

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6235902号  
(P6235902)

(45) 発行日 平成29年11月22日(2017.11.22)

(24) 登録日 平成29年11月2日(2017.11.2)

(51) Int.Cl.	F 1
H04R 19/00 (2006.01)	H04R 19/00 330
A61B 8/00 (2006.01)	A61B 8/00
H04R 31/00 (2006.01)	H04R 31/00 330

請求項の数 13 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2013-273672 (P2013-273672)  
 (22) 出願日 平成25年12月28日 (2013.12.28)  
 (65) 公開番号 特開2015-128271 (P2015-128271A)  
 (43) 公開日 平成27年7月9日 (2015.7.9)  
 審査請求日 平成28年12月26日 (2016.12.26)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100086483  
 弁理士 加藤 一男  
 (72) 発明者 王 詩男  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ャノン株式会社内  
 (72) 発明者 渡辺 信一郎  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ャノン株式会社内

審査官 菊池 充

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】静電容量型トランステューサ及びその製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第1面側から第2面側まで貫通する貫通配線を有する基板の前記第1面上に、第1の電極と、前記第1の電極と間隙を隔てて形成された第2の電極を含む振動膜と、を備えたセルを有する静電容量型トランステューサの作製方法であって、

前記貫通配線を有する基板の前記第1面側において、前記貫通配線の終端を押える押え部材を形成する工程と、

前記押え部材を形成する工程の後に、前記セルを形成する工程と、  
 を備えることを特徴とする静電容量型トランステューサの作製方法。

## 【請求項 2】

前記押え部材を形成する工程では、前記貫通配線の終端の一部が露出する開口を有するよう前記押え部材を形成することを特徴とする請求項1に記載の静電容量型トランステューサの作製方法。

## 【請求項 3】

前記セルを形成する工程は、

前記基板の前記第1面側に第1の電極を形成する工程と、

前記第1の電極の上に犠牲層を形成する工程と、

前記犠牲層の上に第2の電極を形成する工程と、

前記犠牲層をエッチングする工程と、

を含むことを特徴とする請求項1または2に記載の静電容量型トランステューサの作製方

法。

【請求項 4】

前記第 1 の電極を形成する工程において、前記第 1 の電極と前記貫通配線とを電気的に接続することを特徴とする請求項 3 に記載の静電容量型トランスデューサの作製方法。

【請求項 5】

前記第 2 の電極を形成する工程において、前記第 2 の電極と前記貫通配線とを電気的に接続することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の静電容量型トランスデューサの作製方法。

【請求項 6】

第 1 面と第 2 面の間を貫通する貫通配線を有する基板の前記第 1 面上に、第 1 の電極と、  
前記第 1 の電極と間隙を隔てて形成された第 2 の電極を含む振動膜と、を備えたセルを有する静電容量型トランスデューサであって、

前記基板の第 1 面側において、前記貫通配線の終端を押える押え部材が設けられていることを特徴とする静電容量型トランスデューサ。

【請求項 7】

前記押え部材は、前記貫通配線の長さ方向における降伏応力が前記貫通配線のせん断強度の 1.7 倍以上であることを特徴とする請求項 6 に記載の静電容量型トランスデューサ。

【請求項 8】

前記押え部材は、前記貫通配線よりも前記基板に近い熱膨張係数を有することを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の静電容量型トランスデューサ。

【請求項 9】

前記押え部材はシリコンの化合物であり、前記貫通配線は金属を含む材料からなることを特徴とする請求項 6 から 8 の何れか 1 項に記載の静電容量型トランスデューサ。

【請求項 10】

前記押え部材の開口において、前記貫通配線の終端の一部と前記第 1 の電極とが接続されていることを特徴とする請求項 6 から 9 の何れか 1 項に記載の静電容量型トランスデューサ。

【請求項 11】

前記押え部材の開口において、前記貫通配線の終端の一部と前記第 2 の電極とが接続されていることを特徴とする請求項 6 から 10 の何れか 1 項に記載の静電容量型トランスデューサ。

【請求項 12】

請求項 6 から 11 の何れか 1 項に記載の静電容量型トランスデューサと、該トランスデューサが出力する電気信号を用いて被検体の情報を取得する処理部と、を有し、前記トランスデューサは、被検体からの音響波を受信し、前記電気信号に変換することを特徴とする被検体情報取得装置。

【請求項 13】

光源をさらに有し、

前記トランスデューサは、前記光源から発振した光が被検体に照射されることにより発生する光音響波を受信して電気信号に変換し、

前記処理部は、前記電気信号を用いて被検体の情報を取得することを特徴とする請求項 1 2 に記載の被検体情報取得装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波変換素子などとして用いられる静電容量型トランスデューサ及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、マイクロマシニング技術によって製造される静電容量型トランスデューサ (C M

10

20

30

40

50

UT : Capacitive - Micromachined - Ultrasonic - Transducer) は、圧電素子の代替品として研究されている。このような CMUT によると、振動膜の振動を用いて音響波を送信、受信することができる、特に液中において優れた広帯域特性を容易に得ることができる。尚、本明細書において、音響波とは、音波、超音波、光音響波と呼ばれるものなどを含む。例えば、被検体内部に可視光線や赤外線等の光(電磁波)を照射して被検体内部で発生する光音響波を含む。実用上、2次元アレイ状に配置される複数の振動膜を1つのエレメント(素子)とし、更に、複数のエレメントを基板上に並べてトランスデューサを構成して、所望の性能を実現している。各エレメントを独立に制御するために、それぞれのエレメントに対応する配線電極を形成する必要がある。ここにおいて、小型化及び配線電極の寄生容量低減のために、基板を貫通する貫通配線を利用することができる。しかし、貫通配線の材質と基板の材質が異なる場合、貫通配線の形成後の高温プロセスにおいて、熱膨張係数差によって、貫通配線の端部が基板表面より突出して、貫通配線の端部上に位置する薄膜を変形させたり、突き破ったりなどすることがある。10

#### 【0003】

特許文献1は、シリコンを基板にして、多結晶シリコンを貫通配線とするCMUTを開示している。この構成では、多結晶シリコンからなる貫通配線とシリコンからなる基板とはほぼ同様な熱膨張係数を持つので、高温においても、貫通配線の端部の基板の表面に対する相対位置変化が少ない。また、特許文献2は、貫通配線を形成したガラス基板と他方の基板との接合によるCMUTを開示している。この構成では、他方の基板上に振動膜を含む薄膜を形成するとき、それらの薄膜は貫通配線の影響を受けない。また、特許文献3は、凹部と、該凹部の底面に形成される複数の細孔とを介する貫通配線構造を開示している。この2段配線構成では、細孔が細いので、高温においても、貫通配線の端部上に位置する薄膜が受ける応力が小さい。20

#### 【先行技術文献】

##### 【特許文献】

##### 【0004】

【特許文献1】米国特許6836020号

【特許文献2】特開2007-215177号公報

【特許文献3】特開2012-99518号公報30

##### 【発明の概要】

##### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0005】

しかしながら、特許文献1の多結晶シリコンからなる貫通配線の場合、多結晶シリコンの抵抗率が高いので、貫通配線の抵抗を低くすることが容易とは言い難い。一方、特許文献2の接合方式の場合、下部電極が貫通配線の端部と直結しており、貫通配線の熱変形による下部電極の変形が避け難い。また、特許文献3の2段配線の場合、製造工程が多いだけではなく、貫通配線が占める基板面積が大きく、小型化に不向きである。

