

(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 I			
<b>H04R</b>	<b>19/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H04R</b>	<b>19/00</b>	<b>330</b>
<b>A61B</b>	<b>8/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>A61B</b>	<b>8/00</b>	
<b>H04R</b>	<b>31/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H04R</b>	<b>31/00</b>	<b>330</b>

請求項の数 13 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-273672 (P2013-273672)	(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
(22) 出願日	平成25年12月28日(2013.12.28)	(74) 代理人	100086483 弁理士 加藤 一男
(65) 公開番号	特開2015-128271 (P2015-128271A)	(72) 発明者	王 詩男 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ ヤノン株式会社内
(43) 公開日	平成27年7月9日(2015.7.9)	(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 ヤノン株式会社内
審査請求日	平成28年12月26日(2016.12.26)	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デ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デ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デューサの作製方法。

【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に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デューサの作製方法。

【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デューサの作製方

10

20

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氣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氣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。

10

【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。

20

【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。

30

【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 12 に記載の被検体情報取得装置。

40

【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（CM

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、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望ましい。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】

40

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。

#### 【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。

【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 C M U T 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。

【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 1 a と第 2 面 1 b 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 1 a 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、100 μ m ~ 1000 μ m である。

【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 1 a 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 20 μ m ~ 100 μ m である。

【0014】

貫通配線 2 の押え部材 3 は、基板 1 の第 1 面 1 a 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 1 a 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 1 a 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

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。電氣的絶縁のため、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っても、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氣的に接続される。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側に電氣的に引き出されなくてもよく、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】

50

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  $10\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 、高さ  $50\ \text{nm} \sim 500\ \text{nm}$  の円柱に近い構造となっている。

#### 【0021】

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  $100\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$  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

#### 【0022】

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、 $1\ \text{GPa}$  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 がスティ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。ここでのスティッキングとは、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  $1\ \text{GPa}$  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

#### 【0023】

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氣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。

#### 【0024】

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

40

#### 【0025】

##### （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。

#### 【0026】

まず、図 2 (A) のように、対向する第 1 面 1 a と第 2 面 1 b 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

50

されている場合を例にする。基板 1 の厚さは、例えば、 $100\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ 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 1 a 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 1 a 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 1 a から第 2 面 1 b までを貫通する貫通穴 1 3 を形成する。貫通穴 1 3 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 1 3 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 1 3 はおよそ円柱であり、その直径が  $20\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$  である。貫通穴 1 3 の加工は、例えば、シリコンの深掘り反応性イオンエッチング ( R I E : R e a c t i v e - I o n - E t c h i n g ) 技術を用いて 10 行う。必要に応じて、基板 1 の第 1 面 1 a と第 2 面 1 b の両面からそれぞれ R I E 加工をする。また、必要に応じて、貫通穴 1 3 の内壁 1 3 a を平滑化し、内壁 1 3 a の表面粗さ  $R_{\text{max}}$  を  $R_{\text{max}} < 100\text{nm}$  にする。

#### 【0028】

次に、図 2 ( C ) のように、第 1 面 1 a、第 2 面 1 b 及び貫通穴 1 3 の内壁 1 3 a ( 図 2 ( B ) 参照 ) を含む基板 1 の表面上に、絶縁膜 1 4 を形成する。絶縁膜 1 4 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 1 4 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 1 4 の厚さは、例えば、 $0.1\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$  である。絶縁膜 1 4 の形成法は、例えば、熱酸化、化学気相堆積 ( C V D : C h e m i c a l - V a p o r - D e p o s i t i o n ) 、原子層堆積 ( A L D : A t o m i c - L a y e r - D e p o s i t i o n ) などの方法がある。絶縁膜 1 4 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 1 4 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 1 4 の表面に、更に絶縁膜 1 5 を形成する。絶縁膜 1 5 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 1 4 へ拡散することを防ぐバリア層として働く。絶縁膜 1 5 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 1 5 の厚さは、例えば、 $0.01\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$  である。絶縁膜 1 5 の形成は、例えば、C V D 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 1 a と第 2 面 1 b の間を貫通する貫通配線 2 を、貫通穴 1 3 ( 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 1 3 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 1 b ) 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 1 a と第 2 面 1 b 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 ( C M P : C h e m i c a l - M e c h a n i c a l - P o l i s h ) 法が好適である。C M P によって、基板 1 の第 1 面 1 a 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 C M P によって貫通配線 2 の端面と基板 1 の表面 1 a、1 b とをほぼ同一高さ ( レベル ) にする。このとき、絶縁膜 1 5 ( 例えば、シリコンの窒化物である ) は、Cu の C M P のストップ層となる。そして、必要に応じて、絶縁膜 1 5 の C M P を行い、基板 1 の第 1 面 1 a 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 つの元素に対して、2 つの貫通配線 2 を形成する。貫通穴 1 3 の数は、貫通配線 2 の数に対応するようにする。 50

