

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7685163号
(P7685163)

(45)発行日 令和7年5月29日(2025.5.29)

(24)登録日 令和7年5月21日(2025.5.21)

(51)国際特許分類 F I
H 0 3 H 9/24 (2006.01) H 0 3 H 9/24 Z

請求項の数 17 (全27頁)

(21)出願番号	特願2023-566084(P2023-566084)	(73)特許権者	000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(86)(22)出願日	令和4年7月28日(2022.7.28)	(74)代理人	100079108 弁理士 稲葉 良幸
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/029124	(74)代理人	100109346 弁理士 大貫 敏史
(87)国際公開番号	WO2023/105845	(74)代理人	100117189 弁理士 江口 昭彦
(87)国際公開日	令和5年6月15日(2023.6.15)	(74)代理人	100134120 弁理士 内藤 和彦
審査請求日	令和6年5月15日(2024.5.15)	(74)代理人	100126480 弁理士 佐藤 睦
(31)優先権主張番号	特願2021-197531(P2021-197531)	(72)発明者	樋口 敬之 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(32)優先日	令和3年12月6日(2021.12.6)		最終頁に続く
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

(54)【発明の名称】 共振子及び共振装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板、及び、前記基板の主面に設けられるとともに、印加された電圧に応じて前記基板の主面に沿って幅広がり振動する圧電体層を含む、振動部と、

前記基板の主面における平面視において、前記振動部の少なくとも一部の周囲に設けられた保持部と、

前記保持部と前記振動部との間に設けられ、前記振動部を支持する支持部とを備え、

前記支持部は、前記振動部を挟んで対向して設けられた一对の支持腕を有し、

前記振動部は、前記基板の主面の平面視における一部の領域である第1の部分と、前記基板の主面の平面視における他の領域である第2の部分とを有し、

前記基板の主面に交差する厚さ方向における前記第2の部分の厚さは、前記厚さ方向における前記第1の部分の厚さよりも大きくなっており、

前記振動部は、前記一对の支持腕で挟まれた領域において、前記第1の部分及び前記第2の部分によって前記基板における前記圧電体層とは反対側が凹状又は凸状に構成されている、

共振子。

【請求項2】

前記振動部は、前記基板における前記圧電体層とは反対側が凹状に構成され、

前記第1の部分は前記振動部の凹状の底部に対応し、かつ、前記第2の部分は前記振動

10

20

部の凹状の側壁部に対応している、

請求項 1 に記載の共振子。

【請求項 3】

前記支持部は、前記第 2 の部分に接続され、

前記厚さ方向における前記支持部の厚さは、前記厚さ方向における前記第 2 の部分の厚さと等しい、

請求項 2 に記載の共振子。

【請求項 4】

前記支持部は、前記第 2 の部分に接続され、

前記厚さ方向における前記支持部の厚さは、前記厚さ方向における前記第 2 の部分の厚さよりも小さい、

請求項 2 に記載の共振子。

【請求項 5】

前記厚さ方向における前記支持部の厚さは、前記厚さ方向における前記第 1 の部分の厚さと等しい、

請求項 4 に記載の共振子。

【請求項 6】

前記厚さ方向における前記保持部の厚さは、前記厚さ方向における前記支持部の厚さと等しい、

請求項 5 に記載の共振子。

【請求項 7】

前記第 1 の部分は、前記振動部における前記一对の支持腕で挟まれた領域において前記一对の支持腕の一端から他端に至るまで帯状に延在しており、

前記支持部は、前記第 1 の部分に接続されている、

請求項 2 に記載の共振子。

【請求項 8】

前記第 1 の部分は、前記第 1 の部分における帯状に延在する領域における中間部が幅広に構成されている、

請求項 7 に記載の共振子。

【請求項 9】

前記振動部は、前記基板における前記圧電体層とは反対側が凸状に構成され、

前記第 2 の部分は前記振動部の凸状の頂部に対応し、かつ、前記第 1 の部分は前記振動部の凸状の側壁部に対応している、

請求項 1 に記載の共振子。

【請求項 10】

前記第 2 の部分は、前記振動部における前記一对の支持腕で挟まれた領域において前記一对の支持腕の一端から他端に至るまで帯状に延在しており、

前記支持部は、前記第 2 の部分に接続されている、

請求項 2 に記載の共振子。

【請求項 11】

前記第 2 の部分は、前記第 2 の部分における帯状に延在する領域における中間部が幅広に構成されている、

請求項 10 に記載の共振子。

【請求項 12】

前記振動部は、前記基板の温度特性を補正する温度特性補正膜を有し、

前記温度特性補正膜は、前記基板の前記圧電体層とは反対側の少なくとも一部に設けられている、

請求項 1 に記載の共振子。

【請求項 13】

前記温度特性補正膜は、前記振動部における前記基板の主面に沿った方向の面上に設け

10

20

30

40

50

られている、

請求項 1 2 に記載の共振子。

【請求項 1 4】

前記温度特性補正膜は、前記振動部における前記基板の主面と交差する方向の面上にさらに設けられている、

請求項 1 3 に記載の共振子。

【請求項 1 5】

前記基板はシリコン基板であり、

前記温度特性補正膜はシリコン酸化膜である、

請求項 1 2 に記載の共振子。

10

【請求項 1 6】

前記基板は、第 1 シリコン基板と、前記第 1 シリコン基板の前記圧電体層とは反対側に設けられたシリコン酸化膜と、前記シリコン酸化膜の前記圧電体層とは反対側に設けられた第 2 シリコン基板とを有し、

前記第 1 の部分において、前記圧電体層とは反対側に前記シリコン酸化膜が露出している、

請求項 2 に記載の共振子。

【請求項 1 7】

請求項 1 から 1 6 のいずれか 1 項に記載の共振子と、

前記保持部に接合された下蓋と、

前記保持部に接合され、前記下蓋との間に前記振動部が収容される内部空間を形成する上蓋と

20

を備える、共振装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、共振子及び共振装置に関する。

【背景技術】

【0002】

移動通信端末、通信基地局、家電などの各種電子機器において、タイミングデバイス、センサ、発振器などの様々な用途に共振装置が用いられている。このような共振装置に備えられた共振子の一種として、例えば、特許文献 1 には、輪郭振動する振動部と、振動部を保持する保持腕を有する保持部とを備える圧電振動子が開示されている。特許文献 1 の構成においては、振動部は、シリコン酸化膜、シリコン層、下部電極、圧電膜、第 1 の調整膜、及び第 2 の調整膜が積層された構造となっている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】米国特許第 1 0 3 3 3 4 8 6 号明細書

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、このような特許文献 1 の圧電振動子などの共振子においては、振動部から保持部へと振動が漏れる可能性がある。したがって、このような振動漏れを抑制することによって振動の閉じ込め性（Q 値）をさらに改善することが求められる。

【0005】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、振動の閉じ込め性の向上を図ることができる共振子及び共振装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

50

本発明の一態様に係る共振子は、基板、及び、前記基板の主面に設けられるとともに、印加された電圧に応じて基板の主面に沿って幅広がり振動する圧電体層を含む、振動部と、基板の主面における平面視において、振動部の少なくとも一部の周囲に設けられた保持部と、保持部と振動部との間に設けられ、振動部を支持する支持部とを備え、振動部は、基板の主面の平面視における一部の領域である第1の部分と、基板の主面の平面視における他の領域である第2の部分とを有し、基板の主面に交差する厚さ方向における第2の部分の厚さは、前記厚さ方向における第1の部分の厚さよりも大きくなっており、振動部は、第1の部分及び第2の部分によって基板における圧電体層とは反対側が凹状又は凸状に構成されている。

【0007】

10

この態様によれば、振動部の基板における圧電体層とは反対側に凹凸を設けることによって、振動モードを制御して屈曲振動などの不要振動を抑制することができる。したがって、この態様によれば、振動の閉じ込め性の高い共振子及びそれを備えた共振装置を提供することができる。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、振動の閉じ込め性の向上を図ることができる共振子及び共振装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

20

【図1】第1実施形態に係る共振装置の構成を概略的に示す分解斜視図である。

【図2】第1実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【図3】第2実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【図4】第3実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【図5】第4実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【図6】第5実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【図7】第6実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【図8】第7実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す平面図である。

【図9A】第7実施形態に係る共振子の図8のIXA-IXA線に沿った断面図である。

【図9B】第7実施形態に係る共振子の図8のIXB-IXB線に沿った断面図である。

30

【図9C】第7実施形態に係る共振子の図8のIXC-IXC線に沿った断面図である。

【図10】第8実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す平面図である。

【図11A】第8実施形態に係る共振子の図10のXIA-XIA線に沿った断面図である。

【図11B】第8実施形態に係る共振子の図10のXIB-XIB線に沿った断面図である。

【図11C】第8実施形態に係る共振子の図10のXIC-XIC線に沿った断面図である。

【図12】第9実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す平面図である。

【図13A】第9実施形態に係る共振子の図12のXIIIA-XIIIA線に沿った断面図である。

40

【図13B】第9実施形態に係る共振子の図12のXIIIB-XIIIB線に沿った断面図である。

【図13C】第9実施形態に係る共振子の図12のXIIIC-XIIIC線に沿った断面図である。

【図14】第10実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す平面図である。

【図15A】第10実施形態に係る共振子の図14のXVA-XVA線に沿った断面図である。

【図15B】第10実施形態に係る共振子の図14のXVB-XVB線に沿った断面図である。

50

【図15C】第10実施形態に係る共振子の図14のXVC-XVC線に沿った断面図である。

【図16】第11実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。本実施形態の図面は例示であり、各部の寸法や形状は模式的なものであり、本願発明の技術的範囲を当該実施形態に限定して解すべきではない。

【0011】

<第1実施形態>

図1及び図2を参照しつつ、本発明の第1実施形態に係る共振装置1の構成について説明する。図1は、本実施形態に係る共振装置の構成を概略的に示す分解斜視図である。図2は、第1実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【0012】

各々の図面には、各々の図面相互の関係を明確にし、各部材の位置関係を理解する助けとするために、便宜的にX軸、Y軸及びZ軸からなる直交座標系を付す。X軸、Y軸及びZ軸と平行な方向をそれぞれ、X軸方向、Y軸方向及びZ軸方向と呼ぶ。また、便宜的に、Z軸正方向（Z軸の矢印の向き）を「上」、Z軸負方向（Z軸の矢印の向きとは反対方向）を「下」とする。X軸及びY軸によって規定される平面をXY面とし、YZ面及びZX面についても同様とする。

【0013】

まずは、図1を参照しつつ、共振装置1の全体構成について説明する。図1に示すように、共振装置1は、共振子15と、下蓋20と、共振子15を挟んで下蓋20に対向して配置された上蓋30と、を備えている。下蓋20、共振子15及び上蓋30がこの順でZ軸方向に積層されている。共振子15と下蓋20とは、互いに接合され、MEMS基板50を構成している。上蓋30は、MEMS基板50の共振子15側に接合されている。言い換えると、上蓋30は、共振子15を介して下蓋20に接合されている。下蓋20及び上蓋30は、後述する振動部110が振動するための振動空間を内部に有するパッケージ構造に相当する。

【0014】

共振子15は、MEMS技術を用いて製造されるMEMS振動素子である。共振子15の周波数帯は、例えば、1kHz以上1MHz以下である。共振子15は、例えば、X軸方向において共振子15を2等分するYZ面に対して、面对称に形成されている。共振子15は、振動部110と、保持部140と、支持部150と、を備えている。

【0015】

振動部110は、印加された交番電圧に応じて振動する。振動部110は、下蓋20と上蓋30との間に設けられた振動空間において振動可能に保持されている。振動部110は非振動時（電圧が印加されていない状態）にXY面に沿って延在し、振動時（電圧が印加された状態）にはX軸方向に伸縮振動する。すなわち、振動部110は、幅広がり振動モードによって振動する。

【0016】

図1に示した例では、振動部110は、XY面に延在する主面を有する板状に設けられている。XY平面をZ軸正方向側から平面視（以下、単に「平面視」とする。）したときの振動部110の形状は、X軸方向に延在してY軸方向に対向する一对の短辺と、Y軸方向に延在してX軸方向に対向する一对の長辺とを有する矩形形状である。なお、振動部110が幅広がり振動モードで振動可能であれば、振動部110の形状は上記に限定されるものではない。

【0017】

保持部140は、下蓋20及び上蓋30とともに、パッケージ構造の振動空間を形成している。例えば、保持部140は、平面視したとき、振動部110を囲むように枠状に設

10

20

30

40

50

けられている。保持部 140 は、第 1 枠部 141 A、第 2 枠部 141 B、第 3 枠部 141 C 及び第 4 枠部 141 D を有している。第 1 枠部 141 A は、振動部 110 の Y 軸正方向側において X 軸方向に延在している。第 2 枠部 141 B は、振動部 110 の Y 軸負方向側において X 軸方向に延在している。第 3 枠部 141 C は、振動部 110 の X 軸負方向側において Y 軸方向に延在している。第 4 枠部 141 D は、振動部 110 の X 軸正方向側において Y 軸方向に延在している。第 1 枠部 141 A の X 軸負方向側の端部には、第 3 枠部 141 C の Y 軸正方向側の端部が接続され、第 1 枠部 141 A の X 軸正方向側の端部には、第 4 枠部 141 D の Y 軸正方向側の端部が接続されている。第 2 枠部 141 B の X 軸負方向側の端部には、第 3 枠部 141 C の Y 軸負方向側の端部が接続され、第 2 枠部 141 B の X 軸正方向側の端部には、第 4 枠部 141 D の Y 軸負方向側の端部が接続されている。

