

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波トランスデューサー素子チップと、
前記超音波トランスデューサー素子チップを支持する筐体と、を備え、
前記超音波トランスデューサー素子チップは振動膜上に形成された金属膜と、
前記金属膜上に形成された圧電薄膜と、を備え、
前記金属膜は前記振動膜上に密着膜を介して積層されており、前記金属膜は白金または白金を含む合金であり、前記密着膜が膜厚 80 以下のチタンであることを特徴とする超音波プローブ。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波プローブに関するものである。

【背景技術】

【0002】

超音波プローブに設置された超音波トランスデューサー素子チップから生体に超音波を照射し反射波を解析する超音波診断装置が広く活用されている。超音波トランスデューサー素子チップには圧電素子が用いられることが多い。圧電素子は、一般に、多結晶体からなる圧電体薄膜と、この圧電体薄膜を間に挟んで配置される上電極及び下電極と、を備えた構造を有している。

20

【0003】

圧電体薄膜の下電極として SiO_2 上に直接白金膜が形成されている。しかしながら、このような構成とした場合、 SiO_2 と白金との密着性に問題があることは周知の事実である。PZT 膜形成時またはその後の熱処理時や、完成後の動作時に酸化珪素と白金の間に剥がれが生じる。特許文献 1 に以上の如き問題点を解決する方法が開示されている。それによると、 SiO_2 等の絶縁材料と白金との密着性を向上させるため、白金と絶縁材料の間にチタンが挿入されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

30

【特許文献 1】特公平 4 - 43435 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 に記載の方法では圧電体薄膜形成時やその後の熱処理時において白金表面に突起が生じる。この突起が圧電素子の耐電圧を低下させていた。そこで、振動板と白金との密着性が良く耐電圧の高い圧電素子を備えた超音波プローブが望まれていた。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上述の課題を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

40

【0007】

[適用例 1]

本適用例にかかる超音波プローブであって、超音波トランスデューサー素子チップと、前記超音波トランスデューサー素子チップを支持する筐体と、を備え、前記超音波トランスデューサー素子チップは振動膜上に形成された金属膜と、前記金属膜上に形成された圧電薄膜と、を備え、前記金属膜は前記振動膜上に密着膜を介して積層されており、前記金属膜は白金または白金を含む合金であり、前記密着膜が膜厚 80 以下のチタンであることを特徴とする。

【0008】

50

本適用例によれば、超音波プローブでは筐体が超音波トランスデューサー素子チップを支持している。超音波トランスデューサー素子チップは振動膜を備え、振動膜上に金属膜が形成されている。金属膜上には圧電薄膜が形成されている。そして、金属膜は白金または白金を含む合金であり、密着膜は膜厚 80 以下のチタンである。これにより、金属膜は振動膜との密着性を高めることができ、PZT 膜の耐電圧を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

- 【図1】第1の実施形態にかかわる超音波診断装置の構成を概略斜視図。
 【図2】超音波プローブの構成を示す組織側面図。
 【図3】素子チップの構成を示す模式平面図。 10
 【図4】素子チップの構成を示す模式側断面図。
 【図5】補強板を示す模式平面図。
 【図6】補強板を示す要部模式拡大図。
 【図7】装置端末及び超音波プローブの回路図。
 【図8】超音波トランスデューサー素子チップの製造方法を説明するための模式図。
 【図9】(a)は、保護治具の構成を示す模式分解図、(b)は、保護治具の構成を示す模式側断面図。
 【図10】振動板を積層構造とした素子チップの構成を示す模式側断面図。
 【図11】振動板を積層構造とした素子チップの構成を示す模式側断面図。
 【図12】第2の実施形態にかかわる超音波トランスデューサー素子チップの製造方法を説明するための模式図。 20
 【図13】超音波トランスデューサー素子チップの製造方法を説明するための模式図。
 【図14】第3の実施形態にかかわる素子チップの構成を示す模式平面図。
 【図15】(a)は、超音波トランスデューサー素子の構造を示す模式平面図、(b)は、超音波トランスデューサー素子の構造を示す要部模式側断面図。
 【図16】超音波トランスデューサー素子の構造を示す模式平面図。
 【図17】圧電素子の製造方法を説明する為の模式図。
 【図18】圧電素子の製造方法を説明する為の模式図。
 【図19】圧電素子の製造方法を説明する為の模式図。
 【図20】変形例にかかわる圧電素子の構造を示す要部模式断面図。 30
 【図21】圧電素子の構造を示す要部模式断面図。
 【図22】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。
 【図23】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。
 【図24】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。
 【図25】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。
 【図26】(a)は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b)は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。
 【図27】(a)は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b)は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。
 【図28】圧電素子の製造方法を説明する為の模式図。 40
 【図29】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。
 【図30】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。
 【図31】(a)は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b)は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。
 【図32】(a)は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b)及び(c)は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。
 【図33】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。
 【図34】(a)は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b)は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。
 【図35】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。 50

【図 3 6】(a) 及び (b) は圧電素子の構造を示す要部模式平面図。

【図 3 7】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。

【図 3 8】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。

【図 3 9】(a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b) 及び (c) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。

【図 4 0】圧電素子の構造を示す要部模式平面図。

【図 4 1】(a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。

【図 4 2】(a) 及び (b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。

【図 4 3】(a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。

10

【図 4 4】(a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。

【図 4 5】(a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図、(b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、添付図面を参照しつつ本発明の一実施形態を説明する。尚、以下に説明する本実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではなく、本実施形態で説明される構成の総てが本発明の解決手段として必須であるとは限らない。

20

(第1の実施形態)

本実施形態では、超音波診断装置の特徴的な例について図1～図11に従って説明する。

【0011】

(1) 超音波診断装置の全体構成

図1は超音波診断装置の構成を示す概略斜視図である。図1に示すように、超音波診断装置11は装置端末12と超音波プローブ13(プローブ)とを備える。装置端末12と超音波プローブ13とはケーブル14で相互に接続される。装置端末12と超音波プローブ13とはケーブル14を通じて電気信号をやりとりする。装置端末12にはディスプレイパネル15(表示装置)が組み込まれる。ディスプレイパネル15の画面は装置端末12の表面で露出する。装置端末12では、後述されるように、超音波プローブ13で検出された超音波に基づき画像が生成される。画像化された検出結果がディスプレイパネル15の画面に表示される。

30

【0012】

図2は超音波プローブの構成を示す組織側面図である。図2に示すように、超音波プローブ13は筐体16を有する。筐体16内には超音波トランスデューサー素子チップとしての素子チップ17が収容される。素子チップ17の表面は筐体16の表面で露出することができる。素子チップ17は表面から超音波を出力するとともに超音波の反射波を受信する。その他、超音波プローブ13は、プローブ本体13aに着脱可能に連結されるプローブヘッド13bを備えることができる。このとき、素子チップ17はプローブヘッド13bの筐体16内に組み込まれることができる。

40

【0013】

図3は素子チップの構成を示す模式平面図である。図3に示すように、素子チップ17は基板21を備える。基板21には素子アレイ22が形成される。素子アレイ22は超音波トランスデューサー素子としての圧電素子23の配列で構成される。配列は複数行複数列のマトリクスで形成される。個々の圧電素子23は圧電素子部を備える。圧電素子部は金属膜としての下部電極24、上部電極25及び圧電薄膜としての圧電体膜26で構成される。個々の圧電素子23ごとに下部電極24及び上部電極25の間に圧電体膜26が挟み込まれる。

【0014】

50

下部電極 2 4 は複数本の第 1 導電体 2 4 a を有する。第 1 導電体 2 4 a は配列の行方向に相互に平行に延びる。1 行の圧電素子 2 3 ごとに 1 本の第 1 導電体 2 4 a が割り当てられる。1 本の第 1 導電体 2 4 a は配列の行方向に並ぶ圧電素子 2 3 の圧電体膜 2 6 に共通に配置される。第 1 導電体 2 4 a の両端は一对の引き出し配線 2 7 にそれぞれ接続される。引き出し配線 2 7 は配列の列方向に相互に平行に延びる。したがって、総ての第 1 導電体 2 4 a は同一長さを有する。こうしてマトリクス全体の圧電素子 2 3 に共通に下部電極 2 4 は接続される。

【 0 0 1 5 】

上部電極 2 5 は複数本の第 2 導電体 2 5 a を有する。第 2 導電体 2 5 a は配列の列方向に相互に平行に延びる。1 列の圧電素子 2 3 ごとに 1 本の第 2 導電体 2 5 a が割り当てられる。1 本の第 2 導電体 2 5 a は配列の列方向に並ぶ圧電素子 2 3 の圧電体膜 2 6 に共通に配置される。列ごとに圧電素子 2 3 の通電は切り替えられる。こうした通電の切り替えに応じてラインスキャンやセクタスキャンは実現される。1 列の圧電素子 2 3 は同時に超音波を出力することから、1 列の個数すなわち配列の行数は超音波の出力レベルに応じて決定されることができる。行数は例えば 1 0 ~ 1 5 行程度に設定されればよい。図中では省略されて 5 行が描かれる。配列の列数はスキャンの範囲の広がりに応じて決定されることができる。列数は例えば 1 2 8 列や 2 5 6 列に設定されればよい。図中では省略されて 8 列が描かれる。その他、配列では千鳥配置が確立されてもよい。千鳥配置では偶数列の圧電素子 2 3 群は奇数列の圧電素子 2 3 群に対して行ピッチの 2 分の 1 でずらされればよい。奇数列及び偶数列の一方の素子数は他方の素子数に比べて 1 つ少なくてもよい。さらにまた、下部電極 2 4 及び上部電極 2 5 の役割は入れ替えられてもよい。すなわち、マトリクス全体の圧電素子 2 3 に共通に上部電極が接続される一方で、配列の列ごとに共通に圧電素子 2 3 に下部電極が接続されてもよい。

10

20

【 0 0 1 6 】

基板 2 1 の輪郭は、相互に平行な一对の直線 2 9 で仕切られて対向する第 1 辺 2 1 a 及び第 2 辺 2 1 b を有する。素子アレイ 2 2 の輪郭と基板 2 1 の外縁との間に広がる周縁領域 3 1 には、第 1 辺 2 1 a と素子アレイ 2 2 の輪郭との間に 1 ラインの第 1 端子アレイ 3 2 a が配置され、第 2 辺 2 1 b と素子アレイ 2 2 の輪郭との間に 1 ラインの第 2 端子アレイ 3 2 b が配置される。第 1 端子アレイ 3 2 a は第 1 辺 2 1 a に平行に 1 ラインを形成することができる。第 2 端子アレイ 3 2 b は第 2 辺 2 1 b に平行に 1 ラインを形成することができる。第 1 端子アレイ 3 2 a は一对の下部電極端子 3 3 及び複数の上部電極端子 3 4 で構成される。同様に、第 2 端子アレイ 3 2 b は一对の下部電極端子 3 5 及び複数の上部電極端子 3 6 で構成される。1 本の引き出し配線 2 7 の両端にそれぞれ下部電極端子 3 3、3 5 は接続される。引き出し配線 2 7 及び下部電極端子 3 3、3 5 は素子アレイ 2 2 を二等分する垂直面で対称に形成されればよい。1 本の第 2 導電体 2 5 a の両端にそれぞれ上部電極端子 3 4、3 6 は接続される。第 2 導電体 2 5 a 及び上部電極端子 3 4、3 6 は素子アレイ 2 2 を二等分する垂直面で対称に形成されればよい。ここでは、基板 2 1 の輪郭は矩形に形成される。基板 2 1 の輪郭は正方形であってもよく台形であってもよい。

30

40

【 0 0 1 7 】

基板 2 1 には第 1 フレキシブルプリント基板としての第 1 フレキ 3 7 が連結される。第 1 フレキ 3 7 は第 1 端子アレイ 3 2 a に覆い被さる。第 1 フレキ 3 7 の一端には下部電極端子 3 3 及び上部電極端子 3 4 に個別に対応して導電線すなわち第 1 信号線 3 8 が形成される。第 1 信号線 3 8 は下部電極端子 3 3 及び上部電極端子 3 4 に個別に向き合わせられ個別に接合される。同様に、基板 2 1 には第 2 フレキシブルプリント基板としての第 2 フレキ 4 1 が覆い被さる。第 2 フレキ 4 1 は第 2 端子アレイ 3 2 b に覆い被さる。第 2 フレキ 4 1 の一端には下部電極端子 3 5 及び上部電極端子 3 6 に個別に対応して導電線すなわち第 2 信号線 4 2 が形成される。第 2 信号線 4 2 は下部電極端子 3 5 及び上部電極端子 3 6 に個別に向き合わせられ個別に接合される。

【 0 0 1 8 】

50

図4は素子チップの構成を示す模式側断面図である。図4に示すように、個々の圧電素子23は振動膜43を有する。振動膜43の構築にあたって基板21の基体44には個々の圧電素子23ごとに開口45が形成される。開口45は基体44に対してアレイ状に配置される。基体44の表面には可撓膜46が一面に形成される。可撓膜46は、基体44の表面に積層される酸化シリコン層47(SiO_2)と、酸化シリコン層47の表面に積層される上面層48とで構成される。上面層48は窒化珪素の膜や酸化ジルコニウム(ZrO_2)を用いることができる。本実施形態では例えば、上面層48に窒化珪素を用いている。上面層48がなくても振動膜43に弾性が得られるときには上面層48を省略しても良い。可撓膜46は開口45に接する。こうして開口45の輪郭に対応して可撓膜46の一部が振動膜43として機能する。酸化シリコン層47の膜厚は共振周波数に基づき決定される。

10

【0019】

振動膜43の表面に下部電極24、圧電体膜26及び上部電極25が順番に積層される。下部電極24には例えばチタン(Ti)、イリジウム(Ir)、白金(Pt)及びチタン(Ti)の積層膜やプラチナの膜を用いられることができる。本実施形態では例えば、下部電極24に白金膜が用いられ、下部電極24と上面層48との間に密着膜24bが設置されている。密着膜24bにはチタン膜が用いられている。従って、上面層48の上には密着膜24bと下部電極24との積層膜が設置されている。そして、下部電極24は白金または白金を含む合金であり、密着膜24bは膜厚80以下のチタンである。チタンは白金を含む多種の金属と接合性の良い金属である。これにより、下部電極24は可撓膜46との密着性を高めることができる。

20

【0020】

圧電体膜26は例えばジルコン酸チタン酸鉛(PZT)で形成されることが出来る。上部電極25は例えばイリジウム(Ir)や白金(Pt)、チタン、金またはこれらが複合した膜が用いられることができる。本実施形態では例えば、上部電極25にチタンと金との積層膜が用いられている。下部電極24及び上部電極25にはその他の導電材が利用されてもよく、圧電体膜26にはその他の圧電材料が用いられてもよい。ここでは、上部電極25の下で圧電体膜26は完全に下部電極24を覆う。圧電体膜26の働きで上部電極25と下部電極24との間で短絡は回避されることが出来る。

30

【0021】

基板21の表面には保護膜49が積層される。保護膜49は例えば全面にわたって基板21の表面に覆い被さる。その結果、素子アレイ22や第1端子アレイ32a及び第2端子アレイ32b、第1フレキ37及び第2フレキ41は保護膜49で覆われる。保護膜49には例えばシリコーン樹脂膜が用いられることができる。保護膜49は、素子アレイ22の構造や、第1端子アレイ32a及び第1フレキ37の接合、第2端子アレイ32b及び第2フレキ41の接合を保護する。

【0022】

隣接する開口45同士の間には仕切り壁51が区画される。開口45同士は仕切り壁51で仕切られる。仕切り壁51の壁厚みtは開口45の空間同士の間隔に相当する。仕切り壁51は相互に平行に広がる平面内に2つの壁面を規定する。壁厚みtは壁面同士の距離に相当する。すなわち、壁厚みtは壁面に直交して壁面同士の間隔に挟まれる垂線の長さで規定されることが出来る。仕切り壁51の壁高さHは開口45の深さに相当する。開口45の深さは基体44の厚みに相当する。したがって、仕切り壁51の壁高さHは基体44の厚み方向に規定される壁面の長さで規定されることが出来る。基体44は均一な厚みを有することから、仕切り壁51は全長にわたって一定の壁高さHを有することが出来る。仕切り壁51の壁厚みtが縮小されれば、振動膜43の配置密度は高められ、素子チップ17の小型化に寄与することが出来る。壁厚みtに比べて仕切り壁51の壁高さHが大きければ、素子チップ17の曲げ剛性は高められることが出来る。こうして開口45同士の間隔は開口45の深さよりも小さく設定される。

40

【0023】

50

基体 4 4 の裏面には補強板 5 2 (補強部材) が固定される。補強板 5 2 の表面に基体 4 4 の裏面が重ねられる。補強板 5 2 は素子チップ 1 7 の裏面で開口 4 5 を閉じる。補強板 5 2 はリジッドな基材を備えることができる。補強板 5 2 は例えばシリコン基板から形成されることができる。基体 4 4 の板厚は例えば 1 0 0 μm 程度に設定され、補強板 5 2 の板厚は例えば 1 0 0 ~ 1 5 0 μm 程度に設定される。ここでは、仕切り壁 5 1 は補強板 5 2 に結合される。補強板 5 2 は個々の仕切り壁 5 1 に少なくとも 1 カ所の接合域で接合される。接合には接着剤を用いてもよい。

【 0 0 2 4 】

補強板 5 2 の表面には直線状の溝 5 3 (直線状溝部) が形成される。溝 5 3 は補強板 5 2 の表面を複数の平面 5 4 に分割する。複数の平面 5 4 は 1 つの仮想平面 H P 内で広がる。その仮想平面 H P 内で基体 4 4 の裏面は広がる。仕切り壁 5 1 は平面 5 4 に接合される。溝 5 3 は仮想平面 H P から窪む。溝 5 3 の断面形状は四角形であってもよく三角形であってもよく半円形その他の形状であってもよい。

