(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2013-110493
(P2013-110493A)
(43)公開日　平成25年6月6日(2013.6.6)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H03H	9/24	(2006.01)	H03H	9/24	Z	3C081
H03H	9/46	(2006.01)	H03H	9/46	Z	5H680
H03B	5/30	(2006.01)	H03B	5/30	Z	5J079
B81B	3/00	(2006.01)	B81B	3/00		5J108
H02N	2/00	(2006.01)	H02N	2/00	C	

審査請求 未請求　請求項の数 7　ＯＬ　（全 15 頁）

(21)出願番号　特願2011-252354 (P2011-252354)
(22)出願日　平成23年11月18日 (2011.11.18)

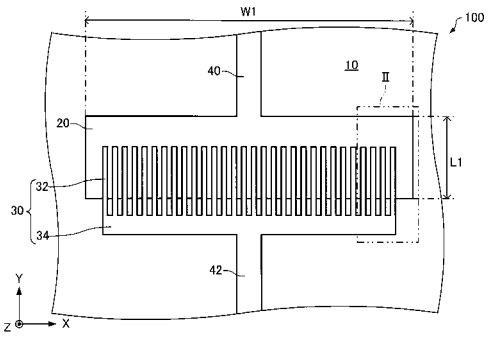
(71)出願人　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿２丁目４番１号
(74)代理人　100095728
弁理士　上柳　雅誉
(74)代理人　100107261
弁理士　須澤　修
(74)代理人　100127661
弁理士　宮坂　一彦
(72)発明者　茅野　祐治
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

Ｆターム(参考)　3C081 AA13 BA33 BA43 BA48 BA53 CA03 CA15 CA16 CA28 CA29 EA22

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ＭＥＭＳ振動子および発振器

(57)【要約】
【課題】不要な振動モードが生じることを抑制できるＭＥＭＳ振動子を提供する。
【解決手段】ＭＥＭＳ振動子１００は、基板１０と、基板１０の上方に配置された第１電極２０と、第１電極２０との間に空隙を有した状態で配置され、第１電極２０との間の静電力によって基板１０の厚み方向に振動可能となる梁部３２、および梁部３２を支持する支持部３４を有する第２電極と、を含み、第２電極３０は、梁部３２を複数有する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板と、
前記基板の上方に配置された第１電極と、
前記第１電極との間に空隙を有した状態で配置され、前記第１電極との間の静電力によって前記基板の厚み方向に振動可能となる梁部、および前記梁部を支持する支持部を有する第２電極と、
を含み、
前記第２電極は、前記梁部を複数有する、ＭＥＭＳ振動子。
【請求項２】
請求項１において、
複数の前記梁部は、前記支持部から同じ方向に延出している、ＭＥＭＳ振動子。
【請求項３】
請求項１または２において、
複数の前記梁部の長さは、等しい、ＭＥＭＳ振動子。
【請求項４】
請求項１ないし３のいずれか１項において、
複数の前記梁部は、前記第１電極と前記第２電極との間に生じる静電力によって、同じ周期かつ同じ位相で振動する、ＭＥＭＳ振動子。
【請求項５】
請求項１ないし４のいずれか１項において、
前記第２電極は、前記梁部の一端が前記支持部で固定された片持ち梁状に形成されている、ＭＥＭＳ振動子。
【請求項６】
請求項１ないし５のいずれか１項において、
前記第２電極は、前記支持部を複数有する、ＭＥＭＳ振動子。
【請求項７】
請求項１ないし６のいずれか１項に記載のＭＥＭＳ振動子と、
前記ＭＥＭＳ振動子の前記第１電極および前記第２電極と電気的に接続された回路部と、
を含む発振器。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、ＭＥＭＳ振動子および発振器に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、ＭＥＭＳ（Ｍｉｃｒｏ　Ｅｌｅｃｔｒｏ　Ｍｅｃｈａｎｉｃａｌ　Ｓｙｓｔｅｍ）技術を用いて製作されたＭＥＭＳ振動子が注目されている。
【０００３】
例えば、特許文献１には、基板上に検出電極（固定電極）と、可動部（可動電極）および可動部を支持する支持部を有する構造体と、を備えたＭＥＭＳ振動子が開示されている。このようなＭＥＭＳ振動子では、可動電極に交番電圧を印加し、可動電極と固定電極との間に働く静電力の強さを径時的に変化させることにより、可動電極を振動させ、固定電極から固有の共振周波数が出力されるように構成されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開２００７－１１１８３１号公報
【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
ここで、特許文献１に開示されたＭＥＭＳ振動子では、可動部（可動電極）が、１つの支持部で支持された片持ち梁構造（片持ち支持構造）を有している。このような片持ち梁構造では、例えば、支持部に接する膜や基板に起因した応力が発生しても、この応力が可動電極に与える影響を小さくすることができる。
【０００６】
しかしながら、このような片持ち梁構造のＭＥＭＳ振動子では、可動電極を振動させる際に、可動電極がねじれたり、波打ったりする場合がある。例えば、挿入損失等の特性向上のために可動電極の面積を大きくした場合には、特に、可動電極にねじれ等が生じやすい。ＭＥＭＳ振動子では、振動時に可動電極にねじれ等が生じると、所望の振動モードとは異なる不要な振動モードが発生してしまい、所望の周波数特性が得られない場合がある。
【０００７】
本発明のいくつかの態様に係る目的の１つは、不要な振動モードが発生することを抑制できるＭＥＭＳ振動子を提供することにある。また、本発明のいくつかの態様に係る目的の１つは、上記ＭＥＭＳ振動子を有する発振器を提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
本発明に係るＭＥＭＳ振動子は、
基板と、
前記基板の上方に配置された第１電極と、
前記第１電極との間に空隙を有した状態で配置され、前記第１電極との間の静電力によって前記基板の厚み方向に振動可能となる梁部、および前記梁部を支持する支持部を有する第２電極と、
を含み、
前記第２電極は、前記梁部を複数有する。
【０００９】
このようなＭＥＭＳ振動子によれば、梁部を振動させる際に生じる梁部のねじれ等を抑制することができる。そのため、梁部のねじれ等に起因する不要な振動モードが発生することを抑制することができる。
【００１０】
なお、本発明に係る記載では、「上方」という文言を、例えば、「特定のもの（以下、「Ａ」という）の上方に他の特定のもの（以下、「Ｂ」という）を形成する」などと用いる場合、Ａ上に直接Ｂを形成するような場合と、Ａ上に他のものを介してＢを形成するような場合とが含まれるものとして、「上方」という文言を用いている。
【００１１】
本発明に係るＭＥＭＳ振動子において、
複数の前記梁部は、前記支持部から同じ方向に延出していてもよい。
【００１２】
このようなＭＥＭＳ振動子によれば、製造工程において、梁部の長さを揃えることが容易になり、各梁部間における固有振動数のばらつきを低減することができる。
【００１３】
本発明に係るＭＥＭＳ振動子において、
複数の前記梁部の長さは、等しくてもよい。
【００１４】
このようなＭＥＭＳ振動子によれば、複数の梁部が同じ固有振動数を有することができる。
【００１５】
本発明に係るＭＥＭＳ振動子において、

