

(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2006-5731

(P2006-5731A)

(43) 公開日 平成18年1月5日(2006.1.5)

(51) Int. Cl.	F I			テーマコード (参考)		
H03H 9/24 (2006.01)	H03H	9/24	Z	5D107		
B06B 1/02 (2006.01)	B06B	1/02	Z			
B81B 3/00 (2006.01)	B81B	3/00				

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2004-181055 (P2004-181055)	(71) 出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(22) 出願日	平成16年6月18日 (2004.6.18)	(74) 代理人	100095728 弁理士 上柳 雅誉
		(74) 代理人	100107076 弁理士 藤網 英吉
		(74) 代理人	100107261 弁理士 須澤 修
		(72) 発明者	木原 電児 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)	5D107 AA05 AA14 DD11 DE02 EE06 FF07 FF09

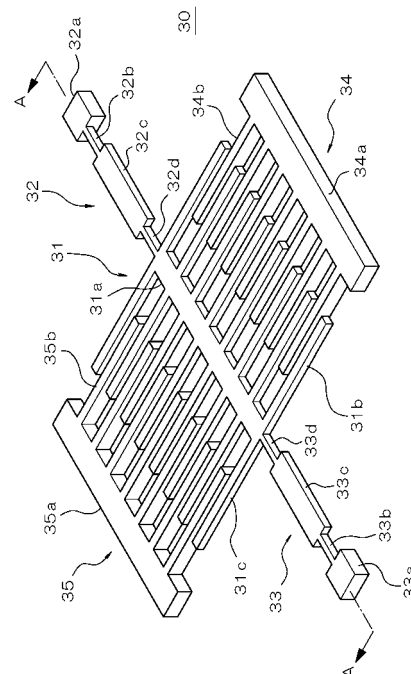
(54) 【発明の名称】 マイクロメカニカル静電振動子

(57) 【要約】

【課題】 マイクロメカニカル静電振動子の振動子性能の向上と製造の容易化を図る。

【解決手段】 本発明は、可動電極31と、可動電極を両側支持する支持アーム32、33と、可動電極に対向する加振電極34、35とを具備し、可動電極と加振電極は相互に噛合する態様で対向配置される櫛歯状電極であり、可動電極は、支持アーム間を結ぶ方向に伸びるとともにその両端が支持アームに接続された基部を有し、一対の支持アームは、基部の延長線に沿って、固定部32a、33aに接続される第1アーム部32b、33bと、可動電極に接続される第2アーム部32d、33dと、第1アーム部と第2アーム部とを接続する中間アーム部32c、33cとが直線状に配置されてなり、第1及び第2アーム部が可動電極の基部よりも高い可撓性を有し、かつ、中間アーム部が第1及び第2アーム部よりも低い可撓性を有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

可動電極と、該可動電極を両側で支持する一对の支持アームと、前記可動電極に対向する加振電極とを具備するマイクロメカニカル静電振動子であって、

前記可動電極と前記加振電極は相互に噛合する態様で対向配置される櫛歯状電極であり、

前記可動電極は、前記一对の支持アーム間を結ぶ方向に伸びるとともにその両端が前記一对の支持アームに接続された基部を有し、

前記一对の支持アームは、前記基部の延長線に沿って、固定部に接続される第 1 アーム部と、前記可動電極に接続される第 2 アーム部と、前記第 1 アーム部と前記第 2 アーム部とを接続する中間アーム部とが直線状に配置されてなり、

前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部が前記可動電極の前記基部よりも高い可撓性を有し、かつ、前記中間アーム部が前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部よりも低い可撓性を有することを特徴とするマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 2】

前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部の断面積が前記可動電極の前記基部の断面積よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 3】

前記基部の断面積が前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部の断面積の 2 . 5 倍以上であることを特徴とする請求項 2 に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 4】

前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部における前記可動電極の振動面上の幅が前記基部における前記可動電極の振動面上の幅よりも小さいことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 5】

前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部の断面積が前記中間アーム部の断面積よりも小さいことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 6】

前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部における前記可動電極の振動面上の幅が前記中間アーム部における前記可動電極の振動面上の幅よりも小さいことを特徴とする請求項 5 に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 7】

前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部の構成素材の弾性率が前記可動電極の前記基部の構成素材の弾性率よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 8】

前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部の構成素材の弾性率が前記中間アーム部の構成素材の弾性率よりも小さいことを特徴とする請求項 1 又は 7 に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 9】

前記可動電極の前記基部において薄膜が積層されていることを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【請求項 10】

前記中間アーム部において薄膜が積層されていることを特徴とする請求項 1 又は 9 に記載のマイクロメカニカル静電振動子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はマイクロメカニカル静電振動子に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

近年の高度情報化社会において通信回路などに用いる振動子においては、より一層の高周波化が求められている。また、通信機器をはじめとするデバイスは多機能化の一途をたどっており、それに伴い素子の小型化や多機能化も要求されている。

【0003】

一方、MEMS (Micro Electro Mechanical System) 技術を用いたデバイスは、プリンタヘッドやDMD (Digital Micromirror Device) などに代表されるように、市場において確実に広がりつつある。MEMSデバイスの特徴としては、これまでの素子に比べ格段に小型化できること、製造時においてバッチ処理が可能であること、動作上の損失が小さいことなどが挙げられる。なかでも、Si基板上に振動子構造を形成することで、Si基板に形成された集積回路と一体でシステムに組み込むことが可能となるため、システムの小型化及び多機能化の面で大きな優位性を備えている。

