

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 11 月 20 日(20.11.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/185282 A1

- (51) 国際特許分類:
H03H 9/24 (2006.01) *H03H 9/02* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/062080
- (22) 国際出願日: 2014 年 5 月 1 日(01.05.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-101300 2013 年 5 月 13 日(13.05.2013) JP
特願 2013-105964 2013 年 5 月 20 日(20.05.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 西村 俊雄 (NISHIMURA, Toshio); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 長谷 貴志 (HASE, Takashi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 竹山 佳介 (TAKEYAMA, Keisuke); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 開田 弘明 (KAIDA, Hiroaki); 〒6178555 京都府長岡京市東

神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 梅田 圭一 (UMEDA, Keiichi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 岸 武彦 (KISHI, Takehiko); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 山田 宏 (YAMADA, Hiroshi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 宮▲崎▼・目次特許事務所 (MIYAZAKI & METSUGI); 〒5400028 大阪府大阪市中央区常盤町 1 丁目 3 番 8 号 中央大通 F N ビル Osaka (JP).

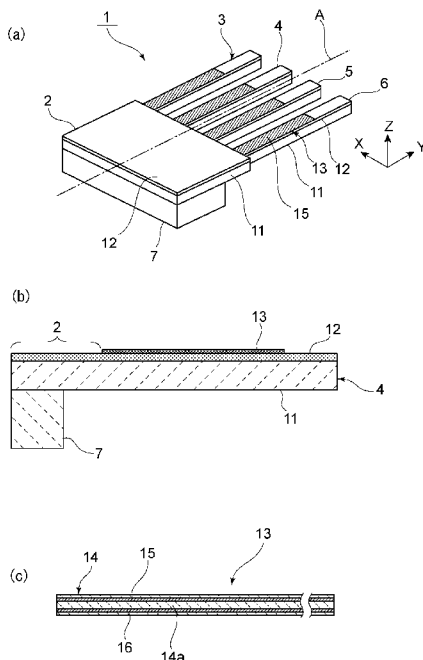
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: VIBRATING DEVICE

(54) 発明の名称: 振動装置

図1



(57) Abstract: Provided is a vibrating device which increases capacitance without causing k^2Q reduction and can decrease resonant resistance. A vibrating device (1) in which $2N$ (N is an integer of 2 or higher) tuning fork tines (3 to 6) extending in the Y -direction are arranged in parallel in the X -direction, and in the region in which the $2N$ tuning fork tines (3 to 6) are provided, the bending vibration phase of N tuning fork tines (3, 4) on one side is symmetrical to the bending vibration phase of N tuning fork tines (6, 5) on the other side relative to a virtual line (A) passing through the center of the X -direction and extending in the Y -direction.

(57) 要約: k^2Q の低下を招くことなく静電容量を大きくし、共振抵抗を低め得る振動装置を提供する。 Y 方向に延びる $2N$ 本 (N は 2 以上の整数) の音叉腕 3 ~ 6 が、 X 方向に並列されており、 $2N$ 本の音叉腕 3 ~ 6 が設けられている領域において、 X 方向中心を通り、かつ Y 方向に延びる仮想線 A に対して、一方側の N 本の音叉腕 3, 4 の屈曲振動の位相が、他方側の N 本の音叉腕 6, 5 の屈曲振動の位相と対称とされている、振動装置 1。



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：振動装置

技術分野

[0001] 本発明は、振動部分として複数の音叉腕を有する振動装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、複数の音叉腕を有する振動装置が種々提案されている。例えば、下記の特許文献1では、3本の音叉腕を有する振動装置が開示されている。特許文献1では中央の音叉腕の幅が、両側の音叉腕の幅の2倍とされている。

[0003] 他方、下記の特許文献2にも、3本の音叉腕を有する振動装置が開示されている。特許文献2では、中央の音叉腕と外側の音叉腕とを逆位相で振動させるための電極接続方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：WO2008/043727

特許文献2：特開2009-5022号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 複数の音叉腕を有する振動装置において、安定に発振させるには、共振抵抗が小さいことが求められる。従って、 k^2Q を大きくすること、及び静電容量を大きくすることが必要である。ところが、音叉腕の幅を大きくして静電容量を大きくした場合には、 k^2Q が低下するという問題があった。

[0006] 本発明の目的は、 k^2Q を低下させることなく静電容量を大きくし、それによって共振抵抗を低め得る、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] 本発明に係る振動装置は、基部と、前記基部の一端が連ねられており、Y方向に延びる2N本の音叉腕とを備える。本発明では、Nは2以上の整数である。

- [0008] 本発明では、 $2N$ 本の音叉腕が、 Y 方向と直交する X 方向に並列されている。各音叉腕は、 X 方向及び Y 方向と直交する Z 方向に屈曲振動するように構成されている。
- [0009] 本発明では、前記 $2N$ 本の音叉腕が設けられている領域において前記 X 方向中心を通り、かつ Y 方向に延びる仮想線に対して、一方側の N 本の音叉腕の屈曲振動の位相が、他方側の N 本の音叉腕の屈曲振動の位相と対称とされている。
- [0010] 本発明に係る振動装置のある特定の局面では、前記 N が 2 であり、 X 方向において内側に位置している 2 本の音叉腕と、外側に位置している 2 本の音叉腕とが逆位相で屈曲振動する。
- [0011] 本発明に係る振動装置の他の特定の局面では、前記音叉腕が、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。
- [0012] 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 Si 層が、 n 型ドーピング材によりドーピングされている。上記ドーピング材としては、好ましくはリン(P)が用いられる。
- [0013] 本発明に係る振動装置の別の特定の局面では、前記各音叉腕の前記基部に接続されている側の端部とは反対側の端部の幅が、基部と接続されている側の端部の幅よりも大きい。
- [0014] 本発明に係る振動装置のさらに他の特定の局面では、前記各音叉腕の前記基部と接続されている側の端部とは反対側の端部に、残りの部分よりも幅の大きい質量付加部が設けられている。

発明の効果

- [0015] 本発明に係る振動装置によれば、 $2N$ 本の音叉腕が設けられており、上記 X 方向中心を通る仮想線に対して一方側の N 本の音叉腕の屈曲振動の位相が他方側の N 本の屈曲振動の位相と対称とされているため、 k^2Q を低下させることなく、静電容量を高めることができる。それによって、共振抵抗を低めることが可能となる。従って、良好な振動特性を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]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、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3]図3 (a) は、S i 層上面に酸化ケイ素層が積層されている構造における各層の厚みを説明するための横断面図であり、図3 (b) は、S i 層下面に酸化ケイ素層が積層されている構造における各層の厚みを説明するための横断面図である。

[図4]図4は、S i 層の両面に酸化ケイ素層が積層されている構造における各層の厚みを説明するための横断面図である。

[図5]図5は、音叉腕の幅Wと厚みの比である W/T と、 k^2Q との関係を示す図である。

[図6]図6は、音叉腕の幅Wと厚みの比である W/T と、共振抵抗との関係を示す図である。

[図7]図7は、酸化ケイ素層が設けられていない場合のTCFをX、厚み比 $T_2/(T_1 + T_2)$ をyとしたときに、周波数温度係数TCFが0となる関係を示す図である。

