

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7587766号
(P7587766)

(45)発行日 令和6年11月21日(2024.11.21)

(24)登録日 令和6年11月13日(2024.11.13)

(51)国際特許分類 F I
H 0 3 H 9/25 (2006.01) H 0 3 H 9/25 C

請求項の数 15 (全20頁)

(21)出願番号	特願2023-516025(P2023-516025)	(73)特許権者	000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(86)(22)出願日	令和3年10月28日(2021.10.28)	(74)代理人	100079108 弁理士 稲葉 良幸
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/039760	(74)代理人	100109346 弁理士 大貫 敏史
(87)国際公開番号	WO2022/224470	(74)代理人	100117189 弁理士 江口 昭彦
(87)国際公開日	令和4年10月27日(2022.10.27)	(74)代理人	100134120 弁理士 内藤 和彦
審査請求日	令和5年6月14日(2023.6.14)	(74)代理人	100126480 弁理士 佐藤 睦
(31)優先権主張番号	特願2021-71400(P2021-71400)	(72)発明者	西村 俊雄 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(32)優先日	令和3年4月20日(2021.4.20)		最終頁に続く
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

(54)【発明の名称】 共振子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに対向する第1面及び第2面を有する圧電層と、
前記圧電層の前記第1面の側に設けられたIDT電極と、
前記圧電層の前記第2面の側に設けられた高音速基板と、
を備え、
前記圧電層は、結晶Y軸に直交する面を結晶X軸回りに回転させたカット角の水晶からなり、

前記圧電層の結晶X軸に対して90°±10°となる伝搬方向において、前記高音速基板の音速は前記圧電層の音速よりも速く、

前記IDT電極は、前記伝搬方向に並ぶ複数の電極指を有する形電極を有、
前記高音速基板は、結晶Y軸に直交する面を、結晶X軸の正方向側から見て反時計回りに0°以上60°以下の範囲で回転させたカット角の水晶からなり、

前記圧電層と前記高音速基板とは、互いの結晶X軸が平行となるように設けられる、
共振子。

【請求項2】

互いに対向する第1面及び第2面を有する圧電層と、
前記圧電層の前記第1面の側に設けられたIDT電極と、
前記圧電層の前記第2面の側に設けられた高音速基板と、
を備え、

前記圧電層は、結晶 Y 軸に直交する面を結晶 X 軸回りに回転させたカット角の水晶からなり、

前記圧電層の結晶 X 軸に対して $90^\circ \pm 10^\circ$ となる伝搬方向において、前記高音速基板の音速は前記圧電層の音速よりも速く、

前記 I D T 電極は、前記伝搬方向に並ぶ複数の電極指を有する 形電極を有し、

前記高音速基板は、結晶 Y 軸に直交する面を、結晶 X 軸の正方向側から見て反時計回りに -30° 以上 90° 以下の範囲で回転させたカット角の水晶からなり、

前記圧電層と前記高音速基板とは、互いの結晶 X 軸が平行となるように設けられる、共振子。

【請求項 3】

10

前記圧電層は、結晶 Y 軸に直交する面を、結晶 X 軸の正方向側から見て反時計回りに $-59^\circ \pm 10^\circ$ の範囲で回転させたカット角の水晶からなる、

請求項 1 又は 2 に記載の共振子。

【請求項 4】

前記圧電層は、結晶 Y 軸に直交する面を、結晶 X 軸の正方向側から見て反時計回りに $35^\circ \pm 10^\circ$ の範囲で回転させたカット角の水晶からなる、

請求項 1 又は 2 に記載の共振子。

【請求項 5】

前記圧電層と前記高音速基板とは、直接積層されている、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の共振子。

20

【請求項 6】

前記圧電層と前記高音速基板との間に設けられた低音速層をさらに有し、前記伝搬方向において、前記低音速層の音速は前記圧電層の音速以下である、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の共振子。

【請求項 7】

前記 I D T 電極の電極周期で定まる弾性波の波長を としたとき、前記低音速層の厚みは、 0.1 以上 0.5 以下の範囲に設定される、請求項 6 に記載の共振子。

【請求項 8】

前記低音速層の厚みは、前記高音速基板の厚みの 100 分の 1 以下である、請求項 6 又は 7 に記載の共振子。

30

【請求項 9】

前記 I D T 電極の電極周期で定まる弾性波の波長を としたとき、前記圧電層の厚みは、 0.05 以上 0.5 以下の範囲に設定される、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の共振子。

【請求項 10】

前記圧電層の厚みは、前記高音速基板の厚みの 100 分の 1 以下である、請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の共振子。

【請求項 11】

前記伝搬方向において、前記高音速基板の音速は、前記圧電層の音速に比べて 20% 以上速い、

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の共振子。

40

【請求項 12】

前記伝搬方向において、前記高音速基板の音速は、前記圧電層の音速に比べて 40% 以上速い、

請求項 11 に記載の共振子。

【請求項 13】

前記高音速基板は、シリコン、シリコン化合物及びアルミニウム化合物のいずれかからなる、

請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の共振子。

50

【請求項 14】

前記高音速基板は、シリコンの単結晶からなる、
請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の共振子。

【請求項 15】

前記 IDT 電極は、アルミニウムを主成分とする金属からなる、
請求項 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の共振子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、共振子に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来、共振器や帯域フィルタなどに利用される弾性波装置として、弾性表面波 (Surface Acoustic Wave: 以下、SAW) 共振子が知られている。携帯電話などの移動体通信システムの進化によって、SAW 共振子の Q 値や周波数温度特性などの各種特性の向上が求められている。

【0003】

特許文献 1 には、圧電基板と、圧電基板上に設けられた IDT とを備え、励振波を SH 波とした弾性表面波デバイスであって、IDT の電極指間スペースに溝が形成されることで、Q 値の向上を図った弾性表面波デバイスが開示されている。

20

【0004】

特許文献 2 には、高音速支持基板と、圧電膜と、IDT 電極とを備える弾性波装置であって、IDT 電極の電極周期で定まる弾性波の波長を λ としたときに、 $0.1 \sim 0.5 \lambda$ の範囲とされる膜厚の低音速膜が高音速支持基板と圧電膜との間に設けられることで、Q 値の向上を図った弾性波装置が開示されている。

【0005】

特許文献 3 には、水晶層、アモルファス酸化シリコン層、圧電層、 $\lambda/4$ 形電極を順に積層した弾性表面波デバイスであって、アモルファス酸化シリコン層の厚さ、圧電層の厚さを適切な値とすることで、周波数温度特性やその他の各特性について良好なものとすることを図った弾性表面波デバイスが開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開 2006 - 203408 号公報

【文献】特許第 5910763 号公報

【文献】特開 2019 - 149724 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献 1 に記載の弾性表面波デバイスでは、電極指間スペースの溝の深さの制御が難しく、Q 値が十分に向上しない場合がある。

40

【0008】

特許文献 2 に記載の弾性波装置及び特許文献 3 に記載の弾性表面波デバイスでは、1 次周波数温度係数が改善されているが、さらなる周波数温度特性の改善の余地を残している。

【0009】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、周波数温度特性又は共振特性に優れる共振子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】

【0010】

本発明の一側面に係る共振子は、

50

互いに対向する第 1 面及び第 2 面を有する圧電層と、
 圧電層の第 1 面の側に設けられた I D T 電極と、
 圧電層の第 2 面の側に設けられた高音速基板と、
 を備え、

圧電層は、結晶 Y 軸に直交する面を結晶 X 軸回りに回転させたカット角の水晶からなり、
 圧電層の結晶 X 軸に対して $90^\circ \pm 10^\circ$ となる伝搬方向において、高音速基板の音速
 は圧電層の音速よりも速く、

