

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5267082号  
(P5267082)

(45) 発行日 平成25年8月21日(2013.8.21)

(24) 登録日 平成25年5月17日(2013.5.17)

(51) Int.Cl.	F I				
HO 1 L 41/09	(2006.01)	HO 1 L 41/08	C		
HO 1 L 41/08	(2006.01)	HO 1 L 41/08	Z		
HO 1 L 41/187	(2006.01)	HO 1 L 41/18	1 O 1 B		
HO 1 L 41/18	(2006.01)	HO 1 L 41/18	1 O 1 Z		
HO 1 L 41/22	(2013.01)	HO 1 L 41/22	Z		

請求項の数 4 (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2008-306575 (P2008-306575)	(73) 特許権者	000005120
(22) 出願日	平成20年12月1日(2008.12.1)		日立電線株式会社
(65) 公開番号	特開2009-200468 (P2009-200468A)		東京都台東区浅草橋一丁目2番16号
(43) 公開日	平成21年9月3日(2009.9.3)	(74) 代理人	100137855
審査請求日	平成23年1月21日(2011.1.21)		弁理士 沖川 寛
(31) 優先権主張番号	特願2008-13973 (P2008-13973)	(72) 発明者	柴田 憲治
(32) 優先日	平成20年1月24日(2008.1.24)		東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	岡 史人
			東京都千代田区外神田四丁目14番1号
			日立電線株式会社内
			日立電線株式会社内
		審査官	河合 俊英

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電薄膜素子及びそれを用いたセンサ並びにアクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリコン基板上に、下部電極と、圧電薄膜と、上部電極とを有する圧電薄膜素子において、

前記圧電薄膜が一般式  $(K_{1-x}Na_x)NbO_3$  ( $0 < x < 1$ ) で表されるアルカリニオブ酸化物系ペロブスカイト構造の薄膜で形成されると共に、

前記圧電薄膜の  $(001)$  面方位への配向率が80%以上であり、かつ、X線回折パターン  $(2 / )$  における前記圧電薄膜の  $(001)$  面による回折ピークの  $2$  の角度が  $22.1^\circ$   $2$   $22.5^\circ$  の範囲にあって、

前記下部電極は、 $(111)$  面方位に高配向されたPt薄膜からなり、

前記Pt薄膜の直上に前記圧電薄膜が形成されていることを特徴とする圧電薄膜素子。

【請求項2】

請求項1に記載の圧電薄膜素子において、前記圧電薄膜への印加電界  $30\text{ kV/cm}$  での圧電定数  $d_{31}$  が  $|d_{31}| \geq 80\text{ pm/V}$  であることを特徴とする圧電薄膜素子。

【請求項3】

請求項1または2に記載の圧電薄膜素子を用いて構成され、前記下部電極と前記上部電極の間に、電圧検知手段が接続されたことを特徴とするセンサ。

【請求項4】

請求項1または2に記載の圧電薄膜素子を用いて構成され、前記下部電極と前記上部電極の間に、電圧印加手段が接続されたことを特徴とするアクチュエータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は圧電薄膜を用いた圧電薄膜素子及びそれを用いたセンサ並びにアクチュエータに関し、更に詳しくは、シリコン基板上にアルカリニオブ酸化物系ペロブスカイト構造の圧電薄膜を有する圧電薄膜素子及びそれを用いたセンサ並びにアクチュエータに関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

圧電体は種々の目的に応じて様々な圧電素子に加工され、特に圧電素子に電圧を加えて変形を生じさせて動作させるアクチュエータや、逆に圧電素子の変形から発生する電圧から物理量を検知するセンサなどの機能性電子部品として広く利用されている。アクチュエータやセンサの用途に利用されている圧電体としては、優れた圧電特性を有する鉛系材料の誘電体、特にPZTと呼ばれる一般式： $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ で表されるPZT系のペロブスカイト型強誘電体がこれまで広く用いられており、通常個々の元素からなる酸化物を焼結することにより形成されている。

## 【0003】

現在、各種電子部品の小型化、高性能化が進むにつれ、圧電素子においても小型化、高性能化が強く求められるようになった。しかしながら、従来からの製法である焼結法を中心とした製造方法により作製した圧電材料は、その厚みを薄くするにつれ、特に厚みが100 $\mu m$ 程度の厚さに近づくとつれて、材料を構成する結晶粒の大きさに近づき、その影響が無視できなくなる。そのため、特性のばらつきや劣化が顕著になるといった問題が発生し、それを回避するために、焼結法に変わる薄膜技術等を応用した圧電体の形成法が近年研究されるようになってきた。最近、シリコン基板上にスパッタリング法で形成したPZT薄膜が、高感度のジャイロセンサ（角速度センサ）用の圧電薄膜として実用化されている（例えば、特許文献1参照）。

