

明 細 書

発明の名称： 圧電薄膜共振子、通信モジュール、通信装置

技術分野

[0001] 本願の開示は、圧電薄膜共振子、通信モジュール、通信装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、携帯電話に代表される無線機器の急速な普及により、圧電材料を用いた弾性表面波（SAW）や厚み振動波（BAW）を用いた共振子を複数組み合わせることにより特定の周波数帯の電気信号のみを通過させる特徴を持った高周波通信用のフィルタ素子が開発されている。これまでは主として誘電体フィルタとSAWフィルタが使用されてきたが、最近では、特に高周波での特性が良好で、かつ小型化とモノリシック化が可能な素子である圧電薄膜共振子を用いて構成されたフィルタが注目されつつある。

[0003] 圧電薄膜共振子は、電極面に対して垂直方向に伝搬する振動を基本振動モードとしているが、電極面に対して平行方向に伝搬する他の振動モードが存在する場合がある。このような、電極面に対して平行方向に伝搬する振動は、「横モードスプリアス」と呼ばれ、基本振動モードに対してノイズである。

[0004] 特許文献1は、圧電薄膜の少なくとも一部を挟んで存在する上部電極と下部電極の対向する部分において、上部電極に複数個の孔が設けられ、前記複数個の孔がそれぞれ不規則に配置、不規則な大きさに配置、あるいは不規則な形状で配置することで、横モードスプリアスを抑制する圧電薄膜共振子を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2007-184816公報

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、特許文献 1 に開示されている圧電薄膜共振子では、横モードスプリアスを抑制するための孔の配置方法やパターン設計が困難であるといった課題がある。

課題を解決するための手段

[0007] 本願に開示する圧電薄膜共振子は、基板と、前記基板の上に配されている下部電極と、前記下部電極の上に配されている圧電膜と、前記圧電膜の少なくとも一部を挟んで前記下部電極に対向配置されている上部電極とを備えた圧電薄膜共振子であって、前記上部電極は、少なくとも前記下部電極に対向する領域に複数の凹凸パターンが形成され、前記凹凸パターンは、前記領域の中心部で密配置、前記領域の外周部で疎配置になるように形成されている。

[0008] 本願に開示する圧電薄膜共振子は、基板と、前記基板の上に配されている下部電極と、前記下部電極の上に配されている圧電膜と、前記圧電膜の少なくとも一部を挟んで前記下部電極に対向配置されている上部電極とを備えた圧電薄膜共振子であって、前記上部電極の上に配されている質量負荷膜を備え、前記質量負荷膜は、少なくとも前記下部電極に対向する領域に複数の凹凸パターンが形成され、前記凹凸パターンは、前記領域の中心部で密配置、前記領域の外周部で疎配置になるように形成されている。

発明の効果

[0009] 本願の開示によれば、簡単に不要スプリアスを低減することができる。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1A] 不規則な位置に孔を備えた上部電極の平面図
[図1B] 不規則な形状の孔を備えた上部電極の平面図
[図1C] 不規則な大きさの孔を備えた上部電極の平面図
[図2A] 実施の形態にかかる圧電薄膜共振子の平面図
[図2B] 図 2 A における A－A 部の断面図
[図3A] 圧電薄膜共振子の製造工程を示す断面図
[図3B] 圧電薄膜共振子の製造工程を示す断面図

[図3C] 圧電薄膜共振子の製造工程を示す断面図

[図3D] 圧電薄膜共振子の製造工程を示す断面図

[図4] 実施例 1 にかかる質量負荷膜の平面図

[図5] 圧電薄膜共振子の共振特性を示す特性図

[図6] 比較例 2 にかかる質量負荷膜の平面図

[図7] 圧電薄膜共振子の共振特性を示す特性図

[図8] 比較例 3 にかかる質量負荷膜の平面図

[図9] 圧電薄膜共振子の共振特性を示す特性図

[図10] 質量負荷膜の変形例を示す平面図

[図11] 実施例 2 にかかる圧電薄膜共振子の断面図

[図12] 実施例 3 にかかるラダー型フィルタの回路図

[図13] 実施例 3 にかかるラティス型フィルタの回路図

[図14] 通信モジュールのブロック図

[図15] 通信装置のブロック図

[図16] 質量負荷膜の変形例を示す平面図

発明を実施するための形態

[0011] (実施の形態)

[1. 圧電薄膜共振子の構成]

圧電薄膜共振子の中には、F B A R (Film Bulk Acoustic Resonator) タイプと S M R (Solidly Mounted Resonator) タイプがある。

[0012] 前者は、基板上に、主要構成要素として、上部電極／圧電膜／下部電極の構造を有し、上部電極と下部電極が対向する部分の下部電極下に空隙が形成されている。ここで、空隙は、下部電極が配置された基板表面に設けた犠牲層のウェットエッチング、あるいは裏面からの基板のウェットエッチング、又はドライエッチング等により形成される。また、後者は上記の空隙の代わりに、音響インピーダンスが高い膜と低い膜を交互に $\lambda/4$ (λ : 弾性波の波長) の膜厚で積層し音響反射膜として利用する構造のものである。

