

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4978210号  
(P4978210)

(45) 発行日 平成24年7月18日(2012.7.18)

(24) 登録日 平成24年4月27日(2012.4.27)

(51) Int.Cl.

F 1

H03H 3/04 (2006.01)  
H03H 9/17 (2006.01)H03H 3/04  
H03H 9/17Z  
F

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2007-14669 (P2007-14669)  
 (22) 出願日 平成19年1月25日 (2007.1.25)  
 (65) 公開番号 特開2008-182512 (P2008-182512A)  
 (43) 公開日 平成20年8月7日 (2008.8.7)  
 審査請求日 平成22年1月7日 (2010.1.7)

(73) 特許権者 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 雅善  
 (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  
 審査官 上田 智志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】バルク音響振動子の製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板上に第1電極を形成する工程と、前記第1電極上に圧電体層を形成する工程と、前記圧電体層上に第1の温度補償層を形成する工程と、前記第1の温度補償層上に第2電極を形成する工程と、を含み、前記第1電極と前記圧電体層と前記第1の温度補償層と前記第2電極とを含む積層部の周波数温度特性が負となるように形成し、かつ、前記積層部の共振周波数が目標周波数より高くなるように形成する第1の工程と、

前記第1の工程の後、前記積層部分の周波数温度特性を測定する第2の工程と、

前記第2の工程の後、前記第2の工程の測定結果に応じて、前記第2電極上に第2の温度補償層を形成する第3の工程と、

前記第3の工程の後、前記第2の温度補償層と前記積層部とを含む積層体の周波数温度特性を測定する第4の工程と、

前記第4の工程の後、前記第4の工程の測定結果に応じて、前記第2の温度補償層の膜圧を調整する第5の工程と、

を具備することを特徴とするバルク音響振動子の製造方法。

## 【請求項 2】

前記第2の温度補償層は、前記第1の温度補償層よりも厚いことを特徴とする請求項1に記載のバルク音響振動子の製造方法。

## 【請求項 3】

前記第1の温度補償層および前記第2の温度補償層は、SiO2、TeO5、ZrO、Z

r O<sub>2</sub>、FeNi合金のいずれかの材料を用いることを特徴とする請求項1または2に記載の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の製造方法及びバルク音響振動子に係り、特に、温度補償膜を備えたバルク音響振動子の製造技術に関する。

【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 (BAW) が高周波デバイスとして提案され、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。

【0003】

このような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)。また、圧電体膜と上方の電極との間に温度補償膜を形成したバルク音響振動子も知られている (たとえば、以下の非特許文献1参照)。

【特許文献1】特開2002-176334号公報

【非特許文献1】F. Vanhelmont、他5名、"A 2 GHz Reference Oscillator incorporating a Temperature Compensated BAW Resonator" 2006 IEEE Ultrasonics Symposium (3-6, October 2006 VANCOUVER, CANADA (ISBN 1-4244-0202-6)) p.333-336

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、前述の特許文献1に記載される構造では、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温度補償膜を厚く形成する必要があり、所定の周波数温度特性をもたらす温度補償膜の膜厚を実現するには成膜時間がかかるために製造コストが増大するという問題点がある。

【0005】

一方、前述の非特許文献1に記載される構造では、一対の電極間に配置される温度補償膜を形成することで温度補償膜が薄くても十分な温度補償を行うことができるという利点があるが、その分、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。

40

【0006】

そこで本発明は、上記問題点を解決するものであり、温度補償膜の形成位置とその影響を勘案することで、温度補償膜による温度補償の精度を高めることができ、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】

【0007】

斯かる実情に鑑み、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対の電極、及び、温度補償膜を含む積層構造を具備するバルク音響振動子の製造方法において、前記圧電体膜、前記一対の電極、及び、前記一対の電極間に配置される第1