## 【0004】

一方、PZTから成る圧電焼結体や圧電薄膜は、鉛を60～70重量%程度含有している。そのため、環境への配慮から鉛を含有しない圧電体の開発が望まれている。

現在、様々な非鉛圧電材料が研究されているが、その中にニオブ酸カリウムナトリウム、一般式： $(K_{x-1}Na_x)NbO_3$ （ $0 < x < 1$ ）[以降、KNNとも記す]がある。KNNは、ペロブスカイト構造を有する材料であり、非鉛の材料としては比較的良好な圧電特性を示すため、非鉛圧電材料の有力な候補として期待されている。

## 【0005】

KNN焼結体は、 $x = 0.5$ 付近で優れた圧電特性を有する。また、Si基板上に化学溶液堆積法（chemical solution deposition：CSD法）でKNN膜を形成し、圧電定数 $d_{33}$ （ $d_{31} = -d_{33}/2$ とみなせる）が46pC/VのKNN薄膜が得られたとの報告がある（非特許文献1参照）。

## 【0006】

【特許文献1】特開2005-203725号公報

【非特許文献1】Y.Nakashima, W.Sakamoto, H.Maiwa, T. Shimura, and T.Yogo, Jpn. J. Appl. Phys., 46(2007), L311

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

上記KNNの薄膜は、スパッタリング法、PLD（レーザーアブレーション）法、CSD法（上記非特許文献1）などの成膜方法でシリコン基板上への成膜が試されている。しかしながら、現状では、シリコン基板上のKNN薄膜は、圧電定数 $d_{31}$ の値がPZT薄膜と比較して小さいため、ジャイロセンサなど高感度のセンサへの応用は実現できていない。

## 【0008】

本発明は、上記課題を解決し、ジャイロセンサなどに適用可能な性能を持つ、シリコン基板上にKNN薄膜を形成した圧電薄膜素子及びそれを用いたセンサ並びにアクチュエータを提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

上記課題を解決するために、本発明は次のように構成されている。

## 【0010】

本発明の第1の態様は、シリコン基板上に、下部電極と、圧電薄膜と、上部電極とを有する圧電薄膜素子において、前記圧電薄膜が一般式 $(K_{1-x}Na_x)NbO_3$  ( $0 < x < 1$ )で表されるアルカリニオブ酸化物系ペロブスカイト構造の薄膜で形成されると共に、前記圧電薄膜の(001)面方位への配向率が80%以上であり、かつ、X線回折パターン(2 / )における前記圧電薄膜の(001)面による回折ピークの2 の角度が $22.1^\circ$ 、 $22.5^\circ$ の範囲にあって、前記下部電極は、(111)面方位に高配向されたPt薄膜からなり、前記Pt薄膜の直上に前記圧電薄膜が形成されていることを特徴とする圧電薄膜素子である。

10

## 【0011】

本発明の第2の態様は、第1の態様の圧電薄膜素子において、前記圧電薄膜への印加電界 $30\text{ kV/cm}$ での圧電定数 $d_{31}$ が $|d_{31}| \geq 80\text{ pm/V}$ であることを特徴とする。

本発明の第3の態様は、第1または第2の態様に記載の圧電薄膜素子を用いて構成され、前記下部電極と前記上部電極の間に、電圧検知手段が接続されたセンサであることを特徴とする。

20

また本発明の第4の態様は、第1または第2の態様に記載の圧電薄膜素子を用いて構成され、前記下部電極と前記上部電極の間に、電圧検知手段が接続されたアクチュエータであることを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0012】

本発明によれば、圧電定数 $d_{31}$ の値を大幅に向上でき、ジャイロセンサなどに適用可能な性能を持つ、シリコン基板上にKNN薄膜を形成した圧電薄膜素子及びそれを用いたセンサ並びにアクチュエータが得られる。

