

(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
2010 年 9 月 10 日(10.09.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/101026 A1

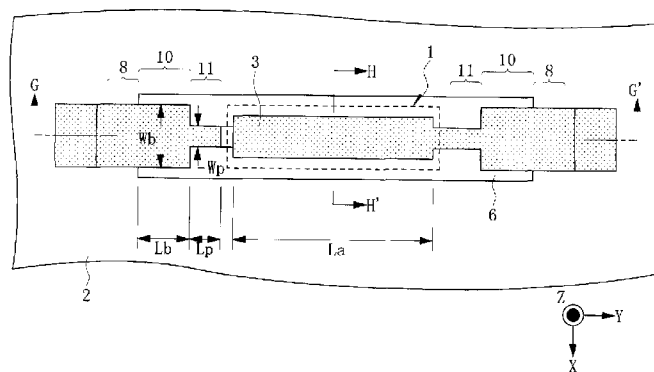
- (51) 国際特許分類:
H03H 9/17 (2006.01) H01L 41/24 (2006.01)
H01L 41/09 (2006.01) H03H 9/54 (2006.01)
H01L 41/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/052447
- (22) 国際出願日: 2010 年 2 月 18 日(18.02.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-053521 2009 年 3 月 6 日(06.03.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 磯部 敦 (ISOBE, Atsushi) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 280 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP). 浅井 健吾 (ASAI, Kengo) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 280 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 筒井 大和 (TSUTSUI, Yamato); 〒1600022 東京都新宿区新宿 2 丁目 3 番 10 号 新宿御苑ビル 3 階 筒井国際特許事務所 Tokyo (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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.
- (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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: THIN FILM PIEZOELECTRIC ACOUSTIC WAVE RESONATOR AND HIGH FREQUENCY FILTER

(54) 発明の名称: 薄膜圧電弾性波共振器及び高周波フィルタ

図 15



(57) Abstract: A thin film piezoelectric acoustic wave resonator which, without adding production steps, has a large k^2 , can seal acoustic energy in the resonating portion, does not excite spurious resonance, and can finely adjust resonance frequency; and a high frequency filter using the same. Holding parts (8) are physically connected at the two ends of a vibrating part (1), further, acoustic insulating parts (10) and phase rotating parts (11) are physically connected between the vibrating part (1) and holding parts (8). Like the vibrating part (1), the acoustic insulating parts (10) and phase rotating parts (11) are comprised of an upper metal film (3), a piezoelectric thin film, and a lower metal film, and an acoustic reflector (6) is provided on the upper surface, lower surface, and side surfaces of the vibrating part (1), acoustic insulating parts (10), and phase rotating parts (11). The width of the vibrating part (1) is smaller than the length (L_a) and smaller than the thickness, while the width/thickness is smaller than 1.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2010/101026 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

工程数を増加させずに、 k_2 が大きく、弾性エネルギーを共振部分に閉じ込めることができ、スプリアス共振が励振せず、または共振周波数の微調整が可能である薄膜圧電弾性波共振器及びそれを用いた高周波フィルタを提供する。振動部 (1) の両端に固定部 (8) が物理的に接続されており、さらに、振動部 (1) と固定部 (8) との間に音響絶縁部 (10) 及び位相回転部 (11) が物理的に接続されている。音響絶縁部 (10) 及び位相回転部 (11) は、振動部 (1) と同様に、上部金属膜 (3)、圧電薄膜及び下部金属膜で構成され、振動部 (1)、音響絶縁部 (10) 及び位相回転部 (11) の上面、下面、及び側面には弾性波反射器 (6) が設けられている。振動部 (1) の幅は長さ (L_a) よりも小さく、また厚さよりも小さく、幅／厚さは 1 よりも小さい。

明 細 書

発明の名称： 薄膜圧電弾性波共振器及び高周波フィルタ

技術分野

[0001] 本発明は、薄膜圧電体の圧電効果または反圧電効果を用い、かつ、弾性波の共振現象を利用した高周波共振器（以下、薄膜圧電弾性波共振器と略す）、及びその薄膜圧電弾性波共振器を用いた高周波フィルタに適用して有効な技術に関するものである。

背景技術

[0002] 高周波フィルタに適した弾性波共振器として、F B A R（Film Bulk Acoustic wave Resonator）及びS M R（Solidly Mounted Resonator）がある。

[0003] 例えば特開 2 0 0 2－3 3 5 1 4 1 号公報（特許文献 1）には、上部電極の上にこの上部電極を覆う負荷層を形成することで、同一絶縁基板上に共振周波数の異なる共振器を組み立てることのできる F B A R 型の薄膜バルク音響共振器が開示されている。

[0004] また、国際特許公開 W O 0 1／0 6 6 4 7 号パンフレット（特許文献 2）には、上部電極の周囲に負荷層を形成することで、ピストンモードで振動する S M R 型の薄膜バルク音響共振器が開示されている。

[0005] また、特開 2 0 0 7－2 9 5 3 1 0 号公報（特許文献 3）には、圧電変換部の圧電変換要素部を、長手方向が下部電極の厚さ方向と一致する円柱状に形成して、下部電極上に 2 次元アレイ状に配置した B A W 共振器が開示されている。

[0006] また、R. Aigner、他 7 名、「Bulk-Acoustic Wave Filters: Performance Optimization and Volume Manufacturing」、IEEE MTT-S Digest、2 0 0 3 年、p. 2 0 0 1－2 0 0 4（非特許文献 1）には、共振周波数の異なる共振器を製作するために、表面電極層の上に補助の金属層を追加して共振周波数をシフトさせた S M R タイプの薄膜バルク音響フィルタが記載されている。

- [0007] また、L. Wang、他5名、「Method of Fabricating Multiple-frequency Film Bulk Acoustic Resonators in a Single Chip」、IEEE Frequency Control Symposium Digest、2006年、p. 179（非特許文献2）には、1つのチップ上に共振周波数の異なる複数のFBARタイプの共振器を製作するために、表面電極層の上に追加の調整層を設け、調整層の幅やピッチの調整パターンを制御することにより、共振周波数の調整を可能にした技術が述べられている。
- [0008] また、R. Ruby、「Review and Comparison of Bulk Acoustic Wave FBAR, SMR Technology」、IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings、2007年、p. 1029-1040（非特許文献3）には、弾性波共振器の電気機械結合係数（ k^2 ）について詳細に議論されている。
- [0009] また、A. N. Cleland、他2名、「Single-crystal aluminum nitride nano mechanical resonators」、Appl. Phys. Lett.、Vol. 79、2001年、p. 2070-2072（非特許文献4）には、単結晶AlN膜を用いたFlexural共振器が記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0010] 特許文献1：特開2002-335141号公報
特許文献2：国際特許公開WO 01/06647号パンフレット
特許文献3：特開2007-295310号公報

非特許文献

- [0011] 非特許文献1：R. Aigner、J. Kaitila、J. Ella、L. Elbrecht、W. Nessler、M. Handtmann、T. Herzog、及びS. Marksteiner、「Bulk-Acoustic Wave Filters: Performance Optimization and Volume Manufacturing」、IEEE MTT-S Digest、2003年、p. 2001-2004
非特許文献2：L. Wang、E. Ginsburg、D. Diamant、Q. Ma、Z. Huang、及びZ. Suo、「Method of Fabricating Multiple-frequency Film Bulk Acoustic Resonators in a Single Chip」、IEEE Frequency Control Symposium Diges

t、2006年、p. 179

非特許文献3: R. Ruby、「Review and Comparison of Bulk Acoustic Wave FBAR, SMR Technology」、IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings、2007年、p. 1029-1040

非特許文献4: A. N. Cleland、M. Pophristic、及びI. Ferguson、「Single-crystal aluminum nitride nanomechanical resonators」、Appl. Phys. Lett.、Vol. 79、2001年、p. 2070-2072

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 一般に、高周波フィルタに適した共振周波数が10MHz以上の弾性波共振器は、厚さに対して充分大きいサイズの面（メンブレン）構造（共振部分のXYZ軸方向のうち、厚さ方向（Z軸方向）を除く二方向（X軸方向及びY軸方向）が充分大きい構造）を有する圧電薄膜と、上記圧電薄膜の一部を挟んで存在する第1金属薄膜と第2金属薄膜とで構成される振動部（共振部）と、音響反射器とを具備している。第1金属薄膜は上部電極（上部金属膜）として、第2金属薄膜は下部電極（下部金属膜）として機能する。圧電薄膜は厚さ方向に分極している。上部電極と下部電極との間に印加した交流電圧により発生する交流電界が、圧電効果または反圧電効果により、圧電薄膜の厚さ方向の伸縮成分を有する振動を引き起こす。振動部が面構造をなしているため、面内方向の伸縮成分を有する振動は発生しない、またはスプリング成分として発生する程度である。

[0013] 上部金属膜、圧電薄膜及び下部金属膜で構成される振動部は、その上下を音響反射器で挟まれている。固体と気体または真空との界面は、効率のよい音響反射面として機能する。FBARでは、共振器の上下を気体または真空とし、気体または真空を音響反射器としている。SMRでは、上部金属膜の上に気体または真空を、下部金属膜の下にブラッグ反射器を設置する。面内方向の伸縮成分を有する振動は理想的には発生しないため、圧電薄膜で発生した弾性波は共振器内部に閉じ込められる。

[0014] 励振される弾性波は、その半波長が上部金属膜の膜厚と圧電薄膜の膜厚と下部金属膜の膜厚との和と一致するときに共振する。共振周波数は、弾性波の音速と波長（上部金属膜の膜厚と圧電薄膜の膜厚と下部金属膜の膜厚との和の2倍）の比である。

[0015] しかしながら、上記特許文献1、2または上記非特許文献1、2に開示された高周波用の弾性波共振器については、以下に説明する種々の技術的課題が存在する。

[0016] <課題1>

非特許文献3において、特許文献1、2または非特許文献1、2に開示された弾性波共振器の k_2 （電気機械結合係数）が詳細に議論されている。非特許文献3によると、電極材料に重い金属を用いることにより k_2 を大きくすることができ、FBAR型の k_2 の方がSMR型の k_2 よりも大きいことが開示されている。さらに、 k_2 が大きいほど高周波フィルタの電気特性は良くなるが、電極材料に重い金属を用いても、特許文献1、2または非特許文献1、2に開示された高周波用の弾性波共振器であるFBARやSMRは高々6.5～7%であることも開示されている。このため、さらに電気特性の良い高周波フィルタを実現するには、さらに大きい k_2 を有する共振器を用いることが必要であるが、FBAR及びSMRでは、さらなる高周波フィルタの電気特性の向上が望めない。

[0017] <課題2>

特許文献1または非特許文献1、2に開示された高周波用の弾性波共振器では、特許文献2に記載された現象、つまり面内方向の伸縮成分を有するスプリアス振動が微小に発生し、振動部（上部金属膜と圧電薄膜と下部金属膜とからなる三層構造を有し、かつ、その三層構造の上下部に音響反射器を有する部分）から圧電薄膜を伝わって弾性エネルギーが漏洩する現象が発生する。このため共振器のQ値が劣化し、またフィルタの損失が増加する。

[0018] なお、特許文献2では振動部に弾性エネルギーを閉じ込める方法が開示されているが、FBAR型の共振器では新たな膜の付加または複雑な加工が必

要となり、製造コストが高くなる。一方、SMR型の共振器では、上下電極に接続する電気線からの弾性エネルギーの漏洩を考慮していないため、実際の共振器やフィルタでは弾性エネルギーを閉じ込めることはできない。または複雑な加工が必要となり、製造コストが高くなる。

[0019] <課題 3>

特許文献 1 または非特許文献 1、2 に開示された高周波用の弾性波共振器では、特許文献 2 に記載された現象、つまり基本波以外にラム波も励振するため、スプリアス共振が発生する現象が発生する。このため共振器の Q 値が劣化し、またフィルタの損失が増加する。

[0020] なお、特許文献 2 ではラム波の励振を抑圧するピストンモードの励振方法が開示されているが、新たな膜の付加または複雑な加工が必要となり、製造コストが高くなる。

[0021] <課題 4>

ラダー型に代表される弾性波共振器を用いたフィルタでは、直列腕共振器の共振周波数を並列腕共振器の共振周波数より高めることにより、帯域通過型フィルタを実現させている。このため異なる共振周波数を有する弾性波共振器を同一基板上に形成する必要がある。

[0022] 共振周波数は膜厚で制御されるため、異なる共振周波数を有する一対の弾性波共振器を同一基板上に形成するためには、特許文献 1 または非特許文献 1 で開示されているように、双方の共振器に上部金属膜を形成した後、一方の共振器の上部金属膜はそのままとし、他方の共振器の上部金属膜上に新たに負荷膜を付加する必要がある。このため、工程数が増える欠点があり、これは製造コストの上昇を生じてさせてしまう。

[0023] また、特許文献 1 または非特許文献 1 では、負荷膜の膜厚が周波数差を決定するため、きわめて高い膜厚精度が必要になる。このため、高価な成膜装置が必要となり、製造コストを上昇させてしまう。

[0024] なお、非特許文献 2 によると、調整層の幅やピッチをパターンニング工程で制御することにより、共振周波数の調整が可能となる。しかし、特許文献 1

または非特許文献 1 で開示されている手法と同じように、上部金属膜の上に新たに膜を付加する必要がある、特許文献 1 または非特許文献 1 の方法と工程数は変わらない。そのため製造コストが上昇する。

[0025] 本発明の第 1 の目的は、工程数を増加させずに、 k_2 の大きい薄膜圧電弾性波共振器及びそれを用いた高周波フィルタを提供することにある。

[0026] 本発明の第 2 の目的は、工程数を増加させずに、弾性エネルギーを共振部分に閉じ込める薄膜圧電弾性波共振器及びそれを用いた高周波フィルタを提供することにある。

[0027] 本発明の第 3 の目的は、工程数を増加させずに、スプリアス共振を励振しない薄膜圧電弾性波共振器及びそれを用いた高周波フィルタを提供することにある。

[0028] 本発明の第 4 の目的は、工程数を増加させずに、共振周波数の微調整を可能にする薄膜圧電弾性波共振器及びそれを用いた高周波フィルタを提供することにある。

[0029] 本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面から明らかになるであろう。

課題を解決するための手段

[0030] 本願において開示される発明のうち、代表的なものの一実施の形態を簡単に説明すれば、次のとおりである。

[0031] この実施の形態は、圧電薄膜と、圧電薄膜の一部を挟んで存在する一対の上部金属膜及び下部金属膜とからなる積層構造の振動部を含む薄膜圧電弾性波共振器である。振動部は、振動部の厚さ方向に直交する面内で、第 1 方向に沿った第 1 寸法を有し、第 1 方向と直交する第 2 方向に沿った第 2 寸法を有し、第 1 寸法が第 2 寸法よりも小さく、かつ、第 1 寸法が振動部の厚さ方向に沿った第 3 寸法よりも小さく、振動部の上面、下面、及び側面にそれぞれ弾性波反射器を備え、振動部の第 2 方向の一端に圧電薄膜と同一膜を主成分とする第 1 固定部を備え、振動部の第 2 方向の他の一端に圧電薄膜と同一膜を主成分とする第 2 固定部とを備えている。

[0032] また、この実施の形態は、入力端子と、出力端子と、前記入力端子と前記出力端子との間に複数の薄膜圧電弾性波共振器が所定の間隔を設けて並列腕または直列腕に電氣的に接続された高周波フィルタである。薄膜圧電弾性波共振器は、圧電薄膜と、圧電薄膜の一部を挟んで存在する一対の上部金属膜及び下部金属膜とからなる積層構造の振動部を含み、振動部は、振動部の厚さ方向に直交する面内で、第1方向に沿った第1寸法を有し、第1方向と直交する第2方向に沿った第2寸法を有し、第1寸法が第2寸法よりも小さく、かつ、第1寸法が振動部の厚さ方向に沿った第3寸法よりも小さく、振動部の上面、下面、及び側面にそれぞれ弾性波反射器を備え、振動部の第2方向の一端に圧電薄膜と同一膜を主成分とする第1固定部を備え、振動部の第2方向の他の一端に圧電薄膜と同一膜を主成分とする第2固定部とを備えている。

発明の効果

[0033] 本願において開示される発明のうち、代表的なものの一実施の形態によって得られる効果を簡単に説明すれば以下のとおりである。

[0034] 工程数を増加させずに、 k_2 が大きく、弾性エネルギーを共振部分に閉じ込めることができ、スプリアス共振が励振せず、または共振周波数の微調整が可能である薄膜圧電弾性波共振器及びそれを用いた高周波フィルタを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]本発明の実施の形態1によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図2]図1のA-A'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図3]図1のB-B'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図4]本発明の実施の形態1によるビーム型共振器の振動部の斜視模式図である。

[図5]本発明の実施の形態1による素子の k_2 と W/h との関係を示すグラフ図である。

[図6]本発明の実施の形態2によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図7] 図6のC-C'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図8] 図6のD-D'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図9] 本発明の実施の形態2による素子のTWEモードの分散曲線を示すグラフ図である。

[図10] 本発明の実施の形態2による素子のTWEモードの f_d 、 f_b 及び f_t と W/h との関係を示すグラフ図である。

[図11] 本発明の実施の形態3によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図12] 図11のE-E'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図13] 図11のF-F'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図14] 本発明の実施の形態3による素子のTWEモードの f_d 、 f_b 及び f_t と W/h との関係を示すグラフ図である。

[図15] 本発明の実施の形態4によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図16] 図15のG-G'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図17] 図15のH-H'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図18] 本発明の実施の形態4による素子のTWEモードの f_d 、 f_b 及び f_t と W/h との関係を示すグラフ図である。

[図19] 本発明の実施の形態4による素子のインピーダンスの周波数特性を示すグラフ図である。

[図20] 本発明の実施の形態4による素子において、位相回転部の幅を振動部の幅と一致させたビーム型共振器のインピーダンスの周波数特性を示すグラフ図である。

[図21] 本発明の実施の形態5によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図22] 図21のI-I'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図23] 図21のJ-J'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図24] 本発明の実施の形態5による素子のTWEモードの f_d 、 f_b 及び f_t と W/h との関係を示すグラフ図である。

[図25] 本発明の実施の形態6によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図26] 図25のK-K'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図27] 図25のL-L'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図28] 本発明の実施の形態6による素子のインピーダンスの周波数特性を示すグラフ図である。

[図29] 本発明の実施の形態7によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図30] 図29のM-M'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図31] 図29のN-N'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図32] 本発明の実施の形態7による素子のインピーダンスの周波数特性を示すグラフ図である。

[図33] 本発明の実施の形態8によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図34] 本発明の実施の形態9によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図35] 本発明の実施の形態9による素子のインピーダンスの周波数特性を示すグラフ図である。

[図36] (a) 及び (b) は、それぞれ本発明の実施の形態10によるビーム型共振器群の第1例の上面模式図及び第2例の上面模式図である。

[図37] 本発明の実施の形態11によるハイパスフィルタの等価回路図である。

[図38] 本発明の実施の形態11によるローパスフィルタの周波数特性図である。

[図39] 本発明の実施の形態11によるローパスフィルタの周波数特性図である。

[図40] 本発明の実施の形態11によるビーム型共振器の直列共振周波数及び並列共振周波数と W/h との関係を示すグラフ図である。

[図41] 本発明の実施の形態11によるローパスフィルタの等価回路図である。

[図42] 本発明の実施の形態11によるローパスフィルタの周波数特性図である。

[図43] 本発明の実施の形態11によるローパスフィルタの周波数特性図である。

[図44] 本発明の実施の形態 1 1 によるバンドパスフィルタの等価回路図である。

[図45] 本発明の実施の形態 1 1 によるバンドパスフィルタの周波数特性図である。

[図46] 本発明の実施の形態 1 2 によるビーム型共振器の上面模式図である。

[図47] 図 4 6 の O-O' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図48] 図 4 6 の P 領域の上面模式図である。

[図49] 本発明の実施の形態 1 2 による TWE モード及びスプリアスモードの共振周波数の W/h 依存性を示したグラフ図である。

[図50] 本発明の実施の形態 1 3 であるビーム型共振器の上面模式図である。

[図51] 図 5 0 の Q-Q' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図52] 図 5 0 の R-R' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[図53] 本発明の実施の形態 1 4 による高周波デバイスの上面模式図である。

[図54] 本発明の実施の形態 1 4 による高周波デバイスの等価回路図である。

発明を実施するための形態

[0036] 以下の実施の形態において、便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。

[0037] また、以下の実施の形態において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合及び原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でも良い。さらに、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合及び原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことはいうまでもない。同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合及び原理的に明らかにそうでないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似す

るもの等を含むものとする。このことは、上記数値及び範囲についても同様である。

[0038] また、F B A R型またはS M R型の共振器は、いずれも平面波（バルク波）を利用した共振器であるが、以下の実施の形態で説明する薄膜圧電弾性波共振器は1次元構造（ビーム構造）を伝搬する非平面波（非バルク波）であることから、以下の実施の形態で説明する薄膜圧電弾性波共振器を、F B A R型共振器やS M R型共振器とは異なる共振器であることを明確にするため、ビーム型共振器と記す。

[0039] また、以下の実施の形態を説明するための全図において、同一機能を有するものは原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、以下の実施の形態で用いる図面においては、平面図であっても図面を見易くするためにハッチングを付す場合もある。以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

