

## 明 細 書

**発明の名称：** 弾性波デバイス

**技術分野**

[0001] 本発明は、弾性波デバイスに関する。

**背景技術**

[0002] 弾性波を利用した弾性波デバイスとして、圧電基板の表面に形成した I D T (Interdigital Transducer) からなる櫛型電極を備えた弾性表面波デバイスや、基板上に下部電極、圧電膜、上部電極が積層された F B A R (圧電薄膜共振子: Film Bulk Acoustic Resonator) デバイスや、下部電極、圧電膜、上部櫛型電極が積層されたラム (Lamb) 波デバイスが知られている。これら弾性波デバイスは、小型軽量で高減衰量を得られることから、例えば携帯電話端末などの無線機器のフィルタとして用いられている。

[0003] 最近の携帯電話端末などの高性能化に伴い、弾性波デバイスにおいて温度特性の向上が求められ、フィルタの通過帯域や共振器の共振周波数などの周波数の温度係数 (T C F) の絶対値を小さくすることが求められている。例えば、弾性表面波デバイスにおいて、L i T a O<sub>3</sub> (L T) または L i N b O<sub>3</sub> (L N) などの圧電基板の温度係数と逆の温度係数を有するシリコン酸化膜を圧電基板上に形成することで、T C F の絶対値を小さくできることが知られている。また、F B A R デバイスにおいても、下部電極と上部電極が対向する領域にシリコン酸化膜を設けることで、T C F を小さくできることが知られている (例えば、非特許文献 1)。また、ラム波デバイスにおいても、下部電極の下にシリコン酸化膜を設けることで、T C F を小さくできることが知られている (例えば、非特許文献 2)。

[0004] また、F B A R デバイスにおいて、B (ホウ素) をドーブしたシリコン酸化膜を温度補償層として用いることが知られている (例えば、特許文献 1)。

**先行技術文献**

## 非特許文献

[0005] 非特許文献1: K. M Lakin、外3名、「Temperature Coefficient and Ageing of BAW Composite Materials」、TFR Technologies, Inc.

非特許文献2: Chin-Ming Lin、外5名、「Thermally compensated aluminum nitride Lamb wave resonators for high temperature applications」、APPLIED PHYSICS LETTERS 97, 083501 (2010)

## 特許文献

[0006] 特許文献1: 特開2007-159123号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献1では、Bをドーピングしたシリコン酸化膜を温度補償層として用いているが、Bをドーピングしたシリコン酸化膜を用いても、周波数の温度依存性の改善が十分ではないとの課題がある。

[0008] 本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、周波数の温度依存性を改善することが可能な弾性波デバイスを提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、圧電体と、前記圧電体上または前記圧電体を挟んで設けられた、弾性波を励振する電極と、前記圧電体上に設けられた前記電極を覆ってまたは前記圧電体を挟む前記電極が対向する領域に設けられた、Si-O結合におけるOと置換する元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜と、を備えることを特徴とする弾性波デバイスである。本発明によれば、周波数の温度依存性を改善することができる。

[0010] 上記構成において、前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、

S i - O 結合の伸縮振動の横波光学モードの半値幅が、前記元素又は分子をドーピングしない場合に比べて小さくなるような前記元素又は分子がドーピングされている構成とすることができる。

[0011] 上記構成において、前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、S i - O 結合の伸縮振動のピーク波数が、前記元素又は分子をドーピングしない場合に比べて大きくなるような前記元素又は分子がドーピングされている構成とすることができる。

[0012] 上記構成において、前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、アンドーピングのシリコン酸化膜よりも小さいヤング率を有する構成とすることができる。

[0013] 上記構成において、前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、アンドーピングのシリコン酸化膜よりも音速が遅い構成とすることができる。

[0014] 上記構成において、前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜には、2種類以上の元素又は分子がドーピングされている構成とすることができる。

[0015] 上記構成において、前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜には、F がドーピングされている構成とすることができる。

[0016] 上記構成において、前記電極は、C u、A u、A g、W、P t、M o、N i、C r のいずれかによって構成されている構成とすることができる。

[0017] 上記構成において、前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、C V D 法により形成される構成とすることができる。

[0018] 上記構成において、前記電極は、前記圧電体上に設けられた櫛型電極であり、前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、前記圧電体上に設けられた前記櫛型電極を覆って設けられている構成とすることができる。

