

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2025-41295  
(P2025-41295A)

(43)公開日 令和7年3月26日(2025.3.26)

(51)国際特許分類		F I			テーマコード(参考)
H 0 3 H	9/17 (2006.01)	H 0 3 H	9/17	F	5 J 1 0 8
H 0 3 H	3/02 (2006.01)	H 0 3 H	3/02	B	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全20頁)

(21)出願番号	特願2023-148488(P2023-148488)	(71)出願人	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	令和5年9月13日(2023.9.13)	(74)代理人	100087480 弁理士 片山 修平
		(72)発明者	藤田 倫仁 東京都中央区京橋二丁目7番19号 太陽誘電株式会社内
		Fターム(参考)	5J108 AA07 BB01 BB08 CC04 CC10 CC11 EE03 EE04 EE05 EE07 EE13 FF01 FF07 FF11 HH03 HH05 JJ01 KK01 KK07 MM08 MM11

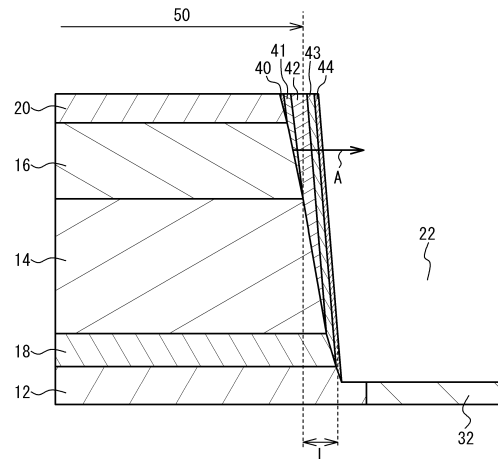
(54)【発明の名称】 弾性波デバイス、フィルタ、マルチプレクサ、および弾性波デバイスの製造方法

(57)【要約】

【課題】下部電極と上部電極の短絡を抑制することが可能な弾性波デバイスを提供する。

【解決手段】弾性波デバイスは、下部電極12と上部電極16の間に少なくとも一部が挟まれ、共振領域50に沿いかつ上面から下面にかけて貫通して下部電極12の一部まで掘り込まれた貫通孔22を有する圧電層14と、下部電極12と圧電層14の間に設けられ、下部電極12および上部電極16より抵抗率が高い挿入膜18と、上部電極16の側面上に下部電極12に接続して設けられ、下部電極12の構成元素のA1を含む膜44と、上部電極16の側面と膜44の間に設けられ、圧電層14の構成元素のNbの濃度が膜44より高い膜42と、膜44と膜42の間に設けられ、挿入膜18の構成元素であって圧電層14の構成元素と異なるSiの濃度が膜42より高くかつ圧電層14の構成元素であって挿入膜18の構成元素と異なるNbの濃度が膜42より低い膜43とを備える。

【選択図】図8



10

20

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板と、  
前記基板上に設けられた下部電極と、  
前記下部電極上に設けられた上部電極と、  
前記下部電極と前記上部電極の間に少なくとも一部が挟まれて前記基板上に設けられ、  
平面視において前記少なくとも一部を挟んで前記下部電極と前記上部電極が重なる共振領域に沿いかつ前記下部電極の一部に接する貫通孔を有する圧電層と、  
前記下部電極および前記上部電極の少なくとも一方と前記圧電層との間に設けられ、前記下部電極および前記上部電極より抵抗率が高い挿入膜と、  
前記上部電極の側面に前記下部電極に接続して設けられ、前記下部電極の構成元素を含む第 1 膜と、  
前記上部電極の側面と前記第 1 膜の間に設けられ、前記圧電層の構成元素の濃度が前記第 1 膜より高い第 2 膜と、  
前記上部電極の側面と前記第 2 膜の間および前記第 1 膜と前記第 2 膜の間の少なくとも一方に設けられ、前記挿入膜の構成元素であって前記圧電層の構成元素と異なる元素の濃度が前記第 2 膜より高かつ前記圧電層の構成元素であって前記挿入膜の構成元素と異なる元素の濃度が前記第 2 膜より低い第 3 膜と、を備える弾性波デバイス。

10

## 【請求項 2】

前記第 2 膜および前記第 3 膜は、前記下部電極の構成元素の濃度が前記第 1 膜より低い、請求項 1 に記載の弾性波デバイス。

20

## 【請求項 3】

前記第 2 膜および前記第 3 膜は、前記下部電極の構成元素を含まない、請求項 1 または 2 に記載の弾性波デバイス。

## 【請求項 4】

前記第 1 膜は、前記挿入膜の構成元素の濃度が前記第 3 膜より低い、請求項 1 または 2 に記載の弾性波デバイス。

## 【請求項 5】

前記挿入膜は無機絶縁膜である、請求項 1 または 2 に記載の弾性波デバイス。

## 【請求項 6】

前記挿入膜は、酸化シリコン、窒化シリコン、窒化アルミニウム、酸化アルミニウム、酸化タンタル、酸化ジルコニウム、炭化シリコン、酸化イットリウム、酸化ハフニウム、酸化チタン、および酸化マグネシウムのうち少なくとも 1 種を含んで形成される、請求項 5 に記載の弾性波デバイス。

30

## 【請求項 7】

前記圧電層は単結晶タンタル酸リチウム層または単結晶ニオブ酸リチウム層である、請求項 1 または 2 に記載の弾性波デバイス。

## 【請求項 8】

前記下部電極および前記上部電極は前記共振領域における前記圧電層に厚みすべり振動を励振し、

40

前記貫通孔は前記共振領域を挟んで 2 つ設けられ、

前記厚みすべり振動の振動方向は 2 つの前記貫通孔が前記共振領域を挟んで対向する方向に交差する方向である、請求項 7 に記載の弾性波デバイス。

## 【請求項 9】

前記貫通孔と前記共振領域における前記圧電層との間の最大の距離は、前記共振領域における前記圧電層の厚さの 3 . 2 倍以下である、請求項 8 に記載の弾性波デバイス。

## 【請求項 10】

請求項 1 または 2 に記載の弾性波デバイスを含むフィルタ。

## 【請求項 11】

請求項 10 に記載のフィルタを含むマルチプレクサ。

50

## 【請求項 1 2】

基板上に下部電極、圧電層、上部電極をこの順に形成し、かつ、前記下部電極と前記圧電層の間および前記圧電層と前記上部電極の間の少なくとも一方に前記下部電極および前記上部電極より抵抗率が高い挿入膜を形成する工程と、

前記下部電極と前記上部電極が前記圧電層を挟んで重なる共振領域の側方における前記圧電層、前記挿入膜、および前記下部電極をエッチングし、前記下部電極のエッチングにより付着した第1膜と前記上部電極の側面との間に前記圧電層のエッチングにより付着した第2膜が形成され、前記上部電極の側面と前記第2膜の間および前記第1膜と前記第2膜の間の少なくとも一方に前記挿入膜のエッチングにより付着した第3膜が形成されるようにして、前記共振領域に沿った貫通孔を前記圧電層に形成する工程と、を備える弾性波デバイスの製造方法。

10

## 【請求項 1 3】

前記圧電層、前記挿入膜、および前記下部電極のエッチングはイオンミリング法を用いる、請求項 1 2 に記載の弾性波デバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、弾性波デバイス、フィルタ、マルチプレクサ、および弾性波デバイスの製造方法に関する。

## 【背景技術】

20

## 【0002】

携帯端末等の無線端末の高周波回路用のフィルタおよびデュプレクサとして、圧電薄膜共振器を用いたフィルタおよびデュプレクサが知られている。圧電薄膜共振器は、基板上に設けられた圧電層と、圧電層を挟んで基板上に設けられた下部電極および上部電極と、を備える。圧電層を挟み下部電極と上部電極が対向する領域は、弾性波が励振される共振領域である。圧電層にニオブ酸リチウム層またはタンタル酸リチウム層を用いることが知られている（例えば特許文献1）。また、圧電層に共振領域に沿った貫通孔を設けることで弾性波の漏洩が抑制されることが知られている（例えば非特許文献1）。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

30

## 【0003】

【特許文献1】特開2008-42871号公報

## 【非特許文献】

## 【0004】

【非特許文献1】Ting Wu、外4名、「Application of Free Side Edges to Thickness Shear Bulk Acoustic Resonator On Lithium Niobate for Suppression of Transverse Resonance」、弾性波素子技術コンソーシアム第2回研究会資料、令和3年3月8日

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

40

## 【0005】

圧電層をエッチングして共振領域に沿った貫通孔を形成する場合、下部電極の一部までエッチングされる場合がある。この場合に、圧電層および下部電極のエッチングにより除去された材料が上部電極の側面上に付着することがある。下部電極のエッチング材料が上部電極の側面上に付着することで、この付着膜を介して下部電極と上部電極が短絡し、デバイス特性が劣化してしまうことがある。

## 【0006】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、下部電極と上部電極の短絡を抑制することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