I D T 電極は、伝搬方向に並ぶ複数の電極指を有する 形電極を有する。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、周波数温度特性又は共振特性に優れる共振子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】一実施形態における共振子の構成を概略的に示す平面図である。

【図 2】図 1 に示した共振子の構成を概略的に示す断面図である。

【図 3】図 1 に示した圧電層の結晶軸方向を説明する図である。

【図 4】一変形例における共振子の構成を概略的に示す断面図である。

【図 5】一変形例における共振子の構成を概略的に示す断面図である。

【図 6】第 1 実施例の圧電層の回転角度と音速の関係を示すグラフである。

【図 7】第 1 実施例の圧電層の回転角度と電気機械結合係数の関係を示すグラフである。

【図 8】第 1 実施例の圧電層の回転角度と Q 値の関係を示すグラフである。

【図 9】第 1 実施例の圧電層の回転角度と 1 次周波数温度係数の関係を示すグラフである。

【図 10】第 1 実施例の圧電層の回転角度と 2 次周波数温度係数の関係を示すグラフである。

【図 11】第 1 実施例の圧電層の回転角度と 3 次周波数温度係数の関係を示すグラフである。

【図 12】第 1 実施例の周波数温度特性を示すグラフである。

【図 13】第 1 実施例の高音速基板の音速が Q 値に及ぼす影響を説明するグラフである。

【図 14】第 2 実施例の圧電層の回転角度と音速の関係を示すグラフである。

【図 15】第 2 実施例の圧電層の回転角度と電気機械結合係数の関係を示すグラフである。

【図 16】第 2 実施例の圧電層の回転角度と Q 値の関係を示すグラフである。

【図 17】第 3 実施例の高音速基板の回転角度と音速の関係を示すグラフである。

【図 18】第 3 実施例の高音速基板の回転角度と電気機械結合係数の関係を示すグラフである。

【図 19】第 3 実施例の高音速基板の回転角度と Q 値の関係を示すグラフである。

【図 20】第 3 実施例の高音速基板の回転角度と 1 次周波数温度係数の関係を示すグラフである。

【図 21】第 3 実施例の高音速基板の回転角度と 2 次周波数温度係数の関係を示すグラフである。

【図 22】第 3 実施例の高音速基板の回転角度と 3 次周波数温度係数の関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に本発明の実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の構成要素は同一又は類似の符号で表している。図面は例示であり、各部の寸法や形状は模式的なものであり、本発明の技術的範囲を当該実施形態に限定して解すべきではない。

【0014】

まず、図 1 ~ 図 3 を参照しつつ、本発明の一実施形態に係る共振子 10 の概略構成について説明する。図 1 は、一実施形態における共振子の構成を概略的に示す平面図である。

図 2 は、図 1 に示した共振子の構成を概略的に示す断面図である。図 3 は、図 1 に示した

10

20

30

40

50

圧電層の結晶軸方向を説明する図である。

【0015】

共振子10は、SAW共振子の一種であり、SSBW(Surface Skimming Bulk Wave)を導波するSTW(Surface Transverse Wave:横波型弾性表面波)素子である。図1及び2に示すように、共振子10は、高音速基板1と、低音速層3と、圧電層5と、IDT(Inter Digital Transducer)電極7と、一对の反射器9とを備えている。

【0016】

高音速基板1は、圧電層5の振動エネルギーがバルク波として漏れてQ値を低下させることを抑制できる基板である。具体的には、高音速基板1は、例えば図2に示したように、伝搬方向PDにおける音速(弾性波の伝搬速度)が圧電層5の伝搬方向PDにおける音速よりも速い単層基板である。以下、「伝搬方向PDにおける音速」を、単に「音速」ともいう。高音速基板1の音速は、圧電層5の音速に比べて10%以上速いことが望ましく、20%以上速いことがさらに望ましく、40%以上速いことがさらに望ましい。

10

【0017】

高音速基板1は、例えばシリコン単結晶からなるが、これに限定されるものではない。高音速基板1は、例えば、単体シリコン(アモルファスシリコン、シリコン多結晶など)、シリコン化合物(酸化シリコン、窒化シリコン、炭化シリコンなど)及びアルミニウム化合物(窒化アルミニウム、酸化アルミニウムなど)のうちのいずれかによって形成されてもよい。後述のとおり圧電層5は水晶によって形成されるが、伝搬方向PDにおいて高音速基板1と圧電層5との間に十分な音速差が確保できるように結晶軸方向を設定可能であれば、高音速基板1も水晶によって形成されてもよい。この場合、高音速基板1及び圧電層5は、互いにカット角の異なる水晶によって形成されてもよい。具体例を挙げると、圧電層5の水晶が後述するBTカットであり、伝搬方向PDに対して結晶X軸が $90^\circ \pm 10^\circ$ となるように設けられ、高音速基板1の水晶が後述するATカットであり、伝搬方向PDに対して結晶X軸が $90^\circ \pm 10^\circ$ となるように設けられてもよい。すなわち、高音速基板1の水晶のカット角は、オイラー角によって(θ 、 μ 、 ν)=(0° 、 $125^\circ \pm 10^\circ$ 、 $90^\circ \pm 10^\circ$)と表され、圧電層5の水晶のカット角は、オイラー角によって(θ 、 μ 、 ν)=(0° 、 $31^\circ \pm 10^\circ$ 、 $90^\circ \pm 10^\circ$)と表されてもよい。これによれば、高音速基板1と圧電層5との音速差を大きくすることができる。なお、高音速基板1を構成する水晶のカット角は、伝搬方向PDにおいて高音速基板1の音速が圧電層5の音速よりも十分に速ければ上記に限定されるものではない。高音速基板1は、結晶Y軸に直交する面を、結晶X軸の正方向側から視て反時計回りに 0° 以上 60° 以下の範囲で回転させたカット角の水晶によって形成されてもよい。

20

30

【0018】

高音速基板は図2に示した単層構造に限定されるものではなく、多層構造であってもよい。高音速基板が多層構造である場合、この多層構造のうち最も圧電層5に近い層の音速が圧電層5の音速よりも速ければ、この多層構造の他の層の音速が圧電層5の音速以下であってもよい。多層構造からなる高音速基板のうち最も圧電層5に近い層は、その音速が上記した高音速基板1と同様の音速であることが望ましく、上記した高音速基板1と同様の材料によって形成されることが望ましい。

40

【0019】

高音速基板1の厚みT1が大きいほど、圧電層5からの振動エネルギーの漏れが抑制できる。また、高音速基板1は、低音速層3、圧電層5、IDT電極7及び反射器9を有する積層構造を支持可能な機械的強度を有することが望ましい。したがって、弾性波の波長をとしたとき、高音速基板1の厚みT1は50以上であることが望ましく、100以上であることがさらに望ましく、500以上であることがさらに望ましい。

【0020】

低音速層3は、本質的に低音速な媒質に集中する特性を有する振動エネルギーを閉じ込め、圧電層5から高音速基板1への振動エネルギーの漏れを抑制するための層である。具

50

体的には、低音速層 3 は、伝搬方向 P D における音速が圧電層 5 の伝搬方向 P D における音速以下の層である。低音速層 3 は、高音速基板 1 の上に直接積層されている。これは、高音速基板 1 と低音速層 3 との間に接着剤等の機能部材が存在せず、高音速基板 1 と低音速層 3 とが接触していることを意味する。直接積層は、例えば、拡散接合や常温接合などによる直接接合や、PVD や CVD などによる直接成膜によって実現される。直接積層における部材間の境界において、組成比は急激に変化してもよく、徐々に変化してもよい。他の層や基板における直接積層についても同様とする。