10

【0018】

支持部 150 は、振動部 110 と保持部 140 との間に設けられ、振動部 110 を支持している。支持部 150 は、第 1 支持腕 151 A 及び第 2 支持腕 151 B を有している。第 1 支持腕 151 A 及び第 2 支持腕 151 B は、本発明に係る「一对の支持腕」の一例に相当する。第 1 支持腕 151 A 及び第 2 支持腕 151 B は、それぞれ、Y 軸方向に延在している。第 1 支持腕 151 A は、振動部 110 の Y 軸正方向側の側面における X 軸方向の中央部と、第 1 枠部 141 A の Y 軸負方向側の側面における X 軸方向の中央部とを接続している。第 2 支持腕 151 B は、振動部 110 の Y 軸負方向側の側面における X 軸方向の中央部と、第 2 枠部 141 B の Y 軸正方向側の側面における X 軸方向の中央部とを接続している。

20

【0019】

下蓋 20 は、XY 面に沿って延在する主面を有する矩形平板状の底板 22 と、底板 22 の周縁部から上蓋 30 に向かって延びる側壁 23 とを有している。側壁 23 は、共振子 15 の保持部 140 に接合されている。下蓋 20 には、共振子 15 の振動部 110 と対向する側において、底板 22 と側壁 23 とによって囲まれたキャビティ 21 が形成されている。キャビティ 21 は、上向きに開口する直方体状の開口部である。

【0020】

上蓋 30 は、XY 平面に沿って延在する主面を有する矩形平板状の底板 32 と、底板 32 の周縁部から下蓋 20 に向かって延びる側壁 33 とを有している。側壁 33 は、共振子 15 の保持部 140 に接合されている。上蓋 30 には、共振子 15 の振動部 110 と対向する側において、底板 32 と側壁 33 とによって囲まれたキャビティ 31 が形成されている。キャビティ 31 は、下向きに開口する直方体状の開口部である。キャビティ 21 とキャビティ 31 とは、共振子 15 の振動部 110 を挟んで対向し、パッケージ構造の振動空間を形成している。

30

【0021】

次に、図 2 を参照しつつ、第 1 実施形態に係る共振装置 1 の積層構造について説明する。図 2 は、第 1 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。図 2 は、図 1 に示した共振装置 1 の II - II 線に沿った断面図である。

【0022】

共振子 15 は、下蓋 20 と上蓋 30 との間に保持されている。具体的には、共振子 15 の保持部 140 が、下蓋 20 の側壁 23 及び上蓋 30 の側壁 33 のそれぞれに接合されている。このように、下蓋 20 と上蓋 30 と保持部 140 とによって、振動部 110 が振動可能な振動空間が形成されている。共振子 15、下蓋 20 及び上蓋 30 は、それぞれ一例としてシリコン (Si) 基板を用いて形成されている。なお、共振子 15、下蓋 20 及び上蓋 30 は、それぞれ、シリコン層及びシリコン酸化膜が積層された SOI (Silicon On Insulator) 基板を用いて形成されてもよい。また、共振子 15、下蓋 20 及び上蓋 30 は、それぞれ、微細加工技術による加工が可能な基板であればシリコン基板以外の基板、例えば、化合物半導体基板、ガラス基板、セラミック基板、樹脂基板などを用いて形成されてもよい。

40

【0023】

50

振動部 110 の下蓋 20 側には凹部 16 が形成されている。凹部 16 は、下向きに開口する直方体状の開口部である。振動部 110 の上蓋 30 側は、略平面となっている。振動部 110 は、凹部 16 の底部に対応する薄肉部 111 と、凹部 16 の側壁部に対応する厚肉部 112 とを含んでいる。厚肉部 112 の Z 軸方向における厚さ（以下、単に「厚さ」とする。）は、薄肉部 111 の厚さよりも大きい。図 2 に示した例では、厚肉部 112 の厚さは、支持部 150 の厚さと略等しく、保持部 140 の厚さとも略等しい。薄肉部 111 は、本発明に係る「第 1 の部分」の一例に相当し、厚肉部 112 は、本発明に係る「第 2 の部分」の一例に相当する。

【0024】

凹部 16 の深さは、厚肉部 112 の厚さと、薄肉部 111 の厚さとの差分に相当する。凹部 16 の深さは、後述するシリコン酸化膜 F21 の厚さよりも大きく、後述するシリコン基板 F2 の厚さよりも小さい。凹部 16 の深さは、例えば、後述する金属膜 E1、金属膜 E2 及び圧電膜 F3 のそれぞれの厚さよりも大きく、これらの厚さの合計よりも大きい。

10

【0025】

共振子 15 を平面視したとき、薄肉部 111 は、第 1 支持腕 151A と第 2 支持腕 151B とで Y 軸方向に挟まれた領域（以下、「中央領域」とする。）において、Y 軸方向が長手方向となるように設けられている。第 1 支持腕 151A と第 2 支持腕 151B との間の中央領域は、振動部 110 が幅広がり振動するときに変位の小さい領域である。したがって、薄肉部 111 は振動部 110 のうち変位の小さい領域に設けられている、と言い換えることができる。平面視したときの薄肉部 111 の平面（以下、「平面形状」とする。）は、例えば矩形状である。

20

【0026】

厚肉部 112 は、中央領域を X 軸の両方向から挟む領域（以下、「外端領域」とする。）に設けられている。外端領域は、振動部 110 が幅広がり振動するときに変位の大きい領域である。また、厚肉部 112 は、薄肉部 111 と支持部 150 との間にも設けられている。すなわち、第 1 支持腕 151A 及び第 2 支持腕 151B は、振動部 110 の厚肉部 112 に接続している。平面視したとき、厚肉部 112 は、薄肉部 111 を囲む枠状に設けられている。また、厚肉部 112 の面積は、薄肉部 111 の面積よりも大きい。

【0027】

なお、薄肉部の数、形状、位置等は上記に限定されるものではない。薄肉部は、複数設けられてもよく、多角形状、円形状、楕円形状又はこれらを組み合わせた平面形状であってもよい。

30

【0028】

共振子 15 に含まれる振動部 110、保持部 140 及び支持部 150 は、同一プロセスによって一体的に形成される。共振子 15 は、シリコン酸化膜 F21 と、シリコン基板 F2 と、金属膜 E1 と、圧電膜 F3 と、金属膜 E2 と、保護膜 F5 とを有している。共振子 15 は、シリコン酸化膜 F21、シリコン基板 F2、金属膜 E1、圧電膜 F3、金属膜 E2、保護膜 F5 などからなる積層体を除去加工によってパターニングすることで形成される。当該除去加工は、例えばアルゴン (Ar) イオンビームを照射するドライエッチングである。振動部 110 の凹部 16 は、上記パターニングと同様、ドライエッチング等の除去加工によって形成される。凹部 16 の形成は、上記パターニングの前に実施してもよく、上記パターニングの後に実施してもよい。

40

【0029】

シリコン酸化膜 F21 は、シリコン基板 F2 の下面の一部に設けられている。具体的には、振動部 110 の厚肉部 112、支持部 150 及び保持部 140 の下面に設けられている。シリコン酸化膜 F21 は、シリコン基板 P10 とシリコン基板 F2 とによって挟まれている。シリコン酸化膜 F21 は、例えば SiO₂ などを含む酸化シリコンによって形成されている。シリコン酸化膜 F21 は、共振子 15 の共振周波数の温度係数、すなわち単位温度当たりの共振周波数の変化率、を少なくとも常温近傍において低減する温度特性補正膜として機能する。したがって、シリコン酸化膜 F21 は、共振子 15 の温度特性を向

50

上させる。なお、シリコン酸化膜は、シリコン基板 F 2 の上面に形成されてもよい。シリコン酸化膜 F 2 1 は、本発明に係る「温度特性補正膜」の一例に相当する。

【0030】

シリコン基板 F 2 は、例えば、厚さ 6 μm 程度の縮退した n 型シリコン (Si) 半導体によって形成されている。シリコン基板 F 2 は、n 型ドーパントとしてリン (P)、ヒ素 (As)、アンチモン (Sb) などを含むことができる。シリコン基板 F 2 に用いられる縮退シリコン (Si) の抵抗値は、例えば 16 $\text{m} \cdot \text{cm}$ 未満であり、より望ましくは 1.2 $\text{m} \cdot \text{cm}$ 以下である。シリコン基板 F 2 を構成するシリコン半導体は、単結晶、多結晶及びアモルファスのいずれの状態であってもよい。シリコン基板 F 2 は、本発明に係る「基板」の一例に相当する。

10

【0031】

シリコン基板 F 2 には凹部 1 6 が形成されている。シリコン基板 F 2 は凹部 1 6 の底面を形成し、シリコン酸化膜 F 2 1 及びシリコン基板 F 2 は凹部 1 6 の側面を形成している。このため、薄肉部 1 1 1 におけるシリコン基板 F 2 の厚さは、厚肉部 1 1 2 におけるシリコン基板 F 2 の厚さよりも小さい。つまり、振動部 1 1 0 は、薄肉部 1 1 1 及び厚肉部 1 1 2 によってシリコン基板 F 2 における圧電膜 F 3 とは反対側が凹状に構成されている。

【0032】

金属膜 E 1 はシリコン基板 F 2 の上に積層され、圧電膜 F 3 は金属膜 E 1 の上に積層され、金属膜 E 2 は圧電膜 F 3 の上に積層されている。すなわち、金属膜 E 1、金属膜 E 2 及び圧電膜 F 3 は、シリコン基板 F 2 の凹部 1 6 が形成された側とは反対側に設けられている。金属膜 E 1 及び金属膜 E 2 は、それぞれ、振動部 1 1 0 を励振する励振電極として機能する部分と、励振電極を外部電源へと電氣的に接続させる引出電極として機能する部分とを有している。金属膜 E 1 及び金属膜 E 2 のそれぞれにおいて励振電極として機能する部分は、振動部 1 1 0 において圧電膜 F 3 を挟んで互いに対向している。金属膜 E 1 及び金属膜 E 2 の引出電極として機能する部分は、例えば、支持部 1 5 0 を経由し、振動部 1 1 0 から保持部 1 4 0 に導出されている。圧電膜 F 3 は、本発明に係る「圧電体層」の一例に相当する。金属膜 E 1 は、本発明に係る「下部電極」の一例に相当する。金属膜 E 2 は、本発明に係る「上部電極」の一例に相当する。

20

【0033】

金属膜 E 1 及び金属膜 E 2 それぞれの厚さは、例えば 0.1 μm 以上 0.2 μm 以下程度である。金属膜 E 1 及び金属膜 E 2 は、成膜後に、エッチングなどの除去加工によって励振電極及び引出電極などにパターニングされる。金属膜 E 1 及び金属膜 E 2 は、例えば、結晶構造が体心立方構造である金属材料によって形成される。具体的には、金属膜 E 1 及び金属膜 E 2 は、Mo (モリブデン)、タングステン (W) などによって形成される。シリコン基板 F 2 が高い導電性を有する縮退半導体基板である場合、金属膜 E 1 が省略されシリコン基板 F 2 が下部電極として機能してもよい。なお、寄生容量の発生や、共振装置 1 の端部での短絡の発生、等を抑制する観点から、金属膜 E 1 とシリコン基板 F 2 との間には絶縁膜を設けてもよい。このような絶縁膜は、シリコン酸化膜 F 2 1 と同じ材料によって形成されてもよく、圧電膜 F 3 と同じ材料によって形成されてもよい。

30

【0034】

圧電膜 F 3 は、電氣的エネルギーと機械的エネルギーとを相互に変換する圧電体によって形成された薄膜である。圧電膜 F 3 は、金属膜 E 1 及び金属膜 E 2 によって印加される電場に応じて、XY 平面の面内方向のうち X 軸方向に伸縮する。この圧電膜 F 3 の伸縮によって振動部 1 1 0 は面内方向に伸縮振動する。

40

【0035】

圧電膜 F 3 は、ウルツ鉱型六方晶構造の結晶構造を持つ材質によって形成されており、例えば、窒化アルミニウム (AlN)、窒化スカンジウムアルミニウム (ScAlN)、酸化亜鉛 (ZnO)、窒化ガリウム (GaN)、窒化インジウム (InN) などの窒化物又は酸化物を主成分とすることができる。なお、窒化スカンジウムアルミニウムは、窒化アルミニウムにおけるアルミニウムの一部がスカンジウムに置換されたものであり、スカ