[図8]図8は、S i 層におけるPのドーパ密度と、S i 層の比抵抗との関係を示す図である。

[図9]図9は、本発明の第1の実施形態の変形例に係る振動装置の模式的平面図である。

[図10]図10は、本発明の第1の実施形態の変形例に係る振動装置において、両側の音叉腕と該両側の音叉腕に隣り合い、中央寄りに位置している音叉腕との間隔 W_{go} に対する、中央寄りに位置している音叉腕同士の間隔 W_{gi} の比率 W_{gi}/W_{go} と、 k^2Q との関係を示す図である。

[図11]図11は、本発明の第2の実施形態に係る振動装置の模式的平面図である。

[図12]図12は、本発明の第2の実施形態に係る振動装置の中央寄りに位置している音叉腕における、音叉腕の幅 W_i に対する質量付加部の幅 W_{wi} の比率 W_{wi}/W_i と、 k^2Q との関係を示す図である。

[図13]図13は、本発明の第2の実施形態に係る振動装置の中央寄りに位置している音叉腕における、音叉腕の幅 W_i に対する質量付加部の幅 W_{wi} の比率 W_{wi}/W_i と、共振抵抗 R_1 との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0017] 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。

[0018] 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り、(b)は該振動装置の正面断面図である。また、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。

[0019] 振動装置1は、基部2を有する。基部2には、4本の音叉腕3～6の一端が連結されている。

[0020] 基部2は矩形板状の形状を有する。この基部2の1つの側面に、長さ方向を有する4本の音叉腕3～6の一端が連ねられている。

[0021] 基部2の下面には、支持部7が固定されている。支持部7は、振動装置1を外部に固定するための部分である。

[0022] いま、図1(a)に示すように、音叉腕3～6の延びる方向をY方向とする。また、基部2の両主面に並行な面内においてY方向と直交する方向をX方向とする。基部2の音叉腕3～6の一端が連結されている側面はX方向に延びている。従って、4本の音叉腕3～6は、X方向に並列されている。

[0023] Z方向は、X方向及びY方向で規定される平面に直交する方向である。本実施形態では、4本の音叉腕3～6が、後述するように、Z方向において屈曲振動する。

[0024] 図1(b)に示すように、支持部7は、基部2のSi層11と一体に形成されている。支持部7は、Si、 Al_2O_3 などの半導体材料や絶縁性材料により構成することができる。

- [0025] なお、支持部 7 は、接合材により基部 2 に接合されていてもよい。
- [0026] 基部 2 は、S i 層 1 1 上に酸化ケイ素層 1 2 が積層された構造を有する。音叉腕 4 も、S i 層 1 1 上に酸化ケイ素層 1 2 が積層されている構造を有する。すなわち、音叉腕 4 における S i 層 1 1 及び酸化ケイ素層 1 2 は、基部 2 の S i 層 1 1 及び酸化ケイ素層 1 2 と一体に形成されている。
- [0027] 音叉腕 3, 5, 6 も音叉腕 4 と同様に構成されている。
- [0028] S i 層 1 1 は、縮退半導体からなる。本実施形態では、S i 層は n 型 S i 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、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上である。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、容易に縮退半導体を製造することができる。
- [0029] 本実施形態では、S i 層はリンが $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度でドーピングされた n 型 S i 半導体からなる。また、図 8 に示すように、リン (P) のドーピング密度が 5×10^{19} 個 / cm^3 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。
- [0030] 酸化ケイ素層 1 2 は、本実施形態では、S i O₂ からなる。本実施形態では、上記 S i 層 1 1 の上面に S i O₂ からなる酸化ケイ素層 1 2 が積層されている。
- [0031] なお、基部 2 においては、酸化ケイ素層 1 2 は設けられずともよいが、本実施形態のように酸化ケイ素層 1 2 を設けることが望ましい。それによって、製造工程の簡略化を図ることができる。
- [0032] 酸化ケイ素層 1 2 は、S i O₂ に限らず、S i a O 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。
- [0033] 図 1 (c) に示すように、励振部 1 3 は、圧電薄膜 1 4 と、第 1 の電極 1 5 と、第 2 の電極 1 6 とを有する。第 1 の電極 1 5 と第 2 の電極 1 6 とは、圧電薄膜 1 4 の一部の圧電薄膜層 1 4 a を挟むように設けられている。もっとも、第 1、第 2 の電極 1 5、1 6 は圧電薄膜 1 4 中に埋設されている必要

は必ずしもない。例えば、圧電薄膜 14 の上面及び下面に、第 1、第 2 の電極 15、16 を形成してもよい。

[0034] 本実施形態のように、圧電薄膜 14 内に第 1、第 2 の電極 15、16 を配置することにより、耐湿性などを高めることができる。また、圧電薄膜層 14 a を挟むように第 1 の電極 15 と第 2 の電極 16 を設けた構造では、その製造が容易である。加えて、第 1 の電極 15 と第 2 の電極 16 とによって作られる電界の方向を一方向にできる。従って、励振効率が高い励振部を構成することができる。

[0035] 上記圧電薄膜 14 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 A l N が好適に用いられる。

[0036] もっとも、Z n O、S c 置換 A l N、P Z T、K N N などを用いてもよい。S c 置換 A l N 膜 (S c A l N) は、S c と A l の原子濃度を 100 a t % とした場合、S c 濃度が 0.5 a t % から 50 a t % 程度であることが望ましい。

[0037] S c A l N は、A l N よりも電気機械結合係数 k^2 が大きく、P Z T や K N N よりも機械的な Q_m が大きい。従って、S c A l N 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 T C X O (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。

[0038] 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。

- [0039] 第1, 第2の電極15, 16は、Mo、Ru、Pt、Ti、Cr、Al、Cu、Ag、Au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。
- [0040] 圧電薄膜14は、厚み方向に分極している。従って、第1, 第2の電極15, 16間に交番電界を印加することにより、励振部13が圧電効果により励振される。その結果、音叉腕3～6は、Z方向に屈曲振動する。
- [0041] 本実施形態では、4本の音叉腕3～6において、中央に位置している2本の音叉腕4, 5と、両側に位置している3, 6とが逆位相でZ方向に屈曲振動する。このような構成は、音叉腕3～6において、圧電薄膜層14aの分極方法を厚み方向において同一方向とし、音叉腕4, 5を駆動するための交番電界の位相と、音叉腕3, 6を駆動するための交番電界の位相を逆とすればよい。あるいは、音叉腕4, 5における圧電薄膜層14aの分極方向と、音叉腕3, 6の圧電薄膜層14aの分極方向を逆とし、音叉腕3～6に、同位相の交番電界を印加すれば良い。
- [0042] 上記のように、本実施形態の振動装置1では、X方向において、中央に位置している音叉腕4, 5と、両側に位置している音叉腕3, 6とが逆位相で振動する。すなわち、一方の位相で振動する音叉腕3, 6の数と、他方の位相で振動する音叉腕4, 5の数が等しい。そのため、音叉腕3～6において、音叉腕の幅を大きくした場合であっても、 k^2Q の低下をさほど招くことなく、静電容量を高め得る。それによって、共振抵抗を十分に小さくすることができる。これを、図5及び図6を参照して説明する。
- [0043] 以下の要領で、上記実施形態の振動装置と、音叉腕が3本である第1及び第2の比較例の振動装置を作製した。
- [0044] 実施形態の振動装置：厚み $10\mu\text{m}$ のSi層11上に厚み $0.5\mu\text{m}$ の酸化ケイ素層12を形成した。基部2は、この積層構造を有し、音叉腕3～6においては、上面に $0.8\mu\text{m}$ の厚みのAlNからなる圧電薄膜14と、該圧電薄膜14の両面にそれぞれ $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ の厚みのMoからなる電極を形成してなる励振部13を設けた。

