

明 細 書

発明の名称：振動装置

技術分野

[0001] 本発明は、複数の音叉腕を有する振動装置に関し、特に、MEMS型の振動装置に関する。

背景技術

- [0002] 従来、Si半導体層上に圧電薄膜を含む励振部が構成されているMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 構造が知られている。MEMS構造を有する振動子において、周波数温度係数TCFを改善するために様々な試みがなされている。下記の特許文献1には、Siと、SiO₂とを積層することによりTCFの絶対値を小さくする方法が開示されている。また下記の特許文献2及び3には、Siにp型またはn型のドーピングを施すことにより、Si自体の一次の周波数温度係数を小さくする方法が開示されている。
- [0003] 下記の特許文献4には、Si/SiO₂複合材料を用い、かつSiに高濃度ドーピングする方法が開示されている。特許文献4では、二次の周波数温度係数を小さくすることができる旨が記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献1：WO2008/043727
特許文献2：WO2010/062847
特許文献3：WO2012/110708
特許文献4：WO2012/156585

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 特許文献1～4に記載のように、従来、MEMS構造を有する振動子においてTCFの絶対値を小さくする方法が種々提案されていた。しかしながら

、これらに記載の方法では、なおTCFの絶対値を十分に小さくすることは困難であった。

[0006] 本発明の目的は、周波数温度係数TCFの絶対値を十分に小さくすることができる振動装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本願の第1の発明に係る振動装置は、平面視した場合、長辺と短辺とを有する矩形板状の形状を有し、前記短辺方向に伸縮振動する振動装置である。

[0008] 第1の発明に係る振動装置は、縮退半導体からなるSi層と、酸化ケイ素層と、圧電体層と、前記圧電体層に電圧を印加する第1、第2の電極とを含む。そして、前記Si層の厚みの総和を T_1 、酸化ケイ素層の厚みの総和を T_2 、酸化ケイ素層が設けられていない場合の上記振動装置におけるTCFを x (ppm/K) としたときに、 $T_2 / (T_1 + T_2)$ が、 $(-0.0003x^2 - 0.0256x + 0.0008) \pm 0.05$ の範囲内にある。

[0009] 第2の発明に係る振動装置は、正方形板状の形状を有し、正方形板に平行な面内で各辺が伸縮振動する振動装置である。

[0010] 第2の発明に係る振動装置は、縮退半導体からなるSi層と、酸化ケイ素層と、圧電体層と、前記圧電体層に電圧を印加する第1、第2の電極とを含む。第2の発明では、前記Si層の厚みの総和を T_1 、酸化ケイ素層の厚みの総和を T_2 、酸化ケイ素層が設けられていない場合の上記振動装置におけるTCFを x (ppm/K) としたときに、 $T_2 / (T_1 + T_2)$ が、 $(-0.0003x^2 - 0.0228x + 0.0024) \pm 0.05$ の範囲内にある。

[0011] 第3の発明に係る振動装置は、平面視した場合、長辺と短辺とを有する矩形板状の形状を有し、前記長辺方向に伸縮振動する振動装置である。

[0012] 第3の発明に係る振動装置は、縮退半導体からなるSi層と、酸化ケイ素層と、圧電体層と、前記圧電体層に電圧を印加する第1、第2の電極とを含む。第3の発明では、前記Si層の厚みの総和を T_1 、酸化ケイ素層の厚みの総和を T_2 、酸化ケイ素層が設けられていない場合の上記振動装置におけ

るTCFを x (ppm/K)としたときに、 $T_2 / (T_1 + T_2)$ が、 $(-0.0003x^2 - 0.0250x + 0.0215) \pm 0.05$ の範囲内にある。

[0013] 本発明（以下、第1～第3の発明を総称して本発明とする）の振動装置のある特定の局面では、前記Si層が、n型ドーピング剤によりドーピングされている。好ましくは、ドーピング剤としてリン(P)が用いられる。

[0014] 本発明に係る振動装置の他の特定の局面では、前記酸化ケイ素層が、前記Si層の一方主面に積層されている。

[0015] 本発明に係る振動装置の別の特定の局面では、前記圧電体層の一方主面に前記第1の電極が設けられており、前記圧電体層の他方主面に前記第2の電極が設けられている。