10

【 0 0 2 5 】

図 5 は補強板を示す模式平面図である。図 5 に示すように、開口 4 5 は第 1 方向 D 1 に列を形成する。開口 4 5 の輪郭形状の図心 4 5 b は第 1 方向 D 1 の 1 直線 5 6 上で等ピッチに配置される。開口 4 5 の輪郭 4 5 a は 1 つの形状の複写で象られることから、同一形状の開口 4 5 が一定のピッチで繰り返し配置される。開口 4 5 の輪郭 4 5 a は例えば四角形に規定される。具体的には矩形に形成される。矩形の長辺は第 1 方向 D 1 に合わせ込まれる。こうして開口 4 5 は矩形の輪郭 4 5 a を有することから、仕切り壁 5 1 は全長にわたって一定の壁厚み t を有することができる。このとき、仕切り壁 5 1 の接合域は長辺の中央位置を含む領域であればよい。特に、仕切り壁 5 1 の接合域は長辺の全長を含む領域であればよい。仕切り壁 5 1 は長辺の全長にわたって開口 4 5 同士の間で補強板 5 2 に面接合されることができる。さらに、仕切り壁 5 1 の接合域は四角形の各辺に少なくとも 1 カ所ずつ配置されることができる。仕切り壁 5 1 は四角形の全周にわたって開口 4 5 同士の間で補強板 5 2 に面接合されることができる。

20

【 0 0 2 6 】

溝 5 3 は一定の間隔 L で相互に平行に第 1 方向 D 1 に並べられる。溝 5 3 は第 1 方向 D 1 に交差する第 2 方向 D 2 に延びる。溝 5 3 の両端は補強板 5 2 の端面 5 7 a 及び端面 5 7 b で開口する。1 本の溝 5 3 は 1 列 (ここでは 1 行) の開口 4 5 の輪郭 4 5 a を順番に横切る。個々の開口 4 5 には少なくとも 1 本の溝 5 3 が接続される。ここでは、第 2 方向 D 2 は第 1 方向 D 1 に直交する。したがって、溝 5 3 は矩形の短辺方向に開口 4 5 の輪郭 4 5 a を横切る。

30

【 0 0 2 7 】

図 6 は補強板を示す要部模式拡大図である。図 6 に示すように、平面 5 4 同士の間で溝 5 3 は基体 4 4 と補強板 5 2 との間に通路 5 8 a 及び通路 5 8 b を形成する。こうして溝 5 3 内の空間は開口 4 5 の内部空間に連通する。通路 5 8 a 及び通路 5 8 b は開口 4 5 の内部空間と基板 2 1 の外部空間との間で通気を確保する。基板 2 1 の表面に直交する方向すなわち基板 2 1 の厚み方向から見た平面視で、1 本の溝 5 3 は 1 列 (ここでは 1 行) の開口 4 5 の輪郭 4 5 a を順番に横切ることから、次々に開口 4 5 同士は通路 5 8 a で接続される。溝 5 3 の両端は補強板 5 2 の端面 5 7 a 及び端面 5 7 b で開口する。こうして列端の開口 4 5 から基板 2 1 の輪郭の外側に通路 5 8 b は開放される。

40

【 0 0 2 8 】

溝 5 3 の間隔 L は開口 4 5 の開口幅 S よりも小さく設定される。開口幅 S は、溝 5 3 の並び方向すなわち第 1 方向 D 1 に開口 4 5 を横切る線分のうち最大の長さのもので規定される。言い換えると、開口幅 S は、開口 4 5 の輪郭 4 5 a に外接する平行線 5 9 同士の間隔に相当する。開口 4 5 ごとに開口 4 5 の輪郭 4 5 a に外接する平行線 5 9 は特定される。平行線 5 9 は第 2 方向 D 2 に延びる。仮に開口 4 5 ごとに開口幅 S が相互に相違する場合には、開口幅 S の最小値よりも小さい間隔 L で溝 5 3 は並べられればよい。ここでは、

50

溝 5 3 の間隔 L は、開口 4 5 の開口幅 S の 3 分の 1 以上であって 2 分の 1 よりも小さく設定される。

【 0 0 2 9 】

(2) 超音波診断装置の回路構成

図 7 は装置端末及び超音波プローブの回路図である。図 7 に示されるように、超音波プローブ 1 3 には素子チップ 1 7 と接続する集積回路チップ 5 5 が設置されている。集積回路チップ 5 5 はマルチプレクサー 6 1 及び送受信回路 6 2 を備える。マルチプレクサー 6 1 は素子チップ 1 7 側のポート群 6 1 a と送受信回路 6 2 側のポート群 6 1 b とを備える。素子チップ 1 7 側のポート群 6 1 a には第 1 配線 6 0 経由で第 1 信号線 3 8 及び第 2 信号線 4 2 が接続される。こうしてポート群 6 1 a は素子アレイ 2 2 に繋がる。ここでは、送受信回路 6 2 側のポート群 6 1 b には集積回路チップ 5 5 内の規定数の信号線 6 3 が接続される。規定数はスキャンにあたって同時に出力される圧電素子 2 3 の列数に相当する。マルチプレクサー 6 1 はケーブル 1 4 側のポートと素子チップ 1 7 側のポートとの間で相互接続を管理する。

10

【 0 0 3 0 】

送受信回路 6 2 は規定数の切り替えスイッチ 6 4 を備える。個々の切り替えスイッチ 6 4 はそれぞれ信号線 6 3 に接続される。送受信回路 6 2 は個々の切り替えスイッチ 6 4 ごとに送信経路 6 5 及び受信経路 6 6 を備える。切り替えスイッチ 6 4 には送信経路 6 5 と受信経路 6 6 とが並列に接続される。切り替えスイッチ 6 4 はマルチプレクサー 6 1 に選択的に送信経路 6 5 または受信経路 6 6 を接続する。送信経路 6 5 にはパルサー 6 7 が組み込まれる。パルサー 6 7 は振動膜 4 3 の共振周波数に応じた周波数でパルス信号を出力する。受信経路 6 6 にはアンプ 6 8、ローパスフィルター 6 9 (L P F) 及びアナログデジタル変換器 7 1 (A D C) が組み込まれる。個々の圧電素子 2 3 の検出信号は増幅されてデジタル信号に変換される。

20

【 0 0 3 1 】

送受信回路 6 2 は駆動 / 受信回路 7 2 を備える。送信経路 6 5 及び受信経路 6 6 は駆動 / 受信回路 7 2 に接続される。駆動 / 受信回路 7 2 はスキャンの形態に応じて同時にパルサー 6 7 を制御する。駆動 / 受信回路 7 2 はスキャンの形態に応じて検出信号のデジタル信号を受信する。駆動 / 受信回路 7 2 は制御線 7 3 によりマルチプレクサー 6 1 に接続される。マルチプレクサー 6 1 は駆動 / 受信回路 7 2 から供給される制御信号に基づき相互接続の管理を実施する。

30

【 0 0 3 2 】

装置端末 1 2 には処理回路 7 4 が組み込まれる。処理回路 7 4 は例えば中央演算処理装置 (C P U) やメモリーを備えることができる。超音波診断装置 1 1 の全体動作は処理回路 7 4 の処理に従って制御される。ユーザーから入力される指示に応じて処理回路 7 4 は駆動 / 受信回路 7 2 を制御する。処理回路 7 4 は圧電素子 2 3 の検出信号に応じて画像を生成する。画像は描画データで特定される。

【 0 0 3 3 】

装置端末 1 2 には描画回路 7 5 が組み込まれる。描画回路 7 5 は処理回路 7 4 に接続される。描画回路 7 5 にはディスプレイパネル 1 5 が接続される。描画回路 7 5 は処理回路 7 4 で生成された描画データに応じて駆動信号を生成する。駆動信号はディスプレイパネル 1 5 に送り込まれる。その結果、ディスプレイパネル 1 5 に画像が映し出される。

40

【 0 0 3 4 】

(3) 超音波診断装置の動作

次に超音波診断装置 1 1 の動作を簡単に説明する。処理回路 7 4 は駆動 / 受信回路 7 2 に超音波の送信及び受信を指示する。駆動 / 受信回路 7 2 はマルチプレクサー 6 1 に制御信号を供給するとともに個々のパルサー 6 7 に駆動信号を供給する。パルサー 6 7 は駆動信号の供給に応じてパルス信号を出力する。マルチプレクサー 6 1 は制御信号の指示に従ってポート群 6 1 b のポートにポート群 6 1 a のポートを接続する。ポートの選択に応じて下部電極端子 3 3、下部電極端子 3 5、上部電極端子 3 4 及び上部電極端子 3 6 を通じ

50

て列ごとにパルス信号が圧電素子 2 3 に供給される。パルス信号の供給に応じて振動膜 4 3 は振動する。その結果、対象物（例えば人体の内部）に向けて所望の超音波が発せられる。

【 0 0 3 5 】

超音波の送信後、切り替えスイッチ 6 4 が切り替えられる。マルチプレクサー 6 1 はポートの接続関係を維持する。切り替えスイッチ 6 4 は送信経路 6 5 及び信号線 6 3 の接続に代えて受信経路 6 6 及び信号線 6 3 の接続を確立する。超音波の反射波は振動膜 4 3 を振動させる。その結果、圧電素子 2 3 から検出信号が出力される。検出信号はデジタル信号に変換されて駆動 / 受信回路 7 2 に送り込まれる。

【 0 0 3 6 】

超音波の送信及び受信は繰り返される。繰り返しにあたってマルチプレクサー 6 1 はポートの接続関係を変更する。その結果、ラインスキャンやセクタースキャンが実現される。スキャンが完了すると、処理回路 7 4 は検出信号のデジタル信号に基づき画像を形成する。形成された画像はディスプレイパネル 1 5 の画面に表示される。

【 0 0 3 7 】

(4) 超音波トランスデューサー素子チップの製造方法

図 8 は超音波トランスデューサー素子チップの製造方法を説明するための模式図である。図 8 (a) に示すように、面方位 (1 1 0) の単結晶珪素により基体 4 4 を 1 2 0 0 で熱酸化し、基体 4 4 の両面に酸化シリコン層 4 7 を厚み 5 0 0 0 形成する。そして、基体 4 4 の片面に上面層 4 8 を形成する。上面層 4 8 は、例えば窒化珪素を PECVD 法 (プラズマ化学気相成長法) により厚み 1 μ m に形成し、窒素雰囲気中 8 0 0 で熱処理を行い形成する。更に、基体 4 4 の両面にフォトレジストを形成し、上面層 4 8 を設けた側と反対側の表面に開口部を設け、酸化シリコン層 4 7 を弗酸と弗化アンモニウムの水溶液でパターニングし、開口部 7 7 を形成する。この時開口部 7 7 の奥行き方向、すなわち紙面に垂直な方向を < 1 - 1 2 > または < - 1 1 2 > 方向としておく。

【 0 0 3 8 】

図 8 (b) に示すように、上面層 4 8 上に密着膜 2 4 b 及び下部電極 2 4 を形成する。スパッタリング法でチタンを厚み 5 0 、白金を厚み 2 0 0 0 と、この順に形成し、そのパターニングを王水の水溶液で行う。次に、圧電体膜 2 6 として P Z T を厚み 3 μ m にスパッタリング形成し、塩酸の水溶液でパターニングする。次に、圧電体膜 2 6 を形成する。ニオブを混入した変性 P Z T に酸化鉛を過剰に加えた焼結体ターゲットを用いて、アルゴン雰囲気中基板加熱なしで高周波スパッタリングを行い P Z T の膜を形成した。次に、P Z T の膜をパターニング後、酸素雰囲気中 7 0 0 にて加熱処理を行って圧電体膜 2 6 を形成する。続いて、上部電極 2 5 をスパッタリング法でチタンを厚み 5 0 、金を厚み 2 0 0 0 と、この順に形成し、ヨウ素とヨウ化カリウムの水溶液でパターニングする。

【 0 0 3 9 】

その後、保護膜 4 9 を感光性ポリイミドで厚み 2 μ m に形成し、図示しない電極取り出し部の保護膜を現像により取り除き、4 0 0 で熱処理を行う。次に、保護膜 4 9 を形成した圧電素子側の面を治具により保護する。続いて、基体 4 4 を水酸化カリウム水溶液に浸せきし、酸化シリコン層 4 7 の開口部 7 7 から単結晶珪素基板である基体 4 4 の一部を除去して異方性エッチングを行う。

【 0 0 4 0 】

その結果、図 8 (c) に示すように開口 4 5 が形成される。この時単結晶珪素基板である基体 4 4 の面方位が (1 1 0) である。紙面に垂直な方向が開口 4 5 の奥行き方向とする。開口 4 5 の奥行き方向が < 1 - 1 2 > または < - 1 1 2 > 方向であるから、開口 4 5 の奥行き方向の辺を形成する側壁の面を (1 1 1) 面とすることができる。水酸化カリウム水溶液を用いた場合、単結晶珪素の (1 1 0) 面と (1 1 1) 面のエッチングレート比は 3 0 0 : 1 程度である。従って、3 0 0 μ m の深さの溝をサイドエッチング 1 μ m 程度に抑えて形成することができ、開口 4 5 が形成される。

10

20

30

40

50

【0041】

尚、保護膜49を付けない状態で開口45を形成した後、再び酸素雰囲気中700にて熱処理を行うようにし、更に保護膜を形成するようにしてもよい。これは、圧電体膜26(PZT膜)に対して2度の熱処理を行うことにより、圧電特性をさらに向上させることができるためである。この効果の詳細な理由は明確ではないが、圧電膜を構成するPZTの焼結が進んでその結晶粒径が大きくなり、その結果圧電ひずみ定数が上昇するものと推定される。

【0042】

図9(a)は、保護治具の構成を示す模式分解図であり、図9(b)は、保護治具の構成を示す模式側断面図である。保護治具78は基体44を異方性エッチングする時に圧電素子23側の面を保護するための治具である。

10

【0043】

図9に示すように、保護治具78は片側に開口部を有し、その内壁面にネジ山が切られた有底円筒状の固定枠79に、リング80、基体44、リング80の順にはめ込み、その外壁面にネジ山が切られた固定リング81を固定枠79の内壁にねじ込み、固定する構成となっている。この時、基体44のエッチングを行う側の面を固定枠79の開口部側にしておく。図9(b)に示される状態で水酸化カリウム水溶液等のエッチング液に浸せきされる。この時、固定リング81、リング80、及び基体44のエッチングを行う面とで封じられるため、エッチング液は基体44の圧電素子側へ回り込まないようにすることができる。治具の素材としては、例えばポリプロピレンを用いることができる。

20

【0044】

圧電素子を形成した後、この側の面を保護する手段を設けて、反対側の面から開口45を形成する製造方法としたことにより、薄い振動板及びPZTを用いても歩溜まり良く素子チップ17が形成可能となる。本実施例においては、圧電素子側の面を保護する手段は治具によるものであるが、その手段はこれに限定されることなく、フォトレジストを厚く塗布する等、他の手段を用いても良い。

【0045】

(実施例1)

次に、開口・電極の寸法、圧電膜の厚み・寸法、振動板の厚み等の関係について述べる。

30

本発明者らはまず、開口45、下部電極24、PZTによる圧電体膜26、上部電極25の平面的な位置関係を設定した。

【0046】

まず、下部電極24と圧電体膜26、上部電極25に関して、前記製造工程に従って上電極形成工程まで行い評価してみた。

【0047】

下部電極24より上部電極25が大きい場合と、その逆で上部電極25より下部電極24が大きい場合とを比べてみると、前者は上下電極間のリーク電流が2桁程度後者に比べて多くなることがわかった。これは、下電極端部におけるPZT膜のリーク電流が大きいことによるものと考えられる。

40

【0048】

更に、上部電極25より下部電極24が大きい場合において、圧電体膜26が下部電極24より大きい場合と、圧電体膜26が下部電極24より小さい場合においては、前者は圧電体膜26端部が下地の振動膜43からめくれ上がってしまったのに対し、後者は膜剥がれ等なく形成できた。これは、圧電体膜26と振動膜43の密着性が不十分であるためと考えられた。従って、以上の結果から、上部電極25 圧電体膜26 < 下部電極24の大小関係とする。

【0049】

すなわち、第1方向D1における上部電極25の長さを L_u 、圧電体膜26の長さを L_p 、下部電極24の長さを L_1 とした場合、 $L_u > L_p < L_1$ 、という大小関係にする。

50

第2方向D2における上部電極25の長さを W_u 、圧電体膜26の長さを W_p 、下部電極24の長さを W_1 とした場合、 $W_u = W_p < W_1$ という大小関係にする。これにより、製造プロセス上の問題がなく、かつリーク電流が抑えられた圧電素子23を構成することができた。

【0050】

次に、前記 $L_u = L_p < L_1$ という条件のもとで、第1方向D1の開口45の長さLとの関係について、開口45の中央部における振動膜43の変形量を調べることにより最適化実験を行った。尚、振動膜43、下部電極24、圧電体膜26、上部電極25の材料、厚みは前述のものとした。そして、第1方向D1の辺の中央に圧電素子23の中央を配置し、左右対称となるようにした。また下部電極24と上部電極25との間の印加電圧は30Vとした。 $L = 100 \mu\text{m}$ 固定とし、 L_u 、 L_p 、 L_1 をそれぞれ変えたときの結果を以下の表1に示す。

10

【0051】

【表1】

$L_u (\mu\text{m})$	$L_p (\mu\text{m})$	$L_1 (\mu\text{m})$	変形量 (μm)
106	112	118	0
82	112	118	0.5
82	88	118	0.7
82	88	94	0.7

20

【0052】

以上の表1に示されるように、配列方向における、開口45と圧電体膜26や下部電極24の大小関係は、振動膜43の変形量にはあまり影響を与えない。しかし、開口45と上部電極25の大小関係は、振動膜43の変形量に影響を与える。

【0053】

表1の上段に示すように、開口45の長さLより上部電極25の長さ L_u が大きいとき、振動膜43の変形量は小さい。表1の2～4段に示すように、開口45の長さLより上部電極25の長さ L_u が小さいとき、振動膜43の変形量が大きくなる。この結果により、圧電素子23の変形部分が開口45の内部に収まるようにすれば、効率的に振動膜43を変形させることができるものと考えられる。そのような状態にする平面的な位置関係は、第1方向D1において、開口45の長さ $L >$ 上部電極25の長さ L_u である。

30

【0054】

(実施例2)