- [0045] 音叉腕3～6の長さは、 $650\mu\text{m}$ 、幅は $20\mu\text{m}$ とした。厚みは上記積層構造を有するため、約 $11.5\mu\text{m}$ とした。
- [0046] 比較例1：音叉腕の数を3本としたことを除いては、上記実施形態と同様とした。
- [0047] 比較例2：比較例1と同様に3本の音叉腕を設けた。もっとも、中央の音叉腕の幅を両側の音叉腕の幅の2倍とした。
- [0048] 上記のようにして、3種類の振動装置を作製した。
- [0049] 図5は、上記実施形態及び比較例1, 2の振動装置における k^2Q と比 W/T との関係を示す図である。図6は、上記実施形態及び比較例1, 2の振動装置における共振抵抗 R_1 と、比 W/T との関係を示す図である。なお、 W は音叉腕の幅を、 T は音叉腕の厚みを示す。
- [0050] 図5から明らかなように、上記実施形態及び比較例2は、励振電極面積が大きいので、静電容量を大きくできる。このため、図6から明らかなように、共振抵抗の値を小さくできる。
- [0051] また、上記実施形態及び比較例2は、比較例1に比べて、 k^2Q を飛躍的に高めることができることがわかる。これは、Z方向への屈曲振動の駆動力が大きいこと、励振効率が向上したためである。また、上記実施形態は、比較例2に対して全体的に k^2Q が大きい。これは、音叉腕の数を4本としたことで閉じ込め効果が向上したためである。その結果、上記実施形態では、 W/T が $0.5 \sim 4.8$ の範囲で k^2Q を飛躍的に高めることができる。
- [0052] 図6から明らかなように、共振抵抗 $60\text{k}\Omega$ を実現する場合、比較例1では、 $W/T = 3.0$ 、比較例2では $W/T = 2.0$ 、実施形態では $W/T = 2.0$ とすればよいことがわかる。この場合、図5から明らかなように、各振動装置における k^2Q は、比較例1では、 22.2 、比較例2では 24.9 、実施形態では 25.2 となることがわかる。
- [0053] 従って、上記実施形態によれば、3本の音叉腕を有する比較例1, 2に比べ、 k^2Q をさほど低下させることなく、共振抵抗を効果的に低め得ることがわかる。よって良好な振動特性が得られる。

- [0054] ここでは共振抵抗の設計値が $60\text{ k}\Omega$ の場合で調べた結果であるが、他の設計値で行っても同様の結果が得られる。
- [0055] 例えば、共振抵抗 $40\text{ k}\Omega$ を実現する場合、比較例 1 では、 $W/T = 4.5$ 、比較例 2 では $W/T = 3.0$ 、実施例では $W/T = 3.0$ とすればよく、この場合の各振動装置における k^2Q は、比較例 1 では 21.6 、比較例 2 では 23.9 、実施例では 24.5 となる。
- [0056] また、本実施形態の振動装置 1 では、酸化ケイ素層 12 の厚みを T_2 、 Si 層 11 の厚みを T_1 としたとき、酸化ケイ素層 12 の厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を特定の範囲として、周波数温度係数 TCF の絶対値を効果的に低め得る。これを、図 7 を参照して説明する。図 7 の横軸は、酸化ケイ素層 12 が設けられていない振動装置における TCF である。ドーピング濃度に応じて Si 層の TCF は特定の値となる。この TCF を x とする。他方、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ を y とする。
- [0057] 図 7 においてプロットされている多くの点は、 Si 層 11 上に酸化ケイ素層 12 が設けられている上記実施形態において、周波数温度係数 TCF が 0 である点である。曲線 B は、これらの点の座標をもとに近似により得られたものであり、 $y = -0.0002x^2 - 0.0136x + 0.0014$ で表わされる。この曲線上に位置すれば、 TCF を 0 とし得ることがわかる。
- [0058] 本願発明者らの実験によれば、厚み比 $T_2 / (T_1 + T_2)$ は、 $(-0.0002x^2 - 0.0136x + 0.0014) \pm 0.005$ の範囲内とすれば、周波数温度係数 TCF を $0 \pm 5\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の範囲内とし得ることが確かめられている。従って、好ましくは、酸化ケイ素層の厚み比 $T_2 / T_1 + T_2$ をこの範囲内とすることが望ましい。
- [0059] 第 1 の実施形態では、4 本の音叉腕 3～6 が設けられており、その場合には、音叉腕の幅を大きくしたとしても、 k^2Q の低下をさほど招くことなく共振抵抗を効果的に抑制することができる。このような効果は、音叉腕の数が 4 本に限らず $2N$ 本 (N は 2 以上の整数) であればよい。すなわち、図 1 (a) に示す仮想線 A の一方側に、 N 本、他方側に N 本の音叉腕が配置されて

おり、一方側のN本の音叉腕と、他方側のN本の音叉腕の屈曲振動の位相が対称とされておればよい。なお、仮想線Aは、図1(a)のX方向において、音叉腕3～6が設けられている領域の中心を通り、かつY方向に延びる仮想線である。

[0060] また、第1の実施形態においては、4本の音叉腕3～6のうち特定の音叉腕同士の間隔を制御することによって、効果的に k^2Q を高めることができる。これを、図9及び図10を参照して具体的に説明する。

[0061] 図9は、本発明の第1の実施形態の変形例に係る振動装置の模式的平面図である。図9に示すように、両側に位置している音叉腕3, 6と、該両側に位置している音叉腕3, 6に隣り合い、かつ中央寄りに位置している音叉腕4, 5との間隔をそれぞれ Wg_o とした。また、中央寄りに位置している音叉腕4, 5同士の間隔を Wg_i とした。

[0062] 図10は、上記 Wg_i の Wg_o に対する比率 Wg_i/Wg_o と、 k^2Q との関係を示すグラフである。なお、図10において、比率 Wg_i/Wg_o と、 k^2Q との関係を求めるにあたっては、以下の要領で振動装置を作製した。

[0063] 厚み $10\mu m$ のSi層11上に厚み $1.5\mu m$ の酸化ケイ素層12を形成した。基部2は、この積層構造を有し、音叉腕3～6においては、上面に $0.8\mu m$ の厚みのAlNからなる圧電薄膜14と、該圧電薄膜14の両面にそれぞれ $0.1\mu m$ 、 $0.1\mu m$ の厚みのMoからなる電極を形成してなる励振部13を設けた。

[0064] 音叉腕3～6の長さは $650\mu m$ とした。また、両側に位置している音叉腕3, 6の幅 W_o 及び中央寄りに位置している音叉腕4, 5の幅 W_i をいずれも $30\mu m$ とした。すなわち、音叉腕3～6の幅 W は、いずれも $30\mu m$ とした。厚みは上記積層構造を有するため、約 $12.5\mu m$ とした。

[0065] 図10から、 Wg_o/W の値に関わらず、 $Wg_i/Wg_o \geq 0.5$ の領域において、 k^2Q が高められていることがわかる。特に、 $Wg_i/Wg_o \geq 1.0$ の領域においては、 k^2Q が安定的に高められていることがわかる。