【0021】

低音速層 3 は、例えば酸化シリコンからなり、これによれば温度補償効果により周波数温度特性を改善できる。但し、低音速層 3 の材質は酸化シリコンに限定されるものではなく、例えば、酸化窒化シリコン、酸化タンタル、又はこれらにフッ素や炭素やホウ素を加えた化合物によって形成されてもよい。

10

【0022】

低音速層 3 の厚み T 3 は、0.01 以上 2.0 以下の範囲で設定されることが望ましく、0.1 以上 0.5 以下の範囲で設定されることがさらに望ましい。厚み T 3 を 2.0 以下の範囲で設定することにより、電気機械結合係数を容易に調整することができる。また、厚み T 3 を 0.01 以上の範囲で設定することにより、圧電層 5 からの振動エネルギーの漏れを十分に抑制することができる。また、低音速層 3 の応力による共振子 10 のそり低減の観点から、低音速層 3 の厚み T 3 は、高音速基板 1 の厚み T 1 の 100 分の 1 以下であることが望ましい。なお、低音速層 3 は省略されてもよい。すなわち、圧電層 5 と高音速基板 1 とは、直接積層されていてもよい。

20

【0023】

圧電層 5 は、電気的な振動エネルギーと機械的な振動エネルギーとを相互に変換し、機械的な振動エネルギーを SSBW として伝搬させる層である。圧電層 5 は、低音速層 3 の上に直接積層されている。図 3 に示すように、圧電層 5 は、結晶 Y 軸に直交する面を結晶 X 軸回りに回転角 θ_1 で回転させたカット角の水晶（回転 Y カット水晶基板）からなる。また、圧電層 5 は、結晶 X 軸に対して $90^\circ \pm 10^\circ$ の方向が伝搬方向 P D となるように設けられる。すなわち、伝搬方向 P D は、結晶 Z 軸を結晶 X 軸回りに回転角 θ_1 で回転させた Z' 軸に沿った方向である。ここで、回転角 θ_1 は、結晶 X 軸の正方向側から（図 3 の紙面の手前側から奥を）視て反時計回りを正（+）、時計回りを負（-）とし、0 を含む。当該水晶のカット角をオイラー角で表示する場合は（ 0° 、 $\theta_1 + 90^\circ$ 、 $90^\circ \pm 10^\circ$ ）となる。

30

【0024】

一例として、圧電層 5 の水晶は BT カットであり、 $\theta_1 = -59^\circ \pm 10^\circ$ である。当該水晶のカット角をオイラー角で表示する場合は（ θ_1 、 μ 、 ν ）=（ 0° 、 $\theta_1 + 90^\circ$ 、 $90^\circ \pm 10^\circ$ ）=（ 0° 、 $31^\circ \pm 10^\circ$ 、 $90^\circ \pm 10^\circ$ ）となる。また、別の一例として、圧電層 5 の水晶は AT カットであり、 $\theta_1 = 35^\circ \pm 10^\circ$ である。当該水晶のカット角をオイラー角で表示する場合は（ θ_1 、 μ 、 ν ）=（ 0° 、 $\theta_1 + 90^\circ$ 、 $90^\circ \pm 10^\circ$ ）=（ 0° 、 $125^\circ \pm 10^\circ$ 、 $90^\circ \pm 10^\circ$ ）となる。

【0025】

圧電層 5 の厚み T 5 は、0.02 以上 1.0 以下の範囲に設定されることが望ましく、0.05 以上 0.5 以下の範囲に設定されることがさらに望ましく、0.1 以上 0.5 以下の範囲に設定されることがさらに望ましい。これによれば、広い範囲で電気機械結合係数を容易に調整できる。また、圧電層 5 からの振動エネルギーの漏れを抑制する観点から、圧電層 5 の厚み T 5 は、高音速基板 1 の厚み T 1 の 100 分の 1 以下であることが望ましい。

40

【0026】

IDT 電極 7 は 形電極である。図 1 に示す例では、IDT 電極 7 は、一对のバスバー 7a と、複数の電極指 7b とを有する。一对のバスバー 7a は、伝搬方向 P D に沿って各々延出するとともに伝搬方向 P D に対して直交する方向に互いに離間するように配置され

50

ている。複数の電極指 7 b は、一对のバスバー 7 a の各々から伝搬方向 P D に直交する方向に延出し、伝搬方向 P D に沿って配列されている。一方のバスバー 7 a から延出した複数の電極指 7 b と、他方のバスバー 7 a から延出した複数の電極指 7 b とは、伝搬方向 P D に沿って交互に配置されている。圧電層 5 の結晶軸方向を基準にすると、図 3 に示すように、複数の電極指 7 b は、結晶 X 軸方向に延在し、結晶 Z 軸を結晶 X 軸回りに回転角 1 で回転させた Z' 軸方向に沿って並んでいる。電極指 7 b の電極周期は、弾性波の波長を定める。言い換えると、電氣的に互いに接続した隣接する 2 つの電極指 7 b のそれぞれの - Z' 軸方向の側の縁は、Z' 軸方向に間隔 で離れている。

【 0 0 2 7 】

一对の反射器 9 は、S A W を反射し Q 値を向上させるためのグレーティング反射器である。一对の反射器 9 は、伝搬方向 P D において、I D T 電極 7 を挟むように配置されている。一对の反射器 9 のそれぞれは、伝搬方向 P D に沿って各々伸びると共に伝搬方向 P D に対して互いに直交する方向に離間するように配置された一对の反射器バスバー 9 a と、一对の反射器バスバー 9 a を接続し伝搬方向 P D に並ぶ複数の反射器電極指 9 b とを有している。

10

【 0 0 2 8 】

I D T 電極 7 及び反射器 9 は、圧電層 5 の上に設けられている。I D T 電極 7 及び反射器 9 は、例えばアルミニウムを主成分とする金属からなるが、これに限定されるものではない。I D T 電極 7 及び反射器 9 は、例えば、銅、プラチナ、金、銀、チタン、ニッケル、クロム、モリブデン、タングステン又はこれらの金属のいずれかを主成分とする合金によって形成されてもよい。I D T 電極 7 及び反射器 9 の厚み T 7 は、0 . 0 1 以上 0 . 2 以下の範囲で設定されることが望ましく、0 . 0 2 以上 0 . 1 5 以下の範囲で設定されることがさらに望ましく、0 . 0 4 以上 1 . 0 以下の範囲で設定されることがさらに望ましい。

20

【 0 0 2 9 】

次に、図 4 及び図 5 を参照しつつ、本実施形態の一変形例について説明する。図 4 及び図 5 は、一変形例における共振子の構成を概略的に示す断面図である。

【 0 0 3 0 】

図 4 に示すように、共振子 2 0 の高音速基板 1 と圧電層 5 とは、互いに直接積層されていてもよい。この場合、低音速層が省略されているため、圧電層 5 から高音速基板 1 への振動エネルギーの漏れを抑制するためには、高音速基板 1 の音速が圧電層 5 の音速に比べて 2 0 % 以上速いことが望ましい。

30

【 0 0 3 1 】

図 5 に示すように、共振子 3 0 の高音速基板 3 1 は、支持基板 3 1 a と支持基板 3 1 a の上に積層された高音速層 3 1 b とを有してもよい。高音速層 3 1 b は例えば支持基板 3 1 a の上に直接積層されているが、これに限定されるものではなく、接着剤等の接合部材を介して積層されてもよい。