50

## 【0007】

本発明は、基板と、前記基板上に設けられた下部電極と、前記下部電極上に設けられた上部電極と、前記下部電極と前記上部電極の間に少なくとも一部が挟まれて前記基板上に設けられ、平面視において前記少なくとも一部を挟んで前記下部電極と前記上部電極が重なる共振領域に沿いかつ前記下部電極の一部に接する貫通孔を有する圧電層と、前記下部電極および前記上部電極の少なくとも一方と前記圧電層との間に設けられ、前記下部電極および前記上部電極より抵抗率が高い挿入膜と、前記上部電極の側面に前記下部電極に接続して設けられ、前記下部電極の構成元素を含む第1膜と、前記上部電極の側面と前記第1膜の間に設けられ、前記圧電層の構成元素の濃度が前記第1膜より高い第2膜と、前記上部電極の側面と前記第2膜の間および前記第1膜と前記第2膜の間の少なくとも一方に設けられ、前記挿入膜の構成元素であって前記圧電層の構成元素と異なる元素の濃度が前記第2膜より高かつ前記圧電層の構成元素であって前記挿入膜の構成元素と異なる元素の濃度が前記第2膜より低い第3膜と、を備える弾性波デバイスである。

10

## 【0008】

上記構成において、前記第2膜および前記第3膜は、前記下部電極の構成元素の濃度が前記第1膜より低い構成とすることができる。

## 【0009】

上記構成において、前記第2膜および前記第3膜は、前記下部電極の構成元素を含まない構成とすることができる。

## 【0010】

上記構成において、前記第1膜は、前記挿入膜の構成元素の濃度が前記第3膜より低い構成とすることができる。

20

## 【0011】

上記構成において、前記挿入膜は無機絶縁膜である構成とすることができる。

## 【0012】

上記構成において、前記挿入膜は、酸化シリコン、窒化シリコン、窒化アルミニウム、酸化アルミニウム、酸化タンタル、酸化ジルコニウム、炭化シリコン、酸化イットリウム、酸化ハフニウム、酸化チタン、および酸化マグネシウムのうち少なくとも1種を含んで形成される構成とすることができる。

## 【0013】

上記構成において、前記圧電層は単結晶タンタル酸リチウム層または単結晶ニオブ酸リチウム層である構成とすることができる。

30

## 【0014】

上記構成において、前記下部電極および前記上部電極は前記共振領域における前記圧電層に厚みすべり振動を励振し、前記貫通孔は前記共振領域を挟んで2つ設けられ、前記厚みすべり振動の振動方向は2つの前記貫通孔が前記共振領域を挟んで対向する方向に交差する方向である構成とすることができる。

## 【0015】

上記構成において、前記貫通孔と前記共振領域における前記圧電層との間の最大の距離は、前記共振領域における前記圧電層の厚さの3.2倍以下である構成とすることができる。

40

## 【0016】

本発明は、上記に記載の弾性波デバイスを含むフィルタである。

## 【0017】

本発明は、上記に記載のフィルタを含むマルチプレクサである。

## 【0018】

本発明は、基板上に下部電極、圧電層、上部電極をこの順に形成し、かつ、前記下部電極と前記圧電層の間および前記圧電層と前記上部電極の間の少なくとも一方に前記下部電極および前記上部電極より抵抗率が高い挿入膜を形成する工程と、前記下部電極と前記上部電極が前記圧電層を挟んで重なる共振領域の側方における前記圧電層、前記挿入膜、お

50

よび前記下部電極をエッチングし、前記下部電極のエッチングにより付着した第1膜と前記上部電極の側面との間に前記圧電層のエッチングにより付着した第2膜が形成され、前記上部電極の側面と前記第2膜の間および前記第1膜と前記第2膜の間の少なくとも一方に前記挿入膜のエッチングにより付着した第3膜が形成されるようにして、前記共振領域に沿った貫通孔を前記圧電層に形成する工程と、を備える弾性波デバイスの製造方法である。

【0019】

上記構成において、前記圧電層、前記挿入膜、および前記下部電極のエッチングはイオンリング法を用いる構成とすることができる。

【発明の効果】

10

【0020】

本発明によれば、下部電極と上部電極の短絡を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】図1は、実施例1に係る弾性波デバイスの平面図である。

【図2】図2(a)は、図1のA-A断面図、図2(b)は、図1のB-B断面図である。

【図3】図3(a)および図3(b)は、圧電層がニオブ酸リチウム層またはタンタル酸リチウム層である場合における圧電層の結晶方位と厚みすべり振動の振動方向との関係を示す図である。

20

【図4】図4は、シミュレーションに用いたモデルAの断面図である。

【図5】図5は、モデルAにおける貫通孔と共振領域との間の距離に対するYのシミュレーション結果である。

【図6】図6(a)から図6(c)は、実施例1に係る弾性波デバイスの製造方法を示す断面図(その1)である。

【図7】図7(a)および図7(b)は、実施例1に係る弾性波デバイスの製造方法を示す断面図(その2)である。

【図8】図8は、実施例1における貫通孔近傍の断面図である。

【図9】図9(a)および図9(b)は、実施例1における貫通孔の形成工程を示す断面図(その1)である。

30

【図10】図10(a)から図10(c)は、実施例1における貫通孔の形成工程を示す断面図(その2)である。

【図11】図11は、実施例1における組成分析の実験結果を示す図である。

【図12】図12は、実施例1の変形例1における貫通孔近傍の断面図である。

【図13】図13は、実施例1の変形例2における貫通孔近傍の断面図である。

【図14】図14は、比較例における貫通孔近傍の断面図である。

【図15】図15は、比較例における組成分析の実験結果を示す図である。

【図16】図16(a)および図16(b)は、実施例2に係る弾性波デバイスの断面図である。

【図17】図17は、実施例3に係るフィルタの回路図である。

40

【図18】図18は、実施例4に係るデュプレクサの回路図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

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】

【0023】

図1は、実施例1に係る弾性波デバイス100の平面図である。図2(a)は、図1のA-A断面図、図2(b)は、図1のB-B断面図である。図1では、主に下部電極12、圧電層14、および上部電極16を図示している。また、図の明瞭化のために、図1では、共振領域50にハッチングを付し、貫通孔22を他より太い線で図示し、図2(b)

50

では、上部電極 16 等の側面上に形成された膜については図示を省略している。圧電層 14 の法線方向を Z 方向、圧電層 14 の平面方向において互いに直交する方向を X 方向および Y 方向とする。

#### 【0024】

図 1、図 2 (a)、および図 2 (b) に示すように、弾性波デバイス 100 は、下部電極 12 と圧電層 14 と上部電極 16 とを備える圧電薄膜共振器である。基板 10 上に音響反射膜 30 が設けられ、音響反射膜 30 上に圧電層 14 が設けられている。圧電層 14 の上面および下面は平坦面である。圧電層 14 の上下に上部電極 16 および下部電極 12 が設けられている。圧電層 14 の少なくとも一部を挟み下部電極 12 と上部電極 16 とが平面視において重なる領域が共振領域 50 である。共振領域 50 の平面形状は例えばほぼ矩形である。矩形はほぼ直線の 4 つの辺を有する。4 つの辺のうち一对の辺はほぼ Y 方向に沿って伸び、別の一对の辺はほぼ X 方向に沿って伸びている。

10

#### 【0025】

基板 10 は、例えばシリコン基板、サファイア基板、アルミナ基板、スピネル基板、石英基板、水晶基板、ガラス基板、セラミック基板、または GaAs 基板等である。圧電層 14 は、例えば単結晶ニオブ酸リチウム層または単結晶タンタル酸リチウム層である。圧電層 14 の厚さは例えば 200 nm ~ 1000 nm 程度である。下部電極 12 および上部電極 16 は、例えばルテニウム (Ru)、クロム (Cr)、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)、またはイリジウム (Ir) 等の単層膜またはこれらの積層膜である。下部電極 12 および上部電極 16 の厚さは例えば 20 nm ~ 150 nm 程度である。下部電極 12 および上部電極 16 は、例えば圧電層 14 の構成元素と異なる金属元素により形成されている。

20

#### 【0026】

下部電極 12 と上部電極 16 との間に高周波電力が印加されると、共振領域 50 内の圧電層 14 に弾性波が励振する。弾性波の波長は圧電層 14 の厚さのほぼ 2 倍である。圧電層 14 が単結晶ニオブ酸リチウム層または単結晶タンタル酸リチウム層である場合、圧電層 14 には弾性波の変位が Z 方向にほぼ直交する方向 (すなわち厚さに対して歪み方向) に振動する弾性波が励振される。この振動を厚みすべり振動という。厚みすべり振動の変位の最も大きい方向 (厚みすべり振動の変位方向) を厚みすべり振動の振動方向 60 とする。ここでは、厚みすべり振動の振動方向 60 は Y 方向である。下部電極 12 および上部電極 16 は、共振領域 50 から厚みすべり振動の振動方向 60 と同じ Y 方向に引き出されている。

30

#### 【0027】

音響反射膜 30 は、音響インピーダンスの低い膜 32 と音響インピーダンスの高い膜 34 とを有する。共振領域 50 において音響インピーダンスの低い膜 32 と高い膜 34 は交互に設けられている。共振領域 50 における膜 32 および 34 の厚さは例えばそれぞれほぼ  $\lambda/4$  ( $\lambda$  は弾性波の波長) である。これにより、音響反射膜 30 は弾性波を反射する。膜 32 と膜 34 の積層数は任意に設定できる。音響反射膜 30 は、音響特性の異なる少なくとも 2 種類の層が間隔をあけて積層されていればよい。また、基板 10 が音響反射膜 30 の音響特性の異なる少なくとも 2 種類の層のうち 1 層であってもよい。例えば、音響反射膜 30 は、基板 10 中に音響インピーダンスの異なる膜が 1 層設けられている場合でもよい。平面視において、膜 32 および膜 34 の積層部分は共振領域 50 に重なり共振領域 50 と同じ大きさまたは共振領域 50 より大きい。膜 32 および膜 34 の積層部分を平面視にて共振領域 50 より大きくすることで、共振領域 50 から斜め方向に漏れた弾性波を音響反射膜 30 で反射させることができ、特性の劣化を抑制することができる。音響インピーダンスの低い膜 32 は例えば酸化シリコン (SiO<sub>2</sub>) 膜であり、高い膜 34 は例えばタングステン (W) 膜である。