30

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0013】

本発明は、シリコン(Si)基板上に形成されるKNN薄膜からなる圧電薄膜の(001)面方位への配向率を80%以上に、かつ、X線回折パターン(2 / スキャン)における(001)面回折ピークの2 の角度を $22.1^\circ$ 、 $22.5^\circ$ の範囲にすることで、従来のシリコン基板上のKNN膜と比較して非常に優れた圧電特性を実現することを主旨とする。

本発明により、低価格で大量に流通しているシリコン基板上に鉛フリーのKNN薄膜材料を用いた圧電薄膜素子において、ジャイロセンサなどに応用可能な特性を持たせることが可能となった。即ち、ジャイロセンサへの応用において特に重要である比較的低い印加電界時( $30\text{ kV/cm}$ )の圧電定数 $d_{31}$ が、 $|d_{31}| \geq 80\text{ pm/V}$ という実用レベルの圧電特性が得られ、従来のPZT薄膜を用いたジャイロセンサと同レベルのセンサ感度が実現される。また、シリコン基板を用いているため、圧電薄膜素子用の半導体制御回路や、その他の半導体回路・素子などを容易に集積化できる。

40

## 【0014】

図7は、X線回折パターン(以下、XRDと表記する場合もある)における入射X線、検出器、試料、走査軸の関係を示す概略図である。図7における3つの走査軸は、一般的に、軸が試料軸、軸があおり軸、軸が面内回転軸と呼ばれている。また、本発明におけるX線回折は、すべてCuK によるものとする。

## 【0015】

50

圧電薄膜（KNN薄膜）の結晶粒配向状態に関する評価は、XRDにおいて、入射X線に対して試料と検出器を軸で走査し、試料の走査軸を、検出器の走査角を $2\theta$ で走査する $2\theta$ 測定によって、圧電薄膜（KNN薄膜）の表面で、どの結晶面が優勢であるのかが評価できる。

本発明において圧電薄膜の格子定数の変化は、一般式 $K_{1-x}Na_xNbO_3$ （ $0 < x < 1$ ）であらわされるKNN薄膜での、混晶比 $x$ と相関関係にある。

#### 【0016】

以下に、本発明に係る圧電薄膜素子の実施形態を図面を用いて説明する。

#### 【0017】

図1は、本実施形態の圧電薄膜素子の概略的な構造を示す断面図である。

10

この実施形態の圧電薄膜素子は、図1に示すように、Si（単結晶）基板1上に、下部電極2と、KNNの圧電薄膜3と、上部電極4とが順次形成されている。

Si基板1は、その表面が(100)面の(100)面Si基板である。Si基板1は、その表面に図示しない酸化膜（ $SiO_2$ 膜）を形成して、下部電極2とSi基板とを電氣的に絶縁するようによい。

下部電極2は、KNNの圧電薄膜3を成膜させる重要な下地層となるので、電極材料にはPt（白金）を用いるのが好ましい。本実施形態では、RFマグネトロンスパッタリング法を用いてPt薄膜からなる下部電極2を形成した。Si基板1上に形成したPt膜は、自己配向性のために(111)面方位に配向しやすい。なお、Si基板1（又は $SiO_2$ 膜）と下部電極2との間に、下部電極2の密着性を高めるために、Ti密着層を設ける

20

のが好ましい。上部電極4は、KNNの圧電薄膜3上に形成する電極であって、下部電極2のように圧電薄膜3の構造に大きな影響を与えるものではないので、電極材料は特に限定されないが、本実施形態では、下部電極2と同様に、RFマグネトロンスパッタリング法によりPt薄膜の上部電極4を形成した。

#### 【0018】

KNNの圧電薄膜3は、一般式 $(K_{1-x}Na_x)NbO_3$ （ $0 < x < 1$ ）で表されるアルカリニオブ酸化物系ペロブスカイト構造の薄膜で形成される。KNN圧電薄膜3の形成方法には、スパッタリング法、CVD法、PLD法、ゾルゲル法などが考えられるが、本実施形態では、RFマグネトロンスパッタリング法を用いて形成した。

30

KNN圧電薄膜3の(001)面方位への配向率が80%以上であり、かつ、X線回折パターン（ $2\theta$ ）における圧電薄膜3の(001)面による回折ピークの $2\theta$ の角度が $22.1^\circ \sim 22.5^\circ$ の範囲にあるように作製する。また、KNN圧電薄膜の(001)面方位への配向率は、好ましくは81%以上、より好ましくは82%以上であるとする。