振動膜43の材料についての知見を得るため、図8(c)の構造において、振動膜43の材料を変え、開口45の中央部における振動膜43の変形量を調べた。下部電極24は全くパターニングを行わず、基体44全面に存在する構成とした。条件としては、第1方向D1の開口45の長さ $L = 100 \mu\text{m}$ 、圧電体膜26の長さを $L_p = 94 \mu\text{m}$ 、上部電極25の長さを $L_u = 88 \mu\text{m}$ 、第2方向D2の開口45の長さを $W = 15 \text{mm}$ 、圧電体膜26の厚みを $t_p = 3 \mu\text{m}$ 、振動膜43の厚み $t_v = 1 \mu\text{m}$ で上下電極間の印加電圧は30Vとした。

40

【0055】

振動膜43の材料としては、上述の実施例1で使用した窒素珪素に加え、熱酸化法により形成した酸化珪素、ホウ素を 10^{21}cm^{-3} 熱拡散させた珪素、スパッタリング法により形成した酸化ジルコニウム、及び酸化アルミニウムの5種類を用いた。結果を以下の表2に示す。

【0056】

【表 2】

振動板材料	ヤング率 ($\times 10^{11} \text{N/m}^2$)	変形量 (μm)
酸化珪素	0.7	0.2
珪素	1.7	0.5
酸化ジルコニウム	2.7	0.6
窒化珪素	3.1	0.7
酸化アルミニウム	3.9	0.9

10

【0057】

以下の結果により、振動膜 43 のヤング率が大きいほど振動膜 43 の変形量は大きくなる。これは、振動膜 43 のヤング率が小さいと、振動膜 43 が横方向に変形する時、同時に横方向に大きく伸びてしまい、縦方向への変形がそれほど大きくなることを示しているものである。効率的に振動膜 43 を変形させ、超音波は発信させるためには、ヤング率の大きな振動膜 43 を用いることが必要である。

【0058】

以上の結果によれば、振動板材料として、ヤング率の大きい酸化ジルコニウム、窒素珪素、酸化アルミニウムが望ましいことがわかる。この他に、窒化チタン、窒化アルミニウム、窒化ホウ素、窒化タンタル、窒化タングステン、窒化ジルコニウム、炭化珪素、炭化チタン、炭化タングステン、炭化タンタルは、ヤング率が $2 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ 以上であり、望ましい振動膜 43 の材料といえる。

20

【0059】

更に、前記材料を主成分として他の成分が添加されていても良いし、前記材料を 2 種類以上含んだ材料でもよい。例えば、炭化タングステンが主成分で、炭化チタン、炭化タルタル、コバルトを微量添加した超硬合金や、炭化チタンや炭化窒化チタンを主成分とし、不純物を微量添加してサーメットを振動膜 43 に用いて良い。

【0060】

(実施例 3)

図 10 は、振動板を積層構造とした素子チップの構成を示す模式側断面図である。図 10 に示すように、基体 44 上に酸化シリコン層 47、窒化珪素層 82、酸化珪素層 83 が積層されている。窒化珪素層 82 はヤング率が $1 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ 以上、望ましくは $2 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ 以上の材料層であり、前記実施例 1 と同様の窒化珪素の層である。酸化珪素層 83 は、窒化珪素層 82 を形成した PECVD 装置において、窒化珪素層 82 を形成した後に連続形成した。これ以外の要素は実施例 1 と同様である。酸化シリコン層 47、窒化珪素層 82 及び酸化珪素層 83 により振動膜 84 が構成されている。

30

【0061】

酸化珪素層 83 を設けることにより、下部電極 24 と振動膜 84 との密着性が強化された。また、製造プロセス中の熱処理時に起こる圧電体膜 26 に加わる応力を緩和することができるので、製造歩留まりを向上することが可能である。窒化珪素層 82 を $1 \mu \text{m}$ 、酸化珪素層 83 を 1000 \AA としたときの振動膜 84 の振動特性は、実施例 1 と変わらず、酸化珪素層 83 を設けることによる振動膜 84 の振動特性の低下はなかった。

40

【0062】

本実施例は、圧電体膜 26 形成時またはそれ以降の処理温度を $710 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下として適用するのが望ましい。これは、圧電体膜 26 中の鉛が下部電極 24 を通って振動膜 84 の酸化珪素層 83 へ拡散することによるものである。通常、酸化珪素はこの温度領域では固体状態であるが、鉛が拡散された酸化珪素は $714 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上で液体となってしまう、これが外部に噴出して素子チップ 17 を破壊してしまうためである。

【0063】

50

(実施例4)

図11は、振動板を積層構造とした素子チップの構成を示す模式側断面図である。本実施例が実施例3と異なる点は酸化珪素層83と下部電極24の間に酸化アルミニウム層85が挿入されている点である。

【0064】

図11に示すように、窒化珪素層82、酸化珪素層83の上に、酸化アルミニウム層85をスパッタリング法により厚み1000で形成し、その上部から下部電極24を形成する。それ以外は実施例3と同様である。酸化シリコン層47、窒化珪素層82、酸化珪素層83及び酸化アルミニウム層85により振動膜86が構成されている。

【0065】

酸化アルミニウム層85を形成することにより、上記実施例3中において述べたPZT中の鉛の振動板への拡散が抑えられる。このことにより、710以上の高温熱処理を行っても、酸化珪素層83の外部噴出による素子チップ17の破壊を防止することができ、素子チップ17の製造歩留まりを向上させることができる。更には、710以上の高温かつ効率的な熱処理が可能となるため、圧電体膜26の圧電特性を一層向上させることが可能となり、圧電素子23の振動特性の向上を図ることができる。

【0066】

酸化アルミニウム層85を設けたことによる効果は他の材料を用いても得られることが判明した。実験の結果、上記酸化アルミニウム以外では、酸化ジルコニウム、酸化錫、酸化亜鉛、酸化チタンを用いてもその効果は同様に確認された。また、これらを主成分とし添加物を加えた材料や、これらの材料を2種類以上含むものを主成分とする材料も同様に適用可能である。さらに、この効果は、表面に酸化珪素層を設けた振動膜の構成のみならず、ホウ素を混入した単結晶珪素振動膜においても確認された。

【0067】

(実施例5)

本発明者らは、下部電極24の構成を決定するため、以下の実験を行なった。

【0068】

酸化珪素層を設けた単結晶珪素基板の上に、下部電極24としてチタンと白金をスパッタリング法でこの順に連続形成した。白金の厚みは2000、チタンの厚みは50から1000まで変化させた。尚、チタンは電極材料の白金と振動板材料の酸化珪素層との密着性を高めるために必要なものである。

【0069】

その上から、実施例1中に示す方法でPZTを膜厚1 μ mに形成し、酸素雰囲気中で600の熱処理を4時間行い、更に上部電極としてアルミニウムを3mm角の大きさにマスク蒸着して形成した。

【0070】

このサンプルにおいて、上下電極間に電圧を印加し、圧電体膜26の耐電圧特性を評価した。ここで、圧電体膜26の耐電圧の定義としては、リーク電流が100nA流れたときの印加電圧とした。その結果を表3に示す。

【0071】

10

20

30

40

【表 3】

チタン膜厚 (Å)	耐電圧 (V)
1000	8
200	14
100	18
80	30
50	50

10

【0072】

以上の結果により、チタン膜厚と圧電体膜 26 の耐電圧には相関関係があり、チタン膜厚が薄くなれば耐電圧が増すことがわかる。また、発明者らの観測によれば、白金表面に微妙な突起が生じていて、この突起の密度がチタン膜厚を厚くすると共に大きくなっていた。例えば、チタン 50 においては 20000 個 / mm² 程度であったものが、チタン 200 においては 210000 個 / mm² 程度となっていることが観測された。このことから、熱処理によって形成される白金表面の微小な突起が、圧電体膜 26 の耐電圧を低下させているものと考えられる。

【0073】

チタン膜厚を 100 から 80 に下げることにより、PZT 膜の耐電圧は 18 V から 30 V へと大きく向上した。圧電体膜 26 の耐電圧が向上すれば、印加電圧を高くすることができるようになり、圧電素子 23 における、振動特性を向上させることが可能となる。また、圧電体膜 26 を薄くした状態においても振動膜 43 の振動が可能となり、製造上の生産性も向上させることが可能となる。

20

【0074】

この耐電圧値としては、10 V 以下では実用には耐えられず、20 V 程度でもまだ不十分であるが、20 V を大きく超えれば実用領域とみなすことができる。上記の実験結果によると、チタン膜厚が 80 以下になると PZT 膜の耐電圧が格段に向上しているのがわかる。従って、チタン膜厚を 80 以下とすることが望ましく、本発明者らは、上述した実施例においてもチタン膜厚を 50 としている。

30

【0075】

以上の本実施例においては、厚み 80 以下のチタン上に設ける下部電極 24 の材料を白金としているが、これは、白金を含む合金としてよい。本発明者らは酸化珪素層を設けた単結晶珪素基板にチタンを 50、更に白金 70 at% - イリジウム 30 at% の合金をスパッタリング法で連続形成し、酸素雰囲気中で 600 の熱処理を 4 時間行なってみた、熱処理後のこの合金表面を 800 倍で顕微鏡観察してみたところ、前記表面の微小突起は全く観察されなかった。前記実施例と同様に PZT 膜を形成し耐電圧の測定したところ、70 V という結果が得られ、更に特性の向上がみられた。

【0076】

また、振動膜 43 の材料としても酸化珪素層を設けた単結晶珪素に限られたわけではなく、上述した実施例で挙げられた材料であれば適用可能である。

40

【0077】

(発明の効果)

以上説明したように、素子チップ 17 では、密着膜として膜厚 80 以下のチタンが用いられている。これにより、下部電極 24 は振動膜 43 との密着性を高めることができ、圧電体膜 26 の耐電圧を向上させることができる。従って、素子チップ 17 は超音波を発信する超音波プローブ 13 に好適に用いられる。

【0078】

(第 2 の実施形態)

50

次に、圧電素子の一実施形態について図12を用いて説明する。本実施形態が第1の実施形態と異なるところは、下部電極24と圧電体膜26との間にチタンの層を設置した点にある。尚、第1の実施形態と同じ点については説明を省略する。以下、製造工程に従って圧電素子を詳細に説明する。

【0079】

図12は、超音波トランスデューサー素子チップの製造方法を説明するための模式図である。尚、この模式図において、紙面に垂直な方向が開口の奥行き方向となる。

【0080】

図12(a)に示すように、面方位が(110)の単結晶珪素による基体44を1200で熱酸化し、基体44の両面に酸化シリコン層47を厚み5000形成する。そして、基体44の片面からホウ素を1000で酸化シリコン層47の下部に位置する基体44に拡散させる。これにより、単結晶珪素である基体44にホウ素が拡散した振動膜89が形成される。振動膜89の厚みは1 μ m、ホウ素の濃度は10²⁰cm⁻³(ホウ素の原子数を1cm³当たり10²⁰個)とした。更に、基体44の両面にフォトレジストを形成し、振動膜89を設けた側と反対側のフォトレジストをパターニングしてマスクを成形する。そして、酸化シリコン層47を弗酸と弗化アンモニウムの水溶液でパターニングし、開口部77を形成する。次に、フォトレジストを剥離する。開口部77の奥行き方向、すなわち紙面に垂直な方向を、 $\langle 1 - 1 2 \rangle$ 、または、 $\langle -1 1 2 \rangle$ 方向としておく。続いて、基体44の振動膜89側に酸素を含有したタンタル層93、下部電極90、酸素を含有したチタン層94、圧電体膜91をこの順に積層する。振動膜89側の酸化シリコン層47上に金属タンタルを600積層してタンタル層93とする。次に、下部電極90として密着層にチタンを50、さらに白金を2000積層する。続いて、50の厚みのチタン層94をスパッタリング法で形成する。

10

20

【0081】

図12(b)に示すように、次に、下部電極90及びチタン層94をフォトリソ法及びエッチング法を用いて所定の形状にパターニングする。更に圧電体膜91を厚み3 μ mに、組成Pb_{0.95}Sr_{0.05}Zr_{0.28}Ti_{0.35}Mg_{0.123}Nb_{0.247}O₃(90mol%) + PbO(10mol%)で示される焼結体ターゲットを用いて、アルゴン雰囲気中基板加熱なしで高周波スパッタリング成膜を行う。次に、酸素雰囲気中6501時間+9001時間アニールを行う。以上の工程により、酸素を含有したタンタル層93、下部電極90、酸素を含有したチタン層94、圧電体膜91を形成した。実際、酸素雰囲気中6501時間+9001時間のアニールを行った後、下部電極90の上部に圧電体膜91が存在しない部分をX線回折法で分析したところ、二酸化チタンの結晶からの回折線が観測され、二酸化チタンを含有するチタン層94が存在することが確認された。

30

【0082】

そして、圧電体膜91をホウ弗酸水溶液、下部電極90を王水水溶液でパターニングする。次に、圧電体膜91上に上部電極92を設置する。スパッタリング法でチタンを厚み50、金を厚み2000と、この順に形成し、ヨウ素とヨウ化カリウムの水溶液でパターニングする。続いて、保護膜49を感光性ポリイミドで厚み2 μ mに形成し、図示しない電極取り出し部の保護膜を現像により取り除き、400で熱処理を行う。

40

【0083】

図12(c)に示すように、保護膜49を形成した圧電素子側の面を治具により保護し、水酸化カリウム水溶液に浸せきする。酸化シリコン層47の開口部77から単結晶珪素の基体44の異方性エッチングを行い、開口45を形成する。この時単結晶珪素の基体44の面方位が(110)であり、更に開口部77の奥行き方向が、 $\langle 1 - 1 2 \rangle$ 、または、 $\langle -1 1 2 \rangle$ 方向であるから、開口45の奥行き方向の辺を形成する側壁の面を(111)面とすることができる。水酸化カリウム水溶液を用いた場合、単結晶珪素の(110)面と(111)面のエッチングレートの比は300:1程度となり、300 μ mの深さの溝をサイドエッチング1 μ m程度に抑えて形成することができ、開口45が形成される。以上の工程により圧電素子95が形成される。

50

【 0 0 8 4 】

上記実施例の素子チップにおいて、下部電極 9 0 上にスパッタリング成膜する金属チタンの厚みを変えてみた。上記製造工程において、酸素雰囲気中 6 5 0 1 時間 + 9 0 0 1 時間のアニールまでを行い、目視、金属顕微鏡、走査電子顕微鏡 (S E M) により、観察を行った。その結果を表 4 に示す。

【 0 0 8 5 】

【表 4】

Ti厚み (Å)	観察結果
0	PZTと下電極間の剥離
50	浮き、剥離なし
100	//
200	PZT下部に空洞

10

【 0 0 8 6 】

以上の結果により、下部電極 9 0 上に二酸化チタンを含有するチタン層 9 4 を形成することにより、圧電体膜 9 1 と下部電極 9 0 間の密着性が向上し、剥離現象がなくなったことがわかる。また、金属チタンの厚みが 2 0 0 の場合、P Z T 下部に空洞が生じているが、これは、アニール時に圧電体膜 9 1 中の酸化鉛と酸素を含有するチタン層 9 4 が反応して液化することに起因するものと考えられる。従って、二酸化チタンを含有するチタン層 9 4 の厚みはあまり厚くない方が望ましい。金属チタンを酸素雰囲気中 6 5 0 1 時間 + 9 0 0 1 時間のアニールを行った場合、その膜厚はアニール前の倍程度となることが本発明者の S E M 観察により確認されているため、二酸化チタンを含有するチタン層 9 4 の厚みとしては 2 0 0 以下であることが望ましい。

20

【 0 0 8 7 】

この、酸素を含有するチタン層 9 4 は、酸素を含有するチタン合金、例えば、チタン - タンタル合金、チタン - ニッケル合金、チタン - 白金合金等であっても良い。

【 0 0 8 8 】

また、圧電素子 9 5 の構成要素や材料も上記実施例中のものに限定されるものではない。例えば、圧電体膜 9 1 の厚みをさらに大きくすることも可能であるし、またその材料も特定組成の P Z T に限定されることなく、組成比や、添加物の種類を変えても良いし、それらの多層構造でも良いし、また P Z T に限らず鉛を含有する材料、例えばチタン酸鉛を用いて良い。またその製法もゾルゲル法等、他の方法を用いて良い。下部電極 9 0 も密着層にクロム、ニッケル、タングステン等を用いて良いし、白金層を白金 - ロジウム合金や白金 - イリジウム合金、白金 - チタン合金等を用いて良い。また、酸素を含有するタンタル層 9 3 を化学気相成長 (C V D) 法や、酸化物ターゲットを用いたスパッタリング法でいきなり形成しても良い。さらにその層中に低価数の酸化物、例えば 2 酸化タンタル層等を含んでいても良い。

30

40

【 0 0 8 9 】

また、圧電歪み定数 d_{31} は、下部電極 9 0 上に二酸化チタンを含有するチタン層 9 4 がない場合の圧電体膜 9 1 が 1 5 0 p C / N であったのに対し、下部電極 9 0 上に二酸化チタンを含有するチタン層 9 4 を設けた場合の圧電体膜 9 1 は 1 7 0 p C / N と大きくなり、後者を用いた場合の振動膜 8 9 の振動特性も向上した。尚、圧電体膜 9 1 は、酸素雰囲気中 6 5 0 1 時間 + 9 0 0 1 時間アニール後における上記組成による P Z T によるものである。従って、二酸化チタンを含有するチタン層 9 4 を設けることにより、圧電歪み定数 d_{31} が大きくなり、振動膜 8 9 の振動特性も向上するという、当初考えてもみなかった効果まで出現した。

【 0 0 9 0 】

50

(変形例 1)

次に、圧電素子の一変形例について図 1 3 を用いて説明する。本変形例が第 2 の実施形態と異なるところは、振動膜 8 9 に酸化ジルコニウムを用いた点にある。尚、第 2 の実施形態と同じ点については説明を省略する。以下、製造工程に従って圧電素子を詳細に説明する。

【0091】

図 1 3 は、超音波トランスデューサー素子チップの製造方法を説明するための模式図である。図 1 3 (a) に示すように、面方位 (1 1 0) の単結晶珪素による基体 4 4 の両面に酸化シリコン層 4 7 を形成する。その後、片面の酸化シリコン層 4 7 のパターニングを行い、開口 4 5 を形成するための開口部 7 7 を形成する。この工程と同時に、開口部 7 7 と反対側の面の酸化シリコン層 4 7 を除去する。