[0040] （実施の形態1）

本実施の形態1によるビーム型共振器を図1～図3を用いて説明する。図1はビーム型共振器の上面模式図、図2は図1のA-A'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図3は図1のB-B'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[0041] 図1～図3に示すように、ビーム型共振器は絶縁基板2上に形成されている。このビーム型共振器の振動部1は、圧電薄膜5（膜厚 h_p ）と、この圧電薄膜5の一部を挟んで存在する一対の上部金属膜（上部電極）3（膜厚 h_d ）及び下部金属膜（下部電極）4（膜厚 h_u ）とを含む積層構造（厚さ h_a ）を有している。厚さ h_a は、例えば1～2 μm 程度である。振動部1の上面は上部弾性波反射器（上部音響反射器）7で囲まれ、下面は下部弾性波反射器（下部音響反射器）6で囲まれ、側面は側部弾性波反射器（側部音響反射器）12で囲まれている。

[0042] 本実施の形態1では、上部金属膜3及び下部金属膜4は共に成膜装置で形成されたアルミニウム膜で構成されており、また圧電薄膜5は成膜装置で形

成され、窒化アルミニウム膜で構成されている。上部金属膜 3 及び下部金属膜 4 として、アルミニウム膜に代えて、他の導電材料、例えば銅、白金、ルテニウム、モリブデン、タングステンまたは金などの導電性を有する物質で構成される薄膜を用いても良いことはいうまでもない。同様に、圧電薄膜 5 として、窒化アルミニウム膜に代えて、他の圧電材料、例えば酸化亜鉛、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸カリウム、五酸化タンタル、チタン酸鉛またはチタン酸バリウムなどの圧電性を有する物質で構成される薄膜を用いても良いことはいうまでもない。

[0043] なお、本実施の形態 1 で述べる成膜装置とは、スパッタ装置、蒸着装置または CVD 装置に代表される装置であって、分子、原子、イオンまたはそれらのクラスタを基板上に直接積層させることにより、あるいは化学反応を伴って積層させることにより、薄膜を作成する装置である。また、本実施の形態 1 で述べる薄膜とは、この成膜装置で作成した膜であり、これ以外の、焼結により作成した焼結体、あるいは水熱合成法またはチョコラルスキー法などで形成されたバルク体は、厚さにかかわらず、含まれない。

[0044] 圧電薄膜 5 に電界を印加するため、振動部 1 では上部金属膜 3 は圧電薄膜 5 を挟んで相対応する下部金属膜 4 とほぼ向かい合っている。しかし、上部金属膜 3 と下部金属膜 4 とは、周辺部に設けられた引き出し線の位置や形状が異なるため平面形状は必ずしも一致していない。本実施の形態 1 では、Y 軸方向に関しては、平面形状において上部金属膜 3 と下部金属膜 4 とが相対向する範囲を、X 軸方向に関しては、圧電薄膜 5 が存在する範囲を、Z 軸方向に関しては、上部弾性波反射器 7 の下面から下部弾性波反射器 6 の上面までの領域を振動部 1 とする。

[0045] 振動部 1 の X 軸方向の第 1 寸法（幅 W_a ）は Z 軸方向の第 3 寸法（厚さ h_a ）より小さく設定されている。一方、振動部 1 の Y 軸方向の第 2 寸法（長さ L_a ）は Z 軸方向の第 3 寸法（厚さ h_a ）より大きく設定されている。幅 W_a は、例えば $0.6 \mu\text{m}$ 程度であり、長さ L_a は、例えば $100 \mu\text{m}$ 程度である。そのため振動部 1 の構造がビーム状（共振部分の X Y Z 軸方向の一

方向のみが充分長い構造）であり、この点が面構造をなしている従来の F B A R の振動部の構造と異なる。

[0046] 振動部 1 は、プラス Y 軸方向の端部及びマイナス Y 軸方向の端部に、間接的に、圧電薄膜 5 からなる固定部 8 が物理的に接続されている。固定部 8 は、上部金属膜 3 または下部金属膜 4 を含めて構成してもよく、また他の付加膜があっても良い。固定部 8 の下方向（マイナス Z 軸方向）には下部弾性波反射器 6 を有さない。固定部 8 は、マイナス Y 軸方向では下部金属膜 4 を介して絶縁基板 2 と物理的に接続され、プラス Y 軸方向では絶縁基板 2 と直接物理的に接続されている。

[0047] 絶縁基板 2 は振動部 1 より充分に大きいため振動しない。振動部 1 の振動が絶縁基板 2 に流入する場合があるが、その場合でも絶縁基板 2 全体に拡散するため、絶縁基板 2 の振幅は振動部 1 の振幅より充分小さい。

[0048] 固定部 8 は、振動部 1 の主たる振動媒体である圧電薄膜 5 で形成されている。そのため固定部 8 の振動部 1 側の面（図 2 では固定部 8 の振動部 1 側の断面）の振動は絶縁基板 2 に漏洩する。また、絶縁基板 2 は固定部 8 または振動部 1 より充分大きいので、固定部 8 は実質的に機械的な固定部分として機能する。

[0049] 上部金属膜 3 と下部金属膜 4 との間に交流電気信号を印加すると、圧電薄膜 5 の内部の Z 軸方向に交流電界が生じ、圧電薄膜 5 は Z 軸方向及び X 軸方向に伸縮する。そのため振動部 1 は振動する。Z 軸方向の振動及び X 軸方向の振動は、位相が 180 度ずれる。以下、この振動モードを TWE モード（Thickness-Width Extensional mode）と呼ぶ。

[0050] 振動部 1 の Y 軸方向の振動は、主振動とは無関係な振動であるため、TWE モードの k_2 の低下を招く。また TWE モードとは異なる周波数で共振するため、共振器の電気特性上ではスプリアス共振になる。本実施の形態 1 では、振動部 1 は、プラス Y 軸方向及びマイナス Y 軸方法の両方向の固定部 8 では含まれているため、Y 軸方向には伸縮しない。また振動部 1 の Y 軸方向の振動は、Z 軸方向の振動や X 軸方向の振動とは周波数が大きく異なるため

、Z軸方向の振動やX軸方向の振動とは結合しない。

[0051] $W a / h a < 1.05$ とすることにより、Z軸方向の振動とX軸方向の振動とは結合し、同一周波数で共振する。この場合、圧電薄膜5の2個の圧電定数 e_{33} と圧電定数 e_{31} の効果が相乗するため、Z軸方向にのみ伸縮するFBAR振動（FBAR：圧電定数 e_{33} のみで振動）またはX軸方向のみに伸縮する横振動（圧電定数 e_{31} のみで振動）より大きい k_2 を有する。

[0052] k_2 が最も大きくなる最適な幅 $W a$ と厚さ $h a$ との比は、振動部1の圧電定数 e_{31} と圧電定数 e_{33} との比の絶対値（ $|e_{31} / e_{33}|$ ）、及び弾性定数 C_{11} と弾性定数 C_{33} との比（ C_{11} / C_{33} ）に依存する。窒化アルミニウム、酸化亜鉛、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸カリウム、五酸化タンタル、チタン酸鉛またはチタン酸バリウムなどの薄膜で圧電材料を構成した場合は、後に説明するように、 $W a / h a = 0.6$ とすることにより、最も k_2 を大きくすることができる。

[0053] 有限要素法を用いて、本実施の形態1によるビーム型共振器の共振特性を詳細に調べた。図4は計算に用いたモデルを説明するための模式図である。圧電薄膜5はX軸方向の幅 W 、Z軸方向の厚さ h （ $1 \mu m$ ）、Y軸方向の長さ L の直方体としている。またY軸方向の両端面は、固定部8の振動部1側の面として機械的な固定面9としている。

[0054] 図5は、本実施の形態1によるビーム型共振器の k_2 と W / h との関係を示したグラフ図である。圧電薄膜5としてc軸配向した窒化アルミニウム膜を用いた。ここでは分かりやすくするため、上部金属膜3及び下部金属膜4の厚さは無視し、また長さ L は厚さ h より充分長い（無限長）とした。固定面9も無限遠方となるが、振動部1は固定面9と接しているため、Y軸方向の振動は発生しない。また k_2 は、直列共振周波数 f_s 及び並列共振周波数 f_p から、縦振動の場合の定義式、つまり

$$k_2 = \pi / 2 \times (f_s / f_p) \times \tan \{ \pi / 2 \times (f_p - f_s) / f_p \}$$

を用いて算出した。比較のため、Z軸方向のみに振動した場合の k_2 （FBARの k_2 ）及びX軸方向のみに振動した場合の k_2 （幅振動の k_2 ）を記した。

[0055] 図5から、 W/h を1.05より小さくすることで、FBARより大きい k_2 が得られることが分かる。また、全ての W/h で幅振動より大きい k_2 が得られる。図5から、 W/h は、例えば0.1から1.05が適切な範囲と考えられる（他の条件によってはこの範囲に限定されないことはもとよりである）。また、量産に適した範囲としては0.2から0.9が考えられるが、さらに0.3から0.88等の0.6を中心値とする周辺範囲が最も好適と考えられる。

[0056] このように、本実施の形態1によれば、振動部1の幅 W_a と厚さ h_a との比（ W_a/h_a ）を1.05より小さくすることで、FBARより大きい k_2 を有するビーム型共振器を提供することができる。

[0057] （実施の形態2）

本実施の形態2によるビーム型共振器を図6～図8を用いて説明する。図6はビーム型共振器の上面模式図、図7は図6のC-C'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図8は図6のD-D'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[0058] 図6～図8に示すように、ビーム型共振器は絶縁基板2上に形成されている。このビーム型共振器の振動部1は、前述した実施の形態1の振動部1と同じ形状をしている。なお、本実施の形態2では、振動部1の圧電薄膜5と上部金属膜3の幅を一致させているが、発明の効果には影響を及ぼさない。

[0059] 振動部1と固定部8との間に音響絶縁部10が物理的に接続されている。振動部1と音響絶縁部10、または音響絶縁部10と固定部8は、必ずしも直接接続されていなくても良く、他の構造物を介して物理的に接続されていれば良い。

[0060] 音響絶縁部10は、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されている。プラスY軸方向の音響絶縁部10の上部金属膜3及びマイナスY

軸方向の音響絶縁部 10 の下部金属膜 4 はそれぞれ電氣的引出し線の働きも兼ねている。また音響絶縁部 10 の X 軸方向に沿った幅 W_b (第 4 寸法) は、例えば $0.8 \mu m$ に設定され、Y 軸方向に沿った長さ L_b は、例えば $10 \mu m$ に設定されている。

[0061] 音響絶縁部 10 の固有共振周波数は、振動部 1 の固有共振周波数よりも低く設定されている。ここで振動部 1 の固有共振周波数とは、振動部 1 の TWE モードの直列共振周波数である。また音響絶縁部 10 の固有共振周波数とは、音響絶縁部 10 が TWE モードで振動したときの共振周波数である。上下面に電極が存在する場合は、上下面の電極が電氣的に短絡されているときは、上下面の電極に交流電圧を印加したときの直列共振周波数と一致し、また上下面の電極が電氣的に開放されているときは、上下面の電極に交流電圧を印加したときの並列共振周波数と一致する。また、上下面の一方または両方に電極が存在しない場合は、電極がない面に仮想的に厚さゼロの電極を想定し、上下面の電極に交流電圧を印加したときの並列共振周波数と一致する。本実施の形態 2 では、上下面に電極を有し、かつ、上下面の電極が電氣的に短絡されている。

[0062] 図 9 及び図 10 は、本実施の形態 2 による振動部及び音響絶縁部の TWE モードの振る舞いを説明するグラフ図である。図 9 は振動部または音響絶縁部の幅 W を $0.6 \mu m$ 、長さ L を $100 \mu m$ 、厚さ h を $1 \mu m$ としたビーム型共振器の TWE モードの分散曲線 (k_y 実数面) を示したグラフ図である。図 10 は図 9 に示した周波数 f_d 、 f_b 、 f_t の幅 W 依存性を示したグラフ図である。

[0063] 図 9 に示すように、 k_y が小さくなると、TWE モードの周波数は減少し、極小を経由して再び増加する。周波数 $5100 MHz$ で k_y は 0 となり、 k_y の複素面を経由して周波数 $6020 MHz$ 近傍の他のモードに変わって再び k_y の実数面に現れる。 k_y が大きい領域の TWE モード (図中破線で表示) は励振電極との結合が弱いため、実デバイスでは、図 9 中に実線で表示した周波数 f_d から周波数 f_b の範囲でのみ、TWE モードは励振または

振動する。つまり周波数 f_d から周波数 f_b の範囲は音響伝搬周波数帯になる。一方周波数 f_b から周波数 f_t までの間では、どのモードも励振、振動または伝搬はできない。そのため周波数 f_b と周波数 f_t との間の周波数は音響絶縁周波数帯になる。

[0064] k_y を小さくした方が励振電極との結合が強いため、強い単一共振特性を得たい場合は、 k_y が 0 またはその近傍の TWE モードを利用する。このときの共振周波数はほぼ周波数 f_b と一致、または周波数 f_b よりわずかに低周波側にシフトする。このシフト量は長さ L に依存するが、 $L/h \gg 1$ の場合、TWE モードの k_y が 0 での傾きはゼロであるため、無視できる程度の量である。本実施の形態 2 では、 $L/h \gg 1$ であるため、共振周波数は周波数 f_b とほぼ一致する。しかし長さ L が厚さ h の数倍の場合、また、高次の非調和型 TWE モードを用いた場合は、共振周波数は周波数 f_b より低周波側にシフトするが、かならず周波数 f_d から周波数 f_b の間の周波数になる。

[0065] 本発明者らは、TWE モードは、従来の FBAR とは異なり、X 軸方向の振動成分を有することに着目し、効率的に振動エネルギーを振動部 1 に閉じ込める方法、及び固定部 8 と振動部 1 の物理的または電氣的な接続方法を詳細に検討した。その結果、TWE モードでは、 W/h を変化させると、それに対応して周波数 f_b が変化することを見出した。このことを利用し、振動部 1 と固定部 8 との間に、振動部 1 より大きい幅 W_b を有する音響絶縁部 10 を配置することで、振動エネルギーを振動部 1 に閉じ込めることができ、かつ、絶縁基板 2 に物理的に強固に接続できることを見出した。以下、音響絶縁部 10 の効果について詳細に説明する。

[0066] 図 10 は本実施の形態 2 による周波数 f_b 、 f_t の幅 W 依存性を示したグラフ図である。幅 W を増加させると、周波数 f_t はほとんど変化しないのに対し、周波数 f_b は低周波側に移動する。周波数 f_b と周波数 f_t との間の周波数は音響絶縁周波数として機能するから、幅 W を増加させると、音響絶縁周波数帯域は広がる。

[0067] 本実施の形態 2 では、振動部 1 は振動周波数 f_{b1} で振動する。音響絶縁部 10 の音響絶縁周波数は振動周波数 f_{b2} から周波数 f_t の間の周波数であり、 $f_{b2} < f_{b1} < f_t$ であるから、振動部 1 の振動エネルギーは、音響絶縁部 10 に進入することができない。周波数 f_t は幅 W 依存性がないため、音響絶縁部 10 の幅 W_b を振動部 1 の幅 W_a よりも大きくすることで、常に $f_{b2} < f_{b1} < f_t$ とすることができる。そのため、音響絶縁部 10 は、振動部 1 と固定部 8 とを音響的に絶縁する機能を示す。

[0068] 振動部 1 は、Z 軸方向及び X 軸方向は弾性波反射器 6, 7, 12、Y 軸方向は音響絶縁部 10 に囲まれている。そのため、本実施の形態 2 では、振動部 1 に弾性エネルギーを閉じ込めることができる。

[0069] このように、本実施の形態 2 によれば、ビーム型共振器において、振動部 1 と固定部 8 との間に音響絶縁部 10 を設置し、音響絶縁部 10 の幅 W_b を振動部 1 の幅 W_a よりも大きい値に設定することにより、弾性エネルギーを共振部分に閉じ込めることができる。

[0070] (実施の形態 3)

本実施の形態 3 によるビーム型共振器を図 11 ~ 図 13 を用いて説明する。図 11 はビーム型共振器の上面模式図、図 12 は図 11 の E-E' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図 13 は図 11 の F-F' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[0071] 図 11 ~ 図 13 に示すように、本実施の形態 3 によるビーム型共振器は、固定部 8 と音響絶縁部 10 以外は前述した実施の形態 2 によるビーム型共振器と同じ形状をしている。音響絶縁部 10 は、上部金属膜 3 及び圧電薄膜 5、または圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。固定部 8 は、上部金属膜 3 及び圧電薄膜 5、または圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。プラス Y 軸方向の音響絶縁部 10 の上部金属膜 3 及びマイナス Y 軸方向の音響絶縁部 10 の下部金属膜 4 はそれぞれ電氣的引出し線の働きも兼ねている。また音響絶縁部 10 の X 軸方向に沿った幅 W_b は、例えば $0.9 \mu\text{m}$ に設定され、Y 軸方向に沿った L_b は、例えば $10 \mu\text{m}$ に設定されている。

。

[0072] 図 1 4 は本実施の形態 3 による音響絶縁部 1 0 の周波数 f_b 、 f_t の幅 W 依存性を示したグラフ図である。上部金属膜 3 または下部金属膜 4 を有しないため、前述した実施の形態 2 の振動周波数 f_{b1} より振動周波数 f_{b3} の方が高周波側にシフトしている。分かりやすいように、図 1 4 中に振動部 1 の振動周波数 f_{b1} を示す。

[0073] 本実施の形態 3 では、振動部 1 は振動周波数 f_{b1} で振動する。音響絶縁部 1 0 の音響絶縁周波数は振動周波数 f_{b3} から周波数 f_t の間の周波数であり、 $f_{b3} < f_{b1} < f_t$ であるから、振動部 1 の振動エネルギーは、音響絶縁部 1 0 に進入することができない。そのため、音響絶縁部 1 0 は、振動部 1 と固定部 8 とを音響的に絶縁する機能を示す。

[0074] 振動部 1 は、Z 軸方向及び X 軸方向は弾性波反射器 6、7、12、Y 軸方向は音響絶縁部 1 0 に囲まれている。そのため、本実施の形態 3 でも、振動部 1 に弾性エネルギーを閉じ込めることができる。

[0075] このように、本実施の形態 3 によれば、前述した実施の形態 2 と同様に、ビーム型共振器において、振動部 1 と固定部 8 との間に音響絶縁部 1 0 を設置し、音響絶縁部 1 0 の幅 W_b を振動部 1 の幅 W_a より大きい値に設定することにより、弾性エネルギーを共振部分に閉じ込めることができる。

[0076] (実施の形態 4)

本実施の形態 4 によるビーム型共振器を図 1 5 ~ 図 1 7 を用いて説明する。図 1 5 はビーム型共振器の上面模式図、図 1 6 は図 1 5 の G-G' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図 1 7 は図 1 5 の H-H' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[0077] 図 1 5 ~ 図 1 7 に示すように、ビーム型共振器は絶縁基板 2 上に形成されている。このビーム型共振器の振動部 1 は、前述した実施の形態 2 による振動部 1 と同じ形状をしている。また音響絶縁部 1 0 は、前述した実施の形態 2 による音響絶縁部 1 0 と同じ形状をしている。

[0078] 振動部 1 と音響絶縁部 1 0 との間に位相回転部 1 1 が物理的に接続されて

いる。振動部 1 と位相回転部 11、または位相回転部 11 と音響絶縁部 10 とは、必ずしも直接接続されていなくても良く、他の構造物を介して物理的に接続されていれば良い。

[0079] 位相回転部 11 は、上部金属膜 3、圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。プラス Y 軸方向の位相回転部 11 の上部金属膜 3 及びマイナス Y 軸方向の位相回転部 11 の下部金属膜 4 はそれぞれ電氣的引出し線の働きも兼ねている。また位相回転部 11 の X 軸方向に沿った幅 W_p (第 5 寸法) は、例えば $0.4 \mu m$ に設定され、Y 軸方向に沿った長さ L_p は、例えば $1.2 \mu m$ に設定されている。

[0080] 位相回転部 11 の固有共振周波数は、振動部 1 の固有共振周波数の 1 倍より大きく、1.05 倍より小さく設定されている。ここで位相回転部 11 の固有共振周波数とは、位相回転部 11 が TWE モードで振動したときの共振周波数である。上下面に電極が存在する場合は、上下面の電極が電氣的に短絡されているときは、上下面の電極に交流電圧を印加したときの直列共振周波数と一致し、また上下面の電極が電氣的に開放されているときは、上下面の電極に交流電圧を印加したときの並列共振周波数と一致する。また上下面の一方または両方に電極が存在しない場合は、電極がない面に仮想的に厚さゼロの電極を想定し、上下面の電極に交流電圧を印加したときの並列共振周波数と一致する。本実施の形態 4 では、上下面に電極を有し、かつ、上下面の電極が電氣的に短絡されている。

[0081] 本発明者らは、TWE モードは、従来の FBAR とは異なり、X 軸方向の振動成分を有することに着目し、振動部 1 の振動形態をピストンモードにする方法、及び音響絶縁部 10 と振動部 1 との物理的な接続方法を詳細に検討した。その結果、TWE モードでは、幅 W を変化させると、それに対応して周波数 f_d も変化することを見出した。また周波数 f_d の変化の割合は、ほぼ周波数 f_b の変化の割合と等しいことも見出した。このことを利用し、振動部 1 と音響絶縁部 10 との間に、振動部 1 とは異なる幅 W_p を有する位相回転部 11 を配置することで、振動部 1 の振動形態をピストンモードにする

