

(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2008-182511

(P2008-182511A)

(43) 公開日 平成20年8月7日(2008.8.7)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
H03H	9/17	(2006.01)	H03H	9/17
H03H	3/04	(2006.01)	H03H	3/04
				F
				Z
				5 J 1 0 8

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-14668 (P2007-14668)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成19年1月25日 (2007. 1. 25)		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
		(72) 発明者	古畑 誠
			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)	5J108 AA04 BB07 BB08 CC11 EE04 HH01 JJ01

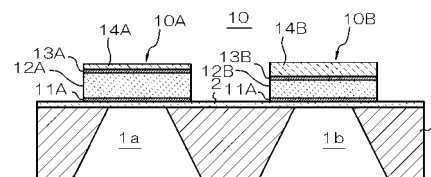
(54) 【発明の名称】 バルク音響振動子、その周波数温度特性の補償方法、及び、その製造方法

(57) 【要約】

【課題】周波数温度特性の異なる複数の積層構造を組み合わせることで、従来よりも安定した周波数特性を得ることのできるバルク音響振動子を実現する。

【解決手段】本発明のバルク音響振動子 10 は、圧電体膜 12 A、12 B、該圧電体膜を挟む一対の電極 11 A、11 B、13 A、13 B、及び、温度補償膜 14 A、14 B を含む積層構造を有するバルク音響振動子において、前記圧電体膜、前記一対の電極を備えると同時に、負の周波数温度特性を備えた第 1 構造部 10 A と、前記温度補償膜 14 B により正の周波数温度特性を備えた第 2 構造部 10 B とが形成され、前記第 1 構造部と前記第 2 構造部とが電気的に並列に結合されてなることを特徴とする。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

圧電体膜、該圧電体膜を挟む一对の電極、及び、温度補償膜を含む積層構造を有するバルク音響振動子において、

前記圧電体膜、前記一对の電極を備えると同時に、負の周波数温度特性を備えた第 1 構造部と、前記温度補償膜により正の周波数温度特性を備えた第 2 構造部とが形成され、

前記第 1 構造部と前記第 2 構造部とが電氣的に並列に結合されてなることを特徴とするバルク音響振動子。

【請求項 2】

前記温度補償膜は、前記第 1 構造部と前記第 2 構造部の双方に含まれていることを特徴とする請求項 1 に記載のバルク音響振動子。

【請求項 3】

前記温度補償膜は、前記第 1 構造部と前記第 2 構造部の少なくとも一方において前記一对の電極のうち上方に配置される前記電極上に配置されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のバルク音響振動子。

【請求項 4】

前記温度補償膜は、前記第 1 構造部と前記第 2 構造部の双方において前記一对の電極のうち上方に配置される前記電極上に配置されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のバルク音響振動子。

【請求項 5】

圧電体膜、該圧電体膜を挟む一对の電極、及び、温度補償膜を含む積層構造を有するバルク音響振動子の周波数温度特性の補償方法において、

前記圧電体膜、前記一对の電極を備えると同時に、負の周波数温度特性を備えた第 1 構造部と、前記温度補償膜により正の周波数温度特性を備えた第 2 構造部とを形成し、

前記第 1 構造部の前記負の周波数温度特性を前記第 2 構造部の前記正の周波数温度特性で補償することを特徴とするバルク音響振動子の周波数温度特性の補償方法。

【請求項 6】

少なくとも前記圧電体膜及び前記一对の電極を積層する第 1 工程と、該第 1 工程で積層された構造の特性を検出する第 2 工程と、前記特性に応じて前記第 1 構造部と前記第 2 構造部の少なくとも一方において前記一对の電極のうち上方に配置される前記電極上に前記温度補償膜を配置し、或いは、既に配置された前記温度補償膜の膜厚を調整する第 3 工程と、を具備することを特徴とする請求項 5 に記載のバルク音響振動子の周波数特性の補償方法。

【請求項 7】

圧電体膜、該圧電体膜を挟む一对の電極、及び、温度補償膜を含む積層構造を有するバルク音響振動子の製造方法において、

前記積層構造を形成する工程では、少なくとも前記圧電体膜及び前記一对の電極を含み、負の周波数温度特性を有する第 1 構造部と、前記圧電体膜及び前記一对の電極に加えて前記温度補償膜を含み、正の周波数温度特性を有する第 2 構造部との対応する各層同士をそれぞれ並行して形成し、さらに、前記第 1 構造部と前記第 2 構造部とを電氣的に並列に結合させることを特徴とするバルク音響振動子の製造方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明はバルク音響振動子、その周波数温度特性の補償方法、及び、その製造方法に係り、特に、バルク音響振動子の周波数温度特性を低減するための技術に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来から、F B A R (Film Bulk Acoustic Resonator) や S B A R (Stacked Film Bulk Acoustic Resonator) 等と呼ばれるバルク音響振動子 (B A R) が高周波デバイスとし

10

20

30

40

50

て提案され、製品化されている。このバルク音響振動子は、基板上に形成した開口部や空洞、或いは、多層膜積層構造の上に、下部電極、圧電体膜及び上部電極をそれぞれ順に成膜することで積層構造を形成し、当該積層構造の下部電極と上部電極の間に交流電圧を印加することで、圧電体膜の内部に縦波（バルク音響波）を発生させ、所定の共振特性を具備するように構成したものである。

【 0 0 0 3 】

バルク音響振動子では、他の圧電振動子と同様に、圧電体膜の膜厚及び音速が温度によって変動することから、温度が上昇すると圧電体の共振周波数が低下する負の周波数温度特性を示す。このような周波数の温度特性については、例えば、上記積層構造の上に温度補償膜を成膜し、この温度補償膜で上記圧電体の負の周波数温度特性を打ち消すことで、共振周波数の温度依存性を低減し、安定した共振周波数を得る方法が提案されている（例えば、以下の特許文献 1 参照）。

10

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 1 7 6 3 3 4 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかしながら、前述の特許文献 1 では、圧電体によりもたらされる負の周波数温度特性を打ち消すために、所定の周波数温度特性をもたす温度補償膜の膜厚を高精度に制御する必要があり、温度特性の十分な安定化やばらつきの解消を行うことがきわめて難しいという問題点があった。すなわち、温度補償膜の膜厚を増すと共振周波数が低下するため、共振周波数を所望の値に設定しつつ、周波数温度特性を改善しなければならないことから調整が煩雑になるとともに、バルク音響振動子において要求される十分に高い共振周波数を確保するには圧電体や温度補償膜の膜厚も薄くしなければならないため、温度補償に要する膜厚の制御精度がますます厳しくなり、その結果、共振周波数の温度に対する十分な安定性が得られないという問題点がある。

