

(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2014-212410

(P2014-212410A)

(43) 公開日 平成26年11月13日(2014.11.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03H 9/24 (2006.01)	H03H 9/24 Z	3C081
H03H 3/007 (2006.01)	H03H 3/007 Z	5J079
H03H 9/02 (2006.01)	H03H 9/02 K	5J108
H03B 5/30 (2006.01)	H03B 5/30 Z	
B81B 3/00 (2006.01)	H03H 9/02 M	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-87208 (P2013-87208)
 (22) 出願日 平成25年4月18日 (2013.4.18)

(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
 (74) 代理人 100095728
 弁理士 上柳 雅誉
 (74) 代理人 100127661
 弁理士 宮坂 一彦
 (74) 代理人 100116665
 弁理士 渡辺 和昭
 (72) 発明者 稲葉 正吾
 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
 (72) 発明者 岩本 修
 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

最終頁に続く

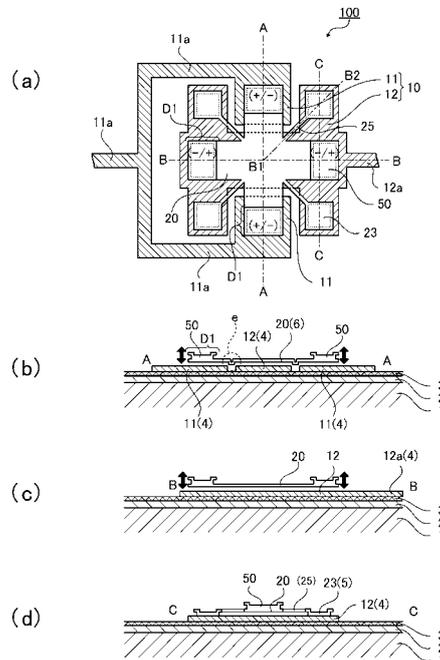
(54) 【発明の名称】 振動子、発振器、電子機器、移動体、および振動子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 振動子の梁（ビーム）の長さを長くすることなく、小型化に対応し、製造歩留まりが安定した、より低い駆動周波数の梁型振動子を提供する。

【解決手段】 MEMS振動子100は、基板1と、基板1の主面上に設けられた下部電極10と、前記主面上に設けられた固定部23と、基板1から遊離し、固定部23に支えられた上部電極20と、を備え、上部電極20は、基板1を平面視したときに、下部電極10と重なる領域を有する振動体であり、前記振動体としての上部電極20の振動の腹部を含む領域D1に錘部50を備えている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
前記基板の主面上に設けられた下部電極と、
前記主面上に設けられた固定部と、
前記基板から遊離し、前記固定部に支えられた上部電極と、を備え、
前記上部電極は、前記基板を平面視したときに、前記下部電極と重なる領域を有する振動体であり、前記振動体としての前記上部電極の振動の腹部を含む領域 D 1 に錘部を備えていることを特徴とする振動子。

【請求項 2】

前記錘部は、
前記基板の厚さにおいて、前記上部電極の前記領域 D 1 の厚さ T 1 が、前記振動体としての前記上部電極の振動の節部を含む領域 D 2 の厚さ T 2 より厚い部分を有することを特徴とする請求項 1 に記載の振動子。

【請求項 3】

前記厚さ T 1 が、前記厚さ T 2 より、前記基板の主面から前記上部電極へ向かう方向に厚いことを特徴とする請求項 2 に記載の振動子。

【請求項 4】

前記厚さ T 1 が、前記厚さ T 2 より、前記上部電極から前記基板の主面へ向かう方向に厚いことを特徴とする請求項 2 に記載の振動子。

【請求項 5】

前記錘部は、前記上部電極から前記基板の方向に近づくと従い細くなるように突出して設けられていることを特徴とする請求項 4 に記載の振動子。

【請求項 6】

前記基板の厚さ方向の前記錘部の厚さは、前記下部電極と前記上部電極との間隙の 3 分の 1 以下であることを特徴とする請求項 4 または請求項 5 に記載の振動子。

【請求項 7】

前記固定部は、前記固定部から延出する支持部によって前記振動の節部を支え、
前記上部電極および前記錘部によって構成される構造体は、自然数 n において、前記振動の節部から輻射状に延在する 2 n 個の梁を有する 2 n 回対称の回転対称体であることを特徴とする請求項 2 ないし請求項 6 のいずれか一項に記載の振動子。

【請求項 8】

基板の主面上に第 1 導電体層を積層する工程と、
前記第 1 導電体層を成形して下部電極を形成する工程と、
前記下部電極と重なるように第 1 犠牲層を積層する工程と、
前記第 1 犠牲層を成形して、前記下部電極の少なくとも一部が露出する第 1 開口部を形成する工程と、

前記第 1 犠牲層および前記第 1 開口部と重なるように第 2 導電体層を積層する工程と、
前記第 2 導電体層を成形して、前記基板を平面視したときに前記下部電極と重なる領域を有する振動体としての上部電極と、前記第 1 開口部と重なる領域を有する固定部と、前記固定部から延出し前記上部電極の振動の節部となる位置に接続する支持部と、を形成する工程と、

前記上部電極と前記固定部と前記支持部と重なるように第 2 犠牲層を積層する工程と、
前記第 2 犠牲層を成形して、前記上部電極の振動の腹部となる位置を含む領域が露出する第 2 開口部を形成する工程と、

前記第 2 犠牲層および前記第 2 開口部と重なるように第 3 導電体層を積層する工程と、
前記第 3 導電体層を成形して、前記第 2 開口部と重なる位置に錘部を形成する工程と、
前記第 1 犠牲層および前記第 2 犠牲層をエッチング除去する工程と、を含むことを特徴とする振動子の製造方法。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の振動子を備えていることを特徴とする発振器。

【請求項 1 0】

請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の振動子を備えていることを特徴とする電子機器。

【請求項 1 1】

請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の振動子を備えていることを特徴とする移動体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0 0 0 1】

本発明は、振動子、発振器、電子機器、移動体、および振動子の製造方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

一般に、半導体微細加工技術を利用して形成された M E M S (Micro Electro Mechanical System) デバイスと呼ばれる機械的に可動な構造体を備えた電気機械系構造体(例えば、振動子、フィルター、センサー、モーターなど)が知られている。この中で、M E M S 振動子は、これまでの水晶や誘電体を使用した振動子・共振子と比較して、半導体回路を組み込んで製造することが容易であり、微細化、高機能化に対し有利であることから、その利用範囲が広がっている。

20

【0 0 0 3】

従来の M E M S 振動子の代表例としては、振動子が設けられた基板面と平行な方向に振動する櫛型振動子と、基板の厚さ方向に振動する梁型振動子とが知られている。梁型振動子は、基板上に形成された固定電極と、基板に遊離して配置された可動電極などからなる振動子であり、可動電極の支持の方法により、片持ち梁型(clamped free beam)、両持ち梁型(clamped clamped beam)、両端自由梁型(free free beam)などが知られている。

【0 0 0 4】

特許文献 1 には、固定電極および可動電極を有し、両電極間に印加する交流電圧によって発生する静電力で可動電極を駆動(振動)させる片持ち梁型の M E M S 振動子が開示されている。このような片持ち梁型の振動子において、その駆動周波数は、振動子が有する固有振動の周波数であり、この固有振動周波数は、可動電極を構成する梁の材質や形状(長さや厚みなど)によって決定される。例えば、より高い駆動周波数の振動子は、梁の厚さをより厚くし、梁の長さをより短くすることによって得ることができる。逆に、より低い駆動周波数の振動子は、梁の厚さをより薄くし、梁の長さをより長くすることによって得ることができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 5】

【特許文献 1】特開 2 0 1 0 - 1 6 2 6 2 9 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 6】