- [0066] このように、第1の実施形態の変形例においては、 $W_{gi}/W_{go} \geq 0.5$ とすることで k^2Q を高めることができ、特に $W_{gi}/W_{go} \geq 1.0$ とすることで k^2Q を安定的に高めることができる。
- [0067] 図2は第2の実施形態の振動装置を示す斜視図である。第2の実施形態の振動装置21は、音叉腕3～6の先端に質量付加部22がそれぞれ設けられていることを除いては第1の実施形態と同様である。従って、同一の部分については同一の参照番号を付与することにより、第1の実施形態の説明を援用することとする。質量付加部22は、本実施形態では、Si層11及び酸化ケイ素層12の積層構造の幅を、残りの音叉腕部分の幅よりも大きくすることにより構成されている。それによって、音叉腕の残りの部分のよりも大きな質量を付加することができる。
- [0068] このように、音叉腕3～6の先端に質量付加部22を設けることにより、共振周波数をより一層低めることができる。従って、振動装置の全体の小型化を図ることができる。
- [0069] なお、質量付加部22に代えて、音叉腕3～6の先端側部分、すなわち、基部2と連結されている側の端部と反対側の端部の幅を、基部2に連結されている側の端部の幅よりも大きくするだけでもよい。その場合にも共振周波数を低めることが可能である。
- [0070] また、本実施形態においては、音叉腕3～6の幅に対する、質量付加部22の幅の比率を特定の範囲に制御することにより、共振抵抗 R_1 をより一層低く保ちながら k^2Q を高めることができ、発振の安定性を効果的に高めることができる。これを、図11～図13を参照してより具体的に説明する。
- [0071] 図11は、本発明の第2の実施形態に係る振動装置の模式的平面図である。図11に示すように、両側に位置している音叉腕3，6の幅を W_o とし、中央寄りに位置している音叉腕4，5の幅を W_i とした。また、両側に位置している音叉腕3，6の先端の質量付加部22の幅を W_{wo} とし、中央寄りに位置している音叉腕4，5の先端の質量付加部22の幅を W_{wi} とした。
- [0072] 図12は、 W_{wi} の W_i に対する比率 W_{wi}/W_i と、 k^2Q との関係を示

すグラフであり、図13は、 W_{wi}/W_i と、共振抵抗 R_1 との関係を示すグラフである。なお、図12及び図13において、 W_{wi}/W_i と、 k^2Q 又は共振抵抗 R_1 との関係を求めるにあたっては、以下の要領で振動装置を作製した。

- [0073] 厚み $10\mu\text{m}$ のSi層11上に厚み $1.5\mu\text{m}$ の酸化ケイ素層12を形成した。基部2は、この積層構造を有し、音叉腕3～6においては、上面に $0.8\mu\text{m}$ の厚みのAlNからなる圧電薄膜14と、該圧電薄膜14の両面にそれぞれ $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ の厚みのMoからなる電極を形成してなる励振部13を設けた。また、音叉腕3～6の先端に長さ $195\mu\text{m}$ の質量付加部22を設けた。
- [0074] 図12及び図13においては、 $W_i=W_o=0.01\text{mm}$ 又は $W_i=W_o=0.02\text{mm}$ としたときの W_{wi}/W_i と、 k^2Q 又は共振抵抗 R_1 との関係を求めた。
- [0075] 図12及び図13に示すように、 $1\leq W_{wi}/W_i\leq 2$ の範囲においては、より一層効果的に共振抵抗 R_1 が低められるとともに、 k^2Q が高められていることがわかる。
- [0076] このように、本実施形態では、 W_{wi} の W_i に対する比率 W_{wi}/W_i を、 $1\leq W_{wi}/W_i\leq 2$ の範囲内とすることで、共振抵抗 R_1 をより一層低く保ちながら k^2Q を高めることができ、発振の安定性をより一層効果的に高めることができる。
- [0077] なお、上記実施形態では、Si層11の上面に酸化ケイ素層12が積層されていた。この場合の厚み比 $T_2/(T_1+T_2)$ は、図3(a)に示すように、 T_2 の T_1 と T_2 との合計に対する割合となる。
- [0078] もっとも、本発明においては、図3(a)の構造に限らない。Si層11の下面に酸化ケイ素層12が積層されていてもよい。この場合においても厚み比 $T_2/(T_1+T_2)$ は、図3(b)に示すように、 T_2 の T_1 と T_2 との合計に対する割合となる。
- [0079] さらに、本発明においては、Si層11及び酸化ケイ素層12は少なくと

も一方が複数層積層されていてもよい。その場合には、 T_1 及び T_2 は、複数の層の厚みの総和とすればよい。例えば、図 4 に示すように、 S_i 層 1 1 の上面に酸化ケイ素層 1 2 a が積層されており、下面に酸化ケイ素層 1 2 b が積層されていてもよい。その場合には、 $T_2 = T_{2a} + T_{2b}$ とすればよい。すなわち、複数の酸化ケイ素層の厚みの総和を T_2 とすればよい。同様に、複数の S_i 層が積層されている場合には、複数の S_i 層の厚みの総和を T_1 とすればよい。

符号の説明

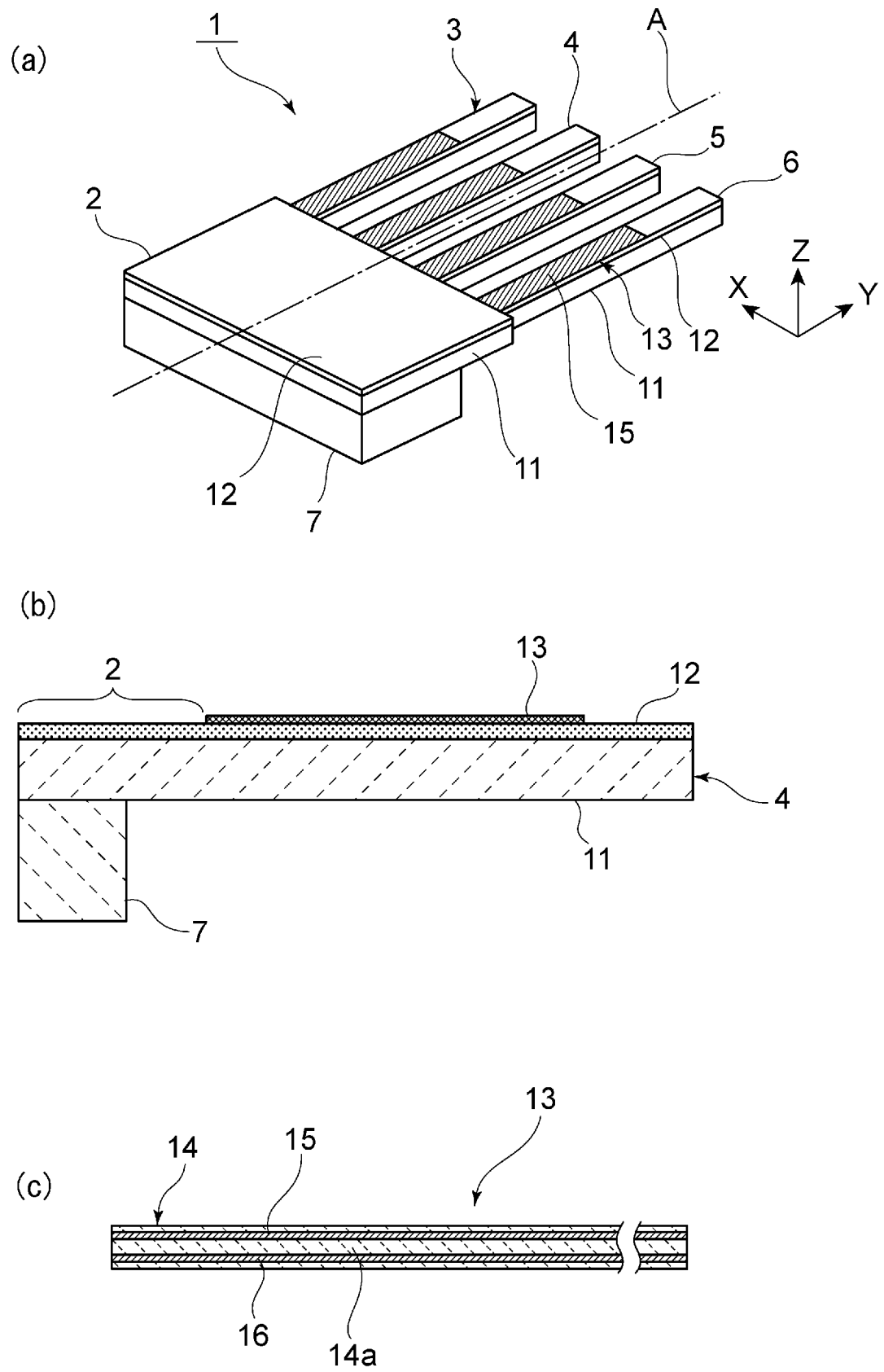
- [0080] 1…振動装置
2…基部
3～6…音叉腕
7…支持部
1 1… S_i 層
1 2, 1 2 a, 1 2 b…酸化ケイ素層
1 3…励振部
1 4…圧電薄膜
1 4 a…圧電薄膜層
1 5…第 1 の電極
1 6…第 2 の電極
2 1…振動装置
2 2…質量付加部