ことができ、かつ、絶縁基板 2 に物理的に強固に接続できることを見出した。以下、位相回転部 11 の効果について詳細に説明する。

[0082] 図 18 は、本実施の形態 4 による位相回転部 11 の周波数 f_d 、 f_b の幅 W 依存性を示した図である。分かりやすいように、図 18 中に振動部 1 の振動周波数 f_{b1} を示す。

[0083] 本実施の形態 4 では、振動部 1 は振動周波数 f_{b1} で振動する。位相回転部 11 の音響伝搬周波数は振動周波数 f_{d4} から振動周波数 f_{b4} の間の周波数であり、ビーム型共振器では振動周波数 f_{d4} は振動周波数 f_{b4} の約 0.95 倍である。本実施の形態 4 では、位相回転部 11 の幅 W_p を振動部 1 の幅 W_a よりも小さくすることにより、 $f_{d4} < f_{b1} < f_{b4}$ とすることができる。 $f_{d4} < f_{b1} < f_{b4}$ であるから、振動部 1 の弾性波は、位相回転部 11 に進入し音響絶縁部 10 まで伝搬する。しかし $f_{b2} < f_{b1} < f_t$ であるから、位相回転部 11 の弾性波は、音響絶縁部 10 で反射し、再び位相回転部 11 を伝搬し、振動部 1 に戻る。そのため、位相回転部 11 は、振動部 1 から出る弾性波と戻る弾性波の位相を制御する機能を示す。

[0084] 音響絶縁部 10 の反射では、弾性波の位相は 180 度回転するため、位相回転部 11 で弾性波の位相を 90 度（往復で 180 度）回転させることにより、振動部 1 の振動形態をピストンモードにすることができる。

[0085] 図 19 及び図 20 は、本実施の形態 4 による位相回転部 11 の効果を示したグラフ図である。図 19 は本実施の形態 4 によるビーム型共振器のインピーダンス特性を示したグラフ図である。図 20 は比較のため、位相回転部 11 の幅 W_p を振動部 1 の幅 W_a と一致させたビーム型共振器のインピーダンス特性を示したグラフ図である。本実施の形態 4 では、振動部 1 の振動形態がピストンモードになっているため、スプリアスの励振を抑えることができる。

[0086] このように、本実施の形態 4 によれば、ビーム型共振器において、振動部 1 と音響絶縁部 10 との間に位相回転部 11 を設置し、位相回転部 11 の幅 W_p を、振動部 1 の幅 W_a と異なる値にし、振動部 1 の共振周波数より位相

回転部 11 の共振周波数を高く設定することにより、スプリアスのないビーム型共振器を提供することができる。

[0087] (実施の形態 5)

本実施の形態 5 によるビーム型共振器を図 21～図 23 を用いて説明する。図 21 はビーム型共振器の上面模式図、図 22 は図 21 の I-I' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図 23 は図 21 の J-J' 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[0088] 図 21～図 23 に示すように、本実施の形態 5 によるビーム型共振器は、位相回転部 11 以外は前述した実施の形態 4 によるビーム型共振器と同じ形状をしている。位相回転部 11 は、上部金属膜 3 及び圧電薄膜 5、または圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。プラス Y 軸方向側の位相回転部 11 の上部金属膜 3 及びマイナス Y 軸方向側の位相回転部 11 の下部金属膜 4 はそれぞれ電氣的引出し線の働きも兼ねている。また位相回転部 11 の X 軸方向に沿った幅 W_p は、例えば $0.7 \mu m$ に設定され、Y 軸方向に沿った L_p は、例えば $1.0 \mu m$ に設定されている。

[0089] 図 24 は本実施の形態 5 による位相回転部 11 の周波数 f_d 、 f_b の幅 W 依存性を示したグラフ図である。上部金属膜 3 または下部金属膜 4 を有しないため、前述した実施の形態 4 の振動周波数 f_{b4} より振動周波数 f_{b5} の方が高周波側にシフトしている。分かりやすいように、図 24 中に振動部 1 の振動周波数 f_{b1} を示す。位相回転部 11 の固有共振周波数は、振動部 1 の固有共振周波数の 1 倍より大きく、1.05 倍より小さく設定されている。

[0090] 本実施の形態 5 では、振動部 1 は振動周波数 f_{b1} で振動する。位相回転部 11 の音響伝搬周波数は振動周波数 f_{d5} から振動周波数 f_{b5} の間の周波数であり、ビーム型共振器では振動周波数 f_{d5} は振動周波数 f_{b5} の約 0.95 倍である。 $f_{d5} < f_{b1} < f_{b5}$ であるから、前述した実施の形態 4 と同じ効果、つまり振動部 1 の振動形態をピストンモードにすることができる。本実施の形態 5 では、振動部 1 の振動形態がピストンモードになっ

ていることから、スプリアスの励振を抑えることができる。

[0091] このように、本実施の形態5によれば、前述した実施の形態4と同様に、ビーム型共振器において、振動部1と音響絶縁部10との間に位相回転部11を設置し、振動部1の幅 W_a と位相回転部11の幅 W_p とを異なる値にし、振動部1の共振周波数より位相回転部11の共振周波数を高く設定することにより、スプリアスのないビーム型共振器を提供することができる。

[0092] (実施の形態6)

本実施の形態6によるビーム型共振器を図25～図27を用いて説明する。図25はビーム型共振器の上面模式図、図26は図25のK-K'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図27は図25のL-L'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[0093] 図25～図27に示すように、ビーム型共振器は絶縁基板2上に形成されている。ビーム型共振器は、振動部1と位相回転部11と音響絶縁部10と固定部8とで構成されている。振動部1と音響絶縁部10との間に位相回転部11が物理的に接続されている。音響絶縁部10と絶縁基板2との間に固定部8が物理的に接続されている。

[0094] 振動部1は、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されている。圧電薄膜5は、上部金属膜3と下部金属膜4とに挟まれている。上部金属膜3及び下部金属膜4は、例えば厚さ $0.1\mu\text{m}$ のアルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。圧電薄膜5は、例えば厚さ $1\mu\text{m}$ のC軸配向した窒化アルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。C軸の向きは、絶縁基板2に垂直な方向を向いている。振動部1の幅 W_a は、例えば $0.6\mu\text{m}$ であり、長さ L_a は、例えば $100\mu\text{m}$ であり、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4の幅は同じである。

[0095] 位相回転部11は、圧電薄膜5及び下部金属膜4、または上部金属膜3及び圧電薄膜5で構成されている。上部金属膜3及び下部金属膜4は、例えば厚さ $0.1\mu\text{m}$ のアルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。圧電薄膜5は、例えば厚さ $1\mu\text{m}$ のC軸配向した窒化アルミニウムを主成分とす

る薄膜で構成されている。C軸の向きは、絶縁基板2に垂直な方向を向いている。位相回転部11の幅 W_p は、例えば $0.96\mu\text{m}$ 、長さ L_p は、例えば $1.6\mu\text{m}$ であり、圧電薄膜5及び下部金属膜4の幅は同じである。

[0096] 音響絶縁部10は、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されている。圧電薄膜5は、上部金属膜3と下部金属膜4とに挟まれている。上部金属膜3及び下部金属膜4は、例えば厚さ $0.1\mu\text{m}$ のアルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。圧電薄膜5は、例えば厚さ $1\mu\text{m}$ のC軸配向した窒化アルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。C軸の向きは、絶縁基板2に垂直な方向を向いている。音響絶縁部10の幅 W_b は、例えば $0.8\mu\text{m}$ 、長さ L_b は、例えば $10\mu\text{m}$ であり、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4の幅は同じである。2つ音響絶縁部10は、それぞれ上部金属膜3と下部金属膜4とが等電位になるように、音響絶縁部10とは異なる部分で電氣的に接続されている。

[0097] 固定部8は、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されている。圧電薄膜5は、上部金属膜3と下部金属膜4に挟まれている。上部金属膜3及び下部金属膜4は、例えば厚さ $0.1\mu\text{m}$ のアルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。圧電薄膜5は、例えば厚さ $1\mu\text{m}$ のC軸配向した窒化アルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。C軸の向きは、絶縁基板2に垂直な方向を向いている。2つの固定部8は、それぞれ上部金属膜3と下部金属膜4とが等電位になるように、電氣的に接続されている。

[0098] 絶縁基板2は、シリコン単結晶基板及びその表面に形成された厚さ $1\mu\text{m}$ の酸化珪素膜で構成されている。表面に酸化珪素膜を形成することで、シリコン単結晶基板は、電氣的に絶縁基板として機能する。

[0099] 図28は、本実施の形態6によるビーム型共振器のインピーダンス特性を示したグラフ図である。電極材料にアルミニウムを用いたため、 k_2 は 9.44% となり、前述した図5に示した値よりさらに大きい値を示す。また、振動部1、位相回転部11、音響絶縁部10及び固定部8の全ては、同じ膜厚の上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されている。これに

より、共振器は3回の成膜工程で形成することができて、例えば特許文献2に開示されている公知の技術より少ない工程数で、エネルギー閉じ込め、ピストンモードの励振を実現することができる。この結果、低損失でスプリアスのないビーム型共振器を低コストに提供することができる。

[0100] (実施の形態7)

本実施の形態7によるビーム型共振器を図29～図31を用いて説明する。図29はビーム型共振器の上面模式図、図30は図29のM-M'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図31は図29のN-N'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[0101] 図29～図31に示すように、ビーム型共振器は絶縁基板2上に形成されている。ビーム型共振器は、振動部1、位相回転部11、音響絶縁部10及び固定部8で構成されている。振動部1と音響絶縁部10との間に位相回転部11が物理的に接続されている。音響絶縁部10と絶縁基板2との間に固定部8が物理的に接続されている。

[0102] 振動部1は、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されている。圧電薄膜5は、上部金属膜3と下部金属膜4とに挟まれている。上部金属膜3及び下部金属膜4は、例えば厚さ0.1 μ mのモリブデンを主成分とする薄膜で構成されている。圧電薄膜5は、例えば厚さ1 μ mのC軸配向した窒化アルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。C軸の向きは、絶縁基板2に垂直な方向を向いている。振動部1の幅 W_a は、例えば0.6 μ m、長さ L_a は、例えば100 μ mであり、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4の幅は同じである。

[0103] 位相回転部11は、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されている。下部金属膜4は、例えば厚さ0.1 μ mのモリブデンを主成分とする薄膜で構成されている。圧電薄膜5は、例えば厚さ1 μ mのC軸配向した窒化アルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。C軸の向きは、絶縁基板2に垂直な方向を向いている。位相回転部11の幅 W_p は、例えば0.4 μ m、長さ L_p は、例えば3.5 μ mであり、圧電薄膜5及び下部金

属膜 4 の幅は同じである。

[0104] 音響絶縁部 10 は、上部金属膜 3 及び圧電薄膜 5、または圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。上部金属膜 3 及び下部金属膜 4 の厚さは、例えば $0.1 \mu\text{m}$ のモリブデンを主成分とする薄膜で構成されている。圧電薄膜 5 は、例えば厚さ $1 \mu\text{m}$ の C 軸配向した窒化アルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。C 軸の向きは、絶縁基板 2 に垂直な方向を向いている。音響絶縁部 10 の幅 W_b は、例えば $1.4 \mu\text{m}$ 、長さ L_b は、例えば $10 \mu\text{m}$ であり、上部金属膜 3、圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 の幅は同じである。

[0105] 固定部 8 は、上部金属膜 3、圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4、または圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。図 30 のプラス Y 軸方向側の固定部 8 では、圧電薄膜 5 が上部金属膜 3 と下部金属膜 4 とに挟まれている。上部金属膜 3 及び下部金属膜 4 は、例えば厚さ $0.1 \mu\text{m}$ のモリブデンを主成分とする薄膜で構成されている。圧電薄膜 5 は、例えば厚さ $1 \mu\text{m}$ の C 軸配向した窒化アルミニウムを主成分とする薄膜で構成されている。C 軸の向きは、絶縁基板 2 に垂直な方向を向いている。図 30 のマイナス Y 軸方向側の固定部 8 では、上部金属膜 3 と下部金属膜 4 とが等電位になるように、電氣的に接続されている。

[0106] 絶縁基板 2 は、シリコン単結晶基板及びその表面に形成された厚さ $1 \mu\text{m}$ の酸化珪素膜で構成されている。表面に酸化珪素膜を形成することで、シリコン単結晶基板は、電氣的に絶縁基板として機能する。

[0107] 図 32 は、本実施の形態 7 によるビーム型共振器のインピーダンス特性を示したグラフ図である。電極材料に重いモリブデンを用いたため、 k_2 は 9.73% となり、前述した実施の形態 6 に示した値よりさらに大きい値を示す。また前述した実施の形態 6 と同様に、振動部 1、位相回転部 11、音響絶縁部 10 及び固定部 8 の全ては、同じ膜厚の上部金属膜 3、圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。これにより共振器は 3 回の成膜工程で形成することができて、例えば特許文献 2 に開示されている公知の技術より少

ない工程数で、エネルギー閉じ込め、ピストンモードの励振を実現することができる。この結果、低損失でスプリアスのないビーム型共振器を低コストに提供することができる。

[0108] (実施の形態 8)

本実施の形態 8 によるビーム型共振器を図 3 3 を用いて説明する。本実施の形態 8 による共振器は、前述した実施の形態 7 の変形例である。すなわち、固定部 8 は、空間的には振動部 1 のマイナス X 軸方向に位置しているが、物理的には振動部 1 のプラス Y 軸方向及びマイナス Y 軸方向に間接的に接続されている。これにより、前述した実施の形態 7 と同様の機能を有する。

[0109] (実施の形態 9)

本実施の形態 9 による複数の振動部を有するビーム型共振器を図 3 4 及び図 3 5 を用いて説明する。図 3 4 はビーム型共振器の上面模式図であり、図 3 5 はビーム型共振器のインピーダンス特性を示したグラフ図である。

[0110] 図 3 4 に示すように、2つの振動部 1 及び位相回転部 11 からなる部分が、共通の音響絶縁部 10 に接続されている。位相回転部 11 は前述した実施の形態 7 の位相回転部 11 と同じ形状をなしている。振動部 1 は前述した実施の形態 7 の振動部 1 と同じく、上部金属膜 3、圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。振動部 1 の幅 W_a は、例えば $0.6 \mu m$ 、長さ L_a は、例えば $50 \mu m$ であり、上部金属膜 3、圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 の幅は同じである。

[0111] 音響絶縁部 10 は、前述した実施の形態 7 と同じく、上部金属膜 3 及び圧電薄膜 5、または圧電薄膜 5 及び下部金属膜 4 で構成されている。音響絶縁部 10 の幅 W_b は、例えば $1.9 \mu m$ 、長さ L_b は、例えば $10 \mu m$ であり、上部金属膜 3、下部金属膜 4 及び圧電薄膜 5 の幅は同じである。

[0112] また、図 3 5 に示すように、ビーム型共振器は、前述した実施の形態 7 と類似の電気特性を示す。2つの振動部 1 の振動周波数は音響絶縁部 10 の絶縁周波数範囲に入っているため、音響絶縁部 10 は前述した実施の形態 7 の音響絶縁部 10 と同じ機能を果たす。1つの音響絶縁部 10 に複数の振動部

1が接続された場合でも、発明の効果は変わらない。

[0113] (実施の形態10)

本実施の形態10によるビーム型共振器群を図36を用いて説明する。図36(a)は、前述した実施の形態1に示したビーム型共振器を並列に多数接続したビーム型共振器群の第1例の上面模式図、図36(b)は、前述した実施の形態7に示したビーム型共振器を並列に多数接続したビーム型共振器群の第2例の上面模式図である。以下、前述した実施の形態7に示したビーム型共振器を並列に複数接続したビーム型共振器群について説明する。

[0114] 図36(b)に示すように、1つの下部弾性波反射器6上に、複数のビーム型共振器が形成されている。これらビーム型共振器は1つの固定部8を共有している。1つの固定部8で全てのビーム型共振器は電氣的に接続され、共通の入出力端子13に接続されている。また音響絶縁部10と固定部8とは接続部14を介して物理的に接続されている。複数のビーム型共振器で下部弾性波反射器6を共有するため、チップ上に多くのビーム型共振器を配置することができる。そのためチップを小型にすることができる。

[0115] 共振器等のインピーダンス素子を高周波フィルタ等の高周波電気部品として用いる場合、または他の部品と接続してシステムを形成する場合は、接続先の電気部品と特性インピーダンスを一致させる必要がある。特性インピーダンスは各部品間で自由に設定することはできるが、低すぎると電気抵抗損が大きくなり、また高すぎると電圧振幅が電源電圧を超えてしまうため、一般に50～200Ωに設定される。しかし、ビーム型共振器群を用いることにより、並列接続するビーム型共振器の個数を調節して、任意の特性インピーダンスを実現することができる。

[0116] このように、本実施の形態10によれば、複数のビーム型共振器を1個の下部弾性波反射器6上に配置することにより、任意の特性インピーダンスを設定することが可能である小型の高周波フィルタを提供することができる。

[0117] (実施の形態11)

本実施の形態11による高周波フィルタを図37～図45を用いて説明す

る。

[0118] 図37は、前述した実施の形態10によるビーム型共振器を用いたハイパスフィルタの回路図である。

[0119] 複数のビーム型共振器15が、2個の入出力端子13の間に並列腕に電氣的に接続されている。ビーム型共振器15は弾性エネルギーの漏洩が小さいため、直列共振周波数で抵抗値がほぼゼロになり、また並列共振周波数で抵抗値はほぼ無限大になる。そのため通過特性において、直列共振周波数に減衰極ができ、また並列共振周波数に通過損失最小点ができる。

[0120] 図38は、前述した実施の形態10によるビーム型共振器の全ての振動部の幅を同じに設定したローパスフィルタの通過特性を説明するグラフ図である。ビーム型共振器は k_2 が大きく、弾性エネルギーの漏洩が小さく、またスプリアスがない。これにより、減衰周波数帯域及び通過周波数帯域を広くすることができ、またその間のそれぞれの減衰量が大きく、損失量が小さく、さらにスプリアスのない通過特性を実現することができる。

[0121] 図39は、前述した実施の形態10によるビーム型共振器の各振動部の幅を異なる値（7種類）に設定したローパスフィルタの通過特性を説明するグラフ図である。

[0122] 本発明者らは、TWEモードは、従来FBARとは異なり、X軸方向の振動成分を有することに着目し、直列共振周波数または並列共振周波数と振動部の形状との関係を詳細に検討した。その結果、TWEモードでは、振動部の幅 W を変化させると、それに対応して直列共振周波数及び並列共振周波数が変化することを見出した。このことを利用して、振動部の幅 W の異なる複数のビーム型共振器を並列に接続することで、複数の減衰極を有するローパスフィルタを実現できることを見出した。以下に、図40を用いて詳細に説明する。

[0123] 図40は、直列共振周波数または並列共振周波数と振動部の幅 W 依存性との関係を説明するグラフ図である。振動部の幅 W を増加させると、直列共振周波数及び並列共振周波数は低周波側に移動する。直列共振周波数及び並列

共振周波数は、 $0.7\ \mu\text{m}$ 近傍で間隔が最大になるが、ほぼ同じ傾向で単純に減少する。このことから、ビーム型共振器では、圧電薄膜、上部金属膜及び下部金属膜の膜厚を変えることなく、また新たな膜を付加することなく、振動部の幅 W により直列共振周波数及び並列共振周波数を調整することができる。

[0124] これにより、直列共振周波数及び並列共振周波数の異なる複数のビーム型共振器を、共通のプロセスで一括して製造することが可能になる。前述の図 39 に示したように、減衰周波数帯域及び通過周波数帯域にさらに広く、またその間のそれぞれの減衰量がさらに大きく、損失量がさらに小さい通過特性を実現することができる。

[0125] 図 4 1 は、前述した実施の形態 1 から実施の形態 10 によるビーム型共振器を直列に多数接続したローパスフィルタの回路図である。複数のビーム型共振器 15 が、2 個の入出力端子 13 の間に直列腕に電氣的に接続されている。そのため通過特性において、直列共振周波数に通過損失最小点ができ、また並列共振周波数に減衰極ができる。

[0126] 図 4 2 は、前述した実施の形態 10 によるビーム型共振器の全ての振動部の幅を同じに設定したローパスフィルタの通過特性を説明するグラフ図である。ビーム型共振器は k_2 が大きく、弾性エネルギーの漏洩が小さく、またスプリアスがない。これにより、減衰周波数帯域及び通過周波数帯域を広くすることができ、またその間のそれぞれの減衰量が大きく、損失量が小さく、さらにスプリアスのない通過特性を実現することができる。

[0127] 図 4 3 は、前述した実施の形態 10 によるビーム型共振器の各振動部の幅を異なる値（7 種類）に設定したローパスフィルタの通過特性を説明するグラフ図である。減衰周波数帯域及び通過周波数帯域をさらに広く、またその間のそれぞれの減衰量がさらに大きく、損失量がさらに小さい通過特性を実現することができる。

[0128] 図 4 4 は、前述した実施の形態 1 から実施の形態 10 によるビーム型共振器を用いたバンドパスフィルタの回路図であり、図 4 5 は、その通過特性を