しかしながら、このような方法で低い駆動周波数の振動子を構成した場合、つまり、例えば、梁の長さを長くした場合には、M E M S 振動子の大きさ(占有面積)が大きくなってしまふという課題があった。また、M E M S 振動子の大きさが大きくなることにより、M E M S 振動子を減圧環境に封止するためのキャピティの強度が下がってしまい、M E M S 振動子を利用した機器の耐久性や信頼性が低下してしまうという問題もあった。

また、梁の厚さをより薄くし、梁の長さをより長くした場合には、その製造工程において、梁のスティッキングが発生し、十分な製造歩留まりが得られなくなってしまうという

50

課題もあった。スティッキングとは、MEMS構造体を形成するために、犠牲層をエッチング除去したときに、微細な構造体（この場合には、可動電極としての梁）が基板や他の構造体に付着してしまう現象である。また、梁の長さをより長くした場合には、犠牲層をエッチング除去する時間が長くなってしまふことにより、製造工程のスループットが低下してしまうという問題もあった。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の適用例または形態として実現することが可能である。

【0008】

[適用例1] 本適用例に係る振動子は、基板と、前記基板の主面上に設けられた下部電極と、前記主面上に設けられた固定部と、前記基板から遊離し、前記固定部に支えられた上部電極と、を備え、前記上部電極は、前記基板を平面視したときに、前記下部電極と重なる領域を有する振動体であり、前記振動体としての前記上部電極の振動の腹部を含む領域D1に錘部を備えていることを特徴とする。

10

【0009】

本適用例によれば、振動子は、基板と、基板の主面上に設けられた下部電極および固定部と、基板から遊離し固定部に支えられた上部電極とを備え、上部電極は、基板を平面視したときに、下部電極と重なる領域を有する振動体として構成されている。従って、本振動子は、下部電極と上部電極に印加する交流電圧によって基板の厚さ方向に振動する静電型の梁型振動子として構成することができる。

20

また、本適用例によれば、振動子は、振動体（上部電極）の振動の腹部を含む領域D1に錘部を備えている。振動の腹部を含む領域に錘部を備えることにより、錘部を備えない場合と比較して、振動子の固有振動周波数をより低くすることができる。つまり、振動子の梁（上部電極）の長さを長くすることなく、駆動周波数をより低くすることができる。換言すると、同じ駆動周波数の振動子の場合、本適用例によれば、振動子の梁（上部電極）の長さをより短くすることができる。その結果、振動子全体の大きさをより小型化することができる。また、振動子がより小型になることにより、例えば、振動体の振動特性をより良好とし、信頼性や耐環境性を向上させるためにキャビティ内に収容し、減圧環境に封止する構造とした場合には、キャビティのサイズをより小さくすることができる。その結果、キャビティの剛性など強度がより高くなるため、より振動子の信頼性や耐環境性を向上させることができる。

30

【0010】

また、振動子の梁（上部電極）の長さをより短くすることができるため、例えば、MEMS構造体として振動子を形成する製造工程において、スティッキングによる歩留まり低下を抑制することができる。具体的には、基板の主面上に遊離した上部電極を形成する製造工程において、エッチング液や洗浄液の表面張力などが働いた場合であっても、固定部によって基板から遊離して支えられる上部電極の長さが短いために、上部電極が基板の主面上に付着したままになり難い。つまりスティッキング現象が抑制される。

【0011】

[適用例2] 上記適用例に係る振動子において、前記錘部は、前記基板の厚さにおいて、前記上部電極の前記領域D1の厚さT1が、前記振動体としての前記上部電極の振動の節部を含む領域D2の厚さT2より厚い部分を有することを特徴とする。

40

【0012】

本適用例によれば、錘部は、基板の厚さにおいて、上部電極の領域D1の厚さT1が、上部電極の振動の節部を含む領域D2の厚さT2より厚い部分を有している。つまり、錘部は、上部電極の領域D1の寸法形状を太らせる（厚くする）ことによって構成されている。錘部として上部電極と異なる材料を用いる構成ではないため、より簡便に製造することができる。

【0013】

50

〔適用例 3〕 上記適用例に係る振動子において、前記厚さ T 1 が、前記厚さ T 2 より、前記基板の主面から前記上部電極へ向かう方向に厚いことを特徴とする。

【0014】

本適用例によれば、厚さ T 1 が、厚さ T 2 より、基板の主面から上部電極へ向かう方向に厚い。つまり、錘部は、上部電極の上側（基板の主面から離れる側）に構成される。このように構成することで、下部電極と上部電極との間隙の距離が変わることなく錘部を備えることができる。その結果、下部電極と上部電極に印加する交流電圧によって基板の厚さ方向に振動する静電型の梁型振動子として構成した場合に、上部電極の可動範囲（振幅）に影響を与えることなく、また、電気的な特性に大きな変化を来たすことなく、駆動周波数をより低くすることができる。

10

【0015】

〔適用例 4〕 上記適用例に係る振動子において、前記厚さ T 1 が、前記厚さ T 2 より、前記上部電極から前記基板の主面へ向かう方向に厚いことを特徴とする。

【0016】

本適用例によれば、厚さ T 1 が、厚さ T 2 より、上部電極から基板の主面へ向かう方向に厚い。つまり、錘部は、上部電極の下側（基板の主面に近い側）に構成される。このように構成することで、製造工程において、スティッキングによる歩留まり低下を抑制することができる。具体的には、基板の主面上に遊離した上部電極を形成する製造工程において、エッチング液や洗浄液の表面張力などが働いた場合であっても、上部電極の領域 D 1 において、基板の主面方向に突出する錘部があるため、上部電極が基板の主面上に付着したままになり難い。つまりスティッキング現象が抑制される。

20

【0017】

〔適用例 5〕 上記適用例に係る振動子において、前記錘部は、前記上部電極から前記基板の方向に近づくに従い細くなるように突出して設けられていることを特徴とする。

【0018】

本適用例によれば、上部電極の下側（基板の主面に近い側）に構成される錘部は、上部電極から基板の方向に近づくに従い細くなるように突出して設けられている。このように構成することで、製造工程において、スティッキングによる歩留まり低下をさらに効果的に抑制することができる。具体的には、基板の主面上に遊離した上部電極を形成する製造工程において、エッチング液や洗浄液の表面張力などが働いた場合であっても、上部電極の領域 D 1 において、基板の主面方向に角立った形状で突出する錘部があるため、より上部電極が基板の主面上に付着したままになり難い。つまりスティッキング現象がさらに効果的に抑制される。

30

【0019】

〔適用例 6〕 上記適用例に係る振動子において、前記基板の厚さ方向の前記錘部の厚さは、前記下部電極と前記上部電極との間隙の 3 分の 1 以下であることを特徴とする。

【0020】

本適用例によれば、上部電極の下側（基板の主面に近い側）に構成される錘部は、基板の厚さ方向の錘部の厚さが、下部電極と上部電極との間隙の 3 分の 1 以下で構成されている。従って、下部電極と上部電極に印加する交流電圧によって基板の厚さ方向に振動する静電型の梁型振動子として構成した場合に、錘部の最下面と下部電極との間隙は、少なくとも錘部を除く間隙の 3 分の 2 以上の間隙を有している。そのため、上部電極の可動範囲（振幅）に大きな影響を与えることなく、駆動周波数をより低くすることができる。

40

【0021】

〔適用例 7〕 上記適用例に係る振動子において、前記固定部は、前記固定部から延出する支持部によって前記振動の節部を支え、前記上部電極および前記錘部によって構成される構造体は、自然数 n において、前記振動の節部から輻射状に延在する 2 n 個の梁を有する 2 n 回対称の回転対称体であることを特徴とする。

【0022】

本適用例によれば、固定部は、固定部から延出する支持部によって振動の節部を支え、

50

上部電極および錘部によって構成される構造体は、自然数 n において、振動の節部から輻射状に延在する $2n$ 個の梁を有する $2n$ 回対称の回転対称体である。つまり、上部電極の領域 $D1$ に錘部を備えた構成であっても、錘部を含めた形状が回転対称体で構成されるために、振動のバランスを保つことができる。例えば、振動子を基板の厚さ方向に振動する梁型振動子として構成する場合に、互いに隣り合う梁の振動の位相を逆にすることにより、振動の節部において振動体全体の振動が釣り合うため、支持部に支えられた振動の節部からの振動漏れを抑制することができる。これは、基板面と平行な方向に振動する櫛型振動子においても同様であり、支持部に支えられた振動の節部からの振動漏れを抑制することができる。その結果、錘部を設けた場合であっても、振動効率の低下を抑制することができる。