40

#### 【0028】

共振領域 50 において下部電極 12 と圧電層 14 の間に挿入膜 18 が設けられている。

50

挿入膜 18 は、平面視において共振領域 50 と同じ大きさまたは共振領域 50 より大きい。挿入膜 18 は、下部電極 12 および上部電極 16 よりも体積抵抗率の高い膜であり、例えば酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) 膜である。挿入膜 18 の厚さは、例えば 5 nm ~ 20 nm 程度であり、例えば圧電層 14 の厚さの 10% 以下である。圧電層 14 および上部電極 16 を覆って保護膜 20 が設けられている。保護膜 20 は、絶縁膜であり、例えば酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) 膜、窒化シリコン ( $\text{SiN}$ ) 膜、または酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 膜等である。

#### 【0029】

圧電層 14 には、X 方向において共振領域 50 を挟み、Y 方向において共振領域 50 に沿った一対の貫通孔 22 が形成されている。貫通孔 22 は、下部電極 12 の一部まで掘り込まれている。一対の貫通孔 22 それぞれと共振領域 50 における圧電層 14 との間の距離はほぼ同じである。貫通孔 22 は、例えば平面視においてほぼ矩形状をしている。貫通孔 22 が設けられることで、共振領域 50 に励振された弾性波が外部に漏れることが抑制される。

10

#### 【0030】

ここで、圧電層 14 がニオブ酸リチウム層またはタンタル酸リチウム層である場合の圧電層 14 の結晶方位と、厚みすべり振動の振動方向 60 と、の関係について説明する。まず、オイラー角 ( ) の定義について説明する。右手系の XYZ 座標系において、圧電層 14 の上面の法線方向を Z 方向とし、Z 方向に直交する方向であって圧電層 14 の上面の面方向で互いに直交する方向を X 方向および Y 方向とする。X 方向、Y 方向、および Z 方向をそれぞれ結晶方位の X 軸方向、Y 軸方向、および Z 軸方向とする。次に、Z 方向を中心に + X 方向から + Y 方向に角度 回転させる。角度 回転後の X 方向を中心に + Y 方向から + Z 方向に角度 回転させる。角度 回転後の Z 方向を中心に + X 方向から + Y 方向に角度 回転させる。このように回転させたときのオイラー角は ( ) となる。なお、( ) を用い表現されるオイラー角は、等価なオイラー角を含む。

20

#### 【0031】

図 3 (a) および図 3 (b) は、圧電層 14 がニオブ酸リチウム層またはタンタル酸リチウム層である場合における圧電層 14 の結晶方位と厚みすべり振動の振動方向 60 との関係を示す図である。図 3 (a) および図 3 (b) における左側の破線矢印は圧電層 14 の結晶軸の方位を示す。右側の実線矢印は図 1、図 2 (a)、および図 2 (b) の X 方向、Y 方向、および Z 方向に対応する。図 3 (a) に示すように、+ X 方向、+ Y 方向、および + Z 方向をそれぞれ圧電層 14 の結晶方位の + X 軸方向、+ Y 軸方向、および + Z 軸方向とする。図 3 (b) に示すように、図 3 (a) の状態から、X 方向を中心に YZ 平面上において + Y 方向および + Z 方向を + Y 方向から - Z 方向に 105° 回転させる。このように回転させると、結晶方位の + Z 軸方向を + Y 軸方向に向かって 105° 回転させた方向が + Z 方向となる。このとき、Y 方向が厚みすべり振動の振動方向 60 となる。オイラー角では (0°、-105°、0°) となる。なお、上記と同様の方法によって導出されるオイラー角が (0°、-105°、90°) の場合には、X 方向が厚みすべり振動の振動方向 60 となる。オイラー角の各角度は ±5° の範囲内を許容し、±1° の範囲内であることがより好ましい。

30

40

#### 【0032】

##### [シミュレーション]

図 4 は、シミュレーションに用いたモデル A の断面図である。図 4 に示すように、モデル A は、基板 10 上に音響インピーダンスの低い膜 32 と高い膜 34 を有する音響反射膜 30 を備える。音響反射膜 30 上に圧電層 14 が設けられている。圧電層 14 を挟むように下部電極 12 と上部電極 16 が設けられている。これにより、共振領域 50 が形成されている。共振領域 50 の側方に位置する貫通孔 22 が圧電層 14 に設けられている。

#### 【0033】

モデル A に対して、貫通孔 22 と共振領域 50 との間の距離 L が異なるときの Y につ

50

いてシミュレーションをした。Yは、アドミッタンス $|Y|$ の周波数特性のシミュレーション結果から、共振周波数でのアドミッタンス $|Y|$ の絶対値と反共振周波数でのアドミッタンス $|Y|$ の絶対値との差を求めることで算出した。シミュレーション条件は以下である。

基板 10 : シリコン基板

音響インピーダンスの低い膜 32 : 共振領域 50 での厚さが 150 nm の酸化シリコン (SiO<sub>2</sub>) 膜

音響インピーダンスの高い膜 34 : 共振領域 50 での厚さが 115 nm のタングステン (W) 膜

下部電極 12 : 厚さ 44 nm のアルミニウム (Al) 膜

圧電層 14 : 厚さ 310 nm の単結晶ニオブ酸リチウム (LiNbO<sub>3</sub>) 層

上部電極 16 : 厚さ 44 nm のアルミニウム (Al) 膜

貫通孔 22 の幅 W : 1.0 μm

弾性波の波長 : 620 nm

10

#### 【0034】

図5は、モデルAにおける貫通孔22と共振領域50との間の距離Lに対するYのシミュレーション結果である。図5に示すように、距離Lが1000 nm程度までは、距離Lが大きくなるに連れてYは小さくなった。距離Lが1000 nmを超えると、Yの低下は飽和して、Yはほぼ同じ大きさとなった。この結果から、デバイス特性の劣化を抑制しつつデバイスの大型化を抑制する点から、貫通孔22は、共振領域50からの距離Lが1.0 μm以下の位置に形成されることが好ましいと言える。言い換えると、貫通孔22は、共振領域50からの距離Lが1.6 μm以下の位置に形成されることが好ましいと言える。

20

#### 【0035】

##### [製造方法]

図6(a)から図7(b)は、実施例1に係る弾性波デバイス100の製造方法を示す断面図である。図6(a)から図7(b)は、図1のB-B間に相当する箇所の断面図である。図6(a)に示すように、圧電層14として圧電基板を準備する。圧電層14上に挿入膜18と下部電極12を形成する。挿入膜18および下部電極12は、例えばスパッタリング法、真空蒸着法、またはCVD (Chemical Vapor Deposition) 法を用いて成膜した後、例えばフォトリソグラフィ法およびエッチング法を用いて所望の形状にパターニングすることで形成する。挿入膜18および下部電極12はリフトオフ法を用いて形成してもよい。

30

#### 【0036】

図6(b)に示すように、圧電層14上に挿入膜18および下部電極12を覆って音響反射膜30を形成する。音響反射膜30は、音響インピーダンスの低い膜32と高い膜34を交互に成膜し、音響インピーダンスの高い膜34に関しては所望の形状にパターニングすることにより形成する。音響インピーダンスの低い膜32と高い膜34の成膜は例えばスパッタリング法またはCVD法を用い、パターニングは例えばフォトリソグラフィ法およびエッチング法を用いる。その後、音響反射膜30の上面を例えばCMP (Chemical Mechanical Polishing) 法を用い平坦化する。

40

#### 【0037】

図6(c)に示すように、音響反射膜30を基板10に接合させる。接合には例えば表面活性化法を用いる。基板10と音響反射膜30との間にシリコン膜等の接合層を設けてもよい。次いで、圧電層14を所望の厚さに薄膜化する。薄膜化には、例えば研削法および/またはCMP法を用いる。例えば研削法を用いて圧電層14をほぼ所望の厚さとし、CMP法を用いて上面を平坦化する。これにより、圧電層14の上面は製造誤差程度に平坦面となる。

#### 【0038】

図7(a)に示すように、圧電層14上に上部電極16および保護膜20を形成する。

50

上部電極 16 および保護膜 20 は、例えばスパッタリング法、真空蒸着法、または CVD 法を用いて成膜した後、例えばフォトリソグラフィ法およびエッチング法を用いて所望の形状にパターンングすることで形成する。上部電極 16 はリフトオフ法を用いて形成してもよい。圧電層 14 の少なくとも一部を挟んで下部電極 12 と上部電極 16 が平面視にて重なる共振領域 50 が形成される。

#### 【0039】

図 7 (b) に示すように、共振領域 50 の側方における圧電層 14 を除去して、共振領域 50 に沿った貫通孔 22 を圧電層 14 に形成する。圧電層 14 の除去は例えばフォトリソグラフィ法およびエッチング法を用いる。例えば、圧電層 14 の除去は、ドライエッチング法により行い、例えばアルゴン (Ar) ガスを用いたイオンミリング法により行う。このときに、圧電層 14 を貫通する貫通孔 22 が確実に形成されるようにオーバーエッチングをする。このため、挿入膜 18 および下部電極 12 もエッチングされる。以上により、実施例 1 に係る弾性波デバイス 100 が形成される。