[0013] 圧電薄膜共振子の電極膜としては、アルミニウム（Al）、銅（Cu）、クロム（Cr）、モリブデン（Mo）、タングステン（W）、タンタル（Ta）、白金（Pt）、ルテニウム（Ru）、ロジウム（Rh）、イリジウム（Ir）などを用いることができる。また、圧電膜としては、窒化アルミニウム（AlN）、酸化亜鉛（ZnO）、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）、チタン酸鉛（PbTiO₃）などを用いることができる。また、基板としては、シリコン（Si）、ガラス、セラミックス等を用いることができる。

[0014] 圧電薄膜共振子の上部電極と下部電極との間に電気信号としての高周波電圧を印加すると、上部電極と下部電極に挟まれた圧電膜内部に逆圧電効果に起因する弾性波が励振される。また、弾性波によって生じる歪は圧電効果により電気信号に変換される。このような弾性波は、上部電極膜と下部電極膜がそれぞれ空気に接している面で全反射されるため、圧電膜の厚み方向に主変位をもつ縦振動波となる。このような共振現象を利用することで、所望の周波数特性を有する共振子（あるいはこれを複数接続して形成されるフィルタ）を得ることができる。

[0015] 例えば、FBARタイプの圧電薄膜共振子では、空隙上に形成された上部電極膜／圧電膜／下部電極膜を主要な構成要素とする積層構造部分の総膜厚Hが、弾性波の波長λの1/2（1/2波長）の整数倍（n倍）となる周波数（ $H = n \lambda / 2$ ）において共振が生じる。ここで、圧電膜の材質によって決まる弾性波の伝搬速度をVとすると、共振周波数Fは、

$$F = n V / 2 H$$

により求めることができる。したがって、積層構造の総膜厚Hにより、共振周波数Fが制御できる。

[0016] 圧電薄膜共振子は、電極面に対して垂直方向に伝搬する振動を基本振動モードとしているが、電極面に対して平行方向に伝搬する他の振動モードが存在する場合がある。このような、電極面に対して平行方向に伝搬する振動は、「横モードスプリアス」と呼ばれ、基本振動モードに対してノイズである。

[0017] 特開2007-184816公報は、圧電薄膜の少なくとも一部を挟んで存在する上部電極と下部電極の対向する部分に複数の孔を設け、孔の配置、大きさ、または形状を調整することで横モードスプリアスを抑制する圧電薄膜共振子を開示している。図1Aは、複数個の孔102を不規則に配置している上部電極101の模式図である。図1Bは、複数個の孔102を不規則な形状で配置している上部電極101の模式図である。図1Cは、複数個の孔102を不規則な大きさに配置している上部電極101の模式図である。

[0018] しかしながら、特開2007-184816公報に開示されている圧電薄膜共振子では、横モードスプリアスを抑制するための孔の配置方法やパターン設計が困難であるといった課題がある。

[0019] (実施例1)

図2Aは、実施の形態にかかる圧電薄膜共振子（実施例1）の平面図である。図2Bは、図2AにおけるA-A部の断面図である。

[0020] 図2に示すように、実施例1の圧電薄膜共振子は、基板41、下部電極43、圧電膜44、上部電極45、質量負荷膜51、および周波数調整膜52を備えている。基板41は、一例としてSiで形成されている。下部電極43は、一例としてRu/Crの2層構造としている。圧電膜44は、一例としてAlNで形成されている。上部電極45は、一例として第1層45a（Ru）と第2層45b（Cr）の2層構造としている。下部電極43、圧電膜44、上部電極45は、スパッタリング法等などの成膜方法によって基板41上に形成することができる。

[0021] 例えば、2GHzの共振周波数を有する圧電薄膜共振子の場合、各層のおおよその膜厚は、下部電極43のRu膜が250nm、下部電極43のCr膜が100nm、圧電膜44（AlN）が1150nm、上部電極45の第2層45b（Cr）が20nm、上部電極45の第1層45a（Ru）が250nmとすることができる。また、質量負荷膜51は、一例として膜厚が50nmのTiで形成されている。質量負荷膜51は、上部電極45の第2層45bの上における、少なくとも上部電極45と下部電極43とが対向す

る部分を含む領域に形成する。また、周波数調整膜 5 2 は、質量負荷膜 5 1 を覆うように第 2 層 4 5 b の上部に形成されている。周波数調整膜 5 2 は、一例として SiO_2 で形成されている。

[0022] なお、各層の膜厚はフィルタの要求仕様に応じて異なり、下部電極 4 3、上部電極 4 5、圧電膜 4 4、質量負荷膜 5 1、および周波数調整膜 5 2 は、上述以外の仕様も可能である。また、下部電極 4 3 および上部電極 4 5 は、実施例 1 では各々 2 層構造としているが、1 層構造でもよい。また、質量負荷膜 5 1 は、実施例 1 では上部電極 4 5 の第 2 層 4 5 b の上部に配置しているが、第 1 層 4 5 a と第 2 層 4 5 b との間に挟む構成としてもよい。上部電極 4 5 と下部電極 4 3 とが対向する領域における下部電極 4 3 と基板 4 1 との間には、ドーム状の空隙（膨らみ）が形成されている。「ドーム状の空隙」とは、例えば空隙の周辺では空隙の高さが小さく、空隙の中央ほど空隙の高さが高くなるような形状の膨らみである。