## 発明の効果

[0019] 本発明によれば、周波数の温度依存性を改善することができる。

## 図面の簡単な説明

[0020] [図1] 図1は、共振器の断面図の例である。

[図2] 図2は、S i - O 結合の伸縮振動の F T I R 測定結果の例を示す図であ

る。

[図3] 図3は、ピーク波数（吸収量最大波数）に対する共振器の反共振周波数のTCFを示す図である。

[図4] 図4は、横波光学（TO）モードの半値幅に対する共振器の反共振周波数のTCFを示す図である。

[図5] 図5（a）は、実施例1に係る弾性波デバイスの上面図の例であり、図5（b）は、図5（a）のA-A断面図の例である。

[図6] 図6は、XPS測定結果を示す図である。

[図7] 図7は、F含有量に対しピーク波数（吸収量最大波数）の増加量およびアンドープのシリコン酸化膜で規格化した横波光学（TO）モードの半値幅を示す図である。

[図8] 図8は、実施例1に係る共振器および比較例に係る共振器の周波数特性の測定結果を示す図である。

[図9] 図9は、Fがドーピングされたシリコン酸化膜の膜厚毎における $K^2$ の測定結果を示す図である。

[図10] 図10は、Fがドーピングされたシリコン酸化膜のF含有量に対しTCFの増加量を示す図である。

[図11] 図11は、実施例2に係る弾性波デバイスの断面図の例である。

[図12] 図12（a）から図12（c）は、実施例2の変形例1から実施例2の変形例3に係る弾性波デバイスの断面図の例である。

## 発明を実施するための形態

[0021] まず初めに、発明者が行った実験について説明する。図1は、TCFを測定するために作製した共振器の断面図の例である。図1を参照して、LN基板からなる圧電基板10上に櫛型電極12および反射器14が形成されている。反射器14は櫛型電極12の両側に設けられている。櫛型電極12および反射器14は、Cuを主成分とする。櫛型電極12および反射器14を覆うように、圧電基板10上にアンドープのシリコン酸化膜16が設けられている。アンドープのシリコン酸化膜16はCVD（化学気相成長）法を用い

て成膜し、膜厚は $0.3\lambda$ とする。なお、 $\lambda$ は弾性波の波長であり、櫛型電極12の電極指の周期に相当する。

[0022] アンドープのシリコン酸化膜16を、CVD法を用い様々な成膜条件で成膜した。成膜条件として、温度、圧力、原料ガス、原料ガスの流量、および高周波出力（プラズマを生成するための高周波電力）を変化させた。様々な成膜条件を用い成膜した共振器について、反共振周波数のTCFを測定した。また、アンドープのシリコン酸化膜16の成膜条件と同じ成膜条件で成膜したシリコン酸化膜をFTIR（フーリエ変換赤外分光）法を用い測定した。FTIR法は、物質に赤外光を照射し、分子の振動エネルギーに対応したエネルギーを有する赤外光の吸収量から物質の組成などを調べる測定方法である。ここで、 $\text{SiO}_2$ 内の $\text{Si}-\text{O}$ 結合の伸縮振動の吸収波形に注目した。

[0023] 図2は、 $\text{Si}-\text{O}$ 結合の伸縮振動のFTIR測定結果の例を示す図であり、波数に対し任意座標の吸収量を示している。吸収量が最大になるピーク波数を測定し、吸収量が最大になるピーク波数をピーク波数（吸収量最大波数）で表している。また、伸縮振動の吸収には横波光学（TO）モードと縦波光学（LO）モードとがある。そこで、図2のように、伸縮振動の吸収をTOモードとLOモードとに分離し、TOモードの半値幅を測定した。また、TOモードのピーク波数をピーク波数（TOモードピーク）で表している。

[0024] 図3は、FTIR法により測定したピーク波数（吸収量最大波数）に対する共振器の反共振周波数のTCFを示す図である。図3中の黒三角で、各成膜条件における測定結果を示す。図3のように、ピーク波数が大きくなると反共振周波数のTCFは増加し、0に近づいて、TCFが改善されることが分かる。

[0025] 図4は、FTIR法により測定した横波光学（TO）モードの半値幅に対する共振器の反共振周波数のTCFを示す図である。図4中の黒三角で、各成膜条件における測定結果を示す。図4のように、半値幅が小さくなると反共振周波数のTCFは増加し、0に近づいて、TCFが改善されることが分かる。