#### 【0019】

(001)面方位の配向率が80%以上のKNN圧電薄膜3は、例えば、KNN圧電薄膜3の下地となるPt薄膜の下部電極2を(111)面方位に高配向にすることで実現される。Pt薄膜を(111)面方位に高配向にするには、Pt薄膜の下のTi密着層の厚さを薄くすること、Pt薄膜の成膜温度を高くすること、Pt薄膜のスパッタ成膜時の $O_2$ 分圧を小さくすることなどで実現される。

40

また、(001)面方位の配向率が80%以上のKNN圧電薄膜3は、Pt下部電極2とKNN圧電薄膜3との間に、配向制御層を挿入することによっても実現できる。配向制御層は、下部電極2上に形成するKNN圧電薄膜3の(001)面方位への配向率を高めるための層であり、例えば、Pt(111)面上にKNNよりも(001)面方位に配向しやすい配向制御層を成膜しておけば、その上に成膜されるKNNはより高い割合で(001)面方位に配向されることになる。配向制御層としては、例えば、 $LaNiO_3$ 薄膜、 $NaNbO_3$ 薄膜、またはKNN圧電薄膜3の組成比 $x$ の値よりも大きな組成比を有するNaリッチな $(K, Na)NbO_3$ 薄膜などが挙げられる。

#### 【0020】

50

KNN圧電薄膜3の(001)面の回折ピーク角度は、例えば、組成比 $x = Na / (K + Na)$ 、Si基板1から受けるKNN圧電薄膜3の応力の大きさ、下地であるPt下部電極2の状況(例えば、PtとSiとの熱膨張係数の差に起因する応力の影響によって、Pt薄膜のin plane(面内方向:膜の表面に平行な方向)の格子定数が変わるなど)によって変化する。言い換えれば、KNN圧電薄膜3の $Na / (K + Na)$ 組成、成膜温度、Pt下部電極2の成膜条件などによって、KNN圧電薄膜3の(001)面の回折ピーク角度 $2\theta$ を制御することが可能となる。

#### 【0021】

次に、KNN圧電薄膜3の(001)面方位への配向率と、KNN圧電薄膜3のX線回折パターン(001)面による回折ピークの $2\theta$ 値の測定について説明する。

X線回折測定( $2\theta$  / 測定)によるX線回折パターン(001)面による回折ピークの一例を図4、図5に示す。図4、図5は、それぞれ後述の比較例5((001)面回折ピークの $2\theta = 22.0^\circ$ )、実施例2((001)面回折ピークの $2\theta = 22.2^\circ$ )の場合のX線回折パターンである。なお、X線回折測定は、上部電極を成膜する前の、KNN圧電薄膜が露出した状態の圧電薄膜素子に対して行う。

本明細書では、 $KNbO_3$ と $NaNbO_3$ のJCPDS-international Center for Diffraction Dataを基にして、基板1上の薄膜ではKNNは擬立方晶であることを考慮することで、X線回折パターンにおける $22.011^\circ$ 、 $22.890^\circ$ の範囲の回折ピークを、KNN(001)面による回折ピークであると考えている。

また、本明細書では、KNN薄膜の(001)面方位の配向率は、X線回折パターン(001)面による回折ピークの $2\theta = 20^\circ$ 、 $238^\circ$ の範囲におけるKNN結晶に起因する回折ピークに対して、 $\{KNN(001)$ 面の回折ピーク強度 / 全てのKNN結晶に起因する回折ピーク強度の総和 $\} \times 100(\%)$ の計算式で算出した値と定義している。

KNN薄膜の配向率を求めているので、Si基板や下部電極に起因する回折ピークは除外している。また、 $20^\circ$ 、 $238^\circ$ の範囲としたのは、KNN(002)面の回折ピークやPt(111)面の回折ピークなどを明確に排除するためである。

#### 【0022】

また、図2に、圧電薄膜3の圧電定数 $d_{31}$ の測定方法を示す。

まず、図1のSi基板1、下部電極2、KNN圧電薄膜3、及び上部電極4から構成される圧電薄膜を短冊形に切り出して細長い圧電薄膜素子10を作製した。次に、この圧電薄膜素子10の長手方向の一端をクランプ20で固定することで簡易的なユニモルフカンチレバーを構成した(図2(a))。この状態で上部電極4と下部電極2との間に電圧を印加し、KNN圧電薄膜3を伸縮させることでカンチレバー(圧電薄膜素子10)全体を屈曲動作させ、カンチレバーの先端(自由端)の上下方向(圧電薄膜3の膜厚方向)の変位量 $\Delta z$ をレーザードップラ変位計21で測定した(図2(b))。