10

【0023】

[適用例8] 本適用例に係る振動子の製造方法は、基板の主面上に第1導電体を積層する工程と、前記第1導電体を成形して下部電極を形成する工程と、前記下部電極と重なるように第1犠牲層を積層する工程と、前記第1犠牲層を成形して、前記下部電極の少なくとも一部が露出する第1開口部を形成する工程と、前記第1犠牲層および前記第1開口部と重なるように第2導電体を積層する工程と、前記第2導電体を成形して、前記基板を平面視したときに前記下部電極と重なる領域を有する振動体としての上部電極と、前記第1開口部と重なる領域を有する固定部と、前記固定部から延出し前記上部電極の振動の節部となる位置に接続する支持部と、を形成する工程と、前記上部電極と前記固定部と前記支持部と重なるように第2犠牲層を積層する工程と、前記第2犠牲層を成形して、前記上部電極の振動の腹部となる位置を含む領域が露出する第2開口部を形成する工程と、前記第2犠牲層および前記第2開口部と重なるように第3導電体を積層する工程と、前記第3導電体を成形して、前記第2開口部と重なる位置に錘部を形成する工程と、前記第1犠牲層および前記第2犠牲層をエッチング除去する工程と、を含むことを特徴とする。

20

【0024】

本適用例による振動子の製造方法によれば、基板と、基板の主面上に設けられた下部電極および固定部と、基板から遊離し固定部から延出する支持部に支えられ上部電極とを備えた振動子が形成される。また、上部電極は、基板を平面視したときに、下部電極と重なる領域を有する振動体として構成される。従って、本適用例による振動子の製造方法によって得られる振動子は、下部電極と上部電極に印加する交流電圧によって基板の厚さ方向に振動する静電型の梁型振動子として構成することができる。

30

また、本適用例による振動子の製造方法によれば、振動子は、振動体(上部電極)の振動の腹部を含む領域 $D1$ に錘部が備えられる。振動の腹部を含む領域に錘部を備えることにより、錘部を備えない場合と比較して、振動子の固有振動周波数をより低くすることができる。つまり、振動子の梁(上部電極)の長さを長くすることなく、駆動周波数をより低くすることができる。換言すると、同じ駆動周波数の振動子の場合、本適用例によれば、振動子の梁(上部電極)の長さをより短くすることができる。その結果、振動子の全体の大きさをより小型化することができる。また、振動子がより小型になることにより、例えば、振動体の振動特性をより良好とし、信頼性や耐環境性を向上させるためにキャビティ内に収容し、減圧環境に封止する構造とした場合には、キャビティのサイズをより小さくすることができる。その結果、キャビティの剛性など強度がより高くなるため、より振動子の信頼性や耐環境性を向上させることができる。

40

【0025】

また、振動子の梁(上部電極)の長さをより短くすることができるため、製造工程において、スティッキングによる歩留まり低下を抑制することができる。具体的には、基板の主面上に遊離した上部電極を形成する工程において、エッチング液や洗浄液の表面張力などが働いた場合であっても、固定部によって基板から遊離して支えられる上部電極の長さが短いために、上部電極が基板の主面上に付着したままになり難い。つまりスティッキング現象が抑制される。

50

【 0 0 2 6 】

[適用例 9] 本適用例に係る発振器は、上記適用例に係る振動子を備えていることを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

本適用例によれば、発振器として、より低周波であっても、大型化することなく、より小型化された振動子が活用されることにより、より低周波領域に必要な周波数における、より小型の発振器を提供することができる。

【 0 0 2 8 】

[適用例 1 0] 本適用例に係る電子機器は、上記適用例に係る振動子を備えていることを特徴とする。

10

【 0 0 2 9 】

本適用例によれば、電子機器として、より低周波であっても、大型化することなく、より小型化された振動子が活用されることにより、より小型の電子機器を提供することができる。

【 0 0 3 0 】

[適用例 1 1] 本適用例に係る移動体は、上記適用例に係る振動子を備えていることを特徴とする。

【 0 0 3 1 】

本適用例によれば、移動体として、より低周波であっても、大型化することなく、より小型化された振動子が活用されることにより、よりスペースユーティリティーに優れた移動体を提供することができる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 2 】

【 図 1 】 (a) ~ (d) 実施形態 1 に係る振動子の平面図および断面図。

【 図 2 】 図 1 (a) の B - B 1 - B 2 断面の模式図。

【 図 3 】 (a) ~ (g) 実施形態 2 に係る振動子の製造方法を順に示す工程図。

【 図 4 】 (a) ~ (g) 実施形態 3 に係る振動子の製造方法を順に示す工程図。

【 図 5 】 実施形態 1 に係る振動子を備える発振器の構成例を示す概略図。

【 図 6 】 (a) 電子機器の一例としてのモバイル型のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図、(b) 電子機器の一例としての携帯電話機の構成を示す斜視図。

30

【 図 7 】 電子機器の一例としてのデジタルスチールカメラの構成を示す斜視図。

【 図 8 】 移動体の一例としての自動車を概略的に示す斜視図。

【 図 9 】 変形例 1 に係る振動子の断面模式図。

【 図 1 0 】 変形例 2 に係る振動子として、上部電極のバリエーションの例を模式的に示す断面図、斜視図、および平面図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 3 】

以下に本発明を具体化した実施形態について、図面を参照して説明する。以下は、本発明の一実施形態であって、本発明を限定するものではない。なお、以下の各図においては、説明を分かりやすくするため、実際とは異なる尺度で記載している場合がある。

40

【 0 0 3 4 】

(実施形態 1)

まず、実施形態 1 に係る振動子としての MEMS 振動子 1 0 0 について説明する。

図 1 (a) は、MEMS 振動子 1 0 0 の平面図、図 1 (b) は、図 1 (a) の A - A 断面図、図 1 (c) は、図 1 (a) の B - B 断面図、図 1 (d) は、図 1 (a) の C - C 断面図である。

MEMS 振動子 1 0 0 は、基板上に形成された下部電極 (固定電極) と、基板および固定電極から遊離して形成される上部電極 (可動電極) が備えられた静電型の梁型振動子である。上部電極は、基板の主面および下部電極に積層された犠牲層がエッチングされることにより基板および下部電極から遊離して形成されている。

50

なお、犠牲層とは、酸化膜などで一旦形成される層であり、その上下や周囲に必要な層を形成した後にエッチングにより除去される。犠牲層が除去されることによって、上下や周囲の各層間に必要な間隙や空洞が形成されたり、必要な構造体が遊離して形成されたりする。

【0035】

MEMS振動子100の構成について以下に説明する。MEMS振動子100の製造方法については、後述する実施形態で説明する。

MEMS振動子100は、基板1と、基板1の主面上に設けられた下部電極10（第1下部電極11、第2下部電極12）と、前記主面上に設けられた固定部23と、固定部23から延出する支持部25と、基板1から遊離し、固定部23（具体的には、固定部23から延出する支持部25）に支えられた上部電極20と、を備えている。

上部電極20は、基板1を平面視したときに、下部電極10と重なる領域を有する振動体であり、振動体としての上部電極20の振動の腹部を含む領域D1に錘部50を備えている。

なお、ここで、振動の腹部とは、振動子において振幅が最大の部分を意味し、振動の節部とは、振動していない部分あるいは振動が極小の部分と言う。

【0036】

基板1には、好適例としてシリコン基板を用いている。基板1には、酸化膜2、窒化膜3が順に積層されており、基板1の主面（窒化膜3の表面）の上部に、下部電極10（第1下部電極11、第2下部電極12）、上部電極20、固定部23、支持部25などが形成されている。