##### 【課題を解決するための手段】

##### 【0006】

上記課題に鑑み、本発明の静電容量型トランスデューサの作製方法は、第1面側から第2面側まで貫通する貫通配線を有する基板の前記第1面上に、第1の電極と、前記第1の電極と間隙を隔てて形成された第2の電極を含む振動膜と、を備えたセルを有する静電容量型トランスデューサの作製方法であって、次の工程を備える。前記貫通配線を有する基板の前記第1面側において、前記貫通配線の終端を押える押え部材を形成する工程。前記押え部材を形成する工程の後に、前記セルを形成する工程。40

##### 【0007】

また上記課題に鑑み、本発明の静電容量型トランスデューサは、第1面と第2面の間を貫通する貫通配線を有する基板の前記第1面上に、第1の電極と、前記第1の電極と間隙を隔てて形成された第2の電極を含む振動膜と、を備えたセルを有する。そして、前記基50

板の第1面側において、前記貫通配線の終端を押える押え部材が設けられている。

【発明の効果】

【0008】

本発明の静電容量型トランスデューサは、振動膜がある基板面側において、貫通配線の終端が押え部材によって押えられている。よって、製造時等の昇温状態などにおいても、貫通配線の端部の振動膜側の基板面への突出が抑制される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の静電容量型トランスデューサの一例を説明するための図。

【図2】本発明の静電容量型トランスデューサの製法の一例を説明するための図。

10

【図3】本発明の静電容量型トランスデューサを用いた情報取得装置の例の説明図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明では、貫通配線を有する基板の第1面側において、貫通配線の終端を押える押え部材が設けられるので、貫通配線を有する基板上に薄膜CMUTなどを製造する際などに、貫通配線と基板間の熱膨張係数差等による膜ダメージを低減することができる。

【0011】

以下に、本発明の実施形態について図を用いて説明する。

(第1の実施形態)

図1を用いて、本発明の静電容量型トランスデューサの第1の実施形態の基本構成を説明する。図1(A)は静電容量型トランスデューサの断面図で、図1(B)は押え部材、貫通配線の終端形状、及び両者の位置関係の一例を示す平面図である。簡単のため、図1(A)では、静電容量型トランスデューサの1つのセル(1つの振動膜)のみが示されている。

20

【0012】

図1(A)のように、本実施形態の静電容量型トランスデューサは、基板1と、基板1の対向する第1面1aと第2面1bの間を貫通する貫通配線2(2-1と2-2を含む)を含む。また、基板1の第1面側に形成される第1の電極4に対して間隙5を隔てて設けられた第2の電極6および第2の電極6の上下に配設された絶縁膜7、8で構成された振動膜9が振動可能に支持されたセル構造を有する。そして、基板1の第1面1a側において、貫通配線2の終端を押える押え部材3が形成されている。基板1は、静電容量型トランスデューサの性能に合せて選択する。例えば、基板1は、ガラスのような絶縁材料から構成される。また、基板1は、高抵抗シリコンと低抵抗シリコンのいずれかによって構成されてもよい。基板1の厚さは、例えば、100μm～1000μmである。

30

【0013】

貫通配線2は、抵抗率の低い材料から構成される。例えば、貫通配線2は、金属を含む材料から構成される。望ましくは、貫通配線2は、Cuを主材料とする抵抗の低い構造である。基板1の第1面1aと垂直な方向から見る貫通配線2の断面形状は、貫通配線2の静電容量、抵抗、及びその作製の容易さを考慮して設計される。その断面形状は、貫通配線2の長さ方向において、均一であってもよく、不均一であっても構わない。一例として、貫通配線2の断面はほぼ円形であり、その直径は20μm～100μmである。

40

【0014】

貫通配線2の押え部材3は、基板1の第1面1a側において、貫通配線2の終端を押えるように形成される。押え部材3は、基板1の第1面1aと密着する部分と、貫通配線2の終端の一部を押える部分と、貫通配線2の終端の一部を露出させる開口を持つ。押え部材3は、貫通配線2の終端を押える機能と、貫通配線2と第1の電極4または第2の電極6とを接続可能とする開口を共に有するように設計される。特に、基板1の第1面1a側における貫通配線2の終端の最大熱変形による第1の電極4や振動膜9の変形が、静電容量型トランスデューサの性能に影響を与えないように、押え部材3を設計する。押え部材3は、ヤング率の高い材料で構成されることが望ましい。押え部材3は、単層膜であって

50

も、複数層の膜であってもよい。

#### 【0015】

押え部材3の強度は、その構成材料、形状及び厚さ等によって決まる。例えば、押え部材3は、貫通配線2の長さ方向における降伏応力が貫通配線2のせん断強度の1.7倍以上であるように設計される。この条件において、貫通配線2は、熱変形する際、押え部材3を大きく変形させる前に、自ら押え部材3のある側とは反対方向に滑り出す。その結果、高温において、基板1と貫通配線2との熱膨張係数差によって基板1に対して相対変形しても、貫通配線2が押え部材3の上面の薄膜に与える最大応力が抑制される。よって、押え部材3の上面の薄膜が大きく変形して破損することは避けられる。押え部材3自身の熱変形を考慮して、押え部材3は、貫通配線2よりも基板1に近い熱膨張係数を有することが望ましい。押え部材3の材料は、例えば、シリコンの酸化物やシリコンの窒化物などのシリコンの化合物、チタンの酸化物（例えば、 $TiO_2$ ）、イットリウムの酸化物（例えば、 $Y_2O_3$ ）、アルミニウムの酸化物（例えば、 $Al_2O_3$ ）のいずれかである。押え部材3の厚さは、例えば、 $0.1\mu m \sim 2\mu m$ である。10

#### 【0016】

図1(B)は、押え部材と貫通配線の終端の形状及び位置関係の一例を示している。図1(B)では、押え部材3は、内周が3a、外周が3bの開口付き円板であり、外周2bが円形の貫通配線2の終端とほぼ同じ中心を有する。外周3bと外周2bの間の領域において、押え部材3が基板1の第1面1aと密着している。外周2bと内周3aの間の領域において、押え部材3が貫通配線2の終端の一部を押えている。内周3a以内の領域において、押え部材3が開口を持ち、貫通配線2の終端の一部2aを露出させている。より具体的な例として、押え部材3の内周3aは直径が $10\mu m \sim 50\mu m$ の円であり、押え部材3の内周3aと貫通配線2の終端の外周2bとの距離が $5\mu m \sim 50\mu m$ である。また、押え部材3の外周3bと貫通配線2の終端の外周2bとの距離が $5\mu m \sim 500\mu m$ である。20

#### 【0017】

押え部材3は、回転対称形状であってもよく、回転対称性がなくてもよい。また、押え部材3は、貫通配線2の終端と同一中心で配置されなくてもよい。また、押え部材3は、基板1の第1面1aと直接に接して形成されていても、基板1の第1面1aと密着する膜を介して基板1の第1面1a側に形成されてもよい。30

#### 【0018】

第1の電極4は、基板1の第1面1a側に形成される。第1の電極4は、基板1が絶縁性である場合、直接、基板1の表面上に形成されてもよい。また、密着性向上や電気絶縁性向上等のため、第1の電極4は、基板1の第1面1aと密着する膜を介して基板1の第1面1a側に形成されていてもよい。第1の電極4は、貫通配線2の1つである2-1と接続され、さらに貫通配線2-1を通して基板1の第2面1b側の電極パッド11と接続されている。