説明するグラフ図である。２個の入出力端子１３の間に直列腕に１個のビーム型共振器１５が接続され、並列腕に１個のビーム型共振器１５が電氣的に接続されている。直列腕の振動部は並列腕の振動部より幅を狭く設定されている。圧電薄膜、上部金属膜及び下部金属膜の膜厚は同じに設定されている。本実施の形態１１によると、直列共振周波数の異なる複数のビーム型共振器を、共通のプロセスで一括して製造することができる。すなわち、電気特性の優れた高周波フィルタを低コストに提供することができる。

[0129] なお、前述の図４４では、ガンマ型のバンドパスフィルタに適用した場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば多段に接続したラダー型フィルタ、平衡型フィルタまたは分波器において、本実施の形態１１を用いることができ、同様の効果が得られることはいうまでもない。

[0130] （実施の形態１２）

本実施の形態１２によるビーム型共振器を図４６～図４８を用いて説明する。図４６はビーム型共振器の上面模式図、図４７は図４６の○－○'線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図４８は図４６のＰ領域の上面模式図である。

[0131] 図４６～図４８に示すように、絶縁基板２上に従来のＦＢＡＲ１６が形成されている。ＦＢＡＲ１６は、圧電薄膜５と、この圧電薄膜５を挟んで存在する一対の上部金属膜３及び下部金属膜４で構成されている。

[0132] ＦＢＡＲ１６のＸ軸方向及びＹ軸方向の寸法はＺ軸方向の寸法より充分大きく設定されている。そのためＦＢＡＲ１６の構造がフィルム状（共振部分のＸＹＺ軸方向の二方向（Ｘ軸方向及びＹ軸方向）が充分長い構造）であり、面構造をなしている。

[0133] ＦＢＡＲ１６は、プラスＸ軸方向及びマイナスＸ軸方向、ならびにプラスＹ軸方向及びマイナスＹ軸方向の両端部に、位相回転部１１及び音響絶縁部１０を介して固定部８と物理的に接続されている。

[0134] 位相回転部１１は、上部金属膜３及び圧電薄膜５、または圧電薄膜５及び下部金属膜４で構成されている。また位相回転部１１の幅 W_p は、例えば１

2 μm に設定され、長さ L_p は、例えば3.5 μm に設定されている。ここでFBAR 16の固有共振周波数とは、FBAR 16の直列共振周波数である。

[0135] 本発明者らは、TWEモードは、従来FBARとは異なり、位相回転部 11 及び音響絶縁部 10 の幅を変化させるとそれに対応して周波数 f_d 及び周波数 f_b を大きく変化させられること、ならびにFBAR 16 より広い絶縁周波数帯域を有することに着目し、FBAR 16 の厚さ振動モードをTWEモードに変換する方法を詳細に検討した。その結果、位相回転部 11 の固有共振周波数をFBAR 16 の固有共振周波数の1倍より大きく、1.05倍より小さく設定することにより、厚さ振動モードはTWEモードにモード変換することで位相回転部 11 に進入することができることを見出した。また音響絶縁部 10 の固有共振周波数をFBAR 16 の固有共振周波数より低く設定することにより、位相回転部 11 中を伝搬するTWEモードは、音響絶縁部 10 に進入できないことを見出した。

[0136] FBAR 16 の固有共振周波数は、前述の図9の周波数 f_b で示すように、TWEモードの固有共振周波数より10%程度高い。位相回転部 11 の固有共振周波数をFBAR 16 の固有共振周波数より0~5%高くするため、本実施の形態12では、位相回転部 11 は上部金属膜3及び圧電薄膜5、または圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成している。さらに位相回転部 11 で主振動モードをTWEモードにする必要がある。

[0137] 音響絶縁部 10 の固有共振周波数をFBAR 16 の固有共振周波数より低くするには、音響絶縁部 10 での主振動モードをTWEモードにすればよい。本実施の形態12では、位相回転部 11 は上部金属膜3及び圧電薄膜5、または圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されているが、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成しても良い。この場合、音響絶縁部 10 でTWEモードの励振を防ぐため、上部金属膜3と下部金属膜4とは電氣的に短絡されていることが望ましい。

[0138] 図49は、本実施の形態12によるビーム型共振器の音響絶縁部の弾性モ

ードの幅 W 依存性を説明したグラフ図である。音響絶縁部には TWE モードの他に、スプリアスとして観測される高次の TWE モードが存在する。高次の TWE モードも音響伝搬周波数帯を有するため、音響絶縁部を安定に絶縁層として機能させるには、高次の TWE モードを排除することが望ましい。

[0139] このように、本実施の形態 12 によれば、 W/h を 2 より小さくすることで、いかなる幅 W に対しても、 TWE モードの固有共振周波数と高次の TWE モードの固有共振周波数とは一致することはない。すなわち、 W/h を 2 より小さくすることで、音響絶縁部は、安定した音響絶縁部として機能させることができる。位相回転部に関しても同様に、 W/h を 2 より小さくすることで、安定した位相回転部として機能させることができる。

[0140] (実施の形態 13)

本実施の形態 13 によるビーム型共振器を図 50～図 52 を用いて説明する。図 50 はビーム型共振器の上面模式図、図 51 は図 50 の $Q-Q'$ 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図、図 52 は図 50 の $R-R'$ 線に沿ったビーム型共振器の断面模式図である。

[0141] 図 50～図 52 に示すように、複数のビーム型共振器が平行に配置してある。各ビーム型共振器は、電圧の印加方向は隣り合うビーム型共振器とは逆向きに配置されている。隣り合うビーム型共振器の中心間距離を P 、ビーム型共振器の振動部 1 の固有共振周波数を f_0 、絶縁基板 2 の弾性定数を C_{ij} 、密度を p としたとき、 $P < (f_0 \times (C_{ij}/p)^{1/2})/2$ の式に設定されているので、絶縁基板 2 が下部弾性波反射器 6 の機能を果たしている。音響絶縁部 10 は絶縁基板 2 の表面に形成されているので、音響絶縁部 10 が固定部 8 の機能も果たしている。

[0142] このように、本実施の形態 13 によれば、絶縁基板 2 が下部弾性波反射器 6 の機能を果たしているため、下部弾性波反射器 6 の製造プロセスを省くことができ、低コストにビーム型共振器及びそれを用いた高周波フィルタを提供することができる。

[0143] (実施の形態 14)

本実施の形態 14 による高周波デバイスを図 5 3 及び図 5 4 を用いて説明する。図 5 3 は高周波デバイスの上面模式図、図 5 4 は高周波デバイスの等価回路図である。

[0144] 図 5 3 及び図 5 4 に示すように、表面に酸化珪素膜を有するシリコンチップ上に $100\mu\text{m}$ 角の 4 個の入出力端子 13 と 4 個の接地端子 17 と複数のビーム型共振器 15 とが配置されている。図 5 3 では電気接続線を省略しているが、それぞれは図 5 4 に示す等価回路に従い、ビーム型共振器 15 はラダー型に電氣的に接続されている。図 5 3 に示すビーム型共振器群は、前述した実施の形態 1 から実施の形態 10 に示したビーム型共振器で構成されている。そのため、本実施の形態 14 による高周波デバイスは、多数のビーム型共振器 15 で構成されている。各ビーム型共振器 15 は、必ずしも向きをそろえる必要はなく、電氣的接続の容易な向きに配置することができる。また各ビーム型共振器 15 は、弾性エネルギーの漏洩が無いいため、各ビーム型共振器 15 を近接して配置することができる。その結果、小さいチップに多くのビーム型共振器 15 を配置することができる。すなわち、高周波デバイスのチップサイズを小さくすることができるので、小型で低コストの高周波デバイスを提供することができる。

[0145] 以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

[0146] 例えば前述した実施の形態では、圧電薄膜及び電極の膜厚は、特定の厚さを例に説明している。しかし、これらの膜厚が変わると動作周波数または固有共振周波数はシフトするが、周波数 f_d 、 f_b 及び f_t の相対的な大小関係は変わらない。そのため本発明の効果は膜厚に限定されることは無い。また幅 W 、長さ L 及び厚さ h は相対的な値に意味があるため、本発明の効果は特定の寸法に限定されることは無い。

[0147] また、前述した実施の形態 1 から実施の形態 10 では、1 組のホット電極とグランド電極で構成されているシングルモード共振器を例に説明している

が、複数のホット電極で構成されているマルチモード共振器でも同様の効果があることはいうまでもない。代表的なマルチモード共振器は、例えば上部電極の中心近傍で上部電極にスリットを入れることにより実現することができる。また、近接させた2個のビーム型共振器の振動部1の一部を圧電薄膜5または上部金属膜3または下部金属膜4で接続することで実現することができる。

[0148] また、前述した実施の形態1から実施の形態10では、振動部1、固定部8、音響絶縁部10及び位相回転部11は、上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4で構成されているが、他の物質が付加されていても同様の効果があることはいうまでもない。例えば振動部1の上部金属膜3と圧電薄膜5の間、圧電薄膜5と下部金属膜4との間、または上部金属膜3の上、または下部金属膜4の下に酸化珪素膜を付加しても良い。この場合、温度安定性の向上の効果がある。また下部金属膜4の下に絶縁膜または異種金属膜を付加しても良い。この場合、下部弾性波反射器6としての空洞を安定して形成することができ、さらに上部金属膜3、圧電薄膜5及び下部金属膜4のそれぞれの膜質を向上させることができるため、ビーム型共振器の損失をいっそう低減することができる。

[0149] また、前述した実施の形態では、音響反射器として空気を用いた。これはTWEモードに対して固体と空気の音響インピーダンスの差が大きく、その界面でほぼ100%の反射係数を示すため、最も優れた音響反射器として機能する。空気の代わりに他の気体または真空を用いても同じ効果がある。一方音響反射器として非特許文献1に開示されているブラッグ反射器を用いた場合、空気を用いた場合より若干 k_2 は小さくなり、また製造コストは上昇する。しかし、従来のSMR型の特徴である頑丈性を有し、かつ、SMR型より工程数が少なく、 k_2 が大きく、弾性エネルギーを共振部分に閉じ込め、スプリアス共振を励振せず、共振周波数の微調整を可能にするビーム型共振器及びそれを用いた高周波フィルタを提供することが可能となる。

産業上の利用可能性

[0150] 本発明は、共振周波数が10MHz以上の高周波で、かつ、共振部が薄膜で形成されている圧電弾性波共振器及びそれを用いた弾性波装置に適用することができる。

符号の説明

- [0151]
- 1 振動部
 - 2 絶縁基板
 - 3 上部金属膜（上部電極）
 - 4 下部金属膜（下部電極）
 - 5 圧電薄膜
 - 6 下部弾性波反射器（下部音響反射器）
 - 7 上部弾性波反射器（上部音響反射器）
 - 8 固定部
 - 9 固定面
 - 10 音響絶縁部
 - 11 位相回転部
 - 12 側部弾性波反射器（側部音響反射器）
 - 13 入出力端子
 - 14 接続部
 - 15 ビーム型共振器
 - 16 FBAR
 - 17 接地端子

請求の範囲

- [請求項1] 圧電薄膜と、前記圧電薄膜の一部を挟んで存在する一対の上部金属膜及び下部金属膜とからなる積層構造の振動部を含む薄膜圧電弾性波共振器であって、
- 前記振動部は、前記振動部の厚さ方向に直交する面内で、第1方向に沿った第1寸法を有し、前記第1方向と直交する第2方向に沿った第2寸法を有し、前記第1寸法が前記第2寸法よりも小さく、かつ、前記第1寸法が前記振動部の厚さ方向に沿った第3寸法よりも小さく、
- 前記振動部の上面、下面、及び側面にそれぞれ弾性波反射器を備え、前記振動部の前記第2方向の一端に前記圧電薄膜と同一膜を主成分とする第1固定部を備え、前記振動部の前記第2方向の他の一端に前記圧電薄膜と同一膜を主成分とする第2固定部とを備えていることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。
- [請求項2] 請求項1記載の薄膜圧電弾性波共振器において、前記第1寸法／前記第3寸法は、0.1から1.05であることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。
- [請求項3] 請求項1記載の薄膜圧電弾性波共振器において、前記第1寸法／前記第3寸法は、0.2から0.9であることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。
- [請求項4] 請求項1記載の薄膜圧電弾性波共振器において、前記第1寸法／前記第3寸法は、0.3から0.88であることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。
- [請求項5] 請求項1記載の薄膜圧電弾性波共振器において、前記弾性波反射器は気体または真空であることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。
- [請求項6] 請求項1記載の薄膜圧電弾性波共振器において、前記圧電薄膜は、窒化アルミニウム、酸化亜鉛、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸カリウム、五酸化タンタル、チタン酸鉛またはチタン酸

バリウムからなることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項7] 請求項1記載の薄膜圧電弾性波共振器において、前記上部金属膜及び前記下部金属膜は、アルミニウム、銅、白金、ルテニウム、モリブデン、タングステンまたは金からなることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項8] 請求項1記載の薄膜圧電弾性波共振器において、
前記振動部の前記第2方向の一端と前記第1固定部との間に第1音響絶縁部が物理的に接続され、前記振動部の前記第2方向の他の一端と前記第2固定部との間に第2音響絶縁部が物理的に接続されており、

前記第1及び第2音響絶縁部は、前記上部金属膜、前記圧電薄膜及び前記下部金属膜を積層した構成であり、前記第1及び第2音響絶縁部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第1及び第2音響絶縁部の前記第1方向に沿った第4寸法が、前記振動部の前記第1方向に沿った前記第1寸法よりも大きいことを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項9] 請求項1記載の薄膜圧電弾性波共振器において、
前記振動部の前記第2方向の一端と前記第1固定部との間に第1音響絶縁部が物理的に接続され、前記振動部の前記第2方向の他の一端と前記第2固定部との間に第2音響絶縁部が物理的に接続されており、

前記第1音響絶縁部は、前記上部金属膜及び前記圧電薄膜を積層した構成であり、前記第1音響絶縁部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第2音響絶縁部は、前記圧電薄膜及び前記下部金属膜を積層した構成であり、前記第2音響絶縁部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第1及び第2音響絶縁部の前記第1方向に沿った第4寸法が、

前記振動部の前記第 1 方向に沿った前記第 1 寸法よりも大きいことを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項10]

請求項 1 記載の薄膜圧電弾性波共振器において、

前記振動部と前記第 1 固定部との間に第 1 位相回転部が物理的に接続され、前記振動部と前記第 2 固定部との間に第 2 位相回転部が物理的に接続されており、

前記第 1 及び第 2 位相回転部は、前記上部金属膜、前記圧電薄膜及び前記下部金属膜を積層した構成であり、前記第 1 及び第 2 位相回転部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第 1 及び第 2 位相回転部の前記第 1 方向に沿った第 5 寸法が、前記振動部の前記第 1 方向に沿った前記第 1 寸法よりも小さいことを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項11]

請求項 1 記載の薄膜圧電弾性波共振器において、

前記振動部と前記第 1 固定部との間に第 1 位相回転部が物理的に接続され、前記振動部と前記第 2 固定部との間に第 2 位相回転部が物理的に接続されており、

前記第 1 位相回転部は、前記上部金属膜及び前記圧電薄膜を積層した構成であり、前記第 1 位相回転部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第 2 位相回転部は、前記圧電薄膜及び前記下部金属膜を積層した構成であり、前記第 2 位相回転部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第 1 及び第 2 位相回転部の前記第 1 方向に沿った第 5 寸法が、前記振動部の前記第 1 方向に沿った前記第 1 寸法よりも大きいことを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項12]

請求項 1 記載の薄膜圧電弾性波共振器において、

前記振動部の前記第 2 方向の一端と前記第 1 固定部との間に第 1 音響絶縁部が物理的に接続され、前記振動部の前記第 2 方向の他の一端

と前記第 2 固定部との間に第 2 音響絶縁部が物理的に接続されており、

前記第 1 及び第 2 音響絶縁部は、前記上部金属膜、前記圧電薄膜及び前記下部金属膜を積層した構成であり、前記第 1 及び第 2 音響絶縁部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記振動部と前記第 1 音響絶縁部との間に第 1 位相回転部が物理的に接続され、前記振動部と前記第 2 音響絶縁部との間に第 2 位相回転部が物理的に接続されており、

前記第 1 位相回転部は、前記上部金属膜及び前記圧電薄膜を積層した構成であり、前記第 1 位相回転部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第 2 位相回転部は、前記圧電薄膜及び前記下部金属膜を積層した構成であり、前記第 2 位相回転部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第 1 及び第 2 音響絶縁部の前記第 1 方向に沿った第 4 寸法が、前記振動部の前記第 1 方向に沿った前記第 1 寸法よりも大きく、

前記第 1 及び第 2 位相回転部の前記第 1 方向に沿った第 5 寸法が、前記振動部の前記第 1 方向に沿った前記第 1 寸法よりも大きいことを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項 13]

請求項 1 記載の薄膜圧電弾性波共振器において、

前記振動部の前記第 2 方向の一端と前記第 1 固定部との間に第 1 音響絶縁部が物理的に接続され、前記振動部の前記第 2 方向の他の一端と前記第 2 固定部との間に第 2 音響絶縁部が物理的に接続されており、

前記第 1 音響絶縁部は、前記上部金属膜及び前記圧電薄膜を積層した構成であり、前記第 1 音響絶縁部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第 2 音響絶縁部は、前記圧電薄膜及び前記下部金属膜を積層し

た構成であり、前記第 2 音響絶縁部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記振動部と前記第 1 音響絶縁部との間に第 1 位相回転部が物理的に接続され、前記振動部と前記第 2 音響絶縁部との間に第 2 位相回転部が物理的に接続されており、

前記第 1 及び第 2 位相回転部は、前記上部金属膜、前記圧電薄膜及び前記下部金属膜を積層した構成であり、前記第 1 及び第 2 位相回転部の上面、下面、及び側面にそれぞれ前記弾性波反射器を備え、

前記第 1 及び第 2 音響絶縁部の前記第 1 方向に沿った第 4 寸法が、前記振動部の前記第 1 方向に沿った前記第 1 寸法よりも大きく、

前記第 1 及び第 2 位相回転部の前記第 1 方向に沿った第 5 寸法が、前記振動部の前記第 1 方向に沿った前記第 1 寸法よりも小さいことを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項14] 請求項 10～13 のいずれか 1 項に記載の薄膜圧電弾性波共振器において、前記第 1 及び第 2 位相回転部の固有共振周波数が前記振動部の固有共振周波数の 1 倍より大きく、1.05 倍よりも小さいことを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項15] 圧電薄膜と、前記圧電薄膜の一部を挟んで存在する一対の上部金属膜及び下部金属膜とからなる積層構造の振動部を含む薄膜圧電弾性波共振器であって、

前記振動部は、前記振動部の厚さ方向に直交する面内で、第 1 方向に沿った第 1 寸法を有し、前記第 1 方向と直交する第 2 方向に沿った第 2 寸法を有し、前記第 1 寸法が前記第 2 寸法よりも小さく、かつ、前記第 1 寸法が前記振動部の厚さ方向に沿った第 3 寸法よりも小さく、

前記振動部の上面、下面、及び側面にそれぞれ弾性波反射器を備え、前記振動部の前記第 2 方向の一端に前記圧電薄膜と同一膜を主成分とする第 1 固定部を備え、前記振動部の前記第 2 方向の他の一端に前

記圧電薄膜と同一膜を主成分とする第2固定部とを備えており、

前記振動部の上面及び側面に設けられた前記弾性波反射器は気体または真空であり、前記振動部の下面に設けられた前記弾性波反射器は絶縁基板であることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項16] 請求項15記載の薄膜圧電弾性波共振器において、複数の前記振動部が前記第1方向に所定の間隔を設けて前記絶縁基板上に配置されており、隣接する2つの中心間距離を P 、前記振動部の固有共振周波数を f_0 、前記絶縁基板の弾性定数を C_{ij} 、密度を ρ とすると、前記中心間距離 P は、 $P < (f_0 \times (C_{ij} / \rho)^{1/2}) / 2$ に設定されることを特徴とする薄膜圧電弾性波共振器。

[請求項17] 入力端子と、出力端子と、前記入力端子と前記出力端子との間に複数の薄膜圧電弾性波共振器が所定の間隔を設けて並列腕または直列腕に電氣的に接続された高周波フィルタであって、

前記薄膜圧電弾性波共振器は、圧電薄膜と、前記圧電薄膜の一部を挟んで存在する一対の上部金属膜及び下部金属膜とからなる積層構造の振動部を含み、

前記振動部は、前記振動部の厚さ方向に直交する面内で、第1方向に沿った第1寸法を有し、前記第1方向と直交する第2方向に沿った第2寸法を有し、前記第1寸法が前記第2寸法よりも小さく、かつ、前記第1寸法が前記振動部の厚さ方向に沿った第3寸法よりも小さく、

前記振動部の上面、下面、及び側面にそれぞれ弾性波反射器を備え、前記振動部の前記第2方向の一端に前記圧電薄膜と同一膜を主成分とする第1固定部を備え、前記振動部の前記第2方向の他の一端に前記圧電薄膜と同一膜を主成分とする第2固定部とを備えていることを特徴とする高周波フィルタ。

[請求項18] 請求項17記載の高周波フィルタにおいて、複数の前記薄膜圧電弾性波共振器のうち、少なくとも1つの前記薄膜圧電弾性波共振器が備

える前記振動部の前記第 1 方向の前記第 1 寸法が、他の前記薄膜圧電弾性波共振器が備える前記振動部の前記第 1 方向の前記第 1 寸法と異なる値に設定されていることを特徴とする高周波フィルタ。