【 0 0 3 2 】

支持基板 3 1 a は、高音速層 3 1 b、低音速層 3、圧電層 5、I D T 電極 7 及び反射器 9 を有する積層構造を支持可能であれば、その材質を限定されるものではない。例えば、支持基板 3 1 a は、サファイア、リチウムタンタレート、リチウムニオブイト、水晶等の圧電体、アルミナ、マグネシア、窒化シリコン、窒化アルミニウム、炭化シリコン、ジルコニア、コーゾライト、ムライト、ステアタイト、フォルステライト等の各種セラミック、ガラス等の誘電体、又はシリコン、窒化ガリウム等の半導体及び樹脂基板などによって形成できる。

40

【 0 0 3 3 】

高音速層 3 1 b は、支持基板 3 1 a と低音速層 3 との間に設けられる。高音速層 3 1 b は、伝搬方向 P D における音速が圧電層 5 の伝搬方向 P D における音速よりも速い。高音速層 3 1 b は、高音速基板 1 と同様の材料によって形成可能である。高音速層 3 1 b の厚みが大きいほど、圧電層 5 からの振動エネルギーの漏れが抑制できる。したがって、高音

50

速層 3 1 b の厚みは 0.5 以上であることが望ましく、1.5 以上であることがさらに望ましい。但し、製造性の観点から、高音速層 3 1 b の厚みは 10 以下であることが望ましい。

【0034】

次に図 6 ~ 図 8 を参照しつつ、本実施形態の一実施例における共振特性について説明する。図 6 は、第 1 実施例の圧電層の回転角度と音速の関係を示すグラフである。図 7 は、第 1 実施例の圧電層の回転角度と電気機械結合係数の関係を示すグラフである。図 8 は、第 1 実施例の圧電層の回転角度と Q 値の関係を示すグラフである。

【0035】

第 1 実施例にかかる共振子 10 は、高音速基板 1 と、高音速基板 1 の上に積層された低音速層 3 と、低音速層 3 の上に積層された圧電層 5 と、圧電層 5 の上に形成された IDT 電極 7 及び反射器 9 と、を備えている。

弾性波：波長 $\lambda = 4 \mu\text{m}$ 、周波数 $f = 1 \text{GHz}$

高音速基板 1：シリコン（単結晶）、 $T_1 = 300 \mu\text{m}$

低音速層 3：シリコン酸化物（アモルファス）、 $T_3 = 0.8 \mu\text{m}$

圧電層 5：水晶、オイラー角 (0° 、 $1 + 90^\circ$ 、 90°)、 $T_5 = 2 \mu\text{m}$

IDT 電極 7：アルミニウム、 $T_7 = 0.2 \mu\text{m}$

【0036】

比較例にかかる共振子は、第 1 実施例の構成から高音速基板 1 及び低音速層 3 を省略し、単層の圧電層 5 からなる共振子である。第 1 実施例及び比較例における各種共振特性のシミュレーションを行った。

【0037】

図 6 のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸は SAW 音速 (Phase velocity) (単位: m/s) を示している。 $-90^\circ \leq \theta_1 \leq 0^\circ$ 及び $60^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ の範囲で、第 1 実施例の SAW 音速は比較例の SAW 音速よりも上昇している。すなわち、この範囲において、第 1 実施例は比較例よりも高周波化に有利である。特に $\theta_1 = -59^\circ \pm 10^\circ$ の範囲では SAW 音速の上昇が大きい。例えば、 $\theta_1 = -59^\circ$ において、比較例の SAW 音速が 3300m/s 以下であったのに対し、第 1 実施例の SAW 音速は 3500m/s 以上まで上昇した。

【0038】

図 7 のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸は電気機械結合係数 (Coupling coefficient) (単位: %) を示している。 $-90^\circ \leq \theta_1 \leq 0^\circ$ 及び $70^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ の範囲で、第 1 実施例の電気機械結合係数は比較例の電気機械結合係数よりも上昇している。すなわち、この範囲において、第 1 実施例は比較例よりも、発振器としての発振特性に優れ、フィルタとしての広帯域化が可能である。

【0039】

図 8 のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸は Q 値 (Q) を示している。 θ_1 の全範囲において、第 1 実施例の Q 値は比較例の Q 値よりも上昇している。すなわち、 θ_1 の全範囲において、第 1 実施例は比較例よりも、発振器としての発振特性に優れ且つ位相ノイズを低減可能であり、フィルタとして挿入損失を低減可能である。特に $\theta_1 = -59^\circ \pm 10^\circ$ の範囲では Q 値の上昇が大きい。例えば、 $\theta_1 = -59^\circ$ において、比較例の Q 値が 1000 以下であったのに対し、第 1 実施例の Q 値は 8000 以上まで上昇した。

【0040】

次に図 9 ~ 図 12 を参照しつつ、本実施形態の一実施例における温度特性について説明する。第 1 実施例及び比較例における温度特性のシミュレーションを行った。図 9 は、第 1 実施例の圧電層の回転角度と 1 次周波数温度係数の関係を示すグラフである。図 10 は、第 1 実施例の圧電層の回転角度と 2 次周波数温度係数の関係を示すグラフである。図 11

は、第1実施例の圧電層の回転角度と3次周波数温度係数の関係を示すグラフである。図12は、第1実施例の周波数温度特性を示すグラフである。

【0041】

図9のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸は1次周波数温度係数 (1st TCF: Temperature Coefficients of Frequency) を示している。縦軸の単位は ppm/K である。図10のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸は2次周波数温度係数 (2nd TCF) を示している。縦軸の単位は ppb/K² である。図11のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸は3次周波数温度係数 (3rd TCF) を示している。縦軸の単位は ppt/K³ である。 θ_1 の全範囲において、第1実施例の1次周波数温度係数の絶対値は比較例の1次周波数温度係数の絶対値よりも小さくなっている。2次周波数温度係数及び3次周波数温度係数についても同様である。特に、 $\theta_1 = -59^\circ \pm 10^\circ$ の範囲での3次周波数温度係数の絶対値の低減は大きい。例えば、 $\theta_1 = -59^\circ$ において、比較例の3次周波数温度係数が 80 ppt/K³ 以上であったのに対し、第1実施例の3次周波数温度係数の絶対値は 40 ppt/K³ 以下にまで低減された。

10

【0042】

図12のグラフの横軸は温度 (Temperature) (単位: $^\circ\text{C}$) を示し、縦軸は 25 $^\circ\text{C}$ における周波数を基準とした周波数変化量 (dF) (単位: ppm) を示している。グラフ中のプロットは、それぞれ、 $\theta_1 = -59^\circ$ のときの第1実施例及び比較例の周波数温度特性、 $\theta_1 = 35^\circ$ のときの第1実施例及び比較例の周波数温度特性を示している。 $\theta_1 = -59^\circ$ 、 35° どちらの場合も、第1実施例の周波数温度特性は、比較例の周波数温度特性よりも優れている。特に、 $\theta_1 = -59^\circ$ の場合の第1実施例は周波数温度特性に優れ、40 $^\circ\text{C}$ 以上 100 $^\circ\text{C}$ 以下の高温域における周波数変化量の絶対値が 10 ppm 以下であった。

20

【0043】

次に、図13を参照しつつ、音速差のQ値への影響について説明する。図13は、第1実施例の高音速基板の音速がQ値に及ぼす影響を説明するグラフである。第1実施例の構成において、高音速基板1の音速を変化させたシミュレーションで得られたQ値の変化を示している。