なお、ここでは、基板1の厚さ方向において、基板1の主面に順に酸化膜2および窒化膜3が積層される方向を上方向として説明している。

【0037】

下部電極10の内、第2下部電極12は、固定部23を基板1の上に固定し、また、固定部23および支持部25を介して上部電極20に電位を与える固定電極であり、窒化膜3に積層された第1導電体層4がフォトリソグラフィ（エッチング加工を含む。以下同様。）によりパターンニングされることで図1（a）に示すように、H形状に形成されている。また、第2下部電極12は、配線12aによって外部回路（図示省略）と接続されている。

【0038】

固定部23は、H形状の第2下部電極12の4つの端部にそれぞれ設けられている。固定部23は、第1導電体層4の上層に積層された犠牲層を介して積層された第2導電体層6が、フォトリソグラフィによりパターンニングされることで形成されている。なお、固定部23の一部は、犠牲層に設けられた開口部により、第2下部電極12に直接積層されている。

第1導電体層4および第2導電体層6は、それぞれ好適例として導電性のポリシリコンを用いているが、これに限定するものではない。

【0039】

上部電極20は、自然数 $n = 2$ において、中央部から輻射状に延在する $2n$ 個の梁を有する $2n$ 回対称の回転対称体である。具体的には、図1（a）に示すように、上部電極20の中央部から延出する4つの梁によって十字形状を呈する可動電極（振動体）であり、中央部が、周囲に設けられた4つの固定部23から延出する4本の支持部25によって支えられている。上部電極20は、第1導電体層4の上層に積層された犠牲層を介して積層された第2導電体層6が、フォトリソグラフィによりパターンニングされることで形成されている。つまり、4つの固定部23、4本の支持部25、および上部電極20は、一体に成形されている。

また、H形状の第2下部電極12と、十字形状の上部電極20とは、基板1を平面視したときにそれぞれの中心部が略一致するように重なるように配置されている。

【0040】

下部電極 10 の内、第 1 下部電極 11 は、基板 1 を平面視したときに重なる上部電極 20 との間で交流電圧が印加される固定電極であり、窒化膜 3 に積層された第 1 導電体層 4 がフォトリソグラフィによりパターニングされることで形成されている。第 1 下部電極 11 は、図 1 (a) を正面視したとき、上部電極 20 の中央部から縦方向 (A - A 方向) に延在する 2 つの梁に重なるように 2 箇所 に設けられ、配線 11 a によって外部回路と接続されている。

【 0 0 4 1 】

第 1 下部電極 11 は、第 2 下部電極 12 と同じ層の第 1 導電体層 4 により形成されている。従って、第 1 下部電極 11 は、上部電極 20 に電位を与える固定電極としての第 2 下部電極 12 との間で電氣的に絶縁される必要があり、それぞれのパターン (第 1 下部電極 11 と第 2 下部電極 12 と) が分離されている。この分離するための隙間の段差 (凹凸) は、第 1 導電体層 4 の上層に積層された犠牲層を介して積層された第 2 導電体層 6 によって形成される上部電極 20 に凹凸形状として転写される。具体的には、図 1 (b) に示す e 部のように、パターンの分離部において、上部電極 20 に凹凸形状が形成される。上部電極 20 は、中央部から輻射状に延在する 2 n 個 (本実施形態では n = 2) の梁を有する 2 n 回対称の回転対称体であるとしたが、このような下層の凹凸の影響や、製造における寸法バラツキなどによる微少な形状の差異は含まずに回転対称であるとする。

10

【 0 0 4 2 】

このような構成において、MEMS 振動子 100 は静電振動子として構成され、外部回路から配線 11 a , 12 a を介して第 1 下部電極 11 と上部電極 20 との間で印加される交流電圧によって、上部電極 20 の 4 つの梁の先端領域が振動の腹として振動する。図 1 (a) において、(+ / -) の記号は振動の腹として上下方向 (基板 1 の厚さ方向) に振動する部分を、その位相の関係を含めて示している。例えば、+ の梁が上方 (基板 1 から離れる方向) への動きの場合に、隣の梁が - の下方 (基板 1 に近づく方向) への動きになっていることを示している。

20

【 0 0 4 3 】

図 2 は、図 1 (a) の B - B 1 - B 2 断面を模式的に表した断面図である。

図 2 に示すように、上部電極 20 は、振動体としての振動の腹部 (上部電極 20 の 4 つの梁の先端領域) を含む領域 D 1 に錘部 50 を備えている。

錘部 50 は、基板 1 の厚さにおいて、上部電極 20 の領域 D 1 の厚さ T 1 が、振動体としての上部電極 20 の振動の節部を含む領域 D 2 の厚さ T 2 より厚い部分 (図 2 において厚さ T 3 で示す部分) によって構成されている。また、厚さ T 1 が、厚さ T 2 より、基板 1 の主面から上部電極 20 へ向かう方向に厚い。つまり、錘部 50 は、上部電極 20 の上部に設けられている。

30

錘部 50 には、上部電極 20 に用いる材料と同じ材料を用いている。つまり、導電性のポリシリコンを用いている。ただし、上部電極 20 と同様に、これに限定するものではない。

【 0 0 4 4 】

一般に、梁型振動子の固有振動周波数 f は、振動体を構成する材料の密度を ρ 、ヤング率を E、振動体の梁の長さを L、梁の厚さを T としたときに、以下の式 (1) によって表すことができる。

40

【 0 0 4 5 】

【数 1】

$$\text{式(1): } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{35E}{33\rho}} \times \frac{T}{L^2}$$

10

【0046】

従って、振動子を構成する材料やその膜厚（梁の厚さ）を変えずに、より低い固有振動周波数 f を得たい場合には、梁の長さ L をより大きく（長く）する必要がある。

一方、1質点系の梁型振動子の固有振動周波数 f は、梁のばね定数を k 、質点の質量を M としたときに、以下の式（2）によって表すことができる。

【0047】

【数 2】

20

$$\text{式(2): } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}}$$

【0048】

つまり、より低い固有振動周波数 f を得たい場合には、梁の先端部の質量 M をより大きく（重く）すればよい。

錘部 50 は、この質量 M に対応して機能する錘であり、錘部 50 の大きさ（厚さ T_3 や幅）や領域 D_1 内の重心の位置によって、上部電極 20 が振動する固有振動周波数 f が変化する。従って、所望する駆動周波数に応じて、適宜これら（錘部 50 の大きさ、重心の位置）を決定する。

30

【0049】

以上述べたように、本実施形態による MEMS 振動子 100 によれば、以下の効果を得ることができる。

MEMS 振動子 100 は、振動体（上部電極 20）の振動の腹部を含む領域 D_1 に錘部 50 を備えている。振動の腹部を含む領域 D_1 に錘部 50 を備えることにより、錘部 50 を備えない場合と比較して、MEMS 振動子 100 の固有振動周波数 f をより低くすることができる。つまり、MEMS 振動子 100 が備える梁（上部電極 20）の長さを長くすることなく、駆動周波数をより低くすることができる。換言すると、同じ駆動周波数の振動子の場合、本実施形態によれば、梁（上部電極 20）の長さをより短くすることができる。その結果、MEMS 振動子 100 の全体の大きさをより小型化することができる。また、MEMS 振動子 100 がより小型になることにより、例えば、振動体の振動特性をより良好とし、信頼性や耐環境性を向上させるためにキャビティ内に収容し、減圧環境に封止する構造とした場合には、キャビティのサイズをより小さくすることができる。その結果、キャビティの剛性など強度がより高くなるため、より振動子の信頼性や耐環境性を向上させることができる。