[請求項19]

入力端子と、出力端子と、前記入力端子と前記出力端子との間に直列腕に電氣的に接続された第 1 薄膜圧電弾性波共振器及び並列腕に電氣的に接続された第 2 薄膜圧電弾性波共振器とから構成される高周波フィルタであって、

前記第 1 及び第 2 薄膜圧電弾性波共振器は、圧電薄膜と、前記圧電薄膜の一部を挟んで存在する一対の上部金属膜及び下部金属膜とからなる積層構造の振動部を含み、

前記振動部は、前記振動部の厚さ方向に直交する面内で、第 1 方向に沿った第 1 寸法を有し、前記第 1 方向と直交する第 2 方向に沿った第 2 寸法を有し、前記第 1 寸法が前記第 2 寸法よりも小さく、かつ、前記第 1 寸法が前記振動部の厚さ方向に沿った第 3 寸法よりも小さく、

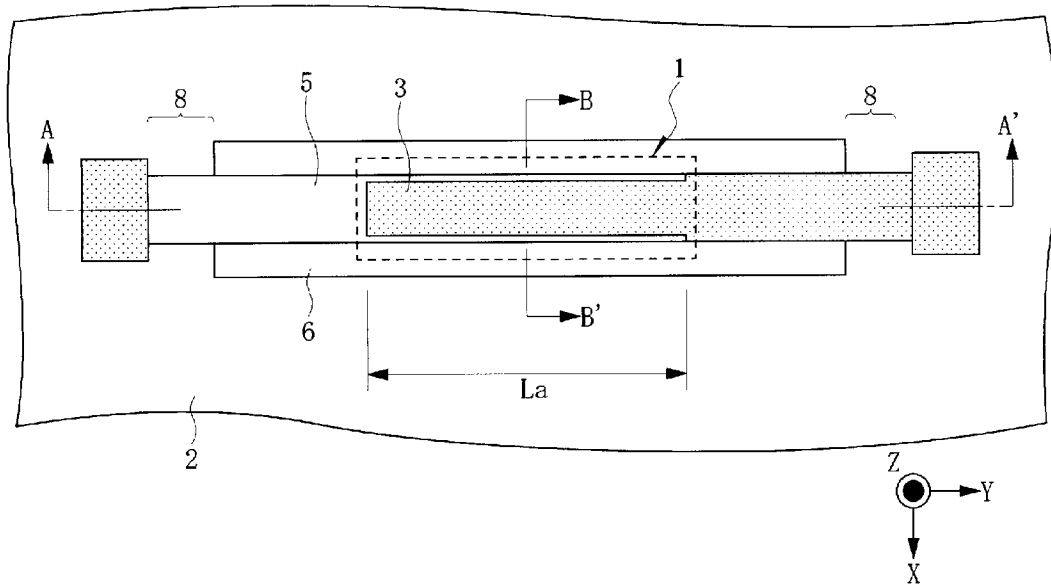
前記振動部の上面、下面、及び側面にそれぞれ弾性波反射器を備え、前記振動部の前記第 2 方向の一端に前記圧電薄膜と同一膜を主成分とする第 1 固定部を備え、前記振動部の前記第 2 方向の他の一端に前記圧電薄膜と同一膜を主成分とする第 2 固定部とを備えていることを特徴とする高周波フィルタ。

[請求項20]

請求項 19 記載の高周波フィルタにおいて、前記第 1 薄膜圧電弾性波共振器が備える前記振動部の前記第 1 方向の前記第 1 寸法が、前記第 2 薄膜圧電弾性波共振器が備える前記振動部の前記第 1 方向の前記第 1 寸法よりも小さいことを特徴とする高周波フィルタ。

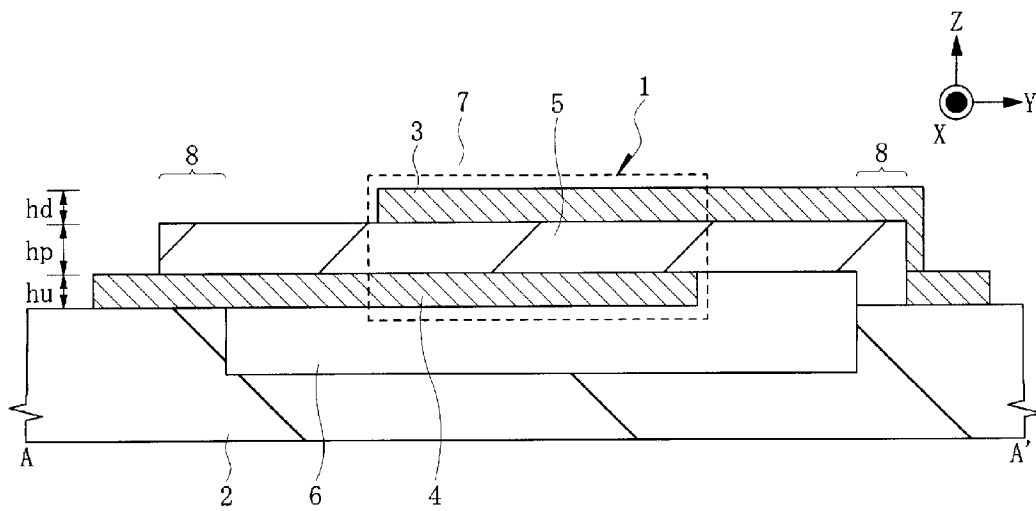
[図1]

図 1

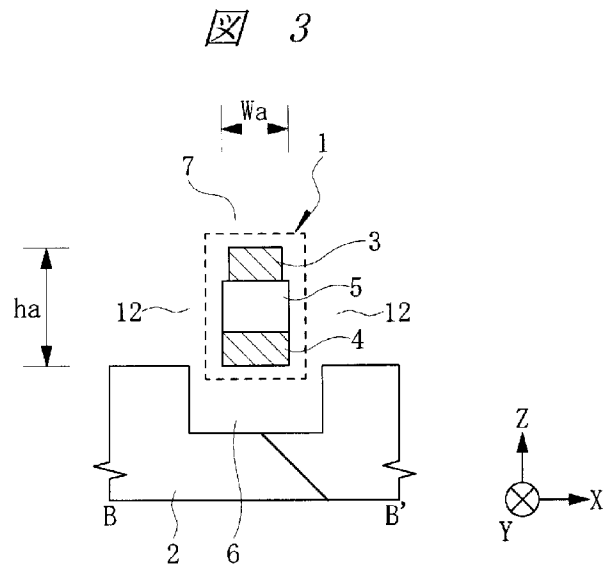


[図2]

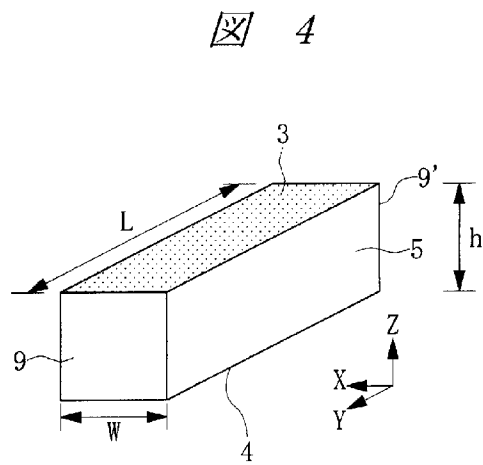
図 2



[図3]

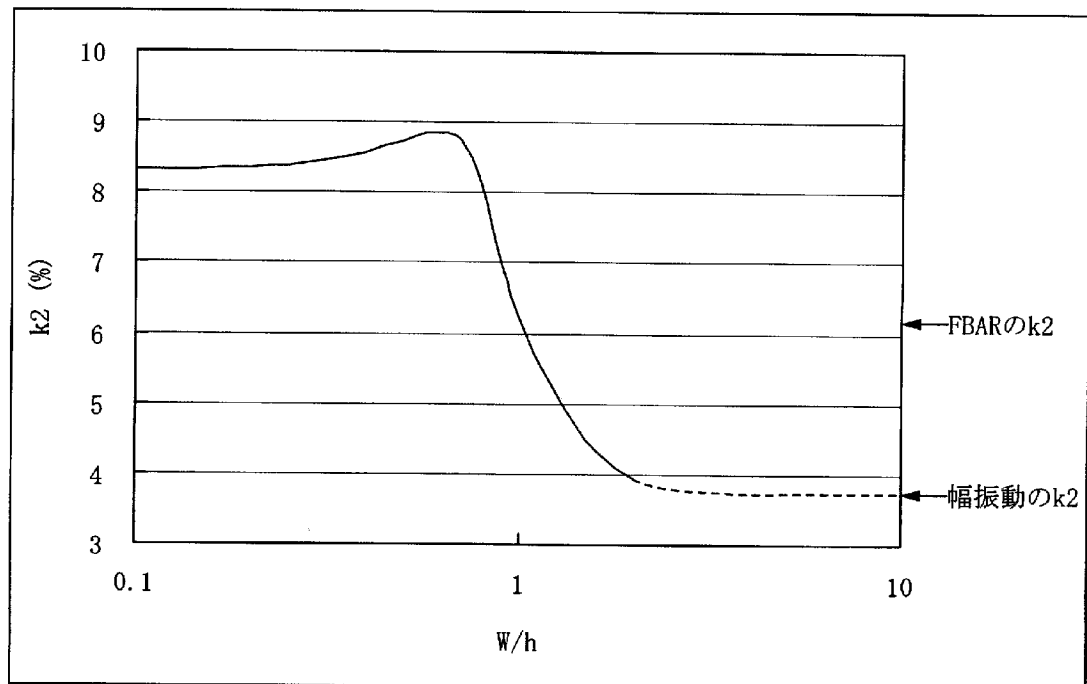


[図4]



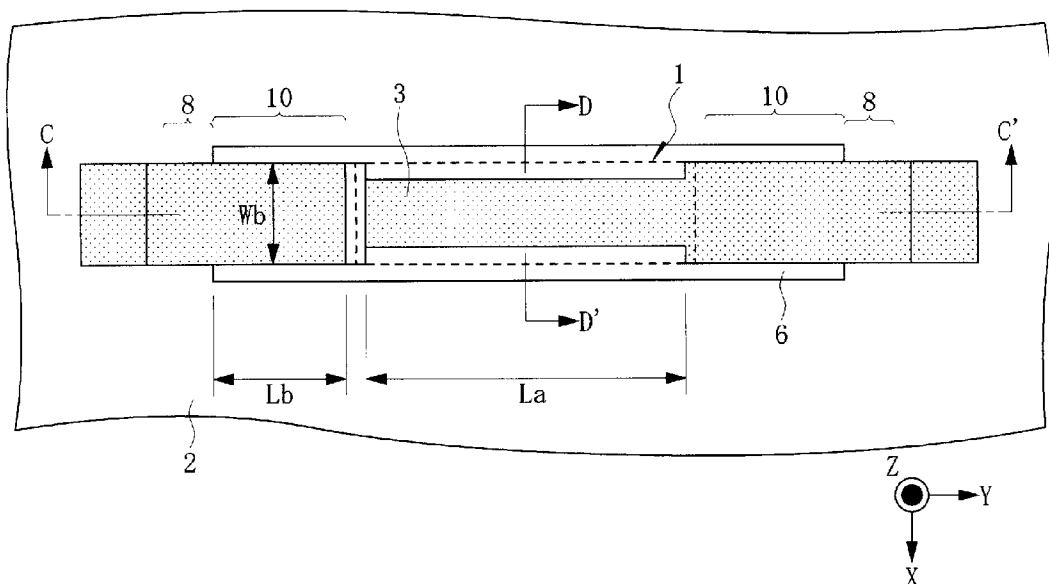
[図5]

図 5

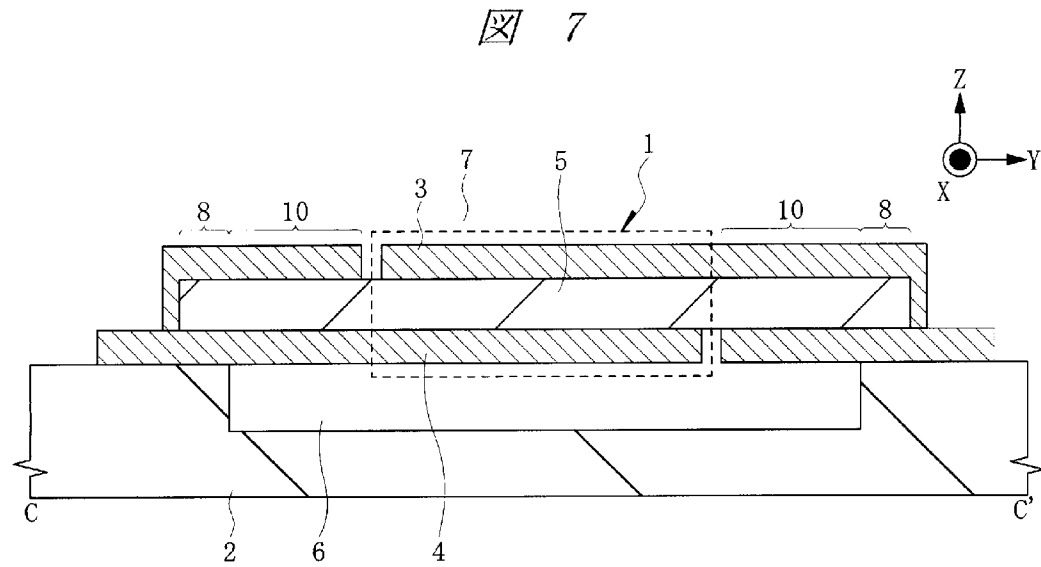


[図6]

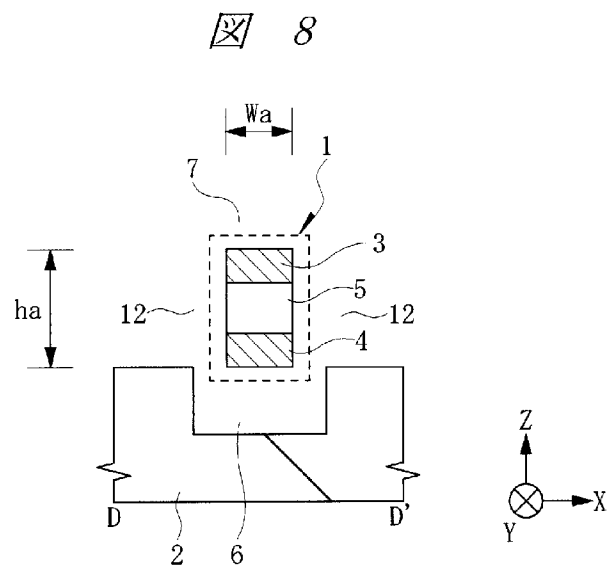
図 6



[図7]

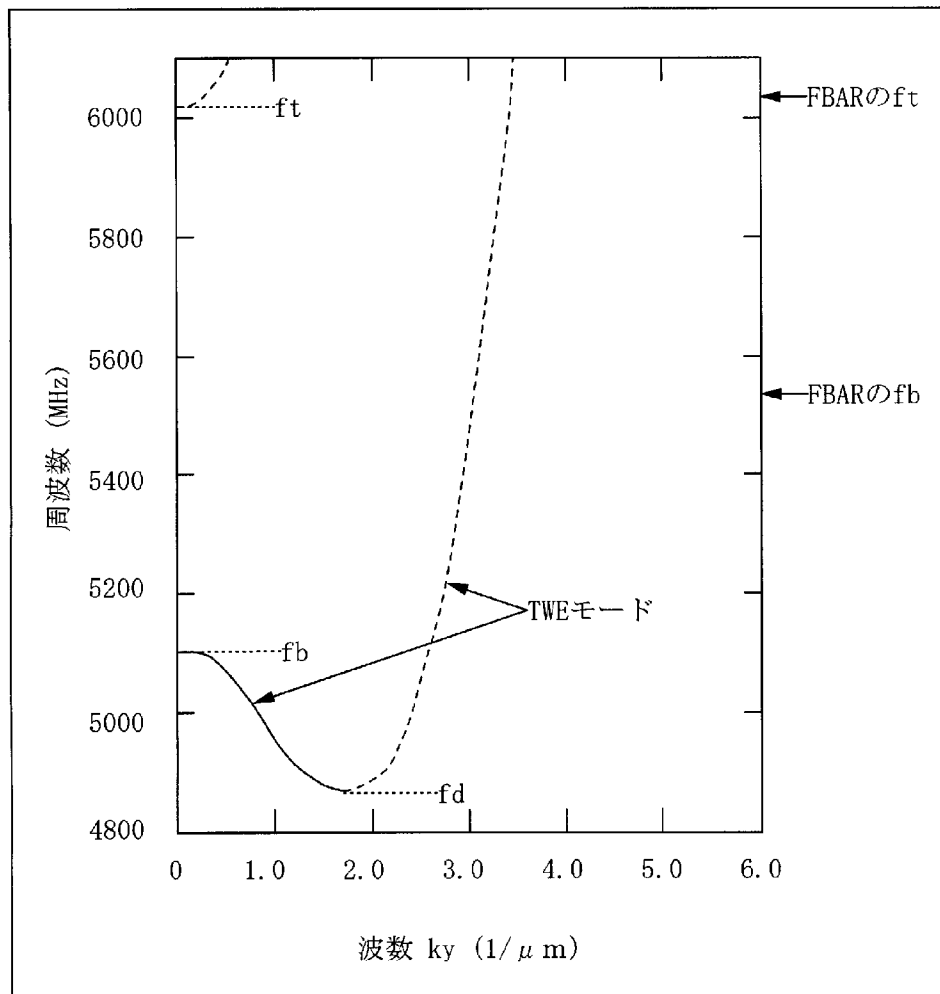


[図8]



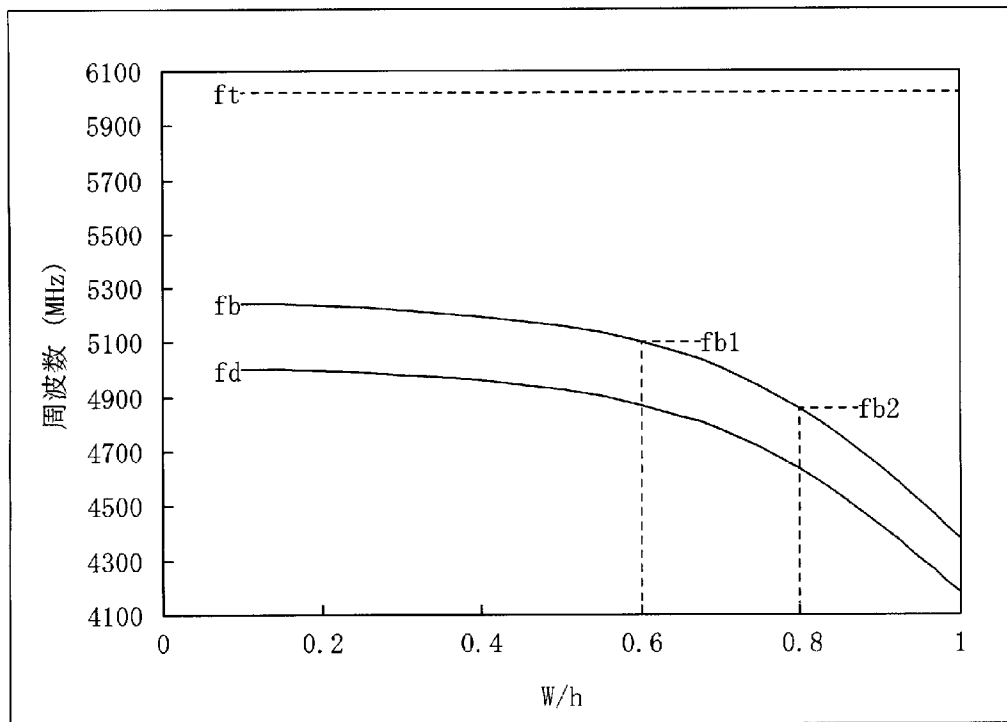
[図9]

図 9



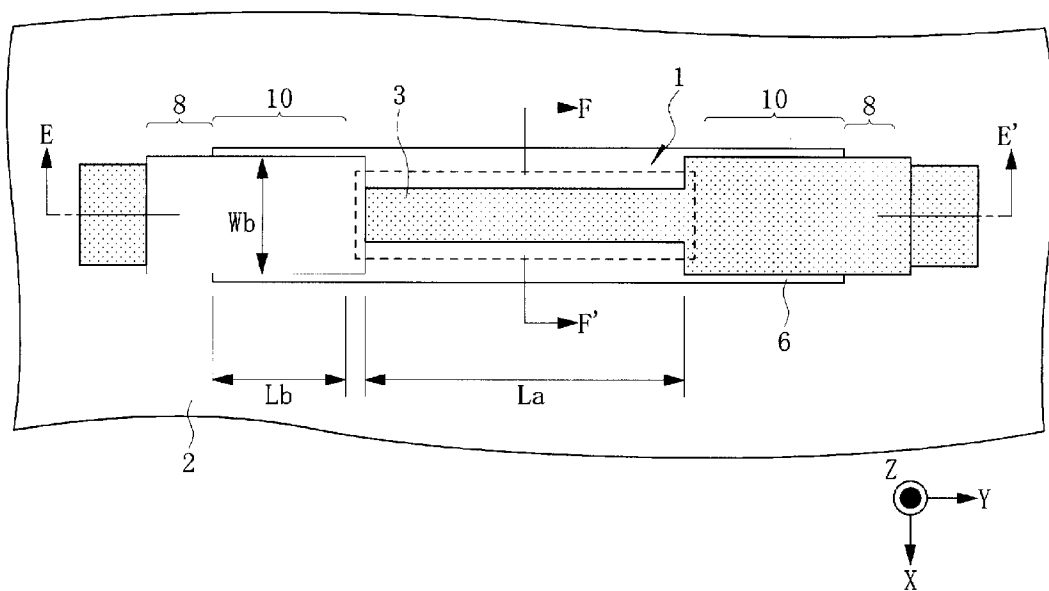
[図10]