50

ンジウムの代わりに、マグネシウム (Mg) 及びニオブ (Nb)、又は、マグネシウム (Mg) 及びジルコニウム (Zr)、などの2元素で置換されていてもよい。圧電膜 F 3 の厚さは、例えば $1 \mu\text{m}$ 程度であるが、 $0.2 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ 程度であってもよい。

【0036】

保護膜 F 5 は、金属膜 E 2 の上に積層されている。保護膜 F 5 は、例えば金属膜 E 2 を酸化から保護する。保護膜 F 5 の材質は、例えば、アルミニウム (Al)、シリコン (Si) 又はタンタル (Ta) を含む酸化物、窒化物又は酸窒化物である。保護膜 F 5 の上には、共振子 1 5 の内部配線間に形成される寄生容量を低減する寄生容量低減膜が積層されてもよい。保護膜 F 5 の厚さは、金属膜 E 1、金属膜 E 2 及び圧電膜 F 3 のそれぞれ厚さよりも十分に大きい。このため、保護膜 F 5 は、振動部 1 1 0 の上面における金属膜 E 1、金属膜 E 2 及び圧電膜 F 3 のそれぞれの形状に起因した凹凸の表出を緩和し、振動部 1 1 0 の上面を平面へと近付ける。

10

【0037】

保護膜 F 5 の上には、除去加工によって振動部 1 1 0 の質量を変化させて、それに応じて振動部 1 1 0 の周波数を変化させる周波数調整膜が設けられてもよい。周波数調整膜は、例えば、モリブデン (Mo)、タングステン (W)、金 (Au)、白金 (Pt)、ニッケル (Ni) 又はチタン (Ti) などの金属材料である。

【0038】

保持部 1 4 0 の保護膜 F 5 の上には、引出配線 C 1 及び引出配線 C 2 が形成されている。引出配線 C 1 は、圧電膜 F 3 及び保護膜 F 5 に形成された貫通孔を通して、金属膜 E 1 と電氣的に接続されている。引出配線 C 2 は、保護膜 F 5 に形成された貫通孔を通して、金属膜 E 2 と電氣的に接続されている。引出配線 C 1 及び引出配線 C 2 は、例えば、アルミニウム (Al)、ゲルマニウム (Ge)、金 (Au)、錫 (Sn) などの金属材料によって形成されている。

20

【0039】

下蓋 2 0 の底板 2 2 及び側壁 2 3 は、シリコン基板 P 1 0 により、一体的に形成されている。シリコン基板 P 1 0 は、縮退していないシリコン半導体によって形成されており、その抵抗率は例えば $10 \cdot \text{cm}$ 以上である。下蓋 2 0 の厚さは、シリコン基板 F 2 の厚さよりも大きく、例えば $150 \mu\text{m}$ 程度である。

【0040】

共振子 1 5 及び下蓋 2 0 を MEMS 基板 5 0 としてみた場合、例えば、下蓋 2 0 のシリコン基板 P 1 0 は SOI 基板の支持基板 (ハンドル層) に相当し、共振子 1 5 のシリコン酸化膜 F 2 1 は SOI 基板の BOX 層に相当し、共振子 1 5 のシリコン基板 F 2 は SOI 基板の活性層 (デバイス層) に相当する。

30

【0041】

上蓋 3 0 の底板 3 2 及び側壁 3 3 は、シリコン基板 Q 1 0 により、一体的に形成されている。シリコン基板 Q 1 0 の表面には、シリコン酸化膜 Q 1 1 が設けられている。具体的には、シリコン基板 Q 1 0 と後述する貫通電極 V 1、V 2 との間の領域、シリコン基板 Q 1 0 と後述する内部端子 Y 1、Y 2 との間の領域、及び、シリコン基板 Q 1 0 と後述する外部端子 T 1、T 2 との間の領域に設けられている。シリコン酸化膜 Q 1 1 は、シリコン基板 Q 1 0 を介した電極等の短絡を防止する。なお、シリコン基板 Q 1 0 の表面のうちキャビティ 3 1 の内壁には短絡の原因となる電極等が設けられていないため、キャビティ 3 1 の内壁においてシリコン基板 Q 1 0 が露出してもよい。シリコン酸化膜 Q 1 1 は、例えばシリコン基板 Q 1 0 の熱酸化や、化学気相成長 (CVD: Chemical Vapor Deposition) によって形成される。上蓋 3 0 の厚さは、例えば $150 \mu\text{m}$ 程度である。

40

【0042】

上蓋 3 0 の底板 3 2 の下面には、金属膜 7 0 が備えられている。金属膜 7 0 は、キャビティ 2 1 及び 3 1 によって構成される振動空間のガスを吸蔵して真空度を向上させるゲッターである。金属膜 7 0 は、例えば水素ガスを吸蔵する。金属膜 7 0 は、例えば、チタン

50

(Ti)、ジルコニウム(Zr)、バナジウム(V)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)又はこれらのうち少なくとも1つを含む合金を含んでいる。金属膜70は、アルカリ金属の酸化物又はアルカリ土類金属の酸化物を含んでもよい。シリコン基板Q10と金属膜70との間には、例えば、シリコン基板Q10から金属膜70への水素の拡散を防止する層や、シリコン基板Q10と金属膜70との密着性を向上させる層など、図示しない層が設けられてもよい。

【0043】

上蓋30には、貫通電極V1及び貫通電極V2が設けられている。貫通電極V1、V2は、側壁33をZ軸方向に貫通する貫通孔の内部に設けられている。貫通電極V1、V2は、シリコン酸化膜Q11に囲まれ、互いに絶縁されている。貫通電極V1、V2は、例えば、貫通孔に多結晶シリコン(Poly-Si)、銅(Cu)又は金(Au)などを充填して形成されている。

10

【0044】

上蓋30の下面には内部端子Y1及び内部端子Y2が設けられ、上蓋30の上面には外部端子T1及び外部端子T2が設けられている。内部端子Y1は貫通電極V1の下端部に接続し、外部端子T1は貫通電極V1の上端部に接続している。内部端子Y2は貫通電極V2の下端部に接続し、外部端子T2は貫通電極V2の上端部に接続している。内部端子Y1は貫通電極V1と引出配線C1とを電氣的に接続する接続端子であり、外部端子T1は金属膜E1を接地させる実装端子である。内部端子Y2は貫通電極V2と引出配線C2とを電氣的に接続する接続端子であり、外部端子T2は金属膜E2を外部電源に電氣的に

20

【0045】

内部端子Y1、Y2は、シリコン酸化膜Q11によって互いに電氣的に絶縁されている。外部端子T1、T2を含む複数の外部端子も、シリコン酸化膜Q11によって互いに電氣的に絶縁されている。内部端子Y1、Y2及び外部端子T1、T2は、例えば、クロム(Cr)、タンゲステン(W)、ニッケル(Ni)などのメタライズ層(下地層)に、ニッケル(Ni)、金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)などのメッキを施して形成されている。

【0046】

上蓋30の側壁33と共振子15の保持部140との間には、接合部Hが形成されている。接合部Hは、平面視したとき、振動部110を囲むように周方向に連続した枠状に設けられ、キャビティ21及び31によって構成される振動空間を真空状態で気密封止している。接合部Hは、例えば、アルミニウム(Al)膜、ゲルマニウム(Ge)膜及びアルミニウム(Al)膜が共振子15側からこの順に積層されて共晶接合された金属膜によって形成されている。接合部Hは、金(Au)、錫(Sn)、銅(Cu)、チタン(Ti)、アルミニウム(Al)、ゲルマニウム(Ge)、チタン(Ti)、シリコン(Si)及びこれらのうち少なくとも1種類を含む合金を含んでもよい。また、共振子15と上蓋30との密着性を向上させるために、接合部Hは、窒化チタン(TiN)や窒化タンタル(TaN)などの金属化合物からなる絶縁体を含んでもよい。なお、接合部Hの各金属膜はそれぞれ独立した層として図示されているが、実際には共晶合金を形成しているため、必ずしも明瞭な境界が存在しているわけではない。

30

40

【0047】

以上説明したとおり、本実施形態では、振動部110は、シリコン基板F2における幅広がり振動する圧電膜F3とは反対側が凹状に構成されている。振動部110は、凹部16の底部に対応する薄肉部111と、凹部16の側壁部に対応する厚肉部112とを有する。厚肉部112の厚さが薄肉部111の厚さよりも大きい。

【0048】

主たる振動モードとして、幅広がり振動を採用する場合、Z軸方向における積層構造の非対称性に起因してZ軸方向に屈曲する屈曲振動も発生し得る。当該屈曲振動は、支持部150を振動させて保持部140へと振動エネルギーを漏らすため、振動の閉じ込め性を

50

低下させる原因となる場合がある。これに対して本実施形態の構成によれば、凹部 16 を設けることによって、振動モードを制御して上記屈曲振動などの不要振動を抑制することができる。したがって、本実施形態によれば、振動の閉じ込め性の高い共振子 15 及びそれを備えた共振装置 1 を提供することができる。また、振動部 110 の下蓋 20 側に凹部 16 を設け、振動部 110 におけるシリコン基板 F2 の励振電極等が設けられる側である上蓋 30 側表面を下蓋 20 側表面よりも平坦にすることで、励振電極の段切れや短絡等の加工不良を抑制することができる。

【0049】

また、平面視したときの薄肉部 111 の面積は厚肉部 112 の面積よりも小さいため、凹部 16 を形成することによる振動部 110 の機械的強度の低下は抑制される。したがって、製造時や搬送時の衝撃による共振子 15 の破損を抑制し、信頼性の向上を図ることができる。

10

【0050】

また、シリコン基板 F2 の下蓋 20 側には、シリコン酸化膜 F21 が設けられている。

【0051】

この態様によれば、シリコン酸化膜 F21 がシリコン基板 F2 の周波数温度特性を補正することにより、周波数温度特性を改善することが提供できる。

【0052】

また、シリコン酸化膜 F21 は、厚肉部 112 に設けられ、凹部 16 の内壁には設けられていない。

20

【0053】

この態様によれば、シリコン酸化膜 F21 をシリコン基板 F2 の一方の主面全体に成膜した後に、シリコン酸化膜 F21 及びシリコン基板 F2 の一部を除去して薄肉部 111 を形成することで、共振子 15 の製造工程を簡略化することができる。また、上記したように薄肉部 111 の形成時にシリコン酸化膜 F21 の一部を除去したとしても、薄肉部 111 の面積は厚肉部 112 の面積よりも小さいため、シリコン酸化膜 F21 を一部除去したことによる周波数温度特性への影響を抑制することができる。

【0054】

また、本実施形態においては、本発明に係る「基板」としてシリコン基板 F2 を採用し、本発明に係る「温度特性補正膜」としてシリコン酸化膜 F21 を採用している。

30

【0055】

この態様によれば、広く普及したシリコン基板 F2 の表面に、製造が容易且つ安価なシリコン酸化膜 F21 を設けるため、容易かつ安価に周波数温度特性を補正することができる。

【0056】

また、薄肉部 111 は、第 1 支持腕 151A と第 2 支持腕 151B とで挟まれた中央領域に設けられている。

【0057】

この態様によれば、振動時の変位が少なく、周波数温度特性に影響を与えにくい中央領域に薄肉部 111 を形成することで、良好な周波数温度特性と振動の閉じ込め性の高さを両立させることができる。

40

【0058】

以下に、その他の実施形態について説明する。なお、第 1 実施形態において示した構成と同一又は類似の構成について同一又は類似の符号を付し、その説明を適宜省略する。また、同様の構成による同様の作用効果については、逐次言及しない。

【0059】

< 第 2 実施形態 >

次に、図 3 を参照しつつ、第 2 実施形態に係る共振装置 2 の構造について説明する。図 3 は、第 2 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【0060】

50

本実施形態では、支持部 250 の第 1 支持腕 251 A 及び第 2 支持腕 251 B の厚さが小さくなっている点が第 1 実施形態と異なる。具体的には、第 1 支持腕 251 A の厚さは、厚肉部 112 の厚さよりも小さくなっている。図 3 に示すように、第 1 支持腕 251 A の厚さは、薄肉部 111 の厚さよりも小さい。また、第 1 支持腕 251 A の厚さは、保持部 140 の厚さより小さい。このような厚さの関係は、第 2 支持腕 251 B についても同様である。但し、第 1 支持腕 251 A の厚さは、厚肉部 112 の厚さよりも小さければ、薄肉部 111 の厚さよりも大きくてもよく、保持部 140 の厚さと同じかそれ以上であってもよい。なお、第 1 支持腕 251 A の厚さは、例えば第 2 支持腕 251 B の厚さと略等しいが、第 2 支持腕 251 B の厚さよりも大きくても小さくてもよい。また、図 3 の例では、支持部 250 の下蓋 20 側の面には、シリコン酸化膜 F 21 は設けられておらず、シリコン基板 F 2 が露出している。但し、支持部 250 の下蓋 20 側の面にはシリコン酸化膜が設けられてもよい。

