

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-174955

(P2012-174955A)

(43) 公開日 平成24年9月10日(2012.9.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/08 C	4 K O 2 9
HO 1 L 41/18 (2006.01)	HO 1 L 41/08 L	
HO 1 L 41/24 (2006.01)	HO 1 L 41/18 I O I Z	
HO 1 L 41/22 (2006.01)	HO 1 L 41/22 A	
C 2 3 C 14/58 (2006.01)	HO 1 L 41/22 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2011-36653 (P2011-36653)
 (22) 出願日 平成23年2月23日 (2011. 2. 23)

(71) 出願人 000002303
 スタンレー電気株式会社
 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号
 (74) 代理人 100100011
 弁理士 五十嵐 省三
 (72) 発明者 中村 奨
 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 ス
 タンレー電気株式会社内
 Fターム(参考) 4K029 AA06 AA24 BA43 BA48 BB02
 CA04 CA06 DA04 DB03 DB14
 DB17 DC03 DD06 EA05 FA01
 FA07 GA03

(54) 【発明の名称】 圧電アクチュエータ及びその製造方法

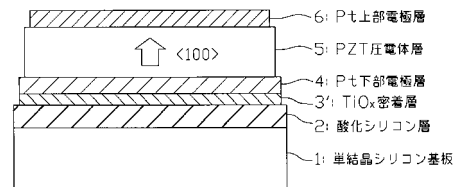
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 圧電定数のばらつきを小さくでき、耐電圧特性を向上させることができ、製造歩留りを向上させる圧電アクチュエータとその製造方法を提供する。

【解決手段】 単結晶シリコン基板 1、酸化シリコン層 2、TiO_x密着層 3'、Pt下部電極層 4、PZT圧電体層 5 及びPt上部電極層 6 を積層して圧電アクチュエータを構成する。TiO_x密着層 3' のTiO_xの組成比xは0<x<2であり、つまり、TiO_x密着層 3' はTiを不完全に酸化させて成膜する。密着層 3' による絶縁層 2 と下部電極層 4 との結合を確保できると共に、Ti成分、Pt成分及びPb成分の拡散が抑制されるので、下部電極層 4、密着層 3' 及び絶縁層 2 の境界を明瞭にすることができる。

【選択図】 図 1

本発明に係る圧電アクチュエータ



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
 該基板上に設けられた絶縁層と、
 該絶縁層上に設けられた TiO_x ($0 < x < 2$) よりなる密着層と、
 該密着層上に設けられた白金よりなる下部電極層と、
 該Pt下部電極層上に設けられたPZTよりなる圧電体層と
 を具備し、
 該密着層の TiO_x の組成比 x は該絶縁層側が圧電体側よりも大きくなる勾配を有する圧電アクチュエータ。

10

【請求項 2】

絶縁層を有する基板上に TiO_x ($0 < x < 2$) よりなる密着層を形成する密着層形成工程と

、
 該密着層上に白金よりなる下部電極層を形成する下部電極層形成工程と、

蒸着法により前記下部電極層上に $PbZr_yTi_{1-y}O_3$ よりなるPZT圧電体層を形成する圧電体層形成工程と、

を具備し、前記密着層形成工程は酸素流量を成長開始時から成長終了時まで減少させながら酸素ガス中で行われるスパッタリング工程である圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項 3】

さらに、前記圧電体層形成工程の前に、前記基板、前記密着層及び前記下部電極層を酸素雰囲気中で加熱する酸素雰囲気下加熱処理工程を具備する請求項 2 に記載の圧電アクチュエータの製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) を含む圧電アクチュエータ及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

Pb、Zr、Tiの各元素を含む酸化化合物であるチタン酸ジルコン酸鉛 $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ (PZT) は図 8 に示す立方晶系ペロブスカイト型の結晶構造を有する。尚、図 8 においては、斜線球は単純立法配列のPb、黒球はZrもしくはTi、白球はOを示す。図 9 に示すごとく、PZTは $\langle 100 \rangle$ 方向あるいは $\langle 111 \rangle$ 方向に歪んだ場合に分極を発生し、これにより、 (100) 面配向もしくは (111) 面配向のときに優れた圧電性を発揮する (参照：特許文献 1 の図 5、図 10)。つまり、PZTの結晶構造には正方晶系及び菱面体晶系があり、正方晶系PZTの場合には、 $\langle 100 \rangle$ 方向 (a 軸方向) (あるいは $\langle 001 \rangle$ 方向 (c 軸方向)) に最も大きな圧電変位が得られ、また、菱面体晶系PZTの場合には、 $\langle 111 \rangle$ 方向に最も大きな圧電変位が得られると言われている。また、圧電アクチュエータとしての重要な特性である耐電圧特性についてはチタン (Ti) リッチ ($x < 0.5$) な正方晶系PZTの方が菱面体晶系PZTより良いとされている。これを利用したPZT圧電体層は、アクチュエータとして用いたMEMS素子、センサとして用いたMEMS素子、発電素子、ジャイロ素子等に用いられる。

30

40

【0003】

図 10 は従来の圧電アクチュエータを示す断面図である。図 10 の圧電アクチュエータはキャパシタ構造をなしており、単結晶シリコン基板 1、酸化シリコン層 2、Ti密着層 3、Pt下部電極層 4、PZT圧電体層 5 及びPt上部電極層 6 を積層して構成されている。尚、単結晶シリコン基板 1 はシリコンオンインシュレータ (SOI) 基板に置換し得る。また、Ti密着層 3 は酸化シリコン層 2 とPt下部電極層 4 との密着性が悪いのでこれらの間の密着性を改善すると共に応力を緩和するものである。

【0004】

図 10 においては、正方晶系のPZT圧電体層 5 の矢印方向が結晶の $\langle 100 \rangle$ 方向あるい

50

は<0 0 1>方向に向いていると、Pt下部電極層4とPt上部電極層6との間に直流電圧を印加したときに、歪みが効率よく発生する。

【0005】

図10の圧電アクチュエータの製造方法を図11のフローチャートを参照して説明する。

【0006】

始めに、ステップ1101を参照すると、単結晶シリコン基板1を熱酸化して酸化シリコン層2を形成する。尚、熱酸化処理の代わりに化学的気相成長(CVD)法を用いてもよい。

【0007】

次に、ステップ1102を参照すると、酸化シリコン層2上にArガスを用いたスパッタリング法によってTi密着層3を形成する。

【0008】

次に、ステップ1103を参照すると、Ti密着層3上にArガスを用いたスパッタリング法によってPt下部電極層4を形成する。

【0009】

次に、ステップ1104を参照すると、次のステップ1105のアーク放電イオンプレーティング(ADRIP)本処理であるPZT圧電体膜形成工程の前工程としてADRIP装置に投入して真空雰囲気において単結晶シリコン基板1、酸化シリコン層2、Ti密着層3及びPt下部電極層4よりなるウェハを約500℃になるように加熱する。このADRIP前処理については後述する。

【0010】

次に、ステップ1105を参照すると、引き続いてADRIP装置において上述したウェハのPt下部電極層4上にADRIP法を用いてPZT圧電体層5を形成する。このPZT圧電体層5を形成するADRIP本処理については、後述する。