#### 【0019】

第2の電極6は、間隙5を挟んで基板1の第1面1a側に設けられている。電気的絶縁のため、第2の電極6は、絶縁膜7と絶縁膜8に挟まれて形成されている。第2の電極6は、配線電極10によって、貫通配線2の1つである2-2と接続され、さらに貫通配線2-2を通して基板1の第2面1b側の電極パッド12と接続されている。配線電極10において、貫通配線2-2の終端と接続する部分は、その外周の少なくとも一部が押え部材3の開口の内側に位置する。より望ましくは、この接続部分は、完全に押え部材3の開口の内側に位置する。こうすることによって、たとえ押え部材3の開口付近に膜変形があつても、その変形と関係なく、第2の電極6と貫通配線2-2の終端とは確実に電気的に接続される。第1の電極4と第2の電極6は、両方とも貫通配線2を介して基板1の第2面1b側に電気的に引き出されなくてよく、いずれか一方のみが第2面1b側に引き出されてもよい。40

#### 【0020】

間隙 5 は、静電容量型トランスデューサの性能によって、面積と高さ（厚さ）が設計される。静電容量型トランスデューサを駆動する際、振動膜 9 の振動に従って、間隙 5 が変形する。一例として、間隙 5 は、直径 10 μm ~ 100 μm、高さ 50 nm ~ 500 nm の円柱に近い構造となっている。

#### 【 0 0 2 1 】

絶縁膜 7、8 は、第 2 の電極 6 の絶縁保護膜とする他に、第 2 の電極 6 と一緒にセルの振動膜 9 を構成する。絶縁膜 7、8 の材料及び膜厚は、静電容量型トランスデューサの要求性能ないし仕様によって設計される。一例として、絶縁膜 7、8 は、シリコンの窒化物であり、厚さはそれぞれ 100 μm ~ 1000 μm である。もちろん、絶縁膜 7 と絶縁膜 8 は、異なる材料で構成されてもよい。また、絶縁膜 7 と絶縁膜 8 は、それぞれ単層膜または多層膜から構成されてもよい。10

#### 【 0 0 2 2 】

絶縁膜 7、第 2 の電極 6 及び絶縁膜 8 からなる振動膜 9 は、1 GPa 以下の引張り応力を有することが望ましい。振動膜 9 が圧縮応力を有する場合、振動膜 9 がステイッキングあるいは座屈を引き起こし、大きく変形することがある。ここでのステイッキングとは、振動膜 9 が基板 1 側の第 1 の電極 4 に付着してしまうことである。一方、振動膜 9 は、過度に大きな引張り応力を有する場合、破壊しやすくなる。振動膜 9 が 1 GPa 以下の引張り応力を有するように、絶縁膜 7、第 2 の電極 6 及び絶縁膜 8 のそれぞれの材料、膜厚、成膜条件及び熱処理条件を設計する。また、絶縁膜 7、第 2 の電極 6、絶縁膜 8 及び配線電極 10 において、膜間密着性の向上や、絶縁性向上や相互拡散防止等のために、膜間にその効用ないし機能を有する膜を設けてもよい。20

#### 【 0 0 2 3 】

図示はしないが、静電容量型トランスデューサは制御回路と電気的に接続されている。接続は、電極パッド 11、12 を介して、バンプ接合や、ワイヤボンディングや、ACF (Anisotropic-Conductive-Film) 接合などを利用する。静電容量型トランスデューサを駆動する際、バイアス電圧を第 1 の電極 4 に印加し、信号印加または信号取り出し電極として第 2 の電極 6 を用いている。また、その逆でも構わない。。

#### 【 0 0 2 4 】

以上のように、本実施形態の静電容量型トランスデューサでは、振動膜がある基板表面側において、貫通配線の終端が押え部材によって押えられている。よって、製造時の昇温状態などにおいても、貫通配線の端部の押え部材側への突出が抑制される。その結果、貫通配線と基板の熱膨張係数が異なっても、貫通配線の熱変形による静電容量型トランスデューサの振動膜や下部電極などの破損が防止できる。よって、貫通配線を基板材料と異なる金属材料で構成し、貫通配線の抵抗を大幅に低減できる。また、電極と貫通配線との間は、確実に接続できる。こうして、貫通配線を抵抗率の低い金属材料で構成でき、貫通配線の抵抗を大幅に低減できる。貫通配線を抵抗率の低い金属材料で構成すれば、貫通配線を細くしても、十分に低い配線抵抗を得ることが可能である。貫通配線を細くすれば、貫通配線が占める基板の面積を小さくし、静電容量型トランスデューサの小型化を図ることができる。30

#### 【 0 0 2 5 】

##### ( 第 2 の実施形態 )

本発明の静電容量型トランスデューサの製造方法に係る第 2 の実施形態を説明する。図 2 (A) ~ (Q) は、本実施形態の製法を説明する断面図である。簡単のため、図 2 では、静電容量型トランスデューサの 1 つのセル (1 つの振動膜) のみが示されている。

#### 【 0 0 2 6 】

まず、図 2 (A) のように、対向する第 1 面 1a と第 2 面 1b を有する基板 1 を用意する。基板 1 は、静電容量型トランスデューサの性能に合せて選択する。例えば、基板 1 は、ガラスのような絶縁材料から構成される。また、基板 1 は、高抵抗シリコン、低抵抗シリコンなどによって構成されてもよい。ここでは、基板 1 が低抵抗シリコンによって構成40

されている場合を例にする。基板1の厚さは、例えば、 $100\text{ }\mu\text{m} \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$ である。セル間の性能バラつきを低減するために、基板1の第1面1aは平坦且つ平滑であることが望ましい。例えば、基板1の第1面1aの表面粗さ $R_a < 10\text{ nm}$ である。

#### 【0027】

次に、図2(B)のように、基板1において、対向する第1面1aから第2面1bまでを貫通する貫通穴13を形成する。貫通穴13は、所定の貫通電極(貫通配線)2を通す穴として機能する。貫通穴13の断面形状は、その長さ方向において、均一であってもよく、不均一であっても構わない。一例として、貫通穴13はおよそ円柱であり、その直径が $20\text{ }\mu\text{m} \sim 100\text{ }\mu\text{m}$ である。貫通穴13の加工は、例えば、シリコンの深堀り反応性イオンエッティング(RIE: Reactive-Ion-Etching)技術を用いて行う。必要に応じて、基板1の第1面1aと第2面1bの両面からそれぞれRIE加工をする。また、必要に応じて、貫通穴13の内壁13aを平滑化し、内壁13aの表面粗さ $R_{max}$ を $R_{max} < 100\text{ nm}$ にする。10

#### 【0028】

次に、図2(C)のように、第1面1a、第2面1b及び貫通穴13の内壁13a(図2(B)参照)を含む基板1の表面上に、絶縁膜14を形成する。絶縁膜14は、例えば、シリコンの酸化物、シリコンの窒化物、アルミニウムの酸化物( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )であって、絶縁性の高いものが望ましい。絶縁膜14の厚さは、必要とする絶縁耐圧と材料特性で決まる。絶縁膜14の厚さは、例えば、 $0.1\text{ }\mu\text{m} \sim 2\text{ }\mu\text{m}$ である。絶縁膜14の形成法は、例えば、熱酸化、化学気相堆積(CVD: Chemical-Vapor-Deposition)、原子層堆積(ALD: Atomic-Layer-Deposition)などの方法がある。絶縁膜14は、単層膜でもよく多層膜でもよい。また、必要に応じて、基板1の表面と絶縁膜14の間に、密着層を形成してもよい。20