10

#### 【0040】

##### [貫通孔近傍]

図 8 は、実施例 1 における貫通孔 22 近傍の断面図である。図 8 に示すように、保護膜 20 の側面上に保護膜 20 の材料を含む膜 40 が形成されている。上部電極 16 の側面上から膜 40 の側面上にかけて上部電極 16 の材料を含む膜 41 が形成されている。圧電層 14 の側面上から膜 41 の側面上にかけて圧電層 14 の材料を含む膜 42 が形成されている。挿入膜 18 の側面上から膜 42 の側面上にかけて挿入膜 18 の材料を含む膜 43 が形成されている。下部電極 12 の側面上から膜 43 の側面上にかけて下部電極 12 の材料を含む膜 44 が形成されている。膜 40、41、42、43、44 は、貫通孔 22 を形成するときに付着した付着膜であるため、規則的な結晶構造状態を取らない、つまりアモルファスの割合が多く含まれる。

20

#### 【0041】

貫通孔 22 と共振領域 50 における圧電層 14 との間の最大の距離 L は  $1.0 \mu\text{m}$  以下となっている。これにより、図 5 のように、デバイス特性の劣化を抑制しつつデバイスの大型化を抑制することができる。デバイス特性の劣化を抑制する点から、距離 L は  $0.8 \mu\text{m}$  以下が好ましく、 $0.5 \mu\text{m}$  以下がより好ましく、 $0.2 \mu\text{m}$  以下が更に好ましい。

#### 【0042】

膜 40、41、42、43、および 44 が形成される過程について図を用いて説明する。図 9 (a) から図 10 (c) は、実施例 1 における貫通孔 22 の形成工程を示す断面図である。図 9 (a) に示すように、上部電極 16 上にフォトレジストからなるマスク層 70 を形成する。マスク層 70 は、上部電極 16 の端よりも内側に位置して形成される。

30

#### 【0043】

図 9 (b) に示すように、マスク層 70 をマスクとして保護膜 20 および上部電極 16 をエッチングする。エッチングは、ドライエッチング法を用い、例えば Ar ガスを用いたイオンミリング法を用いる。保護膜 20 のエッチングの際に除去された材料が保護膜 20 の側面およびマスク層 70 の側面に付着し、保護膜 20 の材料を含む膜 40 が保護膜 20 の側面上からマスク層 70 の側面上にかけて形成される。また、上部電極 16 のエッチングの際に除去された材料が上部電極 16 の側面および膜 40 の側面に付着し、上部電極 16 の材料を含む膜 41 が上部電極 16 の側面上から膜 40 の側面上にかけて形成される。

40

#### 【0044】

図 10 (a) に示すように、保護膜 20 および上部電極 16 のエッチングに続いて、マスク層 70 をマスクとして圧電層 14 をエッチングする。エッチングは、上述のように、ドライエッチング法を用い、例えば Ar ガスを用いたイオンミリング法を用いる。圧電層 14 のエッチングの際に除去された材料が圧電層 14 の側面および膜 41 の側面に付着し、圧電層 14 の材料を含む膜 42 が圧電層 14 の側面上から膜 41 の側面上にかけて形成される。

#### 【0045】

50

図 10 ( b ) に示すように、圧電層 14 のエッチングに続いて、マスク層 70 をマスクとして挿入膜 18 をエッチングする。エッチングは、上述のように、ドライエッチング法を用い、例えば Ar ガスを用いたイオンミリング法を用いる。挿入膜 18 のエッチングの際に除去された材料が挿入膜 18 の側面および膜 42 の側面に付着し、挿入膜 18 の材料を含む膜 43 が挿入膜 18 の側面上から膜 42 の側面上にかけて形成される。

【 0046 】

図 10 ( c ) に示すように、挿入膜 18 のエッチングに続いて、マスク層 70 をマスクとして下部電極 12 をエッチングする。下部電極 12 までエッチングをするのは、貫通孔 22 が圧電層 14 を貫通していない場合ではデバイス特性が劣化するため、貫通孔 22 が圧電層 14 を確実に貫通するようにオーバーエッチングをするためである。エッチングは、上述のように、ドライエッチング法を用い、例えば Ar ガスを用いたイオンミリング法を用いる。下部電極 12 のエッチングの際に除去された材料が下部電極 12 の側面および膜 43 の側面に付着し、下部電極 12 の材料を含む膜 44 が下部電極 12 の側面上から膜 43 の側面上にかけて形成される。

【 0047 】

[ 実験 ]

実施例 1 において、音響インピーダンスの低い膜 32、下部電極 12、挿入膜 18、圧電層 14、上部電極 16、および保護膜 20 を以下の材料および膜厚で形成し、Ar ガスを用いたイオンミリング法によって貫通孔 22 を形成した。貫通孔 22 を形成する際のオーバーエッチングによって下部電極 12 は 22 nm 程度掘り込まれるようにした。

音響インピーダンスの低い膜 32 : 酸化シリコン膜

下部電極 12 : 厚さが 44 nm のアルミニウム膜

挿入膜 18 : 厚さが 20 nm の酸化シリコン膜

圧電層 14 : 厚さが 310 nm のニオブ酸リチウム層

上部電極 16 : 厚さが 44 nm のアルミニウム膜

保護膜 20 : 厚さが 20 nm の酸化シリコン膜

このときに、図 8 の矢印 A で示す箇所における膜 41、42、43、44 の組成分析を行った。組成分析はエネルギー分散型 X 線分光法 ( EDX ) によって行った。

【 0048 】

図 11 は、実施例 1 における組成分析の実験結果を示す図である。図 11 において、横軸は上部電極 16 の側面の位置を原点 0 としたときの矢印 A の方向における上部電極 16 の側面からの距離であり、縦軸は濃度である。表 1 は、実施例 1 における組成分析の実験結果を示す表である。

【 表 1 】

	C	O	Al	Si	Ar	Nb	total
膜41	14.19	45.69	6.39	1.15	0.65	31.93	100
膜42	11.93	50.05	0	3.67	1.08	33.27	100
膜43	13	58	0	7.7	1.3	20	100
膜44	22.07	37.31	13.51	6.5	1.39	19.22	100

単位:原子%

【 0049 】

図 11 および表 1 に示すように、膜 41 はアルミニウム ( Al ) を含んでいる。このことから、膜 41 は、上部電極 16 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることが分かる。なお、炭素 ( C ) はフォトレジストからなるマスク層 70 がエッチングされたことで取り込まれたものと考えられる。酸素 ( O ) は保護膜 20 および圧電層 14 のエッチングの際に除去された材料を含む膜 40、42 に含まれる酸素が入り込んだもの

と考えられる。シリコン ( S i ) は膜 4 0 に含まれるシリコンが入り込んだものと考えられる。アルゴン ( A r ) はイオンミリング法で用いたガスが取り込まれたものと考えられる。ニオブ ( N b ) は膜 4 2 に含まれるニオブが入り込んだものと考えられる。

#### 【 0 0 5 0 】

膜 4 2 は、アルミニウムを含まず、ニオブの濃度が他の膜 4 1、4 3、4 4 より高くかつシリコンの濃度が膜 4 3 より低くなっている。例えば、膜 4 2 のニオブの濃度は、膜 4 4 のニオブの濃度の 1 . 3 倍以上であり、また 1 . 5 倍以上となっている。このことから、膜 4 2 は、圧電層 1 4 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることが分かる。なお、炭素はマスク層 7 0 がエッチングされることで取り込まれたものと考えられる。酸素は圧電層 1 4 がエッチングされた際に圧電層 1 4 の構成元素である酸素が取り込まれたために濃度が高くなっていると考えられる。シリコンは膜 4 3 に含まれるシリコンが入り込んだものと考えられる。アルゴンはイオンミリング法で用いたガスが取り込まれたものと考えられる。なお、膜 4 2 に圧電層 1 4 の構成元素であるリチウム ( L i ) が含まれていなかったのは、リチウムは軽いために取り込まれ難かったためと考えられる。

#### 【 0 0 5 1 】

膜 4 3 は、アルミニウムを含まず、シリコンの濃度が他の膜 4 1、4 2、4 4 より高くかつニオブの濃度が膜 4 2 より低くなっている。例えば、膜 4 3 のシリコンの濃度は、膜 4 2 のシリコンの濃度の 1 . 8 倍以上であり、また 2 . 0 倍以上となっている。膜 4 3 のニオブの濃度は、膜 4 2 のニオブの濃度の 0 . 8 倍以下であり、また 0 . 7 倍以下となっている。このことから、膜 4 3 は、挿入膜 1 8 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることが分かる。なお、炭素はマスク層 7 0 がエッチングされることで取り込まれたものと考えられる。酸素は挿入膜 1 8 がエッチングされた際に挿入膜 1 8 の構成元素である酸素が取り込まれたために濃度が高くなっていると考えられる。アルゴンはイオンミリング法で用いたガスが取り込まれたものと考えられる。ニオブは膜 4 2 に含まれるニオブが入り込んだものと考えられる。

#### 【 0 0 5 2 】

膜 4 4 はアルミニウムを含んでいる。このことから、膜 4 4 は、下部電極 1 2 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることが分かる。なお、炭素はマスク層 7 0 がエッチングされることで入り込んだものと考えられる。酸素およびシリコンは音響インピーダンスの低い膜 3 2 がエッチングされることで取り込まれたものと、膜 4 3 に含まれる酸素が入り込んだものと考えられる。アルゴンはイオンミリング法で用いたガスが取り込まれたものと考えられる。ニオブは膜 4 2、4 3 に含まれるニオブが入り込んだものと考えられる。

