

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5807664号
(P5807664)

(45) 発行日 平成27年11月10日(2015.11.10)

(24) 登録日 平成27年9月18日(2015.9.18)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 L	1/10	(2006.01)	GO 1 L	1/10	Z
GO 1 L	9/00	(2006.01)	GO 1 L	9/00	3 0 7
HO 1 L	29/84	(2006.01)	HO 1 L	29/84	A

請求項の数 7 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-164612 (P2013-164612)	(73) 特許権者	000006507
(22) 出願日	平成25年8月7日(2013.8.7)		横河電機株式会社
(65) 公開番号	特開2015-34713 (P2015-34713A)		東京都武蔵野市中町2丁目9番32号
(43) 公開日	平成27年2月19日(2015.2.19)	(74) 代理人	100064908
審査請求日	平成26年10月10日(2014.10.10)		弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578
			弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100089037
			弁理士 渡邊 隆
		(74) 代理人	100094400
			弁理士 鈴木 三義
		(74) 代理人	100108453
			弁理士 村山 靖彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動式トランスデューサおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリコン単結晶の基板に設けられた振動子、該振動子の周辺に隙間が維持されるように前記振動子を囲み、前記基板と共に真空室を区画するシェル、前記振動子を励振させる励振手段、および前記振動子の振動を検出する振動検出手段、を含む振動式トランスデューサであって、

前記シェルは、前記真空室の側から順に、貫通孔を有する第一層と、

前記第一層の前記貫通孔を覆い、且つ前記第一層の前記貫通孔と周縁部とを連通させる空隙部が前記第一層との間に形成されるよう前記第一層に重ねて配された第二層と、

前記第二層の前記周縁部において前記空隙部を封止する第三層と

を有することを特徴とする振動式トランスデューサ。

【請求項2】

前記第一層、前記第二層、および前記第三層は、ポリシリコン、アモルファスシリコン、SiC、SiGe、Geのうち、いずれかよりなることを特徴とする請求項1記載の振動式トランスデューサ。

【請求項3】

前記貫通孔が前記振動子の直上部分にあることを特徴とする請求項1または2記載の振動式トランスデューサ。

【請求項4】

前記空隙部のギャップを保持するためのスペーサー部が、前記第二層に一体に形成され

ていることを特徴とする請求項 1 ないし 3 いずれか一項記載の振動式トランスデューサ。

【請求項 5】

前記空隙部に連通する空間を区画する凹部を、前記第二層が前記貫通孔に臨む部位、または前記空隙部に臨む部位の少なくとも一方に形成したことを特徴とする請求項 1 ないし 4 いずれか一項記載の振動式トランスデューサ。

【請求項 6】

シリコン単結晶の基板に設けられた振動子、該振動子の周辺に隙間が維持されるように前記振動子を囲み、前記基板と共に真空室を区画するシェル、前記振動子を励振させる励振手段、および前記振動子の振動を検出する振動検出手段、を含み、前記シェルは、前記真空室の側から順に、貫通孔を有する第一層と、前記第一層の前記貫通孔を覆い、且つ前記第一層の前記貫通孔と周縁部とを連通させる空隙部が前記第一層との間に形成されるよう前記第一層に重ねて配された第二層と、前記第二層の前記周縁部において前記空隙部を封止する第三層とを有する振動式トランスデューサの製造方法であって、

前記真空室を形成したエッチング液を、前記貫通孔から前記空隙部を介して外部に排出させる工程を含むことを特徴とする振動式トランスデューサの製造方法。

【請求項 7】

前記第一層に貫通孔を形成する工程と、前記空隙部を形成する犠牲層を用いて前記貫通孔を覆う前記第二層を形成する工程と、を含むことを特徴とする請求項 6 記載の振動式トランスデューサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シリコン基板に形成した振動子に加わる応力を検出する振動式トランスデューサおよびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

物理的な応力を検出するセンサとして、振動式トランスデューサが知られている。振動式トランスデューサは、例えばシリコン基板（シリコンウェハ）内に、内部が真空に保たれる真空室と、この真空室内に配される微細な振動子と、この振動子の振動を検出する振動検出手段とを形成したものである（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

図 25 に従来の振動式トランスデューサの一例を示す。この図 25 に示す振動式トランスデューサ 100 は、測定ダイヤフラムを構成するシリコン基板 101 を備えている。また、このシリコン基板 101 の一面側に、真空室 102 が形成されている。真空室 102 の内部には振動子 103 が振動可能に配されている。真空室 102 の上部には、この真空室 102 を封止するシェル 104 が形成されている。

【0004】

シェル 104 は、真空室 102 の側から順に、第一層 105、第二層 106、および第三層 107 と、を積層してなる。そして、第一層 105 には、貫通孔 108 が形成されている。

【0005】

第一層 105 に形成された貫通孔 108 は、例えば、真空室 102 を形成する工程において、エッチング液を出し入れする流路となる。そして、この貫通孔 108 は、エッチング後の廃液を排出する流路として使用された後は、封止部材 109 によって隙間なく塞がれる。

このような構成の振動式トランスデューサ 100 は、振動子 103 の共振周波数の変化を検出することによって、振動子に加わる応力（歪）を測定することができる。特に、圧力センサとして使用する場合には、圧力を測定ダイヤフラムの一方側または両側に印加して測定ダイヤフラムの変形によって生じる歪を測定する。この際、シェル 104 は、測定する圧力に対して十分な構造的強度を持っている必要がある。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2012-58127号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述した従来の構成の振動式トランスデューサは、真空室を形成したエッチング廃液を貫通孔から排出する工程や、その後の水洗工程において液体を使用する場合、図26に示すように、これらの液体の微量の液滴Qが振動子103と貫通孔108を含む第一層105との間に残存していると、液体のメニスカス力によって振動子103が第一層105の一面側105fに引き寄せられる。その結果、振動子103が第一層105に付着し、固定化することによって、応力の検出能力を失う虞があった。

10

【0008】

また、貫通孔108を隙間なく塞ぐ工程においては、貫通孔108の孔径が大きくなるに従って、真空室102の内部に堆積するポリシリコン層が厚くなり、振動子103と、この振動子103の両側に形成された電極111a, 111bとの隙間に堆積して出力信号の大きさにバラツキが生じたり、振動子103の共振周波数にバラツキが生じる。更に、電極111a, 111b同士が真空室102の内部に堆積するポリシリコン層によって短絡して出力が得られなくなる虞もある。

20

【0009】

更に、圧力センサとして高圧の圧力測定する場合には、以下のような課題もある。即ち、シェル104が高圧によって振動子103側に撓み、シェル104の振動子103の対向面と振動子103との距離が変化すると、振動子103の周辺の電界強度分布に影響を与える。これによって、振動子103に発生する静電吸引力が変化して振動子103の共振周波数の僅かな変化を生じさせ、歪と周波数変化との関係を示す特性に変化を生じさせる。これによって、測定誤差が増し、測定精度が低下する虞がある。

【0010】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、残存する液体や真空室の内部に堆積するポリシリコン層やシェルの変形に起因する不具合の発生を回避可能とする構成を備えた振動式トランスデューサおよびその製造方法を提供することを目的としている。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するために、本発明の振動式トランスデューサは、シリコン単結晶の基板に設けられた振動子、該振動子の周辺に隙間が維持されるように前記振動子を囲み、前記基板と共に真空室を区画するシェル、前記振動子を励振させる励振手段、および前記振動子の振動を検出する振動検出手段、を含む振動式トランスデューサであって、前記シェルは、前記真空室から見て、貫通孔を有する第一層、該第一層の前記貫通孔とその近傍まで重なり、周縁部を有する第二層を備えており、前記貫通孔と前記周縁部とを連通させる空隙部と、前記周縁部において前記空隙部を封止する第三層とを有することを特徴とする。