10

【0004】

上記のMEMS技術を用いて製造したマイクロメカニカル静電振動子としては、図7に示すように、シリコン基板10上に、両端が支持された梁状の可動電極11と、この可動電極11に対向配置される加振電極12と、可動電極11を挟んで加振電極12の反対側に配置された検出電極13とを備えた振動子構造体を形成してなるものが挙げられる(例えば、以下の非特許文献1参照)。このマイクロメカニカル静電振動子においては、加振電極12に変動電位を供給することで、静電力によって梁状の可動電極11が屈曲振動し、この屈曲振動に起因して可動電極11と検出電極13の間の静電容量が変化するため、この静電容量の変化に応じた出力が得られるようになっている。

20

【0005】

また、他のマイクロメカニカル静電振動子として、図8に示すように、基板20上に一端が固定された屈折構造を有する一对の支持アーム21, 21と、これらの支持アーム21, 21の他端に接続された可動電極22と、可動電極22に両側にそれぞれ対向配置される対向電極23, 24と、支持アーム21を介して可動電極22に導電接続される出力電極25とを備えた振動子構造体を備えたものがある(例えば、以下の非特許文献2参照)。ここで、可動電極22と、対向電極23, 24とは相互に櫛歯状に噛合した態様で対向配置されている。このマイクロメカニカル静電振動子においては、一方の対向電極23又は24を加振電極としてこれに所定の変動電位を供給することで、可動電極22が対向電極23, 24の間を往復振動し、この往復振動に起因して可動電極22と他方の対向電極との間の静電容量が変化するため、この静電容量の変化に応じた出力が得られるようになっている。

30

【非特許文献1】Seong Yoel、他3名 "Single-Crystal Silicon HRPSS Capacitive Resonators with Submicron Gap-Spacing": Solid-State Sensor, Actuator and Microsystems Workshop: Hilton Head island, South Carolina, June 2-6, 2002

【非特許文献2】WILLIAM C. TANG、他3名 "Laterally Driven Resonant Microstructures" Sensors and Actuators, 20 (1989) P. 25 - 32

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、前述の図7に示すマイクロメカニカル静電振動子においては、構造が簡単で製造が容易であるという利点がある反面、加振電極12に印加する駆動電圧に対して可動電極11の変形量が比例せず、入出力特性が非線形になるため、デバイス設計や制御が困難であるという問題点がある。また、可動電極11と加振電極12の対向面積が小さいので、可動電極11に対する駆動力が小さく、入力電圧に対する出力電圧の比が小さくなることから、振動子性能の向上、特に駆動電圧の低電圧化や省エネルギー化が困難であるという問題点がある。

【0007】

50

一方、前述の図 8 に示すマイクロメカニカル静電振動子においては、櫛歯形の電極構造によって対向面積が大きくなるため、可動電極 2 2 に対する駆動力を大きくすることができるので、駆動電圧の低電圧化や省エネルギー化が可能であるとともに、駆動電圧と静電力とがほぼ比例するため、入出力特性が線形であるという利点を有している。ところが、櫛歯型構造を形成する必要があるため、製造が困難であり、特に、櫛歯状の可動電極 2 2 を基板上からリリースする工程が難しく、可動電極 2 2 の分離不良や製造の長時間化を招くという問題点がある。また、所望の周波数が低周波である場合は支持アームを長く形成する必要があるため、可動電極 2 2 の位置が自重によって垂れ下がり、加振電極 2 3, 2 4 との電極面が上下にずれることにより電極対向面積が低下するという問題点もある。

【0008】

10

そこで、本発明は上記問題点を解決するものであり、その課題は、振動子性能を向上させることができるとともに、製造が容易なマイクロメカニカル静電振動子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

斯かる実情に鑑み、本発明のマイクロメカニカル静電振動子は、可動電極と、該可動電極を両側で支持する一对の支持アームと、前記可動電極に対向する加振電極とを具備するマイクロメカニカル静電振動子であって、前記可動電極と前記加振電極は相互に噛合する態様で対向配置される櫛歯状電極であり、前記可動電極は、前記一对の支持アーム間を結ぶ方向に伸びるとともにその両端が前記一对の支持アームに接続された基部を有し、前記一对の支持アームは、前記基部の延長線に沿って、固定部に接続される第 1 アーム部と、前記可動電極に接続される第 2 アーム部と、前記第 1 アーム部と前記第 2 アーム部とを接続する中間アーム部とが直線状に配置されてなり、前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部が前記可動電極の前記基部よりも高い可撓性を有し、かつ、前記中間アーム部が前記第 1 アーム部及び前記第 2 アーム部よりも低い可撓性を有することを特徴とする。

20

【0010】

この発明によれば、可動電極と加振電極とが相互に噛合する態様で対向配置される櫛歯状電極であることにより、駆動電圧に対する出力特性の線形性や可動電極に対する高い駆動力などが得られることから振動子性能を向上させることができる。

【0011】

30

また、可動電極に設けられた基部が一对の支持アームを結ぶ方向に伸びるとともにその両端が一对の直線状の支持アームに接続される、いわゆる基本的な両端支持型の振動子構造体となるため、全体構成が簡易になり、製造を容易に行うことが可能になる。

