

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6441761号
(P6441761)

(45) 発行日 平成30年12月19日(2018.12.19)

(24) 登録日 平成30年11月30日(2018.11.30)

(51) Int. Cl.		F I			
HO3H	9/17	(2006.01)	HO3H	9/17	F
HO3H	9/54	(2006.01)	HO3H	9/54	Z
HO3H	9/70	(2006.01)	HO3H	9/70	

請求項の数 14 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2015-150045 (P2015-150045)	(73) 特許権者	000204284 太陽誘電株式会社 東京都中央区京橋二丁目7番19号
(22) 出願日	平成27年7月29日(2015.7.29)	(74) 代理人	100087480 弁理士 片山 修平
(65) 公開番号	特開2017-34358 (P2017-34358A)	(72) 発明者	横山 剛 東京都台東区上野6丁目16番20号 太陽誘電株式会社内
(43) 公開日	平成29年2月9日(2017.2.9)	審査官	竹内 亨
審査請求日	平成29年2月15日(2017.2.15)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電薄膜共振器及びフィルタ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、

前記基板上に設けられ、ポアソン比が0.33以下の圧電膜と、

前記圧電膜を挟んで対向した下部電極及び上部電極と、

前記圧電膜を挟み前記下部電極と前記上部電極とが対向する共振領域内の外周領域の前記圧電膜内若しくは前記圧電膜の下面又は上面に設けられ、前記共振領域の中央領域には設けられていない挿入膜と、を備え、

前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の少なくとも1つは、対応する前記共振領域の中央領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の前記少なくとも1つに比べて薄く、

前記共振領域内の外周領域の遮断周波数と前記共振領域の中央領域の遮断周波数とは、ほぼ同じであることを特徴とする圧電薄膜共振器。

【請求項2】

基板と、

前記基板上に設けられ、ポアソン比が0.33以下の圧電膜と、

前記圧電膜を挟んで対向した下部電極及び上部電極と、

前記圧電膜を挟み前記下部電極と前記上部電極とが対向する共振領域内の外周領域の前記圧電膜内若しくは前記圧電膜の下面又は上面に設けられ、前記共振領域の中央領域には設けられていない挿入膜と、を備え、

前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の少なくとも1つは、対応する前記共振領域の中央領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の前記少なくとも1つに比べて薄く、

前記共振領域内の外周領域における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差は、前記共振領域の中央領域における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差よりも小さいことを特徴とする圧電薄膜共振器。

【請求項3】

前記共振領域内の外周領域における前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極を含む積層膜は、前記共振領域の中央領域における前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極を含む積層膜に比べて薄いことを特徴とする請求項1または2記載の圧電薄膜共振器

10

【請求項4】

前記共振領域内の外周領域の前記下部電極及び前記上部電極の少なくとも一方は、前記共振領域の中央領域の前記下部電極及び前記上部電極の前記少なくとも一方に比べて、金属層の層数が少ないことを特徴とする請求項1から3のいずれか一項記載の圧電薄膜共振器。

【請求項5】

基板と、

前記基板上に設けられ、ポアソン比が0.33以下の圧電膜と、

前記圧電膜を挟んで対向した下部電極及び上部電極と、

20

前記圧電膜を挟み前記下部電極と前記上部電極とが対向する共振領域内の外周領域の前記圧電膜内若しくは前記圧電膜の下面又は上面に設けられ、前記共振領域の中央領域には設けられていない挿入膜と、を備え、

前記共振領域内の外周領域の遮断周波数と前記共振領域の中央領域の遮断周波数とは、ほぼ同じであり、

前記共振領域内の外周領域における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差は、前記共振領域の中央領域における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差よりも小さいことを特徴とする圧電薄膜共振器。

【請求項6】

基板と、

前記基板上に設けられ、窒化アルミニウム膜又は他の元素を含む窒化アルミニウム膜である圧電膜と、

30

前記圧電膜を挟んで対向した下部電極及び上部電極と、

前記圧電膜を挟み前記下部電極と前記上部電極とが対向する共振領域内に位置し前記共振領域の外周を含み、前記外周に沿った領域である外周領域の前記圧電膜内若しくは前記圧電膜の下面又は上面に設けられ、前記共振領域内の領域であって、前記外周領域よりも内側部分であり、前記共振領域の中央を含む領域である中央領域には設けられてなく、前記圧電膜よりも音響インピーダンス及びポアソン比が小さい挿入膜と、を備え、

前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の少なくとも1つは、対応する前記共振領域の中央領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の前記少なくとも1つに比べて薄く、

40

前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、前記挿入膜、及び前記上部電極を含む積層膜の厚さは、前記中央領域における前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極を含む積層膜の厚さよりも薄いことを特徴とする圧電薄膜共振器。

【請求項7】

前記共振領域内に前記挿入膜が設けられる領域において、前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の少なくとも1つは、対応する前記共振領域の中央領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の前記少なくとも1つに比べて薄いことを特徴とする請求項6記載の圧電薄膜共振器。

【請求項8】

50

前記挿入膜は、前記圧電膜よりも音響インピーダンスが小さいことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項記載の圧電薄膜共振器。

【請求項 9】

前記挿入膜は、前記圧電膜よりもポアソン比が小さいことを特徴とする請求項 8 記載の圧電薄膜共振器。

【請求項 10】

前記挿入膜は、酸化シリコン膜又は他の元素を含む酸化シリコン膜であることを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか一項記載の圧電薄膜共振器。

【請求項 11】

前記圧電膜は、窒化アルミニウム膜又は他の元素を含む窒化アルミニウム膜であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項記載の圧電薄膜共振器。

10

【請求項 12】

前記共振領域において、前記基板と前記下部電極との間に空隙が形成されていることを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか一項記載の圧電薄膜共振器。

【請求項 13】

前記共振領域において、前記下部電極下に前記圧電膜を伝搬する弾性波を反射する音響反射膜を備えることを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか一項記載の圧電薄膜共振器。

【請求項 14】

請求項 1 から 13 のいずれか一項記載の圧電薄膜共振器を含むことを特徴とするフィルタ。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電薄膜共振器及びフィルタに関する。

【背景技術】

【0002】

弾性波デバイスの一つである圧電薄膜共振器は、携帯電話をはじめとする無線機器のフィルタ及び分波器に用いられている。圧電薄膜共振器は、圧電膜を挟み下部電極と上部電極が対向した構造を有する。

30

【0003】

圧電薄膜共振器は、圧電膜の膜厚方向（縦方向）に振動する厚み縦振動モードに加え、横モードと呼ばれる平面方向（横方向）に伝搬する波を付随的に発生させる。横方向に伝搬する波は、共振領域の端部で反射されるため、共振特性においてスプリアスが発生する要因となる。スプリアスが発生した圧電薄膜共振器をフィルタに用いると、リップルと呼ばれる大きな損失が通過帯域内に発生してしまう。このため、スプリアスを抑制する様々な方法が提案されている（例えば特許文献 1 から 4 参照）。また、圧電膜を伝搬する波には多くのモードが存在することが知られている（例えば非特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0004】

【特許文献 1】特表 2003 - 505906 号公報

【特許文献 2】特開 2007 - 6501 号公報

【特許文献 3】国際公開第 2006 / 129532 号

【特許文献 4】特開 2005 - 159402 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】Ken L. Telschow, 外 1 名, “Determination of Lateral Mode Dispersion from Full-field Imaging of Film Bulk Acoustic Resonator Motion”, IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM, 2003, p.280-283

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、スプリアスを抑制する従来の方法では、Q値又は電気機械結合係数が劣化してしまう。

【0007】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、Q値及び電気機械結合係数の劣化を抑制しつつ、スプリアスを抑制することが可能な圧電薄膜共振器及びフィルタを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、基板と、前記基板上に設けられ、ポアソン比が0.33以下の圧電膜と、前記圧電膜を挟んで対向した下部電極及び上部電極と、前記圧電膜を挟み前記下部電極と前記上部電極とが対向する共振領域内の外周領域の前記圧電膜内若しくは前記圧電膜の下面又は上面に設けられ、前記共振領域の中央領域には設けられていない挿入膜と、を備え、前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の少なくとも1つは、対応する前記共振領域の中央領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の前記少なくとも1つに比べて薄く、前記共振領域内の外周領域の遮断周波数と前記共振領域の中央領域の遮断周波数とは、ほぼ同じであることを特徴とする圧電薄膜共振器である。

【0010】

本発明は、基板と、前記基板上に設けられ、ポアソン比が0.33以下の圧電膜と、前記圧電膜を挟んで対向した下部電極及び上部電極と、前記圧電膜を挟み前記下部電極と前記上部電極とが対向する共振領域内の外周領域の前記圧電膜内若しくは前記圧電膜の下面又は上面に設けられ、前記共振領域の中央領域には設けられていない挿入膜と、を備え、前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の少なくとも1つは、対応する前記共振領域の中央領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の前記少なくとも1つに比べて薄く、前記共振領域内の外周領域における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差は、前記共振領域の中央領域における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差よりも小さいことを特徴とする圧電薄膜共振器である。

【0011】

上記構成において、前記共振領域内の外周領域における前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極を含む積層膜は、前記共振領域の中央領域における前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極を含む積層膜に比べて薄い構成とすることができる。

【0012】

上記構成において、前記共振領域内の外周領域の前記下部電極及び前記上部電極の少なくとも一方は、前記共振領域の中央領域の前記下部電極及び前記上部電極の前記少なくとも一方に比べて、金属層の層数が少ない構成とすることができる。

【0013】

本発明は、基板と、前記基板上に設けられ、ポアソン比が0.33以下の圧電膜と、前記圧電膜を挟んで対向した下部電極及び上部電極と、前記圧電膜を挟み前記下部電極と前記上部電極とが対向する共振領域内の外周領域の前記圧電膜内若しくは前記圧電膜の下面又は上面に設けられ、前記共振領域の中央領域には設けられていない挿入膜と、を備え、前記共振領域内の外周領域の遮断周波数と前記共振領域の中央領域の遮断周波数とは、ほぼ同じであり、前記共振領域内の外周領域における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差は、前記共振領域の中央領域における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差よりも小さいことを特徴とする圧電薄膜共振器である。本発明によれば、Q値及び電気機械結合係数の劣化を抑制しつつ、スプリアスを抑制することができる。