10

【0092】

図 1 3 (b) に示すように、酸化シリコン層 4 7 を除去した面の全面に金属ジルコニウムの膜を形成し、熱酸化する。これにより酸化ジルコニウムによる振動膜 9 6 が形成される。酸化ジルコニウムによる振動膜 9 6 は前記の珪素による振動膜 8 9 に比べ、ヤング率が大きい。従って、圧電体膜 9 1 に同じ電圧を印加したときの開口 4 5 上の振動膜 9 6 の変形量や発生圧力は、酸化ジルコニウムを用いた場合の方が振動膜 8 9 より大きい。従って振動膜 9 6 の振動特性も良い。

【0093】

振動膜 9 6 の材料としては、通常酸化ジルコニウム (ジルコニア) のみならず、イットリウム等が添加された安定化ジルコニア、さらにはアルミナ、窒化アルミニウム、窒化ジルコニウム等を用いて良く、また、それらの積層構造で振動膜 9 6 を形成しても良い。

20

【0094】

図 1 3 (c) に示すように、振動膜 9 6 上に、下部電極 9 0、チタン層 9 4、圧電体膜 9 1、上部電極 9 2 及び保護膜 4 9 を設置して圧電素子 9 7 が形成される。

【0095】

(発明の効果)

以上説明したように、本発明による素子チップは、下部電極 9 0 の上部に二酸化チタンを含有したチタンまたはチタンを含有する合金層であるチタン層 9 4 を設けた。望ましくはチタン層 9 4 の厚みを 2 0 0 以下とすることにより、下部電極 9 0 と圧電体膜 9 1 との密着性を改善することができた。

30

【0096】

(第 3 の実施形態)

次に、素子チップの一実施形態について図 1 4 ~ 図 4 5 を用いて説明する。本実施形態が第 1 の実施形態と異なるところは、圧電素子 2 3 の圧電体膜 2 6 には歪が生じる圧電体能動部と歪が生じない圧電体非能動部とが存在する点にある。尚、第 1 の実施形態と同じ点については説明を省略する。以下、製造工程に従って圧電素子を詳細に説明する。

【0097】

図 1 4 は素子チップの構造を示す模式平面図である。図 1 4 に示すように、素子チップ 1 0 0 は四角形の基体 1 0 1 を備えている。基体 1 0 1 の外周の一边は第 1 方向 D 1 に延在し、別の一边は第 2 方向 D 2 に延在する。基体 1 0 1 上には第 2 方向 D 2 に延在する下部電極 1 0 2 及び配線用下電極膜 1 0 3 が設置されている。そして、下部電極 1 0 2 と配線用下電極膜 1 0 3 とを跨いで圧電素子 1 0 4 が設置されている。下部電極 1 0 2 に沿って第 2 方向 D 2 に 7 個の圧電素子 1 0 4 が配列して設置されている。そして、圧電素子 1 0 4 の配列は第 1 方向 D 1 に 3 列設置されている。従って、素子チップ 1 0 0 には 2 1 個の圧電素子 1 0 4 が設置されている。尚、1 つの素子チップ 1 0 0 に設置される圧電素子 1 0 4 の個数は特に限定されない。

40

【0098】

図 1 5 (a) は、超音波トランスデューサー素子の構造を示す模式平面図であり、図 1 5 (b) は、超音波トランスデューサー素子の構造を示す要部模式側断面図である。図 1

50

6は、超音波トランスデューサー素子の構造を示す模式平面図である。

【0099】

図15に示すように、基体101には圧電素子104毎に開口105が形成されている。基体101上には弾性膜108が設置されている。弾性膜108は熱酸化により形成した二酸化シリコンからなる厚さ1~2 μm の膜である。弾性膜108上には下部電極102及び配線用下電極膜103が設置されている。下部電極102の厚さは例えば、約0.5 μm である。圧電素子104を構成する下部電極102は、並設された複数の開口105に対向する領域に連続的に設けられている。下部電極102は開口105の長手方向一端部近傍でパターンングされている。この下部電極102の端部が圧電体能動部106の端部となっている。また、開口105の長手方向他端部の端部近傍に対向する領域には配線用下電極膜103が、各開口105毎に設けられている。配線用下電極膜103は開口105に対向する領域から周壁上に亘って設置され、下部電極102とは不連続となっている。配線用下電極膜103は圧電素子104の配線として用いられる。

10

【0100】

下部電極102と配線用下電極膜103の間隔、及び各配線用下電極膜103の間隔は、少なくともそれぞれの絶縁強度を保持可能な程度の狭い幅で形成されていることが好ましい。

【0101】

下部電極102及び配線用下電極膜103上には圧電体膜107が設置され、圧電体膜107上には上部電極109が設置されている。圧電体膜107の厚さは例えば、約1 μm である。上部電極109の厚さは例えば、約0.1 μm である。

20

【0102】

圧電素子104は、下部電極102、圧電体膜107、及び上部電極109を含む部分をいう。一般的には、圧電素子104の何れか一方の電極を共通電極とし、他方の電極及び圧電体膜107を各開口105毎にパターンングして構成する。そして、ここではパターンングされた何れか一方の電極及び圧電体膜107から構成され、両電極への電圧の印加により圧電歪みが生じる部分を圧電体能動部106という。本実施形態では、下部電極102は圧電素子104の共通電極とし、上部電極109を圧電素子104の個別電極としているが、駆動回路や配線の都合でこれを逆にしても支障はない。何れの場合においても、各開口105毎に圧電体能動部が形成されていることになる。また、ここでは、圧電素子104と当該圧電素子104の駆動により変位が生じる振動板とを合わせて圧電アクチュエーターと称する。

30

【0103】

圧電体膜107及び上部電極109は、開口105に対向する領域に設けられている。上部電極109の一端部は配線用下電極膜103上まで延設されている。そして、リード電極110によって上部電極109と配線用下電極膜103とが接続されている。また、この配線用下電極膜103の形状は、特に限定されないが、図16に示すように、少なくとも開口105の縁部を覆って形成されていることが好ましい。これにより、弾性膜108の剛性が高く保持され、弾性膜108のクラックの発生等を防止することができる。

【0104】

図15に戻って、このような構成では下部電極102と下部電極102上に存在する圧電体膜107及び上部電極109が圧電体能動部106を構成する。下部電極102が設置されていない場所の圧電素子104は実質的に駆動されない圧電体非能動部111となっている。従って、圧電体非能動部111は開口105の長手方向端部から連続的に設けられ配線用下電極膜103と対向する場所も含まれている。

40

【0105】

したがって、開口105と周壁との境界部の一部に位置する部分の圧電素子104が、圧電体能動部106への電圧印加によっても駆動されることがない圧電体非能動部111となっている。このため、開口105の長手方向端部での圧電体膜107等の剥がれ、繰返し変位によるクラックの発生等の虞がない。また、圧電体膜107及び上部電極109

50

が配線用下電極膜 103 上まで延設されているので、コンタクトホールを形成する必要がなくなる。すなわち、上部電極 109 上にコンタクトホールを設ける絶縁体膜を形成する必要がなくなる。したがって、圧電体能動部 106 の絶縁体膜の厚さに起因する変位低下がなくなる。また、製造工程を減らすことができ、コストの削減等が可能となる。

【0106】

次に、シリコン単結晶基板からなる基体 101 上に、圧電体膜等を形成するプロセスを図 17 ~ 図 19 を参照しながら説明する。尚、図 17 ~ 図 19 は、圧電素子の製造方法を説明する為の模式図である。図 17 及び図 19 は第 2 方向 D2 方向の模式断面図であり、図 18 は、第 1 方向 D1 方向の模式断面図である。

【0107】

まず、図 17 (a) に示すように、基体 101 となるシリコン単結晶基板のウェハを約 1100 の拡散炉で熱酸化して二酸化シリコンからなる弾性膜 108 を形成する。

【0108】

次に、図 17 (b) に示すように、スパッタリングで下部電極 102 を形成する。下部電極 102 の材料としては、白金等が好適である。これは、スパッタリング法やゾル-ゲル法で成膜する圧電体膜 107 は、成膜後に大気雰囲気下または酸素雰囲気下で 600 ~ 1000 程度の温度で焼成して結晶化させる必要があるからである。すなわち、下部電極 102 の材料は、このような高温、酸化雰囲気下で導電性を保持できなければならない。殊に、圧電体膜 107 としてチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) を用いた場合には、酸化鉛の拡散による導電性の変化が少ないことが望ましく、これらの理由から白金が好適である。

【0109】

次に、図 17 (c) 及び図 18 に示すように、下部電極 102 をパターンニングして全体パターンを形成すると共に、各開口 105 毎の長手方向一端部近傍に対応する領域に、それぞれ開口 105 に対向する領域から周壁上まで延設される配線用下電極膜 103 を形成する。

【0110】

次に、図 17 (d) に示すように、圧電体膜 107 を成膜する。この圧電体膜 107 は、結晶が配向していることが好ましい。例えば、本実施形態では、金属有機物を触媒に溶解・分散したいわゆるゾルを塗布乾燥してゲル化し、さらに高温で焼成することで金属酸化物からなる圧電体膜 107 を得る、いわゆるゾル-ゲル法を用いて形成することにより、結晶が配向している圧電体膜 107 とした。

【0111】

圧電体膜 107 を形成する工程において非晶質状の薄膜を加熱し結晶化させる工程またはこの工程の後に設けた熱処理工程のいずれかの工程において、水 100 % の雰囲気下で、700 の温度下、かつ、200 気圧以下の圧力下で処理する処理工程を含んでいるのが好ましい。

【0112】

ゾルゲル法成膜の PZT 薄膜において、脱脂時の雰囲気に水を含ませることにより、PZT 薄膜中の酸素量の制御が可能となる。そして、酸素欠損の少ない酸化物 PZT 薄膜の形成が可能となる。また、脱脂時の雰囲気に水を含ませることにより、脱脂時やその後の PZT 薄膜にかかる応力を緩和することができると考えられる。このためクラックの発生を抑えることができる。また酸化物セラミック薄膜の結晶化を水中において水熱処理で行うので、薄膜その他の材料に影響を与えない。このため広い材料選択ができ、低コストで環境に影響を与えない製造方法を提供できる。

【0113】

圧電体膜 107 の材料としてはチタン酸ジルコン酸鉛系の材料が好適である。尚、この圧電体膜 107 の成膜方法は、特に限定されず、例えば、スパッタリング法で形成してもよい。

【0114】

10

20

30

40

50

さらに、ゾル - ゲル法またはスパッタリング法等によりチタン酸ジルコン酸鉛の前駆体を形成後、アルカリ水溶液中での高圧処理法にて低温で結晶成長させる方法を用いてもよい。

【0115】

何れにしても、このように成膜された圧電体膜107は、バルクの圧電体とは異なり結晶が優先配向しており、且つ本実施形態では、圧電体膜107は、結晶が柱状に形成されている。尚、優先配向とは、結晶の配向方向が無秩序ではなく、特定の結晶面がほぼ一定の方向に向いている状態をいう。また、結晶が柱状の薄膜とは、略円柱体の結晶が中心軸を厚さ方向に略一致させた状態で面方向に亘って集合して薄膜を形成している状態をいう。勿論、優先配向した粒状の結晶で形成された薄膜であってもよい。尚、このように薄膜工程で製造された圧電体膜の厚さは、一般的に0.5~5μmである。

10

【0116】

次に、図17(e)に示すように、上部電極109を成膜する。上部電極109は、導電性の高い材料であればよく、アルミニウム、金、ニッケル、白金等の多くの金属や、導電性酸化物等を使用できる。本実施形態では、白金をスパッタリングにより成膜している。

【0117】

その後、図19(a)に示すように、圧電体膜107及び上部電極109のみをエッチングして圧電体能動部106のパターニングを行う。以上が膜形成プロセスである。このようにして膜形成を行った後、図19(b)に示すように、アルカリ溶液によるシリコン単結晶基板の異方性エッチングを行い、開口105等を形成する。以上の工程により図15に示す圧電素子104が形成される。

20

【0118】

尚、本実施形態では、圧電体膜107及び上部電極109を開口105に対向する領域内に形成するようにしたが、これに限定されず、例えば、周壁に対向する領域まで延設するようにしてもよい。また、上述した例では、圧電体非能動部111を下部電極102を除去することにより形成したが、これに限定されず、例えば、圧電体膜107と上部電極109との間に低誘電絶縁層を設けることにより形成してもよく、さらには、圧電体膜107に部分的にドーピング等を行って不活性とすることにより形成してもよい。

【0119】

以上説明したように、本実施形態によれば、圧電体能動部106から連続して、圧電体膜107を有するが実質的に駆動しない圧電体非能動部111を設けることにより、コンタクトホールを形成することなく圧電体能動部106に電圧を印加することができ、圧電体能動部106を開口105に対向する領域内に設けることができるため、変位特性及び信頼性を向上することができる。

30

【0120】

(変形例1)

図20及び図21は、圧電素子の構造を示す要部模式断面図であり、図22は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。本変形例は、圧電体能動部106の配線方法の他の例であり、図20に示すように、配線用下電極膜103を開口105に対向する領域には設けず、周壁上に設けるようにした以外は、第3の実施形態と同様である。勿論、このような構成においても、第3の実施形態と同様の効果を得ることができる。

40

【0121】

尚、第3の実施形態では、下部電極102の外側に配線用下電極膜103を設けるようにしたが、これに限定されず、例えば、図21に示すように、周壁上まで延設された圧電体非能動部111の上部電極109と接続され且つ基板端部まで延びるリード電極112を別途設けてもよい。つまり、リード電極112がリード電極110と配線用下電極膜103との機能をそなえた電極としても良い。

【0122】

また、開口105の端部から周壁上に延設される圧電体非能動部111を構成する圧電

50

体膜 107 及び上部電極 109 は、特に限定されないが、例えば、図 22 に示すように、開口 105 の端部近傍では開口 105 よりも幅の広い幅広部 113 とし、開口 105 の端部を覆っていることが好ましい。これにより、開口 105 の端部近傍での振動板の剛性が高く保持され、振動板のクラックの発生等が防止できる。

【0123】

(変形例 2)

図 23 及び図 24 は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。本変形例は、図 23 に示すように、開口 105 の端部と周壁との境界に対向する領域の圧電体非能動部 111 の下側に、下部電極 102 とは不連続の不連続下電極膜 114 を設けた例である。すなわち、開口 105 の圧電体膜 107 及び上部電極 109 が延設される側の端部近傍には、下部電極 102 が除去された下電極膜除去部 115 が開口 105 の形状に沿ってその並設方向に細溝状に設けられている。開口 105 の端部と周壁との境界部分では圧電体能動部 106 の下部電極 102 とは不連続な不連続下電極膜 114 となっている以外、第 3 の実施形態と同様である。

10

【0124】

ここで、下部電極 102 と不連続下電極膜 114 とを分離する下電極膜除去部 115 の幅は、少なくとも下部電極 102 と不連続下電極膜 114 との絶縁強度を保持可能な幅とする必要があるが、できるだけ狭い幅として弾性膜 108 の剛性を保持することが好ましい。

【0125】

また、このような構成では、不連続下電極膜 114 は、他の何れにも電気的に接続されないフローティング電極となる。下部電極 102 上に存在する圧電体膜 107 及び上部電極 109 が実質的な駆動部となる圧電体能動部 106 を構成し、不連続下電極膜 114 上の圧電体膜 107 及び上部電極 109 は強く駆動されることがない。

20

【0126】

したがって、開口 105 と周壁との境界部分では圧電体能動部 106 への電圧印加によっても強く駆動されることがない。このため、開口 105 の長手方向端部での弾性膜 108 の剛性が高く、この部分での弾性膜 108 の破壊あるいは圧電体膜 107 の破壊等を防止することができる。

【0127】

尚、本変形例では、不連続下電極膜 114 を複数の開口 105 の並設方向に亘って形成するようにしたが、これに限定されない。例えば、図 24 に示すように、各圧電体能動部 106 毎に分離するようにしてもよい。これにより、不連続下電極膜 114 上の圧電体膜 107 及び上部電極 109 が完全に駆動されることがない圧電体非能動部 111 となり、弾性膜 108 または圧電体膜 107 の破壊等をより確実に防止することができる。

30

【0128】

また、本変形例では、不連続下電極膜 114 を、他の部分とは電気的に接続されないフローティング電極としたが、これに限定されず、例えば、充電される時定数が圧電体能動部 106 の駆動パルスよりも大きくなるように、所定の抵抗値の抵抗を介して電極層と接続するようにしてもよい。

40

【0129】

(変形例 3)

図 25 は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図 26 (a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図であり、図 26 (b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。

【0130】

本変形例は、図 25 に示すように、各配線用下電極膜 103 の間に、下電極膜除去部 115 によって分離され他の何れにも接続されない中間電極膜 116 が設けられている以外は、第 3 の実施形態と同様の構成である。

【0131】

50

このような構成により、各配線用下電極膜 103 を分離する下電極膜除去部 115 の幅を狭くすることができる。すなわち、各配線用下電極膜 103 の間には中間電極膜 116 が設けられている。このため、下電極膜除去部 115 の幅を狭くしてもこれらの絶縁強度を確実に保持することができる。これにより、弾性膜 108 の剛性がより高くなり、上述の実施形態と同様、開口 105 と周壁との境界部分で、弾性膜 108 の破壊あるいは圧電体膜 107 の破壊等を防止することができる。

【0132】

尚、上述の本変形例では、下部電極 102 及び配線用下電極膜 103 の間の下電極膜除去部 115 は、各下部電極 102 及び配線用下電極膜 103 間の絶縁強度を保持可能な程度の幅で形成されている。これに限らず、例えば、図 26 に示すように、圧電体能動部 106 の幅方向両側等の絶縁破壊の起こりやすい部分の上部電極 109 を除去しても良い。そして、実質的に駆動されない圧電体膜 107 を残留させた不活性部 117 が設けられるようにしてもよい。これにより、さらに確実に絶縁強度を保持することができる。尚、勿論、圧電体膜 107 が駆動されなければ、上部電極 109 を除去しなくてもよいことは言うまでもない。

10

【0133】

(変形例 4)

図 27 (a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図 27 (b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。図 28 は、圧電素子の製造方法を説明する為の模式図である。