[0023] 図 3 A ～図 3 D は、実施例 1 にかかる圧電薄膜共振子の製造工程を示す断面図である。まず、図 3 A に示すように、 Si で形成されている基板 4 1 上に、例えば酸化マグネシウム (MgO) 等を含む犠牲層 4 9 を、例えばスパッタリング法または蒸着法を用いて形成する。なお、基板 4 1 は、 Si 以外に、石英基板、ガラス基板、セラミックス基板、 GaAs 基板等で実現することができる。特に、後述する空隙形成工程において犠牲層 4 9 をエッチングする際に、エッチング液で基板 4 1 をエッチングしないよう、エッチングの難しい基板を用いることが好ましい。また、犠牲層 4 9 は、 ZnO 、 Ge 、 Ti 、 Cu 等、エッチング液あるいはエッチングガスにより容易に溶解できる材料で形成することが好ましい。犠牲層 4 9 を形成した後、露光技術とエッチング技術とを用いて、犠牲層 4 9 を任意の形状にする。

[0024] 次に、図 3 B に示すように、基板 4 1 及び犠牲層 4 9 の上に下部電極 4 3 を形成する。下部電極 4 3 は、 Ru/Cr をスパッタリング法等により成膜することができる。次に、露光技術とエッチング技術とを用いて、犠牲層 4 9 を覆うように、下部電極 4 3 を任意の形状にパターニングする。この時、

下部電極 4 3 に、犠牲層 4 9 をエッチングする媒体を導入するための導入路 4 8 と導入孔 4 9（図 2 A 参照）と形成することが好ましい。次に、基板 4 1 及び下部電極 4 3 の上に圧電膜 4 4（A l N）を、スパッタリング法等により成膜する。次に、圧電膜 4 4 の上に上部電極 4 5 の第 1 層 4 5 a（R u）を成膜し、第 1 層 4 5 a の上に第 2 層 4 5 b（C r）を成膜する。

[0025] 次に、図 3 C に示すように、第 2 層 4 5 b の上に質量負荷膜 5 1（T i）をスパッタリング法等により成膜する。次に、露光技術とエッチング技術とを用いて、少なくとも上部電極 4 5 と下部電極 4 3 とが対向した領域を含む領域の質量負荷膜 5 1 を所望の形状にパターニングする。ここで、質量負荷膜 5 1 は、図 4 に示すように、少なくとも上部電極 4 5 と下部電極 4 3 とが対向する領域における上部電極 4 5 上に、島構造の複数パターン（以下、島パターン 5 1 a と称する）として形成される。なお、島パターン 5 1 a の構成については後述する。

[0026] 次に、露光技術とエッチング技術を用いて、上部電極 4 5 を所望の形状にパターニングする。次に、露光技術とエッチング技術により圧電膜 4 4 を所望の形状にパターニングする。

[0027] 次に、図 3 D に示すように、周波数調整膜 5 2（S i O₂）をスパッタリング等により成膜する。ここで、周波数調整膜 5 2 の材料は S i O₂ に限定されず、励起エネルギーなどにより、その一部を漸減できる金属酸化膜や金属窒化膜などの他の絶縁膜であっても構わない。次に、露光技術とエッチング技術によって、上部電極 4 5 上にある周波数調整膜 5 2 を除去し、その部分にバンプパッド（不図示）を形成する。最後に、露光技術とエッチング技術により、下部電極 4 3 の一部に形成されている導入孔 4 7（図 2 A 参照）上の周波数調整膜 5 2 を除去した後、導入孔 4 7 より導入路 4 8 を経て下部電極 4 3 下へ犠牲層エッチング媒体を導入して犠牲層 4 9 を除去する。これにより、上部電極 4 5 と下部電極 4 3 とが対向する領域の下方に、ドーム状の膨らみを有する空隙 4 2 が形成される。犠牲層 4 9 をエッチングするためのエッチング液としては、犠牲層 4 9 以外の圧電薄膜共振子を構成する材料、特

にエッチング媒体が接触する犠牲層 4 9 上の電極材料をエッチングしない素性であることが好ましい。

[0028] なお、本実施例の効果を得るにあたっては、基板、電極膜、圧電膜の各材料は上記に限定されず、上記他の材料でもよい。また、上記の物理的な空隙の変わりに、音響インピーダンスが高い膜と低い膜が交互に $\lambda/4$ (λ : 弾性波の波長) の膜厚で積層した音響反射膜を形成する構造であっても構わない。