複数の前記梁部は、前記第１電極と前記第２電極との間に生じる静電力によって、同じ周期かつ同じ位相で振動してもよい。

【００１６】

このようなＭＥＭＳ振動子によれば、単一のピーク（周波数）を有する信号を出力することができる。

【００１７】

本発明に係るＭＥＭＳ振動子において、

前記第２電極は、前記梁部の一端が前記支持部で固定された片持ち梁状に形成されていてもよい。

【００１８】

このようなＭＥＭＳ振動子によれば、梁部のねじれ等に起因する不要な振動モードが発生することを抑制することができる。

【００１９】

本発明に係るＭＥＭＳ振動子において、

前記第２電極は、前記支持部を複数有してもよい。

【００２０】

このようなＭＥＭＳ振動子によれば、梁部を複数列に配列することができる。

【００２１】

本発明に係る発振器は、

本発明に係るＭＥＭＳ振動子と、

前記ＭＥＭＳ振動子の前記第１電極および前記第２電極と電気的に接続された回路部と、

を含む。

【００２２】

このような発振器によれば、良好な発振特性を有することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

【図１】本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子を模式的に示す平面図。

【図２】本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子を模式的に示す平面図。

【図３】本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子を模式的に示す断面図。

【図４】従来のＭＥＭＳ振動子の梁部の振動の状態を説明するための図。

【図５】従来のＭＥＭＳ振動子の出力信号の一例を示すグラフ。

【図６】本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子の製造工程を模式的に示す断面図。

【図７】本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子の製造工程を模式的に示す断面図。

【図８】本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子の製造工程を模式的に示す断面図。

【図９】本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子の製造工程を模式的に示す断面図。

【図１０】本実施形態の第１変形例に係るＭＥＭＳ振動子を模式的に示す平面図。

【図１１】本実施形態の第２変形例に係るＭＥＭＳ振動子を模式的に示す平面図。

【図１２】本実施形態に係る発振器を示す回路図。

【図１３】本実施形態に係る発振器を模式的に示す平面図。

【図１４】本実施形態に係る発振器の変形例を模式的に示す平面図。

【図１５】本実施形態の変形例に係る発振器を示す回路図。

【発明を実施するための形態】

【００２４】

以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また、以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【００２５】

１．　ＭＥＭＳ振動子

まず、本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子について、図面を参照しながら説明する。図１

は、本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子１００を模式的に示す平面図である。図２は、ＭＥＭＳ振動子１００を模式的に示す平面図であり、図１の領域ＩＩを拡大した図である。図３は、ＭＥＭＳ振動子１００を模式的に示す断面図である。なお、図３は、図２のＩＩＩ－ＩＩＩ線断面図である。

【００２６】

ＭＥＭＳ振動子１００は、図１～図３に示すように、基板１０と、第１電極２０と、第２電極３０と、を含む。

【００２７】

基板１０は、図３に示すように、支持基板１２と、第１下地層１４と、第２下地層１６と、を有することができる。

【００２８】

支持基板１２としては、例えば、シリコン基板等の半導体基板を用いることができる。支持基板１２として、セラミックス基板、ガラス基板、サファイア基板、合成樹脂基板などの各種の基板を用いてもよい。

【００２９】

第１下地層１４は、支持基板１２上に形成されている。第１下地層１４としては、例えば、トレンチ絶縁層、ＬＯＣＯＳ（ｌｏｃａｌ　ｏｘｉｄａｔｉｏｎ　ｏｆ　ｓｉｌｉｃｏｎ）絶縁層、セミリセスＬＯＣＯＳ絶縁層を用いることができる。第１下地層１４の材質は、例えば、酸化シリコンである。第１下地層１４は、ＭＥＭＳ振動子１００と支持基板１２に形成された他の素子（図示せず）とを電気的に分離することができる。

【００３０】

第２下地層１６は、第１下地層１４上に形成されている。第２下地層１６の材質としては、例えば、窒化シリコンが挙げられる。第２下地層１６は、後述するリリース工程においてエッチングストッパー層として機能することができる。

【００３１】

第１電極２０は、基板１０上に配置されている。第１電極２０の形状は、例えば、層状又は薄膜状である。第１電極２０の平面形状は、例えば、図１に示すように、長方形である。なお、第１電極２０の平面形状は、特に限定されず、例えば、長方形以外の多角形であってもよい。第１電極２０は、基板１０上に固定されている。第１電極２０は、第１配線４０に接続されている。

【００３２】

第１電極２０の長さＬ１は、例えば、５μｍである。ここで、第１電極２０の長さＬ１とは、Ｙ方向（梁部３２の延出方向）の第１電極２０の大きさである。また、第１電極２０の幅Ｗ１は、例えば、５００μｍである。ここで、第１電極２０の幅Ｗ１とは、Ｘ方向の第１電極２０の大きさである。また、第１電極２０の厚さＴ１は、例えば、３００ｎｍである。

【００３３】

第２電極３０は、梁部３２と、梁部３２を支持する支持部３４と、を有する。梁部３２は、第１電極２０に対して対向配置されている。支持部３４は、基板１０上に形成されている。第２電極３０は、第２配線４２に接続されている。