50

の前記温度補償膜を含む積層部分を形成する第1積層工程と、前記一対の電極の外側に配置される第2の前記温度補償膜を形成する第3の工程と、を具備することを特徴とする。

また、ある実施形態のバルク音響振動子の製造方法では、基板上に第1電極を形成する工程と、前記第1電極上に圧電体層を形成する工程と、前記圧電体層上に第1の温度補償層を形成する工程と、前記第1の温度補償層上に第2電極を形成する工程と、前記第2電極上に前記第1の温度補償層よりも厚い第2の温度補償層を形成する工程と、を具備することを特徴とする。また、ある実施形態のバルク音響振動子の製造方法では、基板上に第1電極を形成する工程と、前記第1電極上に第1の温度補償層を形成する工程と、前記第1の温度補償層上に圧電体層を形成する工程と、前記圧電体層上に第2電極を形成する工程と、前記第2電極上に前記第1の温度補償層よりも厚い第2の温度補償層を形成する工程と、を具備することを特徴とする。また、前記第1の温度補償層および前記第2の温度補償層は、SiO2、TeO5、ZrO、ZrO2、FeNi合金のいずれかの材料を用いることを特徴とする。

#### 【0008】

この発明によれば、第1積層工程において圧電体膜、一対の電極、及び、当該一対の電極間に配置される第1の温度補償膜を含む積層部分を形成し、その後、第2積層工程において一対の電極の外側に配置される第2の温度補償膜を形成することにより、周波数温度特性への影響の大きい第1の温度補償膜で周波数温度特性を概略調整し、その後、周波数温度特性への影響の小さい第2の温度補償膜で周波数温度特性を精密に調整することができるため、製造コストを低減しつつ、安定した周波数特性を得ることが可能になる。

本発明において、前記第1積層工程の後、前記第2積層工程の前に、前記積層部分の周波数温度特性を測定する特性測定工程をさらに具備することが好ましい。この特性測定工程を設けることで、第2積層工程において当該特性測定工程の測定結果に応じて第2の温度補償膜を形成できるため、第2の温度補償膜による温度補償の精度をさらに高めることができる。

#### 【0009】

本発明において、前記第1積層工程では、前記積層部分の周波数温度特性が負となるように形成されることが好ましい。本発明では第1の温度補償膜で周波数温度特性を概略補償し、その後に形成される第2の温度補償膜で周波数温度特性を精密に補償するようにしているため、当該積層部分10Yの周波数温度特性を負としておくことで、第2の温度補償膜を形成したときに確実に周波数温度特性を低減することが可能になる。

#### 【0010】

本発明において、前記第1積層工程では、前記積層部分10Yの共振周波数が目標周波数より高く形成されることが好ましい。これによれば、第2の温度補償膜を形成したときに共振周波数が低下するので、積層構造の共振周波数を目標周波数に近い値になるように製造できる。

#### 【0011】

本発明において、前記第2の温度補償膜を含めた前記積層構造の周波数温度特性を測定する追加特性測定工程と、当該追加特性測定工程の測定結果に応じて前記第2の温度補償膜の膜厚を調整する膜厚調整工程と、をさらに具備することが好ましい。これによれば、第2の温度補償膜の形成後に追加特性工程において周波数温度特性を測定し、その測定結果に応じて膜厚調整工程において第2の温度補償膜の膜厚を調整することで、周波数温度特性のさらなる安定化を図ることができる。

#### 【0012】

次に、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対の電極、及び、温度補償膜を含む積層構造を具備するバルク音響振動子の製造方法において、前記圧電体膜、前記一対の電極、及び、前記一対の電極間に配置される第1の前記温度補償膜を含む積層部分10Yを形成する第1積層工程と、前記積層部分の周波数温度特性を測定する特性測定工程と、前記特性測定工程の測定結果に応じて前記一対の電極の外側に配置される第2の前記温度補償膜を形成する第2積層工程と、を具備し、前記特性測定工

10

20

30

40

50

程の測定結果が前記周波数温度特性の許容範囲内にある場合には第2積層工程を省略することを特徴とする。

【0013】

この発明によれば、第1積層工程において第1の温度補償膜により概略の温度補償を実施し、その後、特性測定工程の測定結果に応じて第2の温度補償膜を形成することで温度補償の精度を高めることができる。この場合に、特性測定工程の測定結果が周波数温度特性の許容範囲内にあるときには、第2積層工程を省略することで、バルク音響振動子の製造プロセス全体の製造効率を高めることができる。