[0016] 本発明に係る振動装置のさらに別の特定の局面では、前記第2の電極が、前記Si層で兼ねられている。

[0017] 本発明に係る振動装置のさらに他の特定の局面では、前記酸化ケイ素層が、前記Si層の両面に形成されている。

発明の効果

[0018] 本発明に係る振動装置では、上記酸化ケイ素層の厚みの割合である厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ が、上記特定の範囲内とされているため、周波数温度係数TCFの絶対値を著しく小さくすることができる。従って、温度特性が良好な振動装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]図1(a)は、本発明の第1の実施形態の振動装置の斜視図であり、図1(b)はその正面断面図であり、図1(c)は第1の実施形態に用いられている励振部の部分切欠正面断面図である。

[図2]図2は、第1の実施形態において、酸化ケイ素層が設けられていない場合のTCFの値を x としたときに、TCFの絶対値が0となる厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を説明するための図である。

[図3]図3は、第1の実施形態の振動装置における温度と共振周波数変化率と

の関係を示す図である。

[図4]図4 (a) 及び (b) は、本発明において、S i 層上に酸化ケイ素層が積層されている構造及びS i 層の両面に酸化ケイ素層が設けられている構造の各正面断面図である。

[図5]図5は、本発明の第2の実施形態に係る振動装置の斜視図である。

[図6]図6は、第2の実施形態において、酸化ケイ素層が設けられていない場合のTCFの値をxとしたときに、TCFの絶対値が0となる厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を説明するための図である。

[図7]図7は、本発明の第3の実施形態に係る振動装置の斜視図である。

[図8]図8は、第3の実施形態において、酸化ケイ素層が設けられていない場合のTCFの値をxとしたときに、TCFの絶対値が0となる厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を説明するための図である。

[図9]図9は、本発明の第4の実施形態に係る振動装置の斜視図である。

[図10]図10は、S i 層におけるPのドーピング密度と、S i 層の比抵抗との関係を示す図である。

[図11]図11 (a) は、本発明の第1の実施形態の変形例に係る振動装置の正面断面図であり、図11 (b) は、その変形例の振動装置で用いられている励振部の部分切欠正面断面図であり、図11 (c) は、第1の実施形態の変形例において、S i 層に酸化ケイ素層が積層されている構造の正面断面図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、図面を参照しつつ、本発明の具体的な実施形態を説明することにより、本発明を明らかにする。

[0021] 図1 (a) は、本発明の第1の実施形態に係る振動装置の斜視図である。図1 (b) はその正面断面図であり、図1 (c) は第1の実施形態に用いられている励振部の部分切欠正面断面図である。

[0022] 振動装置1は、平面視した際に、一対の長辺と一対の短辺とを有する矩形板状の形状を有する。この矩形板状の形状を有するS i 層2上に、酸化ケイ

素層 3 及び励振部 4 が積層されている。

[0023] Si 層 2 は、縮退半導体からなる。縮退半導体であるため、n 型ドーパントのドーピング濃度は、 1×10^{19} 個/cm³以上であればよい。n 型ドーパントとしては、P、As または Sb などの第 15 族元素を挙げることができる。好ましくは、ドーパントとして P が用いられる。その場合には、容易に n 型の縮退半導体を製造することができる。

[0024] 本実施形態では、Si 層はリンが 5×10^{19} /cm³ の濃度でドーピングされた n 型 Si 半導体からなる。また、図 10 に示すように、リン (P) のドーピング密度が 5×10^{19} 個/cm³ であるため、比抵抗は $1.5 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下となり、縮退半導体である。

[0025] 酸化ケイ素層 3 は、本実施形態では、SiO₂ からなる。本実施形態では、上記 Si 層 2 の上面に SiO₂ からなる酸化ケイ素層 3 が積層されている。

[0026] 酸化ケイ素層 3 は、SiO₂ に限らず、Si_aO_b (a、b は整数) の適宜の組成を有する酸化ケイ素系材料により構成することができる。

[0027] 本実施形態では、励振部 4 は、圧電体層である圧電薄膜 5 と、第 1 の電極 6 と、第 2 の電極 7 とを有する。第 1 の電極 6 と第 2 の電極 7 とは、圧電薄膜 5 を挟むように設けられている。

[0028] 上記圧電薄膜 5 を構成する圧電材料は特に限定されないが、バルク波を利用した振動装置では、Q 値が高いことが好ましい。従って、電気機械結合係数 k^2 は小さいが、Q 値が高い AlN が好適に用いられる。