20

【 0 0 0 5 】

そこで、本発明は、周波数温度特性の異なる複数の積層構造を組み合わせることにより、従来よりも安定した周波数特性を得ることのできるバルク音響振動子を実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

30

【 0 0 0 6 】

斯かる実情に鑑み、本発明のバルク音響振動子は、圧電体膜、該圧電体膜を挟む一對の電極、及び、温度補償膜を含む積層構造を有するバルク音響振動子において、前記圧電体膜、前記一對の電極を備えると同時に、負の周波数温度特性を備えた第 1 構造部と、前記温度補償膜により正の周波数温度特性を備えた第 2 構造部とが形成され、前記第 1 構造部と前記第 2 構造部とが電氣的に並列に結合されてなることを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

この発明によれば、負の周波数温度特性を備えた第 1 構造部と正の周波数温度特性を備えた第 2 構造部とが電氣的に並列に結合されてなることにより、第 1 構造部の負の周波数温度特性が第 2 構造部の正の周波数温度特性によって補償されるため、バルク音響振動子全体の周波数温度特性を低減し、共振周波数を安定化させることができる。また、本発明では第 1 構造部と第 2 構造部とで温度補償膜の有無や膜厚が異なるため、従来のように積層構造内に温度補償膜を一様に形成する場合の温度補償膜の膜厚に比べて、第 2 構造部の温度補償膜の膜厚がより大きくなるため、温度補償膜の膜厚の制御精度が従来と同様であっても周波数温度特性の補償精度を高めることが可能になる。

40

【 0 0 0 8 】

本発明において、前記温度補償膜は、前記第 1 構造部と前記第 2 構造部の双方に含まれていることが好ましい。温度補償膜が第 1 構造部と第 2 構造部の双方に含まれていることにより、第 1 構造部の負の周波数温度特性と、これを補償するための第 2 構造部の正の周波数温度特性のいずれの周波数温度係数の絶対値をも小さくすることができるため、常用

50

温度域における両構造部間の周波数差が小さくなることから効率的な共振状態を獲得できるとともに、各構造部の温度依存性がそれぞれ低減されるため、補償量の過不足を抑制しやすくなることから、周波数温度特性の低減をさらに図ることができる。

【0009】

本発明において、前記温度補償膜は、前記第1構造部と前記第2構造部の少なくとも一方において前記一对の電極のうち上方に配置される前記電極上に配置されていることが好ましい。温度補償膜が第1構造部と第2構造部の少なくとも一方において上方に配置される電極上に配置されることで、積層構造を完成させた後に上層の当該温度補償膜の膜厚を補正すること、特に上層の温度補償膜の膜厚をエッチング等で削減することが可能になるため、周波数温度特性をより低減させ、共振周波数の安定性をより高めることができる。また、温度補償膜の膜厚の補正により共振周波数を調整し、その精度を向上させることも可能である。

10

【0010】

本発明において、前記温度補償膜は、前記第1構造部と前記第2構造部の双方において前記一对の電極のうち上方にある前記電極上に配置されていることが好ましい。これによれば、第1構造部と第2構造部のそれぞれの上方の電極上に配置される温度補償膜のいずれかの膜厚を補正することで、同じ補正方法であっても、第1構造部と第2構造部のいずれかを選択して補正対象とすることにより、周波数温度特性の正負いずれの方向への修正をも行うことが可能になるため、周波数温度特性の修正が容易になる。また、温度補償膜の膜厚を削減して共振周波数を上昇させつつ、周波数温度特性を正負いずれの側へも修正可能になり、温度補償膜の膜厚を増加させて共振周波数を低下させつつ、周波数温度特性を正負いずれの側へも修正可能にもなる。したがって、共振周波数との関係で補正方法が制約される場合でも所望の態様で周波数温度特性の修正ができる。

20

【0011】

次に、本発明のバルク音響振動子の周波数温度特性の補償方法は、圧電体膜、該圧電体膜を挟む一对の電極、及び、温度補償膜を含む積層構造を有するバルク音響振動子の周波数温度特性の補償方法において、前記圧電体膜、前記一对の電極を備えると同時に、負の周波数温度特性を備えた第1構造部と、前記温度補償膜により正の周波数温度特性を備えた第2構造部とを形成し、前記第1構造部の前記負の周波数温度特性を前記第2構造部の前記正の周波数温度特性で補償することを特徴とする。

30

【0012】

この発明によれば、第1構造部の周波数温度特性を第2構造部の周波数温度特性によって補償することにより、バルク音響振動子全体の周波数温度特性を低減し、共振周波数を安定化させることができる。また、本発明では第1構造部と第2構造部とで温度補償膜の有無や膜厚が異なるため、従来のように積層構造内に温度補償膜を一様に形成する場合における温度補償膜の膜厚に比べて、第2構造部の温度補償膜の膜厚がより大きくなることから、温度補償膜の膜厚の制御精度が従来と同様であっても周波数温度特性の補償精度を高めることができる。

【0013】

本発明において、少なくとも前記圧電体膜及び前記一对の電極を積層する第1工程と、該第1工程で積層された構造の特性を検出する第2工程と、前記特性に応じて前記第1構造部と前記第2構造部の少なくとも一方において前記一对の電極のうち上方に配置される前記電極上に前記温度補償膜を配置し、或いは、既に配置された前記温度補償膜の膜厚を調整する第3工程と、を具備することが好ましい。このようにすると、周波数温度特性をさらに低減することが可能になると共に、共振周波数の調整をより精密に行うことも可能になる。

40

【0014】

また、本発明のバルク音響振動子の製造方法は、圧電体膜、該圧電体膜を挟む一对の電極、及び、温度補償膜を含む積層構造を有するバルク音響振動子の製造方法において、前記積層構造の形成工程では、少なくとも前記圧電体膜及び前記一对の電極を含み、負の周

50

波数温度特性を有する第1構造部と、前記圧電体膜及び前記一对の電極に加えて前記温度補償膜を含み、正の周波数温度特性を有する第2構造部との対応する各層同士をそれぞれ並行して形成し、前記第1構造部と前記第2構造部とを電氣的に並列に結合させることを特徴とする。

【0015】

第1構造部と第2構造部の対応する各層同士、すなわち、各構造部における下部電極同士、圧電体層同士、上部電極同士、また、両構造部の対応する位置にそれぞれ温度補償膜が形成される場合には当該温度補償膜同士、をそれぞれ並行して形成することにより、工程数を低減することができ、製造コストを低減できるため、本発明の上記バルク音響振動子の製造に適している。ここで、対応する各層同士が同じ膜厚でよい場合には各層同士を単一工程で形成できるから、製造工程数をさらに低減できる。また、対応する各層同士の膜厚が異なる場合には、共通する部分を一工程で行うことができるとともに、膜厚の差分に相当する部分を当該一工程の前後に設けられた追加工程で成膜するか、或いは、上記一工程後にエッチング処理で除去することにより、上記差分の膜厚精度を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