【0014】

本発明において、前記第2の温度補償膜を含めた前記積層構造の周波数温度特性を測定する追加特性測定工程と、当該追加特性測定工程の測定結果に応じて前記第2の温度補償膜の膜厚を調整する膜厚調整工程と、をさらに具備し、前記追加特性測定工程の測定結果が前記許容範囲内にある場合には前記膜厚調整工程を省略することが好ましい。これによれば、追加特性測定工程によって第1の温度補償膜と第2の温度補償膜による温度補償の結果を測定し、この測定結果に応じて第2の温度補償膜の膜厚を調整することで、より精密な温度補償を実現することができる。この場合に、追加特性測定工程の測定結果が上記許容範囲内にあるときには、膜厚調整工程を省略することで、バルク音響振動子の製造プロセス全体の製造効率を高めることができる。

【0015】

次に、本発明のバルク音響振動子は、圧電体膜、及び、該圧電体膜を挟む一対の電極を含む積層構造を具備するバルク音響振動子において、前記積層構造には、前記一対の電極間に配置された第1の温度補償膜と、前記一対の電極の外側に配置された第2の温度補償膜とが含まれることを特徴とする。この場合に、第2の温度補償膜は一対の電極のうち上方に配置される電極上に配置されていることが好ましい。また、第1の温度補償膜は圧電体膜と上方に配置される電極との間に配置されていることが好ましい。

また、ある実施形態のバルク音響振動子は、基板と、前記基板上に形成された第1電極と、前記第1電極の上層に形成された圧電体層と、前記圧電体層の上層に形成された第2電極と、前記第1電極の上層で且つ前記第2電極の下層に形成された第1の温度補償層と、前記第2電極の上層に形成され前記第1の温度補償層よりも厚い第2の温度補償層と、を具備することを特徴とする。また、前記第1の温度補償層および前記第2の温度補償層は、SiO<sub>2</sub>、TeO<sub>5</sub>、ZrO、ZrO<sub>2</sub>、FeNi合金のいずれかの材料を用いることを特徴とする。

【0016】

この発明によれば、第1の温度補償膜で概略の周波数温度特性が設定された後に、第2の温度補償膜で周波数温度特性を精密に調整することができるため、温度補償膜による温度補償の高精度化を図り、周波数特性の高い安定性を実現することができるとともに、共振周波数や周波数温度特性への影響が異なる二つの温度補償膜を組み合わせることで、共振周波数と周波数温度特性の双方を目標範囲内に容易に設定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

【実施形態の構成】

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である。

【0018】

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上に形成される積層構造10X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上にも形成されている。開口部1a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。

10

20

30

40

50

## 【0019】

絶縁膜2上に形成された積層構造10X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(第1電極)11と、AlN、ZnOなどの圧電体よりなる圧電体膜(圧電体層)12と、非圧電体よりなる温度補償膜14Aと、Pt/Tiなどの金属等の導電体よりなる上部電極(第2電極)13と、非圧電体よりなる温度補償膜14Bとが順次に積層された構造を有する。当該積層構造10Xにおいては、下部電極11と上部電極13との間に交流電圧を印加することで、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。

## 【0020】

10

上記温度補償膜(温度補償層)14A、14Bは、SiO<sub>2</sub>、TeO<sub>5</sub>、ZrO<sub>x</sub>(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の周波数温度特性を低減するためのものであり、積層構造10Xの温度補償、つまり周波数温度特性の調整の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、積層構造10Xの周波数温度特性をきわめて小さなものとすることができます。

## 【0021】

20

温度補償膜14Aは一対の電極11と13の間に配置される温度補償膜である。したがって、温度補償膜14Aは図示例のように圧電体膜12と上部電極13との間に配置される場合に限られず、たとえば、下部電極11と圧電体膜12との間に配置されることも可能である。ただし、一般的には圧電体膜12の膜質の低下を回避するために圧電体膜12より上層に温度補償膜14Aが配置される。

## 【0022】

また、温度補償膜14Bは一対の電極11と13の外側に配置される温度補償膜である。したがって、温度補償膜14Bは図示例のように上部電極13上に配置される場合に限られず、たとえば、下部電極11の下層に配置されることも可能である。ただし、下部電極11、圧電体膜12及び上部電極13を形成した後に温度補償膜14Bを形成できるようになるには、一般的には温度補償膜14Bは上部電極13上に形成される。