40

【0012】

前記第一層、前記第二層、および前記第三層は、ポリシリコン、アモルファスシリコン、SiC、SiGe、Geのうち、いずれかよりなることを特徴とする。

【0013】

前記貫通孔が前記振動子の直上部分にあることを特徴とする。

【0014】

前記空隙部のギャップを保持するためのスペーサー部が、前記第二層に一体に形成されていることを特徴とする。

【0015】

50

前記空隙部に連通する空間を区画する凹部を、前記第二層が前記貫通孔に臨む部位、または前記空隙部に臨む部位の少なくとも一方に形成したことを特徴とする。

【0016】

本発明の振動式トランスデューサの製造方法は、シリコン単結晶の基板に設けられた振動子、該振動子の周辺に隙間が維持されるように前記振動子を囲み、前記基板と共に真空室を区画するシェル、前記振動子を励振させる励振手段、および前記振動子の振動を検出する振動検出手段、を含み、前記シェルは、前記真空室から見て、貫通孔を有する第一層、該第一層の前記貫通孔とその近傍まで重なり、周縁部を有する第二層を備えており、前記貫通孔と前記周縁部とを連通させる空隙部と、前記周縁部において前記空隙部を封止する第三層とを有する振動式トランスデューサの製造方法であって、前記真空室を形成したエッチング液を、前記貫通孔から前記空隙部を介して外部に排出させる工程を含むことを特徴とする。

10

【0017】

前記第一層に貫通孔を形成する工程と、前記空隙部を形成する犠牲層を用いて前記貫通孔を覆う前記第二層を形成する工程と、を含むことを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明の振動式トランスデューサによれば、第一層と第二層との間に空隙部を形成し、また、真空室とこの空隙部とを連通させる内部が空洞の貫通孔を形成した。貫通孔は振動子と対向する第一層の部分に形成されることによって、両者の接触面積を減少させる働きがある。これにより、振動子と第一層との間にある液滴が、空隙部や貫通孔を通して除去される際に、振動子と第一層との間に液滴のメニスカス力が働き接触するが、吸着して固定化してしまう不具合の発生を回避することができる。

20

【0019】

また、空隙部の狭いギャップは第一層と第二層との間に形成される。第二犠牲層の厚みによって正確に制御できるので、再現性良く狭い空隙部を作ることができる。一方、空隙部の隙間を100nm程度と狭く保つことによって、空隙部を封じ切り真空室を形成する際に、真空室内部に堆積されるポリシリコン層をほとんど無くすることができる。ゆえに、真空室の内部に堆積するポリシリコン層に起因する、出力信号の大きさのバラツキや、振動子の共振周波数のバラツキや、電極同士の短絡による出力不良が回避され、その結果、高精度な応力の検出を可能にすることができる。

30

【0020】

更に、空隙部に連通する空間を区画する凹部を、第二層が貫通孔に臨む部位、または空隙部に臨む部位の少なくとも一方に形成することによって、圧力センサとして高圧の圧力を測定する時には、圧力を受けるシェルが振動子との対向面を構成する第一層と空間部とを介して、機械的に分離された構造となっているため、高圧によって第一層が振動子側に撓むことが無い。従って、電界分布の変化による振動子の共振周波数変化が発生し、歪と周波数変化との関係を示す特性のリニアリティが悪化することを防止できる。

【0021】

本発明の振動式トランスデューサの製造方法によれば、エッチング廃液や水洗工程で残留する水滴が除去される過程において、振動子と第一層との間に液滴が残ってメニスカス力によって振動子を湾曲させても、付着して固定化することがないように、振動子に対向する第一層に貫通孔を形成し、振動子と第一層の接触面積を少なくすることによって、振動子が第一層の対向面に接触する際にも、それぞれの接触する面積を減らしてあるため、付着することを回避することができる。

40

【0022】

また、第一層と第二層との対向領域に沿って形成した空隙部によって、真空室の内部に堆積するポリシリコン層に起因する出力信号の大きさのバラツキや、振動子の共振周波数のバラツキや、電極同士の短絡による出力不良を防止することができる。

【0023】

50

更に、圧力センサとして高圧の圧力を測定する時には、圧力を受けるシェルが振動子との対向面を構成する第一層と空間部とを介して、機械的に分離された構造となっているため、高圧によって第一層が振動子側に撓むことが無い。従って、電界分布の変化による振動子の共振周波数変化が発生し、歪と周波数変化との関係を示す特性のリニアリティが悪化することを防止できる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサを示す断面図である。

【図2】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサを示す平面図である。

【図3】図1の真空室近傍を示す要部拡大断面図である。

【図4】図1の貫通孔の形状を示す要部拡大斜視図である。

【図5】本発明の振動式トランスデューサの回路構成を示す回路図である。

【図6】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

。

【図7】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

。

【図8】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

。

【図9】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

。

【図10】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図11】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図12】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図13】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図14】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図15】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図16】本発明の第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図17】本発明の第二実施形態の振動式トランスデューサを示す要部拡大斜視図である。

。

【図18】本発明の第三実施形態の振動式トランスデューサを示す要部拡大斜視図である。

。

【図19】本発明の第二実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図20】本発明の第二実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図21】本発明の第二実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図22】本発明の第二実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図23】本発明の第二実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

【図24】本発明の第二実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を示す断面図である。

10

20

30

40

50

【図 25】従来の振動式トランスデューサの一例を示す要部拡大断面図である。

【図 26】従来の振動式トランスデューサの製造工程における液滴の作用を示した説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、図面を参照して、本発明の振動式トランスデューサおよびその製造方法について説明する。なお、本実施形態は、発明の趣旨をより良く理解させるために具体的に説明するものであり、特に指定のない限り、本発明を限定するものではない。また、以下の説明で用いる図面は、本発明の特徴をわかりやすくするために、便宜上、要部となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などが実際と同じであるとは限らない。

10

【0026】

(振動式トランスデューサ：第一実施形態)

図 1 は、本発明の振動式トランスデューサの厚み方向に沿った断面図である。また、図 2 は、本発明の振動式トランスデューサのシェルを取り除いて上から見た時の平面図である。

本発明の一実施形態である振動式トランスデューサ 10 は、シリコン単結晶からなる基板 11 に、周辺に隙間が維持されるように形成された振動子 12 を備えている。また、この基板 11 と共に振動子 12 を囲んで真空室 21 を区画するシェル 14 を備えている。

【0027】

20

基板 11 の一面 11a には、所定の形状に区画された真空室 21 が配され、この真空室 21 の内部に、振動子 12、第一電極 15、第二電極 16、および第三電極 17 が配されている。また、真空室 21 の外側には、この真空室 21 の側壁を構成するエピタキシャル層 18 が広がっている。このエピタキシャル層 18 と、振動子 12、第一電極 15、第二電極 16、および第三電極 17 とは、同一の材料、例えば、ボロンをドーピングさせた低抵抗の P 型半導体から構成される。

【0028】

振動子 12 は、第一電極 15 と一体の部材を成し、第一電極 15 に対して電氣的に接続されている。振動式トランスデューサ 10 をシェル 14 側から平面視した時に、振動子 12 は、狭い幅で細長く伸び、エピタキシャル層 18 の厚み方向に広がる略板状を成している。振動子 12 の厚み方向の長さは、基板 11 の面広がり方向に沿った幅よりも長くなるように形成されている。また、こうした略板状の振動子 12 は、基板 11 に対して所定の引張応力が付与されている。そして、この略板状の振動子 12 の一端側に、第一電極 15 が一体に接続されている。