【0012】

さらに、可動電極を両端で支持する支持アームには、第 1 アーム部、中間アーム部及び第 2 アーム部が設けられ、第 1 アーム部及び第 2 アーム部が基部よりも高い可撓性を有することで、可動電極の櫛歯形状の変形を抑制しつつ、支持アームを充分に変形させることができるので、可動電極の十分な移動ストロークを確保できる。しかも、中間アーム部が第 1 アーム部及び第 2 アーム部よりも低い可撓性を有することにより、中間アーム部によって支持アーム全体の支持力（剛性）を確保することができるため、可動電極の移動方向がいずれか一方の支持アーム側へ偏ったり、可動電極の姿勢が変化したり、可動電極が垂れ下がったりすることなどを防止することができる。また、中間アーム部の両側に可撓性の高い第 1 アーム部及び第 2 アーム部を設けることにより、可動電極の姿勢変化を抑制しつつ、その振動面上における移動ストロークを十分に確保することが可能になる。より具体的には、剛性の高い中間アーム部の両側に可撓性の高い第 1 アーム部と第 2 アーム部が接続されていることで、中間アーム部がほとんど変形しなくても第 1 アーム部と第 2 アーム部とが相互に逆方向に湾曲することにより、可動電極の姿勢変化やいずれか一方の支持アーム側への偏りを防止することができ、しかも、可動電極の十分な移動ストロークを確保できる。

40

【0013】

50

本発明において、前記第1アーム部及び前記第2アーム部の断面積が前記可動電極の前記基部の断面積よりも小さいことが好ましい。第1アーム部及び第2アーム部を基部よりも高い可撓性を有するものとする方法としては、第1アーム部及び第2アーム部の断面積を基部の断面積よりも小さくする方法がある。この方法では、基部と支持アームの断面積を相互に調整するだけで、所望の変形特性を得ることができるので、製造プロセスを複雑化させることなく振動子構造体を容易に製造できる。

【0014】

この場合において、前記基部の断面積が前記第1アーム部及び前記第2アーム部の断面積の2.5倍以上であることが好ましい。基部の断面積が第1アーム部及び第2アーム部の断面積の2.5倍以上であることにより、可動電極の櫛歯形状がほとんど変形しにくくなるので、可動電極と加振電極の櫛歯間の接触（電氣的短絡）を確実に防止でき、可動電極の移動ストロークをより大きく確保することが可能になる。

10

【0015】

また、前記第1アーム部及び前記第2アーム部における前記可動電極の振動面上の幅が前記基部における前記可動電極の振動面上の幅よりも小さいことが望ましい。第1アーム部及び第2アーム部の断面積を基部の断面積よりも小さくするにあたって、特に第1アーム部及び第2アーム部における可動電極の振動面上の幅を、基部における左記振動面上の幅よりも小さくすれば、可動電極の振動時における第1アーム部及び第2アーム部の可撓性をより効果的に高めることができ、また、平面パターン形状のみで各部の断面積を相互に調整できるので、製造工程をより簡易に構成することが可能になる。

20

【0016】

本発明において、前記第1アーム部及び前記第2アーム部の断面積が前記中間アーム部の断面積よりも小さいことが好ましい。中間アーム部を第1アーム部及び第2アーム部よりも低い可撓性を有するものとする方法としては、第1アーム部及び第2アーム部の断面積を中間アーム部の断面積よりも小さくする方法がある。この方法では、第1アーム部及び第2アーム部と中間アーム部の断面積を相互に調整するだけで、所望の変形特性を得ることができるので、製造プロセスを複雑化させることなく振動子構造体を製造できる。特に、支持アーム全体を同じ材料で形成することが可能であるので、製造工数を低減できる。この場合、中間アーム部の断面積は、第1アーム部及び第2アーム部の断面積の2.5倍以上であることが望ましい。

30

【0017】

この場合において、前記第1アーム部及び前記第2アーム部における前記可動電極の振動面上の幅が前記中間アーム部における前記可動電極の振動面上の幅よりも小さいことが好ましい。第1アーム部及び第2アーム部の断面積を中間アーム部の断面積よりも小さくするにあたって、特に第1アーム部及び第2アーム部における可動電極の振動面上の幅を、中間アーム部における左記振動面上の幅よりも小さくすれば、可動電極の振動時における第1アーム部及び第2アーム部の可撓性をより効果的に高めることができるとともに、また、平面パターン形状のみで各部の断面積を相互に調整できるので、製造工程をより簡易に構成することが可能になる。

40

【0018】

なお、第1アーム部及び第2アーム部において可動電極の振動面上の幅を厚さよりも小さくすることにより、可動電極の振動方向には支持アームの可撓性を高くし、上下方向には支持アームの剛性を高くすることが可能になるので、可動電極に対する支持力を確保しつつ、スムーズな振動動作を実現することができる。

【0019】

本発明において、前記第1アーム部及び前記第2アーム部の構成素材の弾性率が前記可動電極の前記基部の構成素材の弾性率よりも小さいことが好ましい。第1アーム部及び第2アーム部を基部よりも高い可撓性を有するものとする方法としては、第1アーム部及び第2アーム部の構成素材の弾性率を基部の弾性率よりも小さくする方法がある。この方法では、基部と支持アームの構成素材の弾性率を相互に調整することにより、所望の変形特

50

性をより容易に実現することができる。特に、可動電極において弾性率の大きい構成素材を用いることで、可動電極の基部の断面積（特に平面寸法の幅）をそれほど大きくしなくても、十分な剛性を得ることができるため、可動電極の平面形状の面積の増大を抑制することができる。これには、振動子構造体の小型化が容易になるとか、製造時における可動電極のリリースを容易に行うことが可能になるなどという利点がある。この場合に、比重の小さい構成素材を用いることで、可動電極の基部の剛性を高めつつ、可動電極を軽量化することができるので、振動子構造体の応答性の向上、動作損失の低減、電極高さの低下抑制などを図ることができる。