30

【0044】

図13のグラフの横軸は高音速基板1の音速 (Phase velocity of substrate) (単位: m/s) を示し、縦軸はQ値を示している。グラフ中のプロットは、それぞれ、 $\theta_1 = -59^\circ$ のときの第1実施例のQ値、及び $\theta_1 = 35^\circ$ のときの第1実施例のQ値を示している。高音速基板1の音速が圧電層5の音速に比べて10%以上速いときQ値は上昇しており、20%以上速いときQ値は8000以上となり、40%以上速いときQ値の上昇しきっている。

【0045】

次に図14~図16を参照しつつ、本実施形態の一実施例の共振特性について説明する。図14は、第2実施例の圧電層の回転角度と音速の関係を示すグラフである。図15は、第2実施例の圧電層の回転角度と電気機械結合係数の関係を示すグラフである。図16は、第2実施例の圧電層の回転角度とQ値の関係を示すグラフである。

40

【0046】

第2実施例は、低音速層3が省略され、高音速基板1に圧電層5が直接接合されている点で、第1実施例と相違している。それ以外は第1実施例と同様の構成である。

【0047】

図14のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸はSAW音速 (Phase velocity) (単位: m/s) を示している。 θ_1 の全範囲において、第2実施例のSAW音速は比

50

較例のSAW音速よりも上昇している。特に $\theta_1 = -59^\circ \pm 10^\circ$ の範囲ではSAW音速の上昇が大きい。例えば、 $\theta_1 = -59^\circ$ において、比較例のSAW音速が3300 m/s以下であったのに対し、第2実施例のSAW音速は4200 m/s以上まで上昇した。なお、 θ_1 の全範囲において、第2実施例のSAW音速は第1実施例のSAW音速よりも大きい。

【0048】

図15のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸は電気機械結合係数 (Coupling coefficient) (単位: %) を示している。 $-70^\circ \leq \theta_1 \leq 30^\circ$ の範囲で、第2実施例の電気機械結合係数は比較例の電気機械結合係数よりも上昇している。特に、 $\theta_1 = 0^\circ \pm 10^\circ$ の範囲では電気機械結合係数の上昇が大きい。例えば、 $\theta_1 = 0^\circ$ において、比較例の電気機械結合係数が2.5%以下であったのに対し、第2実施例の電気機械結合係数は3.8%以上まで上昇した。なお、 $-40^\circ \leq \theta_1 \leq 40^\circ$ の範囲では、第2実施例の電気機械結合係数は第1実施例の電気機械結合係数よりも大きい。

10

【0049】

図16のグラフの横軸は圧電層の回転角 (Rotation angle of piezoelectric) θ_1 を示し、縦軸はQ値 (Q) を示している。 $-90^\circ \leq \theta_1 \leq 10^\circ$ 及び $50^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$ の範囲において、第2実施例のQ値は比較例のQ値よりも上昇している。特に $\theta_1 = -59^\circ \pm 10^\circ$ の範囲ではQ値の上昇が大きい。例えば、 $\theta_1 = -59^\circ$ において、比較例のQ値が1000以下であったのに対し、第2実施例のQ値は8000以上まで上昇した。なお、 θ_1 の全範囲において、第1実施例のQ値は第2実施例のQ値よりも大きい。

20

【0050】

次に図17~図22を参照しつつ、本実施形態の一実施例の温度特性について説明する。第3実施例における共振特性及び温度特性のシミュレーションを行った。図17は、第3実施例の高音速基板の回転角度と音速の関係を示すグラフである。図18は、第3実施例の高音速基板の回転角度と電気機械結合係数の関係を示すグラフである。図19は、第3実施例の高音速基板の回転角度とQ値の関係を示すグラフである。図20は、第3実施例の高音速基板の回転角度と1次周波数温度係数の関係を示すグラフである。図21は、第3実施例の高音速基板の回転角度と2次周波数温度係数の関係を示すグラフである。図22は、第3実施例の高音速基板の回転角度と3次周波数温度係数の関係を示すグラフである。

30

【0051】

第3実施例は、高音速基板1が水晶によって形成されている点で第2実施例と相違している。それ以外は第2実施例と同様の構成である。高音速基板1は、結晶Y軸に直交する面を結晶X軸回りに回転角 θ_2 で回転させた水晶であり、圧電層5と高音速基板1とは、互いの結晶X軸が平行となるように積層されている。高音速基板1の水晶のカット角をオイラー角で表示した場合、 $(0^\circ, \theta_2 \pm 90^\circ, 90^\circ)$ と表される。第3実施例において圧電層5の水晶の回転角 θ_1 が -59° 又は 35° のとき、高音速基板1の水晶の回転角 θ_2 を変化させたときの、共振特性又は温度特性の変化をシミュレーションした。比較例は、オイラー角 $(0^\circ, \theta_2 \pm 90^\circ, 90^\circ)$ で示される単層の水晶からなる高音速基板を圧電層として用いた共振子である。したがって、比較例における回転角 θ_2 は、第3実施例における回転角 θ_1 に相当する。比較例において、回転角 θ_2 を変化させたときの、共振特性又は温度特性の変化をシミュレーションした。

40

【0052】

図17のグラフの横軸は高音速基板の回転角 (Rotation angle of substrate) θ_2 を示し、縦軸はSAW音速 (Phase velocity) (単位: m/s) を示している。 $\theta_2 = -59^\circ$ のときの比較例のSAW音速は3300 m/s以下であるのに対して、第3実施例 ($\theta_1 = -59^\circ$) のSAW音速は、 $-30^\circ \leq \theta_2 \leq 90^\circ$ の範囲で3400 m/s以上に上昇した。

50

【0053】

図18のグラフの横軸は高音速基板の回転角 (Rotation angle of substrate) θ_2 を示し、縦軸は電気機械結合係数 (Coupling coefficient) (単位: %) を示している。 $\theta_2 = -59^\circ$ のときの比較例の電気機械結合係数は4.0%程度であるのに対して、第3実施例 ($\theta_1 = -59^\circ$) の電気機械結合係数は、 $\theta_2 = 90^\circ$ の範囲で4.5%以上に上昇し、特に $\theta_2 = 20^\circ \sim 80^\circ$ の範囲では5.0%以上に上昇した。

【0054】

図19のグラフの横軸は高音速基板の回転角 (Rotation angle of substrate) θ_2 を示し、縦軸はQ値 (Q) を示している。 $\theta_2 = -59^\circ$ のときの比較例のQ値は1000以下であるのに対して、第3実施例 ($\theta_1 = -59^\circ$) のQ値は、 $\theta_2 = 90^\circ$ の範囲で2000以上に上昇した。特に、 $\theta_2 = 0^\circ \sim 60^\circ$ の範囲ではQ値の上昇が大きく、第3実施例 ($\theta_1 = -59^\circ$) のQ値は8500以上に上昇した。

10

【0055】

$\theta_2 = 35^\circ$ のときの比較例のQ値は8000以下であるのに対して、第3実施例 ($\theta_1 = 35^\circ$) のQ値は、 $\theta_2 = 40^\circ$ の範囲で8500程度に上昇した。すなわち、 $\theta_2 = 35^\circ$ の場合であっても、少なくともQ値は向上する。

【0056】

図20のグラフの横軸は高音速基板の回転角 (Rotation angle of substrate) θ_2 を示し、縦軸は1次周波数温度係数 (1st TCF) を示している。図21のグラフの横軸は高音速基板の回転角 (Rotation angle of substrate) θ_2 を示し、縦軸は2次周波数温度係数 (2nd TCF) を示している。図22のグラフの横軸は高音速基板の回転角 (Rotation angle of substrate) θ_2 を示し、縦軸は3次周波数温度係数 (3rd TCF) を示している。