30

【0029】

第二電極 16 および第三電極 17 は、振動子 12 の長手方向の両側から挟むように、かつ振動子 12 に対して所定のギャップを保って配置された略直方体形状の部材である。

これら第一電極 15、第二電極 16、および第三電極 17 には、それぞれ、外部の電気回路と接続される接片 15a、16a、17a が形成されている。これら接片 15a、16a、17a は、例えば導電性の金属から形成されていけばよい。

40

【0030】

第一電極 15、第二電極 16、および第三電極 17 と、シェル 14 との間のうち、真空室 21 を除いた部分には、絶縁層 22 が形成されている。また、第一電極 15、第二電極 16、および第三電極 17 と、基板 11 の一面 11a との間のうち、真空室 21 を除いた部分には、絶縁層 23 が形成されている。この絶縁層 23 は、振動式トランスデューサの製造工程において、基板 11 として SOI 基板を用いることによって形成される。なお、振動式トランスデューサの製造方法は、後ほど詳述する。

【0031】

真空室 21 は、その内部が所定の真空度に保たれている。振動子 12、第一電極 15、第二電極 16、および第三電極 17 は、真空室 21 を区画している部材、即ち基板 11、

50

エピタキシャル層 1 8、およびシェル 1 4 に対して、所定の間隔を保って配置されている。

【 0 0 3 2 】

図 3 は、図 1 における振動子とシェルとの対向部分を示す要部拡大断面図である。

シェル 1 4 は、真空室 2 1 の側から順に、第一層 2 6 と、この第一層 2 6 に重ねて配される第二層 2 7 と、第一層 2 6 及び第二層 2 7 を覆う第三層 2 8 と、から構成されている。これら第一層 2 6、第二層 2 7、および第三層 2 8 は、例えば、ポリシリコン、アモルファスシリコン、SiC、SiGe、Geのうち、いずれかより形成されている。

【 0 0 3 3 】

第一層 2 6 は、真空室 2 1、および絶縁層 2 2 に接するように形成されている。この第一層 2 6 が真空室 2 1 に重なる部分には、貫通孔 2 5 が形成されている。例えば、貫通孔 2 5 は、振動子 1 2 の直上部分に形成される。貫通孔 2 5 は、第一層 2 6 の厚み方向に沿って延設されている。なお、以下の説明において、貫通孔 2 5 における真空室 2 1 側の開口部を第一開口部 2 5 a、第二層 2 7 側の開口部を第二開口部（開口部）2 5 b と称することがある。

10

【 0 0 3 4 】

図 4 に示すように、本実施形態においては、貫通孔 2 5 の第一開口部 2 5 a や第二開口部 2 5 b は、第三層側から見た時に、振動子 1 2 の長手方向に沿って、所定の幅で延びる長方形を成している。即ち、貫通孔 2 5 は、振動子 1 2 の長手方向に沿って延びる細長い直方体の空間を構成している。

20

【 0 0 3 5 】

再び図 3 を参照して、第二層 2 7 は、貫通孔 2 5 の第二開口部 2 5 b の近傍かつその周囲を覆うように配されている。具体的には、貫通孔 2 5 の第二開口部 2 5 b 側を覆うとともに、第二開口部 2 5 b の周囲を貫通孔 2 5 の長手方向に沿って所定の幅で延びるように形成されている。

【 0 0 3 6 】

第三層 2 8 は、第一層 2 6 と第二層 2 7 とを覆うように形成されている。具体的には、第二層 2 7 の形成領域においては、この第二層 2 7 に接するように形成され、第二層 2 7 の形成領域よりも外側領域においては、第一層 2 6 と直接接するように形成されている。

【 0 0 3 7 】

このような積層構造をもつシェル 1 4 には、第一層 2 6 と第二層 2 7 との対向領域において、貫通孔 2 5 の第二層 2 7 の側の第二開口部（開口部）2 5 b に臨む部位 E 1 と、第二層 2 7 が第三層 2 8 に接する部位（周縁部）E 2 と、を連通させる空隙部 3 1 が形成されている。

30

【 0 0 3 8 】

さらに、第二層 2 7 は、第一層 2 6 と対向する面 2 7 f から第三層 2 8 に向けて空隙部 3 1 の一部を広げた凹状の空間からなる空間部（凹部）2 9 を備えている。

【 0 0 3 9 】

具体的には、空隙部 3 1 の形状は、図 1 に示す断面図においては、第一層と 2 6 と第二層 2 7 との対向領域に沿った幅の狭い空間であり、空間部（凹部）2 9 は、空隙部 3 1 の一部が大きく広げられるように、第二層 2 7 に形成された凹状の空間である。

40

【 0 0 4 0 】

空隙部 3 1 のギャップ、即ち、対向する第一層 2 6 と第二層 2 7 との隙間の幅は、例えば、真空室 2 1 を形成する際に用いるエッチング液が流入、流出可能な程度であればよい。

【 0 0 4 1 】

第二層 2 7 が空隙部 3 1 に面する部分には、この空隙部 3 1 のギャップを保持するためのスペーサー部 3 2 が、第二層 2 7 と一体に形成されている。スペーサー部 3 2 は、第二層 2 7 から突出し、その頂面が第一層 2 6 に接することによって、空隙部 3 1 のギャップが応力等の印加によって狭められないように、空隙部 3 1 を所定の幅に維持する。こうし

50

たスペーサー部 3 2 の高さは、空隙部 3 1 のギャップと同じになるように形成されていればよい。

【 0 0 4 2 】

図 4 に示すように、スペーサー部 3 2 は、空隙部 3 1 の形成領域において、貫通孔 2 5 の長手方向に沿った両側に、間欠的に複数形成されていればよい。空隙部 3 1 (図 3 参照) を流れる液体、例えばエッチング液は、こうしたスペーサー部 3 2 どうしの間を通る。このため、スペーサー部 3 2 は、液体の流通を妨げず、かつ空隙部 3 1 のギャップを維持できる程度の密度で形成されていればよい。個々のスペーサー部 3 2 の形状は、本実施形態では長楕円柱状に形成されている。

【 0 0 4 3 】

図 5 は、振動式トランスデューサの回路の概要を示す回路図である。

振動式トランスデューサ 1 0 は、振動子 1 2 を励振させる励振手段 4 1 と、振動子 1 2 の振動を検出する振動検出手段 4 2 とを有している。励振手段 4 1 は、前述した第一電極 1 5、第二電極 1 6、および第三電極 1 7 とから構成されている。

振動検出手段 4 2 は、駆動電源 4 3、バイアス電源 4 4、抵抗 R 1, R 2, R 3、および演算増幅器 (オペアンプ) O P 1, O P 2 などから構成されている。

【 0 0 4 4 】

駆動電源 4 3 からは、所定の駆動電圧 V_i の交流電圧が印加される。また、バイアス電源 4 4 からは、所定のバイアス電圧 V_b の直流電圧が印加される。第一電極 1 5 には、バイアス電源 4 4 から定電圧のバイアス電圧 V_b が加えられる。また、第二電極 1 6 には、駆動電源 4 3 から交流の駆動電圧 V_i が加えられる。また、第三電極 1 7 から振動子 1 2 の振動周波数に応じた検出信号が取り出される。

【 0 0 4 5 】

以上のような構成の振動式トランスデューサの動作を説明する。

第一電極 1 5 に定電圧のバイアス電圧 V_b が印加され、また、第二電極 1 6 に交流の駆動電圧 V_i が印加されると、第一電極 1 5 に繋がる振動子 1 2 と第二電極 1 6 との間に静電吸引力が発生し、振動子 1 2 が一定の振動周波数で振動 (共振) する。