[第1実施形態]

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は第1実施形態のバルク音響振動子10の構造を模式的に示す概略断面図、図2は同バルク音響振動子10の平面図である。

【0017】

図1に示すように、本実施形態のバルク音響振動子10は、シリコン基板等の半導体などで構成される基板1と、この基板1の開口部1a, 1b上に形成される積層構造である第1構造部10A及び第2構造部10Bとで構成される。基板1上には酸化シリコンや窒化シリコン等の絶縁膜2が形成され、この絶縁膜2は上記開口部1a, 1b上にも形成されている。開口部1a, 1bは基板1の裏面側からエッチング処理を施すこと等により形成され、このとき、絶縁膜2は当該エッチング工程におけるエッチングストップ層として機能するようになっている。

【0018】

絶縁膜2上に形成された積層構造である第1構造部10A及び第2構造部10Bは、それぞれ、Pt/Tiの積層構造などの金属等の導電体よりなる下部電極11A, 11Bと、AlN、ZnOなどの圧電体よりなる圧電体膜12A, 12Bと、Pt/Tiなどの金属等の導電体よりなる上部電極13A, 13Bと、非圧電体よりなる温度補償膜14A, 14Bとが順次に積層された構造を有する。当該積層構造においては、下部電極11A, 11Bと上部電極13A, 13Bとの間に交流電圧を印加することで、第1構造部10A及び第2構造部10Bの内部に積層方向のバルク音響波が生成され、このバルク音響波の共振特性によって所定の共振周波数を備えた振動子が構成されるようになっている。

【0019】

上記温度補償膜14A, 14Bは、上部電極13A, 13B上に形成されたSiO₂、TeO₅、ZrO_x (x = 1 ~ 2)などの誘電体からなる薄膜で構成される。ただし、当該温度補償膜をFe-Ni合金などの金属で構成することも可能である。これらの温度補償膜14A, 14Bは、バルク音響振動子10の温度補償、つまり周波数温度特性の低減のためのものであり、第1構造部10A及び第2構造部10Bのそれぞれの周波数温度特性を調整するために設けられている。すなわち、圧電体膜12A, 12Bの特性に起因して、温度補償膜14A, 14Bを含まない積層構造は一般的に負の周波数温度特性、つまり、温度が上昇すると共振周波数が低下する特性を備えたものとなるが、温度補償膜14A, 14Bを形成することで、第1構造部10Aの負の周波数温度特性の絶対値を低減し、また、第2構造部10Bを正の周波数温度特性を備えたものとすることができる。

【0020】

図 2 に示すように、基板 1 上（絶縁膜 2 上）には、上記下部電極 1 1 A と 1 1 B とが導通パターン 1 1 C にて相互に導電接続され、この導通パターン 1 1 C には端子 1 1 D が設けられている。また、上記上部電極 1 3 A と 1 3 B とが導通パターン 1 3 C にて相互に導電接続され、この導通パターン 1 3 C には端子 1 3 D が設けられている。これらの導通パターン 1 1 C、1 3 C によって第 1 構造部 1 0 A と第 2 構造部 1 0 B とが相互に電氣的に並列に結合された状態とされ、その結果、単一のバルク音響振動子 1 0 が構成される。

【0021】

本実施形態では、第 1 構造部 1 0 A が負の周波数温度特性を有し、第 2 構造部 1 0 B が正の周波数温度特性を有するものとされているため、第 1 構造部 1 0 A の周波数温度特性が第 2 構造部 1 0 B の周波数温度特性によって補償され、バルク音響振動子 1 0 全体としては共振周波数の温度依存性が充分に低くなるように構成されている。例えば、両者の周波数温度特性が相互に完全に打ち消し合う関係に設定されれば、バルク音響振動子 1 0 の周波数温度係数は 0 になり、温度変化に対する共振周波数の高い安定性が得られる。

10

【0022】

また、第 1 構造部 1 0 A と第 2 構造部 1 0 B とは常用温度域で相互に近似した共振周波数を有するように構成されている。共振周波数は、各構造部の積層構造中の各層の弾性特性、質量、膜厚等によって定まる。例えば、音響弾性波の伝播材質中の音速が早くなるほど共振周波数は高くなり、膜厚が大きくなるほど共振周波数は低下する。この場合、バルク音響振動子 1 0 は、 -40 以上 80 以下、或いは、 -20 度以上 60 以下といった常用温度域内に共振周波数の大小が逆転する温度が存在するように構成されていることが好ましく、特に、その常用温度域の中心温度帯（ $20 \sim 30$ の範囲内、例えば 25 ）において第 1 構造部 1 0 A と第 2 構造部 1 0 B の共振周波数が同一となるように設定されることが望ましい。

20

【0023】

なお、上記実施形態では第 1 構造部 1 0 A にも温度補償膜 1 4 A を形成しているが、第 1 構造部 1 0 A には温度補償膜 1 4 A を形成せず、圧電体膜 1 2 A、下部電極 1 1 A 及び上部電極 1 3 A のみからなる積層構造としても構わない。ただし、この場合には第 1 構造部 1 0 A の負の周波数温度係数の絶対値が大きくなるので、その分、第 2 構造部 1 0 B の温度補償膜 1 4 B の膜厚を増大させてその正の周波数温度係数を大きくする必要がある。

【0024】

また、上記実施形態では、基板 1 に開口部 1 a、1 b を形成しているが、基板 1 の表面に凹部を形成し、この凹部上に上記積層構造を形成することで、積層構造下に空洞が設けられるように構成してもよい。このような構造は、凹部内にレジスト、 SiO_2 膜または PSG 膜等の犠牲層を形成しておき、当該犠牲層上に上記の積層構造を形成し、その後、犠牲層をウエットエッチング等によって除去することで形成できる。また、基板 1 の表面上に上記積層構造内に生ずる共振周波数に対応した音響多層膜を形成し、この音響多層膜上に積層構造を形成することによってバルク音響弾性波が音響多層膜で反射されるように構成しても構わない。さらに、上記実施形態では第 1 構造部 1 0 A と第 2 構造部 1 0 B の下部電極同士及び上部電極同士を直接導電接続しているが、両者間にインダクタンス L やキャパシタンス C、或いは、これら双方を介在させて電氣的に接続してもよい。