[0029] 図 4 は、上部電極 4 5 における対向領域の中心部近傍の平面図である。図 4 に示すように、島パターン 5 1 a は、対向領域の中心部（線分 L 1 と線分 L 2 との交点）で密（高密度）に配置され、対向領域の外周部で疎（低密度）に配置されている。本実施例では、島パターン 5 1 a は、対向領域の中心部で密配置、外周部で疎配置になるように、中心部と外周部との間の部分では一定の割合でピッチを異ならせて配置している。ここで、「島パターン」または「島構造」とは、質量負荷膜 5 1 が共振子上でドットパターンとして複数形成されていることを示す。また、質量負荷膜 5 1 (Ti) のエッチングは、ドライエッチング、ウェットエッチングの双方を用いることができるが、微細なパターン形状が容易に得られること、アンダーエッチングが少ないことから、ドライエッチングを用いることが好ましい。また、質量負荷膜 5 1 の形状は、膜厚よりも低い高さであってもかまわないが、膜厚に相当する高さを有するように形成することにより、パターン形成時のエッチングバラツキを低減することができる。また、質量負荷膜 5 1 と上部電極 4 5 との組み合わせとしては、エッチング選択性のある材料の組み合わせにすれば、他の膜への損傷が少なく、優れた特性の弾性波デバイスを安定して提供することができる。

[0030] 図 5 は、実施例 1 にかかる圧電薄膜共振子の共振特性を示す。図 5 において、実線は、実施例 1 にかかる圧電薄膜共振子の共振特性である。破線は、質量負荷膜を備えていない圧電薄膜共振子の共振特性である。共振周波数は、2015 MHz またはその周辺である。図 5 に示す共振特性を得るために

用いた圧電薄膜共振子において、質量負荷膜 51 の島パターン 51 a は、図 4 に示すように、上部電極 45 と下部電極 43 とが対向する領域の中心部で密配置、外周部で疎配置になるように形成されている。ここで、1 つの島パターン 51 a は、例えば平面形状が直径 $2\ \mu\text{m}$ の円形としている。島パターン 51 a の配置方法は、例えば対向領域の中心（図 4 における線分 L1 と L2 との交点）に 1 つ配置し（以下、中心パターンと称する）、その中心パターンに対して上下左右方向に $7\ \mu\text{m}$ のピッチで隣り合うように配置している（以下、隣接パターンと称する）。また、隣接パターンに対して上下左右方向に隣り合う島パターン（以下、隣々接パターンと称する）は、例えば中心パターンと隣接パターンとのピッチ（ $7\ \mu\text{m}$ ）に対して一定量（ $1\ \mu\text{m}$ ）増加させた $8\ \mu\text{m}$ ピッチで配置している。さらに、隣々接パターンとそれに上下左右方向に隣り合う島パターンとのピッチは $9\ \mu\text{m}$ である。つまり、島パターン 51 a のピッチは、対向領域の中心部から外周部に向かって、初期ピッチ（中心パターンと隣接パターンとのピッチ）から一定の増加量で増加させている。

[0031] このような島パターン 51 a の配置にすることによって、特開 2007-184816 号公報に開示されているようなパターンの不規則配置に比べて、設計性の優れた簡便な方法で不要スプリアスを低減できる質量負荷膜 51 を実現することができる。すなわち、質量負荷膜 51 の島パターン 51 a を、対向領域の中心部を密配置とし、対向領域の外周部を疎配置とすることは、擬似的に中心部の膜密度を高くし、外周部の膜密度を低くしていることとを等しいことになる。その結果、主振動である厚み縦振動以外の不要スプリアスの要因となる横方向の弾性波の閉じ込め効果が少なくなり、結果として不要スプリアスが低減される。

[0032] また、図 5 には、実施例 1 にかかる共振特性と比較するため、質量負荷膜を備えていない圧電薄膜共振子の共振特性（比較例 1）を併せて示している。図 5 は、共振周波数近傍における圧電薄膜共振子の通過特性を示すもので、共振周波数（ 2015MHz ）付近で損失が最小となり、共振周波数から

離れるのに従い損失が増加する。2つの圧電薄膜共振子の共振特性を比べると、比較例の圧電薄膜共振子は、共振周波数より低周波側に横モードによるスプリアスが見られるが、本実施例の圧電薄膜共振子では、共振周波数より低周波側に現れる横モードによるスプリアスが低減できていることが分かる。共振周波数より低周波側のスプリアスは、本圧電薄膜共振子を用いてフィルタ素子を構成した場合に帯域内のリップルとして損失が増加し、フィルタ特性の劣化に繋がる。

[0033] 図6は、島パターン151aを等周期で配置した質量負荷膜151の平面図である（比較例2）。図7は、図6に示す質量負荷膜151を備えた圧電薄膜共振子の共振特性と、質量負荷膜を備えていない圧電薄膜共振子の共振特性とを示す。図6に示すように、上部電極45の上に一様に等周期配置された複数の島パターン151aを含む質量負荷膜151を備えた圧電薄膜共振子（比較例2）では、図7に示すように質量負荷膜を備えていない圧電薄膜共振子（比較例1）で生じているスプリアスレベルに対して、大きな変化は見られなかった。