【００３４】

梁部３２は、第１電極２０との間に空隙を有した状態で配置されている。梁部３２と第１電極２０との間の距離（ギャップ）Ｇは、例えば、３００ｎｍである。梁部３２は、支持部３４から＋Ｙ方向に延出している。梁部３２は、支持部３４と接する基部３２ａから先端部３２ｂまで＋Ｙ方向に延出している。第２電極３０は、梁部３２の一端（基部３２ａ）を支持部３４で固定し、梁部３２の他端（先端部３２ｂ）を自由にした片持ち梁状（カンチレバー状）に形成されている。

【００３５】

梁部３２の長さＬ２は、例えば、３～５μｍ程度である。ここで、梁部３２の長さＬ２とは、基部３２ａと先端部３２ｂとの間の距離である。すなわち、梁部３２の長さＬ２と

は、Ｙ方向の梁部３２の大きさである。また、梁部３２の幅Ｗ２は、例えば、１μｍ程度である。ここで、梁部３２の幅Ｗ２とは、Ｘ方向の梁部３２の大きさである。また、梁部３２の厚さＴ２は、例えば、３００ｎｍである。

【００３６】

梁部３２は、複数（図示の例では３０本）設けられている。すなわち、第２電極３０は、複数（３０本）の梁部３２で構成されている。第２電極３０を構成する梁部３２の数は、図示の例では、３０本であるが、これに限定されない。第２電極３０を構成する梁部３２の数は、例えば、３０～１０００本程度である。第２電極３０を構成する複数（３０本）の梁部３２は、支持部３４から同じ方向（＋Ｙ方向）に延出している。第２電極３０を構成する複数（３０本）の梁部３２は、Ｘ方向に１列に並んでいる。第２電極３０を構成する複数（３０本）の梁部３２は、配線４２に対して互いに電気的に並列に接続されている。隣り合う梁部３２間の距離Ｓは、例えば、１μｍ程度である。

【００３７】

第２電極３０を構成する梁部３２の長さＬ２は、図示の例では、すべて等しい。これにより、第２電極３０を構成する梁部３２の全部が、同じ固有振動数を有することができる。ここで、複数の梁部の長さが等しいとは、例えば、各梁部の長さが設計上同じ長さであることを意味し、各梁部の長さが完全に等しい場合と、製造誤差の範囲内で各梁部の長さが異なっている場合とを含むものとする。

【００３８】

また、第２電極３０を構成する梁部３２は、例えば、すべて同じ形状を有している。すなわち、第２電極３０を構成する梁部３２は、長さＬ２だけでなく、幅Ｗ２、厚さＴ２、ギャップＧ、がすべて同じ大きさを有している。これにより、第２電極３０を構成する梁部３２の全部が、同じ固有振動数を有することができる。第２電極３０を構成する梁部３２の全部が同じ固有振動数を有することにより、第２電極３０を構成する梁部３２は、電極２０，３０間に生じる静電力によって、互いに同じ周期かつ同じ位相で振動することができる。

【００３９】

なお、ここでは、第２電極３０を構成する梁部３２の形状（長さＬ２、幅Ｗ２、厚さＴ２、ギャップＧ）が、すべて同じ場合について説明したが、第２電極３０を構成する梁部３２は、電極２０，３０間に生じる静電力によって、互いに同じ周期かつ同じ位相で振動することができれば、それぞれ異なる形状を有していてもよい。

【００４０】

支持部３４は、基板１０上に配置されている。支持部３４は、梁部３２を支持している。図示の例では、１つの支持部３４が、第２電極３０を構成する梁部３２の全部を支持している。支持部３４は、例えば、基板１０上に固定されている。

【００４１】

第１電極２０および第２電極３０の材質は、例えば、所定の不純物をドーピングすることにより導電性が付与された多結晶シリコンである。

【００４２】

なお、ＭＥＭＳ振動子１００は、第１電極２０および第２電極３０を減圧状態で気密封止する被覆構造体を有していてもよい。これにより、梁部３２の振動時における空気抵抗を減少させることができる。

【００４３】

ＭＥＭＳ振動子１００では、第１電極２０および第２電極３０の間に電圧（交番電圧）が印加されると、第２電極３０を構成する梁部３２は、電極２０，３０間に発生する静電力により、基板１０の厚み方向に振動することができる。なお、ここで、基板１０の厚み方向とは、基板１０の主面（素子が形成される面）の垂線Ｐに沿う方向（Ｚ方向）をいう。第２電極３０を構成する梁部３２は、電極２０，３０間の静電気力により、互いに同じ周期かつ同じ位相で振動することができる。これにより、例えば、第１電極２０（第１配線４０）から所定の周波数（梁部の固有振動数に応じた周波数）の信号（出力信号）を出

力することができる。ＭＥＭＳ振動子１００は、静電力によって動作する静電型のＭＥＭＳ振動子である。

【００４４】

ＭＥＭＳ振動子１００は、例えば、以下の特徴を有する。

【００４５】

ＭＥＭＳ振動子１００では、第２電極３０が、梁部３２を複数有することができる。これにより、例えば、第２電極３０を構成する梁部３２の全部の面積と同じ面積を１つの梁部で形成した場合と比べて、梁部を振動させる際に生じる梁部のねじれ等を抑制することができる。そのため、ねじれ等に起因する不要な振動モードが発生することを抑制することができる。したがって、ＭＥＭＳ振動子１００によれば、所望の周波数特性（発振特性）を得ることができる。以下、詳細に説明する。

【００４６】

図４は、従来のＭＥＭＳ振動子の梁部１０３２の振動の状態を説明するための図である。図４（Ａ）は、梁部１０３２が単一の振動モードで振動している状態を示す図である。図４（Ｂ）、図４（Ｃ）は、梁部１０３２にねじれや波打ちが生じて梁部に不要な振動モードが生じている状態を示す図である。