## 【 0 0 3 2 】

次に、図 2 ( F ) のように、基板 1 の第 1 面 1 a 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 1 a 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 2 a 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

## 【 0 0 3 3 】

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、 $TiO_2$ )、イットリウム酸化物 (例えば、 $Y_2O_3$ )、アルミの酸化物 (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。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 1 a 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、 $100^\circ C$  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

## 【 0 0 3 4 】

次に、図 2 ( G ) のように、基板 1 の第 1 面 1 a 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 1 4 及び絶縁膜 1 5 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 4 a 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、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

## 【 0 0 3 5 】

次に、図 2 ( H ) のように、絶縁膜 1 6 を形成する。絶縁膜 1 6 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 1 6 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 1 6 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 1 6 の形成は、 $400^\circ C$  以下の温度で行うのが望ましい。絶縁膜 1 6 の形成方法として、例えば、化学気相堆積、原子層体積、スパッタなどがある。絶縁膜 1 6 は、単層膜でも、多層膜でもよい。また、必要に応じて、絶縁膜 1 6 の下に、密着層を形成してもよい。

40

## 【 0 0 3 6 】

次に、図 2 ( I ) のように、犠牲層 1 7 を形成する。犠牲層 1 7 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。

【0037】

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。

10

【0038】

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、 $400^\circ C$  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、原子層体積、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

【0039】

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。

【0040】

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、 $400^\circ C$  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

【0041】

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 をエッチ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。犠牲層 17 の除去は、エッチホール 18 を介して、エッチング液あるいはエッチ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。

【0042】

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、 $400^\circ C$  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

【0043】

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。ここでのスティッキングとは、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 1 a 側 (図 2 (A) を参照) にコンタクト穴 20 (20 a と 20 b を含む)、基板 1 の第 2 表面 1 b 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 20 a 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 20 a 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。

10

#### 【0045】

次に、図 2 (Q) のように、基板 1 の第 1 表面 1 a 側において、接続配線 10 を形成し、基板 1 の第 2 表面 1 b 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 20 a、20 b (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 1 b 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 1 b 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 20 a 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。

20

#### 【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 4 a 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。

30

#### 【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、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。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。

40

#### 【0049】

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。

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。

10

【 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。

20

【 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。電氣的絶縁のため、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。

30

【 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。

40

【 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

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デ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 $R_a < 2\text{ nm}$ で、抵抗率が $0.01\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ である。基板1の厚さは $200\text{ }\mu\text{m}$ である。

【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 $20\text{ }\mu\text{m}$ 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 $1\text{ }\mu\text{m}$ 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】

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 $100\text{ nm}$ 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 $R_a < 5\text{ nm}$ 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 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 程度窪むようになる。

【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 $12\text{ }\mu\text{m}$ 、外周3bの直径が約 $30\text{ }\mu\text{m}$ 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 $12\text{ }\mu\text{m}$ )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 $1\text{ }\mu\text{m}$ である。シリコンの酸化物の成膜は、 $50^\circ\text{C}$ 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。

【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

10

20

30

40

50

- 1と接続する部分4a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、5nmのTi膜と200nm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、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、200nm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30μm、高さ150nmの円柱状構造に加工される。

【0066】

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と接続するための絶縁膜16の開口である。穴16aは、直径が約15μmの円形で、押え部材3の開口3aとほぼ同じ中心を有する。

【0067】

20

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、200nm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0.1GPa程度の引張り応力を有するようにする。

【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デューサの製造が完成した時点で、0.4GPa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、300nm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、0.1GPa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0.7GPa程度の引張り応力を有し、スティッキングあるいは座屈はなく、破壊しにくい。

50

## 【 0 0 7 1 】

次に、図 2 ( P ) のように、基板 1 の第 1 表面 1 a 側にコンタクト穴 2 0 ( 2 0 a と 2 0 b を含む )、基板 1 の第 2 表面 1 b 側にコンタクト穴 2 1 をそれぞれ形成する。コンタクト穴 2 0 a は、直径が 1 0  $\mu$  m 程度の円柱形状で、その外周が押え部材 3 の開口 3 a の内側に位置する。コンタクト穴 2 0 ( 2 0 a と 2 0 b を含む ) とコンタクト穴 2 1 は、フォトリソグラフィ、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。