#### 【0029】

次に、図2(D)のように、絶縁膜14の表面に、更に絶縁膜15を形成する。絶縁膜15は、絶縁性を持ちながら、その役割の1つとして、図2(E)で形成する貫通配線2の構成材料が絶縁膜14へ拡散することを防ぐバリア層として働く。絶縁膜15は、例えば、シリコンの窒化物やチタンの窒化物である。絶縁膜15の厚さは、例えば、 $0.01\text{ }\mu\text{m} \sim 0.5\text{ }\mu\text{m}$ である。絶縁膜15の形成は、例えば、CVD法で行う。

#### 【0030】

次に、図2(E)のように、基板1の対向する第1面1aと第2面1bの間を貫通する貫通配線2を、貫通穴13(図2(B)参照)の中に形成する。貫通配線2は、抵抗率の低い材料から構成される。望ましくは、貫通配線2は、金属を含む材料から構成される。例えば、貫通配線2は、Cuを主材料とする構造である。貫通配線2は、貫通穴13の内部をほぼ充填して形成される。貫通配線2の形成方法として、例えば、めっき法がある。特に、基板1の一表面(例えば、基板1の第2面1b)をシード層付き基板と密着して、電解めっきを行う方法が好適である。めっき後、シード層付き基板を基板1から分離する。そして、基板1の第1面1aと第2面1bに対して研磨を行い、平坦化を実現する。研磨の方法として、化学機械研磨(CMP: Chemical-Mechanical-Polish)法が好適である。CMPによって、基板1の第1面1aの表面粗さ $R_a$ を $R_a < 10\text{ nm}$ になるようにする。例えば、貫通配線2の主材料をCuとする場合、めっき後、CuのCMPによって貫通配線2の端面と基板1の表面1a、1bとをほぼ同一高さ(レベル)にする。このとき、絶縁膜15(例えば、シリコンの窒化物である)は、CuのCMPのストップ層となる。そして、必要に応じて、絶縁膜15のCMPを行い、基板1の第1面1aの表面粗さを低減する。40

#### 【0031】

図2(E)では、貫通配線2は1つの振動膜(1つのセル)に対して2つ形成されているように見えるが、実用上、複数の振動膜に対して、2つの貫通配線2が形成されてもよい。例えば、複数の振動膜を含む1つのエレメントに対して、2つの貫通配線2を形成する。貫通穴13の数は、貫通配線2の数に対応するようにする。50

## 【0032】

次に、図2(F)のように、基板1の第1面1a側において、貫通配線2の終端を押える押え部材3を形成する。押え部材3は、基板1の第1面1aと密着する部分と、貫通配線2の終端の一部を押える部分と、貫通配線2の終端の一部2aを露出させる開口を持つ。押え部材3は、後続の熱プロセスにおける貫通配線2の終端の最大熱変形による第1の電極4や振動膜9の変形がセルの性能に影響を与えないように、設計される。押え部材3は、ヤング率の高い材料で構成されることが望ましい。押え部材3は、単層膜であっても、複数層の膜であってもよい。押え部材3の強度は、その構成材料、形状及び厚さ等によって決まる。例えば、押え部材3は、貫通配線2の長さ方向における降伏応力が貫通配線2のせん断強度の1.7倍以上であるように形成される。また、押え部材3自身の熱変形を考慮して、押え部材3は、貫通配線2よりも基板1に近い熱膨張係数を有することが望ましい。

10

## 【0033】

押え部材3の材料は、例えば、シリコンの酸化物、シリコンの窒化物、チタンの酸化物(例えば、TiO<sub>2</sub>)、イットリウムの酸化物(例えば、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、アルミの酸化物(例えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)のいずれかである。押え部材3の厚さは、例えば、0.1μm~2μmである。押え部材3の形状は、例えば、図1(B)に示すように、貫通配線2とほぼ同一中心を有する円板である。押え部材3の形態は、例えば、第1の実施形態で述べた通りである。押え部材3の形成時、貫通配線2の終端と基板1の第1面1aとは、できるだけ相対変形がないことが望ましい。よって、押え部材3の形成は、100以下の温度で形成されることが望ましい。より望ましくは、押え部材3の形成は、室温に近い温度で行われる。押え部材3の膜の成膜法として、スパッタ法がある。押え部材3のパターンの形成法として、フォトリソグラフィーを含むエッチングマスク形成と、反応性イオンエッチングを含むドライエッチングまたは薬品を使用するウェットエッチングとを含む方法がある。

20

## 【0034】

次に、図2(G)のように、基板1の第1面1a側に第1の電極4を形成する。第1の電極4は、振動膜を駆動するための電極の1つである。第1の電極4は、絶縁膜14及び絶縁膜15の上に形成されるので、基板1と絶縁されている。第1の電極4は、セルの振動膜9の振動部分(図2(O)の間隙5に対応する部分)の下部に位置する部分と貫通配線2の1つである2-1と接続する部分4aがある。第1の電極4は、導電率の高い材料で構成される。例えば、第1の電極4は、金属が主成分である膜から構成される。一例として、第1の電極4は、Alが主成分である膜から構成される。第1の電極4は、単層膜であっても、複数層の膜から構成されてもよい。第1の電極4は、同じエレメント中の各セルに関して、導通するように形成されている。第1の電極4の形成法として、例えば、金属の成膜、フォトリソグラフィー、及び金属のドライエッチングまたはウェットエッチングを含む方法がある。金属の成膜は、押え部材3の周囲で金属膜の段切れが起きないように形成される。その成膜法として、スパッタのような被覆性の良い方法が望ましい。

30

## 【0035】

次に、図2(H)のように、絶縁膜16を形成する。絶縁膜16は、第1の電極4の表面を覆い、その役割の1つは第1の電極4の絶縁・保護膜として働く。絶縁膜16は、例えば、シリコンの酸化物、シリコンの窒化物、アルミニウムの酸化物(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)であって、絶縁性の高いものが望ましい。絶縁膜16の厚さは、必要とする絶縁耐圧と材料特性で決まり、例えば、0.1μm~2μmである。絶縁膜16の形成は、400以下の温度で行うのが望ましい。絶縁膜16の形成方法として、例えば、化学気相堆積、原子層堆積、スパッタなどがある。絶縁膜16は、単層膜でも、多層膜でもよい。また、必要に応じて、絶縁膜16の下に、密着層を形成してもよい。

40

## 【0036】

次に、図2(I)のように、犠牲層17を形成する。犠牲層17は、セルの間隙5(図2(N)を参照)を規定するためのもので、間隙5を形成する工程で選択的に除去できる

50

材料で構成される。犠牲層 17 は、例えば、シリコン系の材料、または Cr などの金属によって構成される。犠牲層 17 のパターンの形成法として、フォトリソグラフィーを含むエッチングマスク形成と、ドライエッティングまたは薬品を使用するウェットエッティングとを含む方法がある。

#### 【 0 0 3 7 】

次に、図 2 ( J ) のように、穴 16a を形成する。穴 16a は、第 2 の電極 6 と貫通配線 2 の 1 つである 2 - 2 とを接続するための絶縁膜 16 の開口である（図 2 ( Q ) を参照）。穴 16a は、押え部材 3 の開口 3a よりやや大きいことが好適である。穴 16a の形成法として、フォトリソグラフィーを含むエッティングマスク形成と、反応性イオンエッティングを含むドライエッティングまたは薬品を使用するウェットエッティングとを含む方法がある。10