【0011】

最後に、ステップ1106を参照すると、PZT圧電体層5上にArガスを用いたスパッタリング法によってPt上部電極層6を形成する。

【0012】

図11のステップ1105におけるADRIP法は、スパッタリング法に比較してPZT圧電体層の堆積速度が大きいという利点を有し、また、有機金属化学的気相成長(MOCVD)法に比較して基板温度が低く、製造コストが低く、有毒な有機金属ガスを用いないので、対環境性がよく、また、原料の利用効率がよいという利点を有する。このADRIP法に用いられるADRIP装置を図12を参照して説明する(参照：特許文献2の図1)。

【0013】

図12において、真空チャンバ1201内の下方側に、Pb、Zr、Tiを独立に蒸発させるためのPb蒸発源1202-1、Zr蒸発源1202-2、Ti蒸発源1202-3が設けられる。Pb蒸発源1202-1、Zr蒸発源1202-2、Ti蒸発源1202-3上には、蒸気量センサ1202-1S、1202-2S、1202-3Sが設けられている。真空チャンバ1201内の上方側に、ウェハ1203aを載置するためのヒータ付ウェハ回転ホルダ1203が設けられる。

【0014】

また、真空チャンバ1201の上流側には、アーク放電を維持するために不活性ガスたとえばArガス及びHeガスを導入する圧力勾配型プラズマガン1204及びPZT圧電体層5の酸素原料となる酸素(O₂)ガスを導入するO₂ガス導入口1205が設けられる。他方、真空チャンバ1201の下流側には、真空ポンプ(図示せず)に接続された排気口1206が設けられる。

【0015】

図12のADRIP装置において図11のADRIP本処理ステップ1105を行う場合、圧力勾配型プラズマガン1204によって導入されたArガス及びHeガスによって高密度、低電子

10

20

30

40

50

温度のアーキ放電プラズマ 1207 が発生し、 O_2 ガス導入口から O_2 ガスが導入されること
 によって真空チャンバ 1201 内に多量の酸素ラジカルを主とする活性原子、分子が生成
 される。他方、Pb 蒸発源 1202 - 1、Zr 蒸発源 1202 - 2 及び Ti 蒸発源 1202 - 3
 より発生した Pb 蒸気、Zr 蒸気及び Ti 蒸気が上述の活性原子、分子と反応し、所定温度たと
 えば約 500 に加熱されたウェハ 1203 a 上に付着し、この結果、組成比 x の $PbZr_xTi_{1-x}$
 O_3 が形成されることになる。尚、Pb 蒸気、Zr 蒸気、Ti 蒸気は蒸気量センサ 1202 - 1 S
 、1202 - 2 S、1202 - 3 S によって検出される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0016】

【特許文献 1】特開 2003 - 81694 号公報

【特許文献 2】特開 2001 - 234331 号公報

【特許文献 3】特開 2001 - 88294 号公報

【特許文献 4】特開 2003 - 179278 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

しかしながら、上述の図 11 の圧電アクチュエータにおいては、ADRIP 前処理及び ADRIP
 本処理において、ウェハが約 500 まで加熱されるので、図 13 に示すごとく、Ti 密着層
 3 の Ti が Pt 下部電極層 4 中に拡散され、また、PZT 圧電体層 5 の Pb 成分が Pt 下部電極層 4
 と反応して合金化したり、Pt の粒界に沿って Pt 下部電極層 4 はおろか Ti 密着層 3 及び酸化
 シリコン層 2 中まで拡散してしまうという問題がある。

【0018】

上述の拡散により、Pt 下部電極層 4、Ti 密着層 3 及び酸化シリコン層 2 の PZT 形成後の
 元素濃度分布は、図 14 に示すごとくなり、Pt 下部電極層 4、Ti 密着層 3 及び酸化シリコ
 ン層 2 の境界は不明瞭となる。この場合、Ti は酸素、窒素、水素ガスとの親和力が強く、
 これらガスを吸収して反応すると硬化する性質がある。このため、図 15 に示す圧電アク
 チュエータの製造方法において、真空中での ADRIP 前処理ステップ 1104 の代りに、酸
 素雰囲気中での ADRIP 前処理ステップ 1501 を行う。しかし、この場合においても、図
 16 に示すような Pt 下部電極層 4、Ti 密着層 3 及び酸化シリコン層 2 の元素濃度分布は、
 ADRIP 本処理 1105 後に図 17 のごとくなり、依然として、Pt 下部電極層 4、Ti 密着層
 3 及び酸化シリコン層 2 の境界は不明瞭である。尚、図 17 のエッチング時間は深さに対
 応する。従って、Pt 下部電極層 4 との密着性を確保するのに必要な Ti 原子以外の原子が十
 分に酸化できないので、Pt 下部電極層 4 と PZT 圧電体層 5 の Pb もしくは Ti 密着層 3 の Ti が
 拡散、反応するために、図 18 の (A) に示すごとく、Pt 下部電極層 4 の結晶性や構造が
 乱れ、従って、表面ラフネスが大きくなり、また、図 18 の (B) に示すごとく、Pt 下部
 電極層 4 の面内方向の結晶性や構造も大きくばらついてしまう。この結果、この上に形成
 する PZT 圧電体層も図 19 の (A) に示すごとく、PZT 圧電体層 5 の柱状結晶性もばらつき
 、また、図 19 の (B) に示すごとく、PZT 圧電体層 5 の圧電定数 ($-d_{31}$) もばらつく。
 さらに、図 20 に示すごとく、Pt 上部電極層 6 の表面ラフネスも大きくなり、Pt 上部電極
 層 6 と Pt 下部電極層 4 との間に電圧を印加すると、電場が局所的に集中し、耐電圧特性も
 低下する。これにより、製造歩留りの低下を招くことになる。

【課題を解決するための手段】

【0019】

上述の課題を解決するために、本発明に係る圧電アクチュエータは、基板と、基板上に
 設けられた絶縁層と、絶縁層上に設けられた TiO_x ($0 < x < 2$) よりなる密着層と、密着層上
 に設けられた白金よりなる下部電極層と、Pt 下部電極層上に設けられた PZT よりなる圧電
 体層とを具備するものである。これにより、密着層と絶縁層との結合及び密着層と下部電
 極層との結合を確保する。また、密着層の Ti 成分の下部電極層への拡散、下部電極層の Pt
 成分の密着層への拡散、及び PZT の Pb 成分の下部電極層、密着層及び絶縁層への拡散が抑

10

20

30

40

50

制される。

【0020】

また、密着層の TiO_x の組成比 x は勾配を有し、絶縁層側で $x=2$ に近くかつ圧電体層側で $x=0$ に近い。これにより、密着層と絶縁層との結合は絶縁物同士の結合となり、また、密着層と下部電極層との結合は金属同士の結合となる。絶縁層、下部電極層それぞれでの密着性を考えると TiO_x の x は絶縁層側で2以下1.4以上の範囲内にある最大値から、下部電極層側で1.45以下0以上の範囲内にある最小値に向って連続的に勾配することが好ましい。さらに、勾配の最大値と最小値の差は0.3以上とすると、絶縁層、下部電極層それぞれに対し、単一の膜でありながらより密着性の強い密着層とすることができる。