[0026] ここで、ピーク波数がTCFに関係していることについて考えられる理由を説明する。Central-force networkモデル（J. Vac. Sci. Technol. Vol. B 5, pp530-537（1987））によれば、Si-O結合の伸縮振動のピーク波数は、Si-O結合角度に次式のように依存していることが知られている。

$$k^2 = (f/m_o) \cdot [\sin^2(\theta/2)] \quad (\text{数式 1})$$

ここで、 $k$ はピーク波数、 $f$ はSiとOとの間の原子間力、 $m_o$ は酸素の原子量、 $\theta$ はSi-O-Siの結合角度である。

また、Lorentz-Lorenz関係から、誘電率と密度と分子分極率との関係は次式で表される。

$$(e - 1) / (e + 2) = 4\pi \cdot \rho \cdot C \quad (\text{数式 2})$$

ここで、 $e$ はシリコン酸化膜の誘電率、 $\rho$ はシリコン酸化膜の密度、 $C$ は分子分極率である。

シリコン酸化膜の誘電率、密度および分子分極率はSi-O-Si結合角度 $\theta$ と相関性がある。このため、数式1と数式2とから、ピーク波数と誘電率、密度および分子分極とが関係付けられる。

[0027] TCFは、室温（25℃）における弾性波の速度を用い以下のように表される。

$$TCF = 1/v \cdot (\delta v / \delta T) - \alpha \quad (\text{数式 3})$$

ここで、 $v$ は弾性波の伝搬速度、 $(\delta v / \delta T)$ は伝搬速度 $v$ の温度 $T$ に対する変化率、 $\alpha$ は線熱膨張係数である。

文献”Temperature-compensated surface-acoustic-wave devices with SiO<sub>2</sub> film overlays” J. Appl. Phys. Vol. 50, No. 3, pp1360-1369（1979）によれば、 $(\delta v / \delta T)$ は、基板（またはシリコン酸化膜）の物質定数（つまり、誘電率、密度およびヤング率等）の温度係数から求められる。このように、数式3からシリコン酸化膜の誘電率、密度およびヤング率等の物質定数とTCFが関係付けられる。

[0028] 以上のように、数式1から数式3により、Si-O結合の伸縮振動のピーク波数はTCFに関係しているものと考えられる。

- [0029] なお、図 3 および図 4 では、共振器の反共振周波数の T C F について記載したが、共振器の共振周波数の T C F または共振器を用いたフィルタの周波数特性の T C F についても、図 3 および図 4 と同様の結果を得ることができる。また、圧電基板上に櫛型電極が設けられた弾性表面波デバイスのみならず F B A R デバイス、ラム波デバイスの共振器やその共振器を用いた弾性波フィルタの場合でも、図 3 および図 4 と同様の結果を得ることができる。
- [0030] 図 3 および図 4 のように、温度補償層としてシリコン酸化膜を用いた弾性波デバイスでは、ピーク波数が大きくなると反共振周波数の T C F が増加し、半値幅が小さくなると反共振周波数の T C F が増加する。例えば、特許文献 1 に開示されているような B をドーピングしたシリコン酸化膜は、文献” Refractive index behavior of boron-doped silica films by plasma-enhanced chemical vapor deposition” Applied Surface Science 92 pp387-390 (1996) によれば、アンドープのシリコン酸化膜に比べてピーク波数が小さくなる傾向がある。このため、温度補償層としてアンドープのシリコン酸化膜の代わりに B をドーピングしたシリコン酸化膜を用いたとしても、図 3 に示す結果から、反共振周波数の T C F が十分に改善されないことが分かる。
- [0031] また、B をドーピングしたシリコン酸化膜では、B は  $\text{SiO}_2$  の結合には入らずに、 $\text{B}_2\text{O}_3$  として  $\text{SiO}_2$  内に不純物として存在する。つまり、 $\text{Si}-\text{O}$  結合における O とは置換されずに Si と置き換わることになる。文献「石英系ガラスの超音波キャラクターゼーション」 信学技報 U S 9 8 - 5 0 によれば、 $\text{B}_2\text{O}_3$  が添加されたガラスでは、減衰係数が大きくなることが記載されている。このように、B をドーピングしたシリコン酸化膜は、弾性波の減衰が大きくなる影響を及ぼす。例えば、特許文献 1 に開示された F B A R デバイスでは、弾性波は、B をドーピングしたシリコン酸化膜の膜厚方向に伝搬する。B をドーピングしたシリコン酸化膜の膜厚は薄いことから、弾性波が B をドーピングしたシリコン酸化膜を伝搬する距離が短くて済み、弾性波の減衰は小さくて済む。一方、図 1 のような、櫛型電極を覆うようにシリコン酸化膜が設けられた弾性波デバイスでは、弾性波は、B をドーピングしたシリコン酸化膜の膜厚方向