図 10



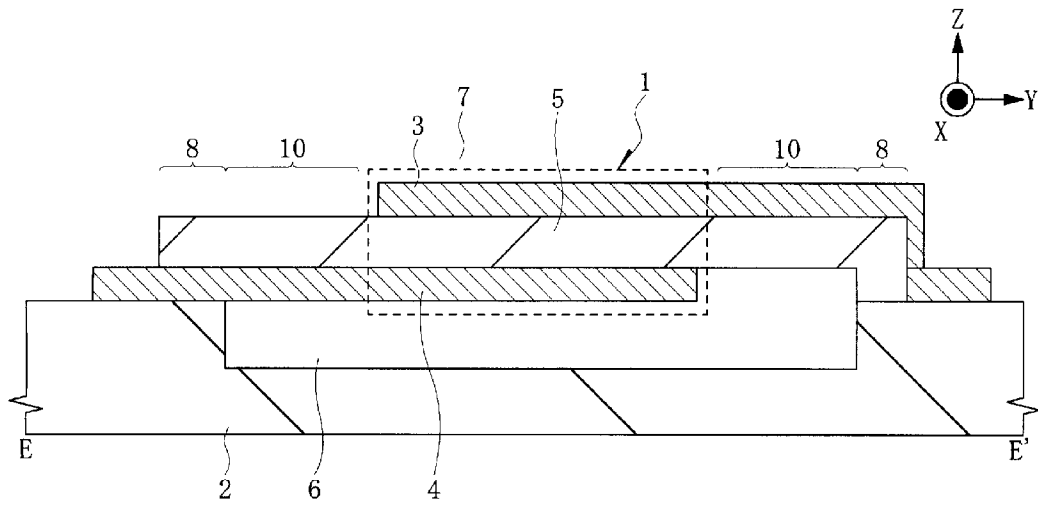
[図11]

図 11



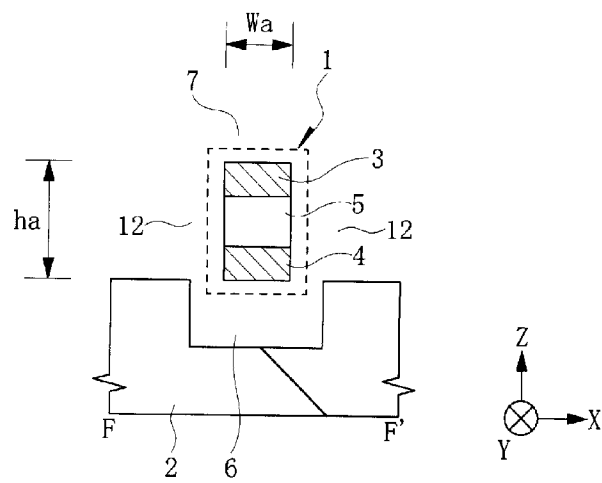
[図12]

図 12



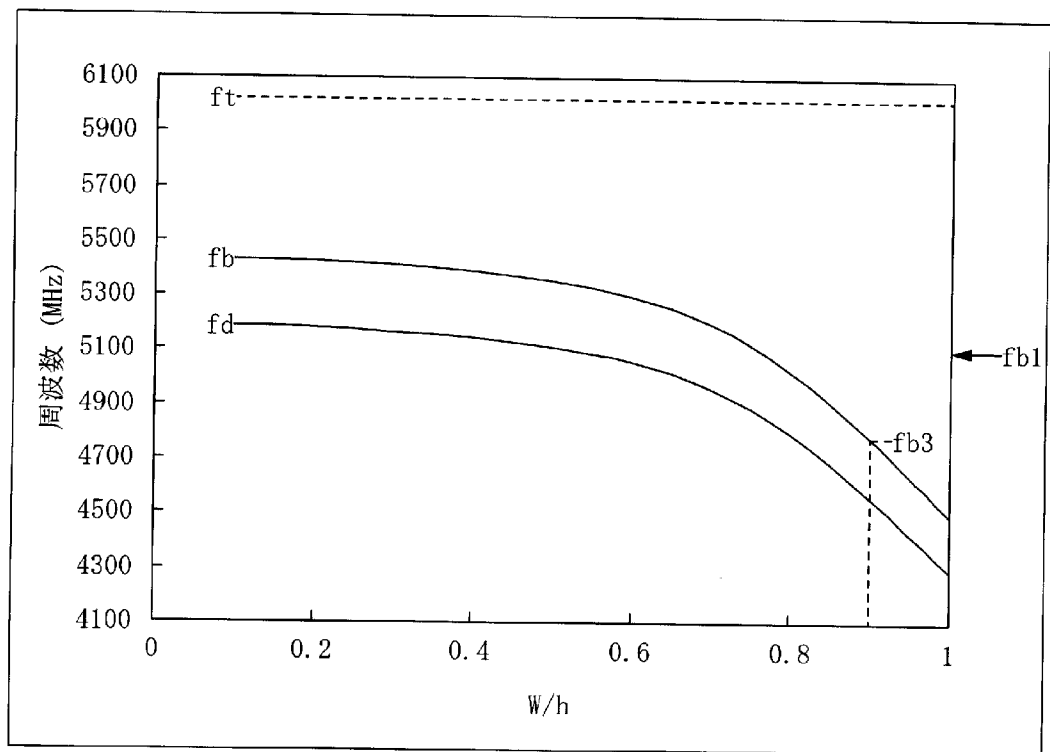
[図13]

図 13



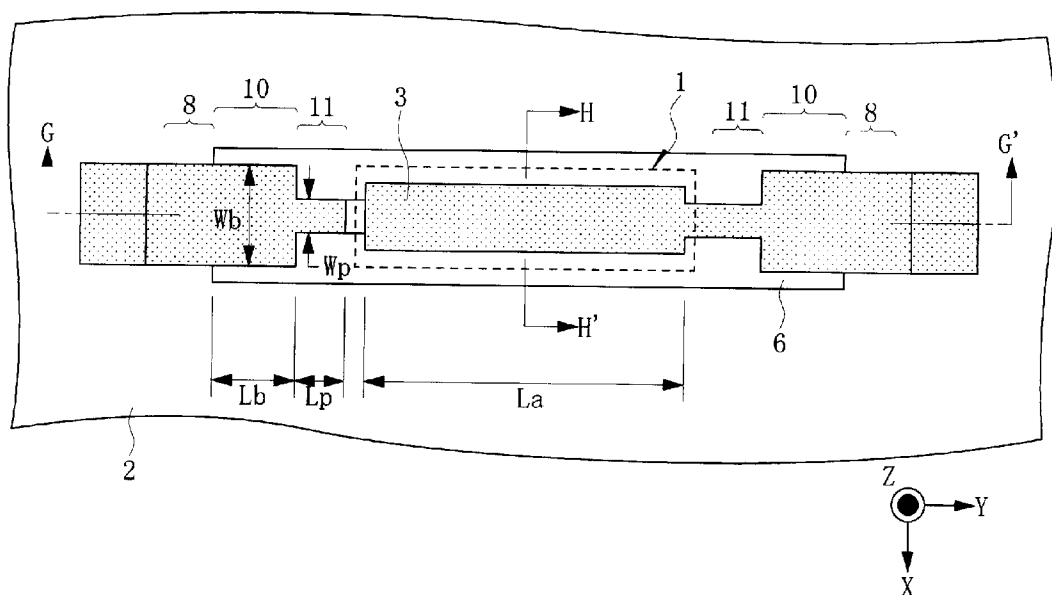
[図14]

図 14



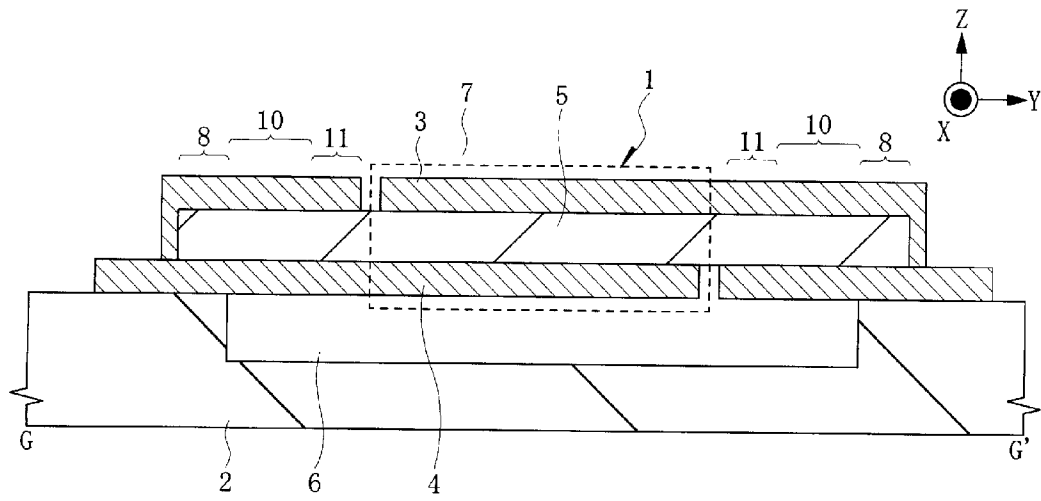
[図15]

図 15



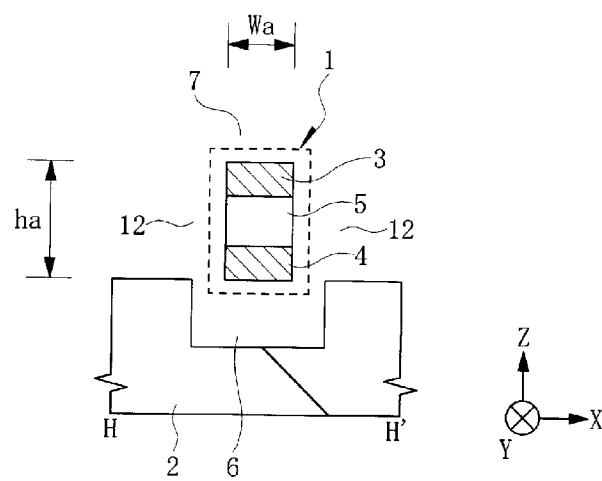
[図16]

図 16



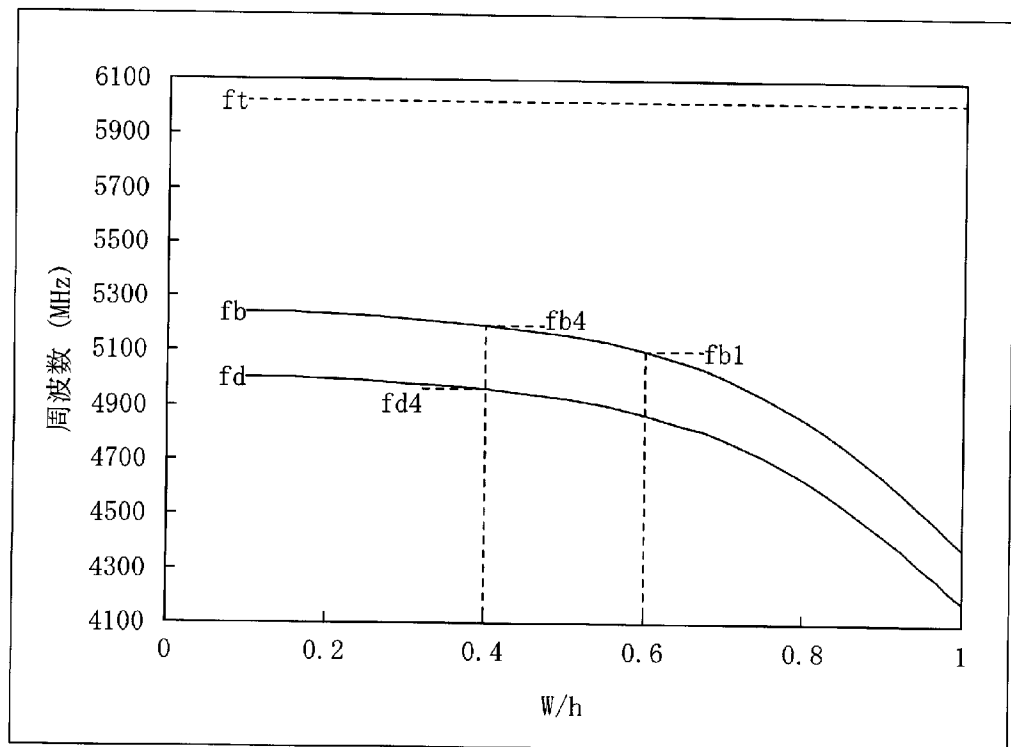
[図17]

図 17



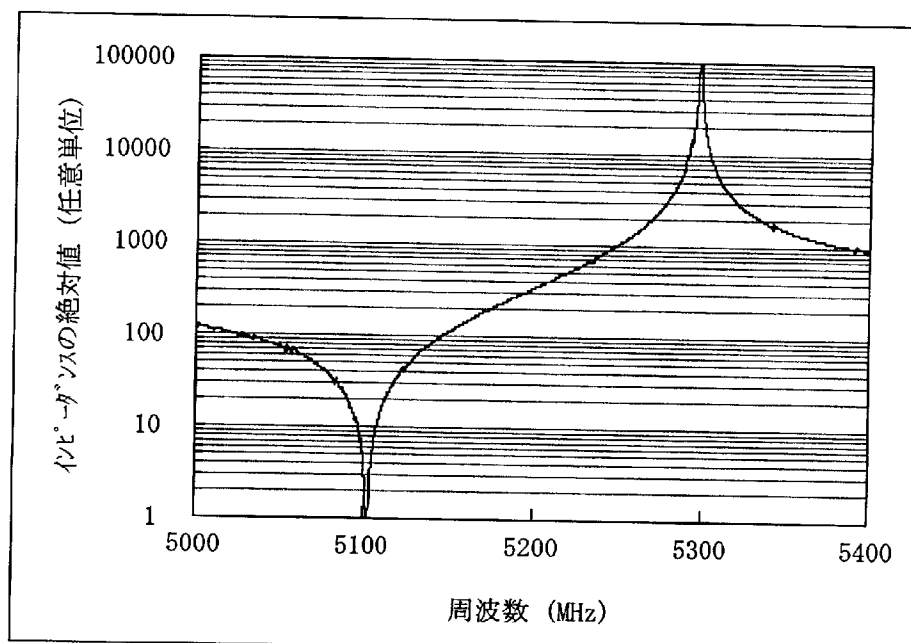
[図18]

図 18



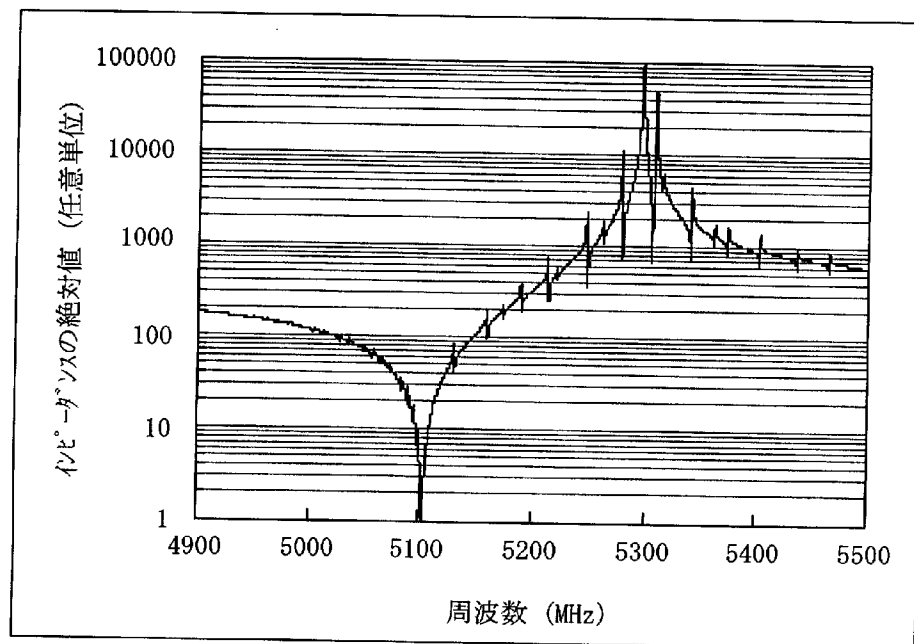
[図19]

図 19



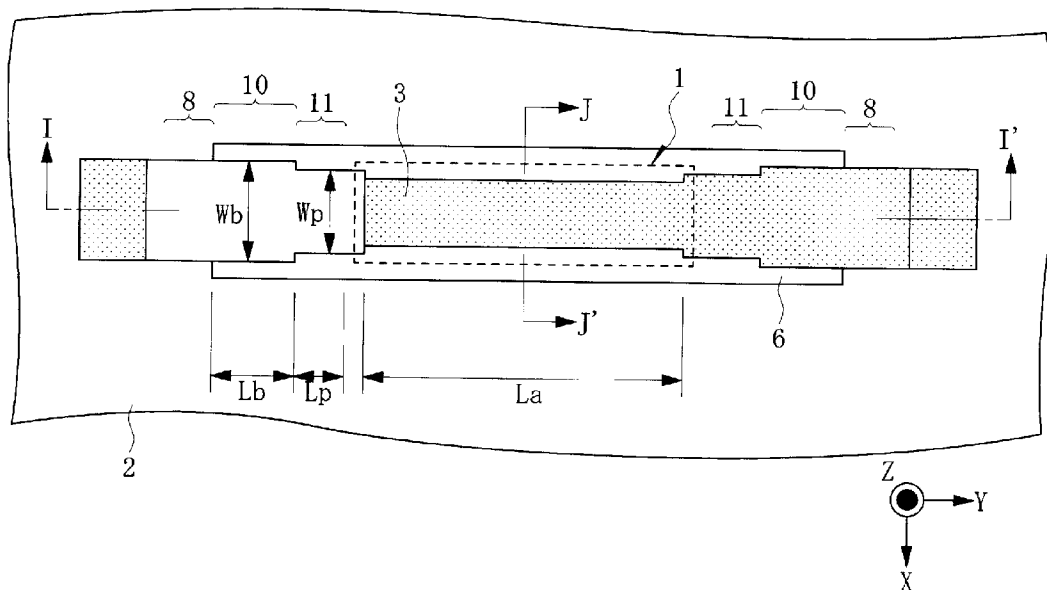
[図20]

図 20



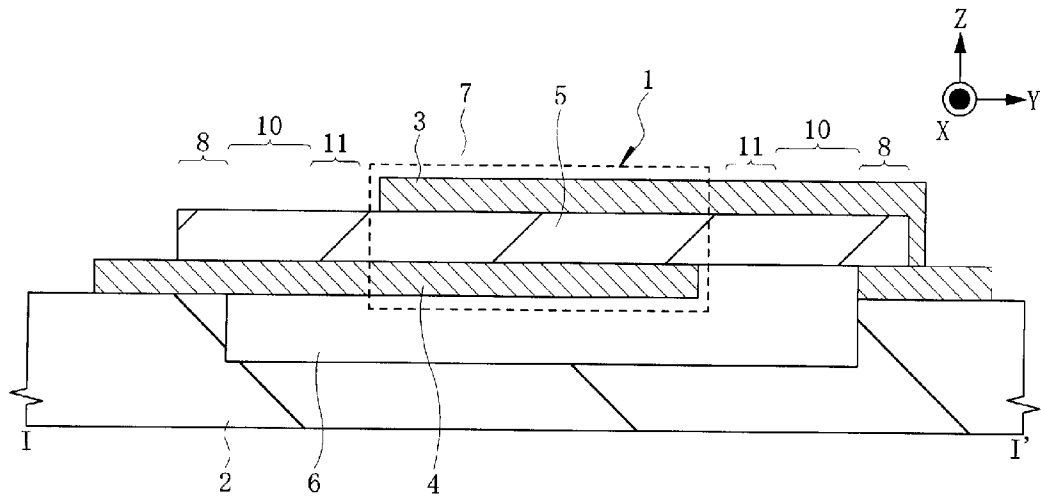
[図21]