[0029] もっとも、ZnO、Sc 置換 AlN、PZT、KNN などを用いてもよい。Sc 置換 AlN 膜 (ScAlN) は、Sc と Al の原子濃度を 100 at % とした場合、Sc 濃度が 0.5 at % から 50 at % 程度であることが望ましい。

[0030] ScAlN は、AlN よりも電気機械結合係数 k^2 が大きく、PZT や KNN よりも機械的な Q_m が大きい。従って、ScAlN は、本発明のような共振型振動子に適用すると、以下の利点がある。共振型振動子の用途として発振器がある。例えば TCXO (温度補償型発振器) では内蔵する温度センサ

の信号を、振動子と直列接続された可変容量素子にフィードバックし、可変容量素子の容量値を変化させる。それによって、発振周波数を調整することができる。この時、圧電薄膜としてA l Nの代わりにS c A l Nを用いると、共振型振動子の比帯域が広がる。従って、発振周波数の調整範囲を広げることができる。

[0031] 同様にS c A l NをV C X O（電圧制御発振器）に用いる場合は、発振周波数の調整範囲が広がる。従って、共振型振動子の初期の周波数ばらつきを可変容量素子で調整することができる。よって、周波数調整工程のコストが大幅に削減できる。

[0032] 第1, 第2の電極6, 7は、M o、R u、P t、T i、C r、A l、C u、A g、またはこれらの合金などの適宜の金属により形成することができる。

[0033] 本実施形態の振動装置1では、上記第1の電極6と第2の電極7との間に交番電界を印加することにより、励振部4が励振される。その結果、振動装置1全体が短辺方向に伸縮振動する。すなわち短辺方向において、振動装置1が伸びている状態と、縮んでいる状態とを繰り返す伸縮振動が生じる。

[0034] 本実施形態の特徴は、上記酸化ケイ素層3の厚み比が酸化ケイ素層3が設けられていない場合のT C Fを基準として特定の厚みの範囲内とされていることにある。より具体的には、酸化ケイ素層3が設けられていない場合のT C Fを x (ppm/K)とする。酸化ケイ素層3が設けられていない場合のT C Fは、リン(P)がドーピングされたS i層2におけるドーピング量に応じて定まる値である。S i層2の厚みを T_1 、酸化ケイ素層3の厚みを T_2 とする。本実施形態では、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ が下記の式(1)

$$(-0.0003x^2 - 0.0256x + 0.0008) \pm 0.05 \cdots \text{式(1)}$$

の範囲内とされている。それによって、周波数温度係数の絶対値が 0 ± 5 ppm/°C以内と著しく小さくなる。これを、図2を参照して説明する。

[0035] 図2の横軸は、上記のように、酸化ケイ素層が設けられていない場合のT

C Fであり、縦軸は厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ である。図2にプロットされている点は、上記酸化ケイ素層3が設けられている本実施形態において、TCFの絶対値が0である場合の点である。そして、曲線Aはこれらの点から近似することにより得られた曲線であり、 $y = -0.0003x^2 - 0.0256x + 0.0008$ で表される。

[0036] 従って、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ が、 $-0.0003x^2 - 0.0256x + 0.0008$ であればTCFが0となる。また、本願発明者らによれば、上記厚み比が、 $(-0.0003x^2 - 0.0256x + 0.0008) \pm 0.05$ の範囲内であれば、TCFは $0 \pm 5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の範囲内であることが確かめられている。

[0037] よって、第1の実施形態では、Si層2のドーピング量に応じたTCF値 x に応じて、上記厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を上記式(1)の範囲内とすることにより、周波数温度係数TCFの絶対値を著しく小さくし、温度特性の良好な振動装置1を構成し得ることがわかる。

[0038] 本願発明者らの実験によれば、リン(P)を $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上の濃度で添加したSi層2を用い、上記矩形の長辺方向をSiの(100)方向に一致させた場合の上記振動特性のTCFは約 $-3 \text{ ppm}/\text{K}$ であった。この場合、図2より、 $T_2 / (T_1 + T_2) = 0.08$ である。従って、酸化ケイ素層3の厚みの最適値は $0.8 \mu\text{m}$ となる。