40

50

【 0 0 5 0 】

また、MEMS振動子100が備える梁（上部電極）の長さをより短くすることができるため、例えば、MEMS振動子100の製造工程において、スティッキングによる歩留まり低下を抑制することができる。具体的には、基板1の主面上に遊離した上部電極20を形成する製造工程において、エッチング液や洗浄液の表面張力などが働いた場合であっても、固定部23によって基板1から遊離して支えられる上部電極20の長さが短いために、上部電極20が基板1の主面上に付着したままになり難い。つまりスティッキング現象が抑制される。

【 0 0 5 1 】

また、錘部50は、基板1の厚さにおいて、上部電極20の領域D1の厚さT1が、上部電極20の振動の節部を含む領域D2の厚さT2より厚い部分によって構成されている。つまり、錘部50は、上部電極20の領域D1の寸法形状を太らせる（厚くする）ことによって構成している。錘部50として上部電極20と異なる材料を用いる構成ではないため、より簡便に構成することができる。

10

【 0 0 5 2 】

また、厚さT1が、厚さT2より、基板1の主面から上部電極20へ向かう方向に厚い。つまり、錘部50は、上部電極20の上側（基板1の主面から離れる側）に構成される。このように構成することで、下部電極10と上部電極20との間隙の距離が変わることなく、錘部50を備えることができる。その結果、下部電極10と上部電極20に印加する交流電圧によって基板1の厚さ方向に振動する静電型の梁型振動子として構成した場合に、上部電極20の可動範囲（振幅）に影響を与えることなく、また、電気的な特性に大きな変化を来たすことなく、駆動周波数fをより低くすることができる。

20

【 0 0 5 3 】

（実施形態2）

次に、実施形態2として、実施形態1に係る振動子（MEMS振動子100）の製造方法について説明する。なお、説明にあたり、上述した実施形態と同一の構成部位については、同一の符号を使用し、重複する説明は省略する。

図3(a)～(g)は、MEMS振動子100の製造方法を順に示す工程図である。それぞれの工程におけるMEMS振動子100の態様を、図1(a)のA-A断面図、およびC-C断面図で示している。

30

【 0 0 5 4 】

本実施形態に係る振動子の製造方法は、基板1の主面上に第1導電体層4を積層する工程と、第1導電体層4を成形して下部電極10を形成する工程と、下部電極10と重なるように第1犠牲層5を積層する工程と、第1犠牲層5を成形して、下部電極10の少なくとも一部が露出する第1開口部30を形成する工程と、第1犠牲層5および第1開口部30と重なるように第2導電体層6を積層する工程と、第2導電体層6を成形して、基板1を平面視したときに下部電極10と重なる領域を有する振動体としての上部電極20と、第1開口部30と重なる領域を有する固定部23と、固定部23から延出し上部電極20の振動の節部となる位置に接続する支持部25（図1(a)）と、を形成する工程と、上部電極20と固定部23と支持部25と重なるように第2犠牲層7を積層する工程と、第2犠牲層7を成形して、上部電極20の振動の腹部となる位置を含む領域が露出する第2開口部31を形成する工程と、第2犠牲層7および第2開口部31と重なるように第3導電体層8を積層する工程と、第3導電体層8を成形して、第2開口部31と重なる位置に錘部50を形成する工程と、第1犠牲層5および第2犠牲層7をエッチング除去する工程と、を含む。

40

図3(a)～(g)を参照し、以下に具体的に説明する。

【 0 0 5 5 】

図3(a)：基板1を準備し、主面に酸化膜2を積層する。酸化膜2は、好適例として、半導体プロセスの素子分離層として一般的なLOCOS(Local Oxidation of Silicon)酸化膜で形成しているが、半導体プロセスの世代によって、例えば、STI(Shallow

50

Trench Isolation) 法による酸化膜であっても良い。

次に絶縁層としての窒化膜 3 を積層する。窒化膜 3 としては、 Si_3N_4 を LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) により成膜している。窒化膜 3 は、犠牲層をリリースエッチングする際に使用するエッチング液としてのバッファードフッ酸に対して耐性があり、エッチングストッパーとして機能する。

【0056】

図 3 (b) : 次に、窒化膜 3 に第 1 導電体層 4 を積層する。第 1 導電体層 4 は、下部電極 10 (第 1 下部電極 11、第 2 下部電極 12)、配線 11a, 12a (図 1 (a) 参照) などを構成するポリシリコン層であり、積層後にイオン注入をして所定の導電性を持たせる。次に、第 1 導電体層 4 をフォトリソグラフィによりパターニングして、第 1 下部電極 11、第 2 下部電極 12、配線 11a, 12a を形成する。

10

【0057】

図 3 (c) : 次に、少なくとも下部電極 10、配線 11a, 12a と重なるように第 1 犠牲層 5 を積層する。第 1 犠牲層 5 は、第 1 下部電極 11 および第 2 下部電極 12 と上部電極 20 との間隙を形成し、上部電極 20 を遊離させるための犠牲層であり、CVD (Chemical Vapor Deposition) 酸化膜で形成している。

次に、第 1 犠牲層 5 をフォトリソグラフィによりパターニングし、第 2 下部電極 12 の一部が露出する第 1 開口部 30 を形成する。第 1 開口部 30 は、固定部 23 が第 2 下部電極 12 と接合し固定される接合領域を形成する。接合領域は、上部電極 20 が支持部 25 を介して基板 1 に支えられる領域であるため、必要なステイフネスが得られる面積を開

20

次に、第 1 犠牲層 5 および第 1 開口部 30 と重なるように第 2 導電体層 6 を積層する。第 2 導電体層 6 は、第 1 導電体層 4 と同じポリシリコン層である。

【0058】

図 3 (d) : 次に、第 2 導電体層 6 をフォトリソグラフィによりパターニングして、上部電極 20、固定部 23、固定部 23 から延出し上部電極 20 の振動の節部となる位置に接続する支持部 25 (図 1 (a)) を形成する。上部電極 20 は、図 1 (a) に示すように、基板 1 を平面視したときに第 1 下部電極 11 および第 2 下部電極 12 と重なる領域を有する電極として、自然数 $n = 2$ において、上部電極 20 の形状が上部電極 20 の中央部から $2n$ 個の梁が輻射状に延出し $2n$ 回対称の回転対称体となるように形成する。また

30

積層後にイオン注入をして所定の導電性を持たせる。

【0059】

図 3 (e) : 次に、少なくとも上部電極 20 と固定部 23 と支持部 25 と重なるように第 2 犠牲層 7 を積層し、フォトリソグラフィによりパターニングして、上部電極 20 の振動の腹部となる位置を含む領域 D1 (図 2) が露出する第 2 開口部 31 を形成する。次に、第 2 犠牲層 7 および第 2 開口部 31 と重なるように第 3 導電体層 8 を積層する。第 3 導電体層 8 は、第 1 導電体層 4、第 2 導電体層 6 と同じポリシリコン層である。

【0060】

図 3 (f) : 次に、第 3 導電体層 8 をフォトリソグラフィによりパターニングして第 2 開口部 31 と重なる位置に錘部 50 を形成する。

40

【0061】

図 3 (g) : 次に、基板 1 をエッチング液 (バッファードフッ酸) に晒し、第 1 犠牲層 5 および第 2 犠牲層 7 をエッチング除去 (リリースエッチング) することで、第 1 下部電極 11 および第 2 下部電極 12 と上部電極 20 との間隙を形成し、上部電極 20 を遊離させる。

以上により MEMS 振動子 100 が形成される。

【0062】

なお、MEMS 振動子 100 は、減圧状態に封止された空洞部 (キャビティ) に設置されることが好ましい。そのため、MEMS 振動子 100 の製造に当たっては、空洞部を形成するための犠牲層や、この犠牲層を囲む側壁部、空洞部の蓋を形成する封止層などを合