図 21



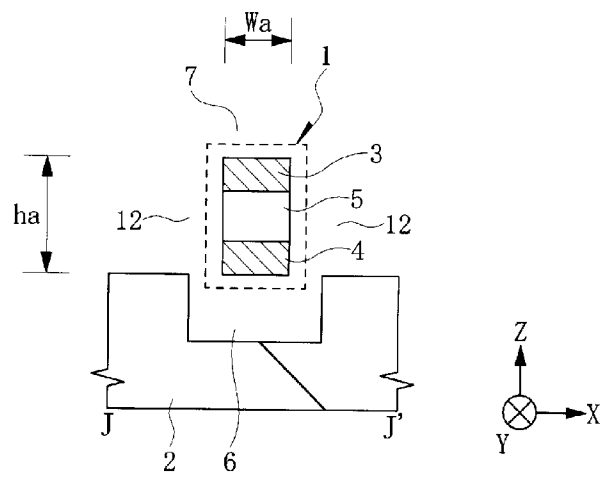
[図22]

図 22



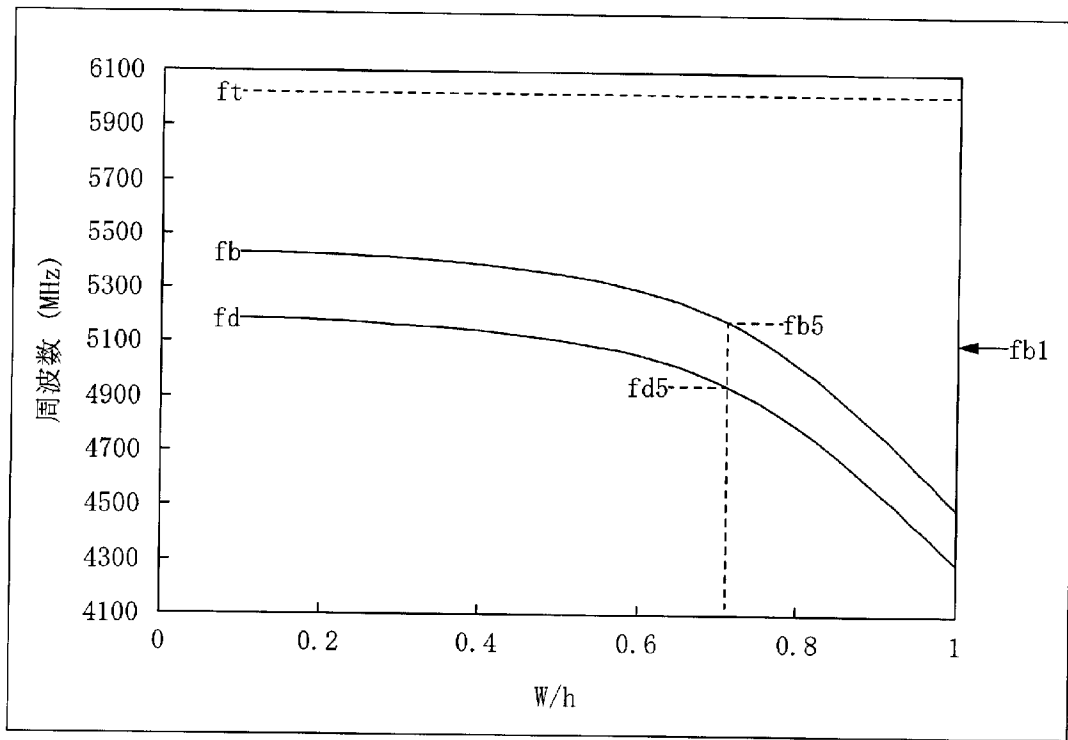
[図23]

図 23



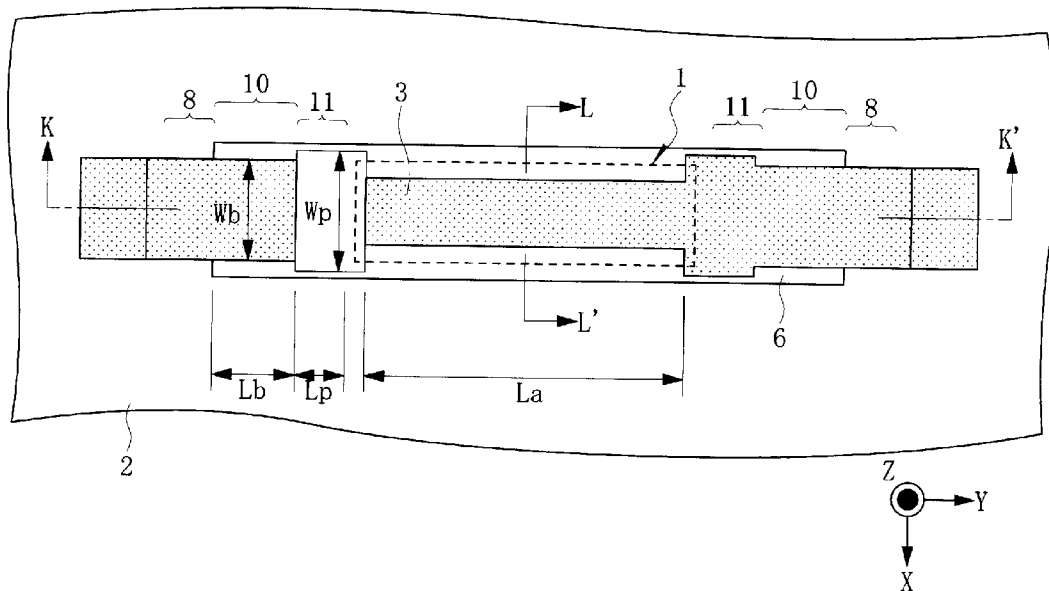
[図24]

図 24



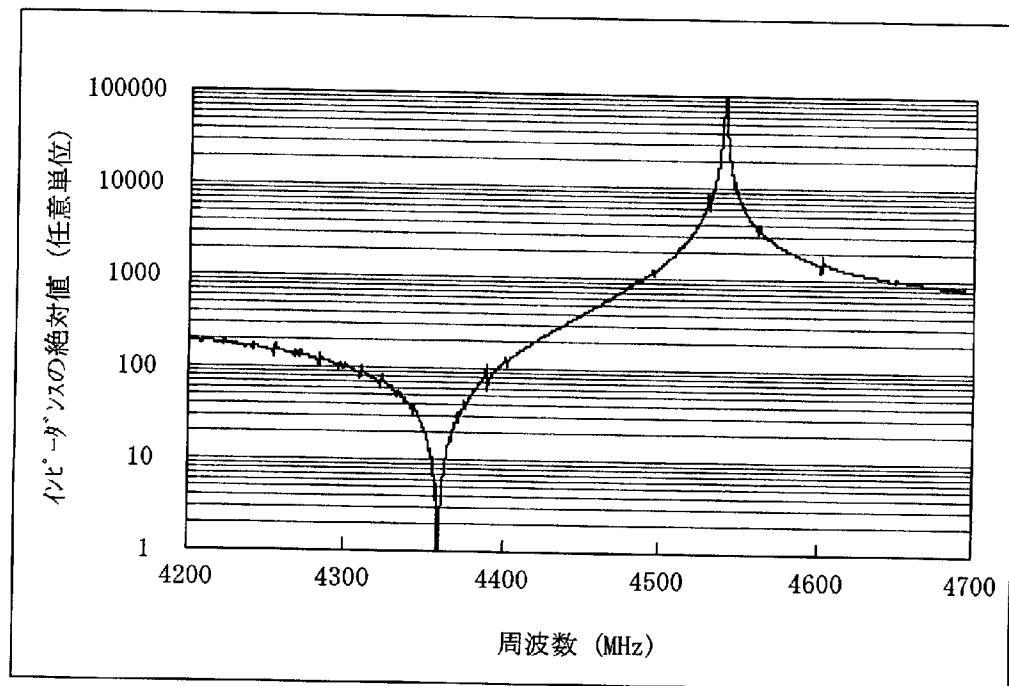
[図25]

図 25



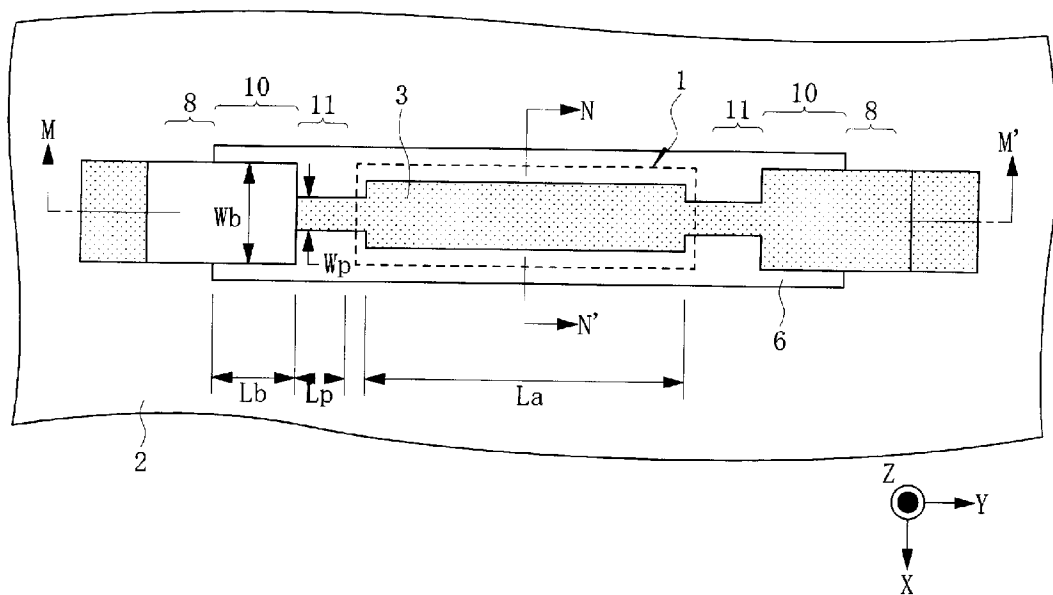
[図28]

図 28



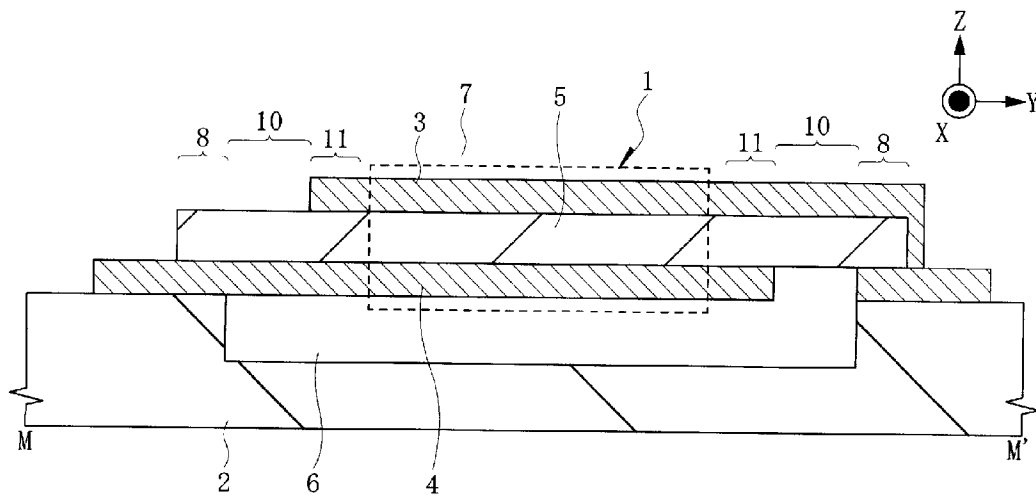
[図29]

図 29



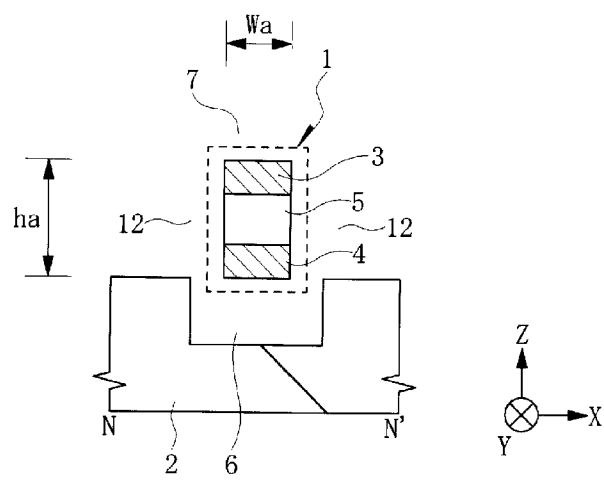
[図30]

図 30



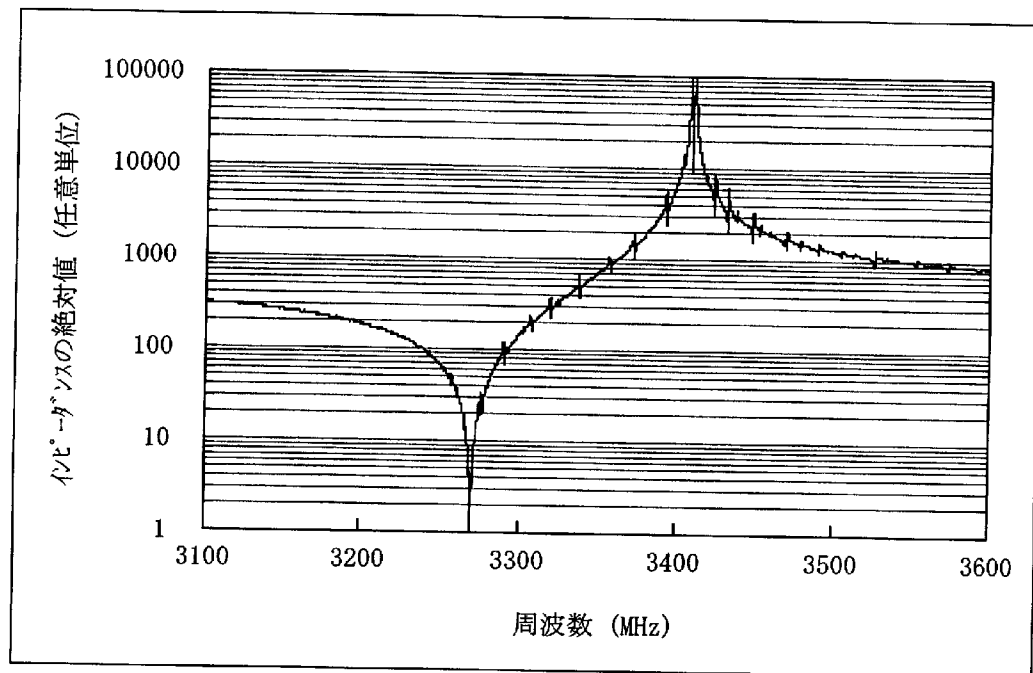
[図31]

図 31



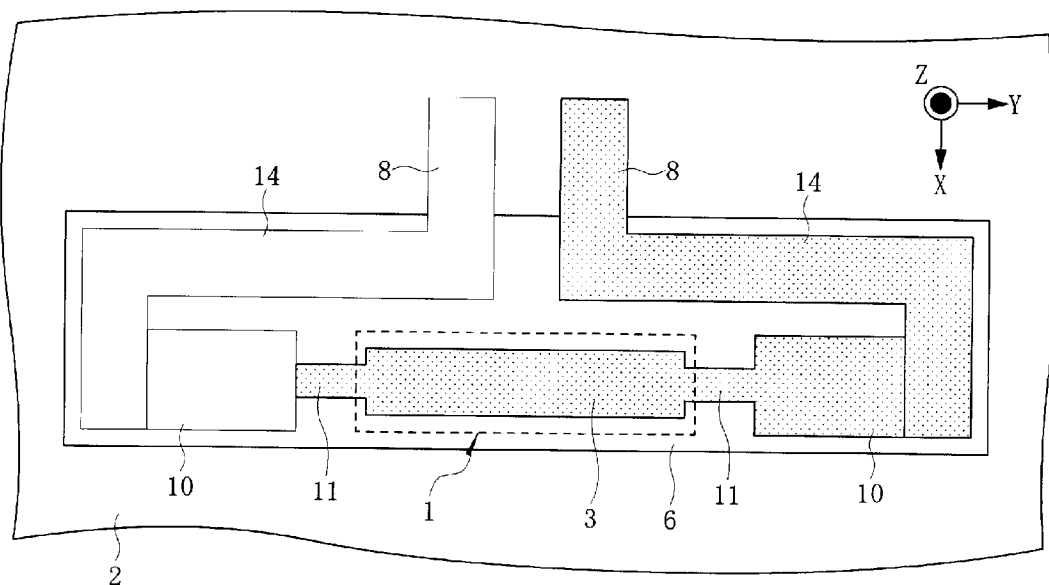
[図32]

図 32

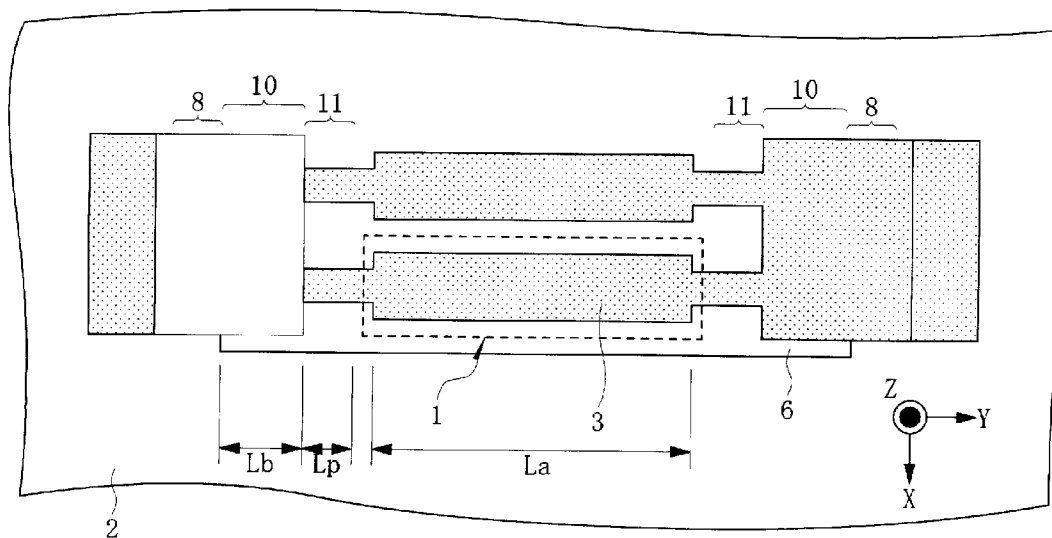


[図33]