[0034] 図8は、島パターン251aを、対向領域の中心部（線分L1とL2との交点）で疎配置、外周部で密配置になるように配置されている質量負荷膜251の平面図を示す（比較例3）。図9は、図8で示す質量負荷膜251を備えた圧電薄膜共振子（比較例3）の共振特性と、質量負荷膜を備えていない圧電薄膜共振子（比較例1）の共振特性とを示す。図8に示すように、対向領域の中心部で疎配置、外周部で密配置された複数の島パターン251aを含む質量負荷膜251を備えている圧電薄膜共振子では、図9に示すように質量負荷膜を備えていない圧電薄膜共振子（比較例1）で生じているスプリアスレベルに対して、変化は見られなかった。

[0035] ここで、質量負荷膜51に備わる複数パターンの形状は、島状に限らず、ホール状であっても構わない。また、複数パターンの配置方法は、上記の他に、図10に示すように複数パターンの配置の中心位置（線分L11とL12との交点）が、上部電極と下部電極の対向領域の中心部（線分L1とL2

との交点)に対してずれて配置されていても構わない。また、本実施例では、一定の割合でピッチを増加させることによって、質量負荷膜を対向領域の中心部で密配置、外周部で疎配置になるように配置しているが、別の規則性を持った方法で上記構造を形成しても構わない。

[0036] なお、本実施の形態の効果を得るにあたって、基板 4 1、上部電極 4 5、下部電極 4 3、圧電膜 4 4、質量付加膜 5 1 の各材料は上記に限定されず、他の材料を使用してもよい。また、上記の膜構成は圧電薄膜共振子の主要構成要素のみを記しており、例えば、下部電極 4 3 の下や上部電極 4 5 の上に誘電体膜が設けられていてもよい。下部電極 4 3 の下の誘電体膜は、例えば、補強材として、あるいはエッチングのストップ層としての役割を担う。上部電極 4 5 の上の誘電体膜は、例えば、パシベーション膜あるいは周波数調整用としての役割を担う。

[0037] また、空隙 4 2 は、基板 4 1 に対して複合膜側にドーム形状に膨らませているため、基板 4 1 をエッチングする必要がなく、生産性の向上が図れる。また、基板 4 1 をエッチングしないため、基板 4 1 の機械的強度の劣化防止も図ることができる。更に、空隙 4 2 を形成する領域は小さくて済むため、集積化を図ることができる。

[0038] 更に、上部電極 4 5 と下部電極 4 3 とが対向する領域の形状は、図 2 A に示すように本実施の形態では楕円形としているが、対向する辺が非平行である多角形としてもよい。対向領域の形状を、対向する辺が非平行である多角形とすることにより、平行な辺が存在しないため、電極の外周で反射された弾性波が共振部分で横方向の定在波として存在することを抑制することができる。これにより、通過帯域内にリップルが発生することを抑制することができる。

[0039] また、本実施例では、基板 4 1 の平坦主面の上に空隙 4 2 を形成しているが、下部電極 4 3 の下の基板 4 1 に空隙 4 2 を持つ圧電薄膜共振子であっても、本実施例の効果と同様な効果が得られる。下部電極 4 3 の下の空隙 4 2 は、上部電極 4 5 / 圧電膜 4 4 / 下部電極 4 3 を形成した後の基板 4 1 にド

ライエッチングの手法を用いて形成することができる。

[0040] (実施例 2)

図 1 1 は、本実施の形態にかかる圧電薄膜共振子（実施例 2）の断面図である。図 1 1 に示す圧電薄膜共振子において、実施例 1 の圧電薄膜共振子と同様の構成要素については、同一符号を付与して、詳細な説明は省略する。図 1 1 に示す圧電薄膜共振子は、実施例 1 に示す上部電極 4 5 に代えて、質量負荷部 5 3 c が形成されている上部電極 5 3 を備えている。

[0041] 基板 4 1 は、S i で形成されている。下部電極 4 3 は、R u / C r の 2 層構造としている。圧電膜 4 4 は、A l N で形成されている。上部電極 5 3 は、R u で形成されている第 1 層 5 3 a と、C r で形成されている第 2 層 5 3 b の 2 層構造となっている。下部電極 4 3、圧電膜 4 4、上部電極 5 3 は、スパッタリング法等などの成膜方法によって形成することができる。例えば、2 G H z の共振周波数を有する圧電薄膜共振子の場合、各層のおおよその膜厚は、下部電極 4 3 の R u 膜が 2 5 0 n m、下部電極 4 3 の C r 膜が 1 0 0 n m、圧電膜 4 4 (A l N) が 1 1 5 0 n m、上部電極 5 3 の第 1 層 5 3 a (R u) が 2 5 0 n m、上部電極 5 3 の第 2 層 5 3 b (C r) が 2 0 n m となっている。更に、対向領域における最上層には、S i O₂を含む周波数調整膜 5 2 が備わる。なお、各層の膜厚はフィルタの要求仕様に応じて異なり、電極膜、圧電膜、周波数調整膜も上述以外の構成も可能である。また、下部電極 4 3 および上部電極 5 3 は、本実施例では 2 層構造としているが 1 層構造でもよい。

[0042] ここで上部電極 5 3 には、その一部を用いて、図 4 で示すように上部電極と下部電極とが対向する領域の中心部で密配置、外周部で疎配置になるような複数の凹凸からなる質量負荷部 5 3 c が形成されている。図 1 1 に示すように、上部電極 5 3 の一部に、複数の凹凸からなる質量負荷部 5 3 c を形成することにより、追加の膜を用いることなく安価にスプリアスを低減することができる。