【0021】

また、本発明に係る圧電アクチュエータの製造方法は、絶縁層を有する基板上に TiO_x ($0 < x < 2$) よりなる密着層を形成する密着層形成工程と、密着層上に白金よりなる下部電極層を形成する下部電極層形成工程と、ADRIP法によってPb蒸発量、Zr蒸発量及びTi蒸発量を制御して下部電極層上に $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ よりなるPZT圧電体層を形成する圧電体層形成工程とを具備するものである。

【0022】

尚、絶縁層を有する基板と下部電極層との間の密着層（バッファ層）を ZrO_2 によって構成し、密着層の成分Zrが基板もしくは下部電極層へ拡散するのを抑制する圧電アクチュエータは公知である（参照：特許文献3、4）。このとき、密着層の基板側はZrとし、他方、密着層の下部電極層側を完全に酸化して ZrO_2 とする。しかしながら、この場合、密着層と基板（絶縁層）との密着及び密着層と下部電極層との密着は金属/絶縁物結合力によって行われ、このような金属/絶縁物結合力は分子間力、電気的引力によるもので弱く、従って、ADRIP法を適用した場合、ADRIP処理時の高温/冷却時に結合界面が剥離を引起し、密着性は低下する。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、密着層による絶縁層と下部電極層との結合を確保できると共に、Ti成分、Pt成分及びPb成分の拡散が抑制されるので、下部電極層、密着層及び絶縁層の境界を明瞭にすることができ、この結果、圧電定数のばらつきを小さくできかつ耐電圧特性を向上させることができ、引いては、製造歩留りを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明に係る圧電アクチュエータの実施の形態を示す断面図である。

【図2】図2は図1の圧電アクチュエータの製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図3】図2の酸素雰囲気によるスパッタリング処理ステップにおける最適な酸素流量を説明するためのグラフである。

【図4】図1の圧電アクチュエータのPZT成分を除く深さ方向の元素濃度分布を示すX線光電子分光法（XPS）分析グラフである。

【図5】図1の圧電アクチュエータのPZT成分を含む深さ方向の元素濃度分布を示すX線光電子分光法（XPS）分析グラフである。

【図6】図1の TiO_x 密着層、Pt下部電極層及びPZT圧電体層の断面を示す走査型電子顕微鏡（SEM）写真である。

【図7】図1のPt下部電極層、PZT圧電体層及びPt上部電極層の断面を示すSEM写真である。

【図8】PZTの結晶構造を示す図である。

【図9】PZTのX線解析パターンを示すグラフである。

【図10】従来の圧電アクチュエータを示す断面図である。

【図11】図10の圧電アクチュエータの製造方法を説明するためのフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図12】図11のADRIP処理ステップに用いられるADRIP装置を示す図である。

【図13】図10の圧電アクチュエータの課題を説明するための断面図である。

【図14】図10の圧電アクチュエータのPZT成分を除く深さ方向の元素濃度分布を示すX線光電子分光法(XPS)分析グラフである。

【図15】図11のフローチャートの変更例を示すフローチャートである。

【図16】図10の圧電アクチュエータのPZT成分を除く深さ方向の元素濃度分布を示す他のX線光電子分光法(XPS)分析グラフである。

【図17】図10の圧電アクチュエータのPZT成分を含む深さ方向の元素濃度分布を示すX線光電子分光法(XPS)分析グラフである。

【図18】(A)は図10のTi密着層、Pt下部電極層及びPZT圧電体層の断面を示すSEM写真、(B)は図10のPt下部電極層の平面写真である。 10

【図19】(A)は図10のPZT圧電体層の断面を示すSEM写真、(B)は図10のPZT圧電体層の平面写真である。

【図20】図10のPt下部電極層、PZT圧電体層及びPt上部電極層の断面を示すSEM写真である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

図1は本発明に係る圧電アクチュエータの実施の形態を示す断面図である。図1においては、図10のTi密着層3の代りに、 TiO_x ($0 < x < 2$)密着層3'を設けてある。すなわち、 TiO_x 密着層3'はTiを不完全に酸化させて成膜したものである。この場合、 TiO_x 密着層3'のシート抵抗はたとえば 2×10^2 / 程度である。好ましくは、 TiO_x 密着層3'の TiO_x の組成比xは勾配を有し、 TiO_x 密着層3'の酸化シリコン層2側の TiO_x は TiO_2 ($x=2$)に近く、他方、 TiO_x 密着層3'のPZT圧電体層5側の TiO_x はTi ($x=0$)に近くする。これにより、酸化シリコン層2と TiO_x 密着層3'との結合は絶縁物同士の結合により密着性を確保し、また、 TiO_x 密着層3'とPt下部電極層4との結合は金属同士の結合により密着性を確保する。また同時に、 TiO_x 密着層3'のO成分が酸化シリコン層2のSiの TiO_x 密着層3'への拡散及び TiO_x 密着層3'のTiの酸化シリコン層2及びPt下部電極層4への拡散を抑止し、また、PZT圧電体層5のPb成分のPt下部電極層4との反応合金化及び拡散を抑止する。

20

【0026】

図2は図1の圧電アクチュエータの製造方法を説明するためのフローチャートである。図2においては、図15のArガスを用いたスパッタリング処理ステップ1102をArガス及び O_2 ガスを用いたスパッタリング処理ステップ201に代えてある。

30

【0027】

図3は図2のArガス及び O_2 ガスを用いたスパッタリング処理ステップ201における最適な酸素流量を説明するグラフである。図3に示すように、酸素流量が小さすぎると、 TiO_x 密着層3'の組成比xは0に近づき、この結果、PZT圧電体層5の圧電定数($-d_{31}$)はばらつき、逆に、酸素流量が多すぎると、 TiO_x 密着層3'の組成比xは2に近づき、やはり、PZT圧電体層5の圧電定数($-d_{31}$)はばらつくだけでなく、密着性が低下するためか剥離しやすいことが明らかとなった。従って、酸素流量を最適に選択することにより不完全な酸化物としての TiO_x 密着層3'を得、PZT圧電体層5の圧電定数($-d_{31}$)のばらつきを小さくすることができる。そしてこの TiO_x 密着層3'の TiO_x の組成比xに勾配をもたせる方法の一つとして、 TiO_x 密着層3'の成長開始時は酸素流量を大きくして TiO_x を TiO_2 に近づけ、他方、 TiO_x 密着層3'の成長終了時には酸素流量を小さくして TiO_x をTiに近づけ、成長途中においては、酸素流量を減少させる勾配をつけて TiO_x 密着層3'の TiO_x の組成比xに勾配をつける。この結果、 TiO_x 密着層3'と酸化シリコン層2との結合は絶縁物同士となって強くなり、また、 TiO_x 密着層3'とPt下部電極層4との結合は金属同士となって強くなる。

40

【0028】

もしくは、ステップ1501の酸素雰囲気中でのADRIP前処理によって TiO_x 密着層3'

50

のPt下部電極層4側の金属Ti及び不完全に酸化されているTiをさらに酸化させることによってTiの他の層への拡散を抑制する。この結果、PZT成膜時の絶縁層に付着する金属Pbが粒界を浸透して酸化シリコン層2や単結晶シリコン基板1まで拡散することによるPt下部電極層4の構造の崩れを防止する。ただし、Pt下部電極層4側の TiO_x は完全に酸化まで至らせず x は2未満とすることで、構造の崩れを引き起こさない程度にわずかにだけPt下部電極層4にTiを拡散させることにより、密着性を向上させることができる。