10

20

30

40

50

【0014】

上記構成において、前記挿入膜は、前記圧電膜よりも音響インピーダンスが小さい構成とすることができる。

【0015】

上記構成において、前記挿入膜は、前記圧電膜よりもポアソン比が小さい構成とすることができる。

【0016】

上記構成において、前記挿入膜は、酸化シリコン膜又は他の元素を含む酸化シリコン膜である構成とすることができる。

【0017】

上記構成において、前記圧電膜は、窒化アルミニウム膜又は他の元素を含む窒化アルミニウム膜である構成とすることができる。

【0018】

上記構成において、前記共振領域において、前記基板と前記下部電極との間に空隙が形成されている構成とすることができる。

【0019】

上記構成において、前記共振領域において、前記下部電極下に前記圧電膜を伝搬する弾性波を反射する音響反射膜を備える構成とすることができる。

【0020】

本発明は、上記のいずれかに記載の圧電薄膜共振器を含むことを特徴とするフィルタである。

【0021】

本発明は、基板と、前記基板上に設けられ、窒化アルミニウム膜又は他の元素を含む窒化アルミニウム膜である圧電膜と、前記圧電膜を挟んで対向した下部電極及び上部電極と、前記圧電膜を挟み前記下部電極と前記上部電極とが対向する共振領域内に位置し前記共振領域の外周を含み、前記外周に沿った領域である外周領域の前記圧電膜内若しくは前記圧電膜の下面又は上面に設けられ、前記共振領域内の領域であって、前記外周領域よりも内側部分であり、前記共振領域の中央を含む領域である中央領域には設けられてなく、前記圧電膜よりも音響インピーダンス及びポアソン比が小さい挿入膜と、を備え、前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の少なくとも1つは、対応する前記共振領域の中央領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の前記少なくとも1つに比べて薄く、前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、前記挿入膜、及び前記上部電極を含む積層膜の厚さは、前記中央領域における前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極を含む積層膜の厚さよりも薄いことを特徴とする圧電薄膜共振器である。上記構成において、前記共振領域内に前記挿入膜が設けられる領域において、前記共振領域内の外周領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の少なくとも1つは、対応する前記共振領域の中央領域の前記下部電極、前記圧電膜、及び前記上部電極の前記少なくとも1つに比べて薄い構成とすることができる。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、Q値及び電気機械結合係数の劣化を抑制しつつ、スプリアスを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】図1は、圧電膜の分散関係 $k(\omega)$ を示す図である。

【図2】図2は、圧電膜に AlN を用いた場合の分散特性を波数 k の実数の大きい範囲まで示した図である。

【図3】図3(a)は、比較例1に係る圧電薄膜共振器の断面図、図3(b)は、共振領域の中央領域と外周領域とでの厚み縦振動モードの分散曲線を示す図である。

【図4】図4(a)は、比較例2に係る圧電薄膜共振器の断面図、図4(b)は、共振領域

10

20

30

40

50

域の中央領域と第 1 外周領域と第 2 外周領域とでの厚み縦振動モードの分散曲線を示す図である。

【図 5】図 5 (a) は、実施例 1 に係る圧電薄膜共振器の断面図、図 5 (b) は、共振領域の中央領域と外周領域とでの厚み縦振動モードの分散曲線を示す図である。

【図 6】図 6 (a) は、実施例 2 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 6 (b) 及び図 6 (c) は、図 6 (a) の A - A 間の断面図である。

【図 7】図 7 (a) から図 7 (c) は、実施例 2 に係る圧電薄膜共振器の製造方法を示す断面図である。

【図 8】図 8 (a) 及び図 8 (b) は、スプリアスを調査したシミュレーションの結果を示す図である。

10

【図 9】図 9 (a) 及び図 9 (b) は、分散曲線を調査したシミュレーションの結果を示す図である。

【図 10】図 10 は、挿入膜に様々な材料を用いた圧電薄膜共振器の共振領域内の外周領域での厚み縦振動モードの分散曲線を調査したシミュレーションの結果を示す図である。

【図 11】図 11 (a) 及び図 11 (b) は、シミュレーションに用いた圧電薄膜共振器を示す断面図である。

【図 12】図 12 (a) は、挿入膜が設けられていない圧電薄膜共振器の共振周波数付近の反射特性のシミュレーションの結果を示す図、図 12 (b) から図 12 (f) は、挿入膜に様々な材料を用いた圧電薄膜共振器の共振周波数付近の反射特性のシミュレーションの結果を示す図 (その 1) である。

20

【図 13】図 13 (a) から図 13 (c) は、挿入膜に様々な材料を用いた圧電薄膜共振器の共振周波数付近の反射特性のシミュレーション結果を示す図 (その 2) である。

【図 14】図 14 (a) は、実施例 2 の変形例 1 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 14 (b) は、図 14 (a) の A - A 間の断面図である。

【図 15】図 15 (a) は、実施例 2 の変形例 2 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 15 (b) は、図 15 (a) の A - A 間の断面図である。

【図 16】図 16 (a) は、実施例 2 の変形例 3 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 16 (b) は、図 16 (a) の A - A 間の断面図である。

【図 17】図 17 (a) は、実施例 2 の変形例 4 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 17 (b) は、図 17 (a) の A - A 間の断面図である。

30

【図 18】図 18 (a) は、実施例 2 の変形例 5 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 18 (b) は、図 18 (a) の A - A 間の断面図である。

【図 19】図 19 (a) は、実施例 3 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 19 (b) は、図 19 (a) の A - A 間の断面図である。

【図 20】図 20 (a) は、実施例 4 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 20 (b) は、図 20 (a) の A - A 間の断面図である。

【図 21】図 21 (a) は、実施例 5 に係る圧電薄膜共振器の上面図、図 21 (b) は、図 21 (a) の A - A 間の断面図である。

【図 22】図 22 は、実施例 6 に係る圧電薄膜共振器の断面図である。

【図 23】図 23 は、実施例 7 に係る圧電薄膜共振器の断面図である。

40

【図 24】図 24 は、実施例 8 に係るフィルタを示す図である。

【図 25】図 25 は、実施例 9 に係る分波器を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、図面を参照して、本発明の実施例について説明する。

【実施例 1】

【0025】

まず、図 1 を用いて、圧電膜の分散関係 $k(\omega)$ について説明する。図 1 の縦軸は角周波数 ω であり、縦軸より右側にある横軸は波数 k の実数を示し、左側にある横軸は波数 k の虚数を示す。波数 k が虚数の場合には、圧電膜を伝搬する弾性波は指数関数的に減衰す

50

る。また、波数 k が 0 (ゼロ) は遮断周波数を表していて、これは圧電薄膜共振器の共振に主に寄与する厚み縦振動モードの共振周波数である。図 1 のように、ポアソン比が 0.33 より大きいタイプ I の材料を圧電膜に用いた場合、厚み縦振動モードに加えて付随的に発生する横モードは遮断周波数よりも高い周波数に存在することが分かる。タイプ I の材料として、例えば酸化亜鉛 (ZnO) がある。一方、ポアソン比が 0.33 以下のタイプ II の材料を圧電膜に用いた場合、横モードは遮断周波数よりも低い周波数に存在することが分かる。タイプ II の材料として、例えば窒化アルミニウム (AlN) がある。

【0026】

図 1 では、圧電薄膜共振器の共振に主に寄与する厚み縦振動モード S1 の分散曲線の波数 k の小さい部分のみを図示している。図 2 は、圧電膜に AlN を用いた場合の分散特性を波数 k の実数の大きい範囲まで示した図である。図 2 のように、モード S1 の分散曲線は、波数 k_1 までは単調に周波数が減少し、波数 k_1 を超えると周波数は単調に増加するようになる。また、モード S1 の他にも、モード S0、モード A1、及びモード A0 などの多くのモードが存在することが分かる。モード A0 は、非対称モードの基底モードである。モード S0 は、対称モードの基底モードである。モード A1 は、非対称モードの 1 次モードである。モード S1 は、上述したように、圧電薄膜共振器の共振に主に寄与する主モードである。

【0027】

図 3 (a) は、比較例 1 に係る圧電薄膜共振器 1000 の断面図、図 3 (b) は、共振領域 68 の中央領域 68a と外周領域 68b とでの厚み縦振動モードの分散曲線を示す図である。図 3 (a) のように、比較例 1 の圧電薄膜共振器 1000 は、基板 60 上に下部電極 62 が形成されている。基板 60 及び下部電極 62 上に、AlN からなる圧電膜 64 が形成されている。圧電膜 64 を挟み下部電極 62 と対向する領域 (共振領域 68) を有するように、圧電膜 64 上に上部電極 66 が形成されている。共振領域 68 は、厚み縦振動モードが共振する領域である。基板 60 の共振領域 68 を含む領域に、空隙 70 が形成されている。

【0028】

共振領域 68 内の外周領域 68b の上部電極 66 は、共振領域 68 の中央領域 68a の上部電極 66 に比べ薄くなっている。このため、外周領域 68b の遮断周波数は、中央領域 68a の遮断周波数よりも高くなっている。

【0029】

図 3 (b) のように、外周領域 68b の遮断周波数が中央領域 68a の遮断周波数よりも高いため、外周領域 68b でのモード S1 の分散曲線は中央領域 68a でのモード S1 の分散曲線よりも高周波数側に移動する。これにより、中央領域 68a の共振周波数よりも低い周波数 f_0 における波数は、外周領域 68b では中央領域 68a に比べて実数値が大きくなる。このため、中央領域 68a の共振周波数より低い周波数を有して横方向に伝搬する弾性波は、中央領域 68a から外部に漏れ易くなる。これにより、共振特性において横モードに起因したスプリアスの発生を抑制できる。しかしながら、中央領域 68a から外部に弾性波が漏れることから、共振周波数から反共振周波数の広い範囲にわたって Q 値が低下してしまう。

【0030】

図 4 (a) は、比較例 2 に係る圧電薄膜共振器 1100 の断面図、図 4 (b) は、共振領域 68 の中央領域 68a と第 1 外周領域 68c と第 2 外周領域 68d とでの厚み縦振動モードの分散曲線を示す図である。図 4 (a) のように、比較例 2 の圧電薄膜共振器 1100 では、共振領域 68 内の外周領域 68b は、中央領域 68a よりも上部電極 66 が薄い第 1 外周領域 68c と、中央領域 68a よりも上部電極 66 が厚い第 2 外周領域 68d とで構成されている。このため、第 1 外周領域 68c の遮断周波数は、中央領域 68a の遮断周波数よりも高くなっている。第 2 外周領域 68d の遮断周波数は、中央領域 68a の遮断周波数よりも低くなっている。

【0031】

10

20

30

40

50

図4(b)のように、第1外周領域68cの遮断周波数が中央領域68aの遮断周波数よりも高いために、第1外周領域68cでのモードS1の分散曲線は中央領域68aでのモードS1の分散曲線よりも高周波数側に移動する。第2外周領域68dの遮断周波数が中央領域68aの遮断周波数よりも低いために、第2外周領域68dでのモードS1の分散曲線は中央領域68aでのモードS1の分散曲線よりも低周波数側に移動する。これにより、中央領域68aの共振周波数よりも低い周波数 f_0 における波数は、第1外周領域68cでは中央領域68aに比べて実数値が大きくなり、第2外周領域68dでは虚数値となる。このため、中央領域68aの共振周波数よりも低い周波数を有して横方向に伝搬する弾性波は、中央領域68aから第1外周領域68cに漏れ易くなると共に、第2外周領域68dで漏れが抑制される。横方向に伝搬する弾性波が第1外周領域68cに漏れ易くなることで、共振特性において横モードに起因したスプリアスの発生を抑制でき、且つ、第2外周領域68dで横方向に伝搬する弾性波が反射されることで、共振周波数から反共振周波数の間でのQ値の劣化を抑制できる。しかしながら、遮断周波数が高い第1外周領域68cと遮断周波数が低い第2外周領域68dとを設けているため、中央領域68aの面積が小さくなり、電気機械結合係数 k_2 が低下してしまう。