20

【0134】

本変形例では、図 27 に示すように、配線用下電極膜 103 を設ける代わりに、圧電体非能動部 111 となる圧電体膜 107 及び上部電極 109 を開口 105 に対向する領域から周壁上まで延設している。図示しないが、その端部近傍で、例えば、フレキシブルケーブル等の外部配線と上部電極 109 とを直接接続するようにしている。また、下部電極 102 は基本的に開口 105 に対向する領域内に設けられる。下部電極 102 は圧電体非能動部 111 とは反対側の端部から開口 105 の周壁上まで延設されて各圧電素子 104 の共通電極となっている。これ以外は、第 3 の実施形態と同様である。

【0135】

このような構成によっても、勿論、第 3 の実施形態と同様の効果が得られる。また、下部電極 102 と上部電極 109 とを、開口 105 の長手方向端部から反対方向に周壁上まで延設するようにした。この構造にすることで下部電極 102 と上部電極 109 とを短絡させることなく容易に配線を引出すことができる。

30

【0136】

また、本変形例のように、圧電体膜 107 を開口 105 から周壁上まで連続的に形成する場合には、圧電体膜 107 の結晶組織が下部電極 102 上と弾性膜 108 上とで同じであることが好ましい。そのため、圧電体膜 107 を以下のように形成するのが好ましい。

【0137】

すなわち、図 28 (a) に示すように、圧電体膜 107 の成膜の前に、下部電極 102 及び弾性膜 108 上にチタンまたは酸化チタンからなる結晶種 118 をスパッタ法により島状に形成する。その後、図 28 (b) に示すように、未結晶で圧電体前駆体層 121 を成膜する。その後、図 28 (c) に示すように、焼成することにより圧電体前駆体層 121 を結晶化させて圧電体膜 107 とする。

40

【0138】

また、このように結晶種 118 を形成する方法を用いる場合、弾性膜 108 は、圧電体膜 107 との密着性の良好な材料、例えば、圧電体膜 107 の構成元素から選択される少なくとも一種の元素の酸化物または窒化物、例えば、酸化ジルコニウム等で形成されることが好ましい。

【0139】

ここで、白金等の下部電極 102 上に圧電体膜 107 を形成する場合に結晶種を形成し

50

て結晶を略一方向に配向させる技術は、先に出願している。しかしながら、本変形例のように、下部電極 102 をパターンングした後、圧電体膜 107 を成膜するという特殊な構造においては、下部電極 102 上に予め結晶種が形成されていても、弾性膜 108 上では、異なる結晶構造となり、クラックが発生しやすいという問題が発生した。そこで、本変形例では、弾性膜 108 上にも結晶種 118 を形成することにより、下部電極 102 及び弾性膜 108 上で圧電体膜 107 の結晶構造を略同じとし、これによりクラックの発生及び異常な応力の発生を防止する。尚、弾性膜 108 上の結晶種は、下部電極 102 をパターンングした後、同時に形成してもよく、または、下部電極 102 上の結晶種を形成し、さらにパターンングした後、弾性膜 108 上だけ別途行ってもよい。また、別途行う場合には、結晶種は島状でなく膜状に形成してもよい。

10

【0140】

(変形例 5)

図 29 は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。本変形例は、図 29 に示すように、圧電体能動部 106 の略中央部から開口 105 の幅方向の周壁に対向する領域に圧電体非能動部 111 を設けるようにした以外は、本実施形態と同様である。

【0141】

このような構成とすることにより、本実施形態と同様の効果の他、圧電体能動部 106 と圧電体非能動部 111 との連結部分近傍での圧電体膜 107 への電流の集中を抑えることができ、圧電体膜 107 等の破壊を防止することができる。

20

【0142】

(変形例 6)

図 30 は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。本変形例は、図 30 に示すように、圧電体非能動部 111 の圧電体能動部 106 側に幅狭部 122 を形成するようにした以外は、変形例 4 と同様である。幅狭部 122 の幅は、開口 105 の長手方向端部に対向する領域に位置する圧電体能動部 106 の幅よりも幅狭になっている。幅狭部 122 では上部電極 109 及び圧電体膜 107 が幅狭になっている。

【0143】

このような構成では、開口 105 の端部では幅狭部 122 の周囲では上部電極 109 及び圧電体膜 107 がないので弾性膜 108 は変位し易くなっている。このため、この端部での圧電体能動部 106 の駆動による弾性膜 108 の変位量を向上することができる。

30

【0144】

尚、本変形例では、圧電体非能動部 111 となっている上部電極 109 及び圧電体膜 107 を幅狭に形成したが、これに限定されず、例えば、上部電極 109 のみを幅狭に形成するようにしてもよい。

【0145】

(変形例 7)

図 31 (a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図 31 (b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。本変形例では、図 31 に示すように、開口 105 の端部近傍には下部電極 102 の一部が突出した幅狭部 123 が形成されている。圧電体能動部 106 の圧電体非能動部 111 との境界部分の下部電極 102 は開口 105 の幅方向の両側が除去されている。これにより下部電極 102 の一部は他の部分よりも幅の狭い幅狭部 123 となっている。また、この幅狭部 123 は開口 105 に対向する領域内で圧電体膜 107 の幅よりも狭く形成されており、その幅方向両端面が圧電体膜 107 によって覆われている以外は、第 3 の実施形態と同様である。

40

【0146】

このような構成とすることにより、開口 105 の下部電極 102 の端部近傍で、すなわち、圧電体能動部 106 の端部で上部電極 109 と下部電極 102 の側面とが確実に絶縁され、これらの間に放電が起こることが無い。したがって、圧電体膜 107 の絶縁破壊等を防止することができる。

【0147】

50

(変形例 8)

図 3 2 (a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図 3 2 (b) 及び (c) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。本変形例では、図 3 2 (a) 及び図 3 2 (b) に示すように、下部電極 1 0 2 の幅狭部 1 2 3 が、開口 1 0 5 に対向する領域内に形成されており、幅狭部 1 2 3 は圧電体膜 1 0 7 の幅よりも広い幅で形成されている。そして、圧電体膜 1 0 7 及び上部電極 1 0 9 が幅狭部 1 2 3 上を介して周壁上まで延設されて圧電体非能動部 1 1 1 となっている以外は、変形例 7 と同様である。

【 0 1 4 8 】

ここで、一般的に、パッシェン曲線と呼ばれるグラフで示されるように、電極間の距離が一定値以下であれば、これらの間に放電が起こらないことがわかっている。例えば、本変形例では、幅狭部 1 2 3 の幅方向端面と上部電極 1 0 9 の幅方向端面との距離が、およそ 1 0 μ m 以下であればよく、本変形例では、これらの距離が約 7 μ m となるようにした。

10

【 0 1 4 9 】

したがって、このような構成としても、変形例 7 と同様に、開口 1 0 5 の長手方向端部での上部電極 1 0 9 と下部電極 1 0 2 との間の放電が防止され、圧電体膜 1 0 7 の絶縁破壊が抑えられる。

【 0 1 5 0 】

尚、本変形例では、幅狭部 1 2 3 を開口 1 0 5 に対向する領域内に設けるようにしたが、これに限定されない。幅狭部 1 2 3 の幅方向端面と上部電極 1 0 9 の幅方向端面との距離は上部電極 1 0 9 と下部電極 1 0 2 との間に放電が起こらない距離であればよい。例えば、図 3 2 (c) に示すように、幅狭部 1 2 3 を、開口 1 0 5 の幅方向周壁上まで延設するようにしてもよい。

20

【 0 1 5 1 】

(変形例 9)

図 3 3 は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。本変形例は、図 3 3 に示すように、下部電極 1 0 2 の幅狭部 1 2 3 の形状を先端側ほど幅が漸小する略台形状とした。且つ、少なくとも幅狭部 1 2 3 の先端部分が開口 1 0 5 に対向する領域内で圧電体膜 1 0 7 に覆われるようにした以外は、変形例 8 と同様である。

【 0 1 5 2 】

これにより、下部電極 1 0 2 の端部では圧電体膜 1 0 7 が薄くなり易くなる。これにより、電界の集中が起こり易いため圧電体膜 1 0 7 の絶縁破壊等が特に起こり易くなる。そして、幅狭部 1 2 3 の先端部分が圧電体膜 1 0 7 によって覆われて下部電極 1 0 2 と上部電極 1 0 9 とが絶縁される。このため、これらの間に放電が起こることが無くなり圧電体膜 1 0 7 の絶縁破壊等を防止することができる。

30

【 0 1 5 3 】

(変形例 1 0)

図 3 4 (a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図 3 4 (b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。本変形例では、図 3 4 に示すように、圧電体膜 1 0 7 及び上部電極 1 0 9 が、圧電体能動部 1 0 6 よりも狭い幅で開口 1 0 5 の長手方向一端部から周壁に対向する領域まで連続的に延設され圧電体非能動部 1 1 1 となっている。開口 1 0 5 の端部近傍で上部電極 1 0 9 と外部配線とが接続されている。一方、下部電極 1 0 2 は、基本的には、各開口 1 0 5 に対向する領域を覆って形成されている。しかし、圧電体膜 1 0 7 及び上部電極 1 0 9 が延設される領域、すなわち圧電体非能動部 1 1 1 が延設される領域は、開口 1 0 5 の幅よりも狭い幅で下部電極 1 0 2 が除去された下電極膜除去部 1 1 5 となっている。これ以外は第 3 の実施形態と同様である。

40

【 0 1 5 4 】

ここで、圧電体膜 1 0 7 及び上部電極 1 0 9 が開口 1 0 5 の端部から周壁上に延設される部分と下電極膜除去部 1 1 5 では、上部電極 1 0 9 の縁部が下部電極 1 0 2 上から下電極膜除去部 1 1 5 上へ交差する第 1 方向 1 0 9 a と、上部電極 1 0 9 が周壁上に延設され

50

る第2方向109bとが一致しないようにするのが好ましい。すなわち、上部電極109が下部電極102を横切る部分に流れる電流の向きと、延設された上部電極109に流れる電流の向きとの角度が大きくなるようにするのが好ましく、例えば、本変形例では、これら部分に流れる電流の向きの角度が約90°となっている。

【0155】

このように、本変形例では、圧電体能動部106の圧電体膜107及び上部電極109が周壁上まで延設される部分の下部電極102を除去して下電極膜除去部115としている。さらに、それ以外の開口105に対向する領域を下部電極102で覆うようにした。これにより、圧電体能動部106を構成する上部電極109の周囲には、下部電極102の端部がなく放電が起こり難い。また、圧電体膜107及び上部電極109の延設部分では、上部電極109が下部電極102を横切る部分に流れる電流の向きと、延設された上部電極109に流れる電流の向きが一致しないようにしたので、延設された上部電極109から圧電体能動部106に流れ込む電流が下部電極102との交差部分で広がって分散される。このため、電界集中等による圧電体膜107の絶縁破壊を防止することができ、素子チップの耐久性及び信頼性を向上することができる。

【0156】

図35は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。また、図35に示すように、圧電体能動部106と圧電体非能動部111との境界部分の上部電極109上に、圧電体能動部106の変位を抑制する変位抑制層124を設けるようにしてもよい。これにより、圧電体能動部106の端部での振動を抑えることができる。さらに、圧電体能動部106の駆動による弾性膜108のクラックの発生等を防止することができる。また、この変位抑制層124は、例えば、上述したリード電極110と同一の材料等により、容易に形成することができる。

【0157】

尚、本変形例では、圧電体膜107及び上部電極109に対応する領域の下部電極102を略矩形に除去して下電極膜除去部115としたが、これに限定されない。図36(a)及び図36(b)は圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。例えば、図36(a)に示すように、開口105に対向する領域に、略円形状または略楕円形状の下電極膜除去部115を設けるようにしてもよい。また、この場合、圧電体能動部106よりも細かい幅で延設される圧電体膜107及び上部電極109の基端部分を、さらに圧電体能動部106の内側まで除去するようしてもよい。これにより、上部電極109が下部電極102を横切る部分に流れる電流の向きと、延設された上部電極109に流れる電流の向きとの角度が大きくなる、すなわち、延設された上部電極109から圧電体能動部106に流れ込む電流の広がる方向が大きくなり、上部電極109と下部電極102との間に印加される電界がさらに分散される。

【0158】

また、例えば、図36(b)に示すように下電極膜除去部115の形状を略半円形状とすると共に、圧電体能動部106の長手方向端部の幅を漸次減少するようにした。さらに、下電極膜除去部115の円弧部分で下部電極102と上部電極109とが交差するようにしてもよい。このような構成によっても、上部電極109が下部電極102を横切る部分に流れる電流の向きと、延設された上部電極109に流れる電流の向きとの角度が大きくなる。したがって、上述と同様に、下部電極102と上部電極109との間に印加される電界が分散される。

【0159】

このように、下電極膜除去部115と、圧電体膜107及び上部電極109の延設部分との形状は特に限定されないが、上部電極109の延設された部分に流れる電流の向きと、下部電極102を横切る部分に流れる電流の向きとの角度が5°~180°となるようにするのが好ましい。

【0160】

(変形例11)

10

20

30

40

50

図37は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。本変形例では、図37に示すように、下部電極102が開口105の幅方向両側の周壁上の長手方向略中央部で除去されて下電極膜除去部115となっている。圧電体膜107及び上部電極109が、圧電体能動部106の長手方向略中央部から下電極膜除去部115上を介して周壁上まで延設されて圧電体非能動部111となっている。また、周壁上に延設された上部電極109がリード電極110を介して外部配線と接続されている。これ以外は、変形例10と同様である。

【0161】

このように、圧電体膜107及び上部電極109を開口105の幅方向中央部から延設することにより、圧電体能動部106の駆動口スが抑えられ、弾性膜108の振動の立ち上がりを早くすることができる。また、勿論、変形例10と同様の効果も得ることができる。

10

【0162】

(変形例12)

図38は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。本変形例は、図38に示すように、圧電体能動部106の圧電体膜107及び上部電極109が開口105の幅方向両側から周壁上まで延設されている圧電体非能動部111となっている以外は、変形例11と同様である。

【0163】

このような構成によっても、変形例11と同様の効果が得られる。また、開口105の両側から圧電体膜107及び上部電極109を周壁上に延設するようにしたので、圧電体能動部106の駆動口スをさらに抑えることができ、弾性膜108の振動特性を向上させることができる。

20

【0164】

(変形例13)

図39(a)は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図39(b)及び(c)は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。本変形例は、図39に示すように、開口105の隔壁上に、下部電極102と同一層で構成される残留部125を設けた例である。本変形例では、残留部125が圧電体能動部106の下部電極102と連続的に開口105の長手方向に亘って設けられている。すなわち、開口105の幅方向両側の隔壁との境界に対向する領域に下部電極102を除去した下電極膜除去部115が設けられている。これにより、隔壁と対向する領域に残留部125が形成されている以外は、第3の実施形態と同様の構成である。

30

【0165】

ここで、下部電極102の幅方向の端部側面と残留部125の幅方向の端部側面との間隔 h_1 、及び圧電体膜107の長手方向端部の側面と周壁上に延設された下部電極102が幅広となるまでの間隔 h_2 は、それぞれ、圧電体膜107の膜厚より長く、且つ下部電極102の幅よりも狭いことが好ましい。

【0166】

また、残留部125の幅は、隔壁の幅の50%以上であることが好ましく、さらに好ましくは、80%以上である。さらには、並設された複数の開口105及びその幅方向両側の隔壁に対向する領域の少なくとも50%以上の領域に下部電極102または残留部125が形成されていることが好ましい。

40

【0167】

尚、本変形例では、開口105の圧電体膜107及び上部電極109が延設される側の端部近傍は、下部電極102が開口105の並設方向に亘って細溝状に除去された下電極膜除去部115となっている。そして、開口105の周壁上の下電極膜は圧電体能動部106を構成する下部電極102とは不連続な不連続下電極膜114となっている。そして、この不連続下電極膜114上に、圧電体膜107及び上部電極109が延設されて圧電体非能動部111となっており、図示しないがその端部近傍で上部電極109と外部配線

50

とが接続されている。

【0168】

このような構成においても、第3の実施形態と同様の効果が得られる。さらに、本変形例では、開口105の幅方向両側の隔壁に対向する領域に残留部125を、好ましくは上述した条件下で設けるようにした。これにより、下部電極102が除去される領域が非常に少なくなる。従って、パターンニングされた下部電極102上に圧電体膜107を成膜しても、圧電体膜107の膜厚が全体的に略均一となり局部的に圧電体膜107の膜厚が薄くなることはない。

【0169】

また、圧電体膜107の長手方向端部の側面と周壁上に延設された下部電極102が幅広となる間での距離 h_2 を比較的狭くしているため、開口105の長手方向端部近傍でも圧電体膜107の膜厚が均一となる。これにより、開口105の下部電極102を引き出す側の端部近傍の圧電体膜107をイオンミリング等の選択性のないエッチング方法でエッチングする場合にも、圧電体膜107の下側の下部電極102と一緒に除去されて膜厚が薄くなることはない。したがって、開口105の端部近傍の下部電極102の剛性が低下することがなく耐久性が向上する。また、このような効果は、圧電体膜107をゾル-ゲル法等のスピンコート法で形成した場合に特に顕著であり、その他に、例えば、MOD法（有機金属熱塗布分解法）等で形成するようにしてもよい。

【0170】

（変形例14）

図40は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。本変形例では、図40に示すように、開口105の幅方向の隔壁上に設けられる残留部125が、圧電体能動部106を構成する下部電極102ではなく、不連続下電極膜114と連続的に設けられている以外、変形例13と同様である。

【0171】

このような構成によっても、圧電体膜107の膜厚が薄くなることなく、変形例13と同様の効果を得ることができる。

【0172】

（変形例15）

図41(a)は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図41(b)は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。図41に示すように、本変形例では、圧電体能動部106と圧電体非能動部111との境界となる下部電極102の端部において圧電体能動部106から配線用下電極膜103に向かって下部電極102の膜厚が漸小する膜厚漸小部126を設けるようにした以外は、第3の実施形態と同様である。また、この膜厚漸小部126の形状は、特に限定されないが、例えば、本変形例では、下部電極102の膜厚が連続的に漸小する傾斜面となっている。

【0173】

このように、本変形例では、圧電体能動部106の端部となる下部電極102の端部に、圧電体能動部106の外側に向かって膜厚が漸小する膜厚漸小部126を設けるようにした。これにより、圧電体膜107は、膜厚漸小部126を含む下部電極102上にその形状に沿って形成され、全体の膜厚が略均一となる。すなわち、下部電極102の端部での圧電体膜107の膜厚が薄くなることなく、圧電体能動部106の端部近傍での圧電体膜107の電界集中等による絶縁破壊を抑制することができる。