30

40

【0025】

さらに、本実施形態では、従来のように積層構造全体にわたり温度補償膜を形成する場合に比べて、補償精度を高めることが可能である。この点について図 1 5 及び図 1 6 を参照して以下に説明する。図 1 5 は従来の温度補償無しのバルク音響振動子について、温度 25 における共振周波数 f_0 に対する実際の共振周波数 f の比率で表される周波数比 f/f_0 の温度依存性を模式的に示すグラフ、図 1 3 は本実施形態の第 1 構造部 1 0 A 及び第 2 構造部 1 0 B のそれぞれの周波数比 f/f_0 の温度依存性を模式的に示すグラフである。

【0026】

従来のバルク音響振動子では、図 1 5 に示すように、温度が高くなると共振周波数が単

50

調に低下する負の周波数温度特性を示すが、これを補償するには、温度補償膜の膜厚を調整して周波数温度特性を示す図示のグラフがほぼ水平になるようにする必要がある。このようにするために必要とされる温度補償膜の膜厚は、温度補償膜の温度特性の強弱に依存するので、温度補償膜の温度特性が強ければ薄くて足り、弱ければ厚く形成する必要がある。いずれの場合でも周波数温度特性を無くするために必要な要補償量は、温度補償膜の膜厚を制御することで達成されるため、温度補償膜の膜厚の制御精度によって周波数温度特性の補償精度、或いは、特性のばらつきが決定される。

【0027】

一方、図16に示すように、本実施形態の場合には、第1構造部10Aが負の周波数温度特性（図示実線）を有し、第2構造部10Bが正の周波数温度特性（図示点線）を有するので、両構造部の周波数温度特性を図示例P，Qのように相互に打ち消し合うように設定すれば、バルク音響振動子10全体の周波数温度特性が低減され、共振周波数を安定させることができる。

10

【0028】

本実施形態の場合には、第1構造部10Aと第2構造部10Bとで温度補償膜の有無または温度補償膜の膜厚に相違がある。従って、本実施形態の場合は、従来のように振動子全体にわたり一様に形成された温度補償膜の膜厚を制御する場合よりも、第2構造部10Aの温度補償膜の膜厚が大きくなるとともに、当該膜厚によるバルク音響振動子10全体の周波数温度特性への影響が小さくなる。その結果、温度補償膜の膜厚の制御精度が従来と同様であっても、全体の周波数温度特性をより高精度に設定することが可能になる。

20

【0029】

例えば、従来の温度補償膜の膜厚の制御精度が10nmであり、この温度補償膜の膜厚差10nmに対応する周波数温度係数の変化量が5ppm/ であるとした場合、本実施形態では、温度補償膜の膜厚の制御精度が上記と同じ10nmであっても、一方の構造部の温度補償膜の膜厚差10nmに対応する周波数温度特性の変化量を例えば1～2ppm/ 程度にすることができるため、周波数温度特性を従来よりも高精度に低減することができる。

【0030】

また、図示例Pのように第1構造部10Aと第2構造部10Bの周波数差が大きくなると効率的な共振状態を得ることができなくなる虞があるが、第1構造部10Aと第2構造部10Bの双方にそれぞれ温度補償膜14A、14Bを形成することで、図示例Qのように第1構造部10Aの負の周波数温度特性を緩和するとともに、第2構造部10Bの正の周波数温度特性をこれに合わせることで、より広い温度範囲において効率的な共振状態を実現できる。

30

【0031】

さらに、本実施形態では、第1構造部10Aと第2構造部10Bの少なくとも一方において最上層、すなわち、上部電極13A、13B上に温度補償膜14A、14Bを形成しているため、第1構造部10A及び第2構造部10Bを積層させた後に、例えば、エッチングや追加の成膜処理等によって温度補償膜14A、14Bの膜厚を調整することが可能になる。特に、温度補償膜14A、14Bのエッチングによる膜厚削減処理は温度補償膜14A、14Bを上部電極13A、13B上に形成する場合でなければ不可能である。

40

【0032】

また、図1において第1構造部10A及び第2構造部10Bの双方の温度補償膜14A、14Bを共に上部電極13A、13B上に形成していることで、同種の補正方法、例えば、エッチングによる膜厚削減処理のみを行う場合でも、第1構造部10Aと第2構造部10Bのいずれに当該処理を施すかを選択することにより、周波数温度特性を正側と負側のいずれにも調整することが可能になるというメリットがある。

【0033】

本実施形態では第2構造部10Bの温度補償膜14Bの膜厚が第1構造部10Aの温度補償膜14Aの膜厚よりも大きいため、下部電極11A、11B、圧電体膜12A、12

50

B及び上部電極13A, 13Bの積層構造の各層の膜厚を同一に設定しても、第2構造部10Bの共振周波数が第1構造部10Aの共振周波数よりも低下する。したがって、第1構造部10Aの下部電極11A、圧電体膜12A及び上部電極13Aの積層構造の膜厚合計に対して、第2構造部10Bの下部電極11B、圧電体膜12B及び上部電極13Bの積層構造の膜厚合計を薄くするなどの方法により、第1構造部10Aと第2構造部10Bの常用温度域における共振周波数のずれを低減している。

【0034】

また、本実施形態では、第1構造部10Aの温度補償膜10Aよりも第2構造部10Bの温度補償膜14Bの方が厚いので、温度補償膜の膜厚差によって第2構造部10Bの信号強度が第1構造部10Aより低下する、すなわち、第2構造部10Bの共振アドミタンス値が第1構造部10Aのそれよりも低くなる。このため、図2に示すように、第2構造部10Bの面積を第1構造部10Aの面積より大きくし、両構造部の共振アドミタンス値（或いはその逆数であるインピーダンス値）の差を低減させている。このようにすることで、両構造部の結合バランスが改善され、補償精度が向上し、より安定した周波数温度特性を得ることができる。

10

【0035】

本実施形態のバルク音響振動子10を製造する場合には、第1構造部10Aと第2構造部10Bの対応する各層同士をそれぞれ並行して積層していくことが好ましい。すなわち、絶縁膜2上において、下部電極11Aと11Bを同一工程で形成し、圧電体膜12Aと12Bを同一工程で形成し、上部電極13Aと13Bを同一工程で形成している。さらに、両構造部に共に温度補償膜を形成する場合には温度補償膜14Aと14Bを同一工程で形成することが好ましい。なお、同一工程で同時に形成される対応する各層間に膜厚の相違がある場合には、当該工程の少なくとも一部の段階を共通に行えばよい。これらの各層の成膜処理は、例えば、蒸着法、スパッタリング法、CVD法等により行うことができる。なお、以上説明した上記の各点の構成については以下の各実施形態でも同様に採用できる。

20

【0036】

[第2実施形態]