【0020】

本発明において、前記第1アーム部及び前記第2アーム部の構成素材の弾性率が前記中間アーム部の構成素材の弾性率よりも小さいことが好ましい。中間アーム部を第1アーム部及び第2アーム部よりも低い可撓性を有するものとする方法としては、第1アーム部及び第2アーム部の構成素材の弾性率を中間アーム部の構成素材の弾性率よりも小さくする方法がある。この方法では、第1アーム部及び第2アーム部と中間アーム部の構成素材の弾性率を相互に調整することにより、支持アームの所望の変形特性をより容易に実現できる。

10

【0021】

本発明において、前記可動電極の前記基部において薄膜が積層されていることが好ましい。これによれば、基部において薄膜を積層することで、基部の剛性を高めることができるので、櫛歯状の可動電極の変形を抑制することができる。ここで、上記の薄膜は第1アーム部及び第2アーム部の表面には形成されていないことが好ましい。また、上記薄膜の構成素材を、基部の構成素材よりも可撓性の低い素材とすることが望ましい。

20

【0022】

本発明において、前記中間アーム部において薄膜が積層されていることが好ましい。これによれば、中間アーム部において薄膜が積層されていることにより、中間アーム部の剛性を高めることができるので、中間アーム部の変形を抑制することができる。ここで、上記の薄膜は第1アーム部及び第2アーム部の表面には形成されていないことが好ましい。また、上記薄膜の構成素材を、中間アーム部の構成素材よりも可撓性の低い素材とすることが望ましい。

【発明の効果】

30

【0023】

本発明によれば、振動子性能を向上させることができるとともにその製造を容易に行うことが可能になるという優れた効果を奏し得る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

次に、添付図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。図1は、本実施形態のマイクロメカニカル静電振動子の振動子構造体を示す概略斜視図、図2は、図1に示すA-A線に沿った断面形状を示す概略縦断面図(a)、及び、(a)に示す断面と直交する断面形状を示す概略縦断面図(b)である。

【0025】

40

本実施形態のマイクロメカニカル静電振動子は、シリコン基板などの半導体基板やガラスなどの絶縁基板で構成される基板30の表面上に振動子構造体が形成されてなる。この振動子構造体は、両端を支持された可動電極31と、この可動電極31の左右両端に接続された一对の支持アーム32, 33と、可動電極31の前後両側に対向配置された対向電極34, 35とを備えている。

【0026】

可動電極31は、左右に伸びる帯状の基部31aの前後に複数の櫛歯状の電極部31b, 31cがそれぞれ伸びたものである。可動電極31は、基板30の表面に対して離間した状態で上記支持アーム32, 33によって支持されている。

【0027】

50

支持アーム 3 2 , 3 3 は、基部 3 1 a の左右両端に接続され、その反対側の端部が基板 3 0 の表面上にて固定されている。支持アーム 3 2 , 3 3 は、基板上に固定された固定部 3 2 a , 3 3 a と、この固定部 3 2 a , 3 3 a に接続された第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b と、上記可動電極 3 1 の基部 3 1 a の端部に接続された第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d と、第 1 アーム部と第 2 アーム部との間に接続された中間アーム部 3 2 c , 3 3 c とを有している。本実施形態の場合、固定部 3 2 a , 3 3 a と、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b と、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c と、第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d とが順次に接続されて、全体として可動電極 3 1 の基部 3 1 a の延長線に沿って伸びる直線状の支持アーム 3 2 , 3 3 が構成されている。

【 0 0 2 8 】

対向電極 3 4 , 3 5 は、基板 3 0 上において固定された基部 3 4 a , 3 5 a と、この基部 3 4 a , 3 5 a から上記可動電極 3 1 に向かって伸びる櫛歯状の電極部 3 4 b , 3 5 b とを備えている。そして、対向電極 3 4 , 3 5 の電極部 3 4 b , 3 5 b は可動電極 3 1 の電極部 3 1 b , 3 1 c と噛合する態様で所定の間隙を介して対向配置されている。ここで、対向電極 3 4 , 3 5 は本実施形態の場合、全てが基板 3 0 上に固定された状態となっている。ただし、その電極部 3 4 a , 3 5 a を基板 3 0 上から離間した状態に構成してもよい。

【 0 0 2 9 】

なお、上記の可動電極 3 1、支持アーム 3 2 , 3 3 及び対向電極 3 4 , 3 5 は、ポリシリコンなどの導電性材料によって構成されている。そして、可動電極 3 1 は支持アーム 3 2 , 3 3 を介して図示しない接続端子や基板 3 0 に形成された回路（集積回路）などに導電接続されている。また、対向電極 3 4 , 3 5 もまた、図示しない接続端子や基板 3 0 に形成された回路（集積回路）などに導電接続されている。

【 0 0 3 0 】

図 6 は、上記実施形態のマイクロメカニカル静電振動子の等価回路図である。マイクロメカニカル静電振動子の等価回路には、上記可動電極 3 1 に導電接続された接続端子 P x と、上記対向電極 3 4 又は 3 5 に導電接続された接続端子 P y 又は P z との間に、静電容量 C a , インダクタンス L a , 抵抗 R a の直列回路と、この直列回路と並列に接続される並列容量 (short Capacitance) C s とが存在する。ここで、上記直列回路部分は静電振動子の入出力特性をもたらす部分であり、並列容量 C s は可動電極 3 1 と対向電極 3 4 又は 3 5 との間の静電容量の定常成分に相当するものである。また、基板 3 0 が半導体基板若しくは導体基板である場合、或いは、基板 3 0 の内部や表面に導体が存在する場合には、上記振動子構造体と基板 3 0 との間に静電容量 C o が存在する。ここで、上記直列回路部分に対して並列に接続された静電容量 C o を小さくすることで、静電容量 C o の充放電によって生ずる電流成分 i 2 を低減し、入出力特性に寄与する直列回路部分に流れる電流成分 i 1 を増大させることができるので、振動子性能を高めることができる。このように静電容量 C o を低減するためには、振動子構造体の面積をなるべく小さく構成することが好ましく、特に、基板 3 0 を絶縁基板とすることがより望ましい。