【 0 0 4 6 】

一方、第一電極 1 5 に繋がる振動子 1 2 と、第三電極 1 7 との間には、第一電極 1 5 に印加されたバイアス電圧 V_b によって電荷が貯められ、振動子 1 2 が振動して振動子 1 2 と第三電極 1 7 との間の静電容量が変化すると、それに対応した交流電流である検出信号が発生する。こうした検出信号を演算増幅器 O P 1, O P 2 で増幅し、電圧変化としてカウンタで読み込むことによって、振動子 1 2 の振動周波数が測定される。

【 0 0 4 7 】

そして、振動子 1 2 に応力が加わって歪が生じると、この歪の量に応じて振動子 1 2 の振動周波数が変動する。こうした振動子 1 2 の振動周波数の変動量と、振動子 1 2 の歪の量との関係を参照することによって、振動子 1 2 の歪の量、即ち、振動子 1 2 に加わる応力を測定することができる。

【 0 0 4 8 】

このような構成では、励起電極となる第二電極 1 6 と、検出電極となる第三電極 1 7 とを離すことができるため、第二電極 1 6 と第三電極 1 7 との間の寄生容量が減少する。その結果、駆動電圧 V_i が検出回路側に回り込むクロストークが抑えられ、S/N 比を向上させることができる。

【 0 0 4 9 】

(振動式トランスデューサの製造方法：第一実施形態)

以上のような構成の振動式トランスデューサの製造方法、および振動式トランスデューサの作用を説明する。

【 0 0 5 0 】

図 6 ~ 図 1 6 は、本発明の振動式トランスデューサの製造方法を段階的に説明した要部拡大断面図である。なお、これら図 6 ~ 図 1 5 は、図 2 における A - A' 線に沿った部分

10

20

30

40

50

の断面を示している。

まず、図6に示すように、Siからなる基板11に酸化層52、表面シリコン層53が形成されたSOI基板51を準備する。例えば、SOI基板51は、酸化層52の厚みが2 μ m程度、活性層である表面シリコン層53の厚みが1 μ m程度のものを用いればよい。

【0051】

次に、図7に示すように、この活性層である表面シリコン層53に、高濃度にホウ素が含まれたエピタキシャルシリコン層54をエピタキシャル成長によって形成する。こうした高濃度にホウ素が含まれたエピタキシャルシリコン層54は、電気抵抗が小さく導体として作用し、後工程において振動子12や第一電極15、第二電極16、および第三電極17(図2参照)が形成される。

10

【0052】

また、高濃度にホウ素が含まれたエピタキシャルシリコン層54は、基板11に比べて引っ張り応力を残留しているため、後工程で形成する振動子12に張力を発生させる。振動子12は張力領域で応力が印加された場合、応力に対して周波数の2乗が比例するように変化し、きわめて直線性の良い特性が得られる。一方で、圧縮応力領域での動作は、非常に非線形な特性となるため、振動式トランスデューサ10の動作は、引っ張り応力領域で行われるようにする。

【0053】

高濃度にホウ素を含んだエピタキシャルシリコン層54の成長条件としては、成長温度1030、 H_2 ガス中で、Si原料ガスとしてジクロロシラン(SiH_2Cl_2)、不純物であるボロンの原料ガスとしてジボラン(B_2H_6)を用い、一定時間エピタキシャル成長を行うことによって高濃度にホウ素が含まれたエピタキシャルシリコン層54を例えば9 μ m程度成長させ、活性層である表面シリコン層53との合計厚みが10 μ m程度となるようにする。

20

【0054】

次に、図8に示すように、高濃度にホウ素が含まれたエピタキシャルシリコン層54のパターニングを行い、エピタキシャルシリコン層54の一部に振動子12、第一電極15(図2参照)、第二電極16、および第三電極17の輪郭となるトレンチTを形成する。エピタキシャルシリコン層54のパターニングは、例えば、エピタキシャルシリコン層54にレジスト材を塗布し、ステッパ装置を用いて行う。

30

【0055】

ステッパ装置は、例えば、0.3 μ m程度の分解能を持ち、サブミクロンのラインおよびスペースの露光が可能である。こうしたステッパ装置によって、振動子12、第一電極15、第二電極16、および第三電極17の輪郭パターンを形成する。

【0056】

そして、ステッパ装置によって形成したレジストを層をマスクとして、エピタキシャルシリコン層54をエッチングし、振動子12、第一電極15、第二電極16、および第三電極17の輪郭を象ったトレンチTを形成する。エピタキシャルシリコン層54のエッチングは、例えば、ドライエッチングによって行う。また、ドライエッチングはSOI基板51を構成する酸化層52に突き当たり、振動子12と第一電極15、第二電極16、および第三電極17とが電氣的に分離されるまで行う。

40

【0057】

こうしたドライエッチングによるトレンチの形成時に、例えば、シリコンのエッチング工程とCFポリマーのデポジション工程を繰り返し行うことによって、エッチングされるトレンチの側壁面に襞状の凸凹部を形成することも好ましい。例えば、エッチング時間とデポジション時間を調整することによって、0.1 μ m程度またはそれ以上の凸凹で、ピッチが0.1 μ m~1 μ m程度の水平方向の縞を形成することができる。

【0058】

次に、図9に示すように、エピタキシャルシリコン層54において振動子12、第一電

50

極 15、第二電極 16、および第三電極 17の輪郭を象ったトレンチ T を埋め、さらにエピタキシャルシリコン層 54の一面に所定の厚みで堆積するように、絶縁層 56を形成する。絶縁層 56は、例えば、酸化ケイ素から構成されている。トレンチ T を埋める絶縁層 56の形成には、例えば、テトラエトキシシラン (TEOS) を用いた LP-CVD 酸化膜やプラズマ CVD 酸化膜によってトレンチ T の開口部分を封鎖する。

【0059】

LP-CVD 酸化膜は、例えば、温度 700、圧力 50 Pa の真空中で、TEOS タンクをバブリングして含んだ窒素ガスおよび、酸素ガスを導入して、TEOS を熱分解させることによって、トレンチ T を埋める酸化ケイ素を形成する。

【0060】

プラズマ CVD 酸化膜は、真空中で TEOS と酸素ガスを導入してプラズマを発生させ、400 に加熱されたステージ上に置かれた基板上で、トレンチ T を埋める酸化ケイ素を形成する。なお、プラズマ CVD 装置はステップカバレッジがよくないため、絶縁層 56 がトレンチ T の最深部まで稠密に成膜されにくく、一部に空間(ポイド) V が形成される。

【0061】

次に、図 10 に示すように、エピタキシャルシリコン層 54の一面を覆う絶縁層 56に重ねて、例えば数 μm の厚みの第一層 26を形成する。この第一層 26は、後工程で形成される真空室 21を区画するシェル 14の一部を構成している。第一層 26は、例えば、ポリシリコン、アモルファスシリコン、SiC、SiGe、Geのうち、いずれかより形成される。

【0062】

次に、図 11 に示すように、第一層 26の一部に貫通孔 25を形成する。貫通孔 25は、例えば、振動子 12と重なる位置、即ち、振動子 12の直上部分に形成される。貫通孔 25の形成は、例えば、第一層 26に貫通孔 25の輪郭を象ったレジスト層を形成した後、ドライエッチングによって第一層 26を厚み方向に貫通する貫通孔 25を形成すればよい。貫通孔 25は、例えば、振動子 12の長手方向に沿って延びる細長い直方体の空間を成すように形成される(図 4 参照)。

【0063】

次に、図 12 に示すように、第一層 26の貫通孔 25の内部、および貫通孔 25の第二開口部 25bとその周囲に酸化物層(第一犠牲層) 55を形成する。こうした酸化物層 55は、例えば、LP-CVD 装置を用いて酸化ケイ素膜を、貫通孔 25とその周囲のみレジスト材でカバーし、窪み 58の部分のみの領域をバッファードフッ酸にて除去すればよい。