[0039] 図3は、本実施形態の振動装置1の共振周波数変化率 dF_r / dF (ppm)の温度変化を示す図である。ここでは、振動装置1の寸法は、長辺 $= 210 \mu\text{m}$ 、短辺の長さ $= 140 \mu\text{m}$ とした。また、Si層2におけるリン(P)のドーピング量は $5 \times 10^{19} \text{ 個}/\text{cm}^3$ とし、Si層の厚みは $10 \mu\text{m}$ とした。

[0040] 酸化ケイ素層3は、 SiO_2 からなり、その厚みは $0.8 \mu\text{m}$ とした。励振部4における圧電薄膜5はAlNからなり、その厚みは $0.8 \mu\text{m}$ とした。第1、第2の電極6、7は、Moからなり、その厚みは、それぞれ、 $0.1 \mu\text{m}$ とした。

- [0041] 上記のようにして、共振周波数が26MHzである振動装置1を作製した。
- [0042] 上記振動装置1における20℃の共振周波数 F_{r20} を基準とし、共振周波数変化率 dF_r/dF (ppm)と温度との関係を求めた。 dF_r/dF は、 $(F_r - F_{r20})/F_{r20}$ である。
- [0043] 図3から明らかなように、本実施形態によれば、0～100℃の間で、共振周波数変化率が80ppm以内と非常に小さい。
- [0044] なお、上記実施形態では、図4(a)に略図的に示すように、Si層2の片面に酸化ケイ素層3が積層されていた。もっとも、本発明においては、図4(b)に示すように、Si層2の片面に一方の酸化ケイ素層3aを、他方面に他方の酸化ケイ素層3bを積層してもよい。この場合には、上記厚み比 $T2/(T1+T2)$ における $T2$ は、複数の酸化ケイ素層3a, 3bの厚み $T2a$, $T2b$ の総和とすればよい。同様に、Si層についても複数層積層されていてもよい。その場合には、厚み $T1$ は、複数のSi層の厚みの総和とすればよい。
- [0045] なお、Si層2の両面に酸化ケイ素層3a, 3bを設けた構造では、Si層の反りを抑制することができる。
- [0046] 図11(a)は、本発明の第1の実施形態の変形例に係る振動装置の正面断面図である。図11(b)は、その変形例の振動装置で用いられている励振部の部分切欠正面断面図である。
- [0047] 図11(a)に示すように、第1の実施形態の変形例に係る振動装置では、Si層2の一方主面に酸化ケイ素層3が積層されている。Si層2の他方主面には、励振部8が積層されている。上記励振部8は、圧電薄膜5及び第1の電極6を備える。本変形例においては、第2の電極7が別途設けられず、Si層2が第2の電極を兼ねている。
- [0048] 上記圧電薄膜5及び第1の電極6は、Si層2上にこの順に積層されている。上記Si層2は縮退半導体からなるため、Si層2、圧電薄膜5及び第1の電極6がこの順に積層される場合、Si層2が第2の電極として作用す

る。すなわち、本変形例においては、上記第1の電極6及びSi層2により、圧電薄膜5に電圧が印加される。この場合、第2の電極7を別途設けなくともよいので、構造を簡略化することができる。従って、信頼性や、量産性に優れた振動装置を提供することができる。

[0049] また、図11(c)に示すように、第1の実施形態の変形例においても、Si層2の厚みを T_1 、酸化ケイ素層3の厚みを T_2 、酸化ケイ素層が設けられていない場合の上記振動装置におけるTCFを x (ppm/K)としたときに、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ が下記の式(1)

$$(-0.0003x^2 - 0.0256x + 0.0008) \pm 0.05 \cdots \text{式(1)}$$

の範囲内とされている。それによって、周波数温度係数の絶対値が 0 ± 5 ppm/°C以内と著しく小さくなる。従って、温度特性が良好な振動装置を提供することができる。

[0050] 図5は、第2の実施形態に係る振動装置の斜視図である。第2の実施形態の振動装置11は、全体が正方形板状の形状を有する。第2の実施形態においても、Si層2上に、酸化ケイ素層3及び励振部4が積層されている。

[0051] Si層2、酸化ケイ素層3及び励振部4の平面形状を除いては、第1の実施形態と同様である。従って、同一参照番号を付することにより、第1の実施形態の説明を援用することにより詳細な説明を省略する。

[0052] 本実施形態では、正方形板状の振動装置11であり、励振部4において第1の電極6と第2の電極7との間に交番電界を印加すると、正方形板が両主面と平行な面において伸縮振動する。すなわち伸縮振動モードによる振動特性を利用することができる。