#### 【 0 0 5 3 】

膜 4 1、4 2、4 3、および 4 4 の厚さは、例えば上部電極 1 6、圧電層 1 4、挿入膜 1 8、および下部電極 1 2 のエッチング量に対応する。例えば、圧電層 1 4 が上部電極 1 6、挿入膜 1 8、および下部電極 1 2 より厚い場合、膜 4 2 は膜 4 1、4 3、および 4 4 より厚くなる。上部電極 1 6 の厚さが挿入膜 1 8 の厚さおよび下部電極 1 2 の掘り込み量より大きい場合、膜 4 1 は膜 4 3 および膜 4 4 より厚くなる。挿入膜 1 8 の厚さと下部電極 1 2 の掘り込み量が同程度の大きさである場合、膜 4 3 と膜 4 4 の厚さはほぼ同じになる。

#### 【 0 0 5 4 】

##### [ 変形例 ]

図 1 2 は、実施例 1 の変形例 1 における貫通孔 2 2 近傍の断面図である。図 1 2 に示すように、実施例 1 の変形例 1 に係る弾性波デバイス 1 1 0 では、共振領域 5 0 において、下部電極 1 2 と圧電層 1 4 の間に挿入膜 1 8 は設けられてなく、代わりに、圧電層 1 4 と上部電極 1 6 の間に挿入膜 1 8 a が設けられている。挿入膜 1 8 a は、平面視において共振領域 5 0 と同じ大きさまたは共振領域 5 0 より大きい。このため、挿入膜 1 8 a の側面上から膜 4 1 の側面上にかけて挿入膜 1 8 a の材料を含む膜 4 3 a が形成されている。圧電層 1 4 の材料を含む膜 4 2 は、圧電層 1 4 の側面上から膜 4 3 a の側面上にかけて形成

10

20

30

40

50

されている。その他の構成は実施例 1 と同じであるため説明を省略する。

【 0 0 5 5 】

図 1 3 は、実施例 1 の変形例 2 における貫通孔 2 2 近傍の断面図である。図 1 3 に示すように、実施例 1 の変形例 2 に係る弾性波デバイス 1 2 0 では、共振領域 5 0 において、下部電極 1 2 と圧電層 1 4 の間に挿入膜 1 8 が設けられていることに加え、圧電層 1 4 と上部電極 1 6 の間に挿入膜 1 8 a が設けられている。このため、挿入膜 1 8 a の側面上から膜 4 1 の側面上にかけて挿入膜 1 8 a の材料を含む膜 4 3 a が形成されている。圧電層 1 4 の材料を含む膜 4 2 は、圧電層 1 4 の側面上から膜 4 3 a の側面上にかけて形成されている。その他の構成は実施例 1 と同じであるため説明を省略する。

10

【 0 0 5 6 】

[ 比較例 ]

図 1 4 は、比較例における貫通孔 2 2 近傍の断面図である。図 1 4 に示すように、比較例に係る弾性波デバイス 5 0 0 では、下部電極 1 2 と圧電層 1 4 の間に挿入膜 1 8 は設けられていない。このため、圧電層 1 4 の側面上から膜 4 1 の側面上にかけて形成された圧電層 1 4 の材料を含む膜 4 2 に接して下部電極 1 2 の側面上から膜 4 2 の側面上にかけて下部電極 1 2 の材料を含む膜 4 4 が形成されている。すなわち、膜 4 2 と膜 4 4 の間に、挿入膜 1 8 の材料を含む膜 4 3 は形成されていない。その他の構成は実施例 1 と同じであるため説明を省略する。

【 0 0 5 7 】

[ 実験 ]

比較例において、音響インピーダンスの低い膜 3 2、下部電極 1 2、圧電層 1 4、上部電極 1 6、および保護膜 2 0 を以下の材料および膜厚で形成し、Ar ガスを用いたイオンミリング法によって貫通孔 2 2 を形成した。貫通孔 2 2 を形成する際のオーバーエッチングによって下部電極 1 2 は 2 2 nm 程度掘り込まれるようにした。

20

音響インピーダンスの低い膜 3 2 : 酸化シリコン膜

下部電極 1 2 : 厚さが 4 4 nm のアルミニウム膜

圧電層 1 4 : 厚さが 3 1 0 nm のニオブ酸リチウム層

上部電極 1 6 : 厚さが 4 4 nm のアルミニウム膜

保護膜 2 0 : 厚さが 2 0 nm の酸化シリコン膜

このときに、図 1 4 の矢印 A で示す箇所の膜 4 1、4 2、4 4 の組成分析を行った。組成分析はエネルギー分散型 X 線分光法 ( E D X ) によって行った。

30

【 0 0 5 8 】

図 1 5 は、比較例における組成分析の実験結果を示す図である。図 1 5 において、横軸は上部電極 1 6 の側面の位置を原点 0 としたときの矢印 A の方向における上部電極 1 6 の側面からの距離であり、縦軸は濃度である。表 2 は、比較例における組成分析の実験結果を示す表である。

【 表 2 】

	C	O	Al	Si	Ar	Nb	total
膜41	14.19	45.69	6.39	1.15	0.65	31.93	100
膜42	11.93	50.05	0	3.67	1.08	33.27	100
膜44	22.07	37.31	13.51	6.5	1.39	19.22	100

40

単位:原子%

【 0 0 5 9 】

図 1 5 および表 2 に示すように、膜 4 1 はアルミニウムを含んでいる。このことから、膜 4 1 は、上部電極 1 6 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることが分かる。膜 4 2 は、アルミニウムを含まず、ニオブの濃度が膜 4 1、4 4 より高くなって

50

いる。このことから、膜 4 2 は、圧電層 1 4 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることが分かる。膜 4 4 はアルミニウムを含んでいる。このことから、膜 4 4 は、下部電極 1 2 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることが分かる。

#### 【 0 0 6 0 】

比較例では、図 1 4 のように、膜 4 4 は膜 4 2 に接して設けられている。膜 4 1 は上部電極 1 6 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることから導電性を有する。膜 4 4 は下部電極 1 2 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであることから導電性を有する。膜 4 2 は、圧電層 1 4 のエッチングの際に除去された材料が付着したものであるが、例えばアモルファスとなっていて膜質が悪いために絶縁性が低い。このため、膜 4 2 の薄い箇所において膜 4 1 と膜 4 4 が電氣的に接続し、下部電極 1 2 と上部電極 1 6 が膜 4 1、4 2、4 4 を介して短絡することがある。短絡が生じるとデバイス特性が劣化してしまう。なお、膜 4 2 が厚くなれば絶縁性は高くなるが、膜 4 2 は圧電層 1 4 の膜厚に対応していて、圧電層 1 4 の膜厚は所望の弾性波の波長により決まることから、膜 4 2 を厚くするのは難しい。

10

#### 【 0 0 6 1 】

一方、実施例 1 およびその変形例では、図 8、図 1 2、および図 1 3 のように、下部電極 1 2 および上部電極 1 6 の少なくとも一方と圧電層 1 4 との間に下部電極 1 2 および上部電極 1 6 より抵抗率が高い挿入膜 1 8、1 8 a が設けられている。このため、膜 4 4 と膜 4 2 の間、および、上部電極 1 6 の側面と膜 4 2 の間、の少なくとも一方に、挿入膜 1 8、1 8 a のエッチングの際に除去された材料が付着した膜である膜 4 3、4 3 a が形成されている。膜 4 4 (第 1 膜) は、下部電極 1 2 のエッチングの際に除去された材料が付着した膜であるため、下部電極 1 2 に接続していて、図 1 1 および表 1 のように、下部電極 1 2 の構成元素である A 1 を含んでいる。膜 4 2 (第 2 膜) は、圧電層 1 4 のエッチングの際に除去された材料が付着した膜であるため、圧電層 1 4 の構成元素である N b の濃度が膜 4 4 より高くなっている。膜 4 3、4 3 a (第 3 膜) は、挿入膜 1 8、1 8 a のエッチングの際に除去された材料が付着した膜であるため、挿入膜 1 8、1 8 a の構成元素であって圧電層 1 4 の構成元素でない S i の濃度が膜 4 2 より高くかつ圧電層 1 4 の構成元素であって挿入膜 1 8、1 8 a の構成元素でない N b の濃度が膜 4 2 より低くなっている。膜 4 3、4 3 a は、下部電極 1 2 および上部電極 1 6 より抵抗率が高い挿入膜 1 8、1 8 a のエッチング時に除去された材料が付着した膜であることから、上部電極 1 6 のエッチング時に除去された材料が付着した膜である膜 4 1 および下部電極 1 2 のエッチング時に除去された材料が付着した膜である膜 4 4 よりも絶縁性が高い。したがって、このような膜 4 3 および膜 4 3 a の少なくとも一方が、膜 4 1 と膜 4 4 の間に設けられることで、膜 4 1 と膜 4 4 の電氣的な接続が抑制される。よって、下部電極 1 2 と上部電極 1 6 の短絡を抑制することができる。

