によって共振ビーム(52)が基板(9)の表面と平行な面内で振動する。

ここで、外力調整用電極パッド(41)には、高周波電源(6)からの高周波信号を減衰器(42)により減衰させた高周波信号が印加されているので、中央の非くびれ部(53)に作用する静電気力の一部が、外力調整用電極パッド(41)から作用する静電気力によって打ち消される。

10

【 0 0 8 4 】

これによって、共振ビーム(52)に対して各ギャップ部を介して作用する静電気力の変動幅が、共振ビーム(52)の中央部のギャップ部で小さく且つ両側のギャップ部で大きくなるので、共振ビーム(52)に発生する3次共振モードの振動波形は、該波形に含まれる複数のピーク値が互いに等しくなる理想的なものに近づき、その結果、1次の共振モードの振動が抑えられて3次の共振モードの振動が増大することになる。

この共振ビーム(52)の振動により、共振ビーム(52)と両電極の間の静電容量が変化し、該静電容量の変化が他方のアンカー(3)から高周波信号として出力される。

【 0 0 8 5 】

図2に示す第2実施形態のマイクロメカニカル共振器によれば、図3に示すマイクロメカニカル共振器と全く同様にして、1次共振モードのハーモニック変位が抑制されて、3次共振モードのハーモニック変位が最も大きくなる(図5参照)。

20

そこで、この3次共振モードを利用することによって、従来よりも高い周波数帯域で動作する高周波無線通信機器を容易に構成することが出来る。

【 0 0 8 6 】

図2に示す第2実施形態のマイクロメカニカル共振器としては、第1実施形態のマイクロメカニカル共振器と同様に、図7～図13に示す具体的な構成を採用することが可能である。

【 0 0 8 7 】

上記の様に、本発明に係るマイクロメカニカル共振器によれば、第1の実施形態及び第2の実施形態の何れにおいても、共振ビーム(52)の複数の非くびれ部(53)に面して形成される複数のギャップ部のギャップ長やギャップ幅に差異を与えることなく、共振子(5)の共振ビーム(52)に高次モードの振動を意図的に発生させることが出来るので、低インピーダンスで高い発振周波数を得ることが出来る。

30

また、第2実施形態においては、外力調整用電極パッドから作用する静電気力を調整することによって、くびれ部を形成しなくても高次共振モードを得ることが出来る。

【 0 0 8 8 】

特に、本発明に係るマイクロメカニカル共振器は、出力される高周波信号の周波数を挺倍することなく、直接に必要な周波数を発振させることが出来るので、低位相ノイズが必要とされる装置、例えばリモートキーレスエントリーシステムや、スペクトラム拡散通信やソフトウェア無線等のRF無線装置に有効である。

40

【 0 0 8 9 】

尚、本発明の各部構成は上記実施の形態に限らず、特許請求の範囲に記載の技術的範囲内で種々の変形が可能である。例えば、共振子(5)の材料として、ヤング率の高い材料、例えばダイヤモンド等を用いることによって、更に高い発振周波数を実現することも可能である。

又、本発明に係るマイクロメカニカル共振器の第1の実施形態と第2の実施形態を同時に採用して、第2実施形態の外力調整用電極パッド(41)により中央の非くびれ部(53)に作用する静電気力を微調整する構成とすることも可能である。