20

【0057】

$\theta_2 = -59^\circ$ のときの比較例の3次周波数温度係数は80 ppt / K³程度であるのに対して、第3実施例 ($\theta_1 = -59^\circ$) の3次周波数温度係数の絶対値は、回転角 θ_2 の全範囲において低減され、特に $\theta_2 = 40^\circ \sim 80^\circ$ の範囲で40 ppt / K³以下にまで低減された。 $\theta_2 = 35^\circ$ のときの比較例の2次周波数温度係数は-50 ppb / K²程度であるのに対して、第3実施例 ($\theta_1 = 35^\circ$) の2次周波数温度係数の絶対値は、 $\theta_2 = 60^\circ$ の範囲で40 ppb / K²以下にまで低減され、特に $\theta_2 = 60^\circ$ で10 ppb / K²程度にまで低減された。 $\theta_2 = 35^\circ$ のときの比較例の3次周波数温度係数は-130 ppt / K³程度であるのに対して、第3実施例 ($\theta_1 = 35^\circ$) の3次周波数温度係数の絶対値は、 $\theta_2 = 60^\circ$ の範囲で120 ppt / K³以下にまで低減され、特に $\theta_2 = 60^\circ$ で100 ppt / K³程度にまで低減された。

30

【0058】

以上、本発明の例示的な実施形態について説明した。本発明の一態様によれば、共振子は、互いに対向する第1面及び第2面を有する圧電層と、圧電層の第1面の側に設けられたIDT電極と、圧電層の第2面の側に設けられた高音速基板と、を備え、圧電層は、結晶Y軸に直交する面を結晶X軸回りに回転させたカット角の水晶からなり、圧電層の結晶X軸に対して $90^\circ \pm 10^\circ$ となる伝搬方向において、高音速基板の音速は圧電層の音速よりも速く、IDT電極は、伝搬方向に並ぶ複数の電極指を有する形電極を有する。

40

【0059】

これによれば、単層の圧電層からなる共振子に比べて、少なくとも3次周波数温度係数及びQ値に優れる共振子が提供される。さらに、圧電層の水晶の結晶Y軸に直交する面を結晶X軸回りに回転させる回転角を適宜選択することで、電気機械結合係数、SAW音速、1次周波数温度係数及び2次周波数温度係数のいずれかを改善することができる。

【0060】

50

本発明の一態様によれば、圧電層は、結晶Y軸に直交する面を、結晶X軸の正方向側から見て反時計回りに $-59^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の範囲で回転させたカット角の水晶からなってもよい。

【0061】

これによれば、単層の圧電層からなる共振子に比べて、さらにSAW音速及び電気機械結合係数に優れる共振子が提供される。

【0062】

本発明の一態様によれば、圧電層は、結晶Y軸に直交する面を、結晶X軸の正方向側から見て反時計回りに $35^{\circ} \pm 10^{\circ}$ の範囲で回転させたカット角の水晶からなってもよい。

【0063】

本発明の一態様によれば、圧電層と高音速基板とは、直接積層されてもよい。

【0064】

本発明の一態様によれば、圧電層と高音速基板との間に設けられた低音速層をさらに有し、伝搬方向において、低音速層の音速は圧電層の音速以下であってもよい。

【0065】

本発明の一態様によれば、IDT電極の電極周期で定まる弾性波の波長を λ としたとき、低音速層の厚みは、 0.1λ 以上 0.5λ 以下の範囲に設定されてもよい。

【0066】

本発明の一態様によれば、低音速層の厚みは、高音速基板の厚みの $1/100$ 以下であってもよい。

【0067】

本発明の一態様によれば、IDT電極の電極周期で定まる弾性波の波長を λ としたとき、圧電層の厚みは、 0.05λ 以上 0.5λ 以下の範囲に設定されてもよい。

【0068】

本発明の一態様によれば、圧電層の厚みは、高音速基板の厚みの $1/100$ 以下であってもよい。

【0069】

本発明の一態様によれば、伝搬方向において、高音速基板の音速は、圧電層の音速に比べて20%以上速くてもよい。

【0070】

本発明の一態様によれば、伝搬方向において、高音速基板の音速は、圧電層の音速に比べて40%以上速くてもよい。

【0071】

本発明の一態様によれば、高音速基板は、シリコン、シリコン化合物及びアルミニウム化合物のいずれかからなってもよい。

【0072】

本発明の一態様によれば、高音速基板は、シリコンの単結晶からなってもよい。

【0073】

本発明の一態様によれば、高音速基板は、結晶Y軸に直交する面を、結晶X軸の正方向側から見て反時計回りに 0° 以上 60° 以下の範囲で回転させたカット角の水晶からなり、圧電層と高音速基板とは、互いの結晶X軸が平行となるように設けられてもよい。

【0074】

本発明の一態様によれば、IDT電極は、アルミニウムを主成分とする金属からなってもよい。

【0075】

以上説明したように、本発明の一態様によれば、周波数温度特性又は共振特性に優れる共振子を提供することができる。

【0076】

なお、以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更

10

20

30

40

50

／改良され得るとともに、本発明にはその等価物も含まれる。すなわち、実施形態及び／又は変形例に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に包含される。例えば、実施形態及び／又は変形例が備える各要素及びその配置、材料、条件、形状、サイズなどは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、実施形態及び変形例は例示であり、異なる実施形態及び／又は変形例で示した構成の部分的な置換又は組み合わせが可能であることは言うまでもなく、これらも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に包含される。

【符号の説明】

【 0 0 7 7 】

- 1 ... 高音速基板、
- 3 ... 低音速層、
- 5 ... 圧電層、
- 7 ... I D T 電極、
- 7 b ... 電極指、
- 9 ... 反射器、
- 1 0 ... 共振子、
- P D ... 伝搬方向、