【0174】

尚、本変形例では、膜厚漸小部126を膜厚が連続的に漸小する傾斜面とするようにしたが、これに限定されない。図42(a)及び(b)は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。例えば、図42(a)に示すように、膜厚漸小部126aを、膜厚が間欠的に漸小して断面が略階段状とするようにしてもよい。このような膜厚漸小部126aの形成方法も、特に限定されず、例えば、下部電極102上に、レジストを複数回塗布して下部電極102の膜厚漸小部126aとなる領域に膜厚漸小部126aと略同一の階段

10

20

30

40

50

状のレジスト膜を形成後、下部電極 102 をパターンニングすることにより形成することができる。

【0175】

また、例えば、図 42 (b) に示すように、断面が傾斜曲面で構成される膜厚漸小部 126b としてもよい。このような膜厚漸小部 126b の形成方法も特に限定されず、例えば、弾性膜 108 上の下部電極 102 を形成しない領域及び膜厚漸小部 126b となる領域をマスクで覆い、いわゆるマスク蒸着によって下部電極 102 を成膜することにより形成される。すなわち、下部電極 102 が、マスクで覆った領域の一部にも、マスクの隙間から回り込んで形成され断面が傾斜曲面の膜厚漸小部 126b となる。また、勿論上述のように、下部電極 102 上に膜厚漸小部 126b と略同一形状のレジスト膜を形成後、下部電極 102 をパターンニングすることにより形成することができる。

10

【0176】

(変形例 16)

図 43 (a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図 43 (b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。

【0177】

本変形例は、下部電極 102 の長手方向外側に絶縁材料からなる絶縁膜 127 を設けた例である。すなわち、本変形例では、図 43 に示すように、開口 105 に対向する領域の弾性膜 108 上に下部電極 102、圧電体膜 107 及び上部電極 109 からなる圧電体電動部 106 が形成されている。この圧電体電動部 106 と圧電体非電動部 111 の境界となる場所の下部電極 102 の端部の外側に、例えば、下部電極 102 の膜厚と略同一の膜厚を有する絶縁膜 127 を形成した。この絶縁膜 127 の材料は、特に限定されず、例えば、弾性膜 108 とは異なる絶縁材料であってもよい。

20

【0178】

また、本変形例では、下部電極 102 をパターンニング後、その長手方向一端部外側に絶縁膜 127 を形成した。その上に、圧電体膜 107 及び上部電極 109 を成膜及びパターンニングして圧電体電動部 106 及び圧電体非電動部 111 を形成した。これにより、下部電極 102 の端部で圧電体膜 107 の膜厚が薄くなることなく、この部分での圧電体膜 107 の電界集中等による絶縁破壊を防止することができる。また、このような構成においても、勿論、上述の実施形態と同様の効果を得ることができる。

30

【0179】

(変形例 17)

図 44 (a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図 44 (b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。本変形例は、図 44 に示すように、圧電体電動部 106 と圧電体非電動部 111 との境界部分である下部電極 102 の端部の外側に絶縁膜 127 の代わりに厚膜部 108a を設けるようにした以外は、変形例 16 と同様である。厚膜部 108a は弾性膜 108 の膜厚が他の部分よりも厚く、例えば、本変形例では、下部電極 102 の膜厚分よりも厚く形成されている。

【0180】

また、本変形例では、弾性膜 108 をパターンニングして所定位置に厚膜部 108a を形成後、圧電体膜 107 及び上部電極 109 を成膜及びパターンニングして圧電体電動部 106 及び圧電体非電動部 111 を形成するようにした。これにより、下部電極 102 の端部に対応する領域の圧電体膜 107 の膜厚が他の部分よりも薄くなることなく、この部分での圧電体膜 107 の電界集中等による絶縁破壊を形成することができる。また、このような構成においても、第 3 の実施形態と同様の効果が得られる。

40

【0181】

(変形例 18)

図 45 (a) は、圧電素子の構造を示す要部模式平面図である。図 45 (b) は、圧電素子の構造を示す要部模式側断面図である。本変形例は、図 45 に示すように、下部電極 102 の端部よりも内側に上部電極 109 の端部を形成した例である。この上部電極 10

50

9の端部が圧電体能動部106の端部となっている。また、例えば、本変形例では、圧電体膜107の端部は下部電極102の端部と略同一位置であり上部電極109の端部よりも外側に突出した下部電極102上にも圧電体膜107は形成されており、この部分が実質的に駆動されない圧電体非能動部111となっている。

【0182】

尚、本変形例では、下部電極102と配線用下電極膜103との間の下部電極102が除去された下電極膜除去部115には、本変形例では、圧電体膜107が除去されずに残留されている。下電極膜除去部115の圧電体膜107が絶縁膜として機能するので下部電極102とリード電極110とが絶縁される。

【0183】

このように本変形例では、圧電体能動部106のリード電極110の引き出し側の端部外側に、例えば、上部電極109を除去することにより、連続的に圧電体非能動部111を設けるようにした。これにより、圧電体能動部106の端部である上部電極109の端部と下部電極102の端部との距離を大きくすることができる。このため、圧電体能動部106への電圧印加によっても、圧電体能動部106の端部での電界強度が大きくなることなく、圧電体膜107の絶縁破壊等を防止することができる。また、圧電体能動部106の圧電体膜107の厚さが均一となるため圧電特性が向上する。尚、このような構成によっても、第3の実施形態と同様の効果が得られる。

【0184】

(変形例19)

第1の実施形態では、PZTの膜をパターニング後、酸素雰囲気中700にて加熱処理を行って圧電体膜26を形成した。これに限らず次の工程で行っても良い。加熱処理を行って圧電体膜26を形成する。このとき、酸素雰囲気且つ、水100%の雰囲気下で、600~700の温度下、かつ、200気圧以下の圧力下で処理する。この加熱工程は非晶質状の薄膜を加熱し結晶化させる工程で行っても良く、またはこの加熱工程の後に熱処理工程を設けてこの熱処理工程で行っても良い。この条件で熱処理を行うとPZTの膜中の酸素量を増加させることができる。加熱温度が700を越えるとPZTの膜中からPbが欠落する。また、気圧が200気圧を越えるとき強誘電体特有のヒステリシス曲線が観測されなくなる。このためPZTの膜の性能が低下する。よって、結晶化したPZTや、PZT系のセラミックス薄膜に対し、水を含んだ雰囲気中で熱処理を行う場合、雰囲気水100%であること、雰囲気の圧力が200気圧以下であること、温度が700以下であることが望ましい。

【0185】

本変形例は、ゾルゲル法成膜のPZT薄膜における、結晶成長させた後に水を含んだ雰囲気中で熱処理を行う場合でも良く、もちろん結晶成長させる時に水を含んだ雰囲気中で熱処理を行っても良い。また、薄膜材料もジルコニウム酸チタン酸鉛($Pb(Zr, Ti)O_3$:PZT)に限らず、その他のセラミックス材料、例えば、チタン酸鉛ランタン($(Pb, La)TiO_3$)、ジルコニウム酸鉛ランタン($(Pb, La)ZrO_3$)、ジルコニウム酸チタン酸鉛ランタン($(Pb, La)(Zr, Ti)O_3$:PLZT)、マグネシウムニオブ酸ジルコニウム酸チタン酸鉛($Pb(Mg, Nb)(Zr, Ti)O_3$:PMN-PZT)、チタン酸ストロンチウム、ニオブ酸リチウム、ジルコニア、Y-1、ITO等に本発明を適用してもよい。また、成膜方法もゾルゲル法他に、MOD(Metallo-Organic Decomposition)法、スパッタ法、蒸着法で非晶質の薄膜を形成してもよい。

【0186】

(他の変形例)

以上、実施形態及び変形例を説明したが、超音波トランスデューサー素子チップの基本的構成は上述したものに限定されるものではない。

【0187】

例えば、第3の実施形態では、下部電極102の端部を圧電体能動部106の端部とし

10

20

30

40

50

、その上の圧電体膜 107 及び上部電極 109 をそれより外側まで延設して圧電体非能動部 111 を設け、圧電体能動部 106 の端部の破壊を防止しているが、他端部では、開口 105 内で圧電体膜 107 及び上部電極 109 をパターニングすることにより圧電体能動部 106 の端部となっている。このような端部は圧電体膜 107 及び上部電極 109 の剥がれ等が生じる可能性がある。例えば、端部を接着剤等により固定したり、あるいは圧電素子 104 の圧電体膜 107 とは不連続の不連続圧電体膜等で覆うことにより圧電体能動部 106 の端部を保護して、耐久性を向上するようにしてもよい。

【0188】

勿論、以上説明した各実施形態及び変形例は、適宜組み合わせることで実施することにより、より一層の効果を奏するものであることは言うまでもない。

10

【0189】

また、以上説明した各実施形態及び変形例は、成膜及びリソグラフィプロセスを応用することにより製造できる薄膜型の超音波トランスデューサー素子チップを例にした。勿論これに限定されるものではない。例えば、基板を積層して開口 45 を形成するもの。あるいはグリーンシートを貼付もしくはスクリーン印刷等により圧電体膜を形成するもの。または、水熱法等の結晶成長により圧電体膜を形成するもの等、各種の製造方法の構造を超音波トランスデューサー素子チップに採用することができる。

【0190】

このように、本実施形態は、その趣旨に反しない限り、種々の構造の超音波トランスデューサー素子チップに応用することができる。

20

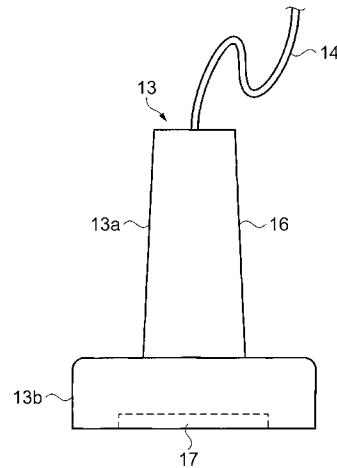
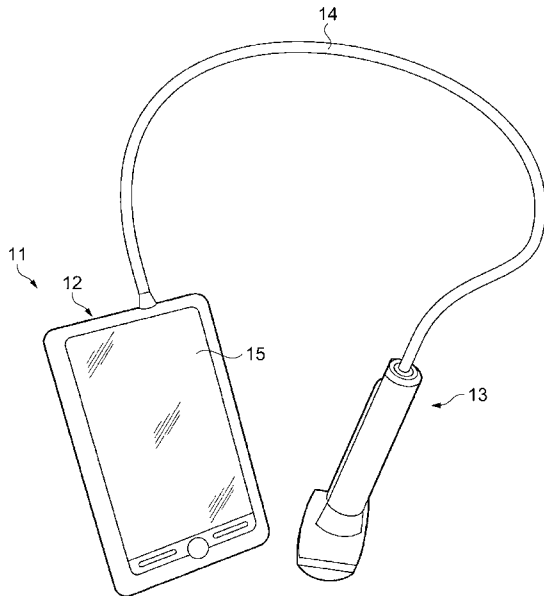
【符号の説明】

【0191】

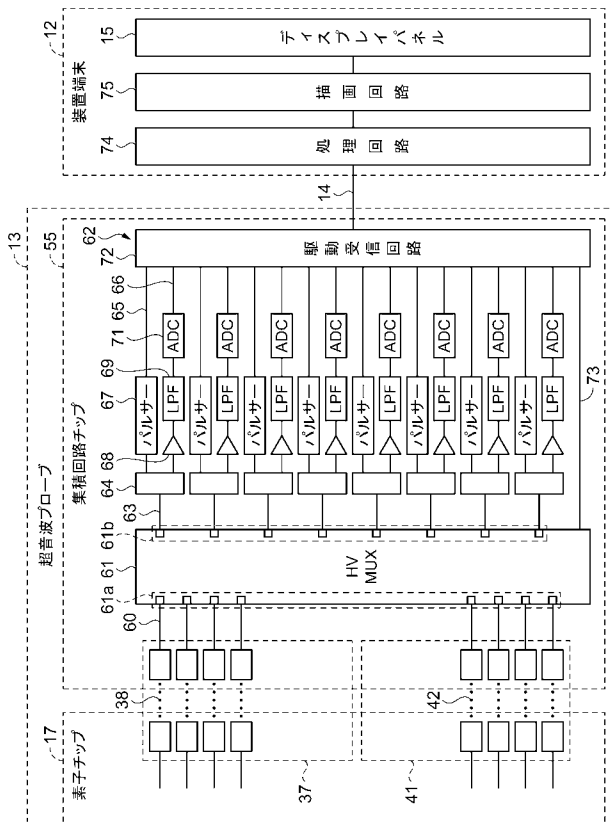
16 ... 筐体、17 ... 超音波トランスデューサー素子チップとしての素子チップ、24 ... 金属膜としての下部電極、24b ... 密着膜、26 ... 圧電薄膜としての圧電体膜、43 ... 振動膜。