【 0 0 3 1 】

本実施形態のマイクロメカニカル静電振動子では、接続端子 P x と加振電極 P y との間に変動電圧を印加すると、可動電極 3 1 と対向電極 3 2 との間に時間的に変動する静電力が発生し、これによって可動電極 3 1 が前後方向に移動する。この移動は、可動電極 3 1 と対向電極 3 3 との間の静電容量を時間的に変動させるので、この静電容量の変動に対応した出力信号を得ることができる。

【 0 0 3 2 】

例えば、可動電極 3 1 と、出力電極となる対向電極 3 3 に同じバイアス電圧を印加した状態で、加振電極となる対向電極 3 2 に例えば正弦波形の電位を供給すると、可動電極 3 1 と対向電極 3 2 との間に周期的に変動する静電力が生じ、これによって可動電極 3 1 が図示前後方向に往復振動する。そして、この可動電極 3 1 の往復振動により、可動電極 3 1 と対向電極 3 3 との間の静電容量が周期的に変動することになる。したがって、対向電

10

20

30

40

50

極 3 3 に検出回路を接続することで、可動電極 3 1 の往復振動に対応する出力（電位若しくは電流）を取り出すことができる。このとき、可動電極 3 1 及び一对の支持アーム 3 2 , 3 3 によって構成される可動構造部の共振特性により、上記振動子構造体の入出力特性が決定される。

【 0 0 3 3 】

本実施形態の可動電極 3 1 と対向電極 3 4 , 3 5 とは共に櫛歯状に構成され、相互に噛合する態様で対向配置されているので、上記の可動電極 3 1 が図示前後方向に往復振動する場合において、その振動ストロークが可動電極 3 1 の電極部 3 1 b , 3 1 c と、対向電極 3 4 , 3 5 の電極部 3 4 b , 3 5 b とのオーバーラップ距離よりも小さいときには、可動電極 3 1 と対向電極 3 4 , 3 5 との間の静電容量の変化率 C/x は可動電極 3 1 の変位 x に対して一定であり、振動子構造体の入出力特性も線形になる。

10

【 0 0 3 4 】

本実施形態において、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b は、その厚さよりもその可動電極の振動面上の幅が小さくなるように構成されている。このように構成すると、支持アーム 3 2 , 3 3 の支持剛性、特に、可動電極 3 1 の重量を支持するための上下方向の剛性を確保することができると同時に、可動電極 3 1 の本来の振動方向（水平方向）の可撓性を高めることができることから、不要な振動モードの発生を低減し、動作損失の低減を図ることができるので、振動子性能を全体として向上させることができる。

【 0 0 3 5 】

上記のマイクロメカニカル静電振動子において、一方の支持アーム 3 2 の固定端（固定部 3 2 a と第 1 アーム部 3 2 b との境界位置）から他方の支持アーム 3 3 の固定端（固定部 3 3 a と第 1 アーム部 3 3 b との境界位置）までの距離を $100\ \mu\text{m}$ 、可動構造部の構成素材をポリシリコン（ヤング率が $169\ \text{GPa}$ 、ポアソン比が 0.3 、密度が $2500\ \text{kg/m}^3$ ）とし、可動構造部の厚さを $20\ \mu\text{m}$ とした上で、支持アーム 3 2 , 3 3 の平面形状及び寸法を変えてそれぞれ設計した各構造について、静電力を受けたときの変形時の形状を有限要素法による構造解析によって算出した。その結果を図 3 に示す。

20

【 0 0 3 6 】

図 3 (a) に示すケースでは、支持アーム 3 2 , 3 3 における可動電極 3 1 の振動面（水平面）上の幅を全て一定の $5\ \mu\text{m}$ とし、これを可動電極 3 1 の基部 3 1 a の左記幅と同一とした。すなわち、上記の一对の支持アーム 3 2 , 3 3 に相当する部分がアームの長手方向に見て一定の断面積を有し、その断面積は上記の可動電極 3 1 の基部 3 1 a に相当する部分と同一である。このように構成した結果、変形時においては、支持アーム 3 2 , 3 3 だけでなく、可動電極 3 1 の基部 3 1 a も図示のように湾曲し、それによって電極部 3 1 b , 3 1 c が基部 3 1 a の変形方向へは広がり、反対方向へは狭められた形状となった。これでは、電極部 3 1 b , 3 1 c が対向電極 3 4 , 3 5 の電極部 3 4 b , 3 5 b に接触し、電氣的短絡を生ずる恐れがある。この場合の共振周波数は $2.51\ \text{MHz}$ であった。

30

【 0 0 3 7 】

図 3 (b) に示すケースでは、支持アーム 3 2 , 3 3 の第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d の上記幅を $3\ \mu\text{m}$ とし、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c の上記幅を基部 3 1 a の上記幅と同じ $5\ \mu\text{m}$ とした。これによって、可動電極 3 1 の変形はやや少なくなったが、それでも電極部 3 1 b , 3 1 c の変形が大きく、対向電極 3 4 , 3 5 との間の接触の恐れが存在する。この場合の共振周波数は $1.802\ \text{MHz}$ であった。