【 図面の簡単な説明 】

50

## 【 0 0 9 0 】

【図 1】本発明に係るマイクロメカニカル共振器の第 1 実施形態を示す平面図である。

【図 2】本発明に係るマイクロメカニカル共振器の第 2 実施形態を示す平面図である。

【図 3】本発明の前提となるマイクロメカニカル共振器の平面図である。

【図 4】従来のマイクロメカニカル共振器における周波数特性を表わすグラフである。

【図 5】本発明のマイクロメカニカル共振器における周波数特性を表わすグラフである。

【図 6】1 次 / 3 次共振モード振幅比を極小化するための中央電極外力の大きさが共振ビームのくびれ部の有無に依存していることを説明するグラフである。

【図 7】本発明の第 1 構成例のマイクロメカニカル共振器の斜視図である。

【図 8】第 1 構成例のマイクロメカニカル共振器の平面図である。

10

【図 9】第 2 構成例のマイクロメカニカル共振器の平面図である。

【図 10】第 3 構成例のマイクロメカニカル共振器の平面図である。

【図 11】第 3 構成例のマイクロメカニカル共振器における共振ビームの振動状態を説明する断面図である。

【図 12】第 4 構成例のマイクロメカニカル共振器の平面図である。

【図 13】第 4 構成例のマイクロメカニカル共振器における共振ビームの振動状態を説明する断面図である。

【図 14】従来のマイクロメカニカル共振器の斜視図である。

【図 15】従来の他のマイクロメカニカル共振器の斜視図である。

【図 16】共振モードを説明する図である。