【図 1】

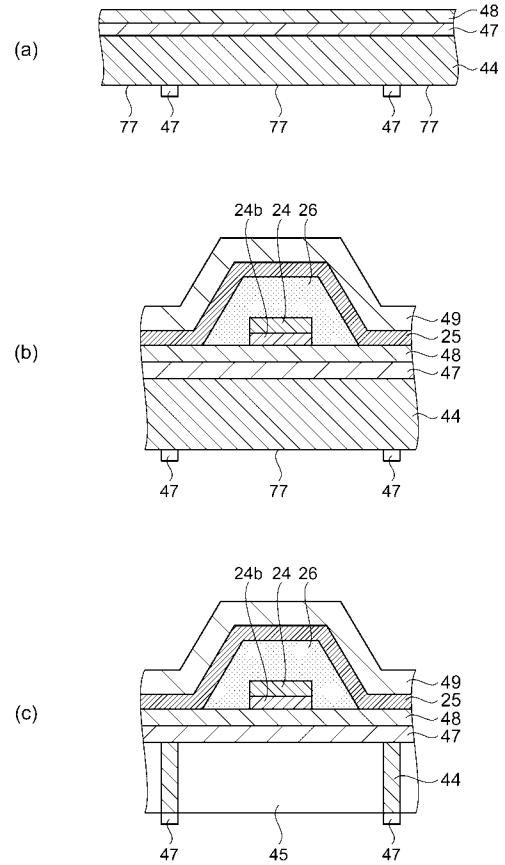
【図 2】



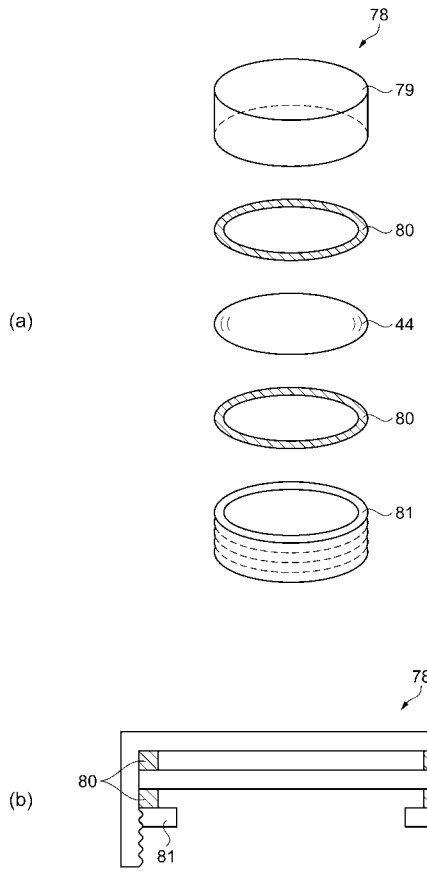
【 図 7 】



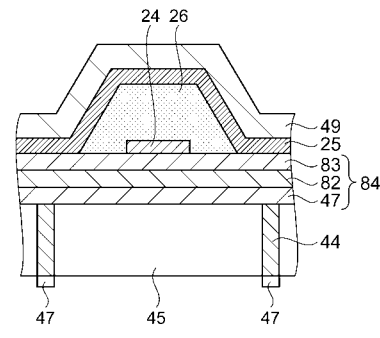
【 図 8 】



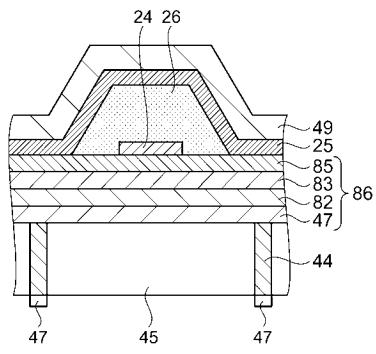
【 図 9 】



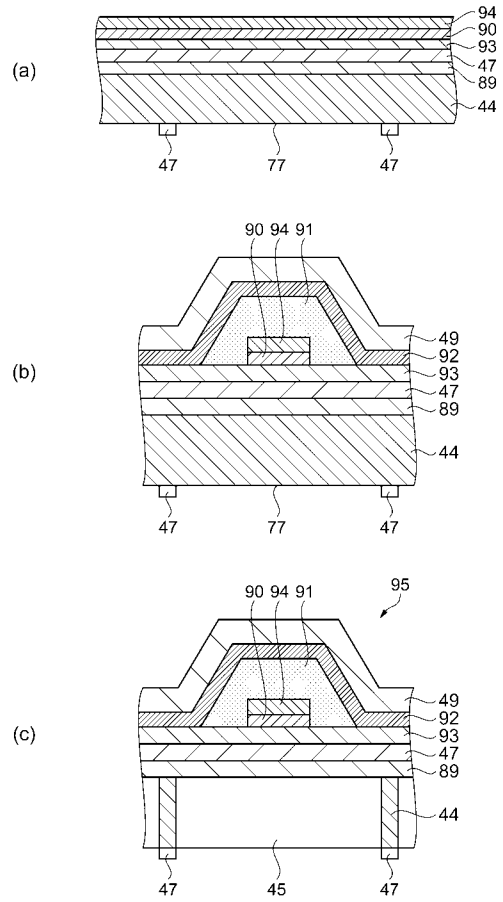
【 図 10 】



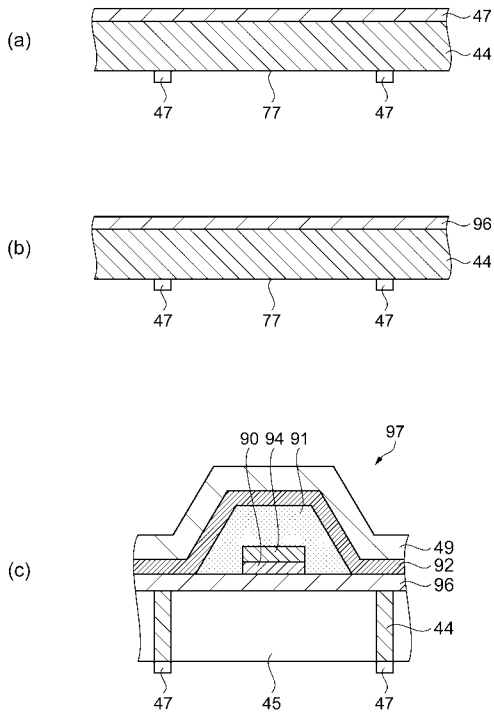
【 図 1 1 】



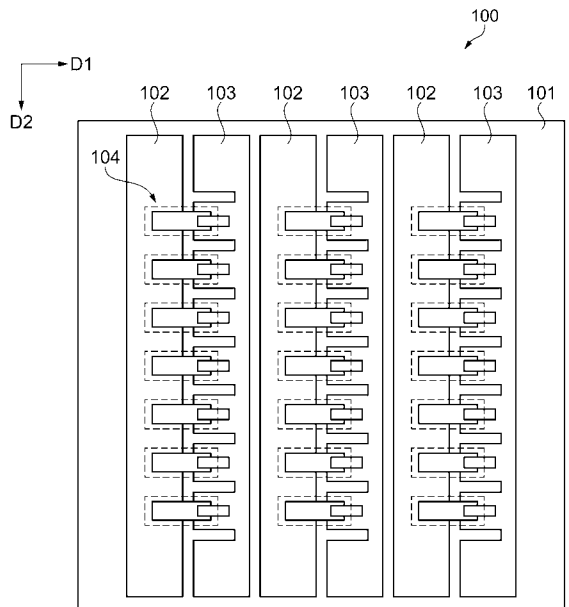
【 図 1 2 】



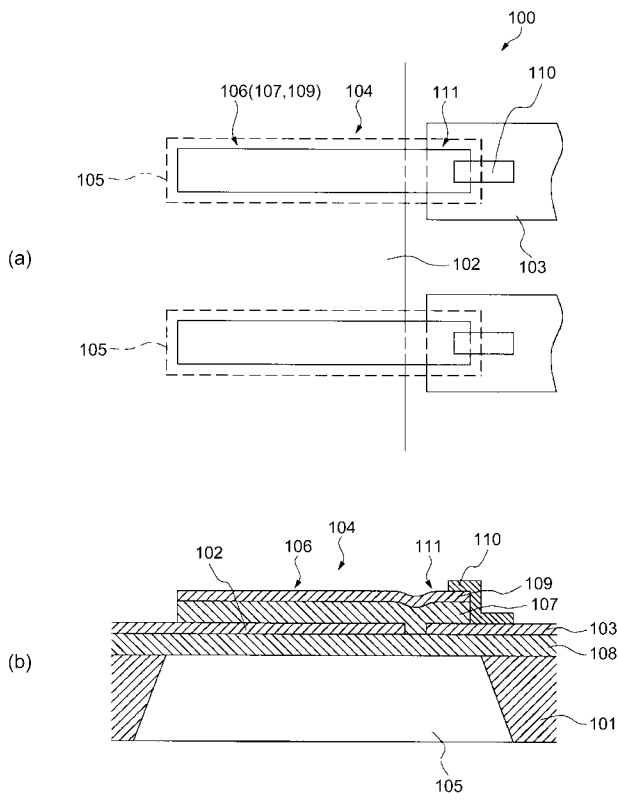
【 図 1 3 】



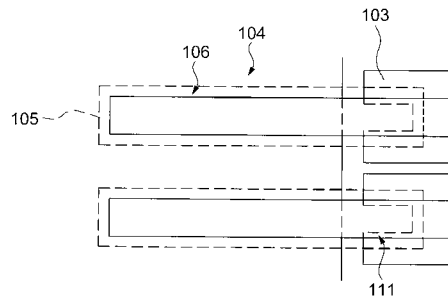
【 図 1 4 】



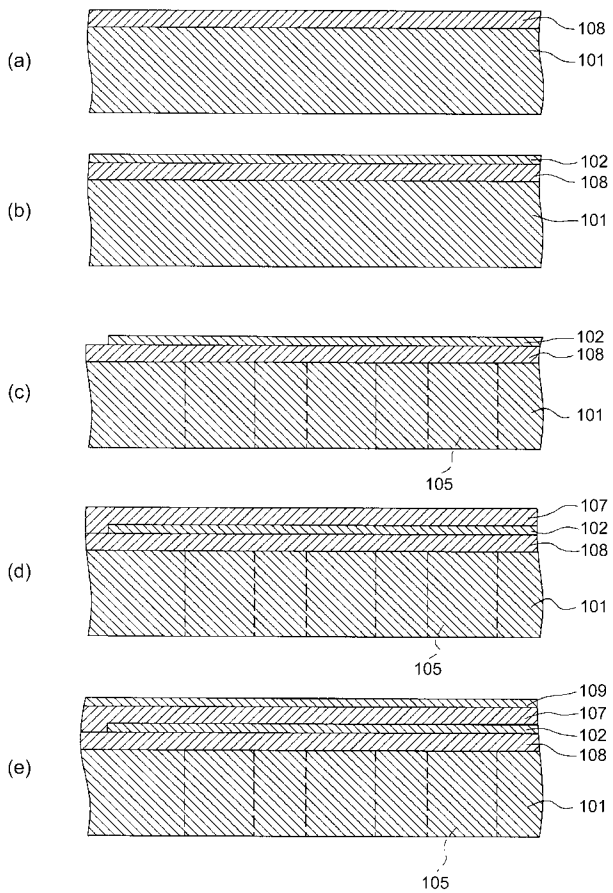
【 図 1 5 】



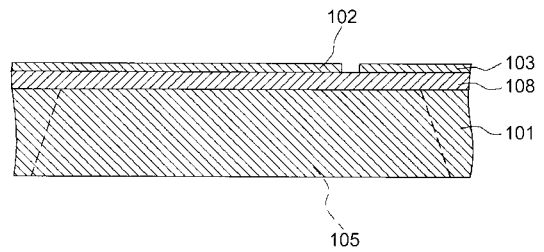
【 図 1 6 】



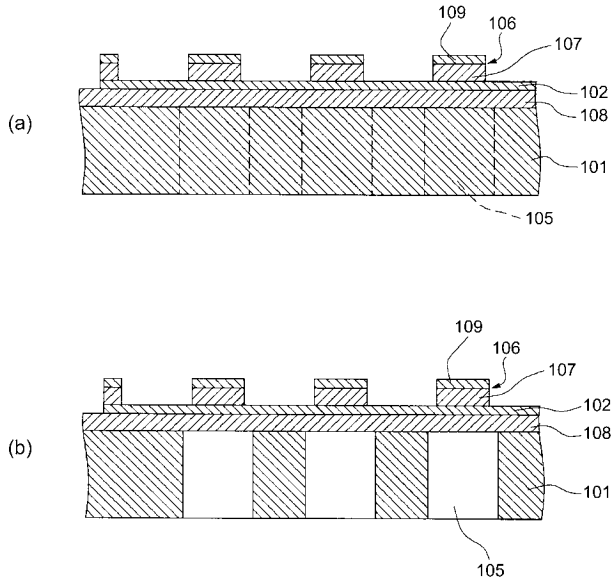
【 図 1 7 】



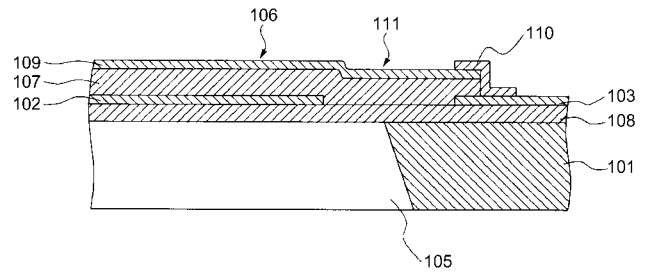
【 図 1 8 】



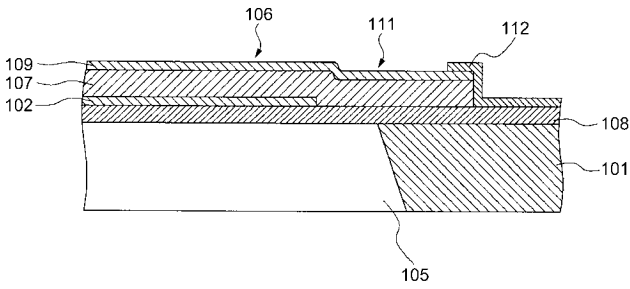
【 図 1 9 】



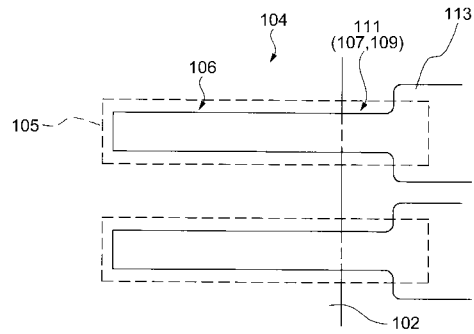
【 図 2 0 】



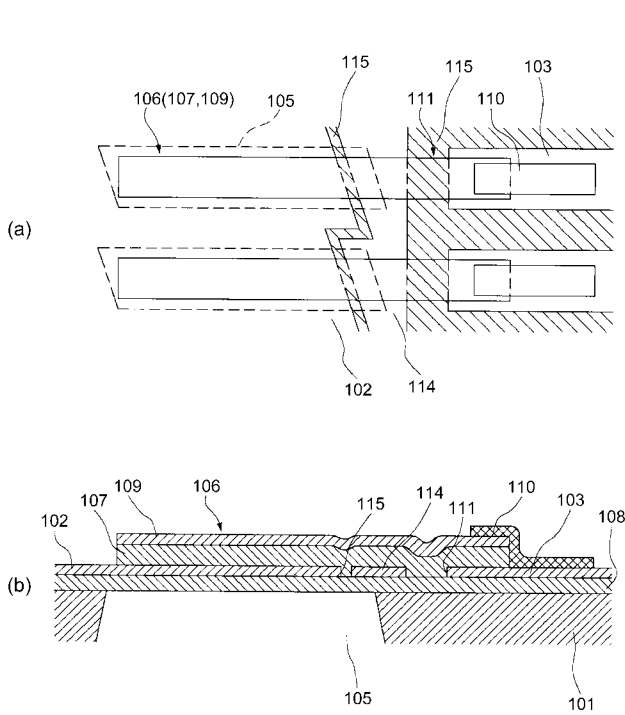
【 図 2 1 】



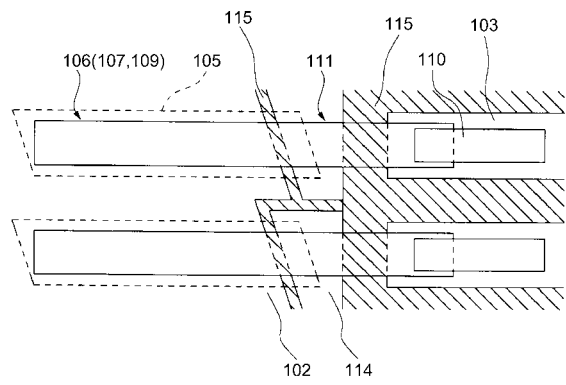
【 図 2 2 】



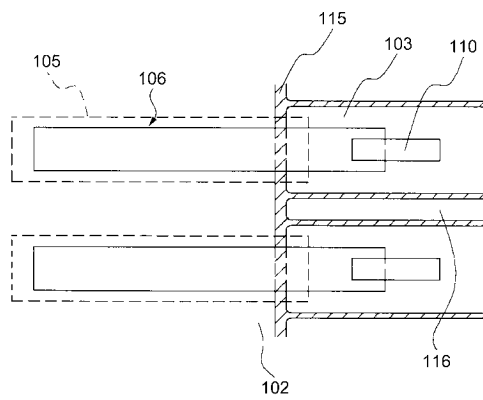
【 図 2 3 】



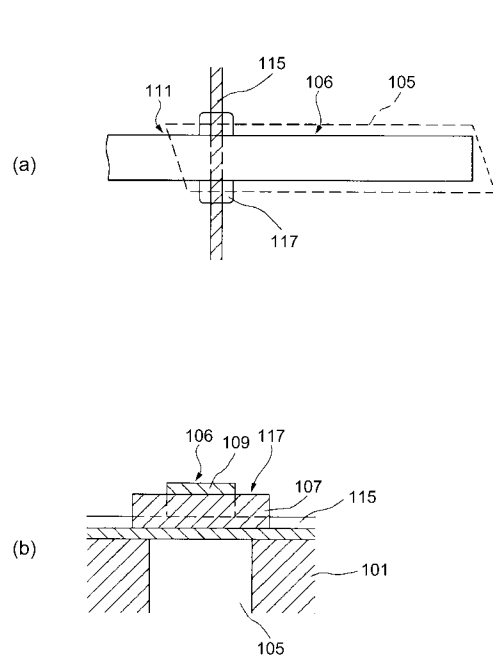
【 図 2 4 】



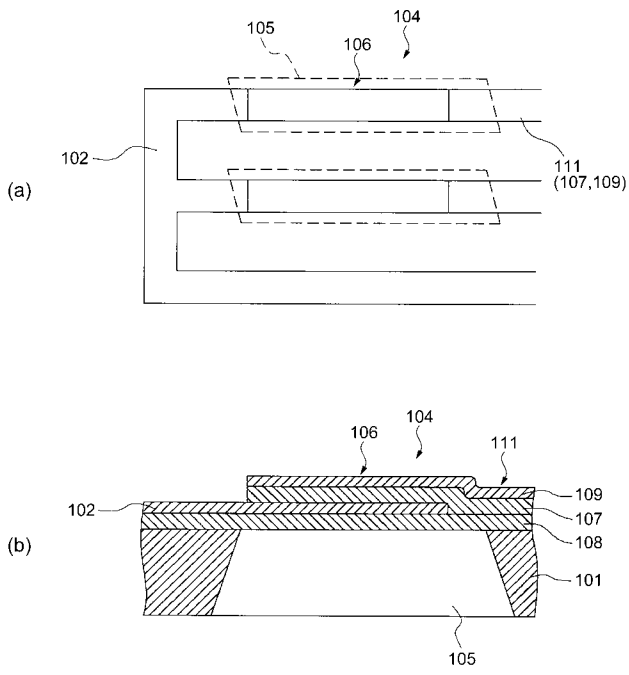
【 図 2 5 】



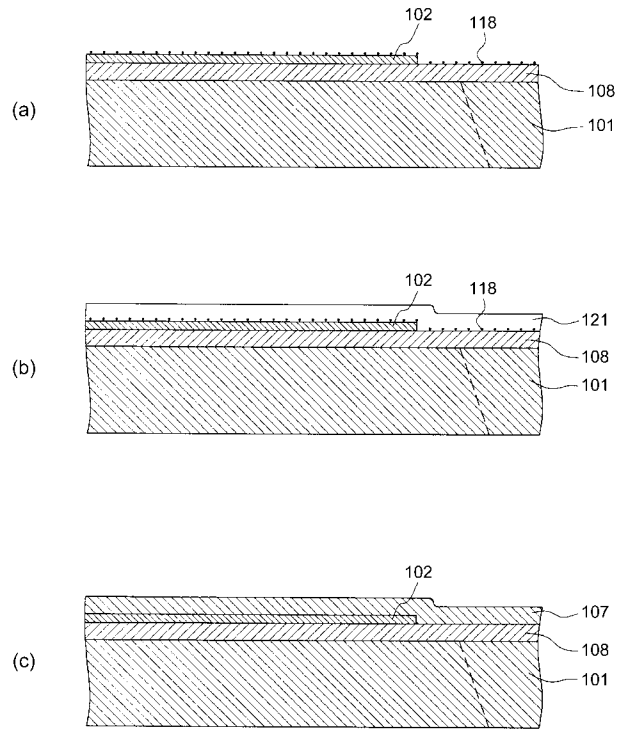
【 図 2 6 】



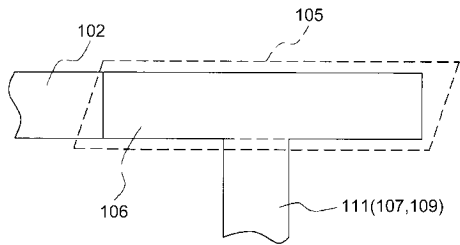
【 図 2 7 】



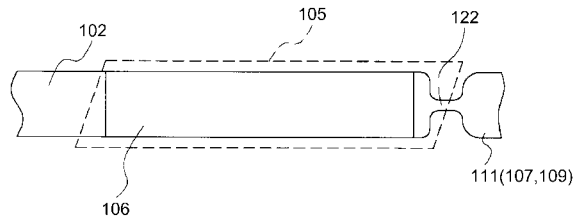
【 図 2 8 】



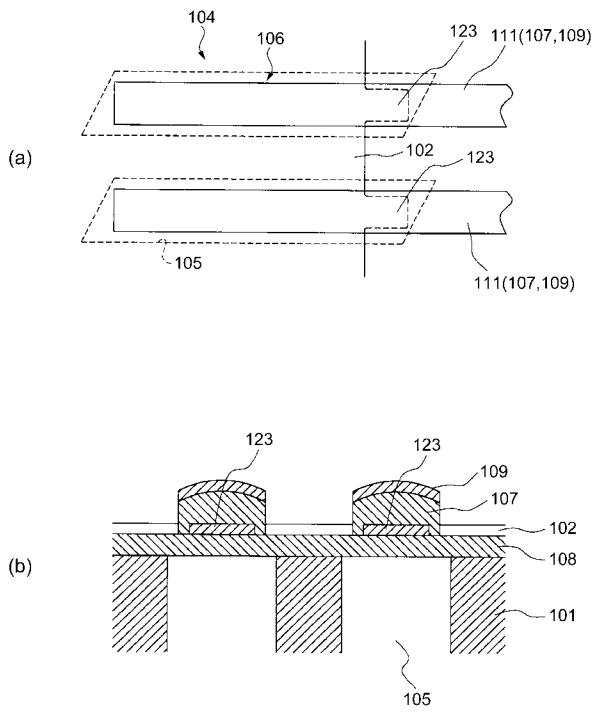
【 図 2 9 】



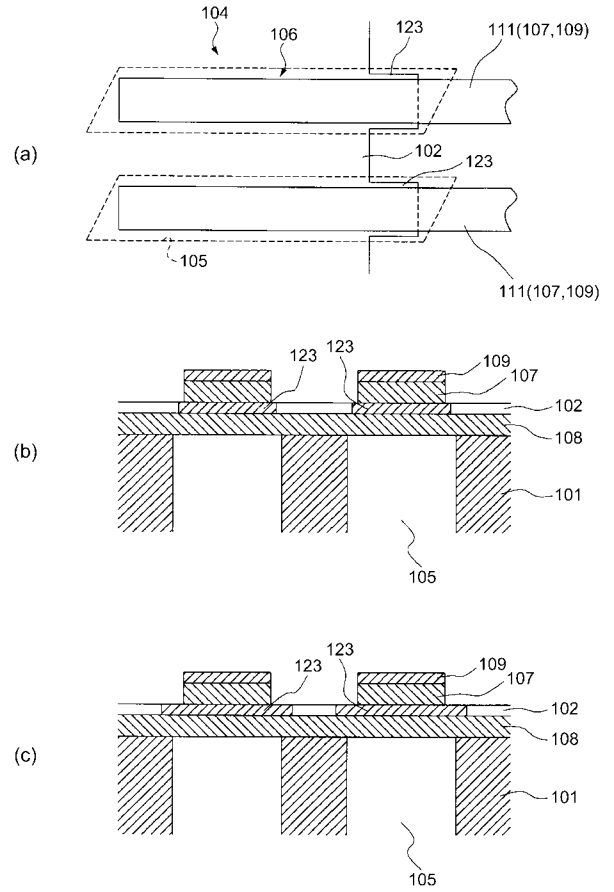
【 図 3 0 】



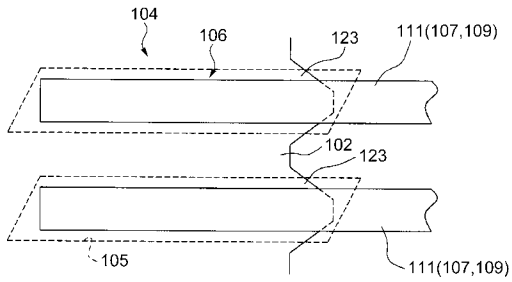
【 図 3 1 】



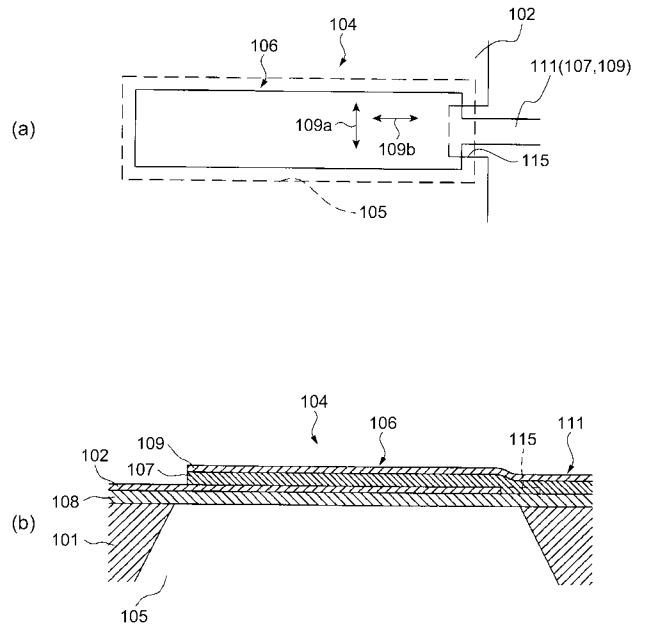
【 図 3 2 】



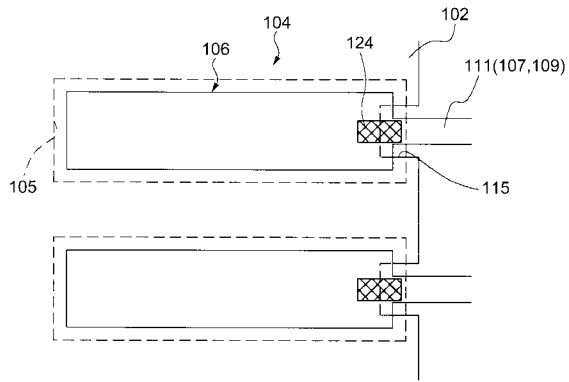
【 図 3 3 】



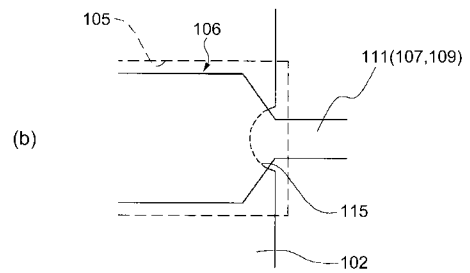