#### 【 0 0 3 8 】

次に、図 2 ( K ) のように、絶縁膜 7 を形成する。絶縁膜 7 は、図 2 ( L ) で形成する第 2 の電極 6 の下表面に接して全面に亘り、その役割の 1 つとして第 2 の電極 6 の絶縁・保護膜として働く。絶縁膜 7 は、例えば、シリコンの酸化物、シリコンの窒化物、アルミニウムの酸化物 ( $Al_2O_3$ ) であって、絶縁性の高いものが望ましい。絶縁膜 7 の厚さは、必要とする絶縁耐圧と材料特性で決まり、例えば、 $0.1 \mu m \sim 2 \mu m$  である。絶縁膜 7 の形成は、400 以下の温度で行うことが望ましい。絶縁膜 7 の形成方法として、例えば、化学気相堆積、原子層堆積、スパッタなどがある。絶縁膜 7 は、単層膜でも、多層膜でもよい。20

#### 【 0 0 3 9 】

次に、図 2 ( L ) のように、第 2 の電極 6 を形成する。第 2 の電極 6 は、振動膜の上において第 1 の電極 4 と対向して形成され、振動膜 9（図 2 ( O ) を参照）を駆動するための電極の 1 つである。第 2 の電極 6 は、第 1 の電極 4 と同様な構成を持ち、第 1 の電極 4 と同様な方法で形成されてもよい。また、第 2 の電極 6 は、同じエレメント中の各セルにそれぞれ配されて導通するように形成されている。

#### 【 0 0 4 0 】

次に、図 2 ( M ) のように、絶縁膜 8 を形成する。絶縁膜 8 は、第 2 の電極 6 の上表面に接して全面に亘り、その役割の 1 つとして第 2 の電極 6 の絶縁・保護膜として働く。絶縁膜 8 の形成は、400 以下の温度で行うことが望ましい。絶縁膜 8 は、絶縁膜 7 と同様な構成を持ち、絶縁膜 7 と同様な方法で形成されてもよい。30

#### 【 0 0 4 1 】

次に、図 2 ( N ) のように、エッチホール 18 を形成して、犠牲層 17（図 2 ( M ) を参照）を除去する。エッチホール 18 は、絶縁膜 7 と絶縁膜 8 を貫通して、犠牲層 17 をエッティングするための開口である。エッチホール 18 の形成法としては、フォトリソグラフィーを含むエッティングマスク形成と、反応性イオンエッティングを含むドライエッティングまたは薬品を使用するウェットエッティングとを含む方法がある。犠牲層 17 の除去は、エッチホール 18 を介して、エッティング液あるいはエッティングガスを用いて行う。犠牲層 17 を除去すると、間隙 5 が形成される。

#### 【 0 0 4 2 】

次に、図 2 ( O ) のように、薄膜 19 を形成する。薄膜 19 は、エッチホール 18 を封止すると同時に、絶縁膜 7 と第 2 の電極 6 と絶縁膜 8 と合せて、間隙 5 の上部に振動可能な振動膜 9 を構成する。薄膜 19 は、エッチホール 18 を良好に封止すると共に、振動膜 9 の性能に合せて、材料と厚さ等が決められる。薄膜 19 の形成は、400 以下の温度で行うことが望ましい。絶縁膜である薄膜 19 は、絶縁膜 7 と同様な構成を持ち、絶縁膜 7 と同様な方法で形成されてもよい。必要に応じて、エッチホール 18 の封止に影響ない程度で薄膜 19 の厚さを薄くして、振動膜 9 の機械性能を調整する。40

#### 【 0 0 4 3 】

絶縁膜 7、第 2 の電極 6、絶縁膜 8 及び薄膜 19 からなる振動膜 9 は、1 GPa 以下の引張り応力を有することが望ましい。振動膜 9 は、圧縮応力を有する場合、スティッキン50

グあるいは座屈を引き起こし、大きく変形することがある。ここでステッキングとは、犠牲層 17 除去後に構造体である振動膜 9 が基板側の絶縁膜 16 に付着してしまうことである。一方、振動膜 9 は、大きな引張り応力を有する場合、破壊しやすいことがある。振動膜 9 が 1 GPa 以下の引張り応力を有するために、絶縁膜 7、第 2 の電極 6、絶縁膜 8 及び薄膜 19 のそれぞれの材料、膜厚、成膜条件及び成膜後の熱処理条件を設計する。

#### 【0044】

次に、図 2 (P) のように、基板 1 の第 1 表面 1a 側 (図 2 (A) を参照) にコンタクト穴 20 (20a と 20b を含む)、基板 1 の第 2 表面 1b 側 (図 2 (A) を参照) にコンタクト穴 21 をそれぞれ形成する。コンタクト穴 20a は、その外周の少なくとも一部が押え部材 3 の開口の内側に位置する。より望ましくは、コンタクト穴 20a は、完全に押え部材 3 の開口の内側に位置する。コンタクト穴 20、21 の形成法として、フォトリソグラフィーを含むエッチングマスク形成と、反応性イオンエッチングを含むドライエッチングまたは薬品を使用するウェットエッチングとを含む方法がある。

#### 【0045】

次に、図 2 (Q) のように、基板 1 の第 1 表面 1a 側において、接続配線 10 を形成し、基板 1 の第 2 表面 1b 側において、電極パッド 11、12 及び 22 を形成する。接続配線 10 は、コンタクト穴 20a、20b (図 2 (P) を参照) を介して第 2 の電極 6 と貫通配線 2-2 (図 2 (F) を参照) を接続する。基板 1 の第 2 表面 1b 側において、貫通配線 2-1 (図 2 (F) を参照) と接続する電極パッド 11、貫通配線 2-2 (図 2 (F) を参照) と接続する電極パッド 12 をそれぞれ形成する。また、基板 1 の第 2 表面 1b 側において、コンタクト穴 21 (図 2 (P) を参照) を介して、基板 1 と接続する電極パッド 22 を形成する。コンタクト穴 20a の外周の少なくとも一部が押え部材 3 の開口の内側に位置しているから、たとえ押え部材 3 の開口付近に膜変形があっても、第 2 の電極 6 と貫通配線 2-2 の終端とは確実に接続できる。接続配線 10 及び電極パッド 11、12、22 の形成法として、例えば、第 1 の電極 4 の形成法と同様であってもよい。

#### 【0046】

本実施形態では、第 1 の電極 4 と貫通配線 2-1 との接続は、図 2 (G) に示したように、第 1 の電極 4 の一部分 4a を、直接、貫通配線 2-1 の終端上に形成することによって行った。しかし、コンタクト穴 20 と接続配線 10 を利用して第 2 の電極 6 と貫通配線 2-2 とを接続するのと同様な手法で、第 1 の電極 4 と貫通配線 2-1 とを接続することも可能である。

#### 【0047】

以上の製造工程において、膜間の密着性向上や、絶縁性向上や相互拡散防止等のために、膜間にその効用ないし機能を有する膜を設ける。また、膜間の密着性向上のために、上の膜を成膜前に、下敷き膜の表面処理を行うことも有効である。表面処理によって、下敷き膜の表面が清浄化または活性化される。表面処理は、例えば、プラズマ処理や液体による処理がある。