50

わせて形成しているが、ここではその説明を省略している。

【0063】

以上述べたように、本実施形態による振動子の製造方法によれば、以下の効果を得ることができる。

本実施形態の製造方法によって得られるMEMS振動子100は、振動体(上部電極20)の振動の腹部を含む領域D1に錘部50が備えられる。振動の腹部を含む領域D1に錘部50を備えることにより、錘部50を備えない場合と比較して、MEMS振動子100の固有振動周波数 f をより低くすることができる。つまり、MEMS振動子100の梁(上部電極20)の長さを長くすることなく、駆動周波数をより低くすることができる。換言すると、同じ駆動周波数の振動子の場合、本実施形態によれば、梁(上部電極20)の長さをより短くすることができる。その結果、MEMS振動子100の全体の大きさをより小型化することができる。また、MEMS振動子100がより小型になることにより、例えば、振動体の振動特性をより良好とし、信頼性や耐環境性を向上させるためにキャビティ内に収容し、減圧環境に封止する構造とした場合には、キャビティのサイズをより小さくすることができる。その結果、キャビティの剛性など強度がより高くなるため、より振動子の信頼性や耐環境性を向上させることができる。

10

【0064】

また、MEMS振動子100の梁(上部電極)の長さをより短くすることができるため、製造工程において、スティッキングによる歩留まり低下を抑制することができる。具体的には、基板1の主面上に遊離した上部電極20を形成する工程において、エッチング液や洗浄液の表面張力などが働いた場合であっても、固定部23によって基板1から遊離して支えられる上部電極20の長さが短いために、上部電極20が基板1の主面上に付着したままになり難い。つまりスティッキング現象が抑制される。

20

【0065】

なお、上述した実施形態では、錘部50を上部電極20の上部(基板1の厚さ方向)に設ける方法において、第3導電体層8を上部電極20の上部に積層しパターニングするという方法で説明したが、この方法に限定するものではない。例えば、一旦、上部電極20を錘部50に必要な厚さの第2導電体層6で形成しておき、次に領域D1において錘部50が形成されるように、錘部50を除く上部電極20の上面をハーフエッチングなどによって除去する方法であっても良い。

30

【0066】

(実施形態3)

次に、実施形態3として、実施形態1に係る振動子(MEMS振動子100)の製造方法について説明する。なお、説明にあたり、上述した実施形態と同一の構成部位については、同一の符号を使用し、重複する説明は省略する。

図4(a)~(g)は、MEMS振動子100の製造方法を順に示す工程図である。それぞれの工程におけるMEMS振動子100の態様を、図1(a)のA-A断面図、およびC-C断面図で示している。

【0067】

実施形態2の製造方法では、先に形成された上部電極20の上部に錘部50を設ける方法として説明したが、これに限定するものではない。実施形態3の振動子の製造方法は、先に錘部50を形成し、その上部に上部電極20を形成する。

40

図4(a)~(g)を参照し、以下に具体的に説明する。

【0068】

図4(a)~(c)：図3(a)~(c)と同じ工程により、第2導電体層6を積層する工程まで進める。また、第2導電体層6を積層した後にイオン注入をして所定の導電性を持たせる。

【0069】

図4(d)：次に、第2導電体層6をフォトリソグラフィによりパターニングして、錘部50および固定部23の第1層を形成する。

50

【 0 0 7 0 】

図 4 (e) : 次に、少なくとも錘部 5 0 および固定部 2 3 (固定部 2 3 の第 1 層) と重なるように第 3 導電体層 8 を積層する。第 3 導電体層 8 は、第 1 導電体層 4、第 2 導電体層 6 と同じポリシリコン層である。

【 0 0 7 1 】

図 4 (f) : 次に、第 3 導電体層 8 をフォトリソグラフィによりパターンニングして、上部電極 2 0、固定部 2 3 の第 2 層、固定部 2 3 から延出し上部電極 2 0 の振動の節部となる位置に接続する支持部 2 5 (図 1 (a)) を形成する。上部電極 2 0 は、図 1 (a) に示すように、基板 1 を平面視したときに第 1 下部電極 1 1 および第 2 下部電極 1 2 と重なる領域を有する電極として、自然数 $n = 2$ において、上部電極 2 0 の形状が上部電極 2 0 の中央部から $2n$ 個の梁が輻射状に延出し $2n$ 回対称の回転対称体となるように形成する。また、積層後にイオン注入をして所定の導電性を持たせる。

10

【 0 0 7 2 】

図 4 (g) : 次に、基板 1 をエッチング液 (バッファードフッ酸) に晒し、第 1 犠牲層 5 および第 2 犠牲層 7 をエッチング除去 (リリースエッチング) することで、第 1 下部電極 1 1 および第 2 下部電極 1 2 と上部電極 2 0 との間隙を形成し、上部電極 2 0 を遊離させる。

以上により MEMS 振動子 1 0 0 が形成される。

【 0 0 7 3 】

なお、本実施形態においても、実施形態 2 と同様にキャピティを含めた製造方法の説明を省略している。

20

【 0 0 7 4 】

以上述べたように、本実施形態による振動子の製造方法によれば、実施形態 2 の効果に加え、さらに以下の効果を得ることができる。

先に錘部 5 0 を形成し、その上部に上部電極 2 0 を形成する方法とすることにより、第 2 犠牲層 7 の積層およびパターンニングの工程を省くことができるため、より簡便に MEMS 振動子 1 0 0 を製造することができる。

【 0 0 7 5 】

[発振器]

次いで、本発明の一実施形態に係る発振器としての MEMS 振動子 1 0 0 を適用した発振器 2 0 0 について、図 5 に基づき説明する。

30

【 0 0 7 6 】

図 5 は、本発明の一実施形態に係る MEMS 振動子 1 0 0 を備える発振器の構成の例を示す概略図である。発振器 2 0 0 は、MEMS 振動子 1 0 0、バイアス回路 7 0、アンプ 7 1、7 2 などから構成される。

バイアス回路は、MEMS 振動子 1 0 0 の配線 1 1 a、1 2 a に接続され、MEMS 振動子 1 0 0 に所定の電位がバイアスされた交流電圧を印加する回路である。

アンプ 7 1 は、バイアス回路と並列に、MEMS 振動子 1 0 0 の配線 1 1 a、1 2 a に接続される帰還増幅器である。帰還増幅することで、MEMS 振動子 1 0 0 を発振器として構成している。

40

アンプ 7 2 は、発振波形を出力するバッファ増幅器である。

【 0 0 7 7 】

本実施形態によれば、発振器として、より低周波であっても、大型化することなく、より小型化された振動子が活用されることにより、より低周波領域に必要な周波数における、より小型の発振器を提供することができる。

【 0 0 7 8 】

[電子機器]

次いで、本発明の一実施形態に係る電子部品としての MEMS 振動子 1 0 0 を適用した電子機器について、図 6 (a)、(b)、図 7 に基づき説明する。

【 0 0 7 9 】

50

図6(a)は、本発明の一実施形態に係る電子部品を備える電子機器としてのモバイル型(またはノート型)のパーソナルコンピュータの構成の概略を示す斜視図である。この図において、パーソナルコンピュータ1100は、キーボード1102を備えた本体部1104と、表示部1000を備えた表示ユニット1106とにより構成され、表示ユニット1106は、本体部1104に対しヒンジ構造部を介して回動可能に支持されている。このようなパーソナルコンピュータ1100には、フィルター、共振器、基準クロック等として機能する電子部品としてのMEMS振動子100が内蔵されている。

【0080】

図6(b)は、本発明の一実施形態に係る電子部品を備える電子機器としての携帯電話機(PHSも含む)の構成の概略を示す斜視図である。この図において、携帯電話機1200は、複数の操作ボタン1202、受話口1204および送話口1206を備え、操作ボタン1202と受話口1204との間には、表示部1000が配置されている。このような携帯電話機1200には、フィルター、共振器、角速度センサー等として機能する電子部品(タイミングデバイス)としてのMEMS振動子100が内蔵されている。

【0081】

図7は、本発明の一実施形態に係る電子部品を備える電子機器としてのデジタルスチールカメラの構成の概略を示す斜視図である。なお、この図には、外部機器との接続についても簡易的に示されている。デジタルスチールカメラ1300は、被写体の光像をCCD(Charge Coupled Device)等の撮像素子により光電変換して撮像信号(画像信号)を生成する。