【0064】

次に、図 13 に示すように、酸化物層(第一犠牲層) 55および第一層 26を覆う酸化被膜(第二犠牲層) 57を形成する。こうした酸化被膜 57の一部、具体的には、貫通孔 25の第二開口部 25bの周囲には、後工程で形成する第二層 27のスペーサー部 32(図 3 参照)の外形状を象った窪み 58が形成される。

【0065】

こうした窪み 58を有する酸化被膜 57は、例えば、LP-CVD 装置を用いて、厚みが 100 nm 程度の酸化ケイ素膜を、窪み 58以外の部分をレジスト材でカバーし、窪み 58の部分のみの領域をバッファードフッ酸にて除去すればよい。

【0066】

次に、図 14 に示すように、酸化物層(第一犠牲層) 55と、これに重ねて形成された酸化被膜(第二犠牲層) 57の一部(酸化物層 55と接している部分)とを覆うように第二層 27を形成する。第二層 27は、例えば、ポリシリコン、アモルファスシリコン、SiC、SiGe、Geのうち、いずれかより形成される。これにより、第二層 27には、酸化被膜 57に形成された窪み 58を象ったスペーサー部 32が一体に形成される。

【0067】

10

20

30

40

50

次に、図 15 に示すように、希 HF 溶液を用いて、酸化物層（第一犠牲層）55、酸化被膜（第二犠牲層）57、振動子 12 の周囲の絶縁層 56、および酸化層 52（図 14 参照）を全てエッチングして除去する（真空室を形成したエッチング液を、空隙部から外部に排出させる工程）。これによって、振動子 12 の周囲には後工程で真空室 21 となる空間が形成され、振動子 12 の周辺に隙間が維持された形態にされる。

【0068】

一方、第一層 26 と第二層 27 との間に形成されていた酸化物層（第一犠牲層）55、酸化被膜（第二犠牲層）57 が除去されることによって、貫通孔 25 はその内部が空洞となる。また、第一層 26 と第二層 27 との対向領域において、貫通孔 25 の第二層 27 の側の第二開口部 25b に臨む部位 E1 と、第二層 27 が第三層 28 に接する部位（周縁部）E2 とを連通させる空隙部 31 が形成される。さらに、第二層 27 には、第一層 26 と対向する面 27f から第三層に向けて空隙部 31 の一部を広げた凹状の空間からなる空間部 29 が形成される。

10

【0069】

このような空隙部 31 や空間部 29、および内部が空洞の貫通孔 25 をを介して、振動子 12 の周囲の絶縁層 56 や酸化層 52 まで希 HF 溶液が到達する。

【0070】

振動子 12 の周囲の絶縁層 56、酸化層 52 をエッチングして真空室 21 を形成した希 HF 溶液の廃液は、真空室 21 内から貫通孔 25、空間部 29 および空隙部 31 を介して外部に排出される。

20

【0071】

エッチング廃液や、水洗工程で残留する液滴が排除される過程において振動子 12 と第一層 26 との間に液滴が残ってメニスカス力によって振動子 12 を湾曲させても、付着して固定化することがないように、振動子 12 に対向する第一層 26 に貫通孔 25 を形成し、振動子 12 と第一層 26 との接触面積を少なくすることによって、振動子 12 が第一層 26 の対向面に接触する際にも、それぞれの接触する面積を減らしてあるため、付着する虞がない。

【0072】

次に、図 16 に示すように、第一層 26 と第二層 27 とを覆うように、第三層 28 を形成して真空封止を行う。第三層 28 は、例えば、ポリシリコン、アモルファスシリコン、SiC、SiGe、Ge のうち、いずれかより形成される。第三層 28 による真空封止は、製膜された第三層 28 が引っ張り歪となるか、あるいは残留圧縮歪がほとんどなくなる条件で行う。例えば、減圧エピタキシャル装置を用いて、900 の温度で 200 Torr などに減圧して行えばよい。原料ガスには、SiH₄ と水素を用いて第三層 28 を形成して真空室 21 の真空封止を行う。その後、窒素ガス中で 1000 のアニールを行うことで、真空室 21 内に残留する水素ガスを拡散させ、真空度を上げることができる。

30

【0073】

この後、図 1、図 2 に示す接片 15a、16a、17c（図 1 参照）を露出させる穴を、第一層 26 と第三層 28 とが接した部分に形成して、振動式トランスデューサ 10 のセンサー部分を得ることができる。

40

【0074】

以上のように、本発明の振動式トランスデューサや、その製造方法によれば、エッチング廃液や水洗工程で残留する水滴が除去される過程において、振動子 12 と第一層 26 との間に液滴が残ってメニスカス力によって振動子 12 を湾曲させて第一層 26 の真空室 21 側の面に吸着される際にも、付着して固定化することがないように、振動子 12 に対向する第一層 26 に貫通孔 25 を形成し、振動子 12 と第一層 26 の接触面積を少なくすることによって、振動子 12 が第一層 26 の対向面に接触する際にも、それぞれの接触する面積を減らしてあるため、付着によって固着して変形してしまうことを確実に防止できる。

【0075】

50

また、第一層 2 6 と第二層 2 7 との対向領域に沿って形成した空隙部 3 1 によって、真空室 2 1 の内部に堆積するポリシリコン層に起因する出力信号の大きさのバラツキや、振動子の共振周波数のバラツキや、電極同士の短絡による出力不良を防止することができる。

【 0 0 7 6 】

更に、圧力センサとして高圧の圧力を測定する時には、圧力を受けるシェル 1 4 が振動子 1 2 との対向面を構成する第一層 2 6 と空間部 2 9 とを介して、機械的に分離された構造となっているため、高圧によって第一層 2 6 が振動子 1 2 側に撓むことが無い。従って、電界分布の変化による振動子 1 2 の共振周波数変化が発生し、歪と周波数変化との関係を示す特性のリニアリティが悪化することを防止できる。

10

【 0 0 7 7 】

以下、振動式トランスデューサの別な実施形態を列記する。なお、それぞれの実施形態において、第一実施形態と同一の構成には同一の番号を付し、その説明を省略する。

【 0 0 7 8 】

(振動式トランスデューサ：第二実施形態)

第一実施形態においては、第一層 2 6 に形成される貫通孔 2 5 の形状は、振動子 1 2 の長手方向に沿って、所定の幅で延びる一連の細長い直方体の空間を成している。しかし、貫通孔の形状やこれを覆う第二層の形状はこれらに限定されるものではない。

【 0 0 7 9 】

図 1 7 に示す振動式トランスデューサ 6 0 では、第一層 2 6 に円柱形の貫通孔 6 1 , 6 1 ... を振動子 1 2 の長手方向に沿って、複数配列している。また、第一層 2 6 における個々の貫通孔 6 1 の第二開口部 6 1 b の周囲に接するように、第二層 2 7 にスペーサ部材 6 3 が一体に形成されている。例えば、図 1 7 に示す振動式トランスデューサ 6 0 では、スペーサ部材 6 3 は、個々の貫通孔 6 1 の第二開口部 6 1 b を取り巻く位置で接するように、複数形成されている。

20

【 0 0 8 0 】

(振動式トランスデューサ：第三実施形態)

図 1 8 に示す振動式トランスデューサ 6 5 では、第一層 2 6 に直方体の貫通孔 6 6 , 6 6 ... を振動子 1 2 の長手方向に沿って、複数配列している。また、第一層 2 6 における個々の貫通孔 6 6 の第二開口部 6 6 b の周囲に接するように、第二層 2 7 にスペーサ部材 6 8 が一体に形成されている。例えば、図 1 8 に示す振動式トランスデューサ 6 5 では、スペーサ部材 6 8 は、個々の貫通孔 6 6 の第二開口部 6 6 b の長手方向に沿った両側で接するように、複数形成されている。