【0032】

図5(a)は、実施例1に係る圧電薄膜共振器100の断面図、図5(b)は、共振領域20の中央領域20aと外周領域20bとでの厚み縦振動モードの分散曲線を示す図である。図5(a)のように、実施例1の圧電薄膜共振器100は、例えばシリコン(Si)基板からなる基板10上に、下部電極12が形成されている。下部電極12は、例えばクロム(Cr)膜やルテニウム(Ru)膜など金属膜である。基板10及び下部電極12上に、ポアソン比が0.33以下の圧電膜14が形成されている。圧電膜14は、例えばAlNからなる。圧電膜14を挟み下部電極12と対向する領域(共振領域20)を有するように、圧電膜14上に上部電極16が形成されている。上部電極16は、例えばCr膜やRu膜などの金属膜である。共振領域20は、厚み縦振動モードが共振する領域である。基板10の共振領域20を含む領域に、空隙22が形成されている。

【0033】

圧電膜14内には、共振領域20内の外周領域20bに挿入膜18が形成されている。挿入膜18は、共振領域20の中央領域20aには形成されていない。挿入膜18は、例えば二酸化シリコン(SiO_2)膜である。なお、共振領域20内の外周領域20bとは、共振領域20内の領域であって、共振領域20の外周を含み、外周に沿った領域である。共振領域20の中央領域20aとは、共振領域20内の領域であって、外周領域20bよりも内側部分であり、共振領域20の中央を含む領域である。

【0034】

外周領域20bの上部電極16は、中央領域20aの上部電極16に比べて薄くなっている。これにより、共振領域20における下部電極12、圧電膜14、挿入膜18、及び上部電極16を含む積層膜の厚さは、外部領域20bで中央領域20aよりも薄くなっている。外周領域20bに挿入膜18が形成され且つ外周領域20bの上部電極16が薄くなっていることで、中央領域20aと外周領域20bとで遮断周波数が同一又はほぼ同一となっている。

【0035】

図5(b)のように、モードS1の分散曲線は、中央領域20aと外周領域20bとで形状が異なっている。外周領域20bでのモードS1の分散曲線は、中央領域20aでのモードS1の分散曲線に比べて、極小周波数付近の曲率が大きくなっている。これは、外周領域20bの圧電膜14内に挿入膜18が形成されているため、下部電極12と上部電極16とで挟まれた材料のポアソン比が、中央領域20aと外周領域20bとで異なるためである。

【0036】

中央領域20aでのモードS1の分散曲線と外周領域20bでのモードS1の分散曲線の形状を制御することで、中央領域20aの共振周波数よりも低い周波数 f_0 における波数

10

20

30

40

50

の実数値を、外周領域 20 b で中央領域 20 a よりも大きくすることができる。言い換えると、モード S 1 の分散曲線の傾きがゼロとなる周波数を制御することで、中央領域 20 a の共振周波数より低い周波数 f 0 における波数の実数値を、外周領域 20 b で中央領域 20 a よりも大きくすることができる。このため、中央領域 20 a の共振周波数より低い周波数を有して横方向に伝搬する弾性波は、中央領域 20 a から外部に漏れ易くなり、共振特性において横モードに起因したスプリアスの発生を抑制できる。また、挿入膜 18 を設けることで、共振周波数から反共振周波数の間でのモード S 0 の弾性波の発生を弱めることができる。モード S 0 の弾性波の発生自体が弱まることから、弾性波の漏れも弱められ、その結果、共振周波数から反共振周波数の間での Q 値の劣化を抑制することができる。また、中央領域 20 a の遮断周波数と外周領域 20 b の遮断周波数を同一又は同等に近づけることができるため、電気機械結合係数 k 2 の劣化を抑制することができる。

10

【0037】

以上のように、実施例 1 によれば、図 5 (a) のように、共振領域 20 内の外周領域 20 b に挿入膜 18 が設けられ、且つ、外周領域 20 b の上部電極 16 が中央領域 20 a に比べて薄くなっている。これによって、図 5 (a) 及び図 5 (b) のように、外周領域 20 b と中央領域 20 a の遮断周波数がほぼ同じで、外周領域 20 b における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差が、中央領域 20 a における遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差よりも小さくなっている。これにより、上述したように、Q 値及び電気機械結合係数 k 2 の劣化を抑制しつつ、スプリアスを抑制することができる。なお、遮断周波数がほぼ同じとは、完全に同じ場合の他に、電気機械結合係数 k 2 の劣化を抑制できる程度に同じ場合を含む。

20

【実施例 2】

【0038】

図 6 (a) は、実施例 2 に係る圧電薄膜共振器 200 の上面図、図 6 (b) 及び図 6 (c) は、図 6 (a) の A - A 間の断面図である。図 6 (b) は、ラダー型フィルタの直列共振子 S の断面図、図 6 (c) は、ラダー型フィルタの並列共振子 P の断面図である。

【0039】

図 6 (a) 及び図 6 (b) のように、直列共振子 S は、基板 10 上に、下部電極 12 が形成されている。基板 10 の平坦主面と下部電極 12 との間に、下部電極 12 側にドーム状の膨らみを有する空隙 22 が形成されている。ドーム状の膨らみとは、例えば空隙 22 の周辺では空隙 22 の高さが低く、空隙 22 の内部ほど空隙 22 の高さが高くなるような形状の膨らみである。下部電極 12 は、下層 12 a と上層 12 b とを含む。下層 12 a は、例えば Cr 膜であり、上層 12 b は、例えば Ru 膜である。

30

【0040】

基板 10 及び下部電極 12 上に、(002) 方向を主軸とする A 1 N を主成分とする圧電膜 14 が形成されている。圧電膜 14 を挟み下部電極 12 と対向する領域 (共振領域 20) を有するように、圧電膜 14 上に上部電極 16 が形成されている。上部電極 16 は、下層 16 a と上層 16 b とを含む。下層 16 a は、例えば Ru 膜であり、上層 16 b は、例えば Cr 膜である。共振領域 20 は、例えば楕円形状を有し、厚み縦振動モードが共振する領域である。

40

【0041】

圧電膜 14 内には、共振領域 20 内の外周領域 20 b に挿入膜 18 が形成されている。挿入膜 18 は、共振領域 20 の中央領域 20 a には形成されていない。挿入膜 18 は、例えば SiO₂ 膜である。挿入膜 18 は、共振領域 20 内の外周領域 20 b の全周にわたって形成されていて、外周領域 20 b から共振領域 20 の外側にまで延在して形成されている。挿入膜 18 は、圧電膜 14 の膜厚方向の中央部分に形成されていてもよいし、中央部分以外に形成されていてもよい。なお、実施例 1 に記載したように、外周領域 20 b とは、共振領域 20 内の領域であって、共振領域 20 の外周を含み外周に沿った領域である。外周領域 20 b は、例えばリング状をしている。共振領域 20 の中央領域 20 a とは、共振領域 20 内の領域であって、外周領域 20 b よりも内側部分であり、共振領域 20 の中

50

央を含む領域である。

【0042】

外周領域20bの上部電極16は、外周領域20bの全周にわたって、中央領域20aの上部電極16に比べて薄くなっている。例えば、上部電極16の下層16aの厚さが、中央領域20aよりも外周領域20bで薄くなっていて、上部電極16の上層16bの厚さは、中央領域20aと外周領域20bとで同じになっている。上部電極16上に、周波数調整膜24として酸化シリコン膜が形成されている。なお、周波数調整膜24は、パッシベーション膜として機能してもよい。上部電極16が中央領域20aよりも外周領域20bで薄いことで、共振領域20における下部電極12、圧電膜14、挿入膜18、上部電極16、及び周波数調整膜24を含む積層膜の厚さは、外部領域20bで中央領域20aよりも薄くなっている。

10

【0043】

下部電極12及び圧電膜14には、犠牲層をエッチングするための導入路28が形成されている。犠牲層は、空隙22を形成するための層である。導入路28の先端付近は、下部電極12及び圧電膜14で覆われておらず、孔部30が形成されている。

【0044】

図6(a)及び図6(c)のように、並列共振子Pは、直列共振子Sと比較し、上部電極16の下層16aと上層16bとの間であって、共振領域20に、質量負荷膜26が形成されている。質量負荷膜26は、例えばチタン(Ti)膜である。その他の構成は、直列共振子Sと同じであるため説明を省略する。

20

【0045】

直列共振子Sと並列共振子Pとの間の共振周波数の差は、質量負荷膜26の膜厚によって調整できる。直列共振子Sと並列共振子Pの両方の共振周波数の調整は、周波数調整膜24の膜厚によって行うことができる。

【0046】

例えば2GHzの共振周波数を有する圧電薄膜共振器の場合、下部電極12のCr膜からなる下層12aの厚さは100nm、Ru膜からなる上層12bの厚さは250nmである。AlN膜からなる圧電膜14の厚さは1100nmであり、圧電膜14内の挿入膜18の厚さは150nmである。上部電極16のRu膜からなる下層16aの厚さは、共振領域20の中央領域20aで230nm、外周領域20bで50nmである。上部電極16のCr膜からなる上層16bの厚さは50nmである。酸化シリコン膜からなる周波数調整膜24の厚さは50nmである。Ti膜からなる質量負荷膜26の厚さは120nmである。なお、各層の厚さは、所望の共振特性を得るために適宜設計することができる。

30

【0047】

基板10としては、Si基板以外に、例えば石英基板、ガラス基板、セラミック基板、又はガリウム砒素(GaAs)基板などを用いることができる。下部電極12及び上部電極16としては、Cr及びRu以外にも、例えばアルミニウム(Al)、チタン(Ti)、銅(Cu)、モリブデン(Mo)、タングステン(W)、タンタル(Ta)、白金(Pt)、ロジウム(Rh)、又はイリジウム(Ir)などの金属単層膜又はこれらの積層膜を用いることができる。圧電膜14は、ポアソン比が0.33以下の材料であれば、AlN以外の材料を用いることができる。また、圧電膜14は、AlNを主成分とし、共振特性の向上又は圧電性の向上のために、他の元素を含んでもよい。例えば、添加元素としてスカンジウム(Sc)を用いることにより、圧電膜14の圧電性を向上できる。

40

【0048】

周波数調整膜24としては、酸化シリコン膜以外にも、窒化シリコン膜又は窒化アルミニウム膜などを用いることができる。質量負荷膜26としては、Ti以外にも、Ru、Cr、Al、Cu、Mo、W、Ta、Pt、Rh、又はIrなどの金属単層膜又はこれらの積層膜を用いることができる。また、例えば窒化シリコン又は酸化シリコンなどの窒化金属又は酸化金属からなる絶縁膜を用いることもできる。質量負荷膜26は、上部電極16