に垂直な方向に伝搬する。このため、弾性波がBをドーブしたシリコン酸化膜を伝搬する距離が長くなり、弾性波の減衰が大きくなるが生じてしまう。

[0032] そこで、以下に、周波数の温度依存性を改善することが可能な弾性波デバイスの実施例について説明する。

### 実施例 1

[0033] 実施例 1 に係る弾性波デバイスは、圧電基板上に櫛型電極が設けられた弾性波デバイスの共振器の場合の例であり、例えば弾性表面波デバイス、ラブ波デバイス、弾性境界波デバイスに用いることができる。図 5 (a) は、実施例 1 に係る弾性波デバイスの上面図の例であり、図 5 (b) は、図 5 (a) の A-A 断面図の例である。図 5 (a) を参照して、櫛型電極 22 の両側に反射器 24 が設けられている。櫛型電極 22 は、弾性波を励振する電極であり、入力用および出力用の 2 つの電極が向き合って、それぞれの電極指が互い違いに並ぶように配置されている。櫛型電極 22 および反射器 24 は、Cu を主成分とする。図 5 (b) を参照して、0 回転 Y カット LN 基板からなる圧電基板 20 上に櫛型電極 22 および反射器 24 が形成されている。櫛型電極 22 および反射器 24 を覆うように、圧電基板 20 上に F (フッ素) がドーブされたシリコン酸化膜 (例えば SiOF 膜) 26 が設けられている。F がドーブされたシリコン酸化膜 26 は、例えば原料ガスに  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$  を用いた CVD 法により成膜することができ、各原料ガスの流量比に応じて F の含有量を調整することができる。F がドーブされたシリコン酸化膜 26 の膜厚は、反共振周波数等の TCF を改善するために、櫛型電極 22 の膜厚より厚いことが好ましい。例えば、電極指間の F がドーブされたシリコン酸化膜 26 の膜厚は、櫛型電極 22 の膜厚より厚いことが好ましい。実施例 1 では、F がドーブされたシリコン酸化膜 26 の膜厚を、 $0.3\lambda$  とする。なお、 $\lambda$  は弾性波の波長であり、櫛型電極 22 の電極指の周期に相当する。

[0034] ここで、シリコン酸化膜に F をドーブすると、F はシリコン酸化膜にどの

ように取り込まれるのかを確認するため、Fがドーピングされたシリコン酸化膜についてXPS測定（X線光電子分光測定）を行った。XPS測定は、F含有量が3.8%、8.8%、13.5%の3種類のシリコン酸化膜について行った。図6は、XPS測定結果を示す図であり、結合エネルギーに対し任意座標の強度を示している。図6のXPS測定結果から、シリコン酸化膜にFをドーピングすると、FはSi-O結合のOと置換されて、Si-F結合となることが確認でき、Fの含有量が増えるほどSi-F結合が増加することが確認できる。

[0035] 次に、実施例1に係る共振器において、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26のF含有量を2.1%、3.8%、8.8%とした3種類の共振器を作製した。例えば、F含有量が8.8%であるFがドーピングされたシリコン酸化膜26は、SiH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>の流量比をSiH<sub>4</sub> : N<sub>2</sub>O : C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> = 1 : 50 : 3とし、成膜温度を270℃で形成した。また、比較例として、FソースであるC<sub>2</sub>F<sub>6</sub>ガスを用いない点を除き、その他の製造条件を、実施例1に係る共振器と同じにして共振器を作製した。即ち、比較例に係る共振器では、櫛型電極を覆うシリコン酸化膜を、CVD法で、原料ガスにSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用い、流量比をSiH<sub>4</sub> : N<sub>2</sub>O = 1 : 50、成膜温度を270℃として成膜を行い、膜厚0.3λのアンドープのシリコン酸化膜とした。

[0036] まず、F含有量が2.1%、3.8%、8.8%である3種類のFがドーピングされたシリコン酸化膜26の成膜条件と同じ成膜条件で成膜したシリコン酸化膜とアンドープ（F含有量が0%）のシリコン酸化膜とを、FTIR法を用いて、Si-O結合の伸縮振動のピーク波数（吸収量最大波数）と横波光学（TO）モードの半値幅を測定した。図7は、F含有量に対しピーク波数（吸収量最大波数）の増加量およびアンドープのシリコン酸化膜の横波光学（TO）モードの半値幅で規格化した横波光学（TO）モードの半値幅を示す図である。図7中において、ピーク波数の測定結果を黒四角で、半値幅の測定結果を黒三角で示し、また、それぞれについての近似直線を示している。図7のように、F含有量が多くなるに連れて、ピーク波数は増加し、半