#### 【0048】

次に、図示はしないが、静電容量型トランステューサを制御回路と接続する。接続は、電極パッド 11、12、22 を介して行う。接続の方法として、金属直接接合や、バンプ接合や、ACF 接合や、ワイヤボンディングなどの方法がある。静電容量型トランステューサを駆動する際、バイアス電圧を第 1 の電極 4 に印加し、信号印加または信号取り出し電極として第 2 の電極 6 を用いる。また、その逆でも構わない。必要に応じて、電極パッド 22 を介して基板 1 を接地して、信号ノイズを低減する。

#### 【0049】

以上のように、本実施形態の静電容量型トランステューサの製法によれば、振動膜がある基板表面において、貫通配線の終端が押え部材によって押えられている。よって、第 1 の実施形態で述べたような効果を奏することができる。

#### 【0050】

以下、より具体的な実施例を説明する。

10

20

30

40

50

(実施例 1 )

図 1 を用いて、実施例 1 の静電容量型トランスデューサの基本構成例を説明する。本実施例の静電容量型トランスデューサは、図 1 ( A ) に示すような構成を有する。基板 1 は、両面ミラー研磨の絶縁性ガラスで、表面粗さ  $R_a < 5 \text{ nm}$  である。基板 1 の厚さは  $180 \mu\text{m}$  である。貫通配線 2 は、Cu を主材料とする円柱状構造であり、基板 1 の第 1 面 1 a と第 2 面 1 b に露出している両終端の外周 2 b の直径が約  $30 \mu\text{m}$  である。

【 0 0 5 1 】

押え部材 3 は、基板 1 の第 1 面 1 a 側にある貫通配線 2 の終端を押えるように形成されている。図 1 ( A ) と図 1 ( B ) のように、押え部材 3 は円板形状であり、内周 3 a の直径が約  $20 \mu\text{m}$  、外周 3 b の直径が約  $50 \mu\text{m}$  、貫通配線 2 の終端とほぼ同じ中心を有する。外周 3 b と外周 2 b の間の領域において、押え部材 3 が基板 1 の第 1 面 1 a と密着している。外周 2 b と内周 3 a の間の領域において、押え部材 3 が貫通配線 2 の終端の一部を押えている。内周 3 a 以内の領域において、押え部材 3 が直径約  $20 \mu\text{m}$  の開口を持ち、貫通配線 2 の終端の一部 2 a を露出させている。

【 0 0 5 2 】

第 1 の電極 4 は、基板 1 の第 1 面 1 a 側に形成され、間隙 5 の下部の全域をカバーしている。また、第 1 の電極 4 は、貫通配線 2 の 1 つである 2 - 1 と接続され、さらに貫通配線 2 - 1 を通して基板 1 の第 2 面 1 b 側の電極パッド 1 1 と接続されている。第 1 の電極 4 として、 $5 \text{ nm}$  の Ti 膜と  $200 \text{ nm}$  のアルミ合金（主成分の Al に Si と Cu をそれぞれ少量混合した合金）膜が順番に基板 1 の第 1 面 1 a 上に形成されている。Ti 膜は、主に第 1 の電極 4 と基板 1 の第 1 面 1 a 間の密着性を向上させる役割をする。

【 0 0 5 3 】

第 2 の電極 6 は、間隙 5 を挟んで基板 1 の第 1 面 1 a 側に設けられている。電気的絶縁のため、第 2 の電極 6 は、絶縁膜 7 と絶縁膜 8 に挟まれて形成される。第 2 の電極 6 は、配線電極 1 0 によって、貫通配線 2 の 1 つである 2 - 2 と接続され、さらに貫通配線 2 - 2 を通して基板 1 の第 2 面 1 b 側の電極パッド 1 2 と接続されている。配線電極と貫通配線 2 - 2 の終端と接続する部分は、全部、押え部材 3 の開口の内側に位置し、第 2 の電極 6 と貫通配線 2 - 2 の終端とを確実に接続している。第 2 の電極 6 は、 $5 \text{ nm}$  の Ti 膜、 $200 \text{ nm}$  のアルミ合金（主成分の Al に Si と Cu をそれぞれ少量混合した合金）膜と  $5 \text{ nm}$  の Ti 膜を順番に積層して形成されている。Ti 膜は、主に第 2 の電極 6 と絶縁膜 7 及び絶縁膜 8 間の密着性向上、及び相互拡散防止の役割をする。

【 0 0 5 4 】

間隙 5 は、約直径  $30 \mu\text{m}$  、高さ  $150 \text{ nm}$  の円柱状構造となっている。絶縁膜 7 と絶縁膜 8 は、第 2 の電極 6 の絶縁・保護膜として機能する他に、第 2 の電極 6 と一緒にセルの振動膜 9 を構成する。絶縁膜 7 と絶縁膜 8 は、それぞれ、シリコンの窒化物からなる。絶縁膜 7 の厚さは  $200 \mu\text{m}$  で、絶縁膜 8 の厚さは  $400 \mu\text{m}$  である。絶縁膜 7 、第 2 の電極 6 及び絶縁膜 8 からなる振動膜 9 は、 $0.7 \text{ GPa}$  以下の引張り応力を有する。これは、絶縁膜 7 、第 2 の電極 6 及び絶縁膜 8 の成膜条件と成膜後の熱処理条件の調整によって実現されている。

【 0 0 5 5 】

配線電極 1 0 は、 $5 \text{ nm}$  の Ti 膜と  $200 \text{ nm}$  のアルミ合金（主成分の Al に Si と Cu をそれぞれ少量混合した合金）膜を順番に積層して形成されている。Ti 膜は、主に配線電極 1 0 と絶縁膜 7 及び絶縁膜 8 の間の密着性向上、及び相互拡散防止の役割をする。電極パッド 1 1 及び電極パッド 1 2 は、それぞれ、 $5 \text{ nm}$  の Cr 膜と  $200 \text{ nm}$  の Al 膜を順番に積層して形成されている。Cr 膜は、主に電極パッド 1 1 及び電極パッド 1 2 が、基板 1 の第 2 面 1 b 及び貫通配線 2 ( 2 - 1 と 2 - 2 を含む ) の終端と良い密着性を得るための役割をする。

【 0 0 5 6 】

図示はしないが、静電容量型トランスデューサは制御回路と接続されている。接続は、電極パッド 1 1 、 1 2 を介して、ACF 接合を利用している。静電容量型トランスデュー

10

20

30

40

50

サを駆動する際、バイアス電圧を第1の電極4に印加し、信号印加または信号取り出し電極として第2の電極6を用いている。

#### 【0057】

本実施例においても、第1の実施形態で述べたような効果を奏することができた。

#### 【0058】

##### (実施例2)

図2を用いて、実施例2の静電容量型トランステューサの製造方法例を説明する。まず、図2(A)のように、第1面1aと第2面1bを有する基板1を用意する。基板1は、両面ミラー研磨の低抵抗シリコンで、表面粗さRa<2nmで、抵抗率が0.01~cmである。基板1の厚さは200μmである。

10

#### 【0059】

次に、図2(B)のように、基板1において、第1面1aと第2面1bの間を貫通する貫通穴13を形成する。貫通穴13は、ほぼ円柱形状であり、基板1の第1面1aと第2面1bにおける開口の直径が約20μmである。貫通穴13の加工は、シリコンの深堀りRIE技術を用いて行う。深堀りRIEの後、貫通穴13の内壁13aを平滑化する。平滑化は、シリコンの熱酸化と熱酸化膜の除去を数回繰り返して実現する。次に、図2(C)のように、基板1の第1面1a、第2面1b及び貫通穴13の内壁13a(図2(B)を参照)を含む基板1の表面上に、絶縁膜14を形成する。絶縁膜14は、約1μm厚のシリコン酸化物であって、シリコンの熱酸化で形成する。