【００４７】

梁部１０３２は、図４（Ａ）に示すように、単一の振動モード（主振動）で振動していることが望ましい。図５（Ａ）は、梁部１０３２が、単一の振動モードで振動しているときの出力信号の一例を示すグラフである。梁部が単一の振動モードで振動しているときには、図５（Ａ）に示すように、出力信号は単一のピークを有し、良好な周波数特性を得ることができる。

【００４８】

これに対して、図４（Ｂ）および図４（Ｃ）に示すように、梁部１０３２にねじれや波打ちが生じることにより、梁部１０３２には、図４（Ａ）での振動モード（主振動）とは異なる不要な振動モードが生じている。図５（Ｂ）は、梁部１０３２に不要な振動モード（主振動以外の振動）が生じた場合の出力信号の一例を示すグラフである。図５（Ｂ）に示すように、梁部１０３２にねじれや波打ちが生じることにより、出力信号には、主振動以外の振動によるピーク（スプリアス）が生じる。このように、梁部にねじれ等が生じると、意図しない周波数で発振が起こってしまい、所望の周波数特性（発振特性）が得られない場合がある。

【００４９】

このような課題に対して、本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子１００では、上述したように、第２電極３０が梁部３２を複数有することにより、梁部を振動させる際に生じる梁部のねじれ等を抑制することができる。そのため、ＭＥＭＳ振動子１００では、梁部３２のねじれ等に起因する不要な振動モードが発生することを抑制することができる。したがって、所望の周波数特性（発振特性）を得ることができる。

【００５０】

また、ＭＥＭＳ振動子１００では、梁部３２の数を増やすことで、梁部３２の面積（平面視において梁部３２と第１電極２０とが重なる領域の面積）を大きくすることができる。そのため、梁部３２の面積を大きくしても、梁部のねじれ等に起因する不要な振動モードが発生することを抑制することができる。したがって、不要な振動モードを抑制しつつ、梁部３２の面積を大きくして挿入損失などの特性を向上させることができる。

【００５１】

ＭＥＭＳ振動子１００によれば、第２電極３０を構成する梁部３２が、支持部３４から同じ方向（＋Ｙ方向）に延出していることができる。これにより、例えば、製造工程において、梁部３２の長さを揃えることが容易になり、第２電極３０を構成する各梁部３２間における固有振動数のばらつきを低減することができる。

【００５２】

第２電極３０を構成する梁部３２の全部が、同じ方向に延出していない場合、梁部をパ

ターニングする工程において、マスク合わせにずれが生じた場合、梁部の長さが、梁部が延出する方向によって異なってしまう場合がある。ＭＥＭＳ振動子１００では、第２電極３０を構成する梁部３２の全部が同じ方向（＋Ｙ方向）に延出しているため、マスク合わせにずれが生じても、梁部３２の長さのずれ量が同じになる。したがって、第２電極３０を構成する各梁部３２の長さにばらつきが生じることを抑制することができる。これにより、第２電極３０を構成する各梁部３２間における固有振動数のばらつきを低減することができる。そのため、各梁部３２の固有振動数を所定の値に集中させることができ、その重ね合わせであるＭＥＭＳ振動子の発振特性を向上させることができる。

【００５３】

ＭＥＭＳ振動子１００によれば、第２電極３０を構成する各梁部３２の長さが、互いに等しいため、各梁部３２が同じ固有振動数を有することができる。

【００５４】

２．　ＭＥＭＳ振動子の製造方法

次に、本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子の製造方法について、図面を参照しながら説明する。図６～図９は、本実施形態に係るＭＥＭＳ振動子１００の製造工程を模式的に示す断面図である。

【００５５】

図６に示すように、支持基板１２上に、第１下地層１４および第２下地層１６をこの順で形成して、基板１０を得る。第１下地層１４は、例えば、ＬＯＣＯＳ法により形成される。第２下地層１６は、例えば、ＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａｌ　Ｖａｐｏｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法、スパッタ法により形成される。

【００５６】

次に、基板１０上に第１半導体層２を成膜する。第１半導体層２の成膜は、例えば、ＣＶＤ法、スパッタ法により行われる。第１半導体層２の材質は、例えば、多結晶シリコン（ポリシリコン）である。

【００５７】

次に、第１半導体層２に不純物を注入する。これにより、第１半導体層２に対して導電性を付与することができる。注入される不純物としては、例えば、リン（Ｐ）やボロン（Ｂ）が挙げられる。また、不純物を活性化するための熱処理を行ってもよい。

【００５８】

図７に示すように、第１半導体層２をパターニングして、第１電極２０を形成する。また、第１半導体層２のパターニングにより、さらに、第１配線４０が形成されてもよい。第１半導体層２のパターニングは、例えば、フォトリソグラフィー技術によって行われる。

【００５９】

次に、第１電極２０を覆う被覆層（犠牲層）４を形成する。被覆層４は、例えば、酸化シリコン層である。被覆層４は、例えば、第１電極２０を熱酸化することにより形成される。被覆層４の厚みによって、第１電極２０と第２電極３０との間の距離（ギャップＧ）が決定される。

【００６０】

図８に示すように、被覆層４上に第２半導体層６を成膜する。図示の例では、第２半導体層６は、被覆層４上および基板１０上に形成される。第２半導体層６の成膜は、例えば、ＣＶＤ法、スパッタ法により行われる。第２半導体層６の材質は、例えば、多結晶シリコンである。

【００６１】

次に、第２半導体層６に不純物を注入する。これにより、第２半導体層６に対して導電性を付与することができる。注入される不純物としては、例えば、リン（Ｐ）やボロン（Ｂ）が挙げられる。また、不純物の活性化を活性化するための熱処理を行ってもよい。

【００６２】

図９に示すように、第２半導体層６をパターニングして、複数の梁部３２および支持部

３４を有する第２電極３０を形成する。また、第２半導体層６のパターニングにより、さらに、第２配線４２が形成されてもよい。第２半導体層６のパターニングは、例えば、フォトリソグラフィー技術により行われる。