[0053] 本実施形態においても、酸化ケイ素層3の厚み T_2 の厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ が、特定の範囲内とされているため、周波数温度係数TCFの絶対値を著しく小さくすることができる。より具体的には、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を、 $(-0.0003x^2 - 0.0228x + 0.0024) \pm 0.05$ の範囲内とされており、それによって周波数温度係数TCFの絶対値を

$0 \pm 5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の範囲内とすることができる。これを、図6を参照して説明する。

[0054] 図6の横軸は、酸化ケイ素層が設けられていない場合のTCFであり、縦軸は上記厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ である。図6中の多数の点は、酸化ケイ素層を設けた場合に周波数温度係数TCFが0となる位置である。曲線Bは、これらの点の座標を近似して得られたものであり、厚み比を y 、上記横軸のTCFを x とした場合、 $y = -0.0003x^2 - 0.0228x + 0.0024$ である。従って、この式を満たすように、酸化ケイ素層3が設けられていない場合のTCFの値 x に応じ、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を選択することにより、周波数温度係数TCFを0とすることができる。そして、本願発明者らの実験によれば、厚み比は、上記 $(-0.0003x^2 - 0.0228x + 0.0024) \pm 0.05$ の範囲内とすれば、周波数温度係数TCFを $0 \pm 5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の範囲内とすることができる。

[0055] よって、第2の実施形態においても、Si層のドーピング量により定まるTCFの値 x に応じ、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を選択することにより、周波数温度係数TCFを著しく小さくすることができる。

[0056] 図7は、本発明の第3の実施形態に係る振動装置の斜視図である。第3の実施形態の振動装置21は、第1、第2の実施形態と同様に、Si層2、酸化ケイ素層3及び励振部4を積層した構造を有する。第3の実施形態が異なるところは、全体が細長い矩形板状、すなわちストリップ状の形状を有し、その長さ方向に伸縮する振動モードを利用していることにある。Si層2、酸化ケイ素層3及び励振部4の上記平面形状以外は第1の実施形態と同様であるため、第1の実施形態の説明を援用することにより、各部分の詳細な説明を省略する。

[0057] 本実施形態では、第1の電極6と第2の電極7との間に交番電界を印加すると、振動装置21が長さ方向に伸縮する。本実施形態の特徴は、第1、第2の実施形態と同様に、酸化ケイ素層3が設けられていない場合のTCFの大きさ x を基に酸化ケイ素層3の厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を $(-0.0$

$0.0003x^2 - 0.0250x + 0.0215) \pm 0.05$ の範囲内とすることにある。それによって、周波数温度係数 TCF の絶対値を小さくすることができる。これを、図 8 を参照して説明する。

[0058] 図 8 の横軸は、酸化ケイ素層 3 が設けられていない場合の TCF であり、縦軸は厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ である。図 8 でプロットされている多数の点は、酸化ケイ素層を設けた本実施形態において、周波数温度係数 TCF が 0 である点である。曲線 C は、これらの点の座標から近似により得られ、曲線 C は、 $y = -0.0003x^2 - 0.0250x + 0.0215$ で表される。

[0059] 従って、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を、上記式を満たすように設定すれば、周波数温度係数 TCF を 0 とすることができる。また、本願発明者らの実験によれば、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ は、 $(-0.0003x^2 - 0.0250x + 0.0215) \pm 0.05$ の範囲内とすれば、周波数温度係数 TCF を $0 \pm 5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以内の範囲内とし得ることが確かめられている。

[0060] よって、Si 層のドーピング量により定まる x に応じて、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を、 $(-0.0003x^2 - 0.0250x + 0.0215) \pm 0.05$ とすればよく、それによって、周波数温度係数 TCF の絶対値を著しく小さくすることができる。

[0061] 図 9 は、本発明の第 4 の実施形態に係る振動装置の斜視図である。第 4 の実施形態の振動装置 31 は、第 1 の実施形態と同様に構成された振動部 1A を有する。振動部 1A の各部分は、第 1 の実施形態の振動装置 1 と同様であるため、同一の参照番号を付することにより、その説明を省略する。本実施形態の振動装置 31 では、上記振動部 1A の短辺側中央に、連結部 32, 33 の一端が連結されている。連結部 32, 33 の他端は、矩形枠状の支持体 34 に連結されている。なお、上記連結部 32, 33 及び支持体 34 は、いずれも、振動部 1A と同様に、Si 層 2、酸化ケイ素層 3 を積層した構造を有する。連結部 32, 33 は、上記振動部 1A の短辺側の側面中央に連結されている。この短辺側の側面中央は、振動部 1A の伸縮振動の振動のノード