次に、図3乃至図6を参照して第2実施形態のバルク音響振動子10の構造について説明する。この第2実施形態では、上記第1実施形態の第1構造部10Aと第2構造部10Bを同様に有しているが、これらの構造部の少なくとも一方において温度補償膜14A, 14Bのいずれかが上部電極10A, 10Bの下に配置されている点で第1実施形態とは異なる。

30

【0037】

図3に示す例では、第1構造部10Aと第2構造部10Bの双方に温度補償膜14A, 14Bを設けるとともに、これらの温度補償膜14A, 14Bをいずれも上部電極13A, 13Bの下、具体的には圧電体膜12A, 12Bと上部電極13A, 13Bの間に配置している。ここで、圧電体膜12A, 12Bの膜質の向上を図るためには、図示例の構造が好ましいが、これとは異なり、温度補償膜14A, 14Bを下部電極11A, 11Bと圧電体膜12A, 12Bの間に配置してもよい。いずれの場合でも、温度補償膜14A, 14Bを一对の電極11A, 11Bと13A, 13Bとの間に配置することにより、温度補償膜14A, 14Bの膜厚を薄くしても十分な温度補償を行うことができるため、積層構造全体を薄く形成することができる。なお、この点については他の例や他の実施形態でも同様である。また、この例でも、第1実施形態で述べたのと同様に、第1構造部10Aに温度補償膜を全く形成しないようにしてもよい。

40

【0038】

図4に示す例では、第1構造部10Aの温度補償膜14Aを上部電極13A上に形成するとともに、第2構造部10Bの温度補償膜14Bを上部電極13B下に配置している。このようにすると、後に説明するように、周波数温度特性を低減しつつ、第1構造部10Aの温度補償膜14Aの膜厚と、第2構造部10Bの温度補償膜14Bの膜厚の差を低減

50

できる。この膜厚の差の低減は、共振周波数の整合性を確保するために好適であり、共振周波数を合わせるために、例えば第1構造部10Aの圧電体膜12Aと、第2構造部10Bの圧電体膜12Bとの膜厚の差を大きくしなくても共振周波数を整合させることができる。

【0039】

図5に示す例では、第1構造部10Aの温度補償膜14Aを上部電極13Aの下に配置し、第2構造部10Bの温度補償膜14Bを上部電極13Aの上に配置している。このようにすると、温度補償膜14Bの膜厚を大きくすることができるため、温度補償膜14Bの膜厚を調整することで、周波数温度特性を高精度に補償できる。

【0040】

図6に示す例では、第1構造部10Aに上部電極13A上に配置された温度補償膜14Aを設ける一方、第2構造部10Bに上部電極13B下に配置された温度補償膜14B1と、上部電極13B上に配置された温度補償膜14B2とを設けている。このようにすると、第2構造部10B全体の膜厚を低減できるとともに、第2構造部10の最上層に温度補償膜14B2を配置できるため、当該温度補償膜14B2に対して膜厚の後調整を行うことが可能になる。なお、この例でも第1構造部10Aの温度補償膜14Aを形成しないようにしてもよく、また、第1構造部10Aにおいて、上記温度補償膜14Aの代わりに、或いは、上記温度補償膜14Aとともに、上部電極13A下に別の温度補償膜を配置してもよい。

【0041】

本実施形態では、第1構造部10Aと第2構造部10Bの少なくとも一方において、温度補償膜が下部電極と上部電極の間に配置されていることにより、温度補償膜の周波数温度特性への影響が大きくなるとともに、その結果、温度補償膜の膜厚が薄くても周波数温度特性を大きく変更させることが可能になる。

【0042】

[第3実施形態]

次に、図7を参照して本発明に係る第3実施形態の構造について説明する。この実施形態では、上記の第1構造部と第2構造部を一体化された積層構造中に設けた点で、上記第1実施形態及び第2実施形態とは異なる。本実施形態のバルク音響振動子20では、基板1の開口部1aの上方において絶縁膜2上に下部電極21、圧電体膜22及び上部電極23が順次に積層され、また、上部電極23上に温度補償膜24が形成されている。

【0043】

本実施形態では、相互に異なる積層構造を有する第1構造部20A及び第2構造部20Bが設けられ、上記各層のうち、少なくとも下部電極21、圧電体膜22及び上部電極23は、第1構造部20Aと第2構造部20Bの双方にわたりそれぞれ一体化された層として構成されている。

【0044】

本実施形態において、温度補償膜24は、第1構造部20Aと第2構造部20Bとで異なる膜厚を有する。具体的には、図7に示すように、第1構造部20Aにおいて温度補償膜24が形成されておらず、第2構造部20Bにおいて所定の膜厚を有する温度補償膜24が形成されている。ただし、先の各実施形態と同様に、第1構造部20Aにおいて薄い温度補償膜を形成し、第2構造部20Bにおいて第1構造部20Aよりも厚い温度補償膜を形成するようにしてもよい。

【0045】

本実施形態では、常用温度域において第1構造部20Aと第2構造部20Bの共振周波数が一致するように、圧電体膜22の膜厚を、第1構造部20Aにある部分22Aよりも第2構造部20Bにある部分22Bの方が薄くなるように構成している。これは、上記のように温度補償膜24が第2構造部20Bにのみ形成されていたり、或いは、第1構造部20Aよりも厚く形成されていたりすることにより、圧電体膜22を両構造部にわたり同じ膜厚を有するものとした場合、第2構造部20Bの共振周波数は第1構造部20Aより

10

20

30

40

50

低くなるからである。本実施形態では、圧電体膜 22 の第 2 構造部 20 B にある部分 22 B を薄く形成することで、第 2 構造部 20 B の共振周波数を上昇させている。

【0046】

本実施形態においても、上記の各実施形態と同様に、第 1 構造部 20 A において負の周波数温度特性を有し、第 2 構造部 20 B において正の周波数温度特性を有する。そして、第 1 構造部 20 A の特性が第 2 構造部 20 B の特性によって補償されることで、バルク音響振動子 20 の周波数温度特性が低減され、共振周波数の安定化を図ることができる。

【0047】

本実施形態において、温度補償膜 24 を第 1 構造部 20 A と第 2 構造部 20 B の双方において連続的に形成する場合には、レジスト等によるマスクを形成することで、温度補償膜 24 のうちいずれか一方の構造部に形成される部分のみ膜厚の調整を行う（成膜後にエッチング等による膜厚削減処理を行ったり、或いは、工程前後に追加の成膜処理を行ったりする）ことができる。この方法は、圧電体膜 22 に互いに膜厚の異なる部分 22 A、22 B を形成する場合にも同様に用いることができる。なお、その他の効果については基本的に上記各実施形態と同様であるので、それらの説明については省略する。

【0048】

[第 4 実施形態]