50

の層間以外にも、例えば下部電極 1 2 の下、下部電極 1 2 の層間、上部電極 1 6 の上、下部電極 1 2 と圧電膜 1 4 の間、又は圧電膜 1 4 と上部電極 1 6 の間に形成することができる。質量負荷膜 2 6 は、共振領域 2 0 を含むように形成されていれば、共振領域 2 0 より大きくてもよい。

【 0 0 4 9 】

次に、実施例 2 の圧電薄膜共振器 2 0 0 の製造方法を、直列共振子 S の場合を例に説明する。図 7 (a) から図 7 (c) は、実施例 2 に係る圧電薄膜共振器 2 0 0 の製造方法を示す断面図である。図 7 (a) のように、基板 1 0 の平坦主面上に空隙 2 2 を形成するために犠牲層 3 2 を成膜する。犠牲層 3 2 は、例えばスパッタリング法、真空蒸着法、又は C V D (Chemical Vapor Deposition) 法を用い成膜される。犠牲層 3 2 は、例えば酸化マグネシウム (M g O)、酸化亜鉛 (Z n O)、ゲルマニウム (G e)、又は二酸化シリコン (S i O ₂) などのエッチング液又はエッチングガスに容易に溶解する材料を用いることができる。犠牲層 3 2 の厚さは、例えば 1 0 n m ~ 1 0 0 n m 程度である。その後、犠牲層 3 2 を、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて、所望の形状にパターンニングする。犠牲層 3 2 の形状は、空隙 2 2 の平面形状に相当する形状であり、例えば共振領域 2 0 となる領域を含む。

10

【 0 0 5 0 】

次に、犠牲層 3 2 及び基板 1 0 上に、下部電極 1 2 として下層 1 2 a 及び上層 1 2 b を成膜する。下部電極 1 2 は、例えばスパッタリング法、真空蒸着法、又は C V D 法を用い成膜される。その後、下部電極 1 2 を、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて、所望の形状にパターンニングする。なお、下部電極 1 2 をリフトオフ法によって形成してもよい。

20

【 0 0 5 1 】

図 7 (b) のように、下部電極 1 2 及び基板 1 0 上に、第 1 圧電膜 1 4 a と挿入膜 1 8 を成膜する。第 1 圧電膜 1 4 a と挿入膜 1 8 は、例えばスパッタリング法、真空蒸着法、又は C V D 法を用い成膜される。その後、挿入膜 1 8 を、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて、所望の形状にパターンニングする。なお、挿入膜 1 8 をリフトオフ法によって形成してもよい。

【 0 0 5 2 】

図 7 (c) のように、第 1 圧電膜 1 4 a 及び挿入膜 1 8 上に、第 2 圧電膜 1 4 b を成膜する。第 2 圧電膜 1 4 b は、例えばスパッタリング法、真空蒸着法、又は C V D 法を用い成膜される。第 1 圧電膜 1 4 a 及び第 2 圧電膜 1 4 b から圧電膜 1 4 が形成される。圧電膜 1 4 上に、上部電極 1 6 として下層 1 6 a 及び上層 1 6 b を成膜する。上部電極 1 6 は、例えばスパッタリング法、真空蒸着法、又は C V D 法を用い成膜される。ここで、上部電極 1 6 の下層 1 6 a は、共振領域 2 0 の中央領域 2 0 a と外周領域 2 0 b とで膜厚を異ならせるように形成する。形成方法は、相対的に膜厚が薄い外周領域 2 0 b における厚さで下層 1 6 a を全面に成膜した後、中央領域 2 0 a に下層 1 6 a を追加で成膜してもよい。若しくは、相対的に膜厚が厚い中央領域 2 0 a における厚さで下層 1 6 a を全面に成膜した後、外周領域 2 0 b に成膜された下層 1 6 a に対してエッチングを行うことで形成してもよい。その後、上部電極 1 6 を、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて、所望の形状にパターンニングする。上部電極 1 6 上に、例えばスパッタリング法又は C V D 法を用いて周波数調整膜 2 4 を成膜する。

30

40

【 0 0 5 3 】

なお、図 6 (c) の並列共振子 P においては、上部電極 1 6 の下層 1 6 a を形成した後、質量負荷膜 2 6 を、例えばスパッタリング法、真空蒸着法、又は C V D 法を用い成膜する。質量負荷膜 2 6 をフォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて、所望の形状にパターンニングする。その後、上部電極 1 6 の上層 1 6 b を形成する。

【 0 0 5 4 】

周波数調整膜 2 4 を形成した後、孔部 3 0 及び導入路 2 8 (図 6 (a) 参照) を介し、犠牲層 3 2 のエッチング液を、下部電極 1 2 下の犠牲層 3 2 に導入する。これにより、犠

50

性層 3 2 が除去される。犠牲層 3 2 をエッチングする媒体としては、犠牲層 3 2 以外の共振器を構成する材料をエッチングしない媒体であることが好ましい。例えば、エッチング媒体は、エッチング媒体が接触する下部電極 1 2 及び圧電膜 1 4 がエッチングされない媒体であることが好ましい。下部電極 1 2、圧電膜 1 4、及び上部電極 1 6 を含む積層膜の応力を圧縮応力となるように設定しておくことにより、犠牲層 3 2 が除去されると、積層膜が基板 1 0 の反対側に基板 1 0 から離れるように膨れる。これにより、基板 1 0 と下部電極 1 2 の間にドーム状の膨らみを有する空隙 2 2 が形成される。以上の工程を含んで、実施例 2 の圧電薄膜共振器 2 0 0 が形成される。

【 0 0 5 5 】

次に、実施例 2 の圧電薄膜共振器 2 0 0 に対して発明者が行ったシミュレーションについて説明する。発明者は、図 6 (a) 及び図 6 (b) に示す実施例 2 の圧電薄膜共振器 2 0 0 に対し、外周領域 2 0 b の上部電極 1 6 の膜厚が共振周波数よりも低周波数側に発生するスプリアスに及ぼす影響について有限要素法を用いて調査した。シミュレーションは、第 1、第 2 試験体 (実施例 2) 及び第 3 試験体 (比較例 3) に対して行った。

【 0 0 5 6 】

第 1 試験体は、下部電極 1 2 の下層 1 2 a を厚さ 1 0 0 n m の C r 膜、上層 1 2 b を厚さ 2 0 0 n m の R u 膜とし、圧電膜 1 4 を厚さ 1 2 6 0 n m の A l N 膜とした。上部電極 1 6 は R u 膜からなる下層 1 6 a のみで構成され、中央領域 2 0 a における厚さを 2 3 0 n m とし、外周領域 2 0 b における厚さを 5 0 n m とした。挿入膜 1 8 は、厚さ 1 2 5 n m の S i O ₂ 膜とし、共振領域 2 0 に挿入されている長さ (すなわち、外周領域 2 0 b の幅) を 2 . 5 μ m とした。

【 0 0 5 7 】

第 2 試験体は、外周領域 2 0 b における上部電極 1 6 の厚さを 6 0 n m とし、その他は、第 1 試験体と同じにした。第 3 試験体は、外周領域 2 0 b における上部電極 1 6 の厚さを、中央領域 2 0 a における厚さと同じ 2 3 0 n m とし、その他は、第 1 試験体と同じにした。

【 0 0 5 8 】

表 1 に、第 1 ~ 第 3 試験体の共振領域 2 0 の中央領域 2 0 a と外周領域 2 0 b との遮断周波数のシミュレーション結果を示す。表 1 のように、第 1 試験体では、中央領域 2 0 a と外周領域 2 0 b の遮断周波数が同じ値となり、第 2 試験体では、中央領域 2 0 a と外周領域 2 0 b の遮断周波数が近い値になった。第 3 試験体では、中央領域 2 0 a と外周領域 2 0 b の遮断周波数は離れた値となった。

【表 1】

	中央領域の 遮断周波数 [MHz]	外周領域の 遮断周波数 [MHz]
第1試験体(実施例2)	2010	2010
第2試験体(実施例2)	2010	1978
第3試験体(比較例3)	2010	1616

【 0 0 5 9 】

図 8 (a) 及び図 8 (b) は、スプリアスを調査したシミュレーションの結果を示す図である。図 8 (a) は、共振周波数付近の反射特性 (S 1 1) であり、図 8 (b) は、スミスチャートである。第 1 試験体のシミュレーション結果を実線で示し、第 2 試験体のシミュレーション結果を一点鎖線で示し、第 3 試験体のシミュレーション結果を点線で示している。表 1 及び図 8 (a)、図 8 (b) のように、上部電極 1 6 の厚さを中央領域 2 0 a よりも外周領域 2 0 b で薄くして中央領域 2 0 a と外周領域 2 0 b の遮断周波数を近づけることにより、共振周波数よりも低周波数側に発生するスプリアスを低減できることが確認できた。

【 0 0 6 0 】

次に、発明者は、第1試験体に対して、中央領域20aと外周領域20bとでの厚み縦振動モードの分散曲線について有限要素法を用いて調査した。図9(a)及び図9(b)は、分散曲線を調査したシミュレーションの結果を示す図である。図9(a)は、中央領域20aでの厚み縦振動モードの分散曲線を示し、図9(b)は、外周領域20bでの厚み縦振動モードの分散曲線を示している。図9(a)及び図9(b)のように、波数が0(ゼロ)である遮断周波数は共に2010MHzであり、モードS1の分散曲線の極小周波数(傾きがゼロとなる周波数)はそれぞれ約1905MHz、約1935MHzであった。このことから、外周領域20bにおける遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差を、中央領域20aにおける遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差よりも小さくすることで、共振周波数よりも低周波数側に発生するスプリアスを低減できることが確認できた。

10

【 0 0 6 1 】

したがって、外周領域20bに挿入膜18を形成し且つ外周領域20bの上部電極16の膜厚を中央領域20aよりも薄くして、外周領域20bと中央領域20aの遮断周波数をほぼ同じにし、外周領域20bにおける遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差を、中央領域20aにおける遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差よりも小さくする。これにより、スプリアスを抑制できることがシミュレーションからも確認できた。

20

【 0 0 6 2 】

次に、発明者は、第1試験体に対して、反共振周波数のQ値及び電気機械結合係数k2について有限要素法を用いて調査した。また、比較のために、図4(a)に示した比較例2の圧電薄膜共振器1100である第4試験体に対してもシミュレーションを行った。第4試験体は、上部電極66の厚さは、中央領域68aで230nm、第1外周領域68cで220nm、第2外周領域68dで330nmとした。また、第1外周領域68cの長さを4.0μm、第2外周領域68dの長さを2.5μmとした。その他は、第1試験体と同じにした。表2に、反共振周波数のQ値及び電気機械結合係数k2のシミュレーション結果を示す。表2のように、第1試験体は、第4試験体に比べて、反共振周波数のQ値及び電気機械結合係数k2が改善された結果となった。