40

【 0 0 3 8 】

図 3 (c) に示すケースでは、支持アーム 3 2 , 3 3 の第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d の上記幅を $2\ \mu\text{m}$ とし、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c の上記幅を基部 3 1 a の上記幅と同じ $5\ \mu\text{m}$ とした。これによって、第 1 アーム部及び第 2 アーム部が集中的に湾曲変形するようになり、可動電極 3 1 の変形はきわめて少なくなった。この程度であれば、可動電極 3 1 と対向電極 3 4 , 3 5 との間の接触、電氣的短絡は生じないものと考えられる。この場合の共振周波数は $1.203\ \text{MHz}$ であった。このときの第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d の断面積に対する中間ア

50

ーム部 3 2 c , 3 3 c 及び基部 3 1 a の断面積の比は 2 . 5 であった。

【 0 0 3 9 】

図 3 (d) に示すケースでは、支持アーム 3 2 , 3 3 の第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d の上記幅を $1 \mu\text{m}$ とし、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c の上記幅を基部 3 1 a の上記幅と同じ $5 \mu\text{m}$ とした。これによって、可動電極 3 1 の変形はほとんど生じなくなった。この場合の共振周波数は 0.489MHz であった。

【 0 0 4 0 】

上記のように、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d の断面積若しくは可動電極 3 1 の振動面上の幅に対する可動電極 3 1 の基部 3 1 a の断面積若しくはその振動面上の幅の比は、1 よりも大きいことが好ましく、特に 2 . 5 以上であることが望ましい。このようにすると、可動電極 3 1 の変形を防止しつつ、支持アーム 3 2 , 3 3 を容易に変形させることができ、可動電極 3 1 を容易に移動させることができるので、可動電極 3 1 と対向電極 3 4 , 3 5 との間の接触及び電氣的短絡を防止しつつ、駆動電圧に対する出力電圧の比を大きくし、入出力特性を向上させることができる。

【 0 0 4 1 】

また、上記の比が大きくなりすぎると、第 1 アーム部及び第 2 アーム部の可撓性が高くなることにより可動電極 3 1 に対する支持アームの支持剛性が低下するとともに、可動電極 3 1 の基部 3 1 a の断面積や幅が大きくなることによりその重量が増大するので、可動電極 3 1 の姿勢変化や垂れ下がり防止するためには、上記比は 1 0 以下であることが好ましい。

【 0 0 4 2 】

本実施形態では、支持アーム 3 2 , 3 3 は、固定部 3 2 a , 3 3 a に接続された第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b と、この第 1 アーム部に接続された中間アーム部 3 2 c , 3 3 c と、この中間アーム部及び可動電極 3 1 の間に接続された第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d と、を有し、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c が第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d よりも可撓性が低くなるように構成されている。これによって、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c によって可動電極 3 1 の支持剛性を確保し、可動電極 3 1 の移動方向の偏りを抑制することができるとともに、その両側に設けられた、より可撓性の大きい第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d によって可動電極 3 1 の移動ストロークを確保することができ、また、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b と第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d が相互に逆向きに湾曲変形することで、可動電極 3 1 の姿勢変化を防止することができる。したがって、可動電極 3 1 を安定的にかつ容易に振動させることが可能になるので、不要な振動モードの発生による振動子の損失を低減することができるとともに、駆動電圧が小さくても比較的大きな出力を得ることができるので、駆動電圧の低電圧化や省エネルギー化を図ることができるなど、全体として振動子性能が向上する。

【 0 0 4 3 】

図 4 は、上記実施形態とは異なる振動子構造体の可動構造部（可動電極 3 1 及び支持アーム 3 2 , 3 3 ）の構成例を示す横断面図である。この構成例では、可動電極 3 1 と、支持アーム 3 2 , 3 3 の第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d とを異なる素材で構成してある。具体的には、可動電極 3 1 の構成素材を剛性の高い（可撓性の低い）、例えば弾性率の大きい素材で構成し、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d を可動電極 3 1 の構成素材よりも可撓性の高い、例えば弾性率の小さい素材で構成してある。これによって、上記実施形態のように基部 3 1 a の断面積若しくは上記幅と、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d の断面積若しくは上記幅との比をそれほど大きく構成しなくても、可動電極 3 1 の変形を抑制することができるとともに、支持アーム 3 2 , 3 3 の可撓性を十分に確保することができる。

【 0 0 4 4 】

また、この構成例では、支持アーム 3 2 , 3 3 において、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c と、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d とを

10

20

30

40

50

異なる素材で構成してある。具体的には、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c の構成素材を剛性の高い（可撓性の低い）、例えば弾性率の大きい素材で構成し、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d を中間アーム部 3 2 c , 3 3 c の構成素材よりも可撓性の高い、例えば弾性率の小さい素材で構成してある。これによって、上記実施形態のように中間アーム部 3 2 c , 3 3 c の断面積若しくは上記幅と、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d の断面積若しくは上記幅との比を 1 に設定した場合、或いは、それほど大きい値に構成しない場合でも、可動電極 3 1 の姿勢変化や垂れ下がりや抑制することができるとともに、支持アーム 3 2 , 3 3 の可撓性を十分に確保することができる。

【 0 0 4 5 】

上記の構成例において、第 1 アーム部及び第 2 アーム部の構成素材としては弾性率が小さく、可撓性の高い素材であるものが好ましく、例えば、アルミニウム、マグネシウム、すず、セレンなどが挙げられる。また、他の部分の弾性率がそれよりも大きい場合には、シリコン、チタン、銅などを用いることも可能である。一方、中間アーム部や可動電極の基部の構成素材としては、ニッケル、クロム、タングステン、鉄などが挙げられる。また、他の部分の弾性率がそれよりも小さい場合には、シリコン、チタン、銅などを用いることも可能である。