[0043] (実施例 3)

図 1 2 は、ラダー型フィルタの回路図である。図 1 2 に示すラダー型フィルタは、入力端子 2 2 と出力端子 2 4 との間（直列腕）に直列共振子 S 1 ～ S 3 が接続されている。直列共振子 S 1 と直列共振子 S 2 との間とグラウンドとの間には、並列共振子 P 1 が接続されている。直列共振子 S 2 と直列共振子 S 3 との間とグラウンドとの間には、並列共振子 P 2 が接続されている。直列共振子 S 1 ～ S 3、並列共振子 P 1 及び P 2 は、圧電薄膜共振子で実現することができる。なお、直列共振子 S 1 ～ S 3、並列共振子 P 1 及び P 2 のうち、少なくとも何れか一つに、実施例 1 に係る圧電薄膜共振子を用いることができる。

[0044] 実施例 1 にかかる質量負荷膜 4 5 または実施例 2 にかかる質量負荷部 5 3 c を、島構造あるいはホール構造で形成し、各共振子の質量負荷膜の面積を制御し、かつ同一ピッチで配置することによって、各共振子の共振周波数を制御することができる。また、各共振子で発生するスプリアスの発生位置（周波数）を分散させることができ、複数の圧電薄膜共振子を備えた弾性波デバイスにおいては、スプリアスを低減した優れた特性を得ることができる。

[0045] 実施例 3 において、実施例 1 および実施例 2 に係る圧電薄膜共振子をラダー型フィルタに用いた場合を例に示したが、ラティス型フィルタ等他の弾性波デバイスに用いてもよい。なお、ラティス型フィルタは、図 1 3 に示すように、直列共振子 S 4 が入力端子 2 2 a と出力端子 2 4 a との間に接続され、直列共振子 S 5 が入力端子 2 2 b と出力端子 2 4 b との間に接続されている。並列共振子 P 3 は、入力端子 2 2 a と出力端子 2 4 b との間に接続されている。並列共振子 P 4 は、入力端子 2 2 b と出力端子 2 4 a との間に接続されている。直列共振子 S 4 及び S 5、並列共振子 P 3 及び P 4 のうち少なくとも一つの共振子は、実施例 1 または実施例 2 にかかる圧電薄膜共振子で実現することができる。

[0046] [2. 通信モジュールの構成]

図 1 4 は、本実施の形態にかかる圧電薄膜共振子を備えた通信モジュールの一例を示す。図 1 4 に示すように、デュープレクサ 6 2 は、受信フィルタ

62aと送信フィルタ62bとを備えている。また、受信フィルタ62aには、例えばバランス出力に対応した受信端子63a及び63bが接続されている。また、送信フィルタ62bは、パワーアンプ64を介して送信端子65に接続している。ここで、受信フィルタ62a、送信フィルタ62bは、本実施の形態にかかる圧電薄膜共振子を備えている。

[0047] 受信動作を行う際、受信フィルタ62aは、アンテナ端子61を介して入力される受信信号のうち、所定の周波数帯域の信号のみを通過させ、受信端子63a及び63bから外部へ出力する。また、送信動作を行う際、送信フィルタ62bは、送信端子65から入力されてパワーアンプ64で増幅された送信信号のうち、所定の周波数帯域の信号のみを通過させ、アンテナ端子61から外部へ出力する。

[0048] 本実施の形態によれば、スプリアスを低減することができる通信モジュールを、安価に実現することができる。

[0049] なお、図14に示す通信モジュールの構成は一例であり、他の形態の通信モジュールに本実施の形態にかかる圧電薄膜共振子を搭載しても、同様の効果が得られる。

[0050] [3. 通信装置の構成]

図15は、本実施の形態にかかる圧電薄膜共振子、または前述の通信モジュールを備えた通信装置の一例として、携帯電話端末のRFブロックを示す。また、図15に示す通信装置は、GSM (Global System for Mobile Communications) 通信方式及びW-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 通信方式に対応した携帯電話端末の構成を示す。また、本実施の形態におけるGSM通信方式は、850MHz帯、950MHz帯、1.8GHz帯、1.9GHz帯に対応している。また、携帯電話端末は、図15に示す構成以外にマイクロホン、スピーカー、液晶ディスプレイなどを備えているが、本実施の形態における説明では不要であるため図示を省略した。ここで、受信フィルタ73a、77~80、送信フィルタ73bは、本実施の形態にかかる圧電薄膜共振子を備えている。

[0051] まず、アンテナ 7 1 を介して入力される受信信号は、その通信方式が W-CDMA か GSM かによってアンテナスイッチ回路 7 2 で、動作の対象とする LSI を選択する。入力される受信信号が W-CDMA 通信方式に対応している場合は、受信信号をデュープレクサ 7 3 に出力するように切り換える。デュープレクサ 7 3 に入力される受信信号は、受信フィルタ 7 3 a で所定の周波数帯域に制限されて、バランス型の受信信号が LNA 7 4 に出力される。LNA 7 4 は、入力される受信信号を増幅し、LSI 7 6 に出力する。LSI 7 6 では、入力される受信信号に基づいて音声信号への復調処理を行ったり、携帯電話端末内の各部を動作制御したりする。