## 【 0 0 7 2 】

次に、図 2 ( Q ) のように、接続配線 1 0 及び電極パッド 1 1、1 2、2 2 をそれぞれ形成する。基板 1 の第 1 表面 1 a 側において、接続配線 1 0 を形成する。接続配線 1 0 は、コンタクト穴 2 0 a、2 0 b 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 2 0 a 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 1 0 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 1 b 側において、貫通配線 2 - 1 と接続する電極パッド 1 1、貫通配線 2 - 2 と接続する電極パッド 1 2 を形成する。また、基板 1 の第 2 表面 1 b 側において、コンタクト穴 2 1 を介して、基板 1 と接続する電極パッド 2 2 を形成する。接続配線 1 0 及び電極パッド 1 1、1 2、2 2 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。

## 【 0 0 7 3 】

以上の製造工程において、絶縁膜 7、8、1 9 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 1 1、1 2、2 2 を介して行う。接続の方法として、A C F 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 2 2 を介して基板 1 を接地して、信号ノイズを低減する。

## 【 0 0 7 4 】

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。

## 【 0 0 7 5 】

## ( 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 2 0 1 0 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 2 0 1 2 を介して、被検体 2 0 1 4 に照射される。被検体 2 0 1 4 の内部にある光吸収体 2 0 1 6 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 2 0 1 8 を発生する。プローブ ( 探触子 ) 2 0 2 2 内の本発明の静電容量型トランスデューサ 2 0 2 0 は、光音響波 2 0 1 8 を受信して電気信号に変換し、信号処理部 2 0 2 4 に出力する。信号処理部 2 0 2 4 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 2 0 2 6 へ出力する。データ処理部 2 0 2 6 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 2 0 2 4 とデータ処理部 2 0 2 6 を含めて、処理部という。表示部 2 0 2 8 は、データ処理部 2 0 2 6 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。

## 【 0 0 7 6 】

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 ) 2 1 2 2 内の本発明の静電容量型トランスデューサ 2 1 2 0 から被検体 2 1 1 4 へ送信された音響波は、反射体 2 1 1 6 により反射され

10

20

30

40

50

る。トランスデューサ 2 1 2 0 は、反射された音響波（反射波）2 1 1 8 を受信して電気信号に変換し、信号処理部 2 1 2 4 へ出力する。信号処理部 2 1 2 4 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 2 1 2 6 へ出力する。データ処理部 2 1 2 6 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 2 1 2 4 とデータ処理部 2 1 2 6 を含めて、処理部という。表示部 2 1 2 8 は、データ処理部 2 1 2 6 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、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、該トランスデューサは、被検体からの音響波を受信し、電気信号を出力する。

10

#### 【 0 0 7 7 】

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）のトランスデューサ 2 0 2 0 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。

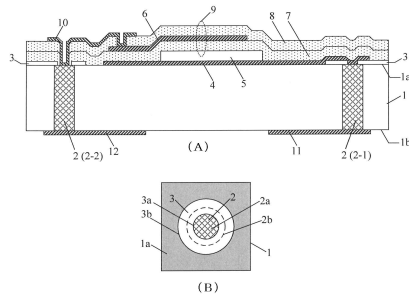
#### 【 符号の説明 】

20

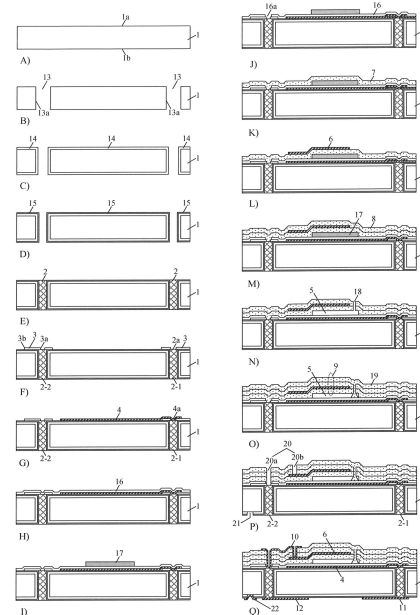
#### 【 0 0 7 8 】

1・・・基板、1 a・・・基板の第 1 面、1 b・・・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

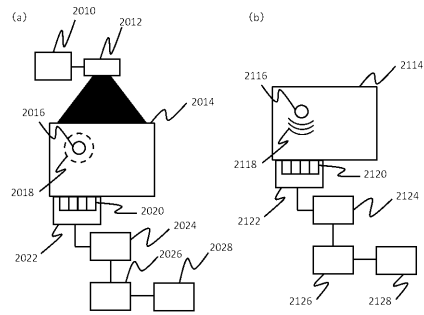
【 図 1 】



【 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