30

【表2】

	反共振周波数のQ値	電気機械結合係数k2[%]
第1試験体(実施例2)	1467	7.18
第4試験体(比較例2)	1354	7.08

【 0 0 6 3 】

したがって、外周領域20bに挿入膜18を形成し且つ外周領域20bの上部電極16の膜厚を中央領域20aよりも薄くして、外周領域20bと中央領域20aの遮断周波数をほぼ同じにし、外周領域20bにおける遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差を、中央領域20aにおける遮断周波数と厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数との差よりも小さくする。これにより反共振周波数のQ値及び電気機械結合係数k2を改善できることがシミュレーションからも確認できた。

40

【 0 0 6 4 】

次に、発明者は、挿入膜18に様々な材料を用いた圧電薄膜共振器の外周領域20bでの厚み縦振動モードの分散曲線について有限要素法を用いて調査した。シミュレーションに用いた圧電薄膜共振器は、挿入膜18以外は第1試験体と同じにした。挿入膜18は、厚さ125nm、長さ1.9μmとした。表3は、シミュレーションに用いた挿入膜18の種類とそれぞれの材料定数とを示している。なお、表3では、音響インピーダンスは、密度とヤング率の積に対してAlNの音響インピーダンスで規格化した値を示している。表3のように、挿入膜18に、SiO₂、Ru、Cr、Ti、Al、Ta、W、又はMo

50

を用いてシミュレーションを行った。

【表 3】

挿入膜	密度 [g/cm ³]	ポアソン比	ヤング率 [GPa]	音響インピーダンス
SiO ₂	2.2	0.175	79	0.17
Ru	12.37	0.3	447	5.47
Cr	7.14	0.21	279	1.97
Ti	4.507	0.32	116	0.52
Al	2.7	0.35	70	0.19
Ta	16.65	0.34	186	3.06
W	19.25	0.28	411	7.83
Mo	10.28	0.28	329	3.35
AlN	3.26	0.25	310	1

10

【0065】

図10は、挿入膜18に様々な材料を用いた圧電薄膜共振器の共振領域20内の外周領域20bでの厚み縦振動モードの分散曲線を調査したシミュレーションの結果を示す図である。なお、共振領域20の中央領域20aでの厚み縦振動モードの分散曲線を太破線で示している。図10のように、挿入膜18がSiO₂又はAlである場合に、外周領域20bでの厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数が、中央領域20aでの厚み縦振動モードの分散曲線の極小周波数よりも高周波数側に移動していることが分かる。

20

【0066】

次に、発明者は、挿入膜18に様々な材料を用いた圧電薄膜共振器の共振周波数付近の反射特性(S11)について有限要素法を用いて調査した。また、比較のために、挿入膜18が設けられていない圧電薄膜共振器の共振周波数付近の反射特性(S11)についても調査した。図11(a)及び図11(b)は、シミュレーションに用いた圧電薄膜共振器を示す断面図である。図11(a)のように、Siからなる基板10上の下部電極12の下層12aを厚さ100nmのCr膜とし、上層12bを厚さ200nmのRu膜とした。圧電膜14を厚さ1260nmのAlN膜とした。上部電極16はRu膜のみで構成され、中央領域20aにおける厚さは230nmとし、外周領域20bにおける厚さは、外周領域20bの遮断周波数が中央領域20aの遮断周波数と一致するようにした。挿入膜18は、厚さ125nm、長さ1.9μmとした。図11(b)のように、挿入膜18が設けられていない圧電薄膜共振器は、上部電極16はRu膜のみで構成され、厚さを230nmと一定にした。その他は、図11(a)と同じである。

30

【0067】

図12(a)は、挿入膜18が設けられていない圧電薄膜共振器の共振周波数付近の反射特性(S11)のシミュレーションの結果を示す図である。図12(b)から図13(c)は、挿入膜18に様々な材料を用いた圧電薄膜共振器の共振周波数付近の反射特性(S11)のシミュレーションの結果を示す図である。図12(a)から図13(c)のように、挿入膜18がSiO₂膜、Ti膜、又はAl膜である場合に、共振周波数以下のスプリアスを抑制できることが分かった。特に、挿入膜18がSiO₂膜である場合に、共振周波数以下のスプリアスを大きく抑制できることが分かった。

40

【0068】

したがって、挿入膜18は、スプリアスを抑制する点から、Ti、Alのような、AlNよりも音響インピーダンスの小さい膜であることが好ましく、SiO₂のような、AlNよりも音響インピーダンスが小さく且つポアソン比が小さい膜であることがより好まし

50

い。また、挿入膜 18 は、他の元素を含む酸化シリコン膜であってもよい。他の元素として、例えばフッ素又はボロンなどが挙げられる。このような元素を含む酸化シリコン膜の場合でも、AlN よりも音響インピーダンスが小さく且つポアソン比が小さくなる。

【0069】

実施例 2 によれば、図 6 (a) から図 6 (c) のように、挿入膜 18 は、外周領域 20 b の全周にわたって形成され、且つ、外周領域 20 b の全周における上部電極 16 は、中央領域 20 a の上部電極 16 に比べて薄くなっている。これにより、スプリアスを効果的に抑制することができる。

【0070】

図 14 (a) は、実施例 2 の変形例 1 に係る圧電薄膜共振器 210 の上面図、図 14 (b) は、図 14 (a) の A - A 間の断面図である。なお、図 14 (b) はラダー型フィルタの直列共振子 S の断面図であり、並列共振子 P については、図 6 (c) と同様、図 14 (a) の上部電極 16 の層間に質量負荷膜 26 が設けられた構造であるため図示を省略する (実施例 2 の変形例 2 から実施例 5 においても同じ)。

10

【0071】

図 14 (a) 及び図 14 (b) のように、実施例 2 の変形例 1 の圧電薄膜共振器 210 では、上部電極 16 は、共振領域 20 内の外周領域 20 b だけでなく、外周領域 20 b から共振領域 20 の外側にかけて薄くなっている。その他の構成は、実施例 2 の圧電薄膜共振器 200 と同じであるため説明を省略する。

【0072】

図 15 (a) は、実施例 2 の変形例 2 に係る圧電薄膜共振器 220 の上面図、図 15 (b) は、図 15 (a) の A - A 間の断面図である。図 15 (a) 及び図 15 (b) のように、実施例 2 の変形例 2 の圧電薄膜共振器 220 では、挿入膜 18 は、圧電膜 14 の上面に形成されている。言い換えると、挿入膜 18 は、圧電膜 14 と上部電極 16 の間に形成されている。その他の構成は、実施例 2 の圧電薄膜共振器 200 と同じであるため説明を省略する。

20

【0073】

図 16 (a) は、実施例 2 の変形例 3 に係る圧電薄膜共振器 230 の上面図、図 16 (b) は、図 16 (a) の A - A 間の断面図である。図 16 (a) 及び図 16 (b) のように、実施例 2 の変形例 3 の圧電薄膜共振器 230 では、挿入膜 18 は、圧電膜 14 の下面に形成されている。言い換えると、挿入膜 18 は、圧電膜 14 と下部電極 12 の間に形成されている。その他の構成は、実施例 2 の圧電薄膜共振器 200 と同じであるため説明を省略する。

30

【0074】

実施例 2、実施例 2 の変形例 2、及び実施例 2 の変形例 3 のように、挿入膜 18 は、圧電膜 14 内に形成されてもよいし、圧電膜 14 の上面又は下面に形成されてもよい。また、挿入膜 18 が、圧電膜 14 内、圧電膜 14 の上面、及び圧電膜 14 の下面の複数に形成されてもよい。

【0075】

図 17 (a) は、実施例 2 の変形例 4 に係る圧電薄膜共振器 240 の上面図、図 17 (b) は、図 17 (a) の A - A 間の断面図である。図 17 (a) 及び図 17 (b) のように、実施例 2 の変形例 4 の圧電薄膜共振器 240 では、挿入膜 18 は、共振領域 20 内の外周領域 20 b の一部にのみ設けられている。その他の構成は、実施例 2 の圧電薄膜共振器 200 と同じであるため説明を省略する。

40

【0076】

図 18 (a) は、実施例 2 の変形例 5 に係る圧電薄膜共振器 250 の上面図、図 18 (b) は、図 18 (a) の A - A 間の断面図である。図 18 (a) 及び図 18 (b) のように、実施例 2 の変形例 5 の圧電薄膜共振器 250 では、上部電極 16 は、共振領域 20 内の外周領域 20 b の一部でのみ薄くなっている。その他の構成は、実施例 2 の圧電薄膜共振器 200 と同じであるため説明を省略する。

50

【 0 0 7 7 】

なお、実施例 2 から実施例 2 の変形例 5 では、外周領域 2 0 b の上部電極 1 6 の下層 1 6 a が中央領域 2 0 a よりも薄い場合を例に示したが、外周領域 2 0 b の上部電極 1 6 の上層 1 6 b が薄い場合でもよいし、下層 1 6 a と上層 1 6 b の両方が薄い場合でもよい。また、上部電極 1 6 は、下層 1 6 a と上層 1 6 b の 2 層構造の場合に限られず、単層構造の場合や、3 層以上の層構造の場合でもよい。下部電極 1 2 も同様に、単層構造や 3 層以上の層構造の場合でもよい。

【 実施例 3 】

【 0 0 7 8 】

図 1 9 (a) は、実施例 3 に係る圧電薄膜共振器 3 0 0 の上面図、図 1 9 (b) は、図 1 9 (a) の A - A 間の断面図である。図 1 9 (a) 及び図 1 9 (b) のように、実施例 3 の圧電薄膜共振器 3 0 0 では、共振領域 2 0 内の外周領域 2 0 b では、上部電極 1 6 の下層 1 6 a が形成されてなく、上層 1 6 b だけが形成されている。その他の構成は、実施例 2 の圧電薄膜共振器 2 0 0 と同じであるため説明を省略する。

10

【 0 0 7 9 】

実施例 3 のように、共振領域 2 0 内の外周領域 2 0 b の上部電極 1 6 が、中央領域 2 0 a の上部電極 1 6 に比べて金属層の層数が少ないことで、外周領域 2 0 b の上部電極 1 6 が中央領域 2 0 a の上部電極 1 6 よりも薄くなっている。

【 実施例 4 】

【 0 0 8 0 】

図 2 0 (a) は、実施例 4 に係る圧電薄膜共振器 4 0 0 の上面図、図 2 0 (b) は、図 2 0 (a) の A - A 間の断面図である。図 2 0 (a) 及び図 2 0 (b) のように、実施例 4 の圧電薄膜共振器 4 0 0 では、共振領域 2 0 内の外周領域 2 0 b の圧電膜 1 4 が、中央領域 2 0 a の圧電膜 1 4 よりも薄くなっている。上部電極 1 6 は、中央領域 2 0 a 及び外周領域 2 0 b で同じ厚さになっている。その他の構成は、実施例 2 の圧電薄膜共振器 2 0 0 と同じであるため説明を省略する。