次に、図 8 を参照して、本発明に係る第 4 実施形態のバルク音響振動子 20 について説明する。この実施形態は、上記第 3 実施形態と同様に第 1 構造部 20 A と第 2 構造部 20 B を一体に構成した点に特徴を有するものであって、第 3 実施形態の構造とは温度補償膜 24 の形成位置が異なるだけであるため、第 3 実施形態と対応する部分には同一符号を付し、同様の点については説明を省略する。

【0049】

本実施形態では、圧電体膜 22 と上部電極 23 との間に温度補償膜 24 が形成されている点で第 3 実施形態とは異なるが、この相違点は第 2 実施形態で述べたところと基本的に同様であるので、説明を省略する。この温度補償膜 24 については第 3 実施形態で説明したのと同様に第 1 構造部 20 A と第 2 構造部 20 B とで温度補償膜の有無や膜厚が異なるように構成される。

【0050】

[実施例の特性]

次に、図 9 乃至図 14 を参照して、上記各実施形態に関連するバルク音響振動子の積層構造の特性について説明する。以下に示す特性は、基板 1 として厚みが 200 ~ 300 μ m 程度のシリコン単結晶基板を用い、下部電極として膜厚 30 nm の Ti 層の上に膜厚 150 nm の Pt 層を形成したものをを用い、圧電体膜として膜厚 700 nm の AlN 層を形成したものをを用い、さらに、上部電極として膜厚 30 nm の Ti 層の上に膜厚 150 nm の Pt 層を形成したものをを用い、温度補償膜として SiO₂（酸化シリコン）層を形成した例に対するものである。

【0051】

図 9 は、バルク音響振動子の周波数温度係数 f/f_0 [ppm/°C]（ f は 1 当たりの共振周波数の変化量）の温度補償膜の膜厚依存性を示すグラフである。ここで、図示破線は図 2 に示すように温度補償膜を上部電極下に形成した場合の特性、図示一点鎖線は図 1 に示すように温度補償膜を上部電極上に形成した場合の特性を示す。図 9 に示すように、温度補償膜がない場合には周波数温度係数が -40 [ppm/°C] 程度であるが、温度補償膜の膜厚を増大させるに従って周波数温度係数が単調に増加しているのがわかる。

【0052】

また、温度補償膜を上部電極下に形成した場合には、温度補償膜の膜厚が x（40 ~ 50 nm 程度）で周波数温度係数がほぼ 0 となり、温度補償膜の膜厚に対する周波数温度係数の依存性がきわめて大きい、温度補償膜を上部電極上に形成した場合には、温度補償膜の膜厚が y（540 ~ 600 nm 程度）で周波数温度係数がほぼ 0 となり、温度補償膜

10

20

30

40

50

の膜厚に対する周波数温度係数の依存性が緩やかであることがわかる。

【0053】

したがって、上記の特性により、従来の単一構造で周波数温度特性を補償しようとするれば、例えば温度補償膜を上部電極下に形成する場合には温度補償膜の膜厚を図示x(40~50nm程度)、温度補償膜を上部電極上に形成する場合には温度補償膜の膜厚を図示y(540~600nm程度)とすればよい。ここで、温度補償膜を上部電極下に形成する場合には、温度補償膜の膜厚が薄くても足りるため製造効率は高いが、温度補償膜の膜厚に対する周波数温度係数の依存性が強いいため、10nm程度の成膜精度でも周波数温度特性に或る程度のばらつきが生ずる。これに対して、温度補償膜を上部電極上に形成する場合には、温度補償膜の膜厚に対する周波数温度係数の依存性が弱いいため、周波数温度特性を低減し、共振周波数を安定させることは比較的容易であるが、温度補償膜を厚く形成する必要があることから製造効率が悪化する。また、温度補償膜が厚くなることにより共振周波数が低下する一方、共振周波数の低下を回避するために圧電体膜を薄く形成すると振動子強度の低下や膜質の悪化による電気機械結合係数の低下などが生じるなど、高周波化が難しくなるという問題点がある。

10

【0054】

一方、本実施形態では、負の周波数温度特性を備えた第1構造部と正の周波数温度特性を備えた第2構造部とで互いに周波数温度特性を補償し合い、バルク音響振動子全体の周波数温度特性を低減しているため、第1構造部と第2構造部の温度補償膜の位置及び膜厚によって種々の方法でバルク音響振動子全体の周波数温度特性を低減することができる。具体的には、第1構造部に温度補償膜を形成せず、第2構造部のみに温度補償膜を形成する場合には、バルク音響振動子全体に温度補償膜を形成する従来構造に比べて、温度補償に必要な第2構造部の温度補償膜の膜厚が相対的に増大するので、当該温度補償膜の膜厚の制御精度が同程度であっても、従来構造よりも高精度に周波数温度特性を設定することが可能になる。

20

【0055】

また、第1構造部と第2構造部の双方に温度補償膜を形成する場合でも、第2構造部に正の周波数温度特性を設ける必要があることには変わりがないために第2構造部の温度補償膜の膜厚は従来よりも大きくなるから、上記の点は同様に妥当する。また、この場合には、第1構造部の周波数温度特性も緩和されるとともに、この緩和された第1構造部の周波数温度特性に合わせて第2構造部の周波数温度特性を設定すればよいので、周波数温度特性の後調整が容易になるという利点がある。例えば、図10に示すように、上部電極下に膜厚10nmの温度補償膜を形成すると負の周波数温度特性が得られ、上記電極下に膜厚100nmの温度補償膜を形成すると正の周波数温度特性が得られるが、いずれの周波数温度特性も、温度補償膜のないバルク音響振動子の周波数温度特性よりも緩和された特性を有している。

30

【0056】

さらに、本実施形態では、温度補償膜の形成態様に関する選択肢が増大し、様々な組合せで好適な振動子特性を狙うことが可能になる。すなわち、第1構造部に温度補償膜を形成しない場合には、図9に示すように、第2構造部の温度補償膜の膜厚を図示e(180~190nm程度)とするか、或いは、図示f(780~800nm程度)とすればよく、また、第1構造部と第2構造部の双方に共に温度補償膜を形成する場合には、第1構造部の温度補償膜の膜厚を図示a(10~20nm程度)とし、第2構造部の温度補償膜の膜厚を図示b(100~110nm程度)とすること、或いは、第1構造部の膜厚を図示c(390~410nm程度)とし、第2構造部の膜厚を図示d(670~690nm程度)とすることで、周波数温度特性を低減できるほか、第1構造部の温度補償膜の膜厚を図示cとし、第2構造部の温度補償膜の膜厚を図示bとすることによっても周波数温度特性を低減できる。また、上記の第2実施形態で示したようにバルク音響振動子における温度補償膜の位置及び膜厚の複数の組合せが可能であることにより、共振周波数を広い範囲に設定できるなど、素子設計の自由度が増大するという利点がある。