30

【 0 0 8 1 】

なお、第一層 2 6 と第二層 2 7 との対向領域に形成される空隙部 3 1 (図 3 参照) のギャップを維持するスペーサ部材は、上述した第一実施形態や第二実施形態のような形状以外にも、例えば、第一層 2 6 と第二層 2 7 との対向領域における、第一層 2 6 または第二層 2 7 のいずれか一方、または両方を不規則な凹凸形状にするなど空隙部を形成し、流体の通過を許容するような構成であってもよい。この場合、第一層 2 6 や第二層 2 7 の一部に粗面を形成することによって実現できる。

40

【 0 0 8 2 】

(振動式トランスデューサの製造方法：第二実施形態)

図 1 9 ~ 図 2 4 は、第二実施形態の振動式トランスデューサの製造方法を段階的に示した要部拡大断面図である。

図 1 9 は、第一実施形態の振動式トランスデューサの製造方法における図 1 2 に相当する工程である。図 1 9 に示すように、第一層 8 1 の一部形成された貫通孔 8 3 と、の内部、および貫通孔 8 3 の第二開口部 8 3 b とその周囲に酸化層 (第一犠牲層) 8 9 を形成する。

【 0 0 8 3 】

次に、図 2 0 に示すように、第一層 8 1 の第二開口部 8 3 b 側の面 8 1 e を平坦化する

50

。この平坦化工程によって、酸化物層（第一犠牲層）89のうち、貫通孔83の第二開口部83bよりも外側、即ち第一層81の面81eから突出している部分が除去される。これによって、酸化物層（第一犠牲層）89は、貫通孔83の内部を埋める部分だけに形成された状態となる。

【0084】

次に、図21に示すように、第一層81の面81eを覆う酸化被膜（第二犠牲層）57を形成する。こうした酸化被膜57の一部、具体的には、貫通孔83の第二開口部83bの周囲には、後工程で形成する第二層87のスペーサー部32（図3参照）の外形形状を象った窪み58が形成される。

【0085】

次に、図22に示すように、貫通孔83の近傍かつその周囲を覆うように、第二層87を形成する。第二層87には、窪み58の形状を象ったスペーサー部32が一体に形成される。

【0086】

次に、図23に示すように、希HF溶液を用いて、酸化物層（第一犠牲層）55、酸化被膜（第二犠牲層）57、振動子12の周囲の絶縁層56、および酸化層52をエッチングして除去する。これによって、振動子12の周囲には真空室21が形成され、振動子12は、この真空室21によって周辺に隙間が維持された形態にされる。

【0087】

一方、貫通孔83の内部を埋める酸化物層（第一犠牲層）55が除去されることによって、貫通孔83の内部が空洞になる。また、第一層81と第二層87との間に形成されていた酸化被膜（第二犠牲層）57とが除去されることによって、第一層81と第二層87との対向領域において、貫通孔83の第二層87の側の第二開口部（開口部）83bに臨む部位E1と、第二層87が第三層88に接する部位（周縁部）E2とを連通させる空隙部31が形成される。なお、この実施形態では、第二層87の第一層81と対向する面87fは、窪み58を除いた部分が平坦面とされ、凹状の空間部は形成されない。

【0088】

次に、図24に示すように、第一層81と第二層87とを覆うように、第三層88を形成して真空封止を行う。第三層88による真空封止は、製膜された第三層88が引っ張り歪となるか、あるいは残留圧縮歪がほとんどなくなる条件で行う。

【0089】

このような構成の振動式トランスデューサの製造方法によれば、液滴が振動子12と貫通孔83の第一開口部83aとの間付近にあっても、内部が空洞の貫通孔83にこの液滴が流入するので、液滴のメニスカス力によって振動子12が第一層81側に大きく湾曲して変形してしまうことを確実に防止することが可能になる。

【符号の説明】

【0090】

10...振動式トランスデューサ、11...基板、12...振動子、14...シェル、21...真空室、25...貫通孔、26...第一層、27...第二層、28...第三層、29...空間部、31...空隙部。