30

## 【0023】

ここで、温度補償膜14Aに関しては後述するように膜厚変化に対する温度補償作用の変動が大きく、また、温度補償膜14Bに関しては膜厚変化に対する温度補償作用の変動が小さいので、上記の積層構造10Xにおいて温度補償膜14Aが温度補償膜14Bより薄く形成されることが好ましい。このようにすると、誤って温度補償膜14Aのみによりバルク音響振動子10が正の周波数温度特性を有するようになり、その結果、温度補償膜14Bによる温度補償量の調整が無意味となるといった虞が低減されるとともに、温度補償膜14Bの膜厚が大きくなるため、当該膜厚の制御精度を高めやすくなることから、温度補償膜14Bによる温度補償量の高精度化や調整作業の容易化を図ることが可能になる。

40

## 【0024】

本実施形態では、基板1に開口部1a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10Xの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10X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。

## 【0025】

50

## [実施形態の特性]

次に、図2乃至図7を参照して、上記各実施形態の音響振動子10の積層構造10X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200~300μm程度のシリコン単結晶基板を用い、下部電極として膜厚30nmのTi層の上に膜厚150nmのPt層を形成したものを用い、圧電体膜として膜厚700nmのAlN層を形成したものを用い、さらに、上部電極として膜厚30nmのTi層の上に膜厚150nmのPt層を形成したものを用い、温度補償膜としてSiO<sub>2</sub>(酸化シリコン)層を形成してなる例に対するものである。

## 【0026】

図2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°C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、図示破線は上部電極下に形成した温度補償膜14Aのみを形成した場合のバルク音響振動子の周波数温度係数と温度補償膜の膜厚との関係を示し、図示一点鎖線は上部電極上に形成した温度補償膜14Bのみを形成した場合の上記関係を示す。図2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14A、14B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。

## 【0027】

また、上部電極下に形成した温度補償膜14Aの場合には、温度補償膜の膜厚がx(40~50nm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が、上部電極上に形成した温度補償膜14Bの場合には、温度補償膜の膜厚がy(540~600nm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緩やかであることがわかる。

## 【0028】

したがって、上記の特性により、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、周波数温度係数の温度補償膜の膜厚依存性が弱いため、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。

## 【0029】

一方、本実施形態では、第1の温度補償膜である温度補償膜14Aで周波数温度特性の温度補償を概略行った上で、第2の温度補償膜である温度補償膜14Bで周波数温度特性の温度補償を精密に行うことにより、温度補償膜の形成時間の増大を抑制しつつ、従来の振動子よりも周波数温度特性を容易に低減させることができる。すなわち、温度補償膜14Aを形成することで温度補償膜全体の膜厚を低減しつつ、従来と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。

## 【0030】

温度補償膜14Aのみを含むバルク音響振動子において温度補償膜14Aの膜厚を変えた場合の例として、図3には温度補償膜14Aの膜厚を10nmとした場合及び100nmとした場合のそれぞれの周波数比(温度25°C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)の温度依存性を示す。図3に示すように、温度補償膜14Aの膜厚が10nmである場合には負の周波数温度特性を示すが、膜厚が増加し100nmになると正の周波数温度特性を示す。

## 【0031】

10

20

30

40

50

図4は、図3に示す2つの場合におけるアドミタンスの周波数特性を示すグラフである。温度補償膜14Aの膜厚が10nmである場合には共振周波数は図示t(2.3GHz程度)であるが、膜厚100nmの温度補償膜14Aを形成した場合には共振周波数はs(1.85GHz程度)であり、膜厚10nmの温度補償膜14Aを形成した場合の共振周波数tより低くなる。これは、温度補償膜14A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。

#### 【0032】

図5には、図3及び図4に示すものと同様に温度補償膜14Aのみを形成した場合の温度補償膜14A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14A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、温度補償膜14A以外の積層構造(圧電体膜12や一対の電極11, 13)の膜厚その他の構造を目標となる共振周波数に合わせて形成しておく必要がある。

10

#### 【0033】

図6には、上記の同じ場合における温度補償膜14Aの膜厚が一定(100nm)のときの圧電体膜12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12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、温度補償膜14Aの膜厚が100nmのときに圧電体膜12の膜厚を500nmまで薄くすると、共振周波数は温度補償膜14Aの膜厚が10nmで圧電体膜12の膜厚が700nmのときの共振周波数とほぼ一致する。したがって、温度補償膜14Aが薄い(たとえば10nm)ときには圧電体膜12の膜厚を厚く(例えば700nm)し、温度補償膜14Aを厚く(たとえば100nm)ときには圧電体膜12の膜厚を薄く(例えば500nm)することで、温度補償膜14Aの膜厚を変えても共振周波数の変動を低減することができる。