値幅は低下することが確認できる。

[0037] 次に、F含有量を異にした上記3種類の実施例1に係る共振器のうち、F含有量8.8%のFがドーピングされたシリコン酸化膜26を用いた共振器と、アンドープのシリコン酸化膜を用いた比較例に係る共振器について周波数特性を測定した。図8は、実施例1に係る共振器および比較例に係る共振器の周波数特性の測定結果を示す図であり、比較例に係る共振器の反共振周波数で規格化した周波数に対しアドミタンスを示している。図8のように、比較例に係る共振器に対して、F含有量8.8%のFがドーピングされたシリコン酸化膜26を用いた実施例1に係る共振器は、反共振周波数が0.92倍に、電気機械結合係数 $K^2$ が0.76倍になる結果となった。この結果は、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26は、アンドープのシリコン酸化膜に比べて、ヤング率が小さく、音速が遅いことを示している。即ち、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26は、音速が遅くなったために、弾性波分布がアンドープのシリコン酸化膜とは大きく異なり、同一の膜厚では $K^2$ が大きく変動したものと考えられる。

[0038] そこで、F含有量8.8%のFがドーピングされたシリコン酸化膜26を用いた実施例1に係る共振器の $K^2$ が、比較例に係る共振器の $K^2$ と同等の大きさとなるようにすべく、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26の膜厚を変化させることで、 $K^2$ がどのように変化するかを検討した。図9は、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26の膜厚毎における $K^2$ の測定結果を示す図であり、シリコン酸化膜の膜厚に対し比較例に係る共振器の $K^2$ で規格化した $K^2$ を示している。図9中において、比較例に係る共振器の $K^2$ を黒丸で、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26の膜厚毎の $K^2$ を白四角で示している。図9のように、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26の膜厚が薄くなるに連れて、 $K^2$ は増加することが確認できる。このことから、実施例1に係る共振器において、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26の膜厚を薄くすることで、膜厚を薄くする前の厚さの膜厚を有するアンドープのシリコン酸化膜を用いた比較例に係る共振器の $K^2$ と同等の大きさの $K^2$ を得ることが可能となる。

- [0039] そこで、F含有量を2.1%、3.8%、8.8%とした上述の3種類の共振器それぞれに対し、比較例に係る共振器の $K^2$ と同等の大きさの $K^2$ が得られるように、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26の膜厚調整を行った後に、それぞれの共振器の反共振周波数のTCFを測定した。図10は、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26のF含有量に対しTCFの増加量を示す図である。図10のように、Fの含有量が多くなるほど、TCFは増加し、F含有量が2.1%である場合はTCFが1ppm/°C増加し、F含有量が3.8%である場合はTCFが2.9ppm/°C増加し、F含有量が8.8%である場合はTCFが6.5ppm/°C増加する結果となった。これは、図7のように、Fがドーピングされ、F含有量が多くなるほど、ピーク波数が増加し、半値幅が小さくなることが影響しているものと考えられる。
- [0040] 以上説明してきたように、実施例1によれば、圧電基板20（圧電体）上に弾性波を励振する櫛型電極22および反射器24が設けられ、櫛形電極22および反射器24を覆うように、圧電基板20上に、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26が設けられている。シリコン酸化膜にFをドーピングすると、図6で説明したように、FはSi-O結合のOと置換され、Si-F結合となる。つまり、Fはシロキサン（Si-O-Si）ネットワークまたはSi-Oの共有結合におけるOと置換され、終端基Si-FとしてSiO<sub>2</sub>の結合中に取り込まれる。このような、Si-O結合のOと置換するFがドーピングされたシリコン酸化膜26を、櫛型電極22を覆うように設けることで、図7で説明したように、Si-O結合の伸縮振動のピーク波数（吸収量最大波数）を、アンドープのシリコン酸化膜を用いる場合に比べて大きくでき、また、Si-O結合の伸縮振動の横波光学（TO）モードの半値幅を、アンドープのシリコン酸化膜を用いる場合に比べて小さくできる。図3および図4で説明したように、ピーク波数（吸収量最大波数）が大きく、横波光学（TO）モードの半値幅が小さくなると、TCFが増加する。したがって、実施例1によれば、図10で説明したように、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26を用いることで、TCFを増加させることができ、その結果、TCFを改