請求の範囲

- [請求項1] 基部と、
- 前記基部の一端が連ねられており、Y方向に延びる2N本の音叉腕とを備え、Nが2以上の整数であり、
- 2N本の前記音叉腕が、前記Y方向と直交するX方向に並列されており、各音叉腕が前記X方向及び前記Y方向と直交するZ方向に屈曲振動するように構成されており、
- 前記2N本の音叉腕が設けられている領域において前記X方向中心を通り、かつ前記Y方向に延びる仮想線に対して一方側のN本の音叉腕の屈曲振動の位相が、他方側のN本の音叉腕の屈曲振動の位相と対称とされている、振動装置。
- [請求項2] 前記Nが2であり、前記X方向において内側に位置している2本の音叉腕と、外側に位置している2本の音叉腕とが逆位相で屈曲振動する、請求項1に記載の振動装置。
- [請求項3] 前記音叉腕が、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、請求項1または2に記載の振動装置。
- [請求項4] 前記Si層が、n型ドーピング材によりドーピングされている、請求項3に記載の振動装置。
- [請求項5] 前記ドーピング材がリン(P)である、請求項4に記載の振動装置。
- [請求項6] 前記各音叉腕の前記基部に接続されている側の端部とは反対側の端部の幅が、前記基部と接続されている側の端部の幅よりも大きい、請求項1～5に記載のいずれか一項に記載の振動装置。
- [請求項7] 前記各音叉腕の前記基部と接続されている側の端部とは反対側の端部に、残りの部分よりも幅の大きい質量付加部が設けられている、請求項6に記載の振動装置。

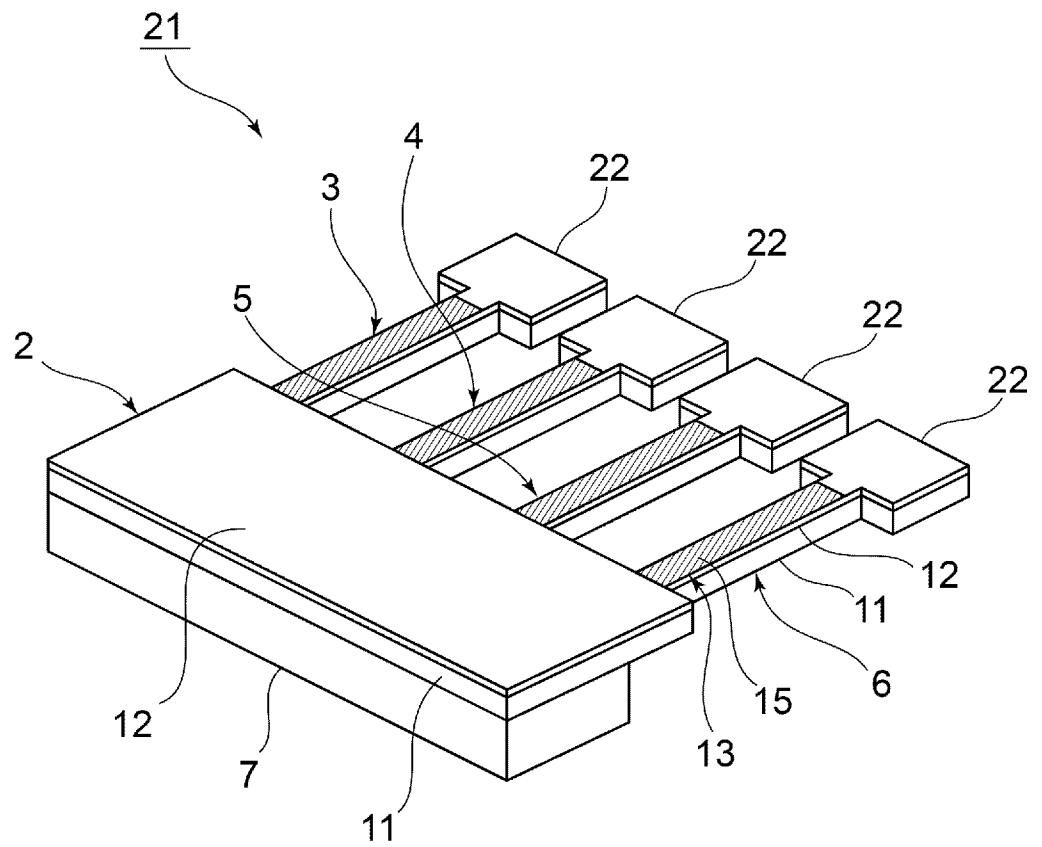
[図1]

図1



[図2]

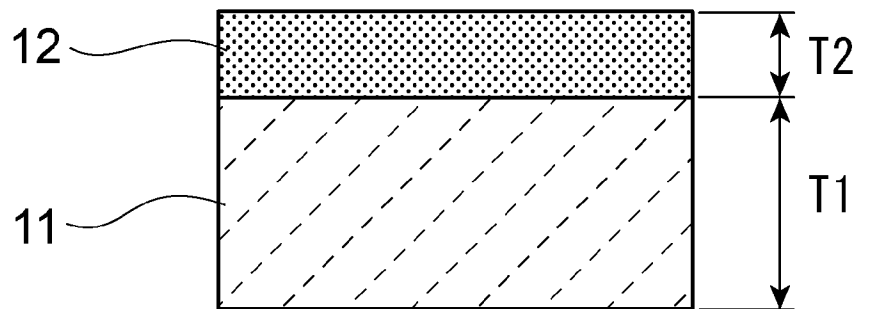
図2



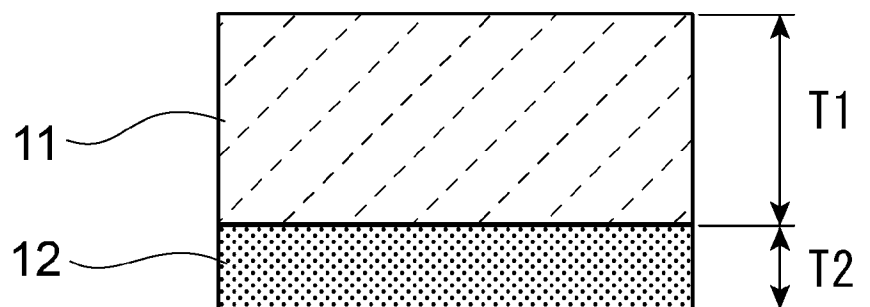
[図3]