デジタルスチールカメラ1300におけるケース(ボディ)1302の背面には、表示部1000が設けられ、CCDによる撮像信号に基づいて表示を行なう構成になっており、表示部1000は、被写体を電子画像として表示するファインダーとして機能する。また、ケース1302の正面側(図中裏面側)には、光学レンズ(撮像光学系)やCCD等を含む受光ユニット1304が設けられている。

撮影者が表示部1000に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン1306を押下すると、その時点におけるCCDの撮像信号が、メモリー1308に転送・格納される。また、このデジタルスチールカメラ1300においては、ケース1302の側面に、ビデオ信号出力端子1312と、データ通信用の入出力端子1314とが設けられている。そして、図示されるように、ビデオ信号出力端子1312にはテレビモニター1430が、データ通信用の入出力端子1314にはパーソナルコンピュータ1440が、それぞれ必要に応じて接続される。さらに、所定の操作により、メモリー1308に格納された撮像信号が、テレビモニター1430や、パーソナルコンピュータ1440に出力される構成になっている。このようなデジタルスチールカメラ1300には、フィルター、共振器、角速度センサー等として機能する電子部品としてのMEMS振動子100が内蔵されている。

【0082】

上述したように、電子機器として、電子機器として、より低周波であっても、大型化することなく、より小型化された振動子が活用されることにより、より小型の電子機器を提供することができる。

【0083】

なお、本発明の一実施形態に係る電子部品としてのMEMS振動子100は、図6(a)のパーソナルコンピュータ(モバイル型パーソナルコンピュータ)、図6(b)の携帯電話機、図7のデジタルスチールカメラの他にも、例えば、インクジェット式吐出装置(例えばインクジェットプリンター)、ラップトップ型パーソナルコンピュータ、テレビ、ビデオカメラ、カーナビゲーション装置、ページャー、電子手帳(通信機能付も含む)、電子辞書、電卓、電子ゲーム機器、ワークステーション、テレビ電話、防犯用テレビモニター、電子双眼鏡、POS端末、医療機器(例えば電子体温計、血圧計、血糖計、心電図計測装置、超音波診断装置、電子内視鏡)、魚群探知機、各種測定機器、計器類(例えば、車両、航空機、船舶の計器類)、フライトシミュレーター等の電子機器に適用す

10

20

30

40

50

ることができる。

【0084】

[移動体]

次いで、本発明の一実施形態に係る振動子としてのMEMS振動子100を適用した移動体について、図8に基づき説明する。

図8は、MEMS振動子100を備える移動体としての自動車1400を概略的に示す斜視図である。自動車1400には本発明に係るMEMS振動子100を含んで構成されたジャイロセンサーが搭載されている。例えば、同図に示すように、移動体としての自動車1400には、タイヤ1401を制御する該ジャイロセンサーを内蔵した電子制御ユニット1402が搭載されている。また、他の例としては、MEMS振動子100は、キ

10

【0085】

上述したように、移動体として、より低周波であっても、大型化することなく、より小型化された振動子が活用されることにより、よりスペースユーティリティーに優れた移動体を提供することができる。

【0086】

なお、本発明は、上述した実施形態に限定されず、上述した実施形態に種々の変更や改良などを加えることが可能である。変形例を以下に述べる。ここで、上述した実施形態と同一の構成部位については、同一の符号を使用し、重複する説明は省略している。

20

【0087】

(変形例1)

図9は、変形例1に係る振動子の断面(図2と同様の位置の断面)を模式的に表した断面図である。

実施形態1では、図2に示すように、錘部50は、上部電極20の領域D1の厚さT1が、上部電極20の領域D2の厚さT2より厚い部分(厚さT3で示す部分)によって構成されており、厚さT3の部分(つまり錘部50)は、上部電極20の上部に設けられて

30

【0088】

錘部50aは、上部電極20と下部電極10との間隙Gにおいて、上部電極20の下面から下部電極10に向かう方向に突出するように設けられている。また、上部電極20の下面と下部電極10の上面との間隙の大きさDgと、厚さT3とは、 $T3 = Dg / 3$ の関係となるように構成している。つまり、基板1の厚さ方向の錘部50aの厚さT3は、下部電極10と上部電極20との間隙の大きさDgの3分の1以下である。

【0089】

本変形例よれば、下部電極10と上部電極20に印加する交流電圧によって基板1の厚さ方向に振動する静電型の梁型振動子として構成した場合に、錘部50aの最下面と下部電極10との間隙は、少なくとも錘部50aを除く間隙の3分の2以上の間隙を有している。そのため、上部電極20の可動範囲(振幅)に大きな影響を与えることなく、駆動周波数をより低くすることができる。

40

【0090】

(変形例2)

図10(a)は、変形例2に係る振動子として、上部電極20のバリエーションの例を模式的に示す断面図である。

変形例2に係る振動子は、上部電極20の下面に設けられ、下方向に角立って突出する

50

錘部 50b を備えている。この点を除き、変形例 2 は、変形例 1 と同様である。

【0091】

錘部 50b は、上部電極 20 と下部電極 10 との間隙 G において、上部電極 20 の下面から下部電極 10 に向かう方向に突出するように設けられている。また、錘部 50b の形状は、上部電極 20 から基板 1 の方向に近づくに従い細くなるように突出して設けられている。

図 10 (b), (c) は、錘部 50b の具体的な形状の例を示す斜視図である。それぞれの斜視図は、上部電極 20 の下面から見た図である。

錘部 50b は、例えば、図 10 (b) に示す円錐形を呈する形状であっても良い。またあるいは、図 10 (c) に示すように横方向（上部電極 20 の延在方向に交差する横方向）に延在する三角柱を呈する形状であっても良い。

10

【0092】

本変形例によれば、上部電極 20 の下側（基板 1 の主面に近い側）に構成される錘部 50b は、上部電極 20 から基板 1 の方向に近づくに従い細くなるように突出して設けられている。このように構成することで、製造工程において、スティッキングによる歩留まり低下をさらに効果的に抑制することができる。具体的には、基板 1 の主面上に遊離した上部電極 20 を形成する製造工程において、エッチング液や洗浄液の表面張力などが働いた場合であっても、上部電極 20 の領域 D1 において、基板 1 の主面方向に角立った形状で突出する錘部 50b があるため、より上部電極 20 が基板 1 の主面上に付着したままになり難い。つまりスティッキング現象がさらに効果的に抑制される。

20

【0093】

（変形例 3）

図 10 (d) は、変形例 3 に係る振動子として、上部電極 20 のバリエーションの例を模式的に示す平面図である。

実施形態 1 では、上部電極 20 は、図 1 (a) に示すように、上部電極 20 の中央部から延出する 4 つの梁によって十字形状を呈する可動電極であり、また、錘部 50 は、領域 D1 において、上部電極 20 の上部（つまり基板 1 の厚さ方向に上部電極 20 に積層する方向）に設けられているとして説明した。これに対し、本変形例の振動子が備える上部電極 20 は、錘部 50e を備え、錘部 50e は、領域 D1 において、上部電極 20 が延在する同一の面内に備えられている。

30

換言すると、上部電極 20 の中央部から延出する 4 つの梁は、図 1 (a) に示すような矩形の梁に限定するものではなく、例えば、図 10 (d) に示すように、領域 D1 において、上部電極 20 を平面視したときにそれぞれの梁（上部電極 20）がハンマー形状となるように錘部 50e を備える形状であっても良い。

【0094】

本変形例のように、錘部 50e を上部電極 20 が延在する同一の面内に備えるようにすることで、新たに錘部 50 を形成するための工程を増やすことなく、上部電極 20 のパターン形状を変えるだけで対応できるため、より簡便に製造することができる。