【0029】

上述の構成によれば、 TiO_x 密着層3'のTi成分のPt下部電極層4への拡散及び酸化シリコン層2への拡散は TiO_x 密着層3'の酸素成分自身によって抑制され、さらに、PZT圧電体層5のPb成分の密着層、酸化シリコン層への拡散は TiO_x 密着層3'の酸素成分によって抑制される。従って、図4、図5に示すごとく、PZT圧電体層5、Pt下部電極層4、 TiO_x 密着層3'及び酸化シリコン層2の元素濃度の境界は明瞭となる。尚、図5のエッチング時間は深さに対応する。この結果、図6に示すごとく、Pt下部電極層4の結晶性のばらつきがなくなって表面ラフネスが小さくなり、また、PZT圧電体層5の柱状結晶性のばらつき、従って、圧電定数($-d_{31}$)のばらつきもなくなる。さらに、図7に示すごとく、Pt上部電極層6の表面ラフネスも小さくなり、Pt上部電極層6とPt下部電極層4との間に電圧を印加しても、電場の局所的集中が緩和され、耐電圧特性も向上する。これにより、製造歩留りが向上することになる。

10

【0030】

本発明者はPZT圧電体層5の圧電定数($-d_{31}$)のばらつきについて実験を行った結果、従来は、

20

ウェハ内 ±16%

ロット内 ±21%

であったのに対し、上述の実施の形態においては、

ウェハ内 ±3%

ロット内 ±3%

と著しく向上が見られた。

【符号の説明】

【0031】

1：単結晶シリコン基板

30

2：酸化シリコン層

3：Ti密着層

3'： TiO_x 密着層

4：Pt下部電極層

5：PZT圧電体層

6：Pt上部電極層

1201：真空チャンバ

1202-1：Pb蒸発源

1202-2：Zr蒸発源

1202-3：Ti蒸発源

40

1202-1S、1202-2S、1202-3S：蒸気量センサ

1203：ヒータ付ウェハ回転ホルダ

1203a：ウェハ

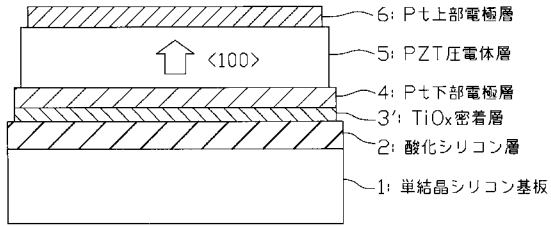
1204：圧力勾配型プラズマガン