善することができる。

[0041] シリコン酸化膜にドーピングされたFは、上述のように、終端基Si-FとしてSiO<sub>2</sub>の結合中に取り込まれるため、SiO<sub>2</sub>中に不純物として存在しない。このため、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26は、弾性波を減衰させる影響は小さく、櫛型電極22を覆うようにFがドーピングされたシリコン酸化膜26を設けたとしても、弾性波はあまり減衰されずに済む。したがって、実施例1によれば、弾性波の減衰も抑制される。

[0042] 実施例1では、櫛型電極22を覆うように設けられたシリコン酸化膜が、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26である場合を例に示したが、これに限られる訳ではない。Si-O結合のOと置換する元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜であればよい。また、シリコン酸化膜にドーピングされる元素又は分子は、1種類の場合に限られず、2種類以上の元素又は分子がドーピングされている場合でもよい。

[0043] 図3で説明したように、Si-O結合の伸縮振動のピーク波数（吸収量最大波数）が大きいほどTCFが増加することから、元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、Si-O結合の伸縮振動のピーク波数（吸収量最大波数）が、元素又は分子をドーピングしない場合に比べて大きくなるような元素又は分子がドーピングされている場合が好ましい。また、図4で説明したように、Si-O結合の伸縮振動の横波光学（TO）モードの半値幅が小さいほどTCFが増加することから、元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、Si-O結合の伸縮振動の横波光学（TO）モードの半値幅が、元素又は分子をドーピングしない場合に比べて小さくなるような元素又は分子がドーピングされている場合が好ましい。

[0044] 上述のようなSi-O結合の伸縮振動のピーク波数が大きく、TOモードの半値幅が小さくなる条件を満たす元素又は分子として、例えばH、CH<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>、F、Cl、C、N、P、Sが挙げられる。したがって、元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、H、CH<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>、F、Cl、C、N、P、S（これらをRと総称する）のいずれかがドーピングされOと置換されてS

i-Rの共有結合を有するシリコン酸化膜である場合が好ましい。また、Si-H、Si-CH<sub>3</sub>、Si-F、Si-Cl、Si-C、Si-N、Si-P、Si-Sのいずれかの終端基を有する場合が好ましい。例えば、Si-H系材料はHSQ（Hydrogen Silsesquioxane）と呼ばれ、Si-CH<sub>3</sub>系材料はSiOC、SiOCHまたはOSG（Organo Silica Glass）と呼ばれ、Si-F系材料はSiOFまたはFSG（Fluorinated Silica Glass）と呼ばれ、Si-Cl系材料はChlorinated Silicaと呼ばれている。

[0045] 元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜では、TCFが増加し、K<sup>2</sup>が小さくなることから、シリコン酸化膜における弾性波のエネルギー閉じ込め量が増加したことがわかる。これは、元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜の音速が遅いことに起因しているためである。よって、元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、TCFを増加させるために、音速が遅い場合が好ましく、例えばアンドープのシリコン酸化膜よりも音速が遅い場合が好ましい。また、上述した数式3において、伝搬速度vは、 $v = (E/\rho)^{1/2}$ と表すことができる。ここで、Eはヤング率であり、ρは密度である。これより、ヤング率Eが小さいほどTCFは大きくなることが分かる。よって、元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、ヤング率Eが小さい方が好ましいことが分かり、例えばアンドープのシリコン酸化膜よりも小さいヤング率Eを有する場合が好ましい。

[0046] 図8で説明したように、同じ膜厚（膜厚0.3λ）のFがドーピングされたシリコン酸化膜26とアンドープのシリコン酸化膜とを用いた共振器のK<sup>2</sup>を比べると、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26を用いた共振器は、K<sup>2</sup>が小さくなってしまう。K<sup>2</sup>が異なると仕様を満たさないことが懸念されるため、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26を用いた共振器でも、アンドープのシリコン酸化膜を用いた共振器のK<sup>2</sup>と同等の大きさのK<sup>2</sup>であることが望ましい。図9で説明したように、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26の膜厚を薄くするほど、K<sup>2</sup>は大きくなる。このことから、Fがドーピングされたシリコン酸化膜26は、小さくなるK<sup>2</sup>を回復させるべく、膜厚0.3λのアンドープの

シリコン酸化膜よりも膜厚を薄くする場合が好ましい。即ち、元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、所定膜厚のアンドーピングのシリコン酸化膜に元素又は分子をドーピングさせることで、所定膜厚のアンドーピングのシリコン酸化膜よりも小さくなる $K^2$ を回復させるように、所定膜厚のアンドーピングのシリコン酸化膜よりも膜厚を薄くする場合が好ましい。