#### 【0060】

20

次に、図2(D)のように、絶縁膜14の表面に、更に絶縁膜15を形成する。絶縁膜15の役割の1つは、図2(E)で形成する貫通配線2の構成材料が絶縁膜14へ拡散することを防ぐバリア層として働く。絶縁膜15は、約100nm厚のシリコン窒化物であり、低圧CVD(LP-CVD: Low-Pressure-CVD)法で形成される。

#### 【0061】

次に、図2(E)のように、第1面1aと第2面1bの間を貫通する貫通配線2を、貫通穴13の中に形成する。貫通配線2は、Cuを主材料とし、貫通穴13の内部をほぼ充填している。貫通配線2の形成方法として、電解めっき及び研磨技術を用いる。具体的に、まず、基板1の第2面1bをシード層付き基板(図示なし)と密着させて、Cuの電解めっきを行う。めっき後、シード層付き基板を除去する。そして、基板1の第1面1aと第2面1bに対してCMPを行い、平坦化を実現する。CuのCMPの際、シリコン窒化物からなる絶縁膜15は、CuのCMPのストップ層となる。CuのCMPの後、絶縁膜15のCMPを行う。CMP後、基板1の第1面1aの表面粗さがRa<5nmである。また、貫通配線2の終端は基板1の第1面1a及び第2面1bに対して、それぞれ最大0.5μm程度窪むようになる。

30

#### 【0062】

次に、図2(F)のように、基板1の第1面1a側において、貫通配線2の終端を押える押え部材3を形成する。図2(F)と図1(B)のように、押え部材3は、内周3aの直径が約12μm、外周3bの直径が約30μmの円板であり、貫通配線2の終端とほぼ同じ中心を有する。外周3bと外周2bの間の領域において、押え部材3が基板1の第1面1aと絶縁膜14、15を介して密着している。外周2bと内周3aの間の領域において、押え部材3が貫通配線2の終端の一部を押えている。内周3a以内の領域において、貫通配線2の終端の一部2a(直径が約12μm)が露出している。押え部材3は、シリコンの酸化物で、厚さが約1μmである。シリコンの酸化物の成膜は、50以下の基板温度にてスパッタ法で行う。押え部材3のパターンの形成は、フォトリソグラフィーと反応性イオンエッチングを含む方法で行う。

40

#### 【0063】

次に、図2(G)のように、基板1の第1面1a側に第1の電極4を形成する。第1の電極4は、振動膜を駆動するための電極の1つである。第1の電極4は、間隙5の下部の全域をカバーし、振動膜9の振動部分の下部に位置する部分と貫通配線2の1つである2

50

- 1と接続する部分 4 aがある。第1の電極 4は、同じエレメント中の各セルに対して、導通するように形成されている。第1の電極 4として、5 nmのTi膜と200 nmのアルミ合金膜が順番に積層して形成されている。Ti膜は、主に第1の電極 4と下地との密着性を確保する役割をする。第1の電極 4は、金属のスパッタ成膜、フォトリソグラフィー、及び金属のドライエッチングを含む方法によって形成される。

#### 【0064】

次に、図2(H)のように、絶縁膜 16を形成する。絶縁膜 16は、第1の電極 4の表面を覆い、その役割の1つは第1の電極 4の絶縁・保護膜として働く。絶縁膜 16は、200 nm厚のシリコン酸化物の膜であって、約300 の基板温度でCVD法によって形成される。

10

#### 【0065】

次に、図2(I)のように、犠牲層 17を形成する。犠牲層 17は、セルの間隙 5を規定するためのもので、Crによって構成される。まず、Cr膜を電子ビーム蒸着法で形成する。そして、フォトリソグラフィーとウェットエッチングを含む方法で所望の形状に加工する。犠牲層 17は、約直径30 μm、高さ150 nmの円柱状構造に加工される。

#### 【0066】

次に、図2(J)のように、穴 16 aを形成する。穴 16 aは、第2の電極 6と貫通配線 2の1つである2-2と接続するための絶縁膜 16の開口である。穴 16 aは、直径が約15 μmの円形で、押え部材 3の開口 3 aとほぼ同じ中心を有する。

#### 【0067】

次に、図2(K)のように、絶縁膜 7を形成する。絶縁膜 7は、図2(L)で形成する第2の電極 6の下表面に接して全面に亘り、その役割の1つは第2の電極 6の絶縁・保護膜として働く。絶縁膜 7は、200 nm厚のシリコン窒化物である。シリコン窒化物の膜は、約300 の基板温度でPE-CVD(Plasma-Enhanced-CVD)によって成膜される。成膜時、成膜ガスの流量等を制御して、絶縁膜 7となるシリコン窒化物の膜が0.1 GPa程度の引張り応力を有するようとする。

20

#### 【0068】

次に、図2(L)のように、第2の電極 6を形成する。第2の電極 6は、振動膜の上において第1の電極 4と対向して形成され、振動膜 9を駆動するための電極の1つである。第2の電極 6は、第1の電極 4と同様な構成を持ち、第1の電極 4と同様な方法で形成される。また、第2の電極 6は、同じエレメント中の各セルに、それぞれ導通するように形成されている。第2の電極 6は、静電容量型トランステューサの製造が完成した時点で、0.4 GPa以下の引張り応力を有するように成膜条件が調整される。

30

次に、図2(M)のように、絶縁膜 8を形成する。絶縁膜 8は、第2の電極 6の上表面に接して全面に亘り、その役割の1つは第2の電極 6の絶縁・保護膜として働く。絶縁膜 8は、絶縁膜 7と同様な構成を持ち、絶縁膜 7と同様な方法で形成される。

#### 【0069】

次に、図2(N)のように、エッチホール 18を形成して、犠牲層 17を除去する。まず、エッチホール 18を形成する。エッチホール 18は、フォトリソグラフィーと反応性イオンエッチングを含む方法によって形成される。そして、エッチホール 18を介して、エッチング液の導入によって犠牲層 17を除去する。これによって、犠牲層 17と同じ形状の間隙 5が形成される。

40

#### 【0070】

次に、図2(O)のように、薄膜 19を形成する。薄膜 19は、エッチホール 18を封止すると共に、絶縁膜 7と第2の電極 6と絶縁膜 8と合せて、間隙 5の上部で振動可能な振動膜 9を構成する。薄膜 19は、300 nm厚のシリコン窒化物である。薄膜 19は、絶縁膜 7と同様、約300 の基板温度でPE-CVDによって成膜される。薄膜 19は、0.1 GPa程度の引張り応力を有する。このように形成された振動膜 9は、全体で0.7 GPa程度の引張り応力を有し、ステイキングあるいは座屈はなく、破壊しにくい。

50

## 【0071】

次に、図2(P)のように、基板1の第1表面1a側にコンタクト穴20(20aと20bを含む)、基板1の第2表面1b側にコンタクト穴21をそれぞれ形成する。コンタクト穴20aは、直径が10μm程度の円柱形状で、その外周が押え部材3の開口3aの内側に位置する。コンタクト穴20(20aと20bを含む)とコンタクト穴21は、フォトリソグラフィー、反応性イオンエッチングを含む方法によって形成される。