20

#### 【0034】

また、図4に示すように、上部電極下に膜厚100nmの温度補償膜14A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10nmの温度補償膜14A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14A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。図7には、図3乃至図6に示す場合において、圧電体膜12の膜厚が700nmのときの上部電極下の温度補償膜14Aの膜厚と共振アドミタンスYとの関係を示す。これによれば、温度補償膜14Aの膜厚が低下すると共振アドミタンスは増大することがわかる。例えば、温度補償膜14Aの膜厚が100nmの場合に比べて、温度補償膜14Aの膜厚が10nmの場合の共振アドミタンスは10倍程度になる。したがって、温度補償膜14Aの膜厚を変えたときに振動子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に相当する値とすることで、共振アドミタンス(インピーダンス)の変化を低減することができる。たとえば、上記の2つの場合には、温度補償膜の膜厚10nmの場合に比べて膜厚100nmの場合に振動子の面積を10倍とすれば、共振アドミタンスがほぼ等しくなる。

30

#### 【0035】

次に、図1及び図8を参照して本実施形態の製造方法について説明する。図8は、各製造工程後における周波数差(共振周波数の目標周波数に対する差)及び周波数温度係数の想定範囲を示すものである。

40

#### 【0036】

本実施形態では、図1に示す積層構造10Xを以下の手順にて製造する。最初に、下部電極11、圧電体膜12を順次に成膜し、その後、温度補償膜14Aを成膜する。このとき、温度補償膜14Aの膜厚は、下部電極11、圧電体膜12、温度補償膜14A及び上部電極13からなる積層部分10Yの周波数温度特性が十分に低くなるように設定される。具体的には、図8に点線で示す範囲I内の点(例をバツ印で示す。)が温度補償膜を全く形成しない場合を示すものであるとすれば、温度補償膜14Aを形成することで、周波数温度係数の絶対値が低減され、図8に実線で示す範囲II内に移動するように設定する。このとき、温度補償膜14Aを形成することで、共振周波数も低下する。

#### 【0037】

50

ここで、図8に示す範囲Iの位置（共振周波数及び周波数温度係数）は、予めシミュレーションや実験等を行うことでほぼ想定することができる。したがって、このように想定された範囲Iの位置に応じて、温度補償膜14Aの膜厚を設定することができる。温度補償膜14Aを形成したときの上記積層部分10Yの位置は、目標点P、すなわち、目標周波数及び目標周波数温度係数（通常は0）に近いほどよいが、後工程を考慮すると、図8に示す目標点Pの左上の位置、すなわち、上記積層部分10Yの共振周波数が目標周波数より高く、上記積層部分10Yの周波数温度係数が負であることが好ましい。これは、後に形成される温度補償膜14Bによって共振周波数は低下し、また、周波数温度係数も正側に変化するからである。

## 【0038】

10

温度補償膜14Aが上記のように形成された後に、上部電極13が形成され、上記積層部分10Yが完成する（第1積層工程）。なお、本実施形態の積層構造10Xを構成する各層は、蒸着法、スパッタリング法、CVD法などの種々の成膜方法で形成することができる。上記積層部分10Yの特性（共振周波数及び周波数温度係数）は図8に示す範囲II内の点で示され、たとえば、図示例ではバツ印と丸印で示されている。ここで、バツ印はバルク音響振動子10の製品の許容範囲Z内に含まれない場合、丸印は同許容範囲Z内に含まれる場合を例示している。

## 【0039】

上記の積層部分10Yが形成された段階においては、既にバルク音響振動子10としての基本構造が完成しているため、そのままで、共振周波数や周波数温度係数を測定することができる（特性測定工程）。この工程により、図示例のバツ印と丸印の正確な位置が測定される。なお、この工程では、周波数温度係数のみを測定するようにしてもよい。これは、その後に行われる温度補償膜14Bの形成目的が周波数温度特性の最適化だからである。この場合には、以後の説明において、共振周波数を無視し、周波数温度特性についてのみ考慮したものとして製造を進めればよい。

20

## 【0040】

ここで、図示例の丸印の位置、すなわち、共振周波数と周波数温度特性のいずれもが許容範囲Z内に存在している場合には、ここで以降の工程を省略するようにしてもよい。すなわち、上記温度補償膜14Bを形成することなく、製造を完了することができる。