20

【図 17】1 次共振モード及び高次共振モードの周波数特性を表わすグラフである。

## 【符号の説明】

## 【 0 0 9 1 】

( 1 ) 駆動電極

(10) 電極突出部

( 2 ) 駆動電極

(20) 電極突出部

( 3 ) アンカー

( 4 ) バイアス電極

(41) 外力調整用電極パッド

30

( 5 ) 共振子

(50) 支持部

(51) 支持ビーム

(52) 共振ビーム

(53) 非くびれ部

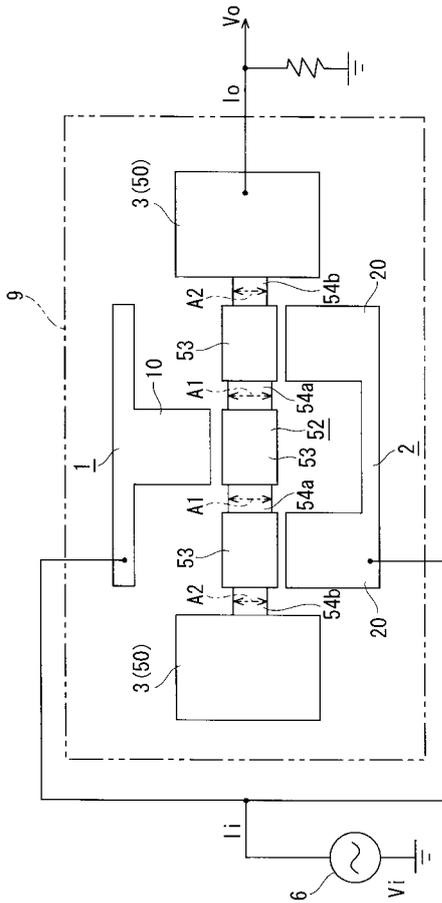
(54) くびれ部

( 6 ) 高周波電源

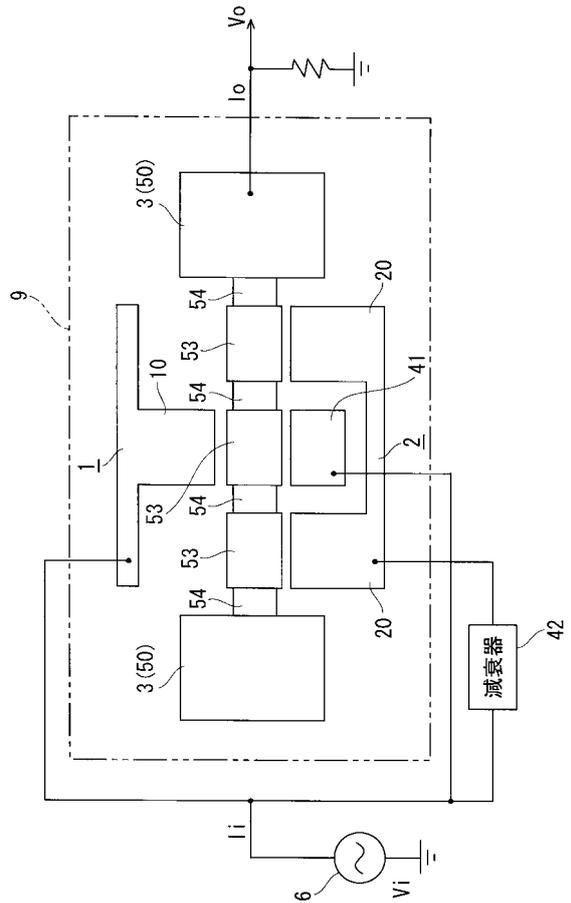
( 7 ) 主電圧電源

( 9 ) 基板

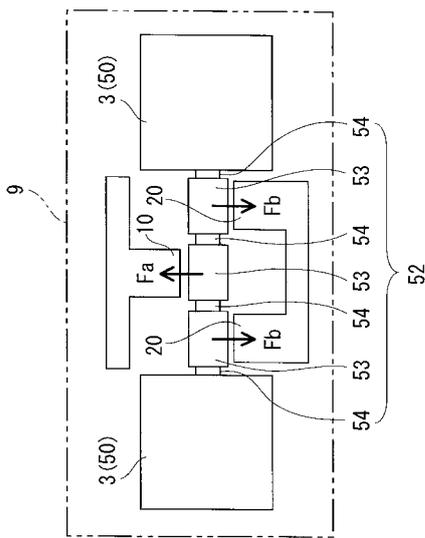
【図1】



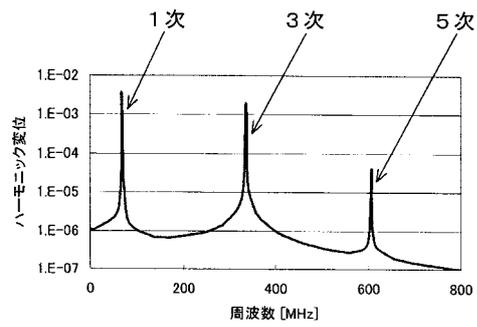
【図2】



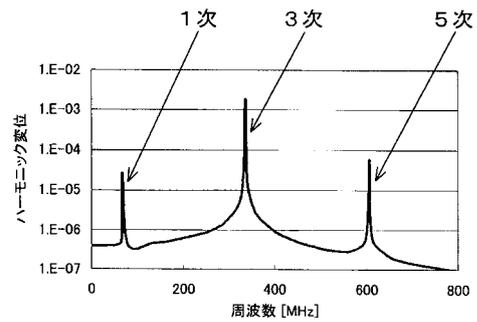
【図3】



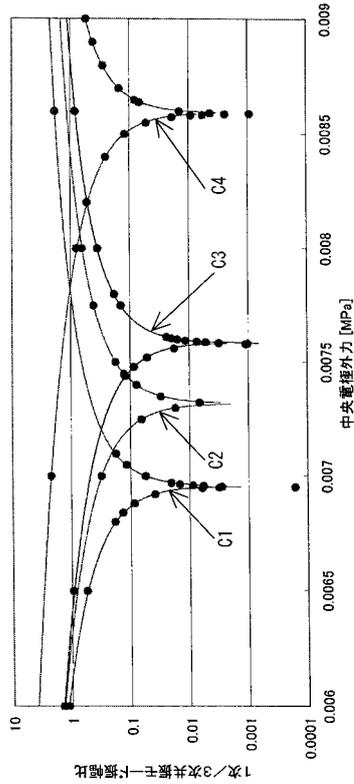
【図4】



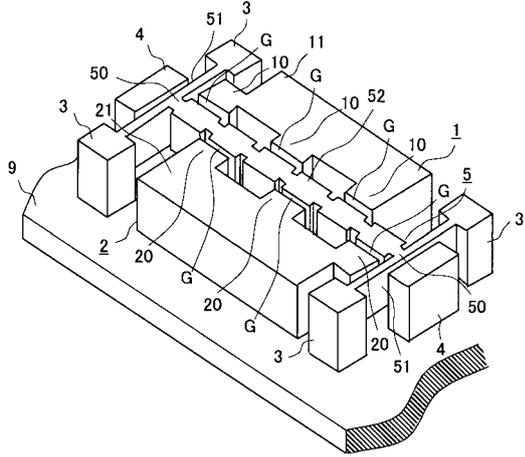
【図5】



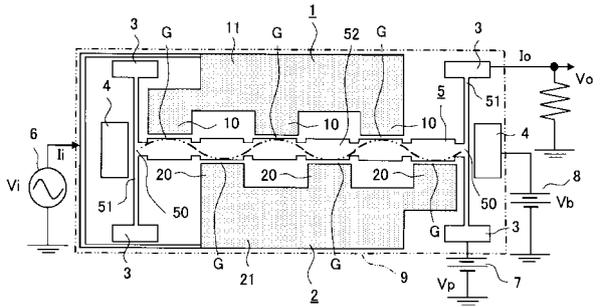
【 図 6 】



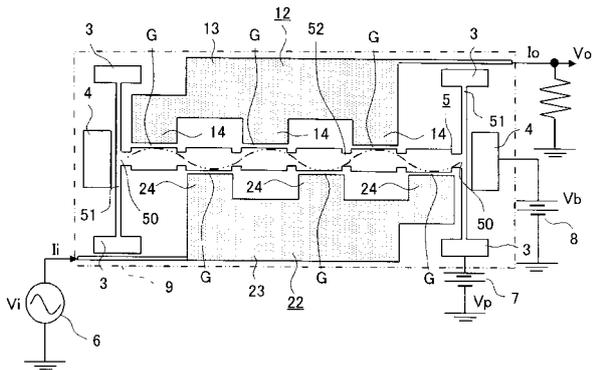