10

【0061】

このような支持部 250 は、例えば、下蓋 20 側からエッチング加工することにより形成することができる。このように支持部 250 が接続する厚肉部 112 の厚さよりも支持部 250 の厚さを小さくすることにより、振動部 110 から支持部 250 を介して保持部 140 へ振動が漏れることを抑制することができる。

【0062】

< 第 3 実施形態 >

次に、図 4 を参照しつつ、第 3 実施形態に係る共振装置 3 の構造について説明する。図 4 は、第 3 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

20

【0063】

本実施形態では、支持部 350 の第 1 支持腕 351 A 及び第 2 支持腕 351 B の厚さが薄肉部 111 と略同じ厚さとなっている。支持部 350 の下蓋 20 側の面には、薄肉部 111 の下蓋 20 側の面と同様、シリコン酸化膜 F 21 が設けられておらず、シリコン基板 F 2 が露出している。これによれば、共振装置 3 の製造工程において支持部 350 と薄肉部 111 とのエッチング加工処理を一括で行うことで、製造工程を簡略化することができる。なお、支持部 350 の厚さと薄肉部 111 の厚さとが同等であるならば、支持部 350 及び薄肉部 111 の下蓋 20 側の面にはシリコン酸化膜 F 21 が設けられてもよい。

【0064】

< 第 4 実施形態 >

次に、図 5 を参照しつつ、第 4 実施形態に係る共振装置 4 の構造について説明する。図 5 は、第 4 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

30

【0065】

本実施形態では、保持部 440 の厚さは、厚肉部 112 の厚さよりも小さい。図 5 に示す例では、保持部 440 の厚さは、支持部 450 の厚さと略同じであり、薄肉部 111 の厚さと略同じである。第 1 支持腕 451 A の下蓋 20 側の面と、第 1 枠部 441 A の下蓋 20 側の面とは、略面一になっている。これらの内容は、第 2 支持腕 451 B 及び第 2 枠部 441 B についても同様である。また、図 5 に示す例では、保持部 440 及び支持部 450 の下蓋 20 側の面には、シリコン酸化膜 F 21 は設けられておらず、シリコン基板 F 2 が露出している。あるいは、保持部 440 及び支持部 450 の下蓋 20 側の面には、シリコン酸化膜が設けられてもよい。

40

【0066】

以上のとおり、保持部 440 の厚さが厚肉部 112 の厚さよりも小さいため、下蓋 20 と上蓋 30 との距離が縮まり、共振装置 4 の厚さが小さくなる。すなわち、共振装置 4 を小型化することができる。

【0067】

また、支持部 450 の厚さが薄肉部 111 及び保持部 440 と同じ厚さとなるように形成されているため、共振装置 4 の製造工程において支持部 450、薄肉部 111 及び保持部 440 のエッチング加工処理を一括で行うことで、製造工程を簡略化することができる。

50

【 0 0 6 8 】

なお、保持部 4 4 0 の厚さが厚肉部 1 1 2 の厚さよりも小さければ、保持部 4 4 0 は、薄肉部 1 1 1 及び支持部 4 5 0 とは異なる厚さとなるように形成されてもよい。例えば、薄肉部 1 1 1、保持部 4 4 0 及び支持部 4 5 0 のそれぞれの厚さが異なっていたとしても、保持部 4 4 0 の厚さが厚肉部 1 1 2 の厚さと略等しい構成に比べて、共振装置 4 の厚さを小さくすることができる。また、保持部 4 4 0 及び支持部 4 5 0 の厚さが略同等且つ薄肉部 1 1 1 の厚さと異なる場合であっても、保持部 4 4 0 及び支持部 4 5 0 のエッチング加工処理を一括で行うことができる。薄肉部 1 1 1 及び保持部 4 4 0 の厚さが略同等且つ支持部 4 5 0 の厚さと異なる場合についても同様である。

【 0 0 6 9 】

< 第 5 実施形態 >

次に、図 6 を参照しつつ、第 5 実施形態に係る共振装置 5 の構造について説明する。図 6 は、第 5 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【 0 0 7 0 】

本実施形態では、振動部 5 1 0 の厚肉部 5 1 2 の下面だけではなく、薄肉部 5 1 1 の下面、すなわち振動部 5 1 0 の凹部 5 6 の底面にもシリコン酸化膜 F 2 1 が設けられている。言い換えれば、シリコン酸化膜 F 2 1 は、シリコン基板 F 2 の下蓋 2 0 側であって、振動部 5 1 0 におけるシリコン基板 F 2 の主面に沿った方向の面上に設けられている。これによれば、より良好な周波数温度特性を得ることができる。また、凹部 5 6 の側面にはシリコン酸化膜 F 2 1 が設けられていなくてもよい。このため、シリコン酸化膜が厚肉部及び薄肉部に亘って連続して設けられた構成に比べて、シリコン酸化膜による振動の阻害が低減される。

【 0 0 7 1 】

なお、図 6 に示した例では薄肉部 5 1 1 の下面の全面にシリコン酸化膜 F 2 1 が設けられているが、シリコン酸化膜 F 2 1 は、薄肉部 5 1 1 の下面の少なくとも一部に設けられればよい。また、シリコン酸化膜 F 2 1 は、厚肉部 5 1 2 と薄肉部 5 1 1 との境界において不連続となっていれば、凹部 5 6 の側面の一部にシリコン酸化膜 F 2 1 が設けられてもよい。

【 0 0 7 2 】

< 第 6 実施形態 >

次に、図 7 を参照しつつ、第 6 実施形態に係る共振装置 6 の構造について説明する。図 7 は、第 6 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【 0 0 7 3 】

本実施形態では、振動部 6 1 0 の厚肉部 6 1 2 の下面だけでなく薄肉部 6 1 1 の下面にもシリコン酸化膜 F 2 1 が設けられ、シリコン酸化膜 F 2 1 は厚肉部 6 1 2 及び薄肉部 6 1 1 に亘って連続して設けられている。本実施形態は、第 5 実施形態と異なり、振動部 6 1 0 の凹部 6 6 の側面にもシリコン酸化膜 F 2 1 が設けられている。言い換えれば、シリコン基板 F 2 の下蓋 2 0 側であって、振動部 6 1 0 におけるシリコン基板 F 2 の主面に沿った方向と主面に交差する方向の面上に設けられている。つまり、シリコン酸化膜 F 2 1 は、振動部 6 1 0 の下蓋 2 0 側の全面に設けられている。このため、製造工程において、凹部 6 6 の形成後にシリコン酸化膜 F 2 1 を成膜することができ、第 5 実施形態に比べ製造コストが安くできる。

【 0 0 7 4 】

< 第 7 実施形態 >

次に、図 8 から図 9 C を参照しつつ、第 7 実施形態に係る共振装置 7 の構造について説明する。図 8 は、第 7 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す平面図である。図 9 A、図 9 B 及び図 9 C は、図 8 の I X A - I X A、I X B - I X B 及び I X C - I X C 線に沿った断面図である。

【 0 0 7 5 】

図 8 に示すように、薄肉部 7 1 1 は、振動部 7 1 0 のうち、支持部 7 5 0 の第 1 支持腕

10

20

30

40

50

751A及び第2支持腕751BでY軸方向に挟まれた中央領域において、第1支持腕751Aから第2支持腕751Bに至るまで帯状に延在しており、第1支持腕751A及び第2支持腕751Bは薄肉部711に接続されている。厚肉部712は、中央領域をX軸の両方向から挟む外端領域に設けられている。薄肉部711のX軸方向における幅は、第1支持腕751A及び第2支持腕751BのそれぞれのX軸方向における幅と略等しい。つまり、外端領域よりも振動による変位が小さい中央領域の略全域に凹部76が設けられている。これによれば、中央領域のY軸方向における一部に凹部を設ける構成に比べて、振動特性への影響を抑制しつつ凹部を大きくすることができるため、振動の閉じ込め性を向上させることができる。

【0076】

支持部750の厚さは、例えば、厚肉部712及び保持部740の厚さよりも小さい。支持部750と保持部740との境界で厚さが変化するため、支持部750から保持部740への振動漏れを抑制することができる。したがって、振動の閉じ込め性を向上させることができる。支持部750の厚さは例えば薄肉部711の厚さと略同等であるが、これに限定されるものではない。支持部750の厚さは、薄肉部711の厚さよりも大きくても小さくてもよい。

【0077】

図8に示した例では、薄肉部711の平面形状は矩形状であるが、第1支持腕751Aから第2支持腕751Bに至るまでの帯状に延在するのであれば、薄肉部711の平面形状は上記に限定されるものではない。例えば、薄肉部711の平面形状は、多角形状、円形状、楕円形状又はこれらの組み合わせでもよい。また、薄肉部711のX軸方向の幅は、第1支持腕751A及び第2支持腕751BのX軸方向の幅と略等しく形成されているが、この幅に限定されるものではない。例えば、第1支持腕751A及び第2支持腕751BでY軸方向に挟まれた領域において、薄肉部711のX軸方向の幅は、第1支持腕751A及び第2支持腕751BのX軸方向の幅より大きくてもよいし、小さくてもよい。

【0078】

振動部710の上蓋30側には周波数調整膜Wが設けられている。周波数調整膜Wは外端領域に設けられている。幅広がり振動する振動部710の周波数は振動部710の外端領域の重量に依存するため、周波数調整膜Wのトリミング加工によって周波数を調整することができる。振動部710の振動時の歪に起因した周波数調整膜Wの剥離や損傷を抑制する観点から、周波数調整膜Wは、振動時の歪が大きい中央領域を避け、外端領域にのみ設けられることが好ましい。トリミング加工の精度の観点から、周波数調整膜WのX軸方向における幅は5 μ m以上であることが好ましい。したがって、周波数調整膜Wが設けられる外端領域のX軸方向における幅は、5 μ m以上であることが好ましい。

【0079】

<第8実施形態>

次に、図10から図11Cを参照しつつ、第8実施形態に係る共振装置8の構造について説明する。図10は、第8実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す平面図である。図11A、図11B及び図11Cは、図10のXIA-XIA、XIB-XIB及びXIC-XIC線に沿った断面図である。

【0080】

図10に示すように、振動部810において、支持部850の第1支持腕851A及び第2支持腕851BでY軸方向に挟まれた中央領域に厚肉部812が設けられ、厚肉部812は第1支持腕851Aから第2支持腕851Bに至るまで帯状に延在しており、第1支持腕851A及び第2支持腕851Bは厚肉部812に接続している。中央領域をX軸の両方向から挟む外端領域には薄肉部811が設けられている。つまり、振動部810は、シリコン基板F2における圧電膜F3とは反対側が凸状に構成されている。これによれば、振動部810における周波数温度特性への影響が大きい中央領域の厚さが最適化できる。したがって、周波数への影響が大きい外端領域の厚さを小さくして所望の周波数を得た場合であっても、良好な周波数温度特性を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 1 】

支持部 8 5 0 の厚さは、例えば、薄肉部 8 1 1 の厚さよりも大きく、厚肉部 8 1 2 及び保持部 8 4 0 の厚さと略同等である。振動部 8 1 0 と支持部 8 5 0 との境界で厚さが変化するため、振動部 8 1 0 から支持部 8 5 0 への振動漏れを抑制することができる。また、支持部 8 5 0 と保持部 8 4 0 との境界で厚さが変化するため、支持部 8 5 0 から保持部 8 4 0 への振動漏れを抑制することができる。したがって、振動の閉じ込め性を向上させることができる。

【 0 0 8 2 】

図 1 0 に示した例では、厚肉部 8 1 2 の平面形状は矩形状であるが、第 1 支持腕 8 5 1 A から第 2 支持腕 8 5 1 B に至るまでの帯状に延在するのであれば、厚肉部 8 1 2 の平面形状は上記に限定されるものではない。例えば、厚肉部 8 1 2 の平面形状は、多角形状、円形状、楕円状又はこれらの組み合わせでもよい。また、厚肉部 8 1 2 の X 軸方向の幅は、第 1 支持腕 8 5 1 A 及び第 2 支持腕 8 5 1 B の X 軸方向の幅と略等しく形成されているが、この幅に限定されるものではない。例えば、第 1 支持腕 8 5 1 A 及び第 2 支持腕 8 5 1 B で Y 軸方向に挟まれた領域において、厚肉部 8 1 2 の X 軸方向の幅は、第 1 支持腕 8 5 1 A 及び第 2 支持腕 8 5 1 B の X 軸方向の幅より大きくてもよいし、小さくてもよい。

【 0 0 8 3 】

幅広がり振動する振動部 8 1 0 の周波数は振動部 8 1 0 の外端領域の重量に依存するため、薄肉部 8 1 1 の厚さを調整することで周波数を調整することができる。薄肉部 8 1 1 の厚さは、例えば、外端領域のシリコン基板 F 2 のトリミング加工によって調整される。中央領域の厚肉部 8 1 2 の厚さが変化すると周波数温度特性が変化してしまうため、中央領域を避けて外端領域のみトリミング加工することが好ましい。したがって、トリミング加工の精度の観点から、外端領域の X 軸方向における幅は、5 μ m 以上であることが好ましい。