10

20

30

40

50

【 図面 】

【 図 1 】

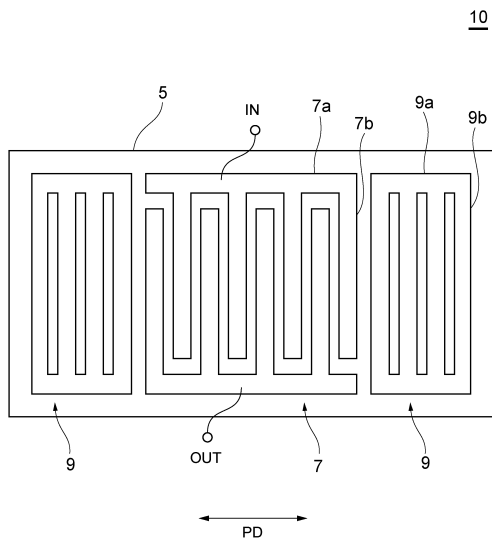


図 1

【 図 2 】

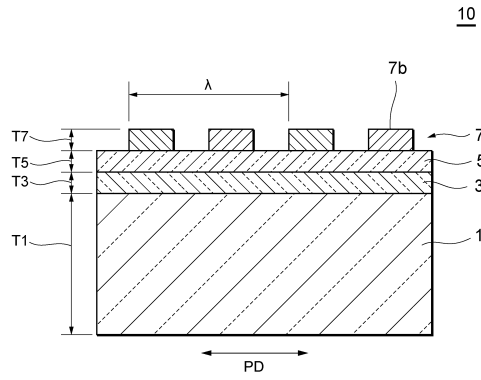


図 2

10

【 図 3 】

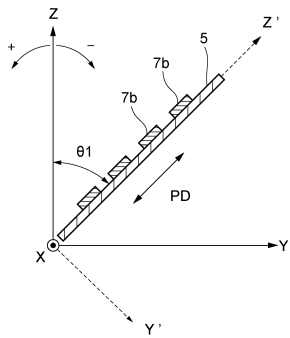


図 3

【 図 4 】

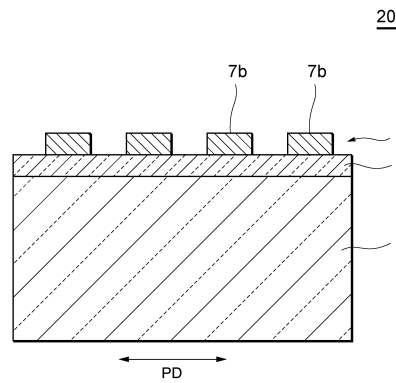


図 4

30

40

50

【 図 5 】

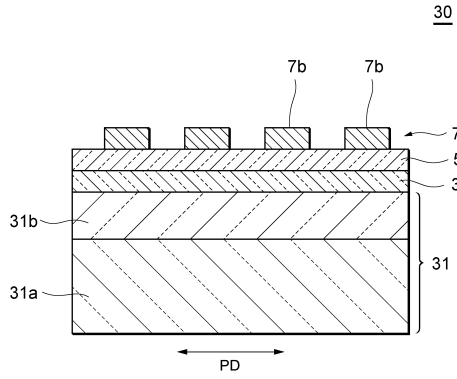


图 5

【 图 6 】

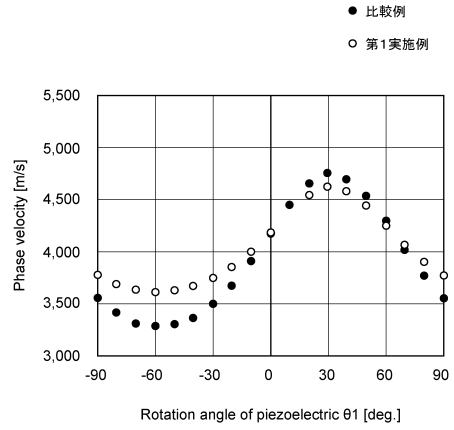


图 6

【 图 7 】

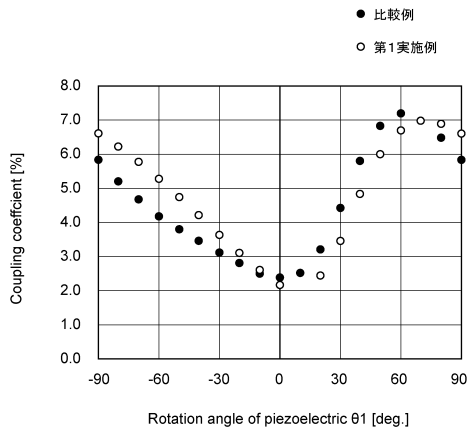


图 7

【 图 8 】

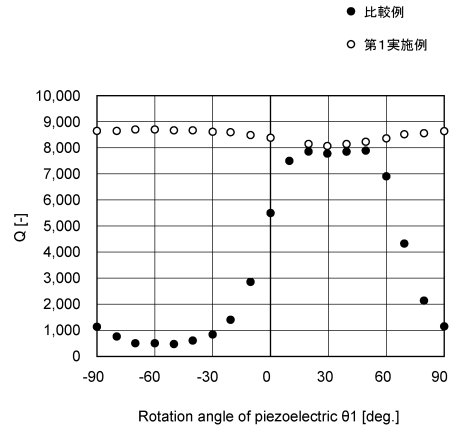


图 8

10

20

30

40

50

【 図 9 】

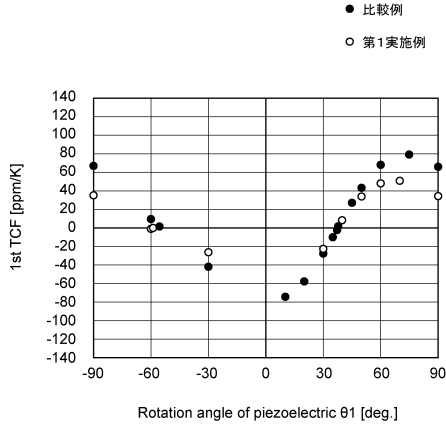


図 9

【 図 10 】

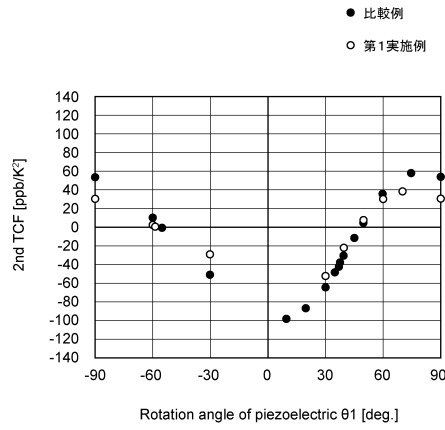


図 10

10

【 図 11 】

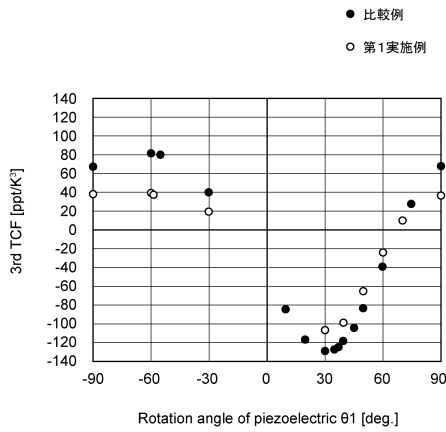


図 11

【 図 12 】

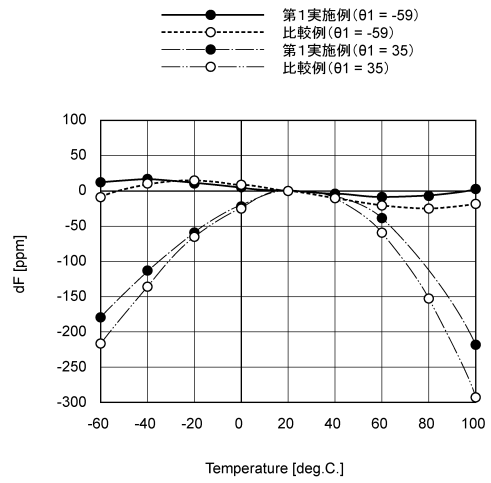


図 12

20

30

40

50

【 図 1 3 】

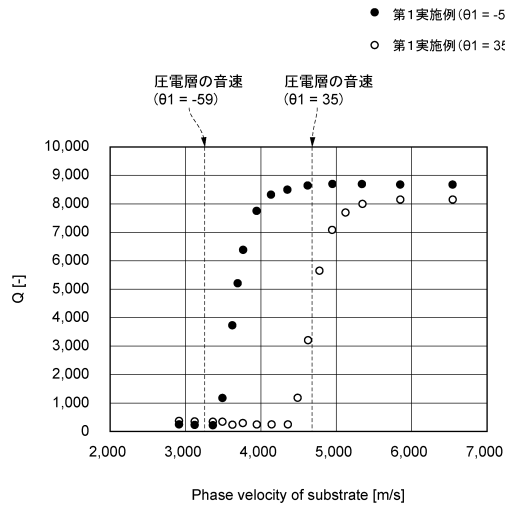


図 1 3

【 図 1 4 】

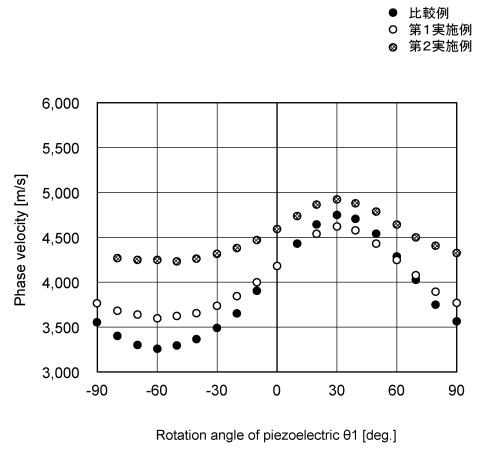