[0052] 一方、信号を送信する場合は、LSI 7 6 は送信信号を生成する。生成された送信信号は、パワーアンプ 7 5 で増幅されて送信フィルタ 7 3 b に入力される。送信フィルタ 7 3 b は、入力される送信信号のうち所定の周波数帯域の信号のみを通過させる。送信フィルタ 7 3 b から出力される送信信号は、アンテナスイッチ回路 7 2 を介してアンテナ 7 1 から外部に出力される。

[0053] また、入力される受信信号が GSM 通信方式に対応した信号である場合は、アンテナスイッチ回路 7 2 は、周波数帯域に応じて受信フィルタ 7 7 ~ 8 0 のうちいずれか一つを選択し、受信信号を出力する。受信フィルタ 7 7 ~ 8 0 のうちいずれか一つで帯域制限された受信信号は、LSI 8 3 に入力される。LSI 8 3 は、入力される受信信号に基づいて音声信号への復調処理を行ったり、携帯電話端末内の各部を動作制御したりする。一方、信号を送信する場合は、LSI 8 3 は送信信号を生成する。生成された送信信号は、パワーアンプ 8 1 または 8 2 で増幅されて、アンテナスイッチ回路 7 2 を介してアンテナ 7 1 から外部に出力される。

[0054] 本実施の形態によれば、スプリアスを低減することができる通信装置を、安価に実現することができる。

[0055] [4. 実施の形態の効果、他]

本実施の形態によれば、質量負荷膜 5 1 における島パターン 5 1 a を、上部電極 4 5 と下部電極 4 3 との対向領域の中心部に近いほど密配置とし、対

向領域の外周部に近いほど疎配置とすることにより、不要スプリアスを低減した優れた特性の圧電薄膜共振子を安価に実現することができる。すなわち、質量負荷膜 51 の島パターン 51a を、対向領域の中心部を密配置とし、対向領域の外周部を疎配置とすることは、擬似的に中心部の膜密度を高くし、外周部の膜密度を低くしていることとを等しいことになる。その結果、主振動である厚み縦振動以外の不要スプリアスの要因となる横方向の弾性波の閉じ込め効果が少なくなり、結果として不要スプリアスが低減される。

[0056] なお、実施例 1 では図 4 に示すように、質量負荷膜 51 に島パターン 51a を有する構成としたが、質量負荷膜 51 にホールパターンを有する構成としてもよい。図 16 は、ホールパターン 51b を有する質量負荷膜 51 の平面図である。図 16 に示すように、質量負荷膜 51 にホールパターン 51b を設ける場合は、対向領域の中心部（線分 L1 と L2 との交点）に近いほどホールパターン 51b を疎配置とし、対向領域の外周部に近いほどホールパターン 51b を密配置とする。このような構成の質量負荷膜 51 を圧電薄膜共振子に備えることで、図 5 に示す共振特性と同様の共振特性を得られ、不要スプリアスを低減することができる。

[0057] 本実施の形態に関して、以下の付記を開示する。

[0058] （付記 1）

基板と、前記基板の上に配されている下部電極と、前記下部電極の上に配されている圧電膜と、前記圧電膜の少なくとも一部を挟んで前記下部電極に対向配置されている上部電極とを備えた圧電薄膜共振子であって、前記上部電極は、少なくとも前記下部電極に対向する領域に複数の凹凸パターンが形成され、前記凹凸パターンは、前記領域の中心部で密配置、前記領域の外周部で疎配置になるように形成されている、圧電薄膜共振子。

[0059] 上部電極と下部電極との対向領域の形状が方形である場合、この対向領域の外周にある一点から出た横モードの音波は、反対側の平行な辺に垂直に反射して元の点に戻る。このような音波の往復の共振経路が同じものが複数存在する場合、不要スプリアスとして出現する。ここで、対向領域において、

上部電極に複数の凹凸が一定の割合でピッチを異ならせて形成することにより、ある一点から出た横モードの音波は、これら凹凸の境界面で反射し、しかも、各凹凸は対向領域の中心部で密、外周部で疎になるように形成することによって同じ共振経路がほとんど存在せず、横モードの定在波の発生を抑制することができ、スプリアスを抑制することができる。

[0060] (付記 2)

基板と、前記基板の上に配されている下部電極と、前記下部電極の上に配されている圧電膜と、前記圧電膜の少なくとも一部を挟んで前記下部電極に対向配置されている上部電極とを備えた圧電薄膜共振子であって、前記上部電極の上に配されている質量負荷膜を備え、前記質量負荷膜は、少なくとも前記下部電極に対向する領域に複数の凹凸パターンが形成され、前記凹凸パターンは、前記領域の中心部で密配置、前記領域の外周部で疎配置になるように形成されている、圧電薄膜共振子。この構成によれば、スプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0061] (付記 3)