【 0 0 8 4 】

なお、本実施形態では第 1 支持腕及び第 2 支持腕は厚肉部に接続しているが、中央領域の少なくとも一部に厚肉部が設けられ、第 1 支持腕及び第 2 支持腕の少なくとも一方が薄肉部に接続してもよい。例えば、Y 軸方向における中間部（以下、単に「中間部」とする。）に厚肉部が設けられ、平面視において厚肉部が薄肉部に囲まれる島状に設けられてもよい。このような構成においては、中央領域における厚肉部と薄肉部との比率を調整することで、周波数温度特性を調整することができる。

【 0 0 8 5 】

< 第 9 実施形態 >

次に、図 1 2 から図 1 3 C を参照しつつ、第 9 実施形態に係る共振装置 9 の構造について説明する。図 1 2 は、第 9 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す平面図である。図 1 3 A、図 1 3 B 及び図 1 3 C は、図 1 2 の X I I I A - X I I I A、X I I I B - X I I I B 及び X I I I C - X I I I C 線に沿った断面図である。

【 0 0 8 6 】

本実施形態では、第 7 実施形態と同様に、振動部 9 1 0 において、支持部 9 5 0 の第 1 支持腕 9 5 1 A 及び第 2 支持腕 9 5 1 B で Y 軸方向に挟まれた中央領域に薄肉部 9 1 1 が設けられ、中央領域を X 軸の両方向から挟む外端領域に厚肉部 9 1 2 が設けられている。しかし、本実施形態では第 7 実施形態と異なり、薄肉部 9 1 1 は、中間部が幅広に構成されている。つまり、図 1 2 及び図 1 3 C に示すように、振動部 9 1 0 は、中央領域の中間部に設けられた薄肉部 9 1 1 A と、外端領域の中間部であって中央領域に隣接する部分に設けられた薄肉部 9 1 1 B と、振動部 9 1 0 の四隅に設けられた厚肉部 9 1 2 とを有する。これによれば、第 7 実施形態よりも振動の閉じ込め性が高い共振装置を提供することができる。

【 0 0 8 7 】

図 1 2 に示した例では、薄肉部 9 1 1 の中間部の平面形状は矩形状であるが、これに限定されるものではない。例えば、薄肉部 9 1 1 の中間部の平面形状は、多角形状、円形状

10

20

30

40

50

、楕円形状又はこれらの組み合わせでもよい。図 1 3 C に示した例では、薄肉部 9 1 1 A の厚さは薄肉部 9 1 1 B の厚さと略同等であるが、薄肉部 9 1 1 B の厚さよりも大きくても小さくてもよい。

【 0 0 8 8 】

また、図 1 2 に示した例では、薄肉部 9 1 1 B は、薄肉部 9 1 1 A の X 軸方向の両側においてそれぞれ振動部 9 1 0 の外端まで達している。変形例として、図 1 2 に示す例とは別に、薄肉部 9 1 1 B は、薄肉部 9 1 1 A の X 軸方向の両側において振動部 9 1 0 の外端まで達しておらず、振動部 9 1 0 の外端から間隔をあけて設けられていてもよい。この構成の場合、振動部 9 1 0 の中間部外端は厚肉部 9 1 2 と同じ厚さであってもよい。また、この構成の場合、トリミング加工の精度の観点から、薄肉部 9 1 1 B に X 軸方向で隣接する厚肉部 9 1 2 の幅は 5 μ m 以上であることが好ましい。また、薄肉部 9 1 1 B に Y 軸方向で隣接する厚肉部 9 1 2 の幅も同様に 5 μ m 以上であることが好ましい。

10

【 0 0 8 9 】

なお、本実施形態では薄肉部 9 1 1 の中間部が幅広に構成されているが、中間部以外が幅広に構成されてもよい。すなわち、薄肉部の中間部が幅狭に構成されてもよい。

【 0 0 9 0 】

< 第 1 0 実施形態 >

次に、図 1 4 から図 1 5 C を参照しつつ、第 1 0 実施形態に係る共振装置 1 0 の構造について説明する。図 1 4 は、第 1 0 実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す平面図である。図 1 5 A、図 1 5 B 及び図 1 5 C は、図 1 4 の X V A - X V A、X V B - X V B 及び X V C - X V C 線に沿った断面図である。

20

【 0 0 9 1 】

本実施形態では、第 8 実施形態と同様に、振動部 1 0 1 0 において、支持部 1 0 5 0 の第 1 支持腕 1 0 5 1 A 及び第 2 支持腕 1 0 5 1 B で Y 軸方向に挟まれた中央領域に厚肉部 1 0 1 2 が設けられ、中央領域を X 軸の両方向から挟む外端領域に薄肉部 1 0 1 1 が設けられている。しかし、本実施形態では第 8 実施形態と異なり、厚肉部 1 0 1 2 は、中間部が幅広に構成されている。つまり、図 1 4 及び図 1 5 C に示すように、振動部 1 0 1 0 は、中央領域の中間部に設けられた厚肉部 1 0 1 2 A と、外端領域の中間部であって中央領域に隣接する部分に設けられた厚肉部 1 0 1 2 B と、振動部 1 0 1 0 の四隅に設けられた薄肉部 1 0 1 1 とを有する。これによれば、第 8 実施形態よりも振動の閉じ込め性が高い共振装置を提供することができる。

30

【 0 0 9 2 】

図 1 4 に示した例では、厚肉部 1 0 1 2 の中間部の平面形状は矩形状であるが、これに限定されるものではない。例えば、厚肉部 1 0 1 2 の中間部の平面形状は、多角形状、円形状、楕円形状又はこれらの組み合わせでもよい。図 1 5 C に示した例では、厚肉部 1 0 1 2 A の厚さは厚肉部 1 0 1 2 B の厚さと略同等であるが、厚肉部 1 0 1 2 B の厚さよりも大きくても小さくてもよい。また、厚肉部 1 0 1 2 の X 軸方向の幅は、第 1 支持腕 1 0 5 1 A 及び第 2 支持腕 1 0 5 1 B の X 軸方向の幅と略等しく形成されているが、この幅に限定されるものではない。例えば、厚肉部 1 0 1 2 の X 軸方向の幅は、第 1 支持腕 1 0 5 1 A 及び第 2 支持腕 1 0 5 1 B の X 軸方向の幅より大きくてもよいし、小さくてもよい。

40

【 0 0 9 3 】

また、図 1 4 に示した例では、厚肉部 1 0 1 2 B は、厚肉部 1 0 1 2 A の X 軸方向の両側においてそれぞれ振動部 1 0 1 0 の外端まで達している。変形例として、図 1 4 に示す例とは別に、厚肉部 1 0 1 2 B は、厚肉部 1 0 1 2 A の X 軸方向の両側において振動部 1 0 1 0 の外端まで達しておらず、振動部 1 0 1 0 の外端から間隔をあけて設けられていてもよい。この構成の場合、振動部 1 0 1 0 の中間部外端は薄肉部 1 0 1 1 と同じ厚さであってもよい。また、この構成の場合、トリミング加工の精度の観点から、厚肉部 1 0 1 2 B に X 軸方向で隣接する薄肉部 1 0 1 1 の幅は 5 μ m 以上であることが好ましい。また、厚肉部 1 0 1 2 B に Y 軸方向で隣接する薄肉部 1 0 1 1 の幅も同様に 5 μ m 以上であることが好ましい。

50

【0094】

なお、本実施形態では第1支持腕及び第2支持腕は厚肉部に接続しているが、中央領域の少なくとも一部に厚肉部が設けられ、第1支持腕及び第2支持腕の少なくとも一方が薄肉部に接続してもよい。例えば、Y軸方向における中間部に厚肉部が設けられ、平面視において厚肉部が薄肉部に囲まれる島状に設けられてもよい。このような構成においては、中央領域における厚肉部と薄肉部との比率を調整することで、周波数温度特性を調整することができる。

【0095】

なお、本実施形態では厚肉部1012の中間部が幅広に構成されているが、中間部以外が幅広に構成されてもよい。すなわち、厚肉部の中間部が幅狭に構成されてもよい。

10

【0096】

<第11実施形態>

次に、図16を参照しつつ、第11実施形態に係る共振装置11の構造について説明する。図16は、第11実施形態に係る共振子の構造を概略的に示す断面図である。

【0097】

本実施形態では、共振子60は、第1シリコン層F2A及び第2シリコン層F2Bを有し、これらの間にシリコン酸化膜F21が設けられている。第1シリコン層F2Aは、第2シリコン層F2Bの上蓋30側に設けられている。第1シリコン層F2Aは、振動部1110、保持部1140（第1枠部1141A及び第2枠部1141Bを含む。）及び支持部1150（すなわち、第1支持腕1151A及び第2支持腕1151B）の全域に亘って設けられている。第1シリコン層F2Aは、薄肉部1111及び厚肉部1112において一様な厚さに設けられている。シリコン酸化膜F21も同様に一様な厚さで設けられている。第2シリコン層F2Bは、保持部1140及び支持部1150に設けられている。第2シリコン層F2Bは、振動部1110において、薄肉部1111を避けて厚肉部1112に設けられている。したがって、シリコン酸化膜F21は振動部1110の薄肉部1111において凹部116の底面に露出するように設けられ、第2シリコン層F2Bは凹部116の側面に露出するように設けられている。第2シリコン層F2Bの厚さは第1シリコン層F2Aの厚さより大きくてもよい。下蓋20の共振子60側にはシリコン酸化膜P11が設けられている。シリコン酸化膜P11は、シリコン基板P10と第2シリコン層F2Bとの接合面、及びキャビティ21の内面に亘って連続して設けられている。

20

30

【0098】

共振装置11の製造工程における凹部116のエッチング加工処理において、第1シリコン層F2Aと第2シリコン層F2Bの間に設けられたシリコン酸化膜F21でエッチングストップすることで、薄肉部の1111の厚みを高精度に調整でき、周波数温度特性や周波数のばらつきを抑制できる。

【0099】

図16に示した振動部1110は、下蓋側が凹状に構成された振動部の一例である。しかしながら、共振子が第1シリコン層及び第2シリコン層を有し、これらの間にシリコン酸化膜が設けられているならば、振動部の下蓋側は凸状や上記以外の凹状に構成されてもよい。例えば、厚肉部が第1シリコン層、シリコン酸化膜及び第2シリコン層で構成され、薄肉部が第1シリコン層及びシリコン酸化膜で構成されるのであれば、振動部は、第7実施形態～第10実施形態のような平面形状の厚肉部や薄肉部を有してもよい。

40

【0100】

以下に、本発明の実施形態の一部又は全部を付記する。なお、本発明は以下の付記に限定されるものではない。

【0101】

本発明の一態様によれば、基板、及び、基板の主面に設けられるとともに、印加された電圧に応じて基板の主面に沿って幅広がり振動する圧電体層を含む、振動部と、基板の主面における平面視において、振動部の少なくとも一部の周囲に設けられた保持部と、保持部と振動部との間に設けられ、振動部を支持する支持部とを備え、振動部は、基板の主面

50

の平面視における一部の領域である第1の部分と、基板の主面の平面視における他の領域である第2の部分とを有し、基板の主面に交差する厚さ方向における第2の部分の厚さは、前記厚さ方向における第1の部分の厚さよりも大きくなっており、振動部は、第1の部分及び第2の部分によって基板における圧電体層とは反対側が凹状又は凸状に構成されている、共振子が提供される。

【0102】

この態様によれば、振動部の基板における圧電体層とは反対側に凹凸を設けることによって、振動モードを制御して屈曲振動などの不要振動を抑制することができる。したがって、この態様によれば、振動の閉じ込め性の高い共振子及びそれを備えた共振装置を提供することができる。

10

【0103】

一態様として、振動部は、基板における圧電体層とは反対側が凹状に構成され、第1の部分は振動部の凹状の底部に対応し、かつ、第2の部分は振動部の凹状の側壁部に対応してもよい。

【0104】

一態様として、支持部は、第2の部分に接続され、厚さ方向における支持部の厚さは、厚さ方向における第2の部分の厚さと等しくてもよい。

【0105】

この態様によれば、基板における圧電体層とは反対側に設けられた凹部により振動モードを制御でき、共振子の振動閉じ込め性の向上を図ることができる。

20

【0106】

一態様として、支持部は、第2の部分に接続され、厚さ方向における支持部の厚さは、厚さ方向における第2の部分の厚さよりも小さくてもよい。

【0107】

この態様によれば、支持部の厚みが薄いことで支持部からの振動漏れを抑制し、さらに共振子の振動閉じ込め性の向上を図ることができる。また、振動部の厚みを維持することで良好な周波数温度特性を得ることができる。