## 【0041】

30

次に、上記積層部分10Yの上、すなわち、上部電極13上に、温度補償膜14Bを形成する（第2積層工程）。この工程では、温度補償膜14Bの膜厚を制御し、最終的に図8に示す許容範囲Z内に入るよう設定する。この設定に際しては、上記の想定と同様に温度補償膜14A及び14Bの周波数温度特性への寄与をシミュレーションや実験結果等に基づいて計算することで、最終的に周波数温度特性が最適化される（目標点Pに達する）に必要な温度補償膜14Bの膜厚を決定してもよいが、上記特性測定工程を設ける場合には、当該工程で得られた測定結果に応じて温度補償膜14Bの膜厚を設定することができる。具体的には、温度補償膜14Bによる周波数温度特性への寄与をシミュレーションや実験結果等に基づいて計算し、この計算結果と上記測定結果とを勘案して温度補償膜14Bの膜厚を決定する。

40

## 【0042】

上記の第2積層工程により、図8における範囲II内にあった積層構造10Yの点に対して、積層構造10Xの点は範囲III内に移動する。ここで、理想的には、範囲IIIがすべて許容範囲Z内に含まれること、すなわち、第2積層工程後に許容範囲Z内に100%の確率で入ることが望ましい。これによって、許容範囲Zに含まれる完成品が確実に製造される。

## 【0043】

図8には、範囲III内に許容範囲Z内に位置する丸印の点と、許容範囲Z外に位置するバツ印の点とが存在するように示してある。この場合、第2積層工程後にさらに共振周波数及び周波数温度係数を測定してもよい（追加特性測定工程）。この工程を行った結果、

50

丸印の点が得られた場合には、後述する工程を省略して、そのまま完成品として用いることができる。

#### 【0044】

一方、バツ印の点が得られた場合には、さらに温度補償膜14Bの膜厚を調整して、共振周波数及び周波数温度係数を最適化し、上記許容範囲Z内に移動するようにすることができる（膜厚調整工程）。この工程では、温度補償膜14Bをさらに堆積させて膜厚を増加させることも可能であるが、処理の容易さの観点から見ると、特に、温度補償膜14Bの膜厚をエッティング（ウェットエッティング又はドライエッティング）処理によって部分的に除去することで、膜厚を削減することが好ましい。そして、このように膜厚調整工程をエッティング処理で行うことができるようになるためには、範囲IIIが図8における目標点Pの右下に位置するように、すなわち、共振周波数が目標周波数より低く、しかも、周波数温度係数が正となるように第2積層工程で形成される温度補償膜14Bの膜厚を設定することが好ましい。

#### 【0045】

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。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0046】

【図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】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3】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4】バルク音響振動子のアドミタンス特性を示すグラフ。

【図5】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6】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7】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8】実施形態の製造工程後の想定範囲を周波数差と周波数温度係数の座標平面上で示すグラフ。

#### 【符号の説明】

#### 【0047】

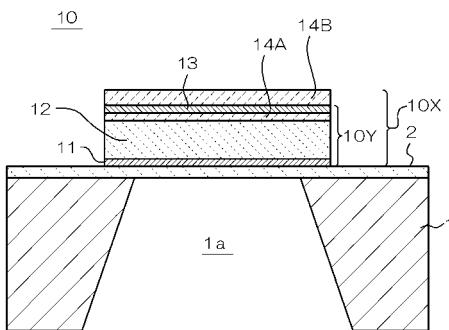
1...基板、1a...開口部、2...絶縁膜、10...バルク音響振動子、10X...積層構造、10Y...積層部分、11...下部電極、12...圧電体膜、13...上部電極、14A, 14B...温度補償膜