1205： O_2 ガス導入口

1206：排気口

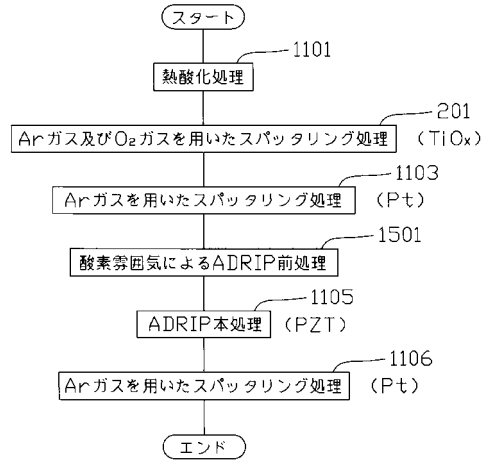
【 図 1 】

本発明に係る圧電アクチュエータ

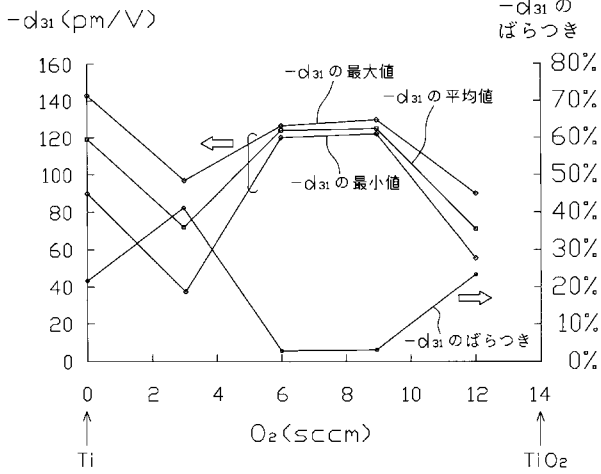


【 図 2 】

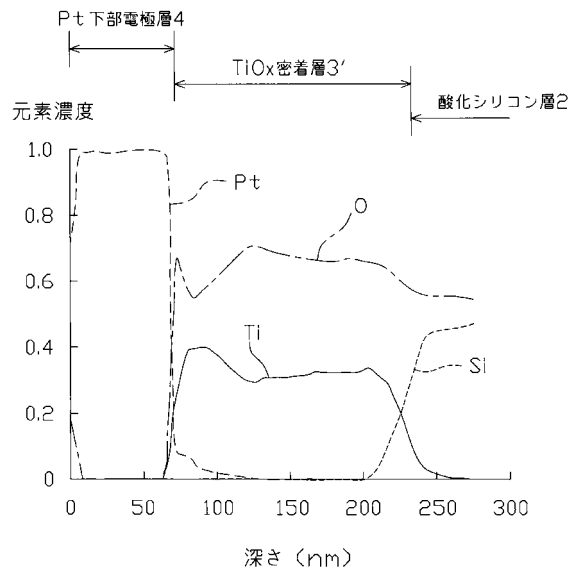
図1の圧電アクチュエータの製造方法



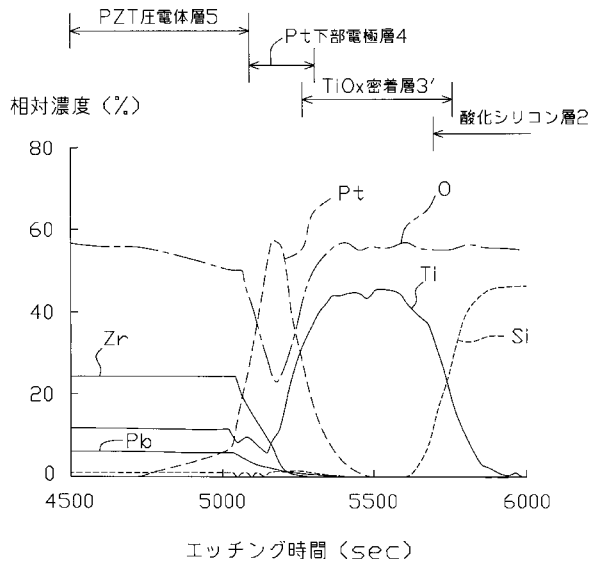
【 図 3 】



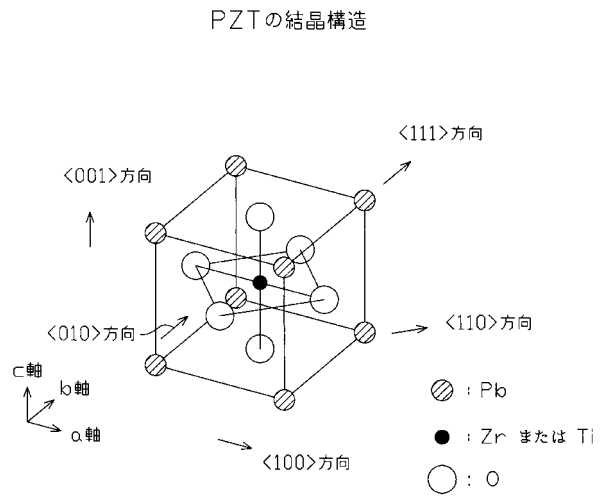
【 図 4 】



【 図 5 】

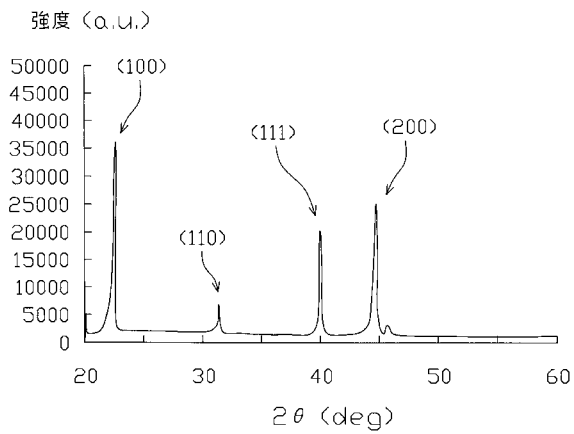


【 図 8 】



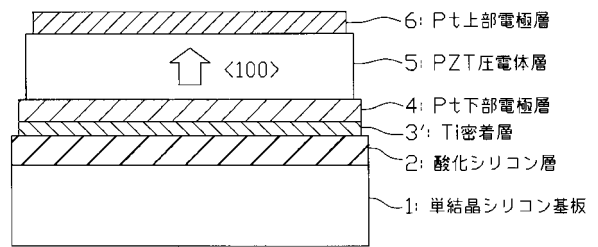
【 図 9 】

PZTのX線回折パターン



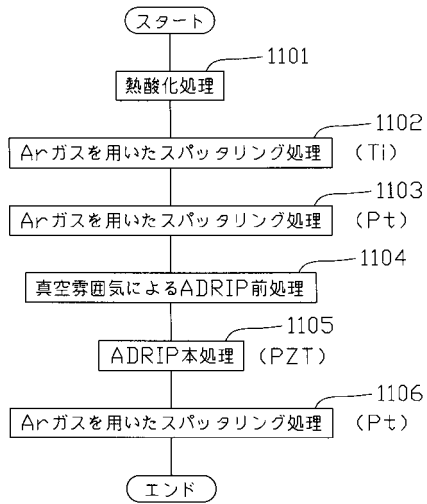
【 図 10 】

従来の圧電アクチュエータ

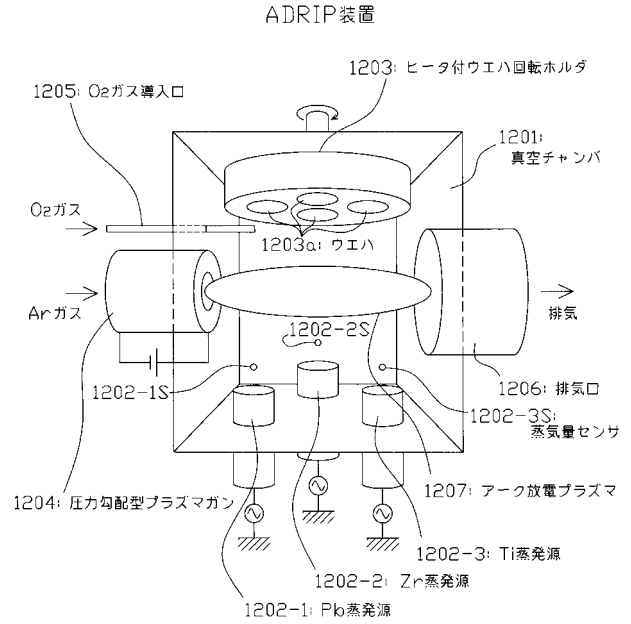


【 図 1 1 】

図 1 0 の圧電アクチュエータの製造方法

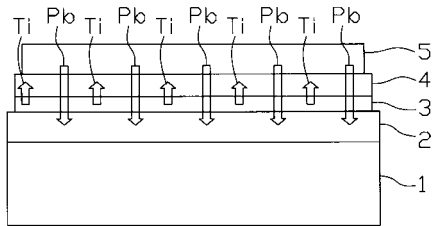


【 図 1 2 】

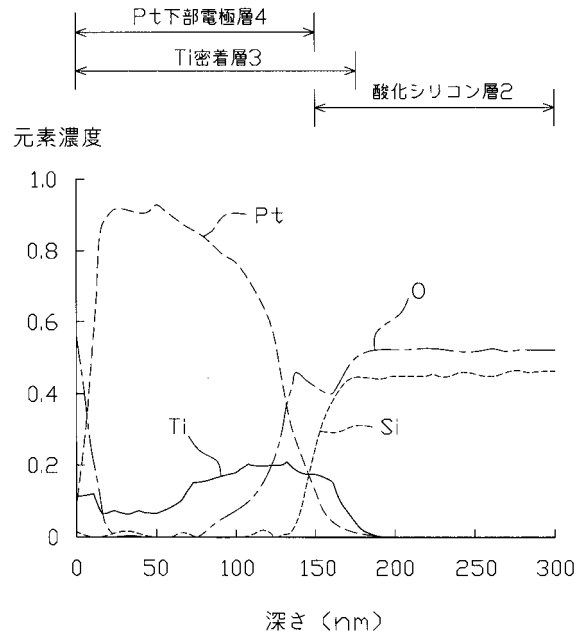


【 図 1 3 】

図 1 0 の圧電アクチュエータの課題

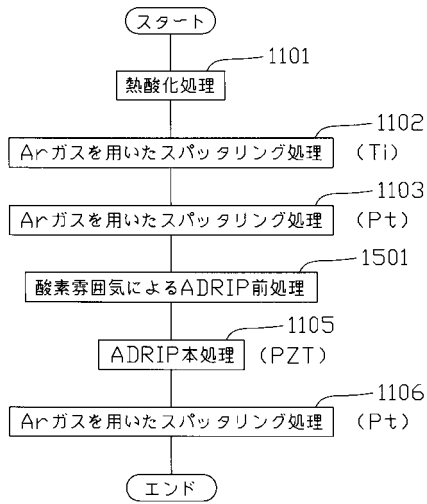


【 図 1 4 】

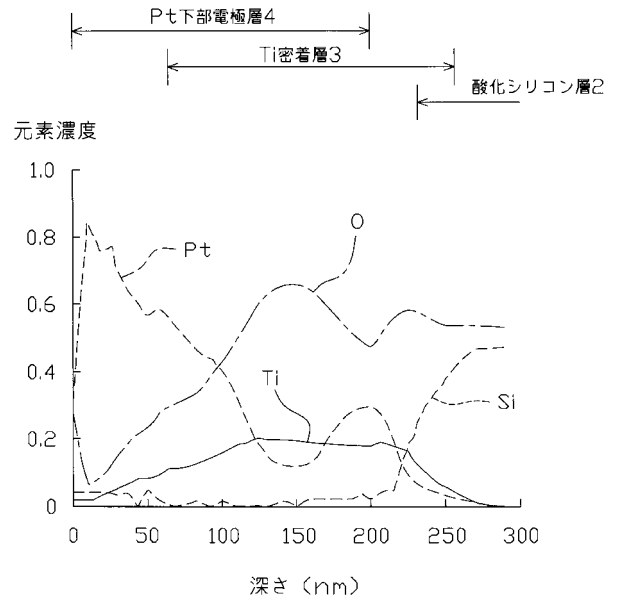


【 図 1 5 】

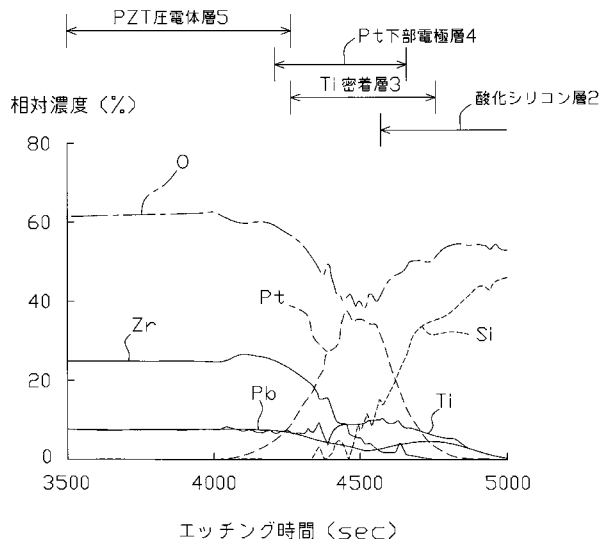
図 1 1 の変更例 (比較例)