【0108】

一態様として、厚さ方向における支持部の厚さは、厚さ方向における第1の部分の厚さと等しくてもよい。

30

【0109】

この態様によれば、支持部と振動部の加工を一括で行うことができ、生産性に優れた共振子を提供できる。

【0110】

一態様として、厚さ方向における保持部の厚さは、厚さ方向における支持部の厚さと等しくてもよい。

【0111】

この態様によれば、保持部の高さを低くできるため製品高さを低くし、小型化することができる。

【0112】

一態様として、支持部は、振動部を挟んで対向して設けられた一对の支持腕を有し、第1の部分は、振動部における一对の支持腕で挟まれた領域において一对の支持腕の一端から他端に至るまで帯状に延在しており、支持部は、第1の部分に接続されてもよい。

40

【0113】

この態様によれば、振動部の第1の部分と第2の部分で厚みが異なることにより、振動モードを制御し、さらに振動の閉じ込め性を改善することができる。

【0114】

一態様として、第1の部分は、第1の部分における帯状に延在する領域における中間部が幅広に構成されていてもよい。

【0115】

50

この態様によれば、中間部に設けられた凹部により振動の閉じ込め性を改善することができる。

【0116】

一態様として、振動部は、基板における圧電体層とは反対側が凸状に構成され、第2の部分は振動部の凸状の頂部に対応し、かつ、第1の部分は振動部の凸状の側壁部に対応してもよい。

【0117】

一態様として、支持部は、振動部を挟んで対向して設けられた一对の支持腕を有し、第2の部分は、振動部における一对の支持腕で挟まれた領域において一对の支持腕の一端から他端に至るまで帯状に延在しており、前記支持部は、前記第2の部分に接続されている

10

【0118】

この態様によれば、支持腕に挟まれた振動子中央部の厚さを最適化することで良好な周波数温度特性を得ることができる。

【0119】

一態様として、第2の部分は、第2の部分における帯状に延在する領域における中間部が幅広に構成されている

【0120】

この態様によれば、中間部に設けられた凹部により振動の閉じ込め性を改善することができる。

20

【0121】

一態様として、振動部は、基板の温度特性を補正する温度特性補正膜を有し、温度特性補正膜は、基板の圧電体層とは反対側の少なくとも一部に設けられている

【0122】

一態様として、温度特性補正膜は、振動部における基板の主面に沿った方向の面上に設けられている

【0123】

この態様によれば、振動部に温度特性補正膜を形成することで、圧電体層の表面には温度特性補正膜が形成されず振動が阻害されないため、振動の閉じ込め性を損なうことなく良好な周波数温度特性を得ることができる。

30

【0124】

一態様として、温度特性補正膜は、振動部における基板の主面と交差する方向の面上にさらに設けられている

【0125】

この態様によれば、成膜後に熱酸化することで温度特性補正膜を一括で成膜できる。

【0126】

一態様として、基板はシリコン基板であり、温度特性補正膜はシリコン酸化膜である。

【0127】

一態様として、基板は、第1シリコン基板と、第1シリコン基板の圧電体層とは反対側に設けられたシリコン酸化膜と、シリコン酸化膜の圧電体層とは反対側に設けられた第2シリコン基板とを有し、第1の部分において、圧電体層とは反対側に前記シリコン酸化膜が露出している。

40

【0128】

この態様によれば、接合層でエッチングストップすることで高精度な厚み調整ができ、周波数温度特性や周波数のばらつきを抑制できる。

【0129】

一態様によれば、共振子と、保持部に接合された下蓋と、保持部に接合され、前記下蓋との間に前記振動部が収容される内部空間を形成する上蓋とを備える、共振装置が提供される。

【0130】

50

本発明に係る実施形態は、例えば、タイミングデバイス、発音器、発振器、荷重センサなど、振動子の周波数特性を利用するデバイスに対してであれば、特に限定されることなく適宜適用可能である。

【0131】

以上説明したように、本発明の一態様によれば、振動の閉じ込め性の向上を図ることができる共振子及び共振装置が提供できる。

【0132】

なお、以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更/改良され得るとともに、本発明にはその等価物も含まれる。即ち、各実施形態に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に含まれる。例えば、各実施形態が備える各要素及びその配置、材料、条件、形状、サイズなどは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、各実施形態が備える各要素は、技術的に可能な限りにおいて組み合わせることができ、これらを組み合わせたものも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に含まれる。