20

【 実施例 5 】

【 0 0 8 1 】

図 2 1 (a) は、実施例 5 に係る圧電薄膜共振器 5 0 0 の上面図、図 2 1 (b) は、図 2 1 (a) の A - A 間の断面図である。図 2 1 (a) 及び図 2 1 (b) のように、実施例 5 の圧電薄膜共振器 5 0 0 では、共振領域 2 0 内の外周領域 2 0 b の下部電極 1 2 が、中央領域 2 0 a の下部電極 1 2 よりも薄くなっている。上部電極 1 6 は、中央領域 2 0 a 及び外周領域 2 0 b で同じ厚さになっている。その他の構成は、実施例 2 の圧電薄膜共振器 2 0 0 と同じであるため説明を省略する。

30

【 0 0 8 2 】

実施例 2 から実施例 5 のように、共振領域 2 0 内の外周領域 2 0 b の下部電極 1 2、圧電膜 1 4、及び上部電極 1 6 の少なくとも 1 つが、中央領域 2 0 a に比べて薄くなっている。外周領域 2 0 b の下部電極 1 2、圧電膜 1 4、及び上部電極 1 6 のうちの 2 以上が、中央領域 2 0 a に比べて薄くなっている。

【 0 0 8 3 】

なお、実施例 5 においても、実施例 2 の変形例 1 と同様に、下部電極 1 2 は、共振領域 2 0 内の外周領域 2 0 b だけでなく、外周領域 2 0 b から共振領域 2 0 の外側にかけて薄くなっている。実施例 2 の変形例 5 と同様に、下部電極 1 2 は、外周領域 2 0 b の一部でのみ薄くなっている。

40

【 0 0 8 4 】

なお、実施例 5 においても、実施例 3 と同様に、共振領域 2 0 内の外周領域 2 0 b の下部電極 1 2 が、中央領域 2 0 a の下部電極 1 2 に比べて金属層の層数が少ないことで、外周領域 2 0 b の下部電極 1 2 が中央領域 2 0 a の下部電極 1 2 よりも薄くなっている。すなわち、外周領域 2 0 b の上部電極 1 6 及び下部電極 1 2 の少なくとも一方が、中央領域 2 0 a の上部電極 1 6 及び下部電極 1 2 の前記少なくとも一方に比べて、金属層の

50

層数が少なくなってもよい。

【0085】

なお、実施例5では、外周領域20bの下部電極12の下層12aが中央領域20aよりも薄い場合を例に示したが、外周領域20bの下部電極12の上層12bが薄い場合でもよいし、下層12aと上層12bの両方が薄い場合でもよい。

【0086】

なお、実施例3から実施例5においても、実施例2の変形例2、変形例3と同様に、挿入膜18は、圧電膜14の上面又は下面に形成されていてもよい。

【実施例6】

【0087】

図22は、実施例6に係る圧電薄膜共振器600の断面図である。図22のように、実施例6の圧電薄膜共振器600は、基板10の主面に窪みが形成されている。下部電極12は、基板10の主面上に、ほぼ平坦に形成されている。これにより、基板10の窪みが空隙22aとして機能する。空隙22aは、共振領域20を含むように形成されている。その他の構成は、実施例2の圧電薄膜共振器200と同じであるため説明を省略する。なお、空隙22aは、基板10を貫通するように形成されていてもよい。

10

【0088】

実施例6では、実施例2の空隙22の代わりに空隙22aが形成されている場合を例に示したが、実施例2の変形例1から実施例5においても、空隙22の代わりに空隙22aが形成されている場合でもよい。

20

【実施例7】

【0089】

図23は、実施例7に係る圧電薄膜共振器700の断面図である。図23のように、実施例7の圧電薄膜共振器700は、共振領域20の下部電極12下に音響反射膜40が形成されている。音響反射膜40は、圧電膜14を伝搬する弾性波を反射する膜であり、音響インピーダンスの低い膜42と高い膜44とが交互に形成されている。音響インピーダンスの低い膜42と高い膜44の膜厚は、 $\lambda/4$ (λ は弾性波の波長)が基本であるが、所望の特性を得るために適宜変更することができる。また、音響インピーダンスの低い膜42と高い膜44の積層数は任意に設定できる。その他の構成は、実施例2の圧電薄膜共振器200と同じであるため説明を省略する。

30

【0090】

実施例7では、実施例2の空隙22の代わりに音響反射膜40が形成されている場合を例に示したが、実施例2の変形例1から実施例5においても、空隙22の代わりに音響反射膜40を形成してもよい。

【0091】

このように、圧電薄膜共振器は、実施例1から実施例6のように、共振領域20における下部電極12と基板10との間に空隙22、22aが設けられたFBAR (Film Bulk Acoustic Resonator) の場合でもよい。実施例7のように、共振領域20における下部電極12の下に音響反射膜40が設けられたSMR (Solidly Mounted Resonator) の場合でもよい。

40

【0092】

実施例2から実施例7では、共振領域20が楕円形状を有している場合を例に説明したが、四角形又は五角形等の多角形状を有している場合等、その他の形状を有している場合でもよい。

【実施例8】

【0093】

図24は、実施例8に係るフィルタ800を示す図である。図24のように、実施例8のフィルタ800は、入出力端子T1、T2の間に直列に接続された1又は複数の直列共振器S1~S4と、並列に接続された1又は複数の並列共振器P1~P4と、を備えたラダー型フィルタである。直列共振器S1~S4及び並列共振器P1~P4の少なくとも1

50

つを、実施例 1 から実施例 7 の圧電薄膜共振器とすることができる。

【実施例 9】

【0094】

図 25 は、実施例 9 に係る分波器 900 を示す図である。図 25 のように、実施例 9 の分波器 900 は、アンテナ端子 A n t と送信端子 T x の間に接続された送信フィルタ 50 と、アンテナ端子 A n t と受信端子 R x の間に接続された受信フィルタ 52 と、を含む。送信フィルタ 50 と受信フィルタ 52 は、通過帯域が異なっている。送信フィルタ 50 は、送信端子 T x から入力された信号のうち送信帯域の信号を送信信号としてアンテナ端子 A n t に通過させ、他の帯域の信号を抑圧する。受信フィルタ 52 は、アンテナ端子 A n t から入力された信号のうち受信帯域の信号を受信信号として受信端子 R x に通過させ、他の帯域の信号を抑圧する。送信フィルタ 50 及び受信フィルタ 52 の少なくとも一方を、実施例 8 のフィルタとすることができる。

10

【0095】

以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【符号の説明】

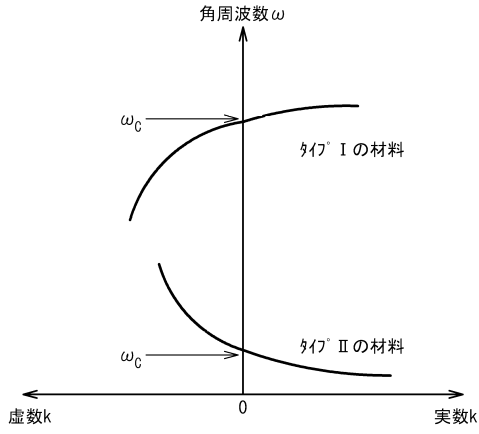
【0096】

- 10 基板
- 12 下部電極
- 14 圧電膜
- 16 上部電極
- 18 挿入膜
- 20 共振領域
- 20 a 中央領域
- 20 b 外周領域
- 22 空隙
- 24 周波数調整膜
- 26 質量負荷膜
- 28 導入路
- 30 孔部
- 32 犠牲層
- 40 音響反射膜
- 42 音響インピーダンスの低い膜
- 44 音響インピーダンスの高い膜
- 50 送信フィルタ
- 52 受信フィルタ