40

50

【 0 0 5 7 】

図 1 1 は、図 1 0 に示す 2 つの周波数温度特性を備えたバルク音響振動子におけるアドミタンス特性を示すグラフである。上部電極下に膜厚 1 0 0 n m の温度補償膜を形成した場合には共振周波数 s (1 . 8 5 G H z 程度) であり、上部電極下に膜厚 1 0 n m の温度補償膜を形成した場合の共振周波数 t (2 . 3 G H z 程度) より低くなる。これは、温度補償膜が厚くなることにより振動子の質量が増大したためと考えられる。

【 0 0 5 8 】

図 1 2 には、上部電極下の温度補償膜の膜厚と共振周波数との関係を示す。上記のように、温度補償膜を厚くすると共振周波数は単調に低下していく。したがって、第 1 構造部と第 2 構造部の共振周波数をなるべく一致させるためには、温度補償膜以外の積層構造を両構造部において異なる厚みに形成しておく必要がある。

10

【 0 0 5 9 】

図 1 3 には、上部電極下の温度補償膜の膜厚が一定 (1 0 0 n m) のときの圧電体膜の膜厚と共振周波数との関係を示す。このように、圧電体膜の膜厚が小さくなると共振周波数は単調に増大する。例えば、上部電極下の温度補償膜の膜厚が 1 0 0 n m のときに圧電体膜の膜厚を 5 0 0 n m まで薄くすると、共振周波数は上部電極下の温度補償膜の膜厚が 1 0 n m で圧電体膜の膜厚が 7 0 0 n m のときの共振周波数とほぼ一致する。したがって、第 1 構造部の圧電体膜の膜厚を厚く (例えば 7 0 0 n m) し、第 2 構造部の圧電体膜の膜厚を薄く (例えば 5 0 0 n m) しておくことで、異なる厚みの温度補償膜を形成しても両構造部の共振周波数のずれを低減することができる。

20

【 0 0 6 0 】

また、図 9 に示すように、上部電極下に膜厚 1 0 0 n m の温度補償膜を形成した場合の共振アドミタンスは上部電極下に膜厚 1 0 n m の温度補償膜を形成した場合の共振アドミタンスよりも小さい。これは、非圧電体 (誘電体) よりなる温度補償膜が厚くなることにより振動子のインピーダンスが増大したためと考えられる。このように第 2 構造部の温度補償膜の膜厚を第 1 構造部よりも大きくした場合、第 1 構造部と第 2 構造部の特性を整合させるために、第 2 構造部の共振アドミタンスを増加させる必要がある。これには、例えば、第 1 構造部に対して、第 2 構造部の面積を増大させることが考えられる。

【 0 0 6 1 】

図 1 4 には、圧電体膜の膜厚が 7 0 0 n m のときの上部電極下の温度補償膜の膜厚と共振アドミタンスとの関係を示す。これによれば、温度補償膜の膜厚が小さくなると共振アドミタンスは増大することがわかる。例えば、上部電極下の温度補償膜の膜厚が 1 0 0 n m の場合に比べて、上部電極下の温度補償膜の膜厚が 1 0 n m の場合の共振アドミタンスは 1 0 倍程度になるため、前者の温度補償膜の膜厚を備えた第 2 構造部の面積を後者の温度補償膜の膜厚を備えた第 1 構造部の面積の 1 0 倍とすれば、両構造部の共振アドミタンスがほぼ均衡することとなる。すなわち、両構造部の面積比を単位面積当たりの共振アドミタンス比の逆数とすることで、共振アドミタンスの均衡を図ることができる。

30

【 0 0 6 2 】

尚、本発明のバルク音響振動子は、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。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 3 】

【 図 1 】 第 1 実施形態のバルク音響振動子の断面構造を模式的に示す縦断面図。

【 図 2 】 第 1 実施形態のバルク音響振動子の平面構造を模式的に示す平面図。

【 図 3 】 第 2 実施形態のバルク音響振動子の構成例 1 を模式的に示す縦断面図。

【 図 4 】 第 2 実施形態のバルク音響振動子の構成例 2 を模式的に示す縦断面図。

【 図 5 】 第 2 実施形態のバルク音響振動子の構成例 3 を模式的に示す縦断面図。

【 図 6 】 第 2 実施形態のバルク音響振動子の構成例 4 を模式的に示す縦断面図。

【 図 7 】 第 3 実施形態のバルク音響振動子の断面構造を模式的に示す縦断面図。

【 図 8 】 第 4 実施形態のバルク音響振動子の断面構造を模式的に示す縦断面図。

50

【図 9】 バルク音響振動子の温度補償膜の膜厚に対する周波数温度係数の依存性を示すグラフ。

【図 10】 バルク音響振動子の周波数比の温度依存性を示すグラフ。

【図 11】 バルク音響振動子のアドミタンス特性を示すグラフ。

【図 12】 バルク音響振動子の温度補償膜の膜厚と共振周波数との関係を示すグラフ。

【図 13】 バルク音響振動子の圧電体膜の膜厚と共振周波数との関係を示すグラフ。

【図 14】 バルク音響振動子の温度補償膜の膜厚と共振アドミタンスとの関係を示すグラフ。

【図 15】 従来のバルク音響振動子の温度補償膜による補償方法を説明するための周波数比の温度依存性を示すグラフ。

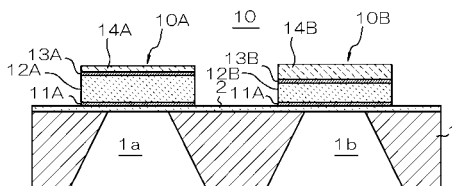
【図 16】 実施形態の補償方法を説明するための周波数比の温度依存性を示すグラフ。

【符号の説明】

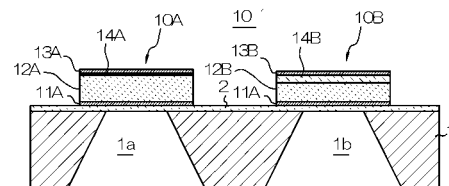
【0064】

1 ... 基板、1 a, 1 b ... 開口部、2 ... 絶縁膜、10 ... バルク音響振動子、10 A ... 第 1 構造部、10 B ... 第 2 構造部、11 A、11 B ... 下部電極、12 A, 12 B ... 圧電体膜、13 A, 13 B ... 上部電極、14 A, 14 B ... 温度補償膜、11 C, 13 C ... 導通パターン、11 D, 13 D ... 端子