図3

(a)

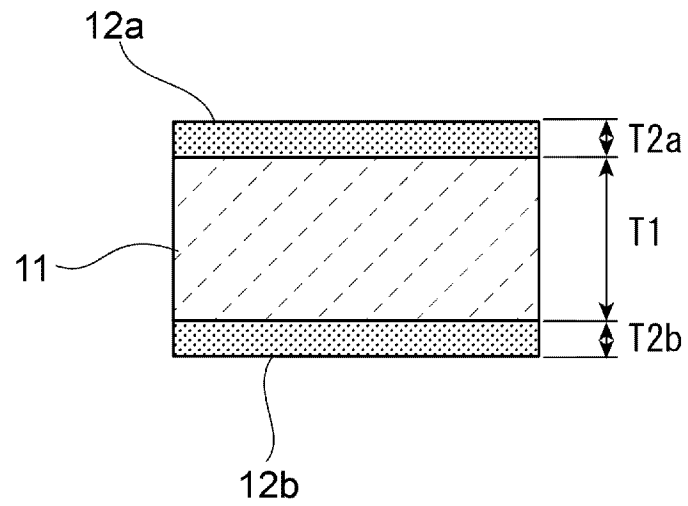


(b)



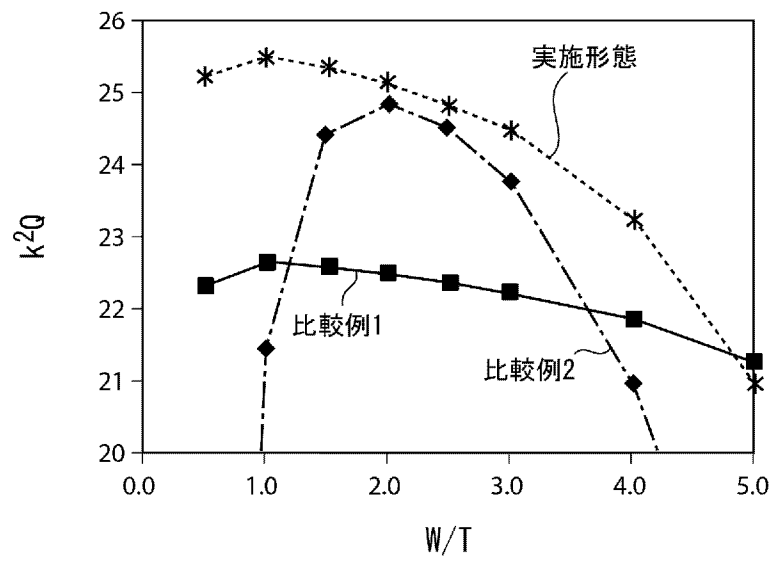
[図4]

図4



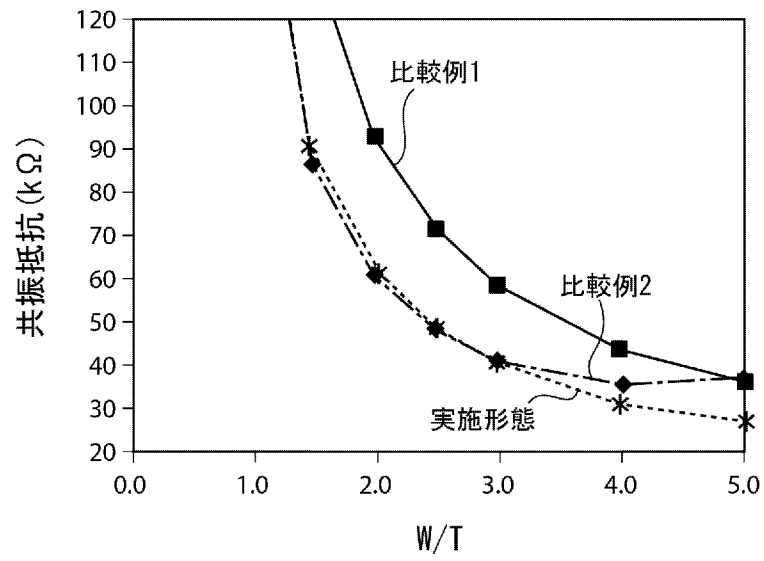
[図5]

図5



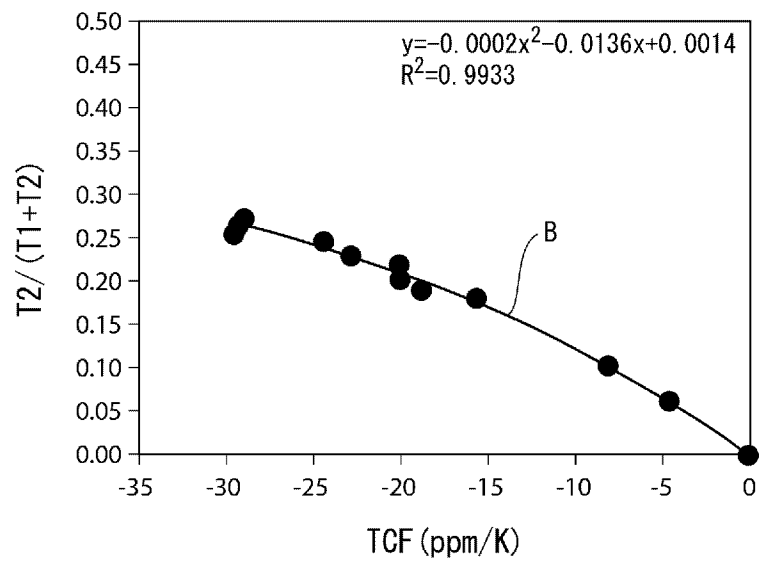
[図6]