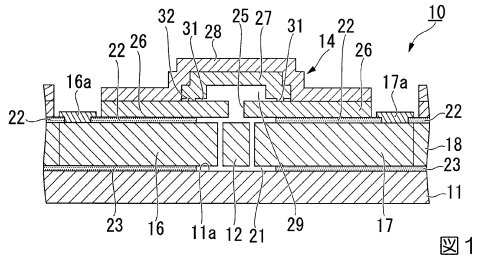
10

20

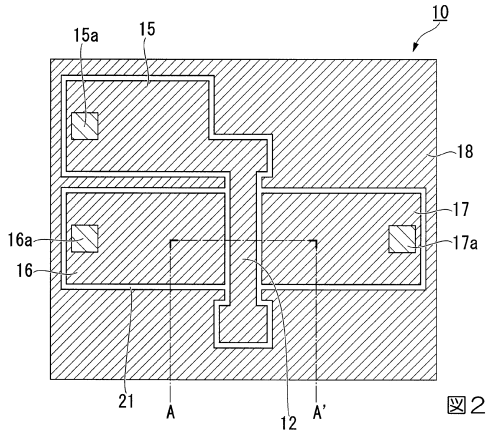
30

40

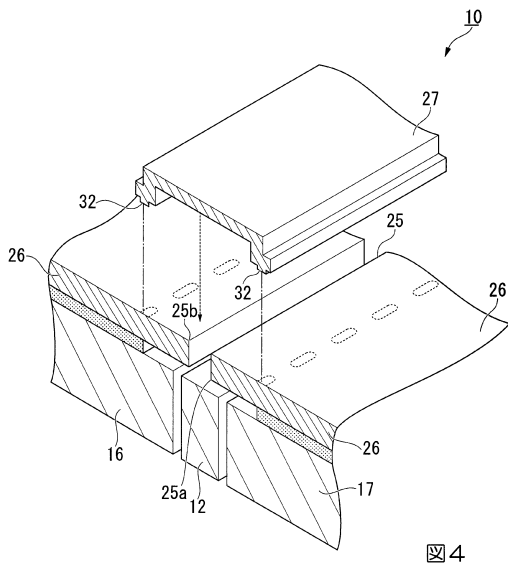
【図1】



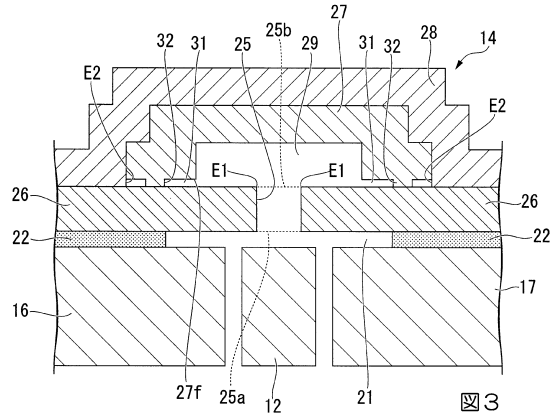
【図2】



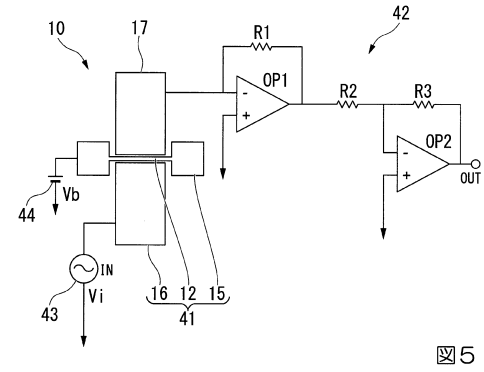
【図4】



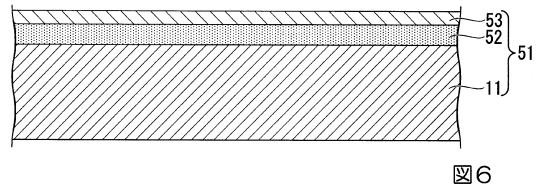
【図3】



【図5】



【図6】



【図7】

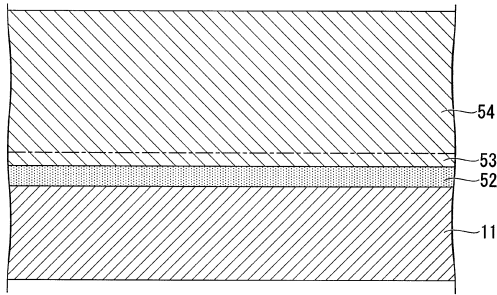


図7

【図9】

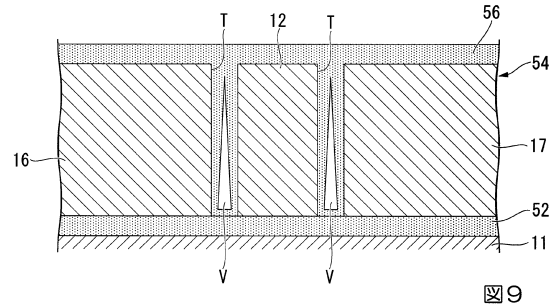


図9

【図8】

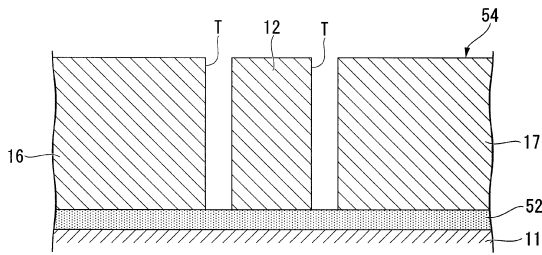


図8

【図10】

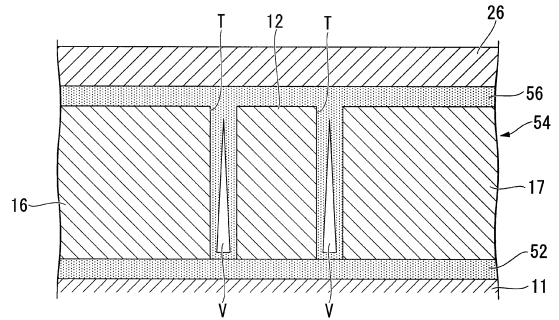


図10

【図11】

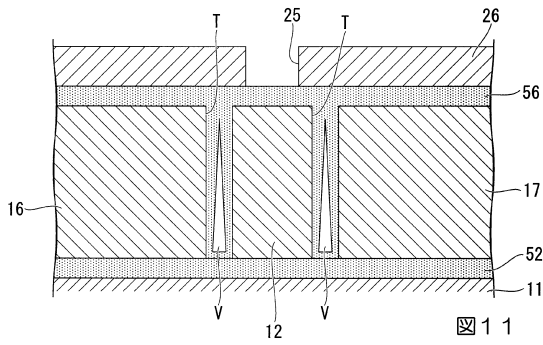


図11

【図13】

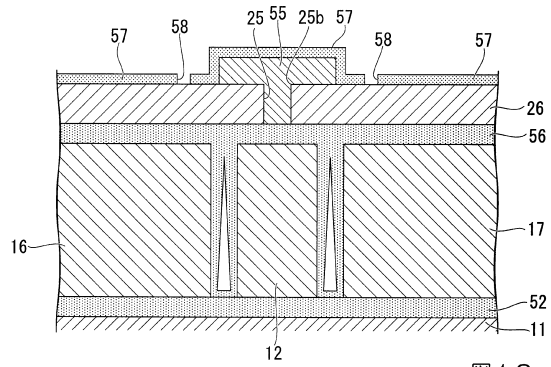


図13

【図12】

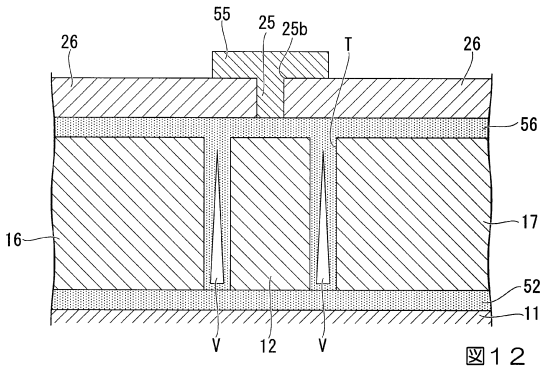


図12

【図14】

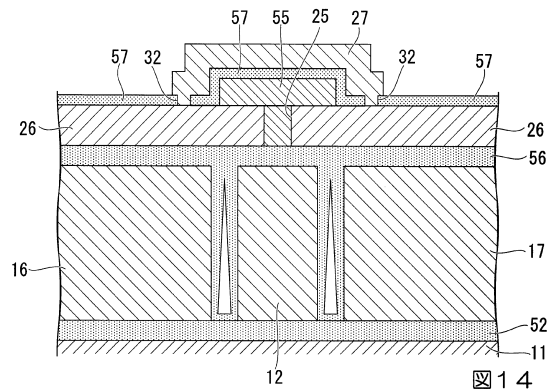
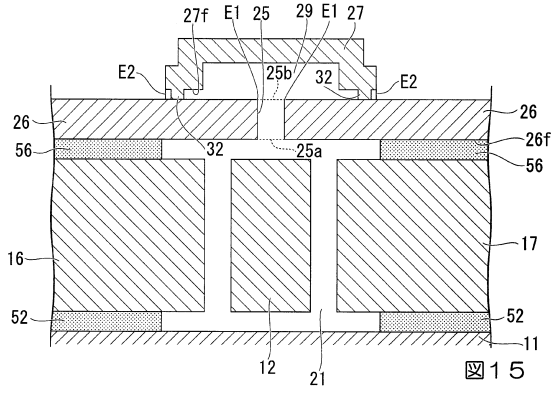
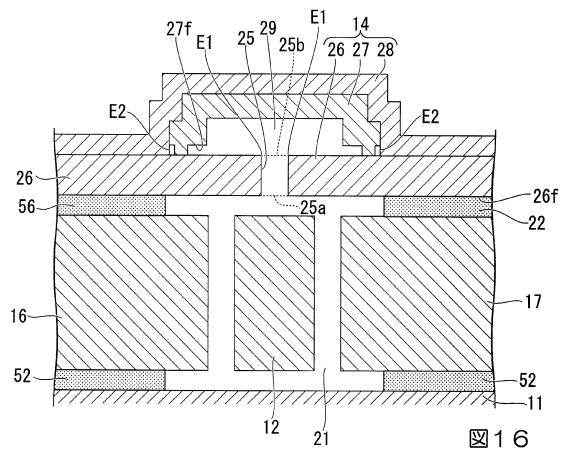