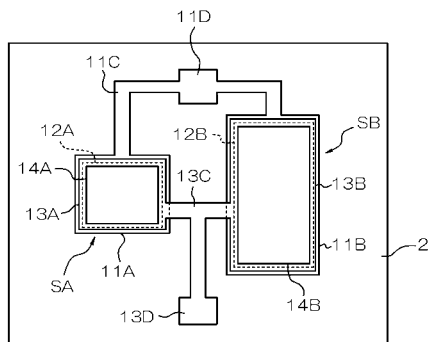
【図 1】



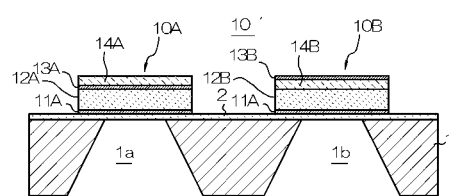
【図 3】



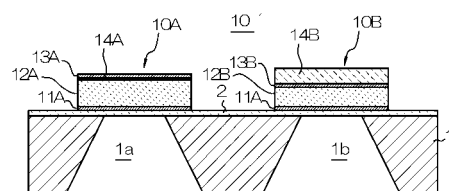
【図 2】



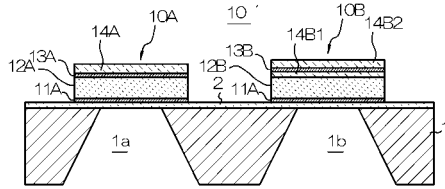
【図 4】



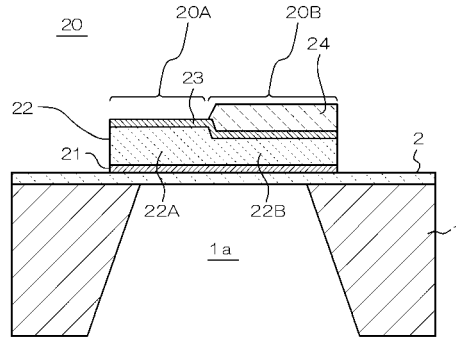
【図 5】



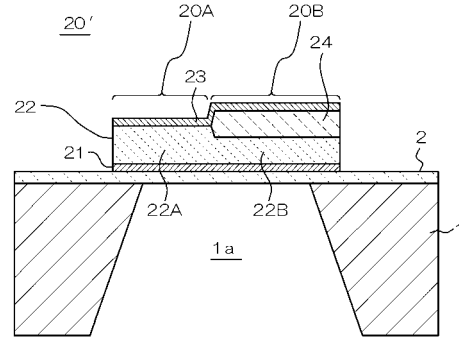
【図 6】



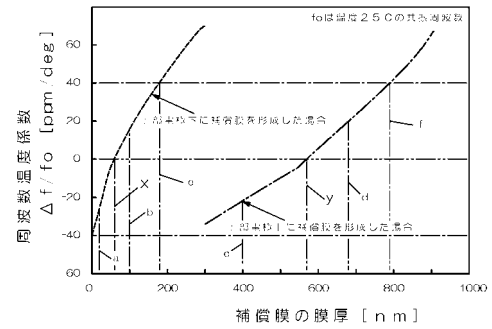
【図 7】



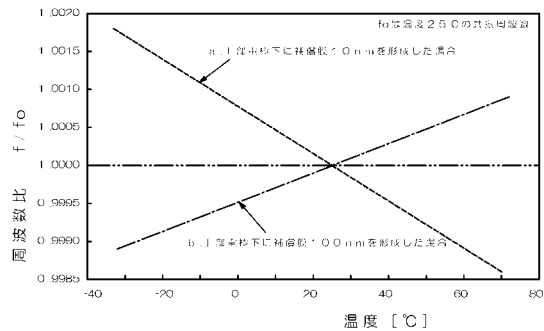
【図 8】



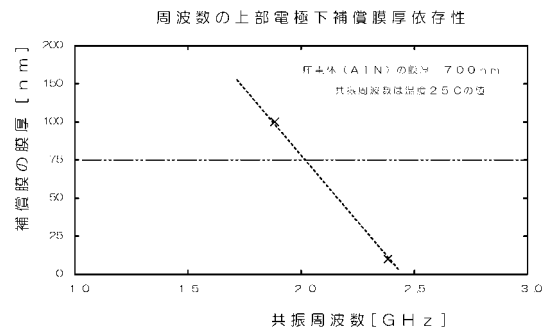
【図 9】



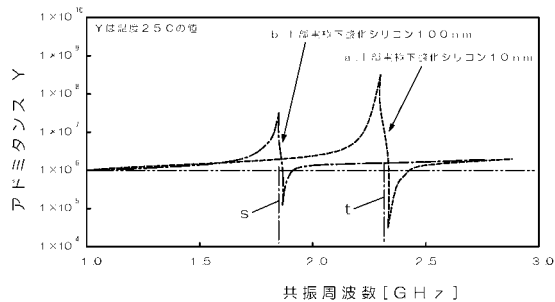
【図 10】



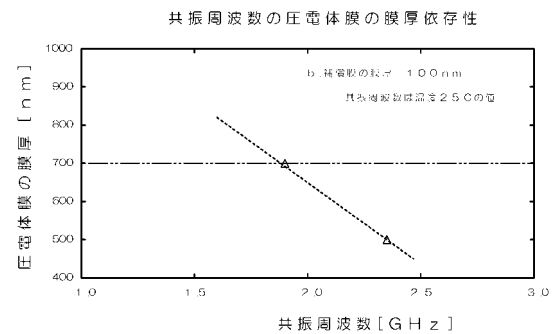
【図 12】



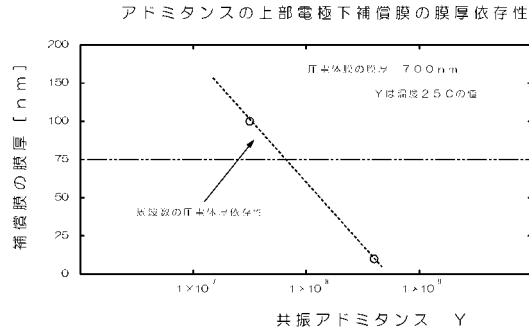
【図 11】



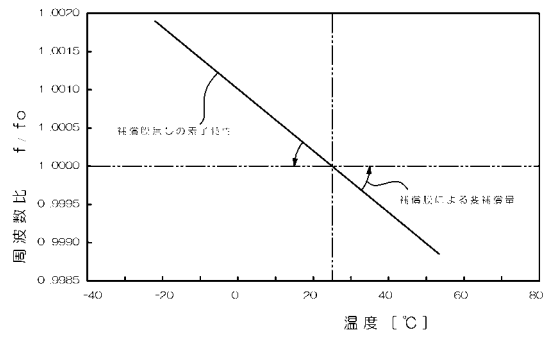
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【図 16】