圧電定数 $d_{31}$ はカンチレバー先端の変位量 $\Delta z$ 、カンチレバーの長さ $L$ 、基板1と圧電薄膜3の厚さとヤング率、印加電界(=印加電圧/膜厚)から算出される( $d_{31}$ の算出に関する文献: I.Kanno, H.Kotera, and K.Wasa, Sens. Actuators A 107 (2003), 68, 「Measurement of transverse piezoelectric properties of PZT thin films」参照)。

#### 【0023】

図2に示す圧電薄膜素子の下部電極2と上部電極4の間に、少なくとも電圧検知手段を接続することでセンサが得られる。このセンサの圧電薄膜素子が何らかの物理量の変化に伴って変形されると、その変形に伴って電圧が発生するので、この電圧を検知することで各種物理量を検知することができる。また、圧電薄膜素子の下部電極2と上部電極4の間に、少なくとも電圧印加手段を接続することでアクチュエータが得られる。このアクチュエータの圧電薄膜素子に電圧を印加して、圧電薄膜素子を変形することによって各種部材を動作させることができる。

センサとしては、例えば、ジャイロセンサ、超音波センサ、圧力センサ、速度・加速度センサなどが挙げられる。また、アクチュエータは、例えば、インクジェットプリンタ、スキャナー、超音波発生装置などに用いることができる。

## 【0024】

なお、上記実施形態のKNN圧電薄膜3には、Ta、Li、Sbのいずれか、又はこれらの複数が添加されていてもよい。

## 【0025】

以下に、本発明の実施例及び比較例を説明する。

図3に、実施例及び比較例の圧電薄膜素子の概略断面構造を示す。圧電薄膜素子は、Si基板11（その表面にはSiO<sub>2</sub>膜12が形成されている）上に、Ti密着層13、Pt下部電極14、(K<sub>0.5</sub>Na<sub>0.5</sub>)NbO<sub>3</sub>圧電薄膜15、およびPt上部電極16を順次形成したものである。

## 【0026】

次に、実施例1～8及び比較例1～19の圧電薄膜素子の作製方法を述べる。

Si基板11には、熱酸化膜付きSi基板（(100)面方位、厚さ0.5mm、サイズ4インチ円形、表面に熱酸化によるSiO<sub>2</sub>膜（膜厚0.5μm））を用いた。まず、Si基板11上に、RFマグネトロンスパッタリング法で、Ti密着層（膜厚1～10nm）13、Pt下部電極（(111)面単独配向、膜厚0.2μm）14を形成した。Ti密着層13とPt下部電極14は、基板温度290～410℃、放電パワー200W、導入ガスAr/O<sub>2</sub>雰囲気（Ar/O<sub>2</sub>=95/5～100/0）、圧力2.5Paで、Ti密着層13は成膜時間1～10分、Pt下部電極14は成膜時間10分の条件で成膜した。

続いて、Pt下部電極14の上に、RFマグネトロンスパッタリング法で(K<sub>1-x</sub>Na<sub>x</sub>)NbO<sub>3</sub>圧電薄膜15（0.1-x-0.9）を3μm形成した。(K<sub>1-x</sub>Na<sub>x</sub>)NbO<sub>3</sub>圧電薄膜15は、(K<sub>1-x</sub>Na<sub>x</sub>)NbO<sub>3</sub>焼結体をターゲットに用い、基板温度500～600℃、放電パワー100W、導入ガスAr雰囲気、圧力0.4Paの条件で成膜した。成膜時間は4時間00分とした。

更に、(K<sub>1-x</sub>Na<sub>x</sub>)NbO<sub>3</sub>圧電薄膜15の上にPt上部電極（膜厚0.02μm）16をRFマグネトロンスパッタリング法で形成した。Pt上部電極16は、基板加熱なし、放電パワー200W、導入ガスAr、圧力2.5Pa、成膜時間1分の条件で成膜した。

## 【0027】

上記実施例および比較例の圧電薄膜素子に対して、圧電定数d<sub>31</sub>の測定を行った。測定方法は、上述した図2に示す方法を用いた。カンチレバーを構成する圧電薄膜素子には、長さ20mm、幅2.5mmの短冊形の圧電薄膜素子を作製した。KNN圧電薄膜15のヤング率には、104[GPa]を用いた。