20

30

#### 【 0 0 6 2 】

また、実施例 1 およびその変形例の製造方法では、図 7 ( a ) のように、基板 1 0 上に下部電極 1 2 と圧電層 1 4 と上部電極 1 6 をこの順に形成し、かつ、下部電極 1 2 と圧電層 1 4 の間および圧電層 1 4 と上部電極 1 6 の間の少なくとも一方に挿入膜 1 8、1 8 a を形成する (図 1 2、図 1 3 も参照)。図 7 ( b ) および図 9 ( a ) から図 1 0 ( c ) のように、共振領域 5 0 の側方における圧電層 1 4、挿入膜 1 8、1 8 a、および下部電極 1 2 をエッチングして、貫通孔 2 2 を圧電層 1 4 に形成する。このときに、下部電極 1 2 のエッチングにより付着した膜 4 4 (第 1 膜) と上部電極 1 6 の側面との間に圧電層 1 4 のエッチングにより付着した膜 4 2 (第 2 膜) が形成され、上部電極 1 6 の側面と膜 4 2 の間および膜 4 4 と膜 4 2 の間の少なくとも一方に挿入膜 1 8、1 8 a のエッチングにより付着した膜 4 3、4 3 a (第 3 膜) が形成されるようにする (図 1 2、図 1 3 も参照)。これにより、膜 4 3 および膜 4 3 a の少なくとも一方が膜 4 1 と膜 4 4 の間に設けられるため、膜 4 1 と膜 4 4 の電氣的な接続が抑制され、下部電極 1 2 と上部電極 1 6 の短絡を抑制することができる。

40

50

## 【0063】

また、実施例1およびその変形例では、圧電層14、挿入膜18、18a、および下部電極12のエッチングにイオンミリング法を用いている。これにより、圧電層14の種類によらず、圧電層14に貫通孔22を形成することができる。イオンミリング法を用いる場合、エッチングの際に除去された材料が上部電極16等の側面上に付着して付着膜が形成され易い。このとき、比較例のように、挿入膜18、18aが設けられていない場合では下部電極12と上部電極16に短絡が生じることがある。したがって、イオンミリング法を用いる場合では、下部電極12と圧電層14の間および圧電層14と上部電極16の間の少なくとも一方に挿入膜18、18aを形成することが好ましい。

## 【0064】

また、実施例1およびその変形例では、膜42は、圧電層14のエッチングの際に除去された材料が付着した膜であるため、図11および表1のように、下部電極12の構成元素であるAlの濃度が膜44より低く、例えばAlを含んでいない。膜43、43aは、挿入膜18、18aのエッチングの際に除去された材料が付着した膜であるため、下部電極12の構成元素であるAlの濃度が膜44より低く、例えばAlを含んでいない。これにより、膜41と膜44の電気的な接続が抑制され、下部電極12と上部電極16の短絡を抑制することができる。膜42および膜43のAlの濃度は、膜44のAlの濃度の0.1倍以下が好ましく、0.02倍以下がより好ましく、0.01倍以下が更に好ましい。また、膜44は、下部電極12のエッチングの際に除去された材料が付着した膜であるため、挿入膜18、18aの構成元素であるSiの濃度が膜43、43aより低く、例えば0.9倍以下である。

## 【0065】

また、実施例1およびその変形例では、挿入膜18、18aは、Siの酸化物である酸化シリコン膜である。この場合、挿入膜18、18aのエッチング時に除去された材料が付着した膜である膜43、43aの絶縁性を高めることができる。よって、膜41と膜44の電気的な接続が抑制され、下部電極12と上部電極16の短絡を抑制することができる。挿入膜18、18aは、下部電極12および上部電極16よりも抵抗率が高ければ、金属元素の酸化物の他に、金属元素の窒化物または炭化物でもよい。具体的には、酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )、窒化シリコン( $\text{SiN}$ )、窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ )、酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、酸化タンタル( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ )、酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )、炭化シリコン( $\text{SiC}$ )、酸化イットリウム( $\text{Y}_2\text{O}_3$ )、酸化ハフニウム( $\text{HfO}_2$ )、酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )、酸化マグネシウム( $\text{MgO}$ )、窒化チタン( $\text{TiN}$ )、窒化バナジウム( $\text{VN}$ )、窒化クロム( $\text{CrN}$ )、窒化ニオブ( $\text{NbN}$ )、窒化モリブデン( $\text{MoN}$ )、窒化ハフニウム( $\text{HfN}$ )、窒化タンタル( $\text{TaN}$ )、窒化タングステン( $\text{WN}$ )、炭化チタン( $\text{TiC}$ )、炭化バナジウム( $\text{VC}$ )、炭化クロム( $\text{CrC}$ )、炭化ニオブ( $\text{NbC}$ )、炭化モリブデン( $\text{MoC}$ )、炭化ハフニウム( $\text{HfC}$ )、炭化タンタル( $\text{TaC}$ )、および炭化タングステン( $\text{WC}$ )のうちの少なくとも1種を含んで形成される場合でもよい。ここで、本明細書では、ホウ素(B)、シリコン(Si)、およびゲルマニウム(Ge)等の半金属元素も金属元素とする。なお、挿入膜18、18aは、下部電極12および上部電極16よりも抵抗率が高ければ、金属膜である場合でもよい。

## 【0066】

挿入膜18、18aは、膜43、43aの絶縁性を高める点から、無機絶縁膜である場合が好ましい。具体的には、挿入膜18、18aは、酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )、窒化シリコン( $\text{SiN}$ )、窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ )、酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、酸化タンタル( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ )、酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )、炭化シリコン( $\text{SiC}$ )、酸化イットリウム( $\text{Y}_2\text{O}_3$ )、酸化ハフニウム( $\text{HfO}_2$ )、酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )、および酸化マグネシウム( $\text{MgO}$ )のうち少なくとも1種を含んで形成される場合が好ましい。ここで、絶縁膜とは、抵抗率が $10^8 \cdot \text{cm}$ 以上の膜である。

## 【0067】

また、実施例1およびその変形例では、圧電層14は単結晶タンタル酸リチウム層また

10

20

30

40

50

は単結晶ニオブ酸リチウム層である。この場合、圧電層 14 に貫通孔 22 を形成するとき一般的にイオンミリング法が用いられる。このため、エッチングの際に除去された材料が上部電極 16 等の側面上に付着して付着膜が形成され易くなる。したがって、圧電層 14 が単結晶タンタル酸リチウム層または単結晶ニオブ酸リチウム層である場合では、下部電極 12 と圧電層 14 の間および圧電層 14 と上部電極 16 の間の少なくとも一方に挿入膜 18、18a を形成することが好ましい。なお、圧電層 14 は、単結晶タンタル酸リチウム層および単結晶ニオブ酸リチウム層以外であってもよく、例えば窒化アルミニウム層、酸化亜鉛層、チタン酸ジルコン酸鉛層、またはチタン酸鉛層であってもよい。

#### 【0068】

また、実施例 1 およびその変形例では、下部電極 12 および上部電極 16 は共振領域 50 における圧電層 14 に厚みすべり振動を励振する。図 1 のように、貫通孔 22 は共振領域 50 を挟んで 2 つ設けられ、厚みすべり振動の振動方向 60 は 2 つの貫通孔 22 が共振領域 50 を挟んで対向する方向（例えば X 方向）に交差する方向（例えば Y 方向）である。これにより、共振領域 50 からの弾性波の漏洩を抑制することができる。

#### 【0069】

また、実施例 1 およびその変形例では、貫通孔 22 と共振領域 50 における圧電層 14 との間の最大の距離 L（図 8 参照）は 1.6 以下、すなわち圧電層 14 の厚さの 3.2 倍以下である。これにより、図 5 のように、デバイス特性の劣化を抑制しつつデバイスの大型化を抑制することができる。デバイス特性の劣化を抑制する点から、距離 L は圧電層 14 の厚さの 2.6 倍以下が好ましく、1.6 倍以下がより好ましく、0.7 倍以下が更に好ましい。

#### 【実施例 2】

#### 【0070】

図 16 (a) および図 16 (b) は、実施例 2 に係る弾性波デバイス 200 の断面図である。図 16 (a) および図 16 (b) に示すように、実施例 2 に係る弾性波デバイス 200 では、音響反射膜 30 の代わりに空隙 36 が設けられている。空隙 36 は、例えば基板 10 上に設けられた絶縁膜 38 に形成され、貫通孔 22 に連通している。その他の構成は実施例 1 と同じであるため説明を省略する。

#### 【0071】

弾性波デバイスは、実施例 1 およびその変形例のように、下部電極 12 下に弾性波を反射する音響反射膜 30 が設けられた SMR (Solidly Mounted Resonator) でもよいし、実施例 2 のように、下部電極 12 下に空隙 36 が設けられた FBAR (Film Bulk Acoustic Resonator) でもよい。

#### 【実施例 3】

#### 【0072】

図 17 は、実施例 3 に係るフィルタ 300 の回路図である。図 17 に示すように、実施例 3 に係るフィルタ 300 は、入力端子  $T_{in}$  と出力端子  $T_{out}$  との間に、1 または複数の直列共振器  $S_1 \sim S_4$  が直列に接続されている。入力端子  $T_{in}$  と出力端子  $T_{out}$  との間に、1 または複数の並列共振器  $P_1 \sim P_3$  が並列に接続されている。直列共振器  $S_1 \sim S_4$  および並列共振器  $P_1 \sim P_3$  の少なくとも 1 つに実施例 1、実施例 1 の変形例、および実施例 2 に係る弾性波デバイスを用いてもよい。直列共振器および並列共振器の個数等は適宜設定できる。フィルタとしてラダー型フィルタを例に示したが、フィルタは多重モード型フィルタでもよい。

#### 【0073】

なお、実施例 3 では、実施例 1、実施例 1 の変形例、および実施例 2 に係る弾性波デバイスをフィルタに用いる場合を例に示したが、この場合に限られるわけではない。例えば、インクジェットを用いたマイクロポンプ、RF-MEMS スイッチ、または光ミラー等のアクチュエータ、もしくは、加速度、ジャイロ、またはエネルギーハーベスト等のセンサに用いてもよい。