【 図 1 6 】

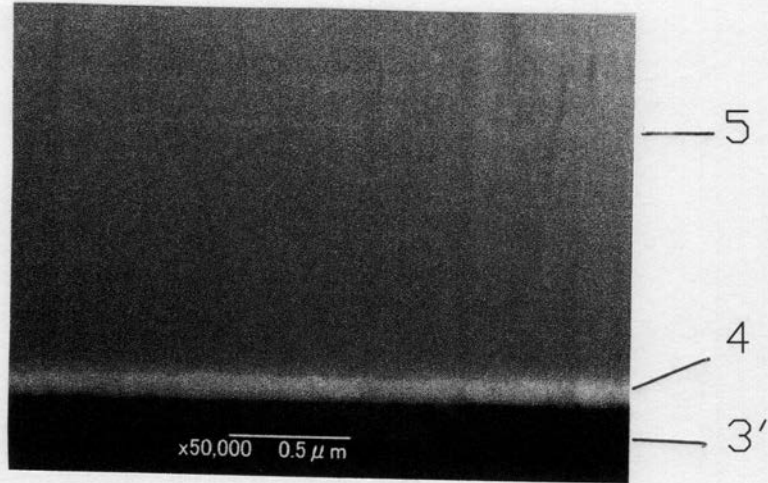


【 図 1 7 】



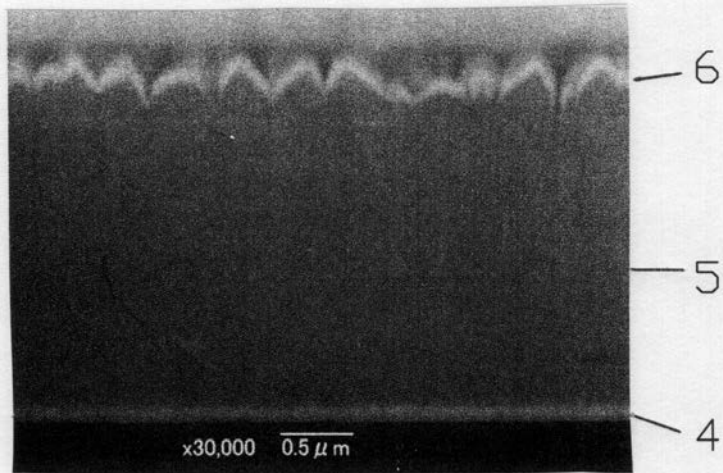
【図6】

TiO_x密着層3'、Pt下部電極層4及び
PZT圧電体層5の断面SEM写真



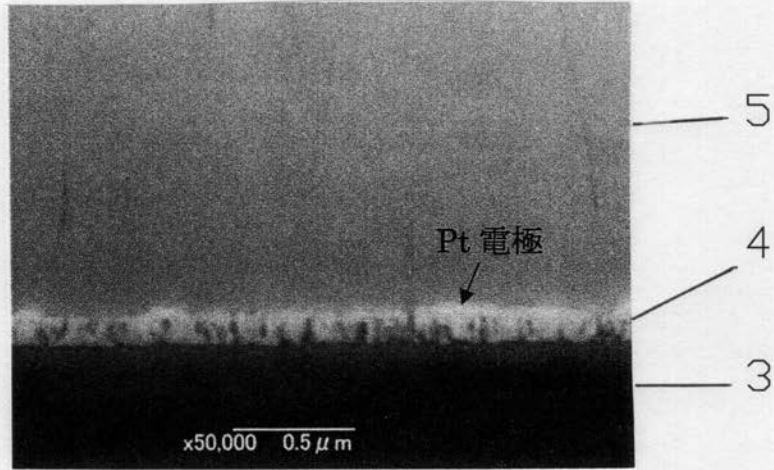
【図7】

Pt下部電極層4、PZT圧電体層5及び
Pt上部電極層6の断面SEM写真

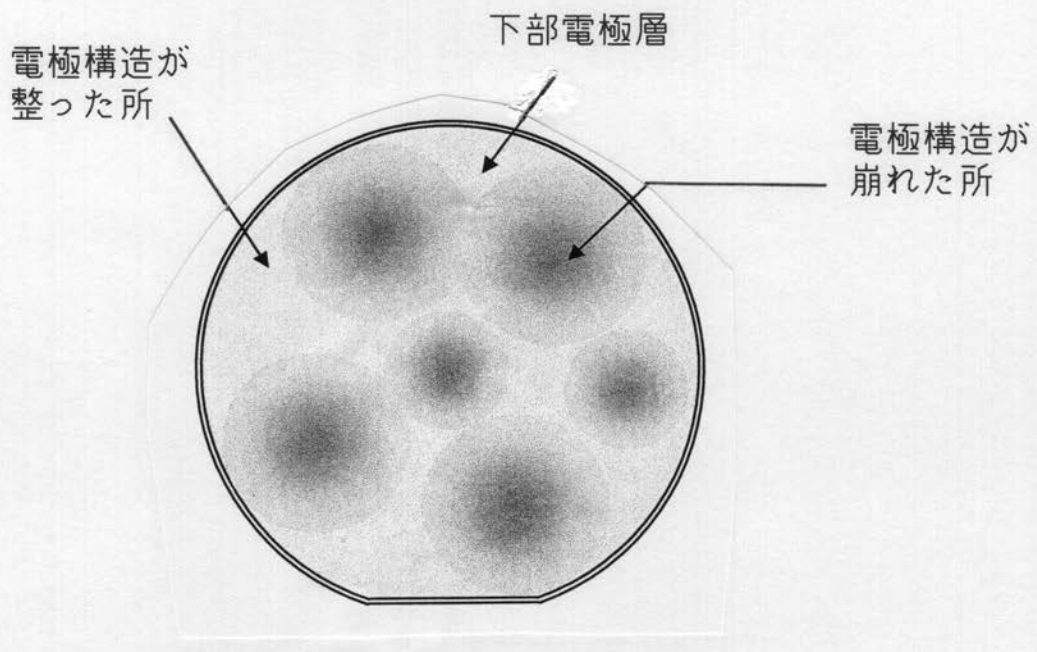


【図18】

(A) Ti密着層3、Pt下部電極層4及びPZT圧電体層5の断面SEM写真

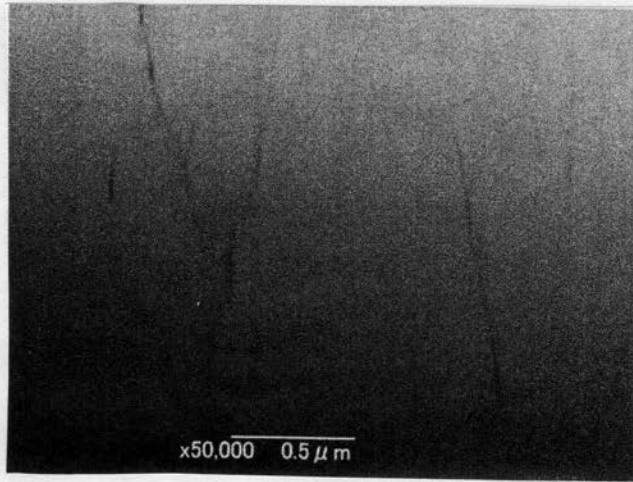


(B) Pt下部電極層4の平面写真

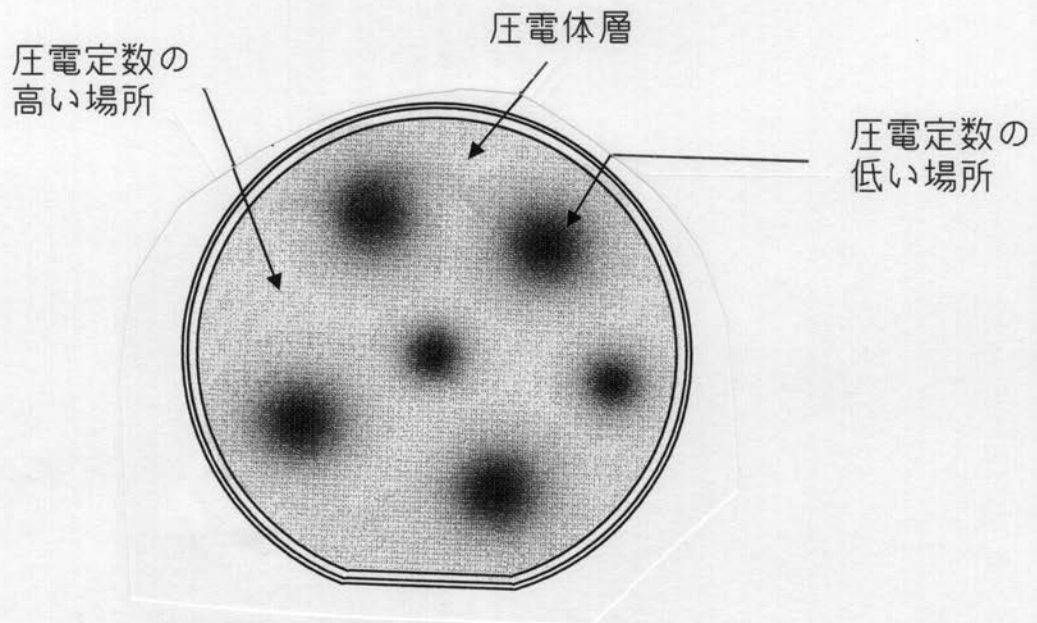


【図19】

(A) PZT圧電体層5の断面SEM写真

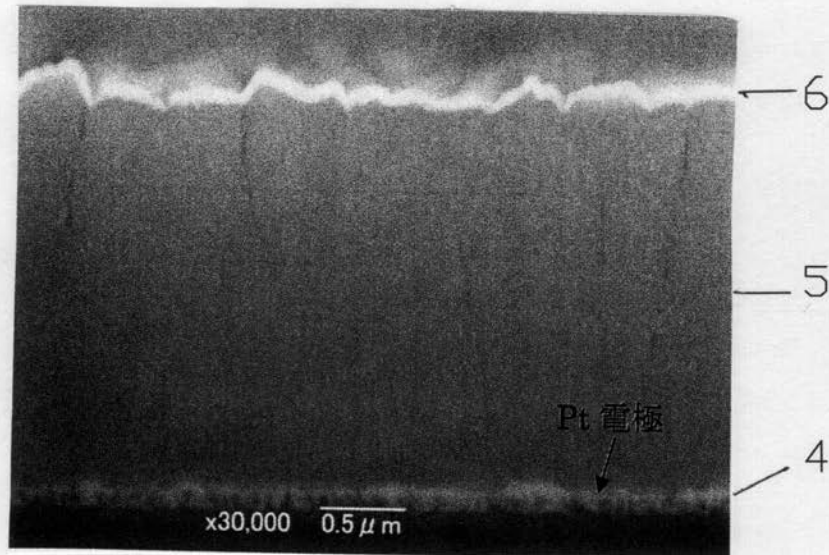


(B) PZT圧電体層5の平面写真



【図 20】

Pt下部電極層4、PZT圧電体層5及び
Pt上部電極層6の断面SEM写真



【手続補正書】

【提出日】平成24年1月27日(2012.1.27)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0002】