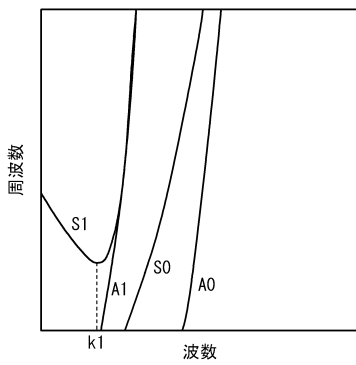
20

30

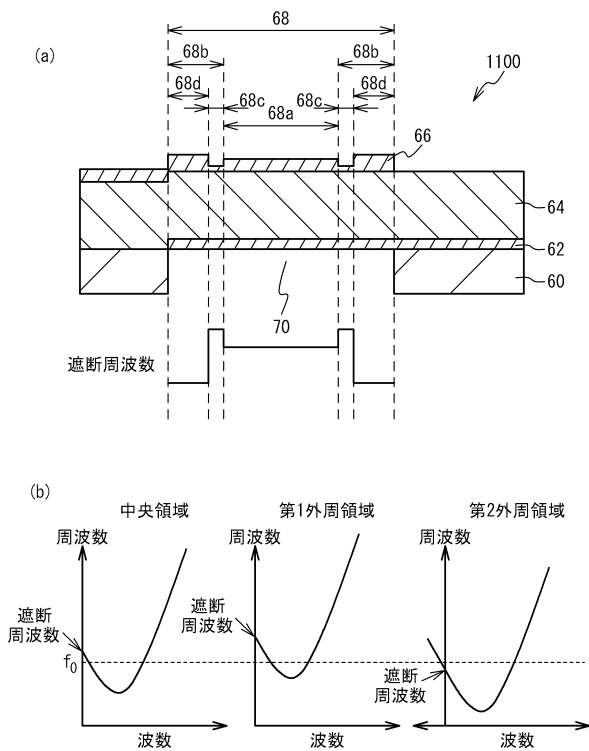
【図1】



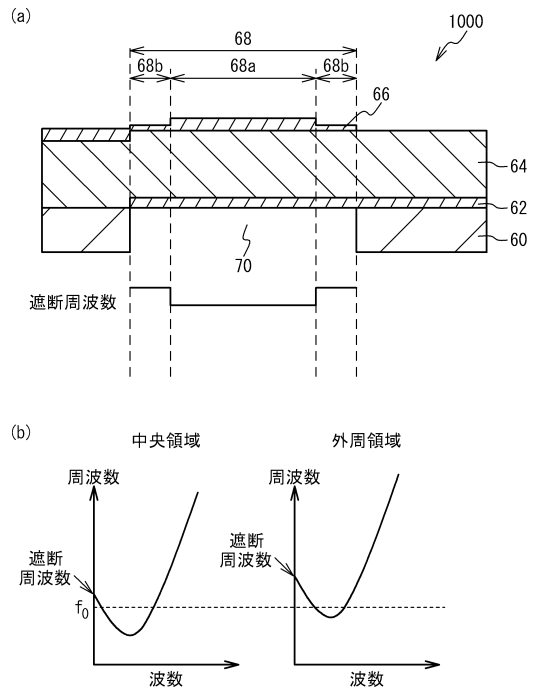
【図2】



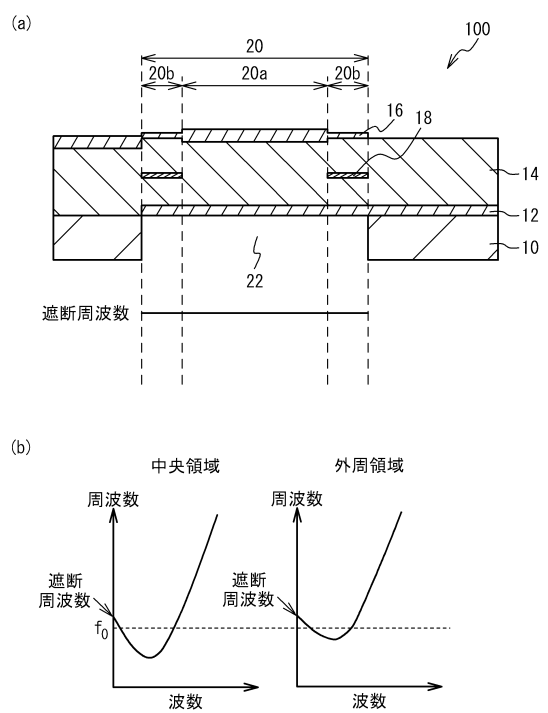
【図4】



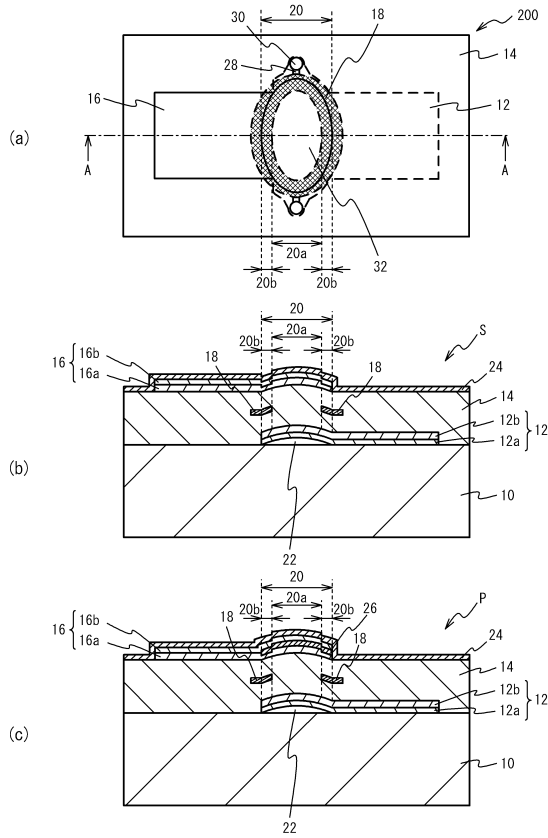
【図3】



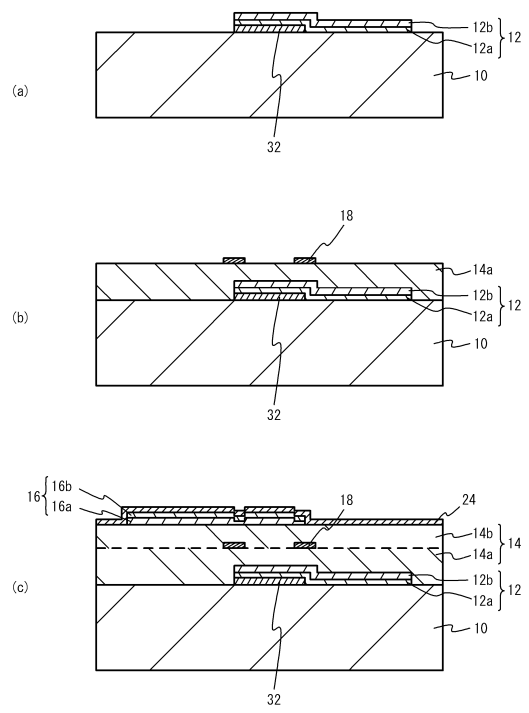
【図5】



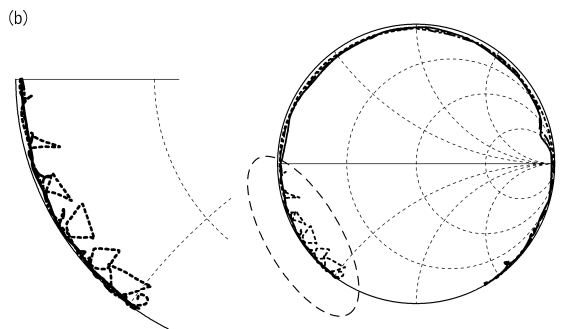
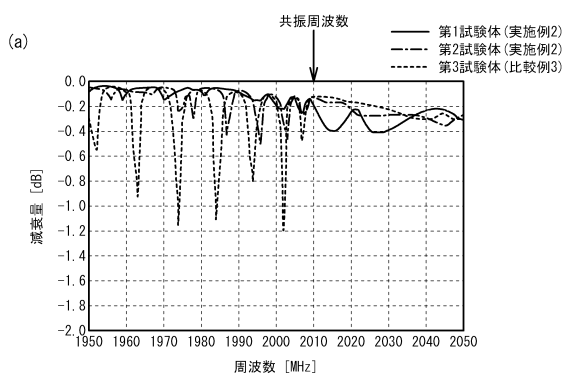
【図6】



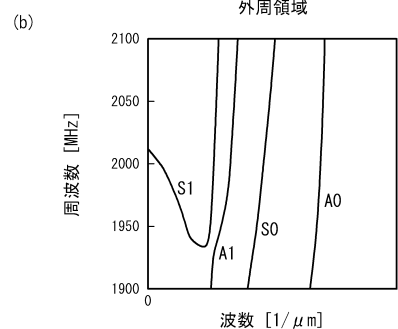
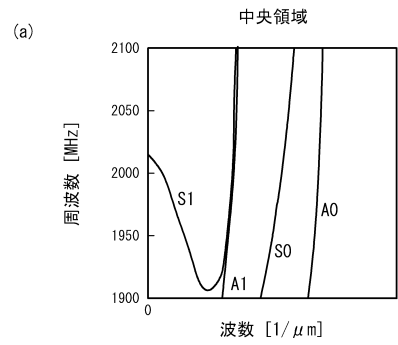
【図7】