#### 【実施例 4】

10

20

30

40

50

【 0 0 7 4 】

図 1 8 は、実施例 4 に係るデュプレクサ 4 0 0 の回路図である。図 1 8 に示すように、実施例 4 に係るデュプレクサ 4 0 0 は、共通端子 A n t と送信端子 T x との間に送信フィルタ 8 0 が接続されている。共通端子 A n t と受信端子 R x との間に受信フィルタ 8 2 が接続されている。送信フィルタ 8 0 は、送信端子 T x から入力された高周波信号のうち送信帯域の信号を送信信号として共通端子 A n t に通過させ、他の周波数の信号を抑圧する。受信フィルタ 8 2 は、共通端子 A n t から入力された高周波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、他の周波数の信号を抑圧する。送信フィルタ 8 0 および受信フィルタ 8 2 の少なくとも一方を実施例 2 のフィルタとしてもよい。マルチプレクサとしてデュプレクサを例に示したが、トリプレクサまたはクワッドプレクサでもよい。

10

【 0 0 7 5 】

以上、本願発明の実施形態について詳述したが、本願発明はかかる特定の実施形態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願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 】

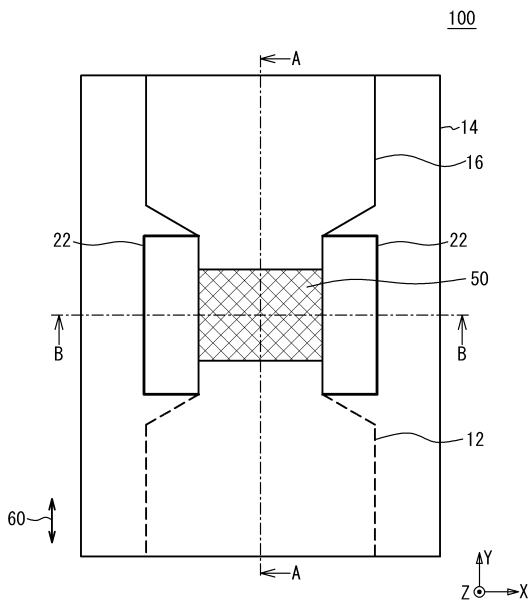
【 0 0 7 6 】

1 0 ... 基板、1 2 ... 下部電極、1 4 ... 圧電層、1 6 ... 上部電極、1 8、1 8 a ... 挿入膜、2 0 ... 保護膜、2 2 ... 貫通孔、3 0 ... 音響反射膜、3 2 ... 音響インピーダンスの低い膜、3 4 ... 音響インピーダンスの高い膜、3 6 ... 空隙、3 8 ... 絶縁膜、4 0 ... 膜、4 1 ... 膜、4 2 ... 膜、4 3、4 3 a ... 膜、4 4 ... 膜、5 0 ... 共振領域、6 0 ... 厚みすべり振動の振動方向、7 0 ... マスク層、8 0 ... 送信フィルタ、8 2 ... 受信フィルタ、1 0 0、1 1 0、1 2 0、2 0 0、5 0 0 ... 弾性波デバイス、3 0 0 ... フィルタ、4 0 0 ... デュプレクサ

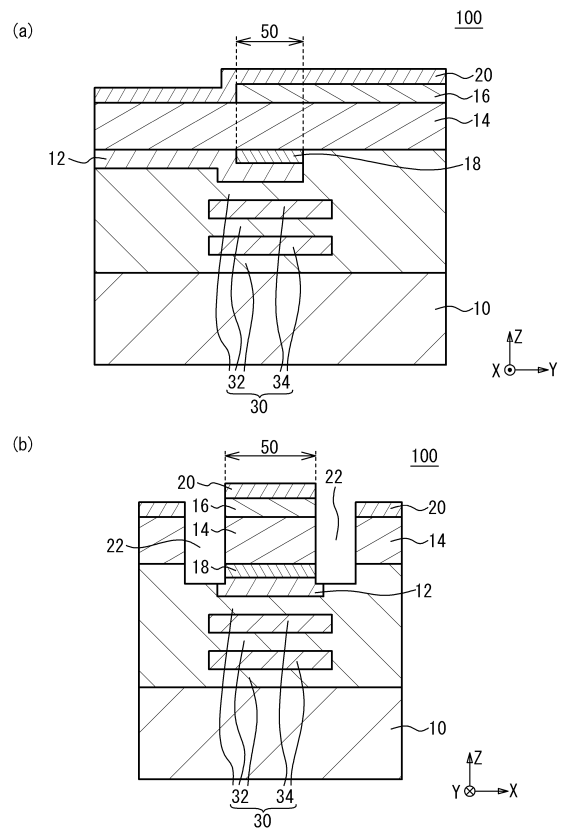
20

【 図面 】

【 図 1 】



【 図 2 】

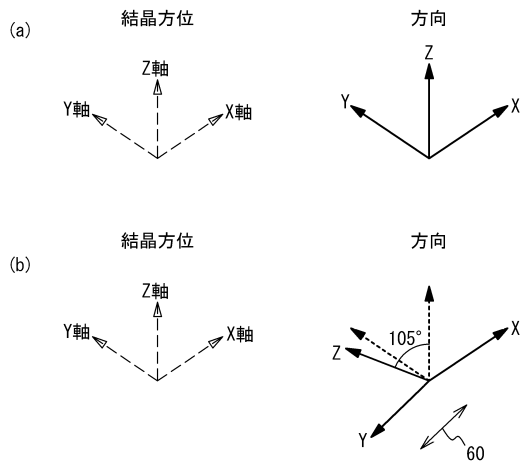


30

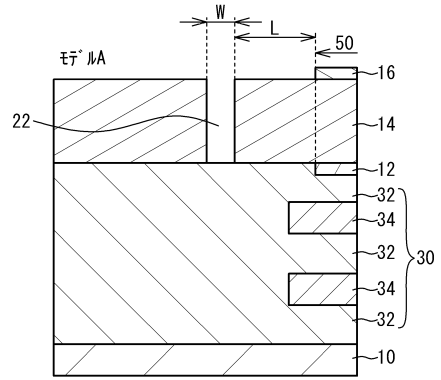
40

50

【 図 3 】

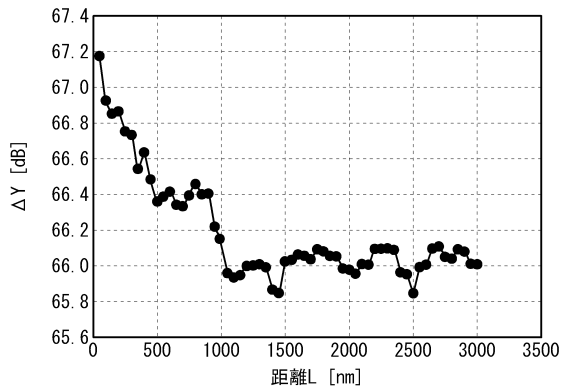


【 図 4 】

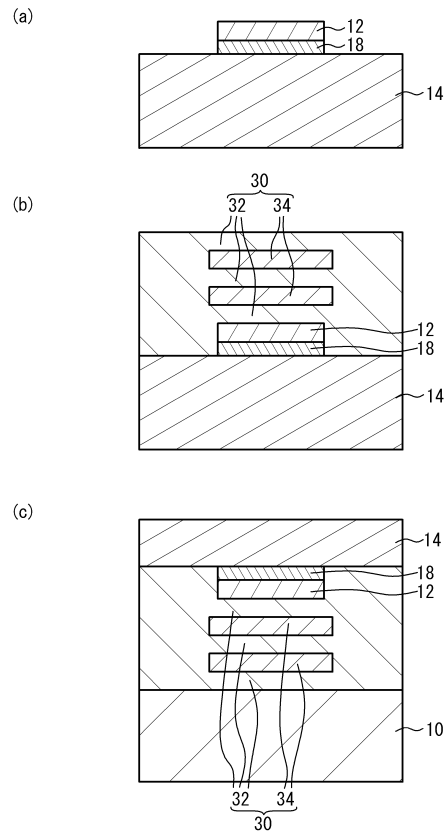


10

【 図 5 】



【 図 6 】



20

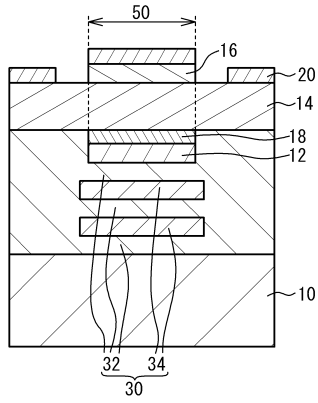
30

40

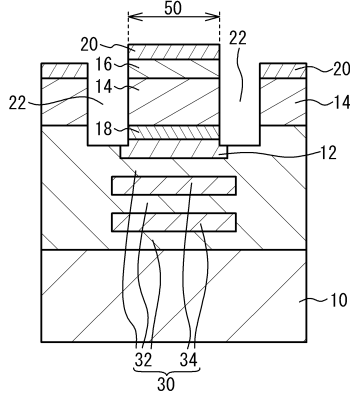
50

【 図 7 】

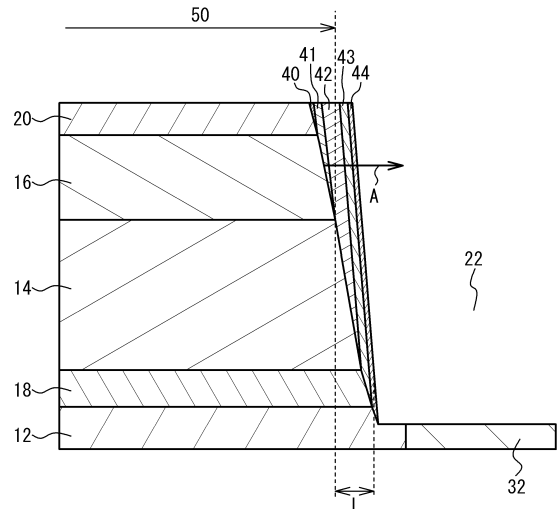
(a)