【００６３】

ここで、第２電極３０を構成する梁部３２は、上述したように、全部が同じ方向（＋Ｙ方向）に延出するように形成される。そのため、第２半導体層６のパターニングの際に、第１電極２０と第２電極３０をパターニングするためのマスク（図示せず）との間に位置ずれが生じたとしても、梁部３２の長さＬ２のずれ量は、全部の梁部３２で同じになる。したがって、製造工程において、第２電極３０を構成する各梁部３２の長さにばらつきが生じることを抑制することができる。

【００６４】

図３に示すように、被覆層４を除去する（リリース工程）。被覆層４の除去は、例えば、フッ化水素酸や緩衝フッ酸（フッ化水素酸とフッ化アンモニウムとの混合液）などを用いたウェットエッチングにより行われる。このとき、第２下地層１６は、エッチングストッパー層として機能することができる。

【００６５】

以上の工程により、ＭＥＭＳ振動子１００を製造することができる。

【００６６】

３．　ＭＥＭＳ振動子の変形例

３．１．　第１変形例

次に、本実施形態の第１変形例に係るＭＥＭＳ振動子について、図面を参照しながら説明する。図１０は、本実施形態の第１変形例に係るＭＥＭ振動子２００を模式的に示す平面図である。以下、ＭＥＭＳ振動子２００において、上述したＭＥＭＳ振動子１００の構成部材と同様の機能を有する部材については同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【００６７】

上述したＭＥＭＳ振動子１００の例では、図１に示すように、第２電極３０は、複数（３０本）の梁部３２に対して１つの支持部３４を有していた。

【００６８】

これに対して、ＭＥＭＳ振動子２００では、図１０に示すように、第２電極３０は、複数（３０本）の梁部３２に対して複数（２つ）の支持部３４ａ，３４ｂを有している。

【００６９】

第２電極３０は、図示の例では、２つの支持部（第１支持部３４ａおよび第２支持部３４ｂ）を有している。第１支持部３４ａおよび第２支持部３４ｂは、それぞれ１５本の梁部３２を支持している。すなわち、第２電極３０は、３０本の梁部３２と、２つの支持部３４ａ，３４ｂを有している。なお、図示の例では、第１支持部３４ａおよび第２支持部３４ｂがそれぞれ同じ数（１５本）の梁部３２を支持しているが、例えば、第１支持部３４ａと第２支持部３４ｂが異なる数の梁部３２を支持していてもよい。また、図示の例では、支持部３４ａ，３４ｂの数は２つだが、その数は特に限定されず３つ以上であってもよい。第１支持部３４ａおよび第２支持部３４ｂは、接続部３６によって接続されている。

【００７０】

第１支持部３４ａに支持されている梁部３２および第２支持部３４ｂに支持されている梁部３２は、ともに、支持部３４ａ，３４ｂから同じ方向（＋Ｙ方向）に延出している。梁部３２は、図示の例では、２列に配列されている。なお、例えば、支持部３４を３つ以上設けて、梁部３２を３つ以上の列に配列してもよい。第２電極３０を構成する複数（３０本）の梁部３２は、配線４２に対して、互いに電気的に並列に接続されている。そのため、第２電極３０を構成する梁部３２は、電極２０，３０間に生じる静電力によって、互いに同じ周期かつ同じ位相で振動することができる。

【００７１】

第１電極２０は、第１支持部３４ａに支持されている梁部３２との間に空隙を有した状態で配置される第１部分２０ａと、第２支持部３４ｂに支持されている梁部３２との間に空隙を有した状態で配置される第２部分２０ｂと、を有する。第１部分２０ａと第２部分２０ｂとは、接続部２２によって接続されている。

【００７２】

ＭＥＭＳ振動子２００は、例えば、以下の特徴を有する。

【００７３】

ＭＥＭＳ振動子２００によれば、上述したＭＥＭＳ振動子１００と同様に、第２電極３０が、梁部３２を複数有することができる。これにより、梁部３２のねじれ等に起因する不要な振動モードが発生することを抑制することができる。したがって、ＭＥＭＳ振動子２００によれば、所望の周波数特性が得ることができる。

【００７４】

ＭＥＭＳ振動子２００によれば、上述したＭＥＭＳ振動子１００と同様に、第２電極３０を構成する梁部３２の全部が、支持部３４ａ，３４ｂから同じ方向（＋Ｙ方向）に延出していることができる。これにより、例えば、製造工程において、梁部３２の長さを揃えることが容易になり、第２電極３０を構成する各梁部３２間における固有振動数のばらつきを低減することができる。

【００７５】

ＭＥＭＳ振動子２００では、第２電極３０が、支持部３４ａ，３４ｂを複数有している。これにより、梁部３２を複数列に配列することができる。したがって、ＭＥＭＳ振動子の外形の形状を容易に変更することができ、例えば、ＭＥＭＳ振動子と駆動回路とを同一基板上に配置する場合に、設計の自由度が向上する。

【００７６】

なお、ＭＥＭＳ振動子２００の製造方法は、上述したＭＥＭＳ振動子１００の製造方法と同様であり、その説明を省略する。

【００７７】

３．２．　第２変形例

次に、本実施形態の第２変形例に係るＭＥＭＳ振動子について、図面を参照しながら説明する。図１１は、本実施形態の第２変形例に係るＭＥＭ振動子３００を模式的に示す平面図である。以下、ＭＥＭＳ振動子３００において、上述したＭＥＭＳ振動子１００，２００の構成部材と同様の機能を有する部材については同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【００７８】

上述したＭＥＭＳ振動子１００の例では、図１に示すように、第２電極３０を構成する梁部３２の全部が、支持部３４から同じ方向（＋Ｙ方向）に延出していた。

【００７９】

これに対して、ＭＥＭＳ振動子３００では、図１１に示すように、第２電極３０を構成する梁部３２の全部が、支持部から同じ方向に延出しておらず、第１支持部３４ａに支持されている梁部３２が＋Ｙ方向に延出し、第２支持部３４ｂに支持されている梁部３２が、－Ｙ方向に延出している。

【００８０】

第１支持部３４ａで支持されている梁部３２は、第１支持部３４ａから＋Ｙ方向に延出している。第２支持部３４ｂで支持されている梁部３２は、第２支持部３４ｂから－Ｙ方向に延出している。これにより、例えば、上述した図１０の例のように第１電極２０に２つの部分２０ａ，２０ｂを設けることなく、梁部３２を２列に配列することができる。