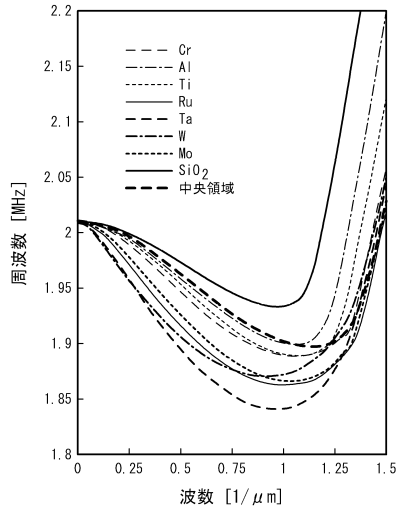
【図8】



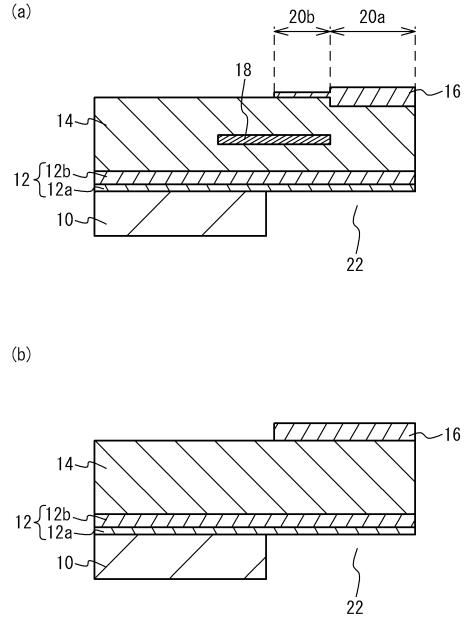
【図9】



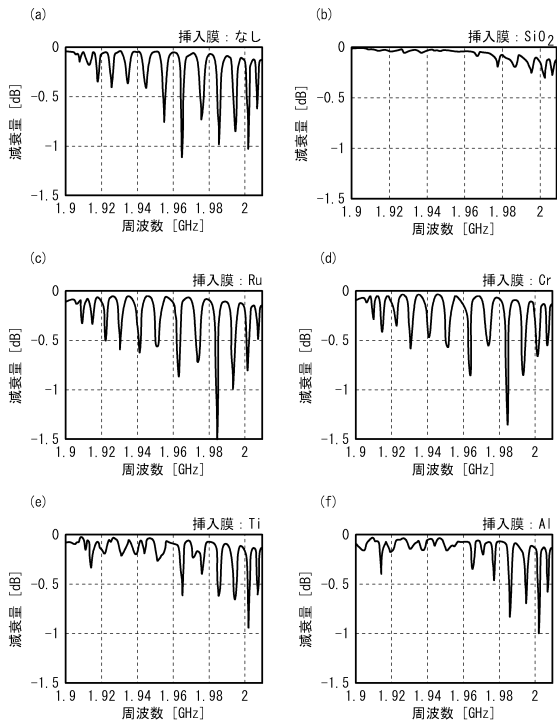
【図10】



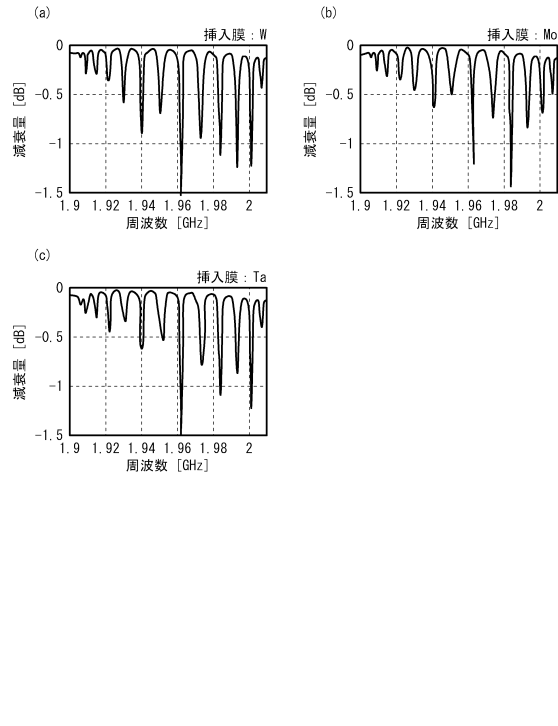
【図11】



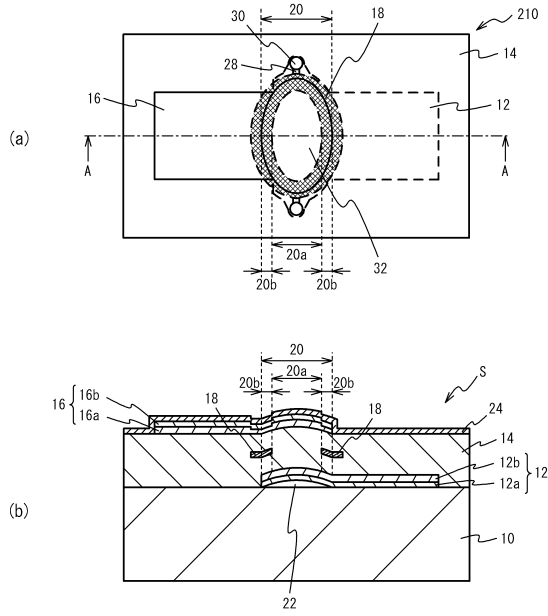
【図12】



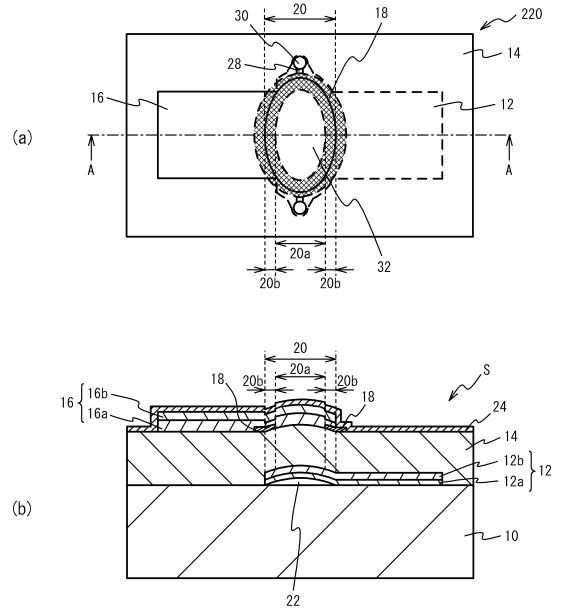
【図13】



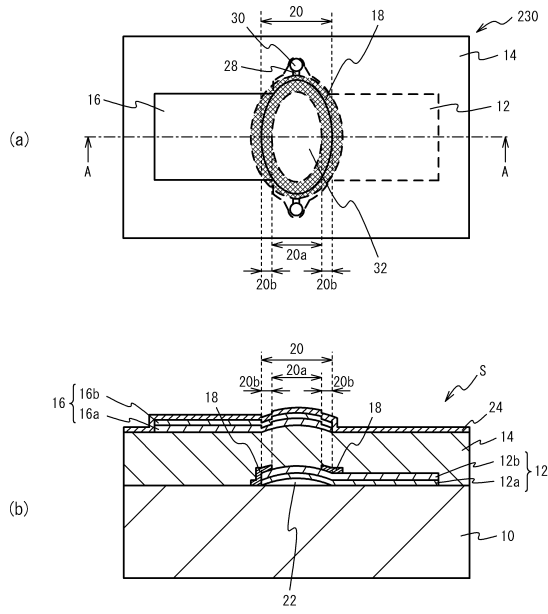
【図14】



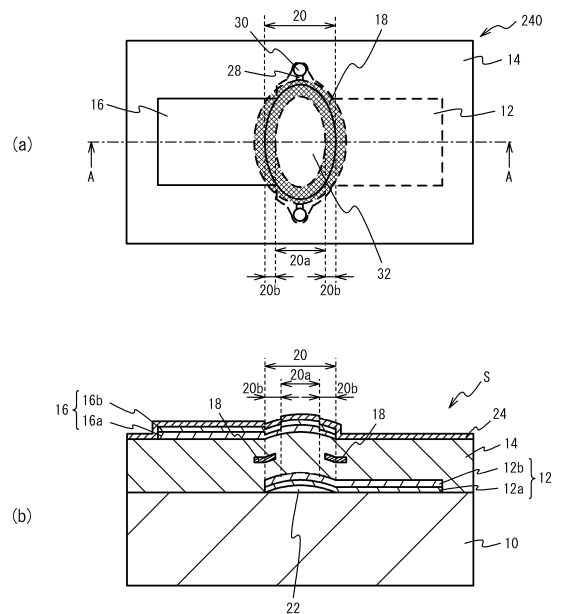
【図15】



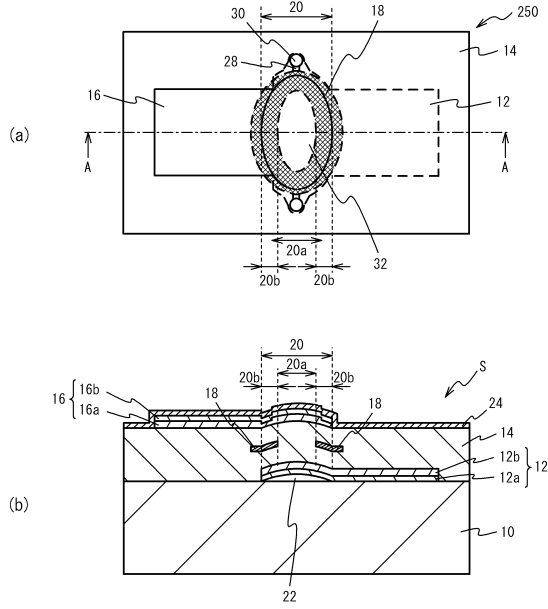
【図16】



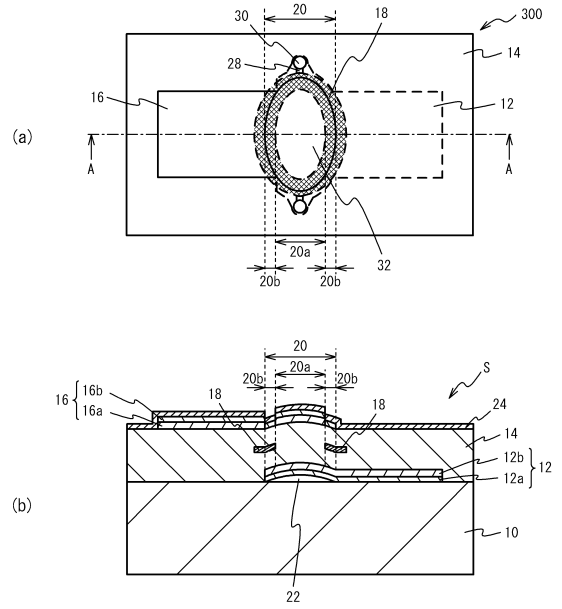
【図17】



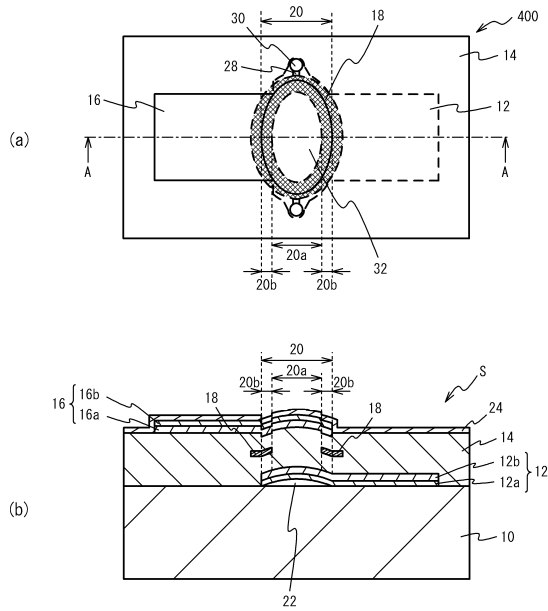
【図18】



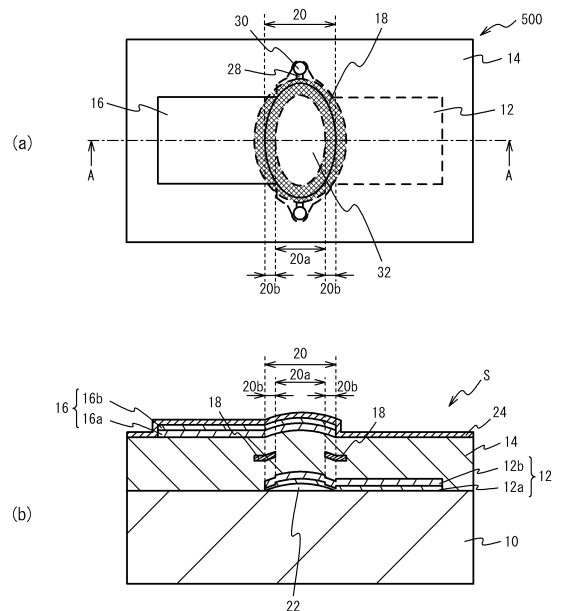
【図19】



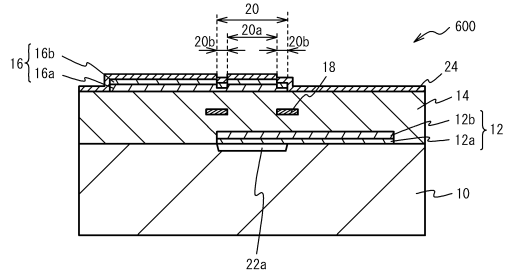
【図20】



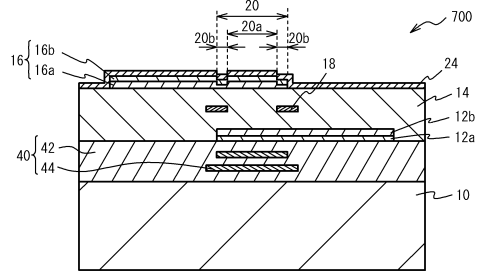
【図21】



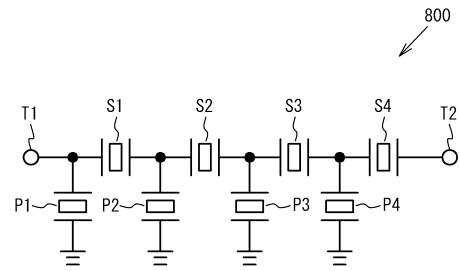
【図22】



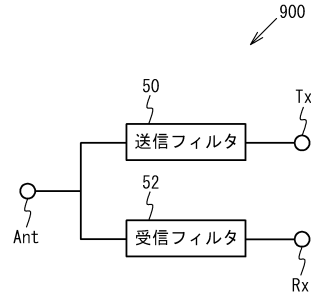
【図23】



【図24】



【図25】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2015-095729(JP,A)
特開2012-244616(JP,A)
国際公開第2006/129532(WO,A1)
国際公開第2007/052370(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H03H 9/00-9/76