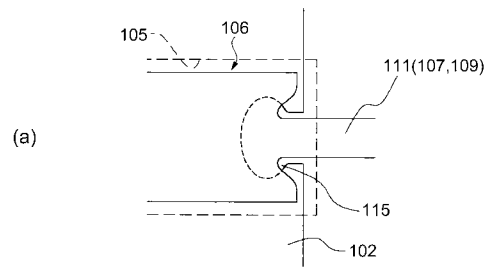
【 図 3 4 】



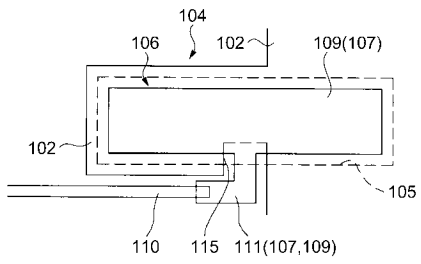
【 図 3 5 】



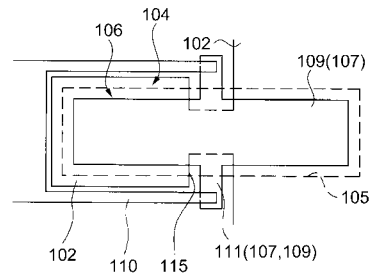
【 図 3 6 】



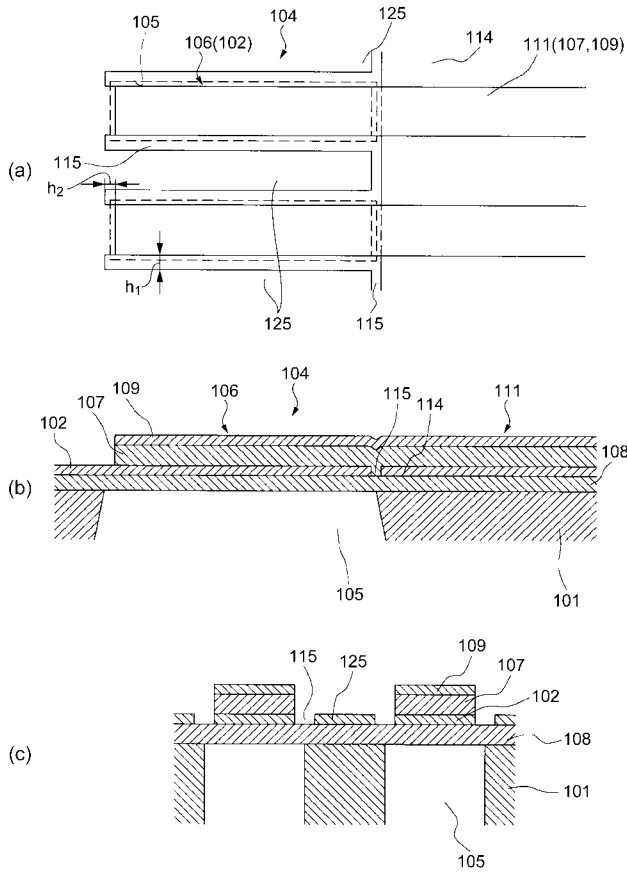
【 図 3 7 】



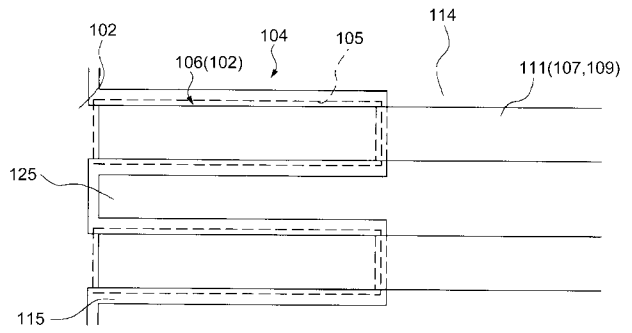
【 図 3 8 】



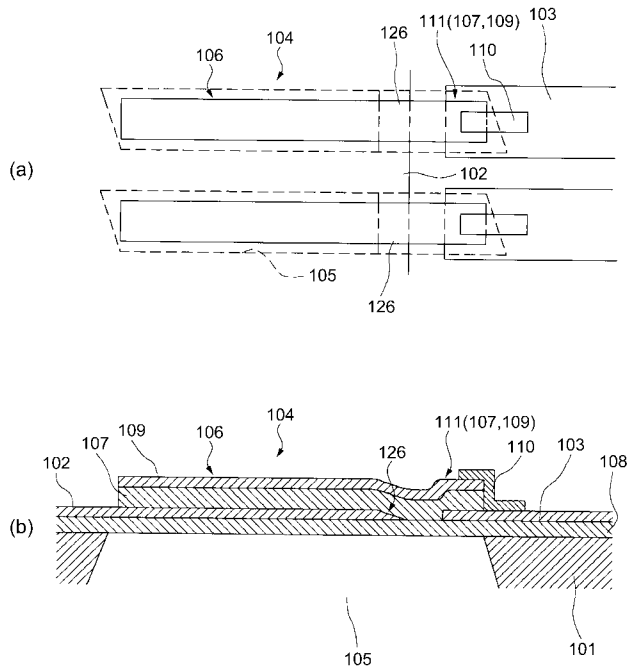
【図39】



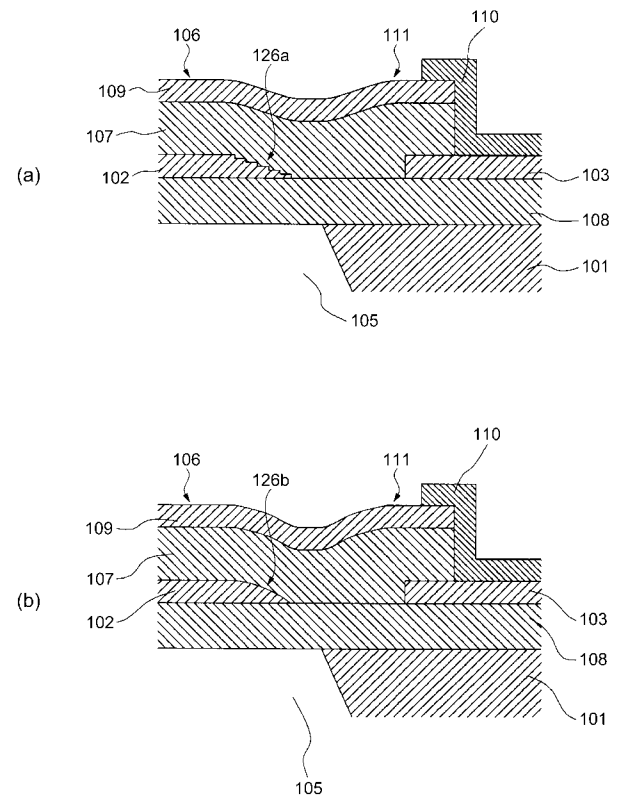
【図40】



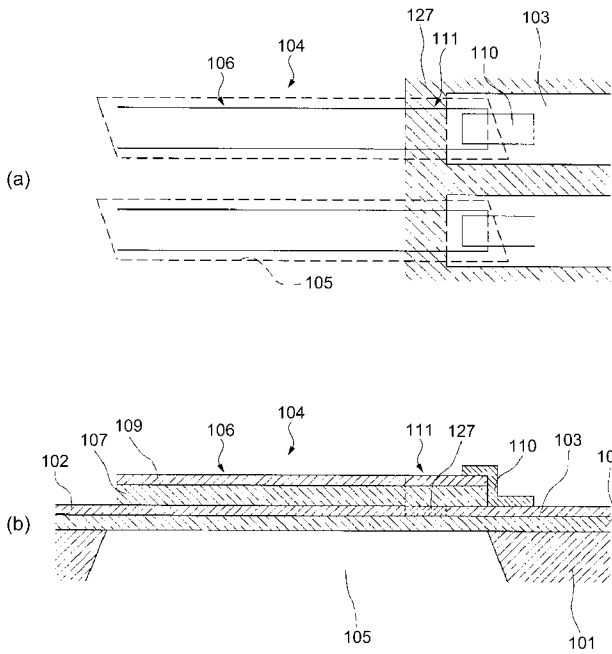
【図41】



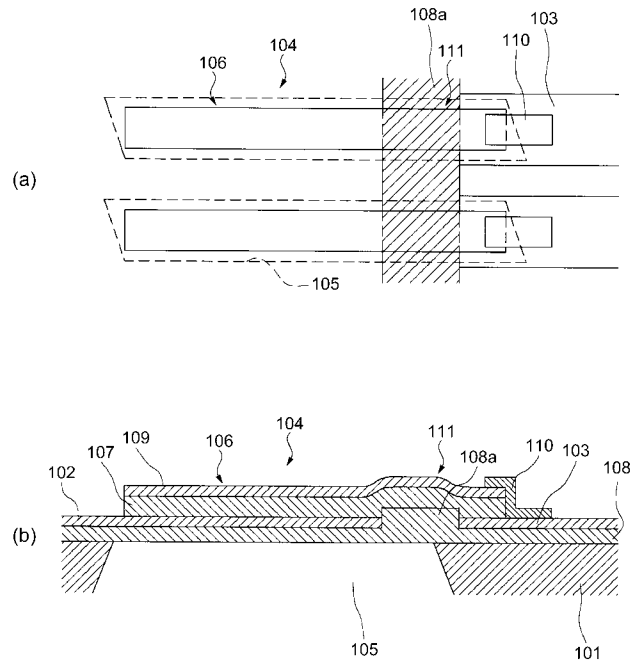
【図42】



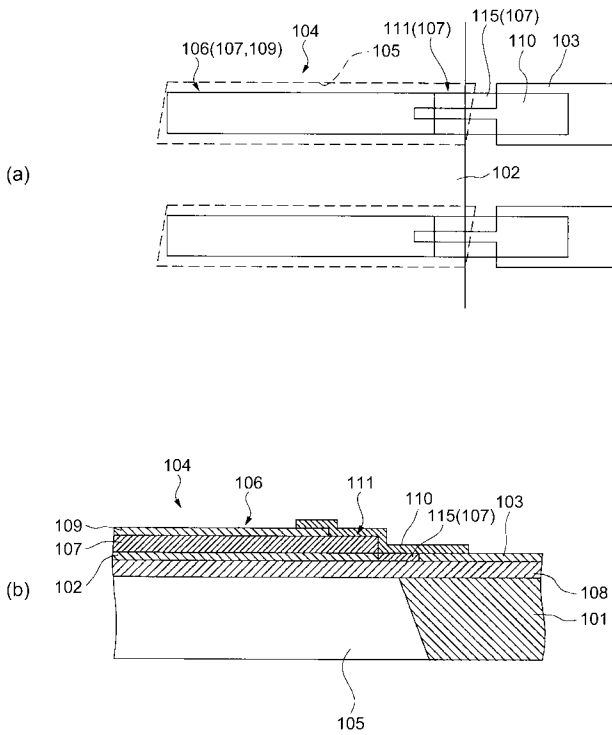
【 図 4 3 】



【 図 4 4 】



【 図 4 5 】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.

H 0 4 R 17/00 (2006.01)

F I

H 0 4 R 17/00 3 3 2 A

テーマコード(参考)

专利名称(译)	超声波探头		
公开(公告)号	JP2016015434A	公开(公告)日	2016-01-28
申请号	JP2014137458	申请日	2014-07-03
[标]申请(专利权)人(译)	精工爱普生株式会社		
申请(专利权)人(译)	精工爱普生公司		
[标]发明人	西脇学		
发明人	西脇学		
IPC分类号	H01L41/047 H01L41/09 H01L41/29 A61B8/00 H01L41/113 H04R17/00		
FI分类号	H01L41/047 H01L41/09 H01L41/29 A61B8/00 H01L41/113 H04R17/00.332.A		
F-TERM分类号	4C601/EE10 4C601/GA01 4C601/GB03 4C601/GB19 4C601/GB20 4C601/GB21 4C601/GB22 4C601/GB41 4C601/GB44 5D019/AA19 5D019/BB19 5D019/FF04		
代理人(译)	渡边和明		
外部链接	Espacenet		

摘要(译) 要解决的问题：提供一种具有压电元件的超声波探头，该压电元件在隔膜和铂之间具有高粘附性和高耐压。元件芯片包括振动膜和下电极，形成在下电极上的压电膜，并且下电极24经由粘合膜24b形成在振动膜43上下电极24是包含铂或铂的合金，并且粘合膜24b是具有80埃或更小的膜厚度的钛。	(21) 出願番号	特願2014-137458 (P2014-137458)	(71) 出願人	000002369
	(22) 出願日	平成26年7月3日 (2014. 7. 3)	(74) 代理人	100095728 弁理士 上柳 雅普 100116665 弁理士 渡辺 和昭 (72) 発明者 西脇 学 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内 Fターム(参考) 4C601 EE10 GA01 GB03 GB19 GB20 GB21 GB22 GB41 GB44 5D019 AA19 BB19 FF04