10

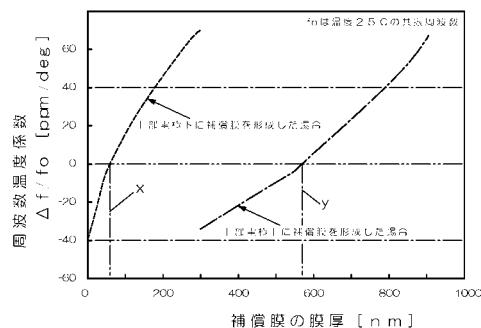
20

30

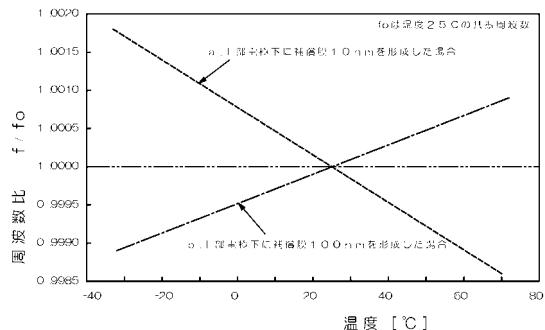
【図1】



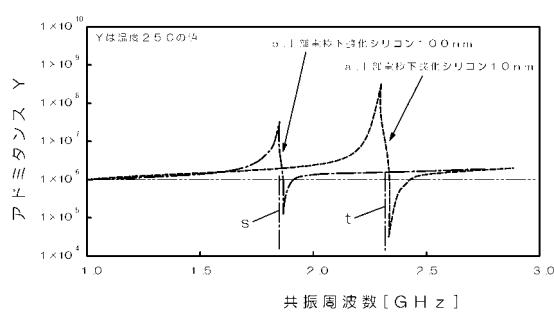
【図2】



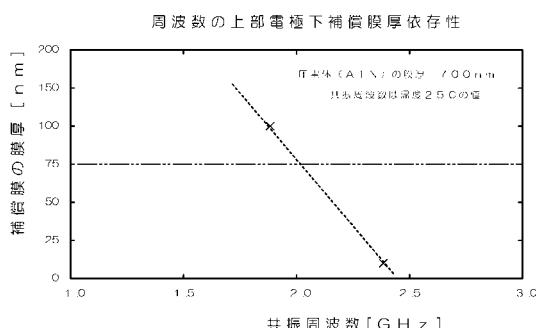
【図3】



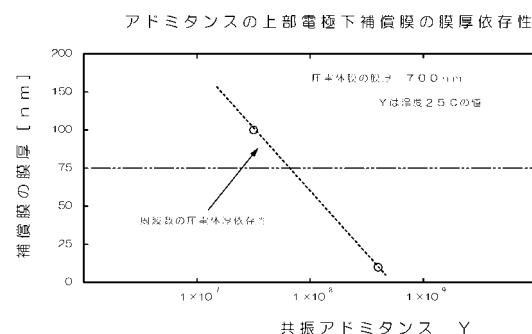
【図4】



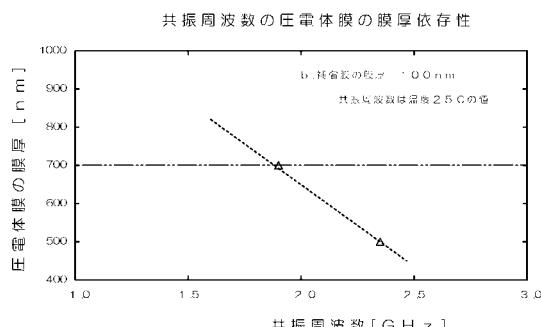
【図5】



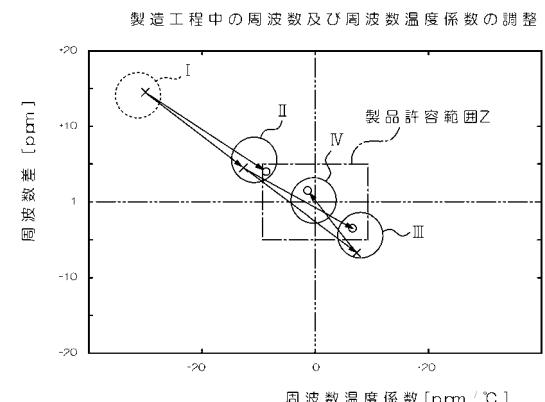
【図7】



【図6】



【図8】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭58-029211(JP,A)  
特開昭58-137317(JP,A)  
特開2001-211053(JP,A)  
特開2002-009579(JP,A)  
国際公開第2005/043756(WO,A1)  
特開2005-51685(JP,A)  
特開2005-184491(JP,A)  
特開2007-6542(JP,A)  
特表2005-513850(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H3/007 - H03H3/10  
H03H9/00 - H03H9/76