【 図 7 】



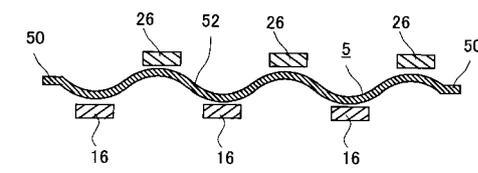
【 図 8 】



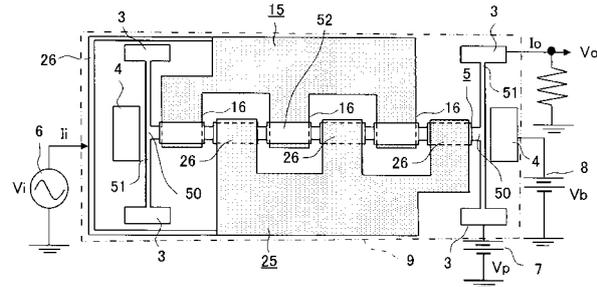
【 図 9 】



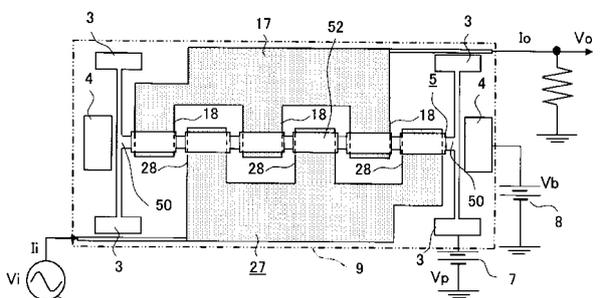
【 図 11 】



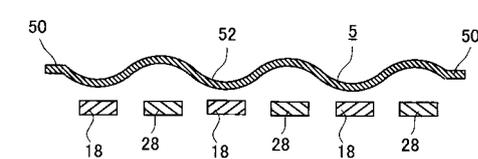
【 図 10 】



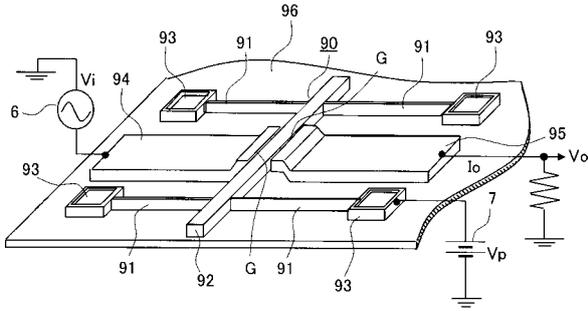
【 図 12 】



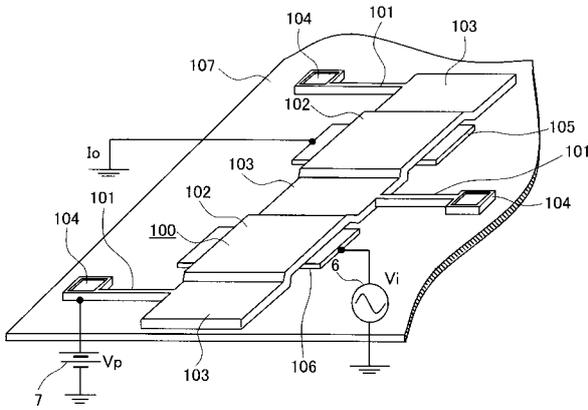
【 図 13 】



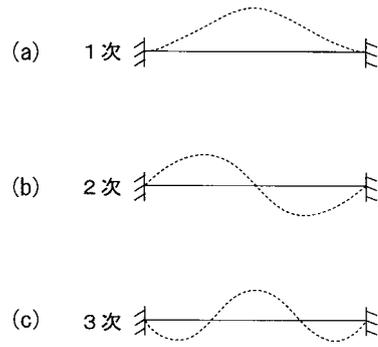
【図14】



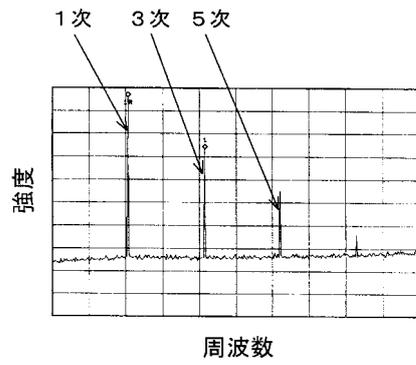
【図15】



【図16】



【図17】



---

フロントページの続き

(72)発明者 長崎 寛範  
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

審査官 徳 田 賢二

(56)参考文献 特開2008-099042(JP,A)  
特開2008-099020(JP,A)  
特開2009-088854(JP,A)  
特表2002-505046(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H03H 9/24