【 0 0 4 6 】

図 5 は、さらに異なる振動子構造体の可動構造部（可動電極 3 1 及び支持アーム 3 2 , 3 3 ）の構成例を示す概略斜視図である。この構成例では、上記実施形態と基本的に同様に構成された可動電極 3 1 の基部 3 1 a において薄膜 3 1 d が積層されている。この薄膜 3 1 d は可動電極 3 1 の基部 3 1 a の下地部分と同じ素材で構成されていてもよく、異なる素材で構成されていてもよいが、当該下地部分よりも可撓性の低い素材、例えば弾性率の大きい素材で構成されていることが好ましい。このように、基部 3 1 a において薄膜 3 1 d が積層されることにより、基部 3 1 a の可撓性が低くなるため、可動電極 3 1 の変形をさらに抑制することができる。なお、この構成例では、可動電極 3 1 のうちの基部 3 1 a のみに薄膜 3 1 d を積層しているが、可動電極 3 1 の全体に薄膜を形成してもよい。

【 0 0 4 7 】

また、この構成例では、支持アーム 3 2 , 3 3 の中間アーム部 3 2 c , 3 3 c において薄膜 3 2 e , 3 3 e が積層されている。この薄膜 3 2 e , 3 3 e は支持アーム 3 2 , 3 3 の下地部分と同じ素材で構成されていてもよく、異なる素材で構成されていてもよいが、当該下地部分よりも可撓性の低い素材、例えば弾性率の大きい素材で構成されていることが好ましい。このように、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c において薄膜 3 2 e , 3 3 e が形成されていることにより、中間アーム部 3 2 c , 3 3 c の可撓性が低くなるため、可動電極 3 1 の姿勢変化や垂れ下がりやをさらに抑制することができる。

【 0 0 4 8 】

また、この構成例では、薄膜 3 1 d , 3 2 e , 3 3 e を形成することで、振動子構造体の共振周波数の調整を行うことも可能になる。振動子構造体は、可動構造部の質量或いは質量分布と、可動構造部の形状寸法と、可動構造部を構成する素材の機械的特性とによってその振動特性が決定されるので、薄膜を形成することによって振動特性を調整することができる。例えば、薄膜が付着することで、可動構造部の質量（或いは質量分布）が変化するとともに、可動構造部の機械的特性も変化するので、共振周波数が変化する。この場合、薄膜の素材、厚さ、積層範囲などを調整することで、振動特性を精密に調整することが可能になる。

【 0 0 4 9 】

この構成例においては、上記薄膜は、第 1 アーム部 3 2 b , 3 3 b 及び第 2 アーム部 3 2 d , 3 3 d には形成されていないので、第 1 アーム部及び第 2 アーム部の可撓性が薄膜によって阻害されることはない。

10

20

30

40

50

【0050】

なお、上記の構成例では、薄膜31d が可動電極31 において積層され、しかも、薄膜32e , 33e が支持アーム32 , 33 に積層されているが、薄膜31d のみを形成するようにしてもよい。この場合には、可動電極31 の剛性を高めることができる一方、支持アーム32 , 33 の可撓性を阻害することがなくなる。また、薄膜32e , 33e のみを形成するようにしてもよい。この場合には、支持アーム32 , 33 の支持剛性を高めることができるとともに、その可撓性を極力阻害しないように構成することができる。

【0051】

上述のように、図4に示すように部分的に異なる素材を用いた構成例や図5に示す薄膜を用いた構成例では部分的に異なる素材を用いるようにしているが、この場合に、基本的な素材としては同じものを用いるけれども、素材の一部に対して加熱処理やドーピング処理などの各種処理を施すことによって、その機械的特性を部分的に変えることにより、異なる素材を用いる場合と同様の効果が得られるようにしてもよい。

【0052】

尚、本発明のマイクロメカニカル静電振動子は、上述の図示例にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。例えば、上記実施形態においては、可動電極の両側に対向する一对の対向電極を配置し、一方の対向電極を加振電極として用い、他方の対向電極を検出電極として用いているが、可動電極に対して一つの対向電極のみを形成して、これを加振電極兼検出電極としてもよく、一对の対向電極に逆相の駆動電圧を供給して一对の対向電極の双方を加振電極兼検出電極としてもよい。また、加振電極については、上記のように可動電極と相互に噛合する態様で対向する櫛歯状に構成するが、検出電極については、可動電極と検出電極とが対向配置される部分によって平行平板型の静電容量が構成されるように、可動電極に対向する検出電極の電極面を平坦に構成してもよいなど、その構成は任意である。