である。従って、上記振動部 1 A の振動を妨げないように、支持体 3 4 及び連結部 3 2, 3 3 により振動部 1 A を支持することができる。

[0062] 本実施形態においても、振動部 1 A は、振動装置 1 と同様に構成されているため、第 1 の実施形態と同様に、周波数温度係数 T C F の絶対値を著しく小さくすることができる。

[0063] 第 4 の実施形態から明らかなように、本発明に係る振動装置は上述した式の範囲内に酸化ケイ素層の厚み比 $T 2 / (T 1 + T 2)$ を設定されてさえすればよい。すなわち、支持構造については特に限定されず、第 2 及び第 3 の実施形態においても、各振動装置の振動のノードに連結部を連結し、支持してもよい。

符号の説明

- [0064] 1 … 振動装置
1 A … 振動部
2 … S i 層
3, 3 a, 3 b … 酸化ケイ素層
4, 8 … 励振部
5 … 圧電薄膜
6, 7 … 第 1, 第 2 の電極
1 1, 2 1, 3 1 … 振動装置
3 2, 3 3 … 連結部
3 4 … 支持体

請求の範囲

[請求項1] 平面視した場合、長辺と短辺とを有する矩形板状の形状を有し、前記短辺方向に伸縮振動する振動装置であって、

縮退半導体からなるS i 層と、酸化ケイ素層と、圧電体層と、前記圧電体層に電圧を印加する第1、第2の電極とを含み、前記S i 層の厚みの総和をT 1、前記酸化ケイ素層の厚みの総和をT 2、前記酸化ケイ素層が設けられていない場合の前記振動装置におけるTCFを x (ppm/K)としたときに、 $T 2 / (T 1 + T 2)$ が、 $(-0.0003x^2 - 0.0256x + 0.0008) \pm 0.05$ の範囲内にある、振動装置。

[請求項2] 正方形板状の形状を有し、正方形板に平行な面内で各辺が伸縮振動する振動装置であって、

縮退半導体からなるS i 層と、酸化ケイ素層と、圧電体層と、前記圧電体層に電圧を印加する第1、第2の電極とを含み、前記S i 層の厚みの総和をT 1、前記酸化ケイ素層の厚みの総和をT 2、前記酸化ケイ素層が設けられていない場合の前記振動装置におけるTCFを x (ppm/K)としたときに、 $T 2 / (T 1 + T 2)$ が、 $(-0.0003x^2 - 0.0228x + 0.0024) \pm 0.05$ の範囲内にある、振動装置。

[請求項3] 平面視した場合、長辺と短辺とを有する矩形板状の形状を有し、前記長辺方向に伸縮振動する振動装置であって、

縮退半導体からなるS i 層と、酸化ケイ素層と、圧電体層と、前記圧電体層に電圧を印加する第1、第2の電極とを含み、前記S i 層の厚みの総和をT 1、前記酸化ケイ素層の厚みの総和をT 2、前記酸化ケイ素層が設けられていない場合の前記振動装置におけるTCFを x (ppm/K)としたときに、 $T 2 / (T 1 + T 2)$ が、 $(-0.0003x^2 - 0.0250x + 0.0215) \pm 0.05$ の範囲内にある、振動装置。

- [請求項4] 前記S i 層が、n型ドーピング剤によりドーピングされている、請求項1～3のいずれか1項に記載の振動装置。
- [請求項5] 前記ドーピング剤がリン（P）である、請求項4に記載の振動装置。
- [請求項6] 前記酸化ケイ素層が、前記S i 層の一方主面に積層されている、請求項1～5のいずれか1項に記載の振動装置。
- [請求項7] 前記圧電体層の一方主面に前記第1の電極が設けられており、前記圧電体層の他方主面に前記第2の電極が設けられている、請求項1～6のいずれか1項に記載の振動装置。
- [請求項8] 前記第2の電極が、前記S i 層で兼ねられている、請求項1～7のいずれか1項に記載の振動装置。
- [請求項9] 前記酸化ケイ素層が、前記S i 層の両面に形成されている、請求項1～7のいずれか1項に記載の振動装置。