【符号の説明】

【0133】

1 ... 共振装置

15 ... 共振子

16 ... 凹部

20 ... 下蓋

30 ... 上蓋

50 ... MEMS基板

110 ... 振動部

111 ... 薄肉部

112 ... 厚肉部

140 ... 保持部

150 ... 支持部

F21 ... シリコン酸化膜

F2 ... シリコン基板

F3 ... 圧電膜

E1, E2 ... 金属膜

F5 ... 保護膜

10

20

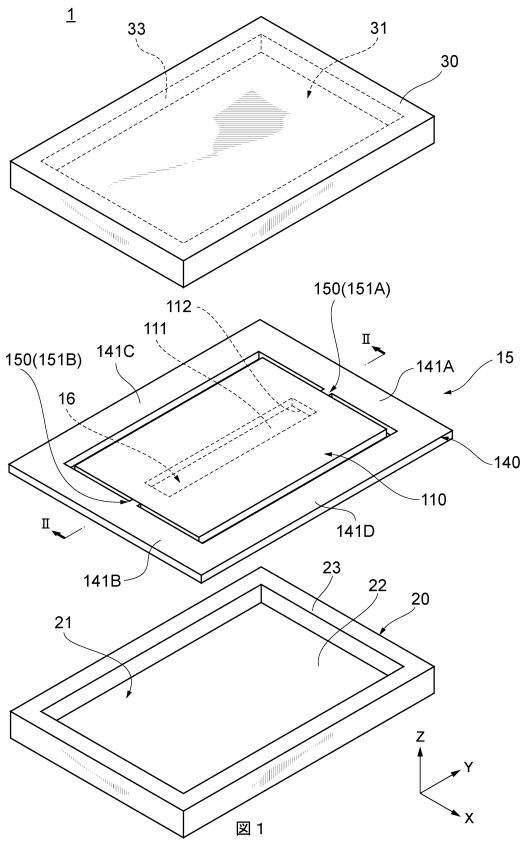
30

40

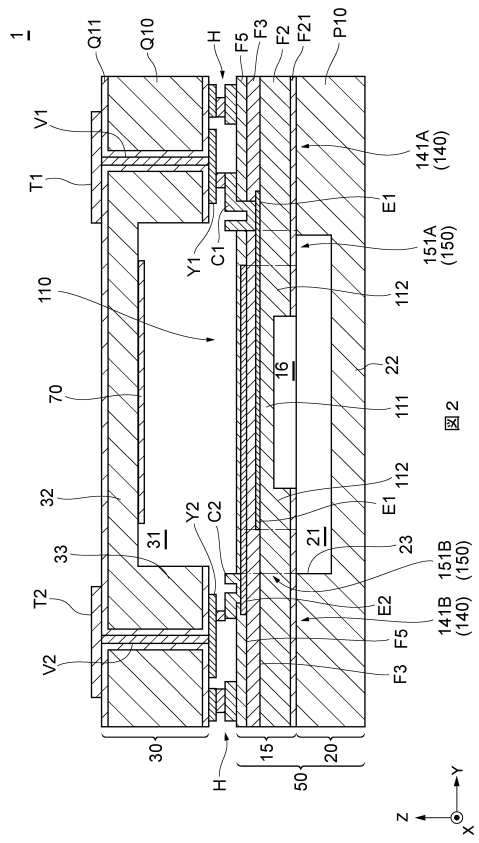
50

【図面】

【図 1】



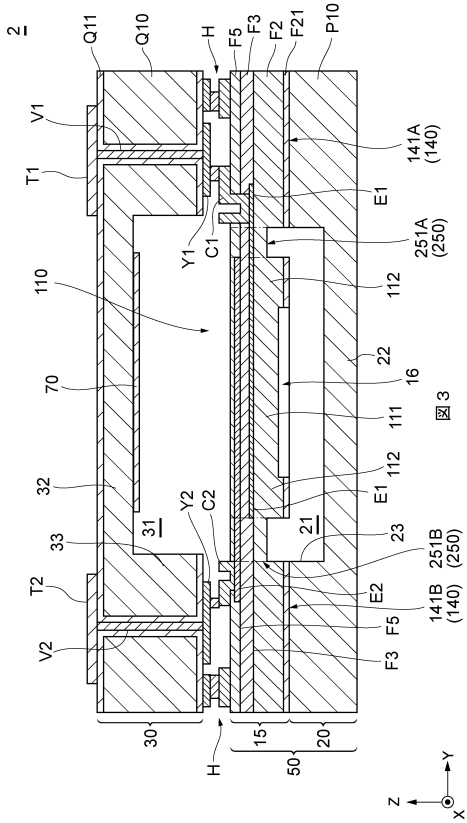
【図 2】



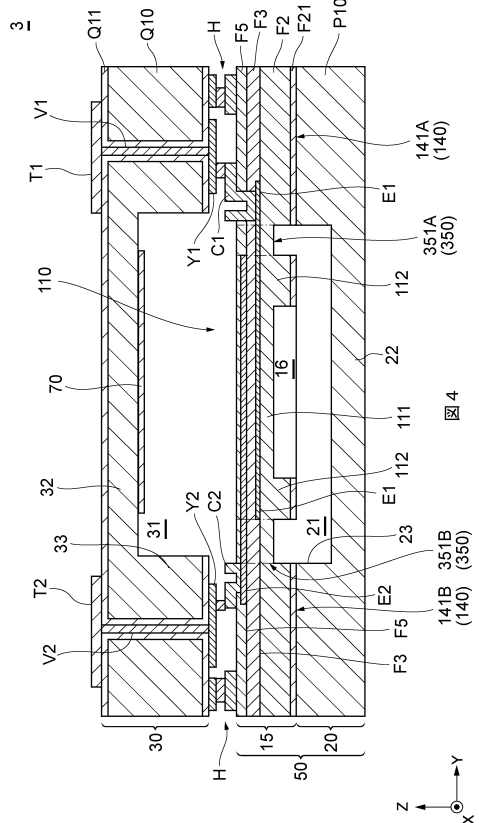
10

20

【図 3】



【図 4】



30

40

50

【図 5】

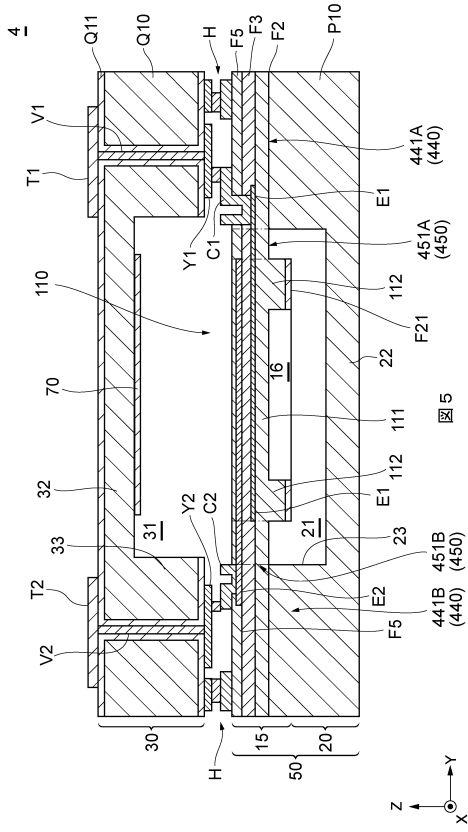


図 5

【図 6】

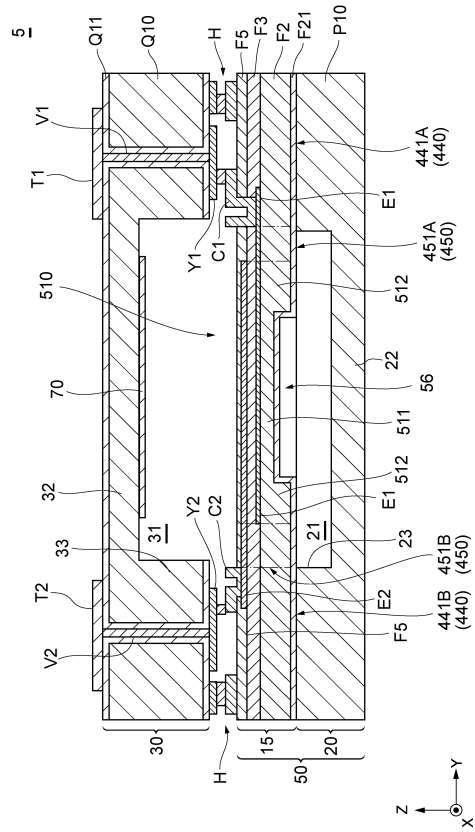


図 6

【図 7】

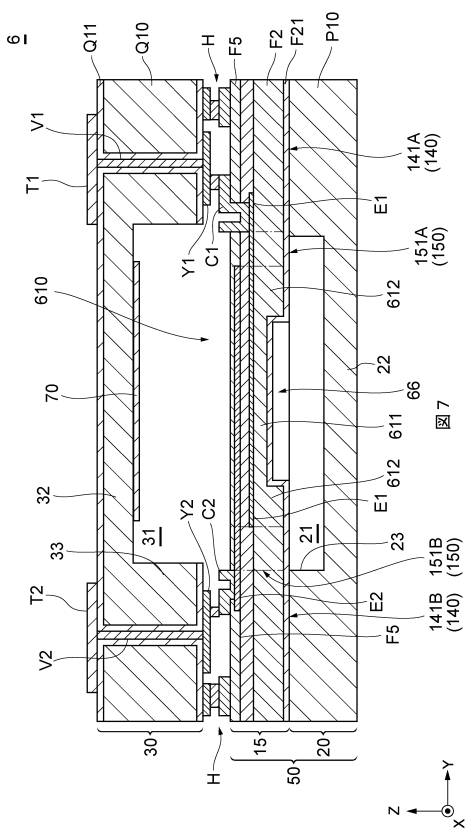


図 7

【図 8】

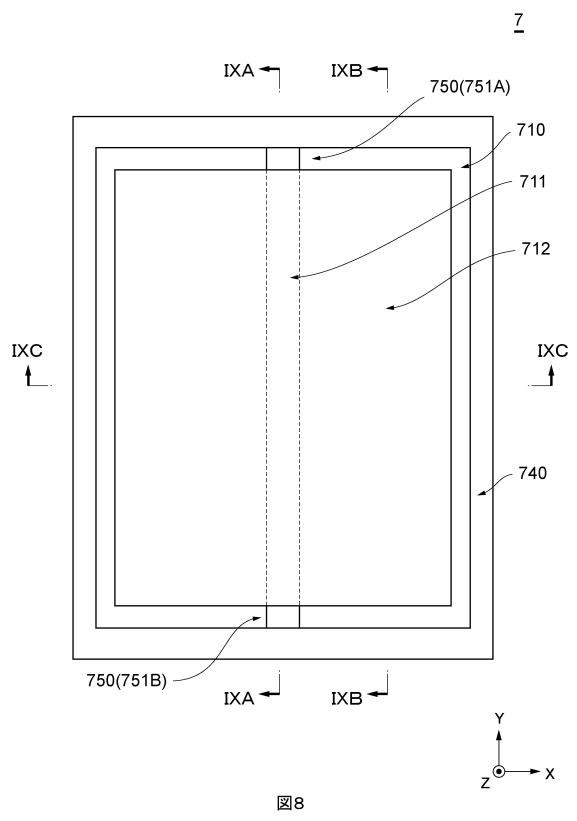


図 8

10

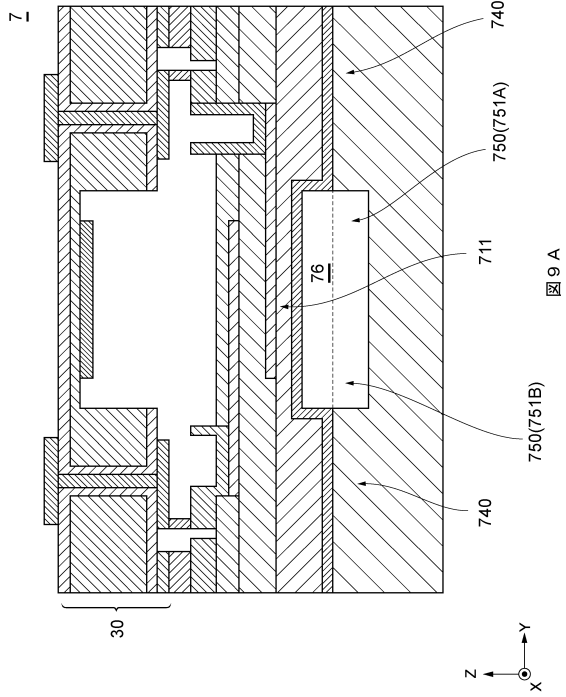
20

30

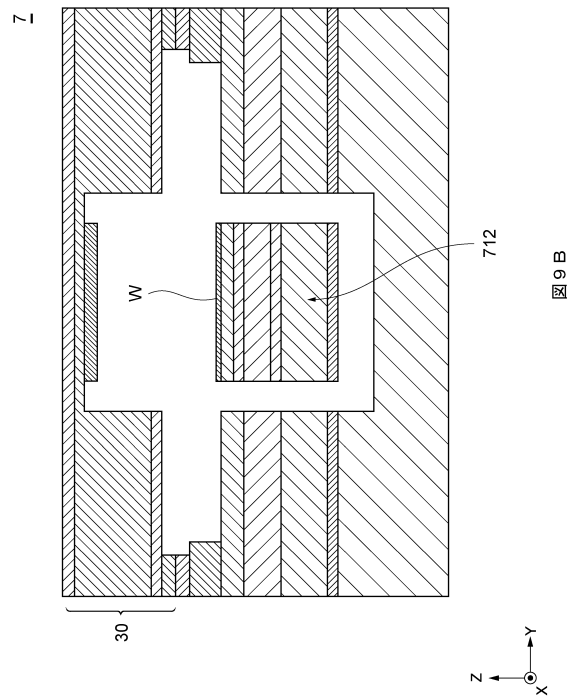
40

50

【図 9 A】



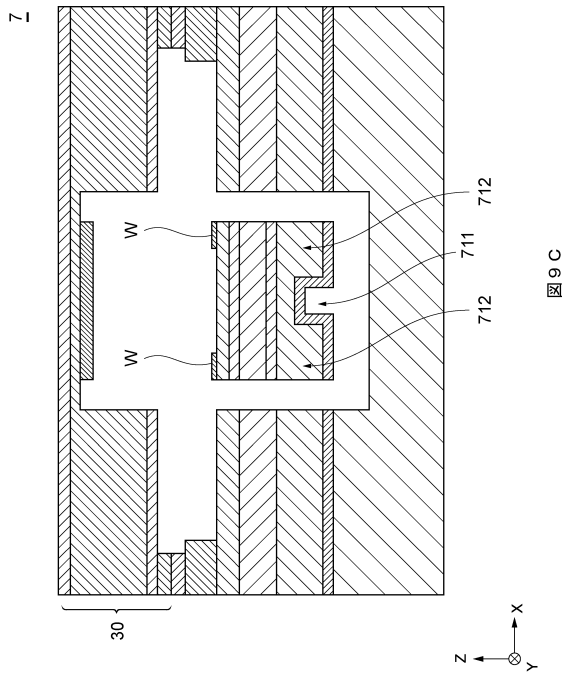
【図 9 B】



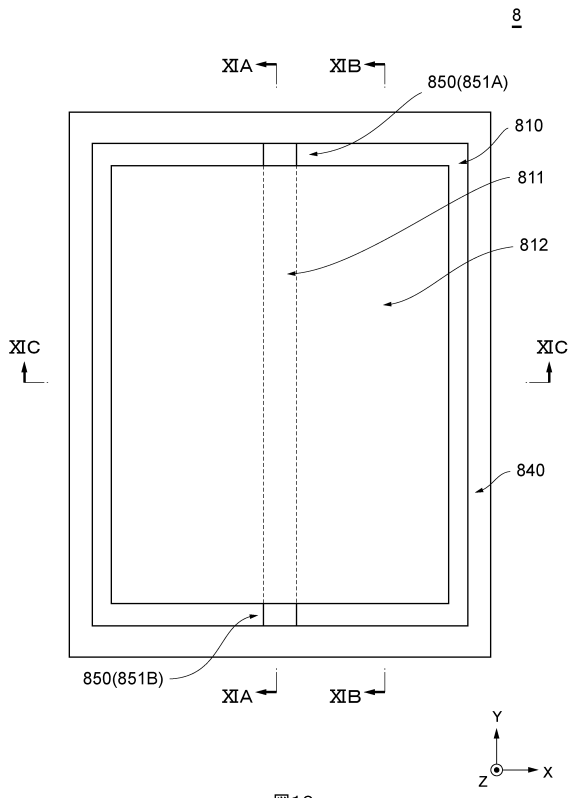
10

20

【図 9 C】



【図 10】



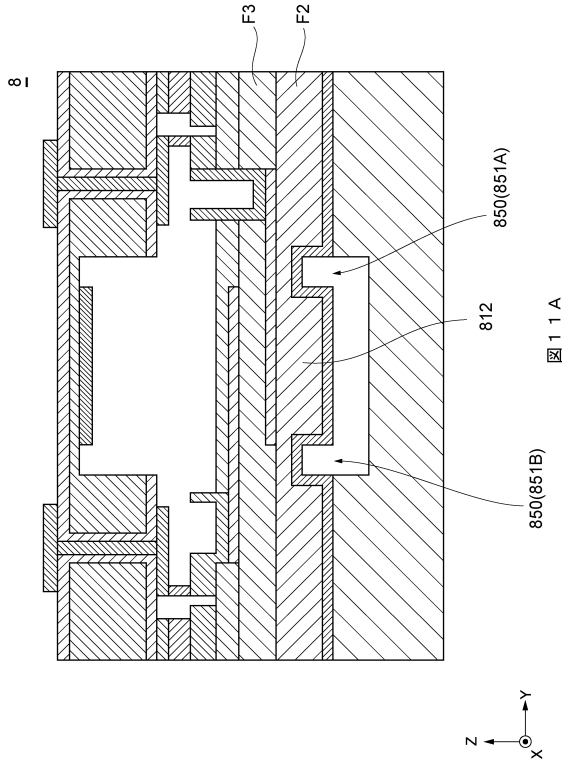
30

40