Pb、Zr、Tiの各元素を含む酸化化合物であるチタン酸ジルコン酸鉛 $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ (PZT) は図8に示す立方晶系ペロブスカイト型の結晶構造を有する。尚、図8においては、斜線球は単純立方配列のPb、黒球はZrもしくはTi、白球はOを示す。図9に示すごとく、PZTは $\langle 100 \rangle$ 方向あるいは $\langle 111 \rangle$ 方向に歪んだ場合に分極を発生し、これにより、 (100) 面配向もしくは (111) 面配向のときに優れた圧電性を発揮する(参照：特許文献1の図5、図10)。つまり、PZTの結晶構造には正方晶系及び菱面体晶系があり、正方晶系PZTの場合には、 $\langle 100 \rangle$ 方向(a軸方向)(あるいは $\langle 001 \rangle$ 方向(c軸方向))に最も大きな圧電変位が得られ、また、菱面体晶系PZTの場合には、 $\langle 111 \rangle$ 方向に最も大きな圧電変位が得られると言われている。また、圧電アクチュエータとしての重要な特性である耐電圧特性についてはチタン(Ti)リッチ($x < 0.5$)な正方晶系PZTの方が菱面体晶系PZTより良いとされている。これを利用したPZT圧電体層は、アクチュエータとして用いたMEMS素子、センサとして用いたMEMS素子、発電素子、ジャイロ素子等に用いられる。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0017】