【００８１】

ＭＥＭＳ振動子３００は、例えば、以下の特徴を有する。

【００８２】

ＭＥＭＳ振動子３００によれば、上述したＭＥＭＳ振動子１００，２００と同様に、第２電極３０が、梁部３２を複数有することができる。これにより、梁部３２のねじれ等に

起因する不要な振動モードが発生することを抑制することができる。したがって、ＭＥＭＳ振動子３００によれば、所望の周波数特性が得ることができる。

【００８３】

ＭＥＭＳ振動子３００では、上述したＭＥＭＳ振動子２００と同様に、第２電極３０が、支持部３４ａ，３４ｂを複数有している。これにより、梁部３２を複数列に配列することができる。したがって、ＭＥＭＳ振動子の外形の形状を容易に変更することができ、例えば、ＭＥＭＳ振動子と駆動回路とを同一基板上に配置する場合に、設計の自由度が向上する。

【００８４】

なお、ＭＥＭＳ振動子３００の製造方法は、上述したＭＥＭＳ振動子１００の製造方法と同様であり、その説明を省略する。

【００８５】

４．　発振器

次に、本実施形態に係る発振器について、図面を参照しながら説明する。図１２は、本実施形態に係る発振器４００を示す回路図である。

【００８６】

発振器４００は、図１２に示すように、本発明に係るＭＥＭＳ振動子（例えばＭＥＭＳ振動子１００）と、反転増幅回路４１０と、を含んで構成されている。

【００８７】

ＭＥＭＳ振動子１００は、第１電極２０（第１配線４０）に電気的に接続された第１端子１００ａと第２電極３０（第２配線４２）に電気的に接続された第２端子１００ｂとを有している。ＭＥＭＳ振動子１００の第１端子１００ａは、反転増幅回路４１０の入力端子４１０ａと少なくとも交流的に接続する。ＭＥＭＳ振動子１００の第２端子１００ｂは、反転増幅回路４１０の出力端子４１０ｂと少なくとも交流的に接続する。

【００８８】

図示の例では、反転増幅回路４１０は、１つのインバーターから構成されているが、所望の発振条件が満たされるように、複数のインバーター（反転回路）や増幅回路を組み合わせて構成されていてもよい。

【００８９】

発振器４００は、反転増幅回路４１０に対する帰還抵抗を含んで構成されていてもよい。図１２に示す例では、反転増幅回路４１０の入力端子と出力端子とが抵抗４２０を介して接続されている。

【００９０】

発振器４００は、反転増幅回路４１０の入力端子４１０ａと基準電位（接地電位）との間に接続された第１キャパシター４３０と、反転増幅回路４１０の出力端子４１０ｂと基準電位（接地電位）との間に接続された第２キャパシター４３２と、を含んで構成されている。これにより、ＭＥＭＳ振動子１００とキャパシター４３０，４３２とで共振回路を構成する発振回路とすることができる。発振器４００は、この発振回路で得られた発振信号ｆを出力する。

【００９１】

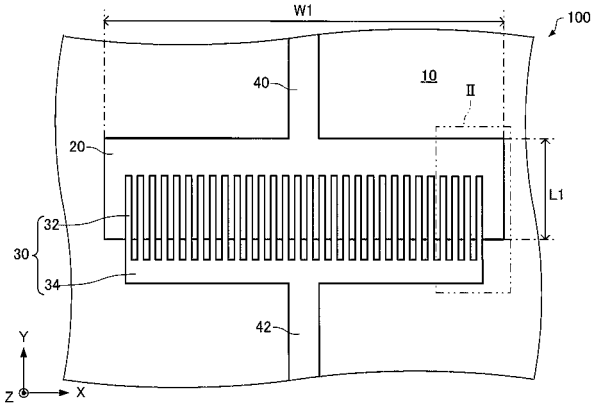
図１３は、本実施形態に係る発振器４００を模式的に示す平面図である。なお、図１３において、ＭＥＭＳ振動子１００および回路部４０１，４０２は、簡略化して図示している。

【００９２】

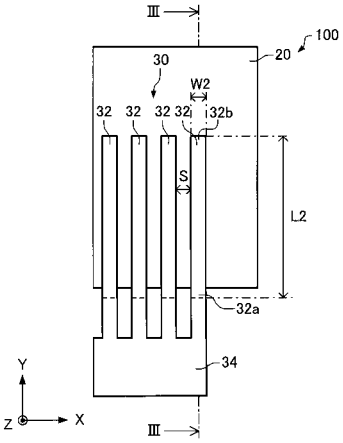
発振器４００を構成するトランジスターやキャパシター等の素子は、基板１０上の回路部４０１，４０２に形成されている。これにより、ＭＥＭＳ振動子１００と反増幅回路４１０をモノリシックに形成することができる。また、基板１０上には、発振器４００を、外部の装置（図示せず）と接続するための外部接続端子４０３が形成されている。回路部４０１，４０２は、ＭＥＭＳ振動子１００の第１電極２０および第２電極３０と電気的に接続されている。