## 【0072】

次に、図2(Q)のように、接続配線10及び電極パッド11、12、22をそれぞれ形成する。基板1の第1表面1a側において、接続配線10を形成する。接続配線10は、コンタクト穴20a、20bを介して第2の電極6と貫通配線2の1つである2-2とを接続する。コンタクト穴20aの外周が押え部材3の開口の内側に位置しているから、たとえ押え部材3の開口付近に膜変形があっても、接続配線10は第2の電極6と貫通配線2-2の終端とは確実に接続される。基板1の第2表面1b側において、貫通配線2-1と接続する電極パッド11、貫通配線2-2と接続する電極パッド12を形成する。また、基板1の第2表面1b側において、コンタクト穴21を介して、基板1と接続する電極パッド22を形成する。接続配線10及び電極パッド11、12、22は、第1の電極4と同じ構成を持ち、第1の電極4と同じ方法によって形成される。

## 【0073】

以上の製造工程において、絶縁膜7、8、19の膜間密着性を向上するために、上の膜を成膜前に、下敷き膜の表面に対してプラズマ処理する。このプラズマ処理によって、下敷き膜の表面が清浄化または活性化される。次に、図示はしないが、静電容量型トランスデューサを制御回路と接続する。接続は、電極パッド11、12、22を介して行う。接続の方法として、ACF接合を用いる。静電容量型トランスデューサを駆動する際、バイアス電圧を第1の電極4に印加し、信号印加または信号取り出し電極として第2の電極6を用いる。電極パッド22を介して基板1を接地して、信号ノイズを低減する。

## 【0074】

以上のように、本実施例の静電容量型トランスデューサの製法によれば、振動膜がある基板表面において、貫通配線の終端が押え部材によって抑えられている。よって、第1の実施形態で述べたような効果を奏することができる。

## 【0075】

## (実施例3)

図3(a)は、光音響効果を利用した被検体情報取得装置の実施例を示したものである。光源2010から発振したパルス光は、レンズ、ミラー、光ファイバー等の光学部材2012を介して、被検体2014に照射される。被検体2014の内部にある光吸収体2016は、パルス光のエネルギーを吸収し、音響波である光音響波2018を発生する。プローブ(探触子)2022内の本発明の静電容量型トランスデューサ2020は、光音響波2018を受信して電気信号に変換し、信号処理部2024に出力する。信号処理部2024は、入力された電気信号に対して、A/D変換や増幅等の信号処理を行い、データ処理部2026へ出力する。データ処理部2026は、入力された信号を用いて被検体情報(光吸収係数などの被検体の光学特性値を反映した特性情報)を画像データとして取得する。ここでは、信号処理部2024とデータ処理部2026を含めて、処理部という。表示部2028は、データ処理部2026から入力された画像データに基づいて、画像を表示する。以上のように、本例の被検体の情報取得装置は、本発明の静電容量型のトランスデューサと、光源と、データ処理装置と、を有する。そして、該トランスデューサは、光源から発振した光が被検体に照射されることにより発生する光音響波を受信して電気信号に変換し、データ処理装置は、電気信号を用いて被検体の情報を取得する。

## 【0076】

図3(b)は、音響波の反射を利用した超音波エコー診断装置等の被検体情報取得装置を示したものである。プローブ(探触子)2122内の本発明の静電容量型トランスデューサ2120から被検体2114へ送信された音響波は、反射体2116により反射され

10

20

30

40

50

る。トランステューサ 2120 は、反射された音響波（反射波）2118 を受信して電気信号に変換し、信号処理部 2124 に出力する。信号処理部 2124 は、入力された電気信号に対して、A/D 変換や増幅等の信号処理を行い、データ処理部 2126 へ出力する。データ処理部 2126 は、入力された信号を用いて被検体情報（音響インピーダンスの違いを反映した特性情報）を画像データとして取得する。ここでも、信号処理部 2124 とデータ処理部 2126 を含めて、処理部という。表示部 2128 は、データ処理部 2126 から入力された画像データに基づいて、画像を表示する。以上のように、本例の被検体の情報取得装置は、本発明の静電容量型のトランステューサと、該トランステューサが出力する電気信号を用いて被検体の情報を取得する処理部と、を有し、該トランステューサは、被検体からの音響波を受信し、電気信号を出力する。

10

## 【0077】

なお、プローブは、機械的に走査するものであっても、医師や技師等のユーザが被検体に対して移動させるもの（ハンドヘルド型）であってもよい。また、図3(b)のように反射波を用いる装置の場合、音響波を送信するプローブは受信するプローブと別に設けてもよい。さらに、図3(a)と図3(b)の装置の機能をどちらも兼ね備えた装置とし、被検体の光学特性値を反映した被検体情報と、音響インピーダンスの違いを反映した被検体情報と、をどちらも取得するようにしてもよい。この場合、図3(a)のトランステューサ 2020 が光音響波の受信だけでなく、音響波の送信と反射波の受信を行うようにしてもよい。

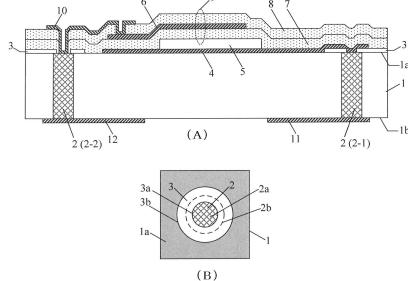
## 【符号の説明】

20

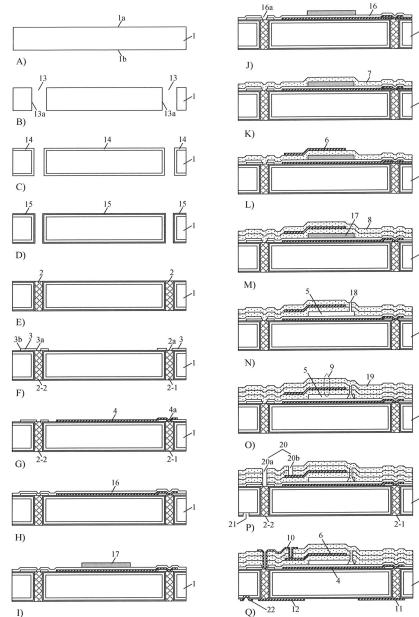
## 【0078】

1…基板、1a…基板の第1面、1b…基板の第2面、2…貫通配線、3…押え部材、4…第1の電極、5…間隙、6…第2の電極、9…振動膜

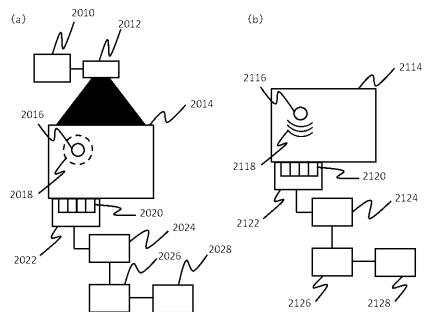
【図1】



【図2】



【図3】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-272956(JP,A)  
国際公開第2010/134302(WO,A2)  
米国特許出願公開第2012/0058587(US,A1)  
特開昭61-220600(JP,A)  
特開2011-108960(JP,A)  
特開2013-226391(JP,A)  
米国特許出願公開第2013/0255388(US,A1)  
米国特許出願公開第2004/0141421(US,A1)  
米国特許第06836020(US,B2)  
特開2007-215177(JP,A)  
米国特許出願公開第2007/0180916(US,A1)  
特開2012-099518(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04R 19/00  
H04R 31/00  
A61B 8/00 - 8/15