しかしながら、上述の図10の圧電アクチュエータにおいては、ADRIP前処理及びADRIP本処理において、ウェハが約500℃まで加熱されるので、図13に示すごとく、Ti密着層3のTiがPt下部電極層4中に拡散され、また、PZT圧電体層5のPb成分がPt下部電極層4と反応して合金化したり、Ptの粒界に沿ってPt下部電極層4はおろかTi密着層3及び酸化シリコン層2中まで拡散してしまうという問題がある。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0019】

上述の課題を解決するために、本発明に係る圧電アクチュエータは、基板と、基板上に設けられた絶縁層と、絶縁層上に設けられた TiO_x ($0 < x < 2$)よりなる密着層と、密着層上に設けられた白金よりなる下部電極層と、Pt下部電極層上に設けられたPZTよりなる圧電体層とを具備するものである。これにより、密着層と絶縁層との結合及び密着層と下部電極層との結合を確保する。また、密着層のTi成分の下部電極層への拡散、下部電極層のPt成分の密着層への拡散、及びPZTのPb成分の下部電極層、密着層及び絶縁層への拡散が抑制される。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0021】

また、本発明に係る圧電アクチュエータの製造方法は、絶縁層を有する基板上に TiO_x ($0 < x < 2$)よりなる密着層を形成する密着層形成工程と、密着層上に白金よりなる下部電極層を形成する下部電極層形成工程と、ADRIP法によってPb蒸発量、Zr蒸発量及びTi蒸発量を制御して下部電極層上に $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ よりなるPZT圧電体層を形成する圧電体層形成工程とを具備するものである。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0024】

【図1】本発明に係る圧電アクチュエータの実施の形態を示す断面図である。

【図2】図2は図1の圧電アクチュエータの製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図3】図2の酸素雰囲気によるスパッタリング処理ステップにおける最適な酸素流量を説明するためのグラフである。

【図4】図1の圧電アクチュエータのPZT成分を除く深さ方向の元素濃度分布を示すX線光電子分光法(XPS)分析グラフである。

【図5】図1の圧電アクチュエータのPZT成分を含む深さ方向の元素濃度分布を示すX線光電子分光法(XPS)分析グラフである。

【図6】図1の TiO_x 密着層、Pt下部電極層及びPZT圧電体層の断面を示す走査型電子顕微鏡(SEM)写真である。

【図7】図1のPt下部電極層、PZT圧電体層及びPt上部電極層の断面を示すSEM写真である。

【図 8】PZTの結晶構造を示す図である。

【図 9】PZTのX線回折パターンを示すグラフである。

【図 10】従来の圧電アクチュエータを示す断面図である。

【図 11】図 10の圧電アクチュエータの製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図 12】図 11のADRIP処理ステップに用いられるADRIP装置を示す図である。

【図 13】図 10の圧電アクチュエータの課題を説明するための断面図である。

【図 14】図 10の圧電アクチュエータのPZT成分を除く深さ方向の元素濃度分布を示すX線光電子分光法(XPS)分析グラフである。

【図 15】図 11のフローチャートの変更例を示すフローチャートである。

【図 16】図 10の圧電アクチュエータのPZT成分を除く深さ方向の元素濃度分布を示す他のX線光電子分光法(XPS)分析グラフである。

【図 17】図 10の圧電アクチュエータのPZT成分を含む深さ方向の元素濃度分布を示すX線光電子分光法(XPS)分析グラフである。

【図 18】(A)は図 10のTi密着層、Pt下部電極層及びPZT圧電体層の断面を示すSEM写真、(B)は図 10のPt下部電極層の平面写真である。

【図 19】(A)は図 10のPZT圧電体層の断面を示すSEM写真、(B)は図 10のPZT圧電体層の平面写真である。

【図 20】図 10のPt下部電極層、PZT圧電体層及びPt上部電極層の断面を示すSEM写真である。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0027】

図 3 は図 2 の Ar ガス及び O_2 ガスを用いたスパッタリング処理ステップ 201 における最適な酸素流量を説明するグラフである。図 3 に示すように、酸素流量が小さ過ぎると、 TiO_x 密着層 3' の組成比 x は 0 に近づき、この結果、PZT 圧電体層 5 の圧電定数 ($-d_{31}$) はばらつき、逆に、酸素流量が多過ぎると、 TiO_x 密着層 3' の組成比 x は 2 に近づき、やはり、PZT 圧電体層 5 の圧電定数 ($-d_{31}$) はばらつくだけでなく、密着性が低下するために剥離しやすいことが明らかとなった。従って、酸素流量を最適に選択することにより不完全な酸化物としての TiO_x 密着層 3' を得、PZT 圧電体層 5 の圧電定数 ($-d_{31}$) のばらつきを小さくすることができる。そしてこの TiO_x 密着層 3' の TiO_x の組成比 x に勾配をもたせる方法の一つとして、 TiO_x 密着層 3' の成長開始時は酸素流量を大きくして TiO_x を TiO_2 に近づけ、他方、 TiO_x 密着層 3' の成長終了時には酸素流量を小さくして TiO_x を Ti に近づけ、成長途中においては、酸素流量を減少させる勾配をつけて TiO_x 密着層 3' の TiO_x の組成比 x に勾配をつける。この結果、 TiO_x 密着層 3' と酸化シリコン層 2 との結合は絶縁物同士となって強くなり、また、 TiO_x 密着層 3' と Pt 下部電極層 4 との結合は金属同士となって強くなる。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】図面

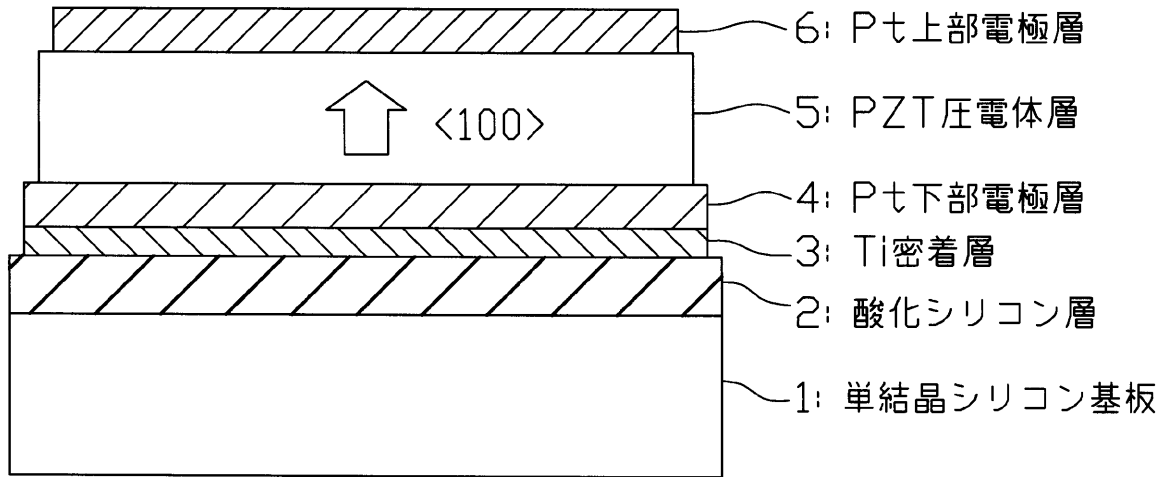
【補正対象項目名】図 10

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図10】

従来の圧電アクチュエータ



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

C 2 3 C 14/58

B