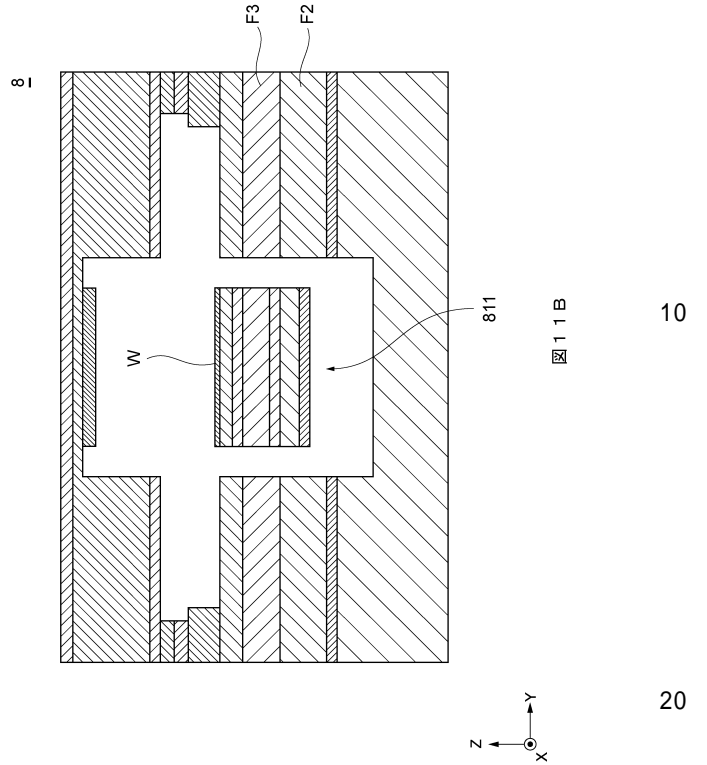
図 10

50

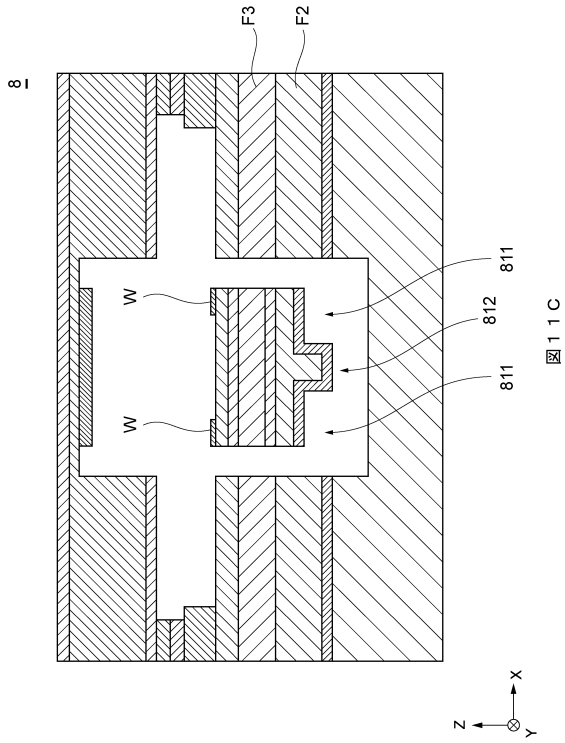
【図 1 1 A】



【図 1 1 B】



【図 1 1 C】



【図 1 2】

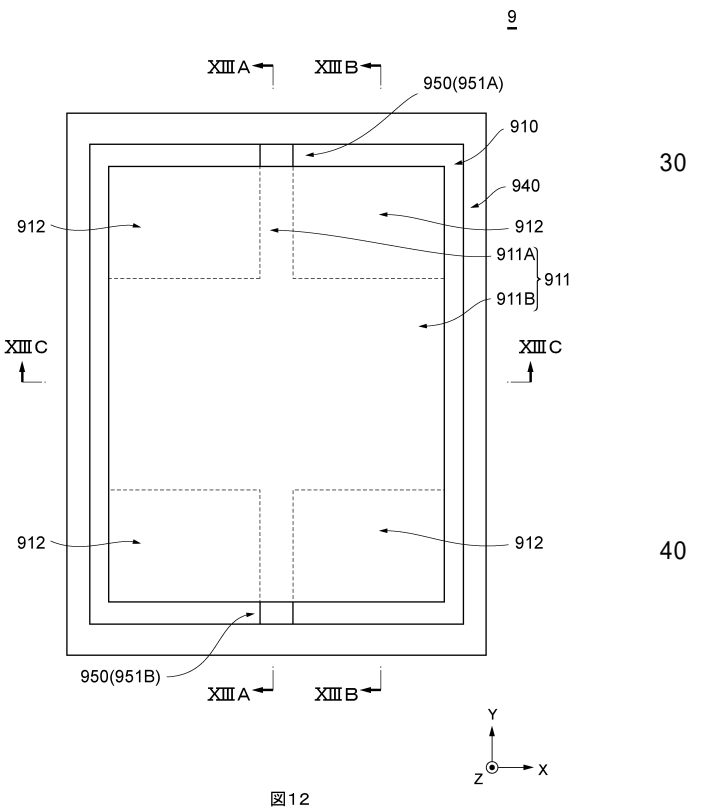


図12

10

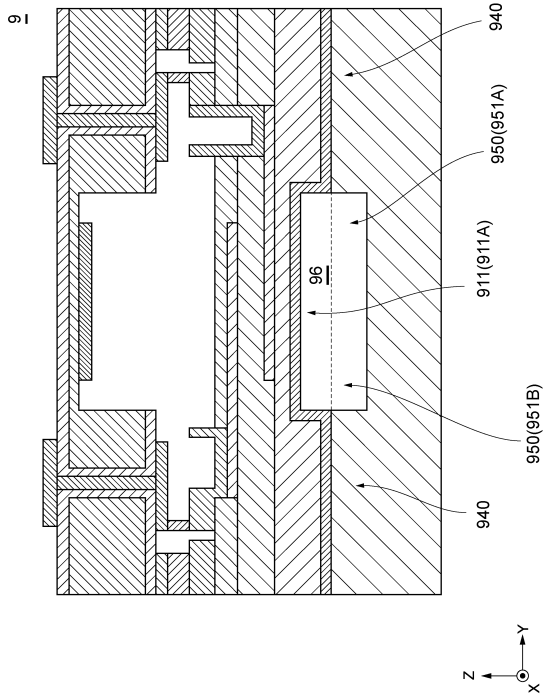
20

30

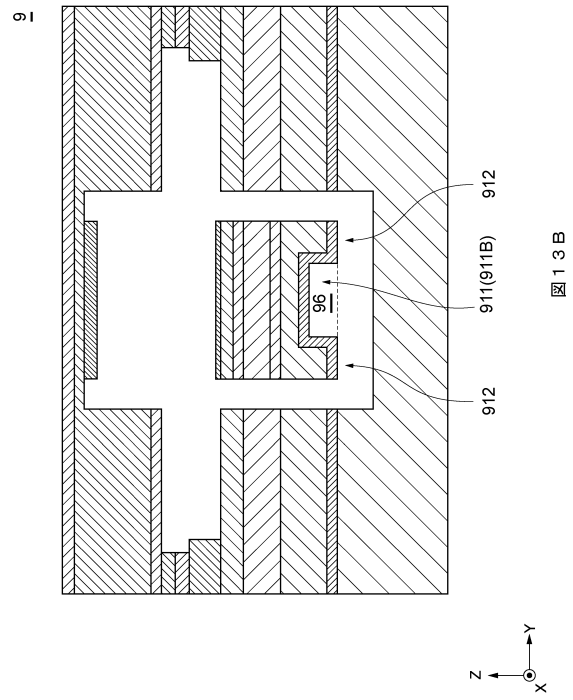
40

50

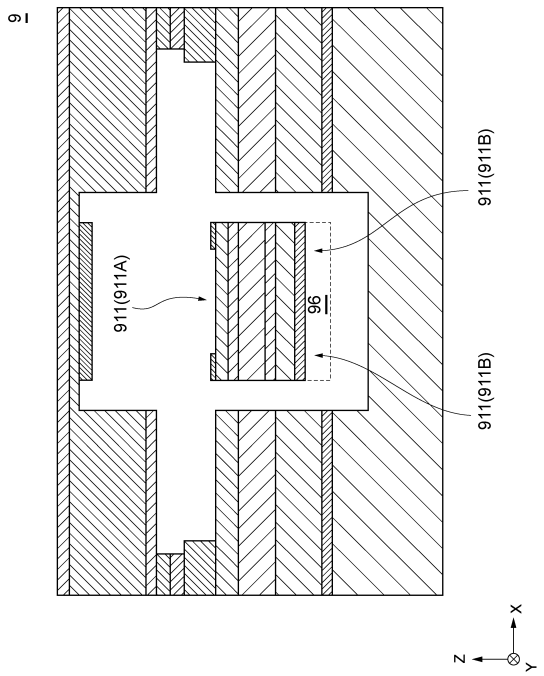
【 図 1 3 A 】



【 図 1 3 B 】



【 図 1 3 C 】



【 図 1 4 】

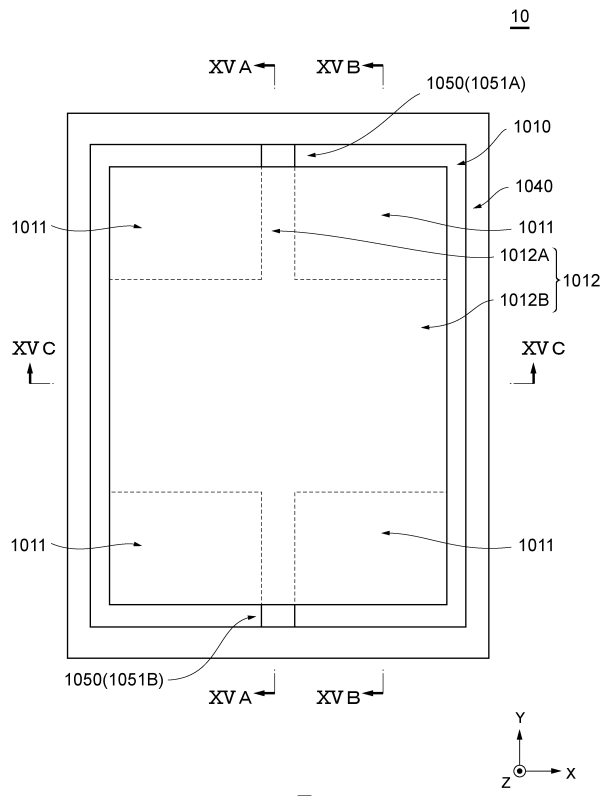


図 14

10

20

30

40

50

【 15 A 】

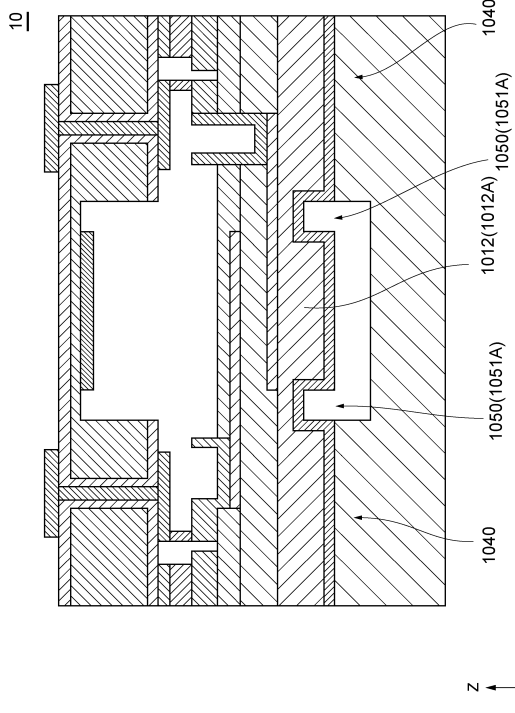


图 15 A

【 15 B 】

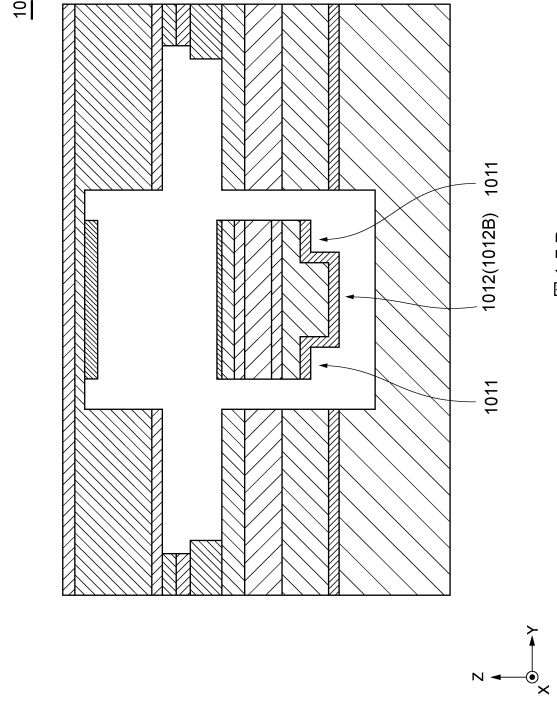


图 15 B

【 15 C 】

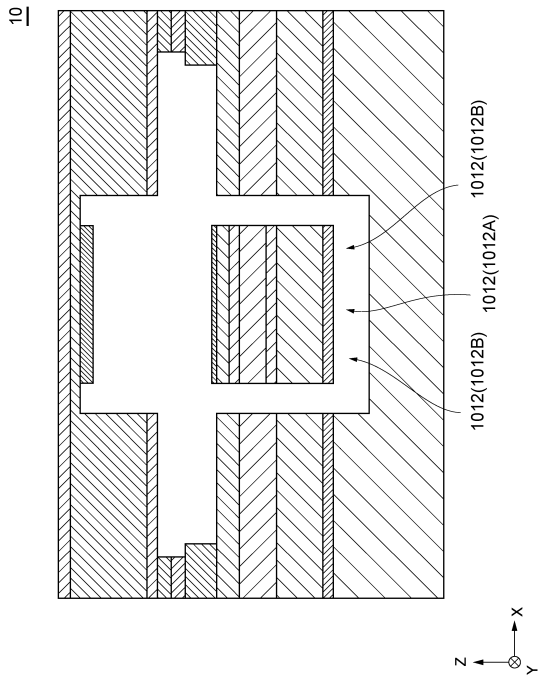


图 15 C

【 16 】

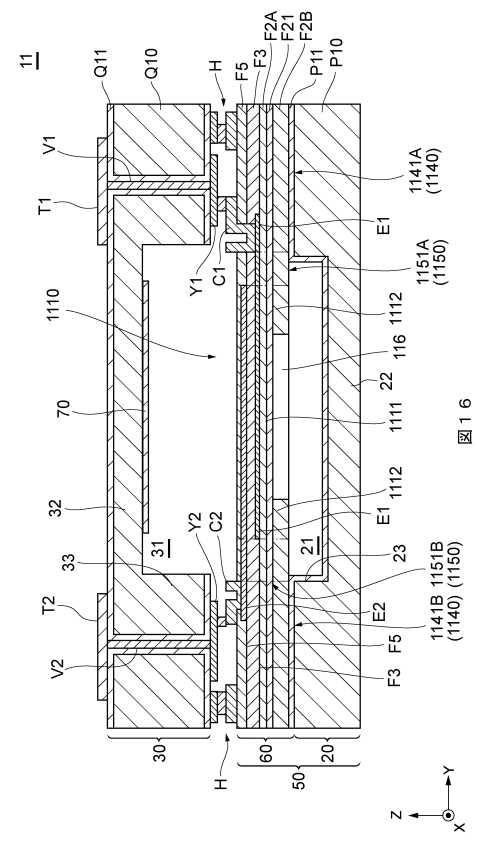


图 16

10

20

30

40

50

フロントページの続き

株式会社村田製作所内

(72)発明者 福光 政和

京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内

審査官 石田 昌敏

(56)参考文献 国際公開第2020/213210(WO, A1)

国際公開第2019/008830(WO, A1)

国際公開第2016/063863(WO, A1)

特表2021-513774(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H03H 9/00 - 9/74