【００９３】
図１４は、本実施形態に係る発振器４００の変形例を模式的に示す平面図である。
【００９４】
図１４に示す変形例では、発振器４００は、上述したＭＥＭＳ振動子２００を含んで構成されている。図１３に示すＭＥＭＳ振動子１００と、図１４に示すＭＥＭＳ振動子２００は、平面視において、外形が異なる。具体的には、平面視において、ＭＥＭＳ振動子２００の外形は、ＭＥＭＳ振動子１００の外形と比べて、より正方形に近い形状を有している。このように、本発明に係るＭＥＭＳ振動子は、第２電極３０が複数の梁部３２を有しているため、例えば、梁部３２を１列に並べたり（ＭＥＭＳ振動子１００の例）、複数列に配列したり（ＭＥＭＳ振動子２００，３００の例）することにより、平面視における外形（平面形状）を変えることができる。そのため、例えば、回路部４０１，４０２の大きさや形状に応じてＭＥＭＳ振動子の外形（平面形状）を容易に変更することができるため、設計の自由度が高い。
【００９５】
発振器４００を構成するトランジスター等の素子を基板１０上に形成する場合、発振器４００を構成するトランジスター等の素子を、上述したＭＥＭＳ振動子１００を形成する工程と同一の工程で形成してもよい。具体的には、被覆層４を形成する工程において（図７参照）、トランジスターのゲート絶縁層を形成してもよい。さらに、第２電極３０を形成する工程において（図８および図９参照）、トランジスターのゲート電極を形成してもよい。このように、ＭＥＭＳ振動子１００の製造工程と発振器４００を構成するトランジスター等の素子の製造工程を共通化することで、製造工程の簡素化を図ることができる。
【００９６】
発振器４００によれば、不要な振動モードが生じることを抑制できるＭＥＭＳ振動子１００を含む。そのため、良好な発振特性を有することができる。
【００９７】
発振器４００は、図１５に示すように、さらに、分周回路４４０を有していてもよい。分周回路４４０は、発振回路の出力信号Ｖ$_{out}$を分周し、発振信号ｆを出力する。これにより、発振器４００は、例えば、出力信号Ｖ$_{out}$の周波数よりも低い周波数の出力信号を得ることができる。
【００９８】
なお、上述した実施形態及び変形例は一例であって、これらに限定されるわけではない。例えば各実施形態及び各変形例は、複数を適宜組み合わせることが可能である。
【００９９】
本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。
【符号の説明】
【０１００】
２　第１半導体層、４　被覆層、６　第２半導体層、１０　基板、１２　支持基板、
１４　第１下地層、１６　第２下地層、２０　第１電極、２０ａ　第１部分、
２０ｂ　第２部分、２２　接続部、３０　第２電極、３２　梁部、３２ａ　基部、
３２ｂ　先端部、３４　支持部、３４ａ　第１支持部、３４ｂ　第２支持部、
３６　接続部、４０　第１配線、４２　第２配線、１００　ＭＥＭＳ振動子、
１００ａ　第１端子、１００ｂ　第２端子、２００，３００　ＭＥＭＳ振動子、
４００　発振器、４０１　回路部、４０２　回路部、４０３　外部接続端子、
４１０　反転増幅回路、４１０ａ　入力端子、４１０ｂ　出力端子、４２０　抵抗、
４３０　第１キャパシター、４３２　第２キャパシター、４４０　分周回路