## 【0028】

また、KNN圧電薄膜15の配向状態及び混晶比xを調べるために、Pt上部電極16を形成する前の、KNN圧電薄膜15が露出した状態の上記実施例および比較例の圧電薄膜素子に対して、X線回折測定（2θ測定）を行った。図4に、比較例の一例として比較例5のX線回折パターンの測定結果を、図5に、実施例の一例として実施例2のX線回折パターンの測定結果を示す。図4と図5を比較すると、KNN圧電薄膜15の(001)面方位の配向は、図5の実施例2の方が、図4の比較例1よりも大幅に向上していることが分かる。

KNN圧電薄膜15の(001)面方位の配向率は、上述したように、X線回折測定（2θ測定）での、2θ角度が20°～38°の範囲のKNN結晶に起因する回折パターンに対して、[KNN(001)面の回折ピーク強度]/[全てのKNN結晶に起因する回折ピーク強度の総和]×100(%)の計算式で算出した。具体的には、「KNN(001)面の回折ピーク」は、22.011°～22.890°の範囲にある回折ピークとした。

「20°～38°の範囲にある全てのKNN結晶に起因する回折ピーク」には、「KNN(001)面の回折ピーク」と、「KNN(110)面の回折ピーク」とを考慮した。

10

20

30

40

50

## 【0029】

図6(1)、(2)、(3)に、上記製造条件で作製した実施例1~8及び比較例1~19における、Pt(Pt下部電極14)/Ti(Ti密着層13)の成膜条件、KNN(KNN圧電薄膜15)の成膜条件、KNN(001)面方位の配向率[%]、KNN(001)面の回折ピーク角度[°]、及び電界30kV/cm印加時の圧電定数 $d_{31}$ [pm/V](絶対値)を示す。

KNN圧電薄膜15の成膜温度が、図6(1)は500の場合、図6(2)は550の場合、図6(3)は600の場合の例であり、図6(1)、(2)、(3)には、それぞれ、Na/(K+Na)組成を0.1~0.9まで変えて成膜した例を挙げている。図6に示す通り、Na/(K+Na)組成を大きくするにつれて、KNN(001)面の回折ピーク角度 $2\theta$ の値を大きくできることが分かる。

10

KNN薄膜の成膜条件などによっても、KNN薄膜の(100)面配向率は変わるが、Pt/Tiの成膜条件などによってもKNN薄膜の(100)面配向率は変わる。これは、Pt/Tiの成膜条件によりPt薄膜を(111)面方位に高配向させ、KNN薄膜の(001)面方位の配向率を向上させることができるためである。

さらに本発明者らに拠れば、Ti密着層の厚さを薄く、Pt薄膜の成膜温度を高く、Ptスパッタ成膜時の雰囲気中の $O_2$ 分圧を小さくするという条件で成膜することにより、KNN(001)面方位の配向率を向上できることが分かった。

## 【0030】

図6に示すように、KNN(001)面方位の配向率が80%以上という条件と、KNN(001)面の回折ピーク角度 $2\theta$ が $22.1^\circ \sim 22.5^\circ$ の範囲にあるという条件との2条件を満足する実施例1~8では、 $|d_{31}|$ が81~88[pm/V]と高い値を示している。これに対して、上記2条件の一方のみ満足するか、或いは2条件とも満足しない比較例1~19では、 $|d_{31}|$ が58[pm/V]以下である。このように、上記2条件を満たす実施例1~8では、 $d_{31}$ の値が大幅に向上しており、圧電薄膜のジャイロセンサへの適用条件である $|d_{31}| \geq 80$  pm/Vが実現されている。

20

## 【図面の簡単な説明】

## 【0031】

【図1】本発明の実施形態に係る圧電薄膜素子を示す模式断面図である。

【図2】圧電薄膜素子の圧電定数 $d_{31}$ の測定方法を説明する概略図である。

30

【図3】実施例及び比較例に係る圧電薄膜素子を示す模式断面図である。

【図4】比較例における圧電薄膜素子のX線回折パターンの測定結果の一例を示すグラフである。

【図5】実施例における圧電薄膜素子のX線回折パターンの測定結果の一例を示すグラフである。

【図6】実施例と比較例における、Pt/Tiの成膜条件、KNN薄膜の成膜条件、KNN(001)面方位の配向率、KNN(001)面の回折ピーク角度、および圧電特性を表形式で示す図である。