(b)



【 図 8 】

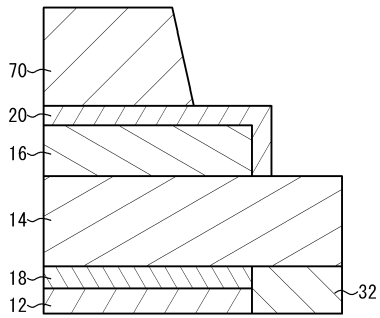


10

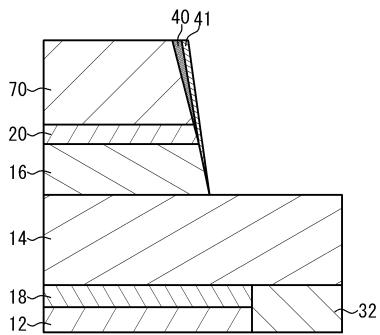
20

【 図 9 】

(a)

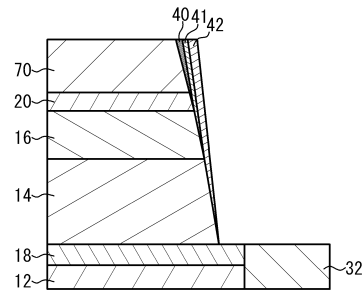


(b)



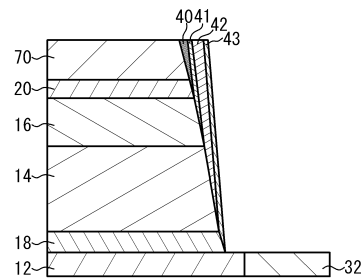
【 図 10 】

(a)



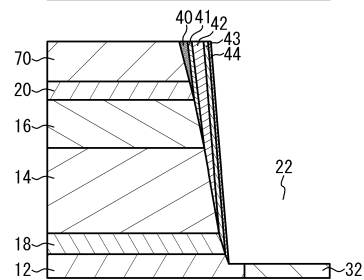
30

(b)



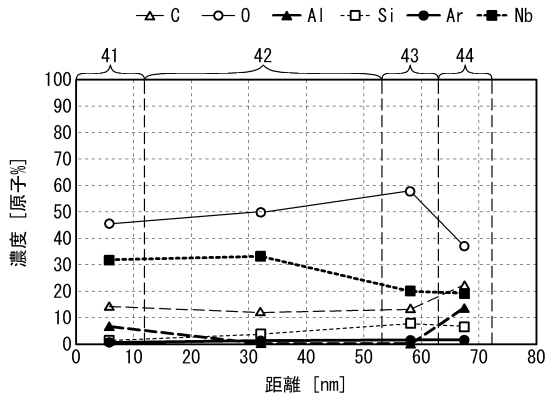
40

(c)

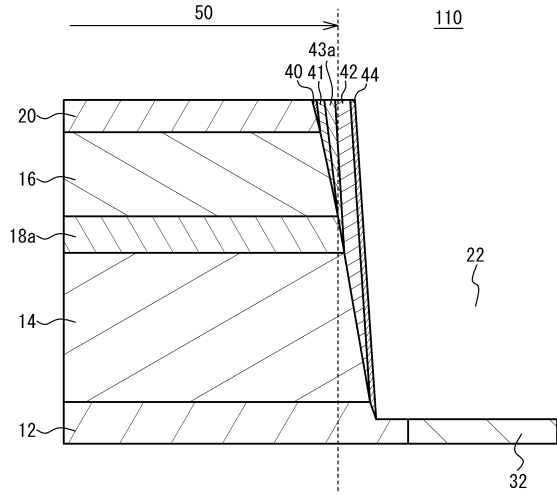


50

【 図 1 1 】

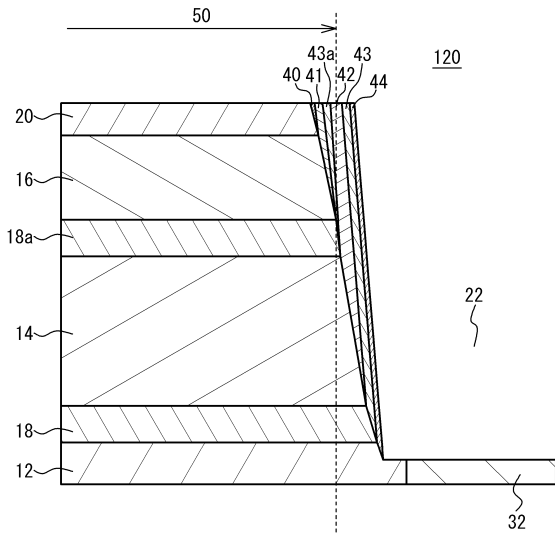


【 図 1 2 】

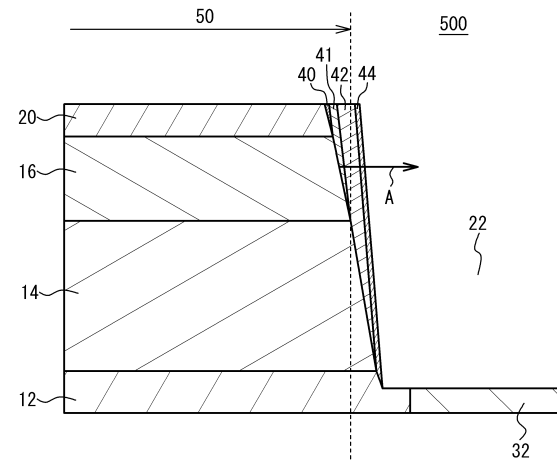


10

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



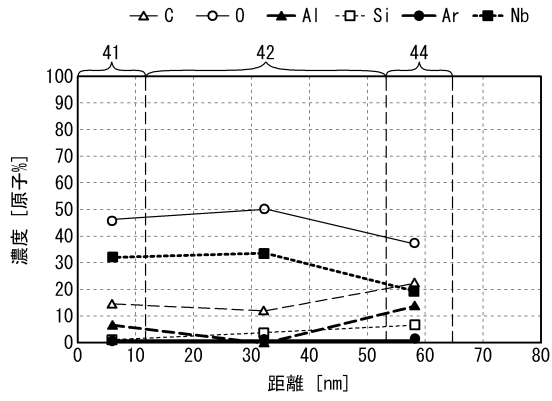
20

30

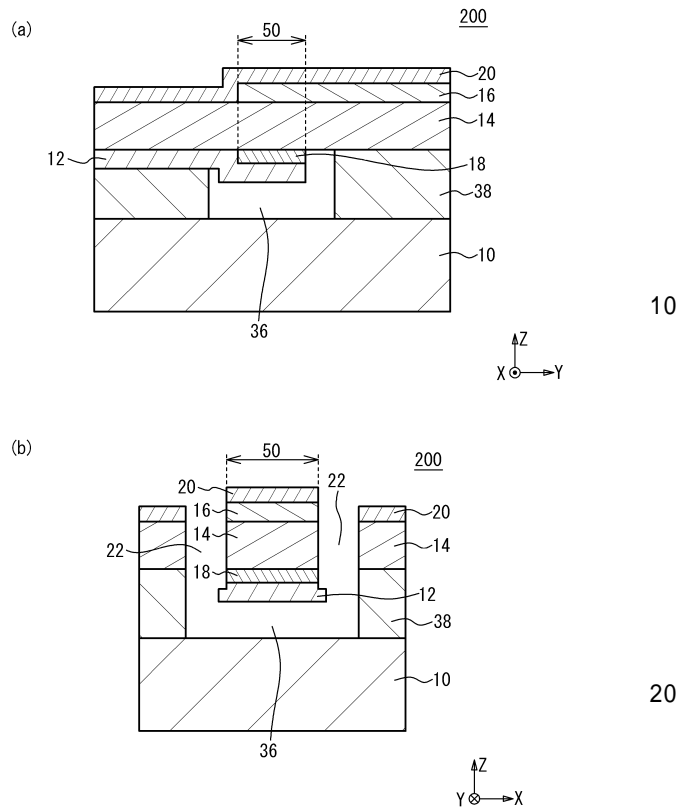
40

50

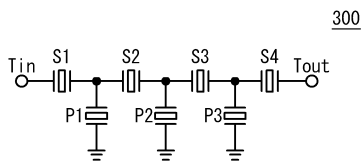
【 図 1 5 】



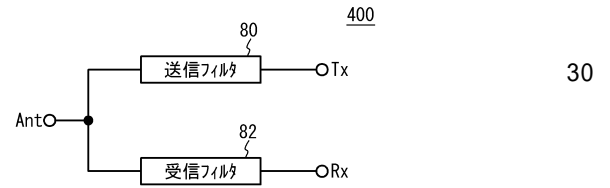
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



10

20

30

40

50