【図面の簡単な説明】

【0053】

【図1】実施形態の振動子構造体の概略斜視図。

【図2】実施形態の縦断面図(a)及びこれに直交する断面を示す縦断面図(b)。

【図3】実施形態の第1アーム部及び第2アーム部の幅を変えたときの可動構造部の変形状を示す平面図(a)~(d)。

【図4】異なる可動構造部の構造を示す横断面図。

【図5】さらに異なる可動構造部の構造を示す概略斜視図。

【図6】実施形態の等価回路図。

【図7】従来の基本な両端支持型の振動子構造体を示す概略斜視図。

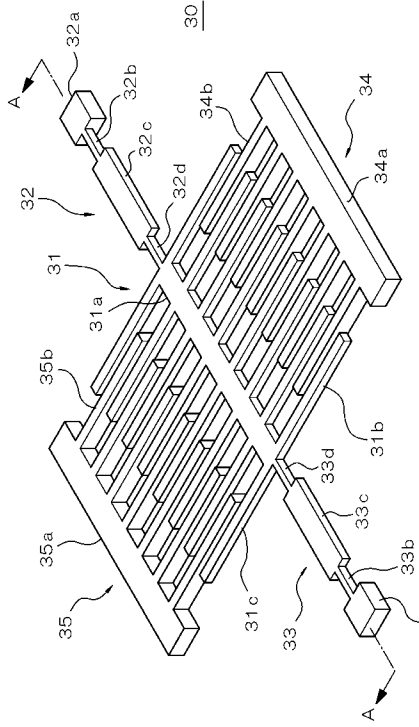
【図8】従来櫛歯状の電極構造を有する振動子構造体を示す概略平面図。

【符号の説明】

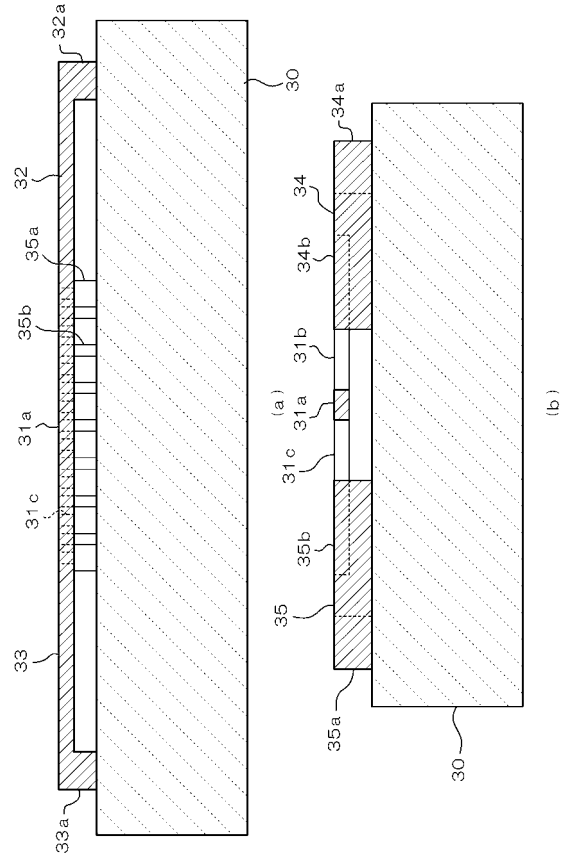
【0054】

30...基板、31...可動電極、31a...基部、31b, 31c...電極部、32, 33...支持アーム、32a, 33a...固定部、32b, 33b...第1アーム部、32c, 33c...中間アーム部、32d, 33d...第2アーム部、34, 35...対向電極、34a, 35a...基部、34b, 35b...電極部

【図 1】

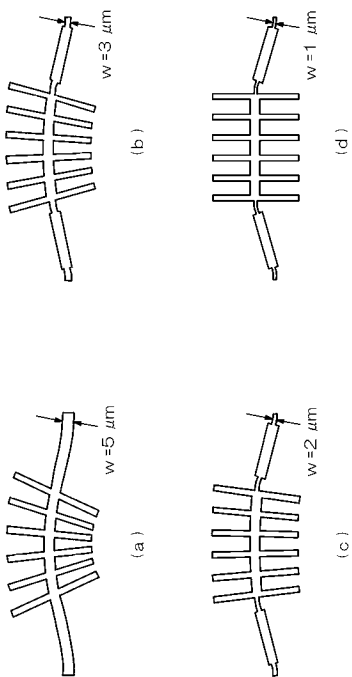


【図 2】

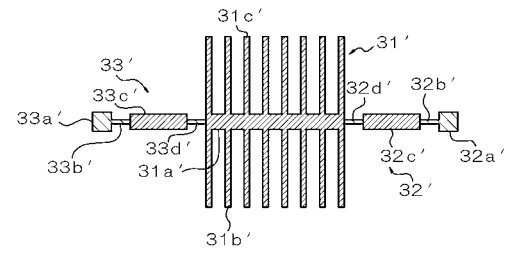


【図 3】

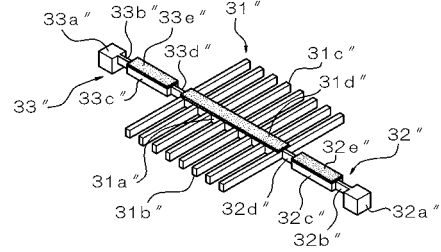
可動構造部の変形状態



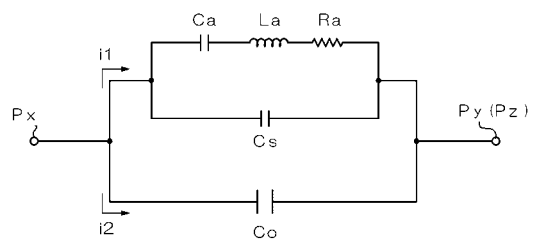
【図 4】



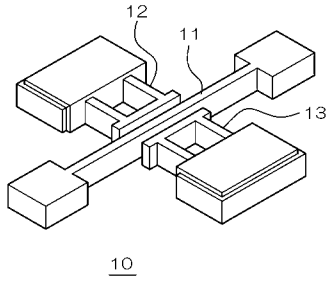
【図 5】



【図 6】



【 図 7 】



【 図 8 】