[0047] 実施例 1 において、F がドーピングされたシリコン酸化膜 26 を成膜する際の原料ガスとして、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$  を用いる場合を例に示したが、これに限られない。例えば、Si ソースとして  $\text{SiH}_4$  以外に tetraethoxysilane (TEOS)、 $\text{SiF}_4$  を用いることができ、F ソースとして  $\text{C}_2\text{F}_6$  以外に  $\text{CF}_4$ 、 $\text{NF}_3$ 、 $\text{F}_2$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{ClF}_3$ 、 $\text{BF}_3$ 、 $\text{BrF}_3$ 、 $\text{SF}_4$ 、 $\text{SiF}_4$ 、 $\text{NF}_2\text{Cl}$ 、 $\text{FSiH}_2$ 、 $\text{F}_3\text{SiH}$  を用いることができる。

[0048] また、圧電基板 20 は、LN の他に LT、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、および LBO などを用いることができる。また、楕型電極 22 および反射器 24 は、Cu の他に、Al、Au、Ag、W、Ta、Pt、Mo、Ni、Co、Cr、Fe、Mn、Ti を主成分とする金属材料を用いることができる。特に、F がドーピングされたシリコン酸化膜 26 を用いた場合は、F が水分と反応して HF を発生させることが考えられるため、電極としては HF と反応しない金属材料からなる場合が好ましく、例えば Cu、Au、Ag、W、Pt、Mo、Ni、Cr からなる場合が好ましい。また、元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜にアニールなどの熱処理を加えるとフィルタ特性が改善するのにより好ましい。

[0049] 実施例 1 において、Si-O 結合の伸縮振動のピーク波数および Si-O 結合の伸縮振動の横波光学 (TO) モードの半値幅は、FTIR 法により測定される場合を例に示したが、FTIR 以外にも例えばラマン分光法等を用いることもできる。

## 実施例 2

[0050] 実施例 2 に係る弾性波デバイスは、FBAR デバイスの共振器の場合の例である。図 11 は、実施例 2 に係る弾性波デバイスの断面図の例である。図

11を参照して、例えばSi（シリコン）からなる基板30上に、例えばCuからなる下部電極32が設けられている。下部電極32上には、例えばAlN（窒化アルミニウム）からなる圧電膜34が設けられている。圧電膜34を挟み下部電極32と対向する部分（共振部）を有するように、圧電膜34上に、例えばCuからなる上部電極36が設けられている。圧電膜34と上部電極36との間であって、下部電極32と上部電極36とが対向する領域には、Fがドーピングされたシリコン酸化膜38が設けられている。下部電極32と上部電極36とが対向する領域の基板30には空隙40が設けられている。

[0051] 実施例1の図3および図4で説明したように、FBARデバイスの場合でも、ピーク波数が大きくなるほどTCFは増加し、半値幅が小さくなるほどTCFは増加する。図11のように、圧電膜34（圧電体）を挟んで設けられた、弾性波を励振する下部電極32および上部電極36が対向する領域に、Fがドーピングされたシリコン酸化膜38を設けることで、実施例1の図7で説明した場合と同様に、ピーク波数は増加し、半値幅は低下する。したがって、実施例2によれば、TCFを増加させることができ、その結果、TCFを改善することができる。

[0052] 図12（a）から図12（c）は、実施例2の変形例1から実施例2の変形例3に係る弾性波デバイスの断面図の例である。図12（a）を参照して、実施例2の変形例1に係る弾性波デバイスは、Fがドーピングされたシリコン酸化膜38が、基板30と下部電極32との間および圧電膜34と上部電極36との間であって、下部電極32と上部電極36とが対向する領域に設けられている。図12（b）のように、実施例2の変形例2に係る弾性波デバイスは、Fがドーピングされたシリコン酸化膜38が、基板30と下部電極32との間および上部電極36上であって、下部電極32と上部電極36とが対向する領域に設けられている。図12（c）のように、実施例2の変形例3に係る弾性波デバイスは、Fがドーピングされたシリコン酸化膜38が、圧電膜34に挟まれて、下部電極32と上部電極36とが対向する領域に設けられ