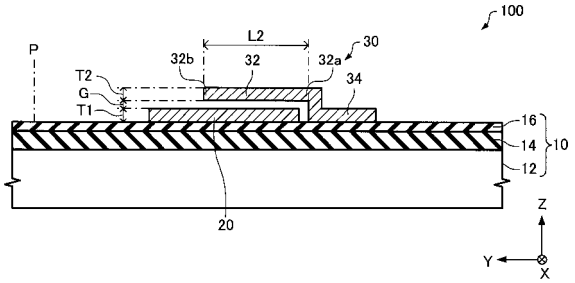
【図１】



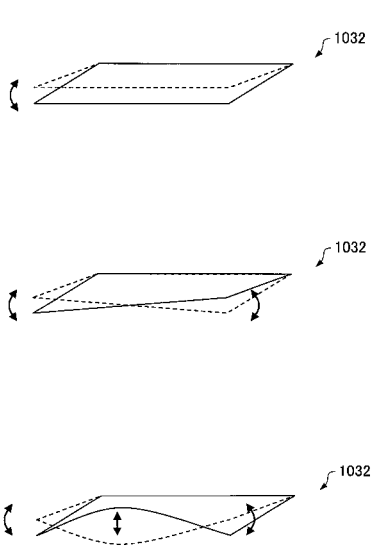
【図２】



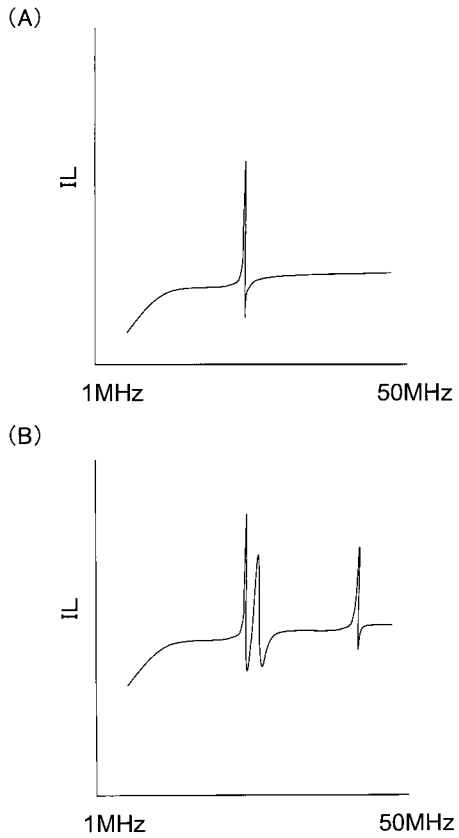
【図３】



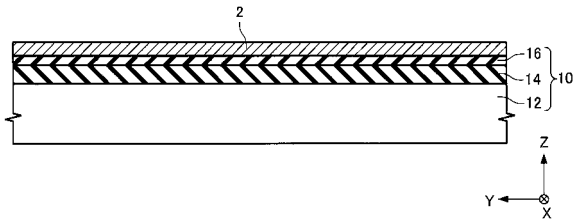
【図４】



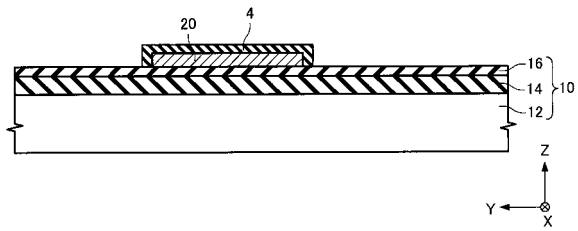
【図５】



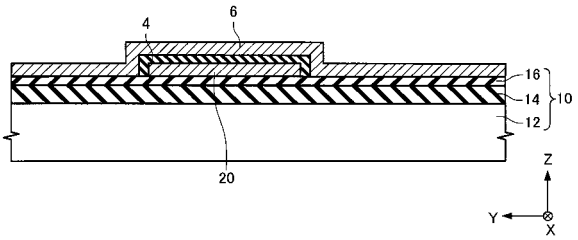
【図６】



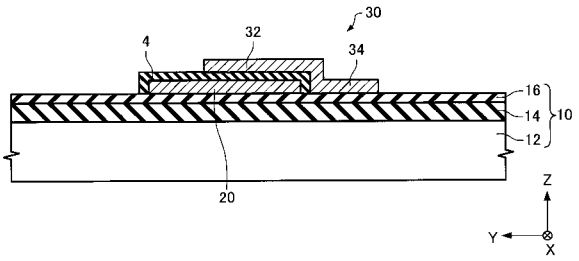
【図７】



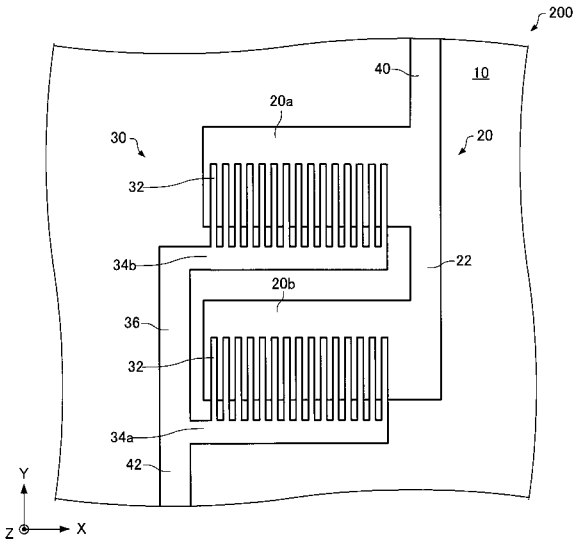
【図８】



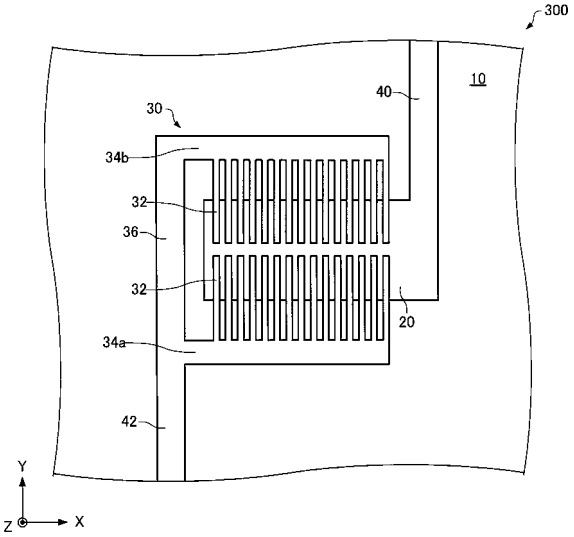
【図９】



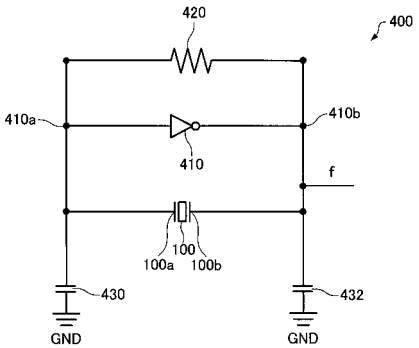
【図１０】



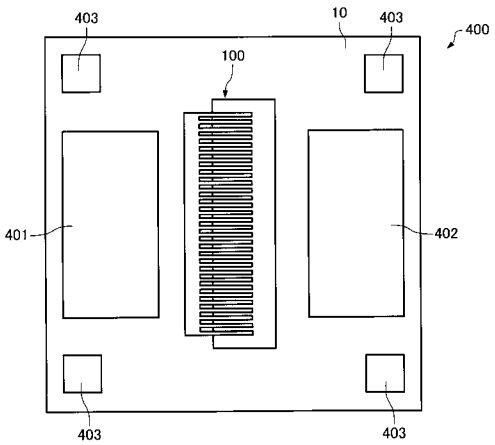
【図１１】



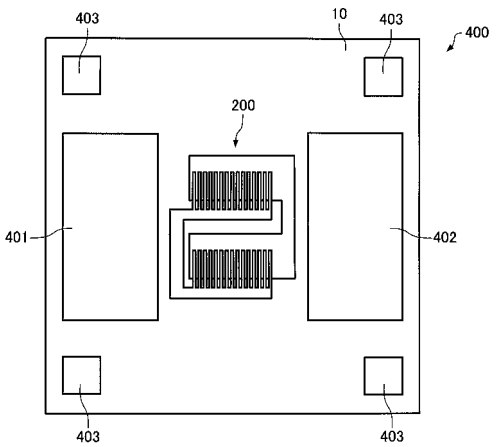
【図１２】



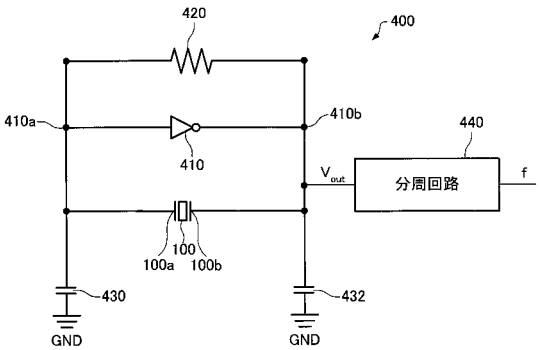
【図１３】



【図１４】



【図１５】



フロントページの続き

Ｆターム(参考) 5H680 AA18 BB01 BB10 CC01 DD39 DD45 DD83 FF25
5J079 AA01 AB03 AB06 BA43 FA01 FA14 FA21 GA09 HA03 HA11
HA22
5J108 AA01 AA07 BB08 CC04 CC08 CC10 CC11 DD09 EE03 EE04
EE07 EE13 FF02 FF11 JJ01 JJ02 JJ03 JJ04 KK01