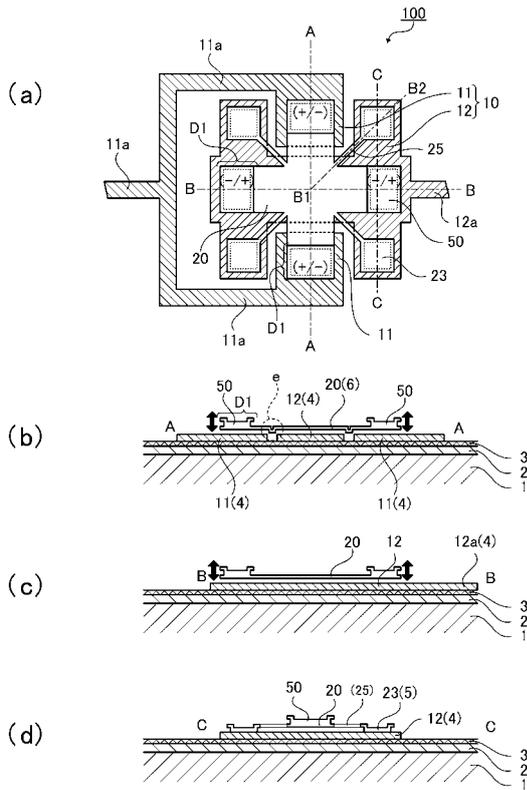
【符号の説明】

【0095】

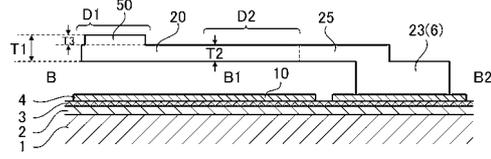
1 ... 基板、3 ... 窒化膜、4 ... 第 1 導電体層、5 ... 第 1 犠牲層、6 ... 第 2 導電体層、7 ... 第 2 犠牲層、8 ... 第 3 導電体層、10 ... 下部電極、11 ... 第 1 下部電極、11a ... 配線、12 ... 第 2 下部電極、12a ... 配線、20 ... 上部電極、23 ... 固定部、25 ... 支持部、30 ... 第 1 開口部、31 ... 第 2 開口部、50 ... 錘部。

40

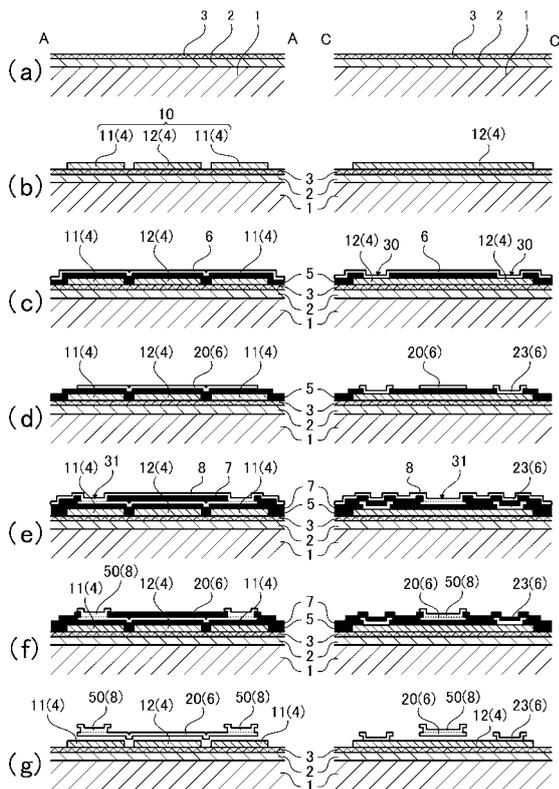
【 図 1 】



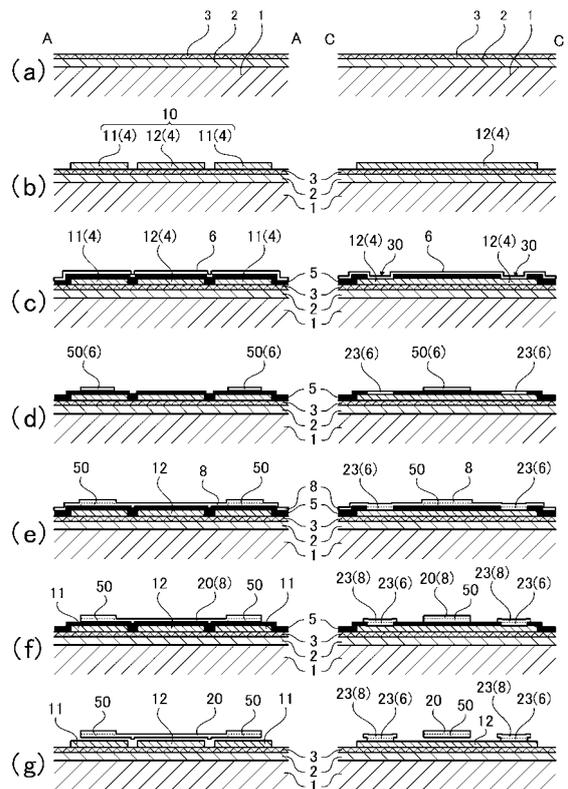
【 図 2 】



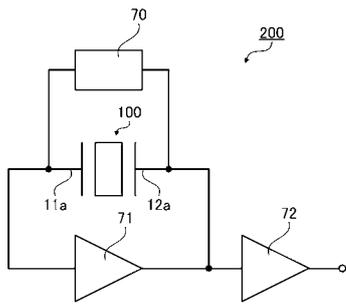
【 図 3 】



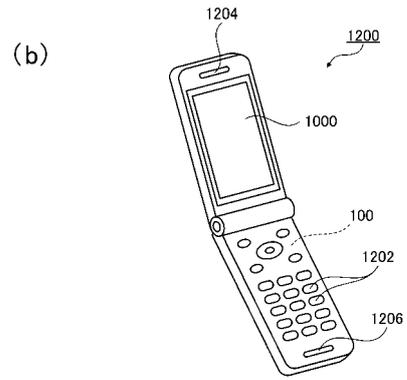
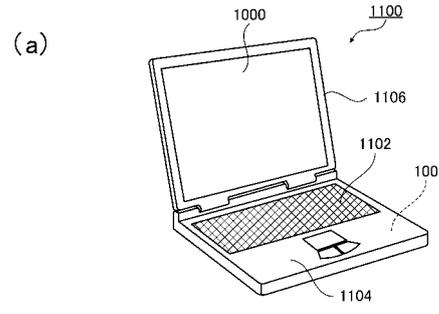
【 図 4 】



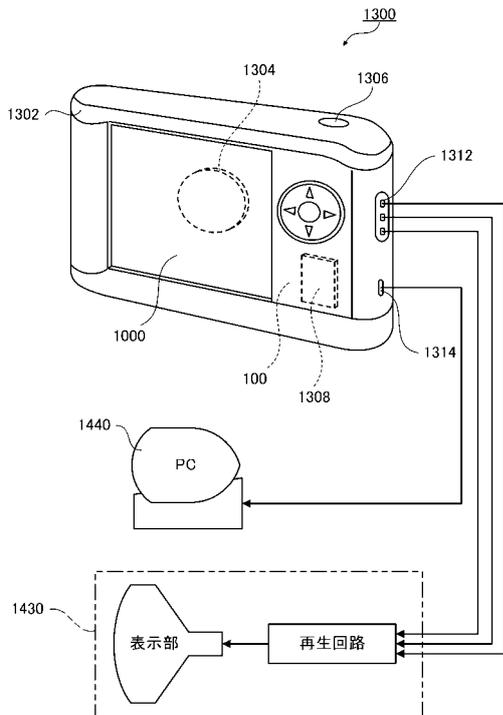
【 図 5 】



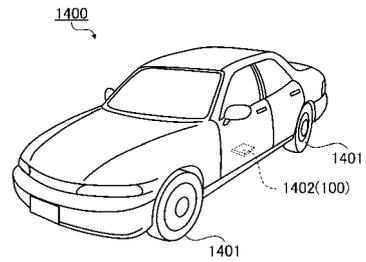
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