図6



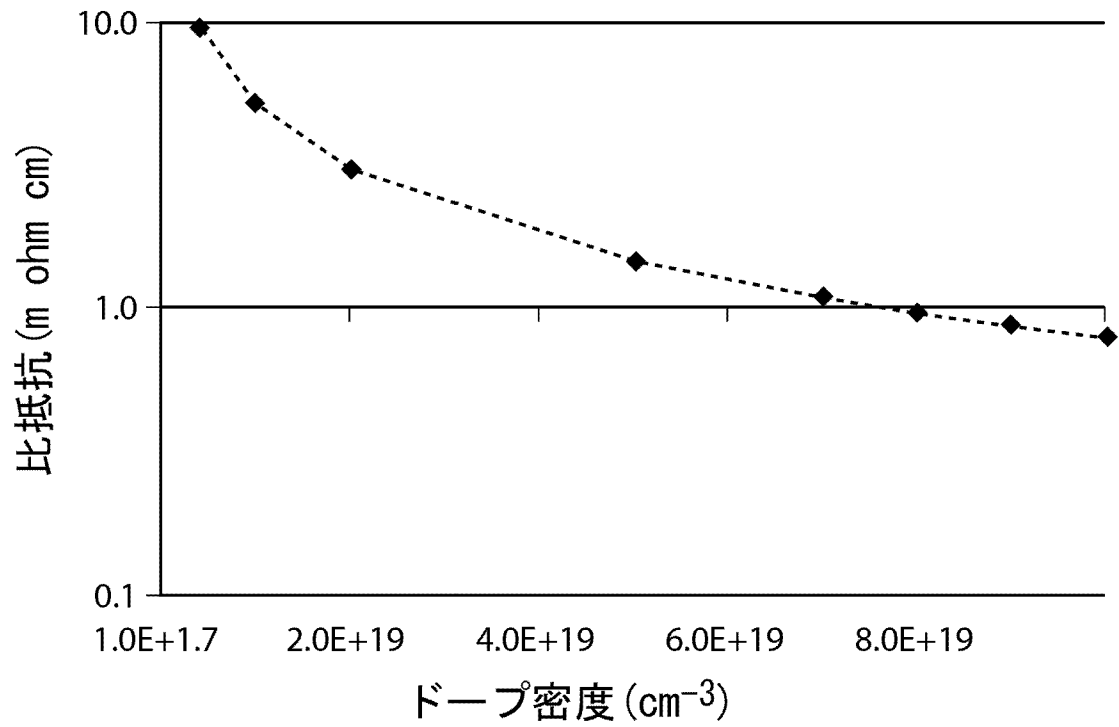
[図7]

図7



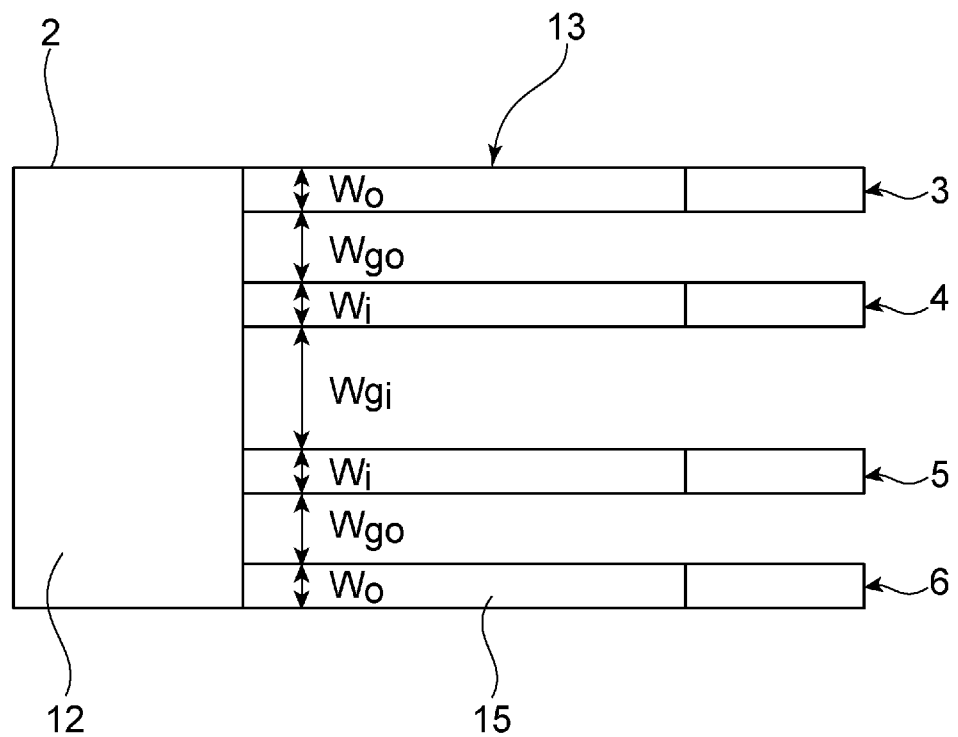
[図8]

図8



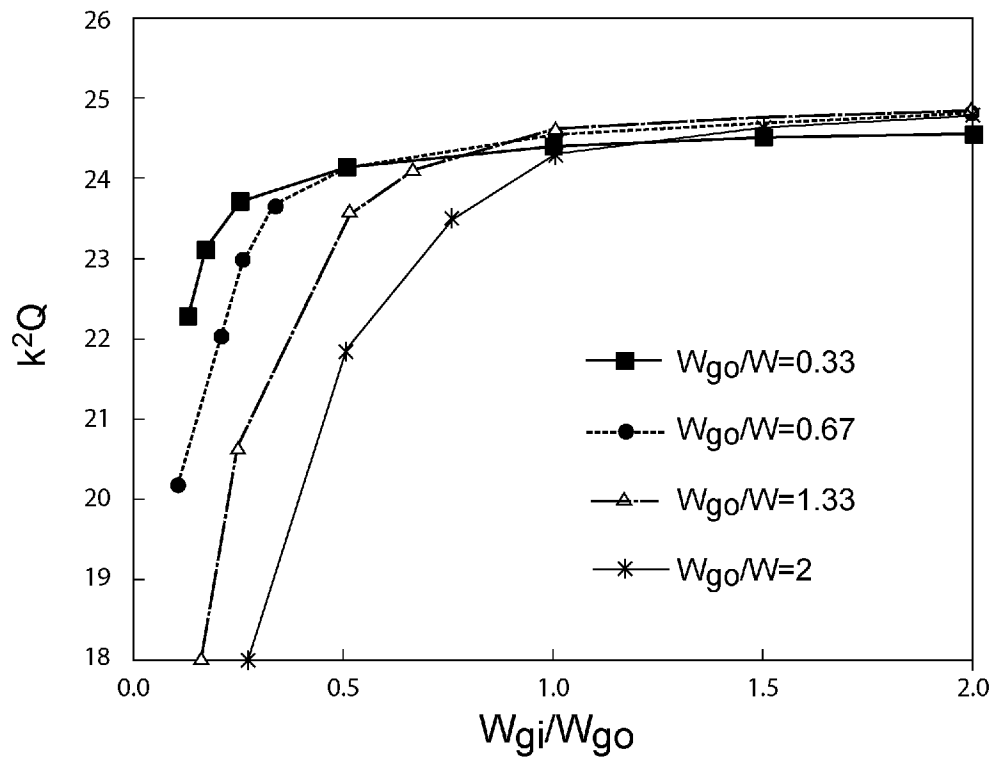
[図9]