図14

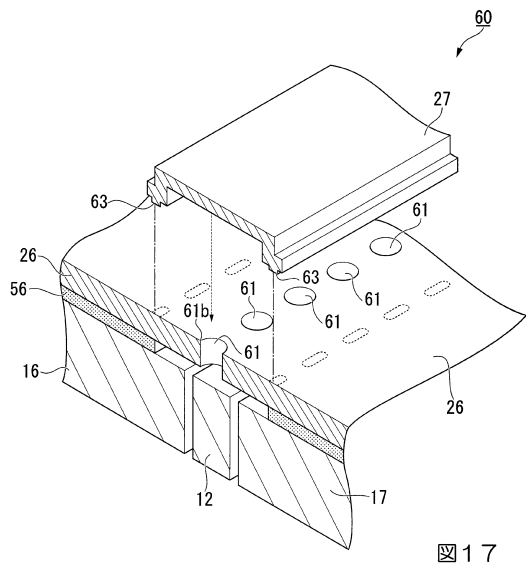
【 図 1 5 】



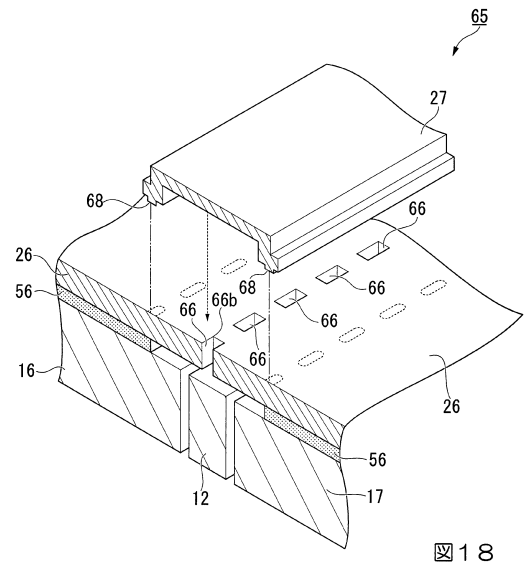
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【図19】

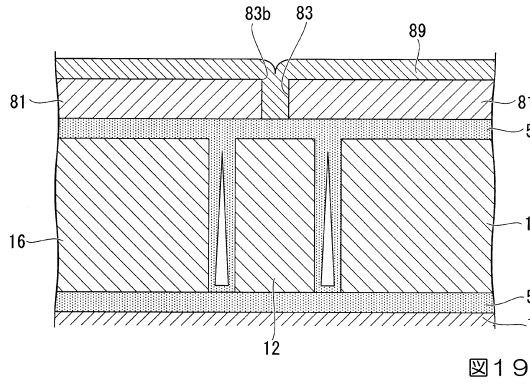


図19

【図21】

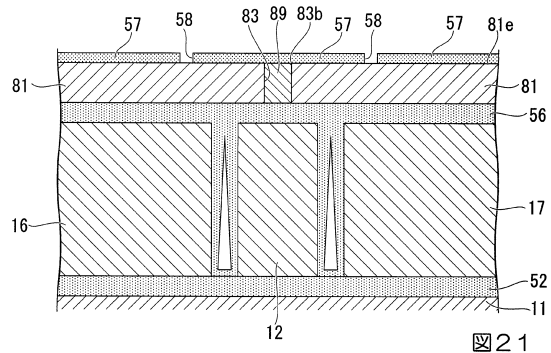


図21

【図20】

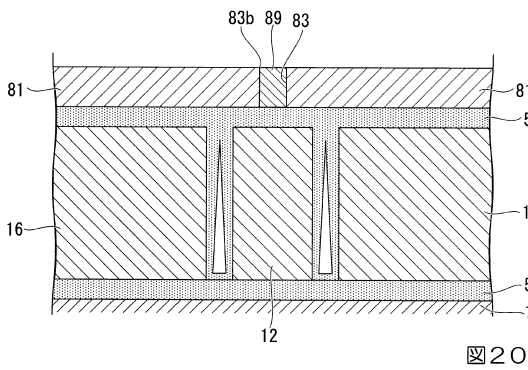


図20

【図22】

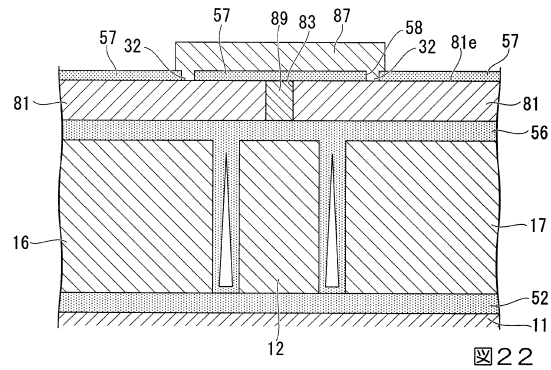


図22

【図23】

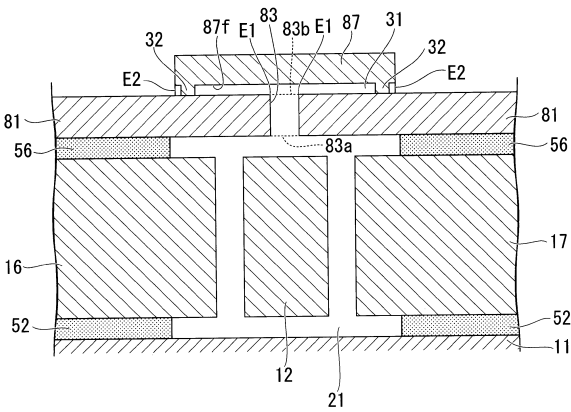


図23

【図24】

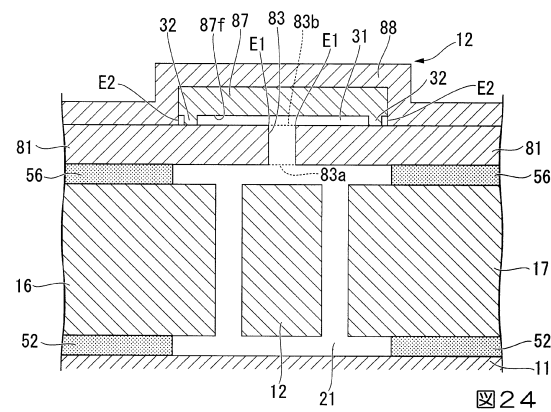


図24

【図25】

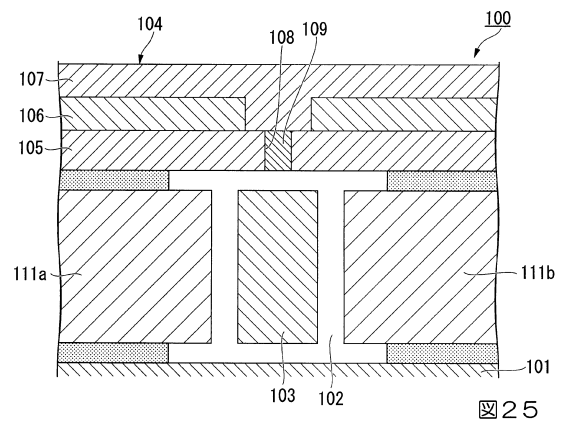
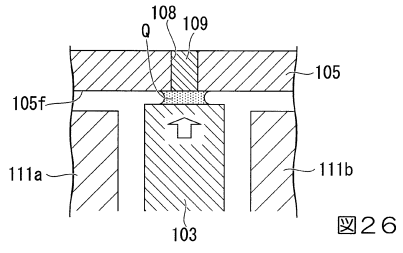


図25

【 図 26 】



フロントページの続き

- (72)発明者 吉田 隆司
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
- (72)発明者 三島 猛
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
- (72)発明者 岩井 滋人
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
- (72)発明者 吉田 勇作
東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内

審査官 森 雅之

- (56)参考文献 特許第5158160(JP, B2)
国際公開第01/058804(WO, A1)
特許第4869943(JP, B2)
特許第5588674(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L
H01L
B81B
B81C