ている。

- [0053] 実施例2の変形例1から実施例2の変形例3に係る弾性波デバイスであっても、Fがドーピングされたシリコン酸化膜38が、下部電極32と上部電極36とが対向する領域に設けられているため、TCFを増加させることができ、その結果、TCFを改善することができる。
- [0054] 実施例2においても、Fがドーピングされたシリコン酸化膜38以外にも、Si-O結合におけるOと置換する元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜を用いることができる。また、実施例2において、圧電膜34は、AlNの他にZnO、PZT、PbTiO<sub>2</sub>などを用いることができる。基板30は、Siの他にガラス、GaAsなどを用いることができる。下部電極32および上部電極36は、Cuの他にAl、Au、Ag、Mo、W、Ta、Pt、Ru、Rh、Ir、Ni、Cr、Tiなどの金属材料を用いることができる。特に、実施例1と同様に、Fがドーピングされたシリコン酸化膜38を用いる場合は、下部電極32および上部電極36は、HFと反応しない金属材料からなる場合が好ましく、例えば、Cu、Au、Ag、W、Pt、Mo、Ni、Crからなる場合が好ましい。
- [0055] 実施例2では、下部電極32と上部電極36とが対向する領域の基板30が除去されて空隙40が設けられている場合を例に示したが、これに限られる訳ではない。例えば、基板30に凹部が設けられることで空隙40が設けられている場合や、基板30上であって下部電極32との間に空隙40が設けられている場合でもよい。また、空隙40に代えて、音響インピーダンスの高い膜と低い膜を $\lambda/4$ の膜厚で交互に積層させた音響積層膜としてもよい。
- [0056] また、実施例2では、FBARデバイスの場合を例に示したが、下部電極、圧電膜、上部櫛型電極が積層されたラム波デバイスの場合でもよい。ラム波デバイスの場合でも、Si-O結合におけるOと置換する元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜を、下部電極と上部櫛型電極とが対向する領域に設けることで、TCFを増加させることができ、その結果、TCFを改善

することができる。

[0057] 実施例 1 および実施例 2 では、共振器の場合を例に説明してきたが、これら共振器を用いたラダー型フィルタまたは多重モード型フィルタとすることもできる。

[0058] 以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

### 符号の説明

- [0059]
- 2 0 圧電基板
  - 2 2 櫛型電極
  - 2 4 反射器
  - 2 6 F がドーピングされたシリコン酸化膜
  - 3 0 基板
  - 3 2 下部電極
  - 3 4 圧電膜
  - 3 6 上部電極
  - 3 8 F がドーピングされたシリコン酸化膜
  - 4 0 空隙

## 請求の範囲

- [請求項1] 圧電体と、  
前記圧電体上または前記圧電体を挟んで設けられた、弾性波を励振する電極と、  
前記圧電体上に設けられた前記電極を覆ってまたは前記圧電体を挟む前記電極が対向する領域に設けられた、S i - O結合におけるOと置換する元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜と、を備えることを特徴とする弾性波デバイス。
- [請求項2] 前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、S i - O結合の伸縮振動の横波光学モードの半値幅が、前記元素又は分子をドーピングしない場合に比べて小さくなるような前記元素又は分子がドーピングされていることを特徴とする請求項1記載の弾性波デバイス。
- [請求項3] 前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、S i - O結合の伸縮振動のピーク波数が、前記元素又は分子をドーピングしない場合に比べて大きくなるような前記元素又は分子がドーピングされていることを特徴とする請求項1または2記載の弾性波デバイス。
- [請求項4] 前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、アンドープのシリコン酸化膜よりも小さいヤング率を有することを特徴とする請求項1から3のいずれか一項記載の弾性波デバイス。
- [請求項5] 前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、アンドープのシリコン酸化膜よりも音速が遅いことを特徴とする請求項1から4のいずれか一項記載の弾性波デバイス。
- [請求項6] 前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜には、2種類以上の元素又は分子がドーピングされていることを特徴とする請求項1から5のいずれか一項記載の弾性波デバイス。
- [請求項7] 前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜には、Fがドーピングされていることを特徴とする請求項1から6のいずれか一項記載の弾性波デバイス。

- [請求項8] 前記電極は、Cu、Au、Ag、W、Pt、Mo、Ni、Crのいずれかによって構成されていることを特徴とする請求項7記載の弾性波デバイス。
- [請求項9] 前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、CVD法により形成されることを特徴とする請求項1から8のいずれか一項記載の弾性波デバイス。
- [請求項10] 前記電極は、前記圧電体上に設けられた櫛型電極であり、  
前記元素又は分子がドーピングされたシリコン酸化膜は、前記圧電体上に設けられた前記櫛型電極を覆って設けられていることを特徴とする請求項1から9のいずれか一項記載の弾性波デバイス。