図9



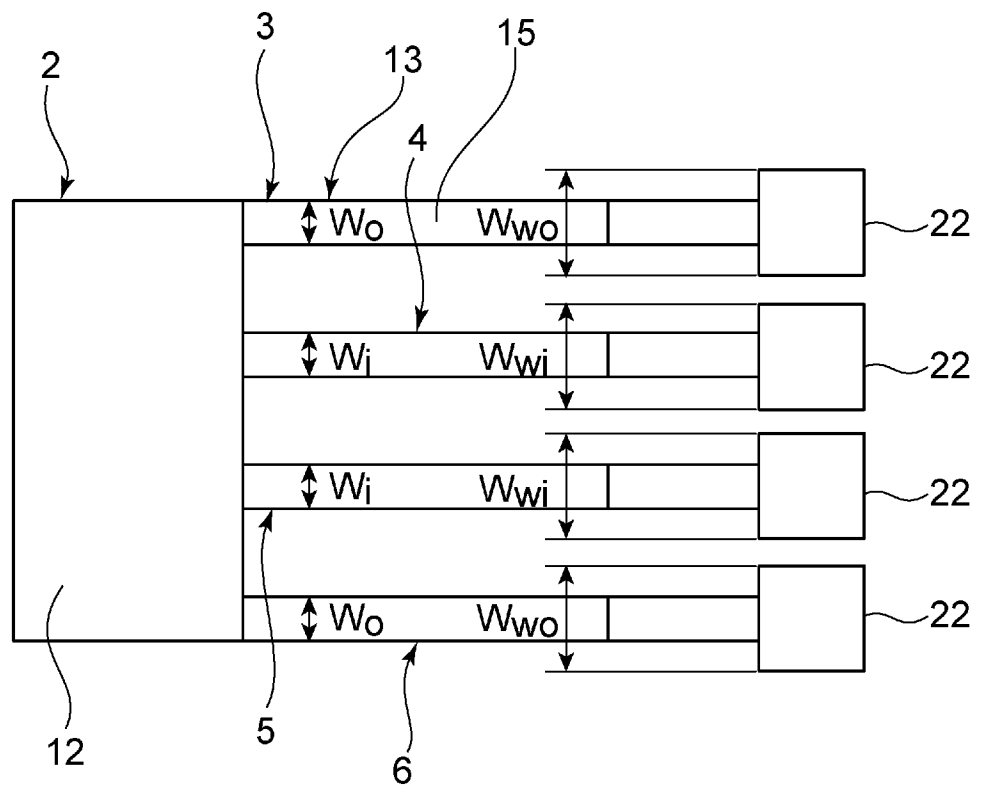
[図10]

図10



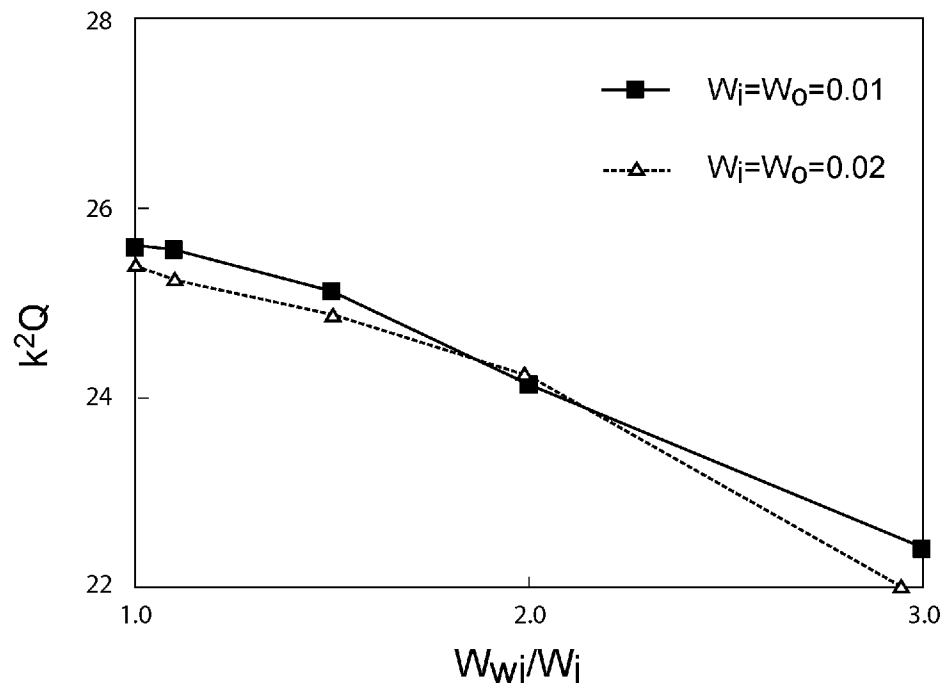
[図11]

図11



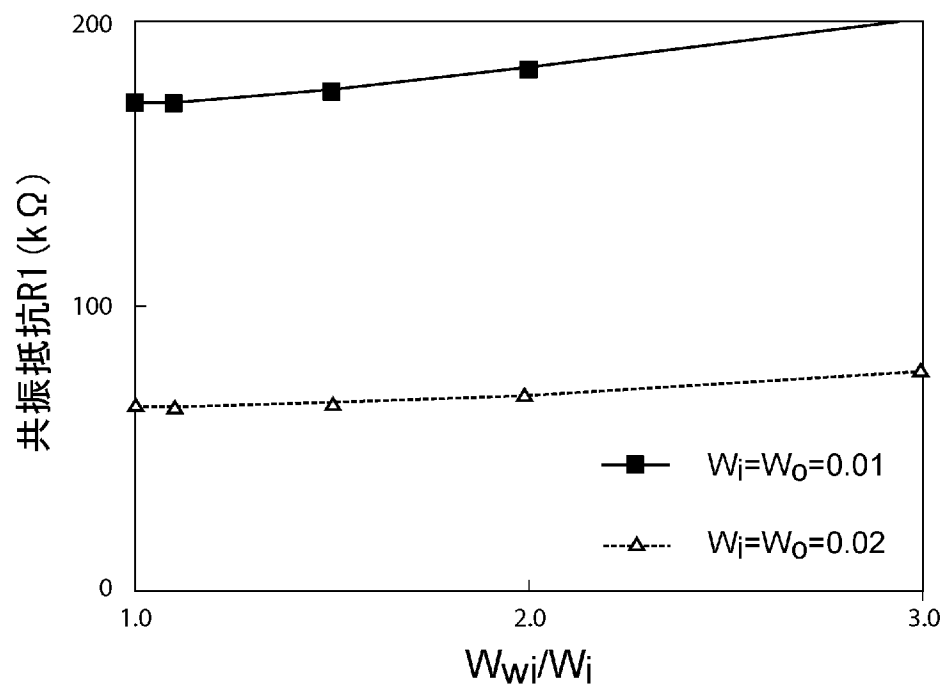
[図12]

図12



[図13]

図13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/062080

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H9/24(2006.01)i, H03H9/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03H9/24, H03H9/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2004-274589 A (River Eletec Corp.), 30 September 2004 (30.09.2004), paragraphs [0020] to [0021]; fig. 8 to 11 (Family: none)	1, 2 3-7
Y	JP 2013-062643 A (Seiko Epson Corp.), 04 April 2013 (04.04.2013), paragraphs [0026] to [0051]; fig. 1 to 3 & US 2012/0194283 A1 & CN 102629861 A	3-7
Y	JP 2012-105044 A (Seiko Epson Corp.), 31 May 2012 (31.05.2012), paragraph [0039]; fig. 2 (Family: none)	6, 7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23 July, 2014 (23.07.14)

Date of mailing of the international search report
05 August, 2014 (05.08.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H03H9/24(2006.01)i, H03H9/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H03H9/24, H03H9/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2004-274589 A（リバーエレテック株式会社）2004.09.30, 段落 【0020】－【0021】、図8－図11（ファミリーなし）	1, 2 3-7
Y	JP 2013-062643 A（セイコーエプソン株式会社）2013.04.04, 段落 【0026】－【0051】、図1－図3 & US 2012/0194283 A1 & CN 102629861 A	3-7
Y	JP 2012-105044 A（セイコーエプソン株式会社）2012.05.31, 段落 【0039】、図2（ファミリーなし）	6, 7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 3 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 5 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

畑中 博幸

5 W

9 1 8 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 7 6