【図7】X線回折における入射X線、検出器、試料、走査軸の関係を示す概略図である。

## 【符号の説明】

40

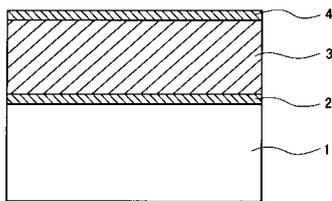
## 【0032】

- 1 Si基板
- 2 下部電極
- 3 KNN圧電薄膜
- 4 上部電極
- 10 圧電薄膜素子
- 11 Si基板
- 12  $SiO_2$ 膜
- 13 Ti密着層
- 14 Pt下部電極

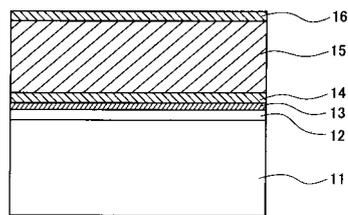
50

- 15  $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$  圧電薄膜 (KNN 圧電薄膜)
- 16 Pt 上部電極

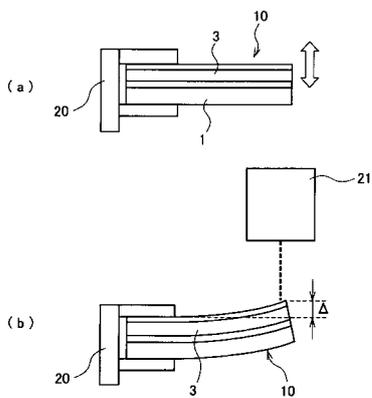
【図1】



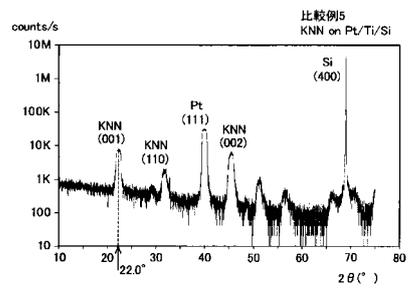
【図3】



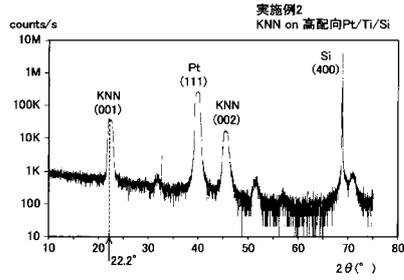
【図2】



【図4】



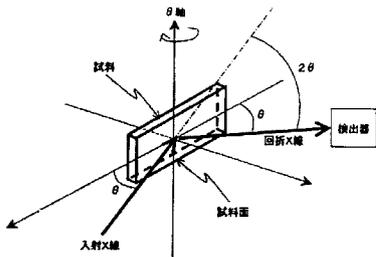
【図5】



【図6】

比較例1	比較例2	比較例3	比較例4	比較例5	比較例6	比較例7	比較例8	比較例9	比較例10	比較例11	比較例12	比較例13	比較例14	比較例15	比較例16	比較例17	比較例18	比較例19
Pt/Tiの成膜条件																		
成膜厚さ(μm)	10	5	4	2	2	3	10	4	3	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Pt成膜温度(°C)	290	300	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
KNNの成膜条件	成膜厚さ(μm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
KNN成膜温度(°C)	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
Isr/(Ks)比	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
KNN(001)面方位の配向率(%)	90	70	60	80	95	90	81	60	70	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
KNN(001)面方位の配向率(°)	21.8	21.7	21.8	21.9	22.0	22.1	22.2	22.3	22.4	22.5	22.6	22.7	22.8	22.9	23.0	23.1	23.2	23.3
H <sub>2</sub> [mm <sup>2</sup> ]/[20V/cm <sup>2</sup> ]	32	35	38	40	55	85	83	50	44	29	38	45	55	64	80	90	90	90

【図7】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 1 C 19/56 (2012.01) G 0 1 P 9/04  
G 0 1 C 19/56

(56)参考文献 特開2007-019302(JP,A)  
特開2006-291332(JP,A)  
特開2009-049355(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H 0 1 L 4 1 / 0 9  
G 0 1 C 1 9 / 5 6  
H 0 1 L 4 1 / 0 8  
H 0 1 L 4 1 / 1 8  
H 0 1 L 4 1 / 1 8 7  
H 0 1 L 4 1 / 2 2