前記凹凸パターンは、中心部で密配置、外周部で疎配置になるように、規則的にピッチを異ならせて形成されている、付記 1 または 2 記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、横モードに起因したスプリアスを設計性に優れた方法で抑制することができる。

[0062] (付記 4)

前記凹凸パターンは、前記上部電極の一部で形成されている、付記 1 ～ 3 のいずれか一つに記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、電極抵抗が増加することを抑制することができ、低損失でスプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0063] (付記 5)

前記凹凸パターンは、島形状あるいはホール形状のドットパターンが複数形成されている、付記 1 ～ 4 のうちいずれか一つに記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、スプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することがで

きる。

[0064] (付記 6)

前記上部電極の前記凹凸パターンの上に質量負荷膜が形成されている、付記 1 ～ 5 のうちいずれか一つに記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、スプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0065] (付記 7)

前記質量負荷膜の形状は、前記質量負荷膜の膜厚に相当する高さで形成する、付記 2 記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、前記複数パターンの高さを制御よく形成でき、安定してスプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0066] (付記 8)

前記質量負荷膜と前記上部電極は、異なる材料で形成されている、付記 2 記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、前記複数パターンの高さを制御よく形成でき、安定してスプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0067] (付記 9)

前記質量負荷膜と前記上部電極の材料の組み合わせは、エッチング選択性のある材料の組み合わせである、付記 2 記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、前記複数パターンの高さを制御よく形成でき、安定してスプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0068] (付記 10)

前記質量負荷膜と前記上部電極との間に他の質量負荷膜を備えた、付記 2 記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、スプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0069] (付記 11)

前記質量負荷膜の上に他の質量負荷膜を備えた、付記 2 記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、スプリアスの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0070] (付記 12)

前記上部電極と前記下部電極との重なり領域は、楕円形である、付記 1 または 2 に記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、圧電薄膜の外周で反射された弾性波が共振子内で横方向の定在波として存在することを抑制することができる。これにより、よりスリプの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0071] (付記 13)

前記上部電極と前記下部電極の重なり領域は、非平行の辺からなる多角形である、付記 1 または 2 に記載の圧電薄膜共振子。この構成によれば、圧電薄膜の外周で反射された弾性波が共振子内で横方向の定在波として存在することを抑制することができる。これにより、よりスリプの小さい圧電薄膜共振子を提供することができる。

[0072] (付記 14)

付記 1 ～ 13 のうちいずれか一つに記載の圧電薄膜共振子を少なくとも 1 つ備えた、弾性波デバイス。本構成によれば、小型で高性能な弾性波デバイスを提供することができる。

[0073] (付記 15)

付記 1 ～ 13 のうちいずれか一つに記載の圧電薄膜共振子を少なくとも 1 つ備えた、フィルタ素子。本構成によれば、小型で高性能なフィルタ素子を提供することができる。

[0074] (付記 16)

付記 1 ～ 13 のうちいずれか一つに記載の圧電薄膜共振子を少なくとも 1 つ備えた、デュープレクサ。本構成によれば、小型で高性能なデュープレクサを提供することができる。

[0075] (付記 17)

付記 1 ～ 13 のうちいずれか一つに記載の圧電薄膜共振子を少なくとも 1 つ備えた、通信モジュール。本構成によれば、小型で高性能な通信モジュールを提供することができる。

[0076] (付記 17)

付記 1 ～ 13 のうちいずれか一つに記載の圧電薄膜共振子を少なくとも 1 つ備えた、通信装置。本構成によれば、小型で高性能な通信装置を提供することができる。

産業上の利用可能性

[0077] 本願は、圧電薄膜共振子、通信モジュール、通信装置に有用である。

符号の説明

- [0078]
- 4 1 基板
 - 4 2 空隙
 - 4 3 下部電極
 - 4 4 圧電膜
 - 4 5 上部電極
 - 4 6 メンブレン部
 - 5 0 質量負荷膜
 - 5 1 質量負荷膜

請求の範囲

- [請求項1] 基板と、
前記基板の上に配されている下部電極と、
前記下部電極の上に配されている圧電膜と、
前記圧電膜の少なくとも一部を挟んで前記下部電極に対向配置されている上部電極とを備えた圧電薄膜共振子であって、
前記上部電極の上に配されている質量負荷膜を備え、
前記質量負荷膜は、少なくとも前記下部電極に対向する領域に複数の凹凸パターンが形成され、
前記凹凸パターンは、前記領域の中心部で密配置、前記領域の外周部で疎配置になるように形成されている、圧電薄膜共振子。
- [請求項2] 前記上部電極には、前記凹凸パターンと嵌合するように形成された凹凸パターンを有する、請求項1記載の圧電薄膜共振子。
- [請求項3] 前記凹凸パターンは、前記領域の中心部で密配置、前記領域の外周部で疎配置になるように、規則的にピッチを異ならせている、請求項1記載の圧電薄膜共振子。
- [請求項4] 前記凹凸パターンは、島形状あるいはホール形状のドットパターンである、請求項1記載の圧電薄膜共振子。
- [請求項5] 請求項1又は2に記載の圧電薄膜共振子を備えた、通信モジュール。