図 1 4

10

【 図 1 5 】

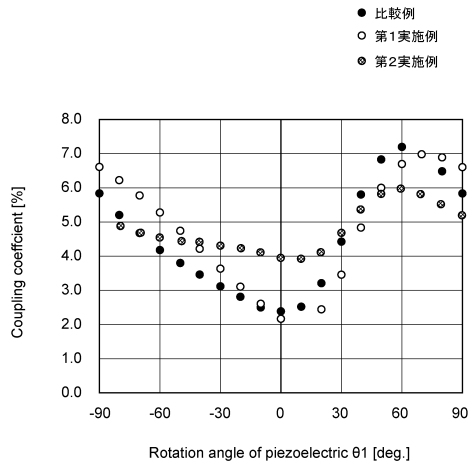


図 1 5

【 図 1 6 】

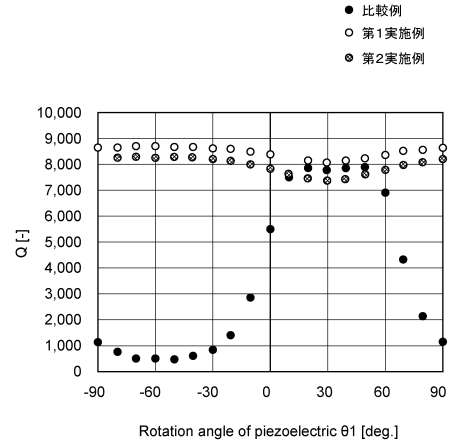


図 1 6

20

30

40

50

【 図 1 7 】

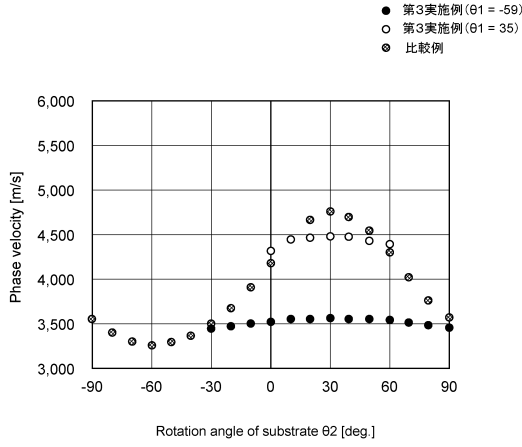


図 1 7

【 図 1 8 】

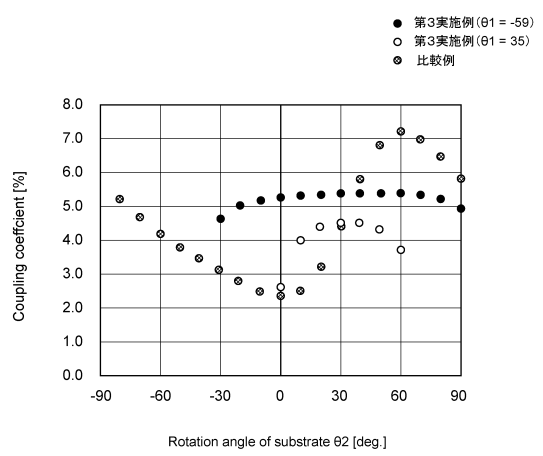


図 1 8

10

【 図 1 9 】

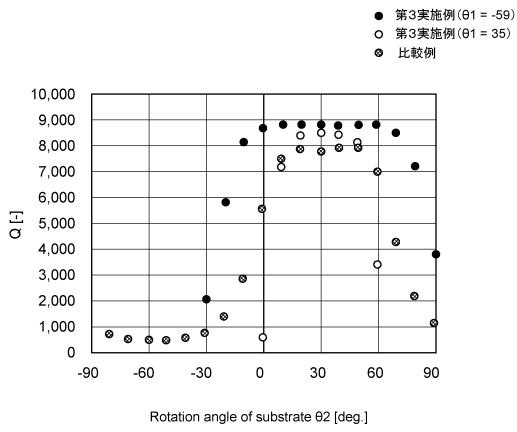


図 1 9

【 図 2 0 】

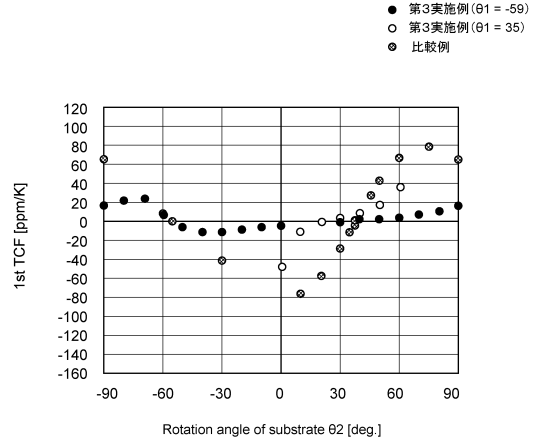


図 2 0

20

30

40

50

【 図 2 1 】

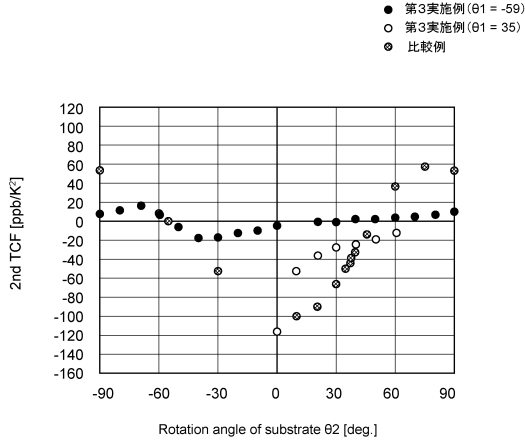


図 2 1

【 図 2 2 】

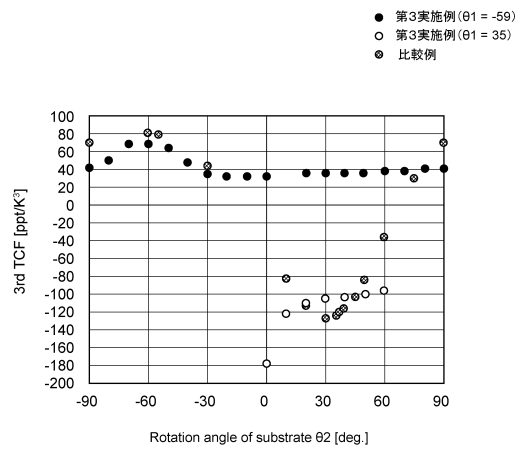


図 2 2

10

20

30

40

50

フロントページの続き

株式会社村田製作所内

審査官 福田 正悟

- (56)参考文献 特開 2 0 0 6 - 1 9 1 3 3 0 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 0 6 5 1 6 0 (J P , A)
国際公開第 2 0 2 0 / 1 2 1 9 7 6 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 9 / 1 3 8 8 1 2 (W O , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 3 H 9 / 2 5