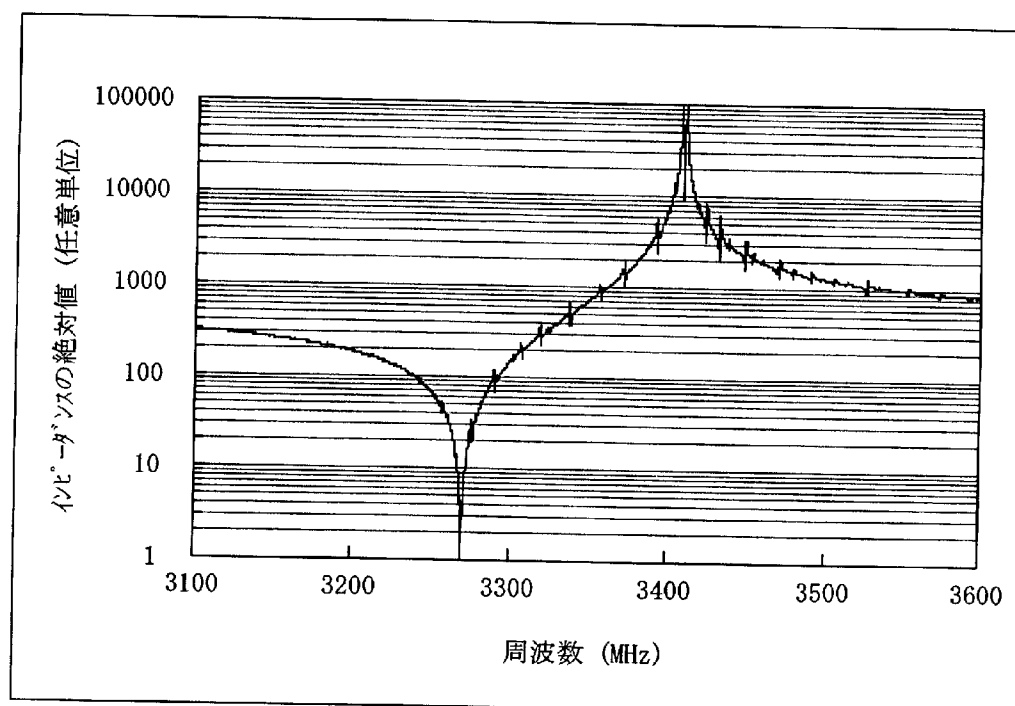
図 33



34

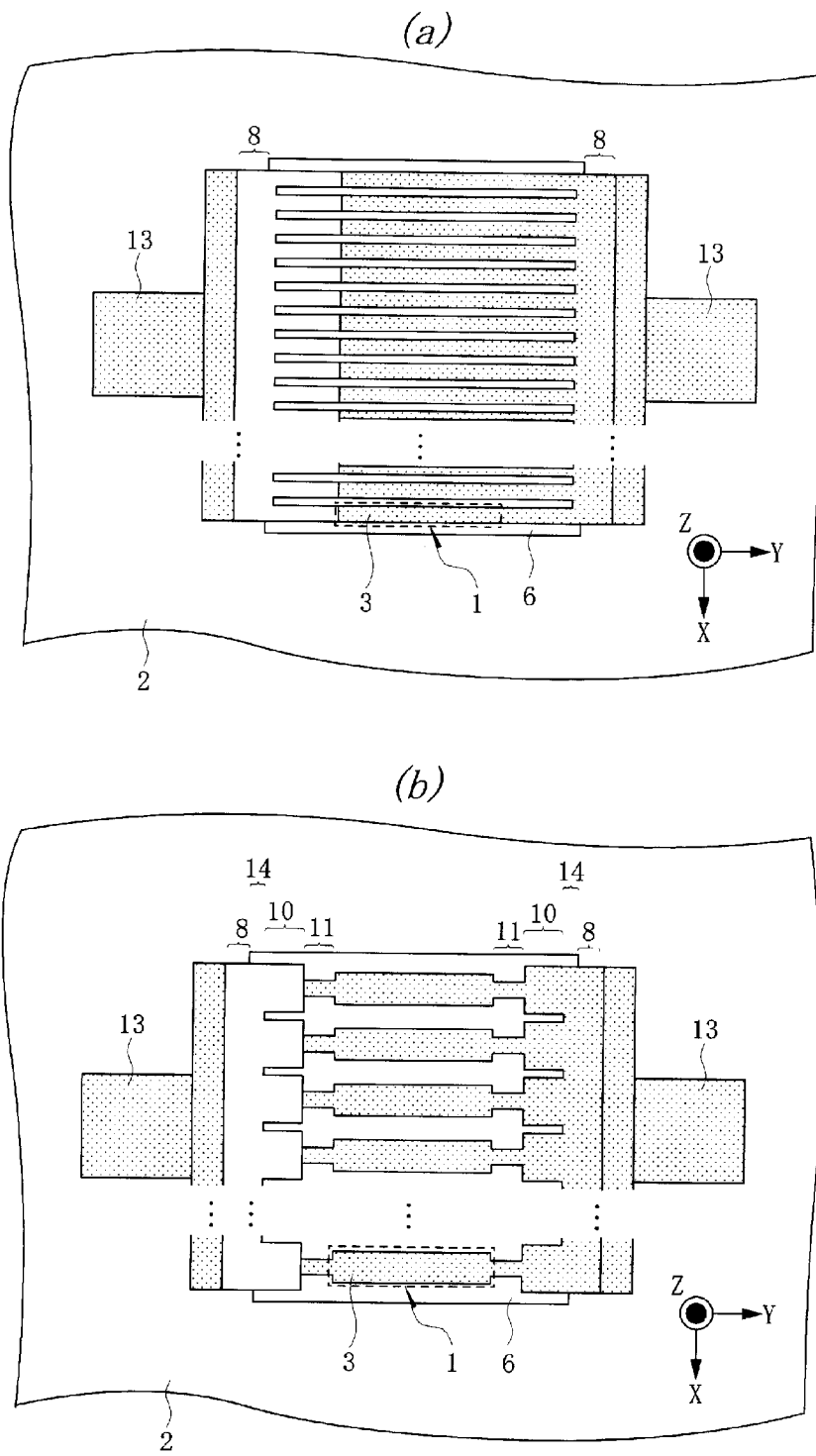


35



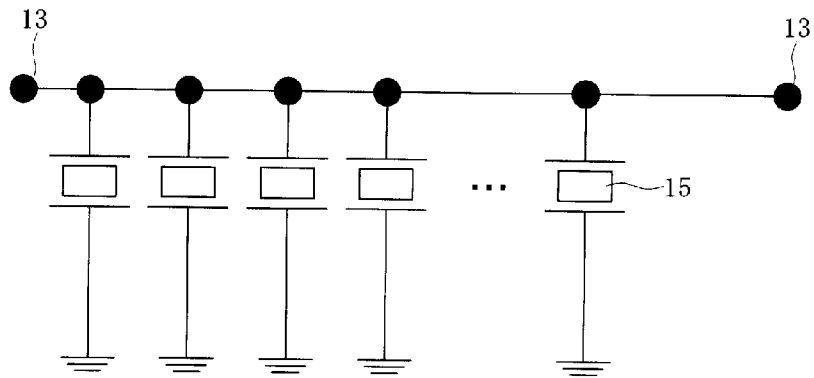
[図36]

図 36



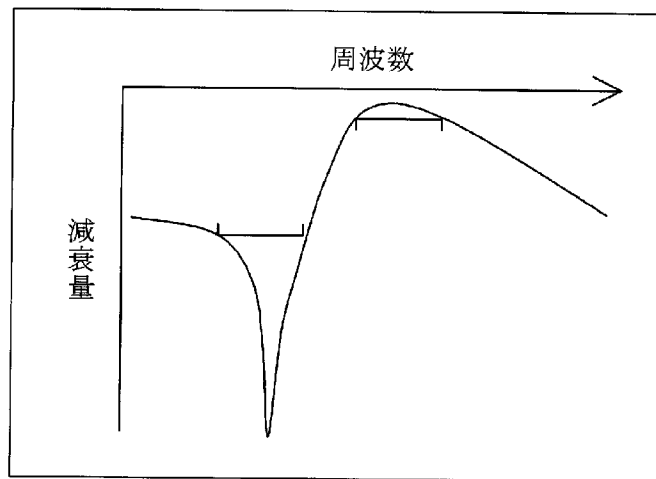
[図37]

図 37



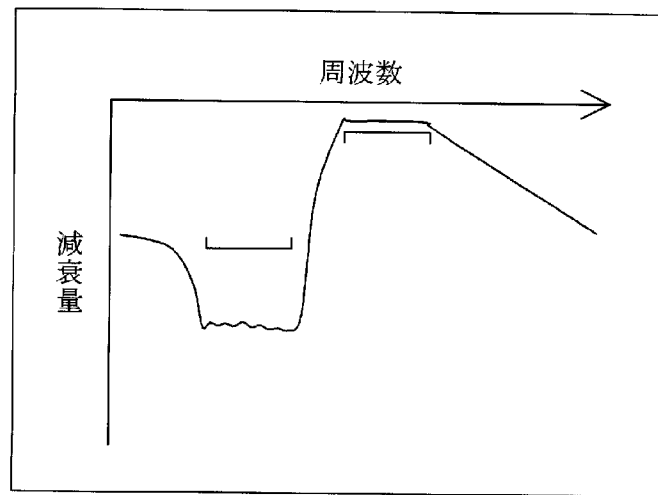
[図38]

図 38



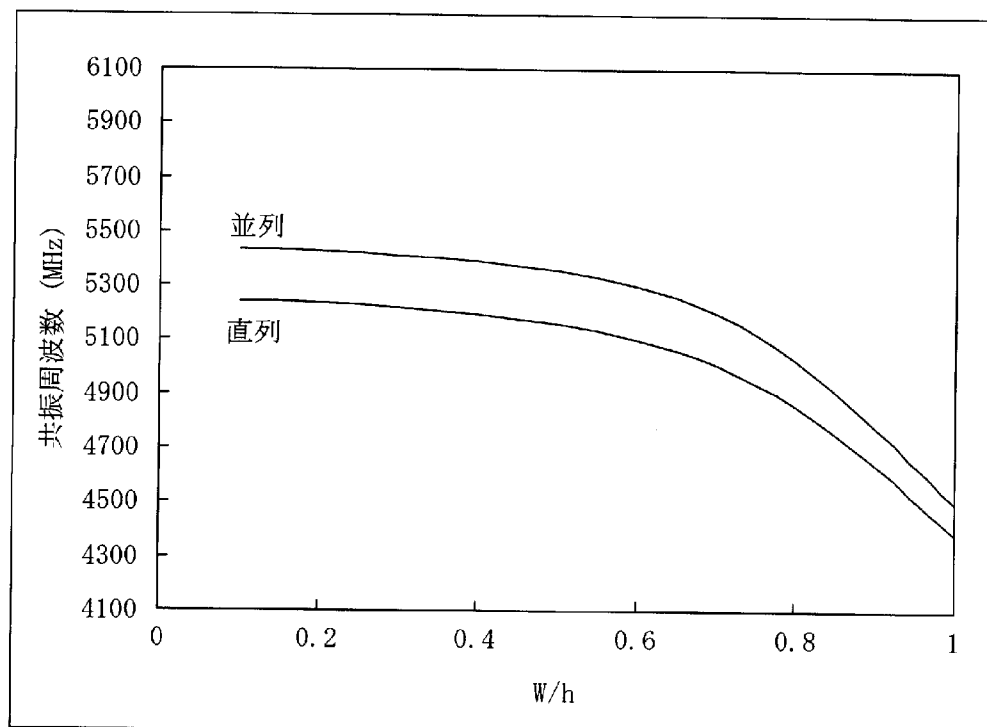
[図39]

図 39



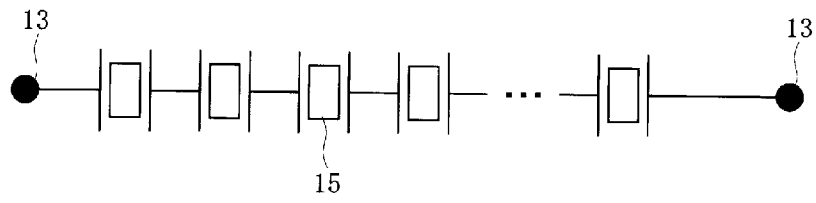
[図40]

図 40



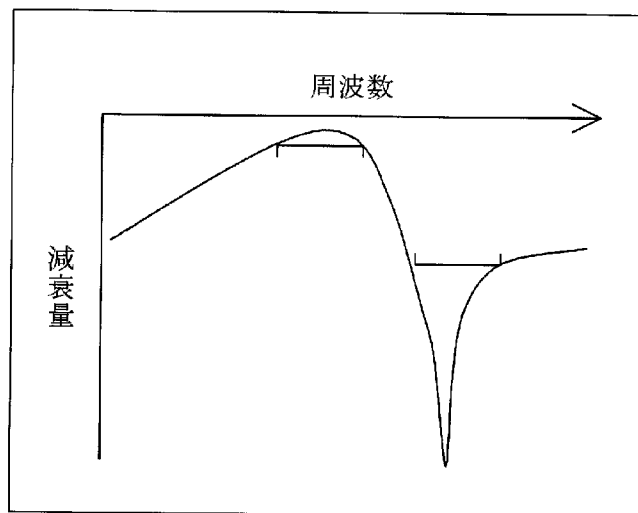
[図41]

図 41



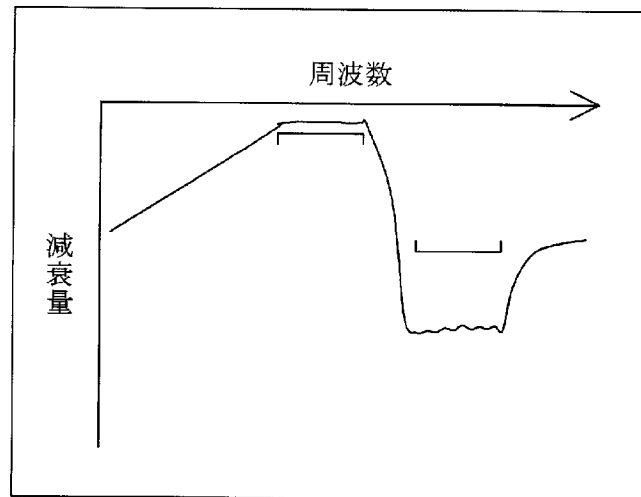
[図42]

図 42



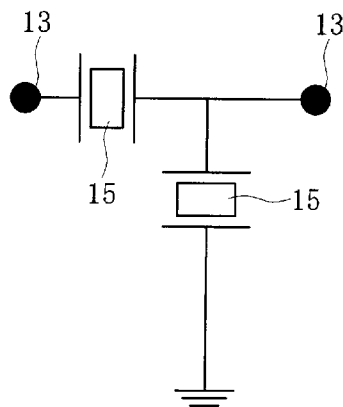
[図43]

図 43



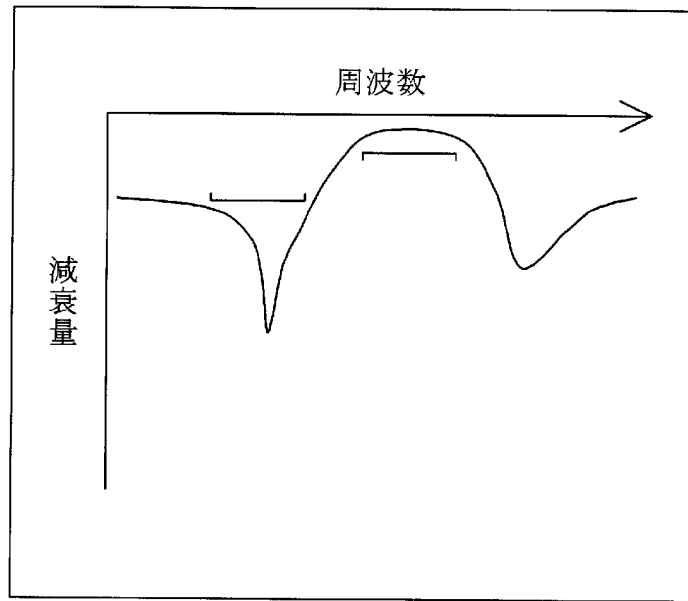
[図44]

図 44



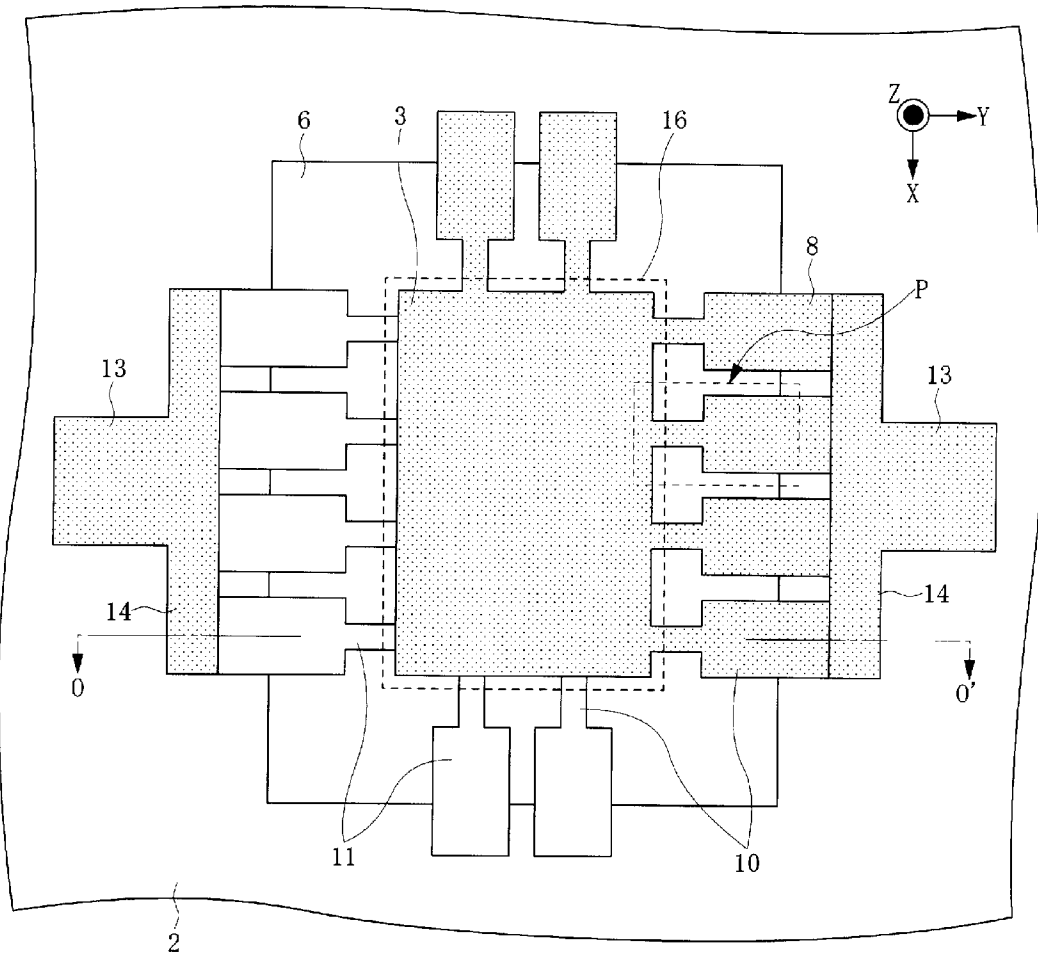
[図45]

図 45



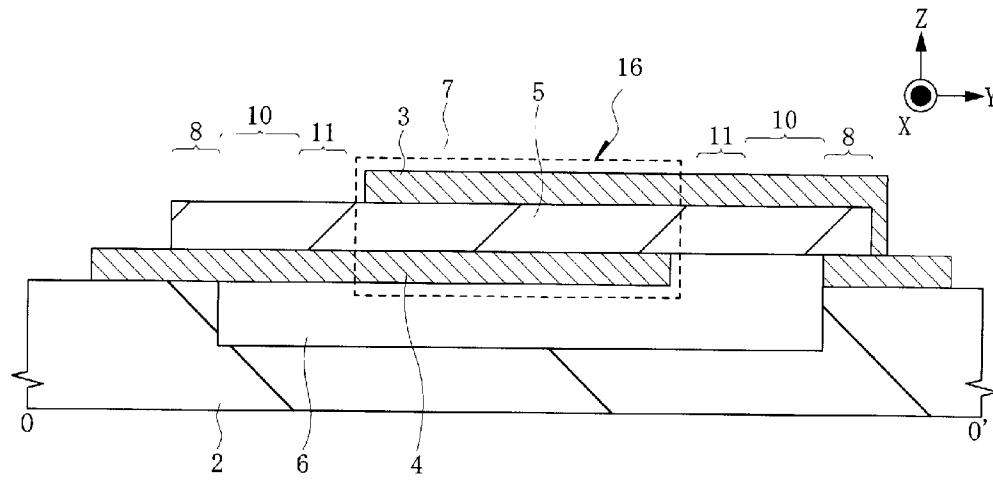
[図46]

図 46



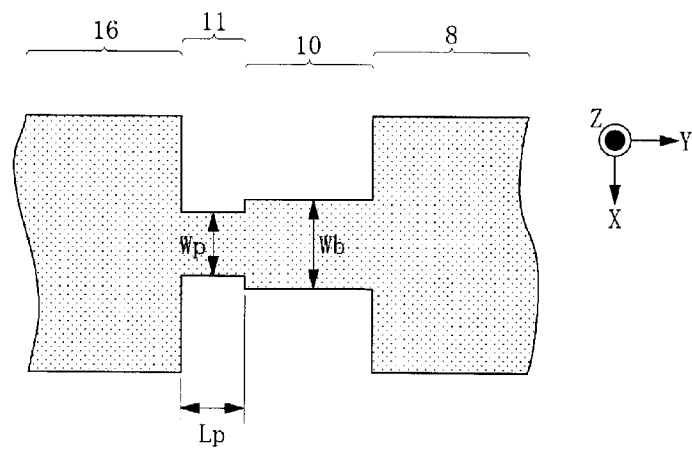
[図47]

図 47



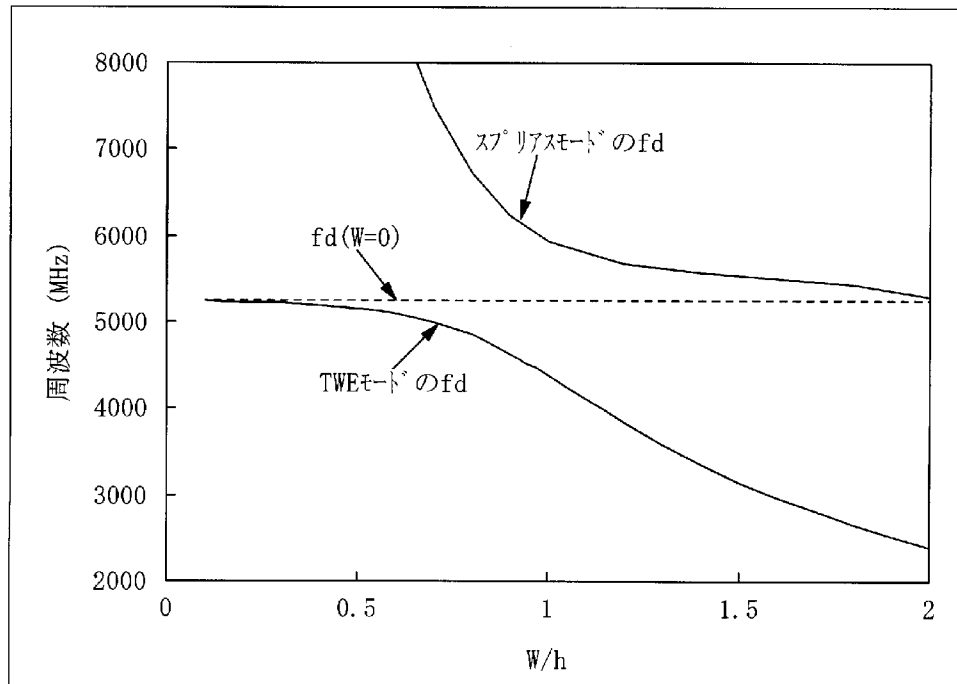
[図48]

図 48

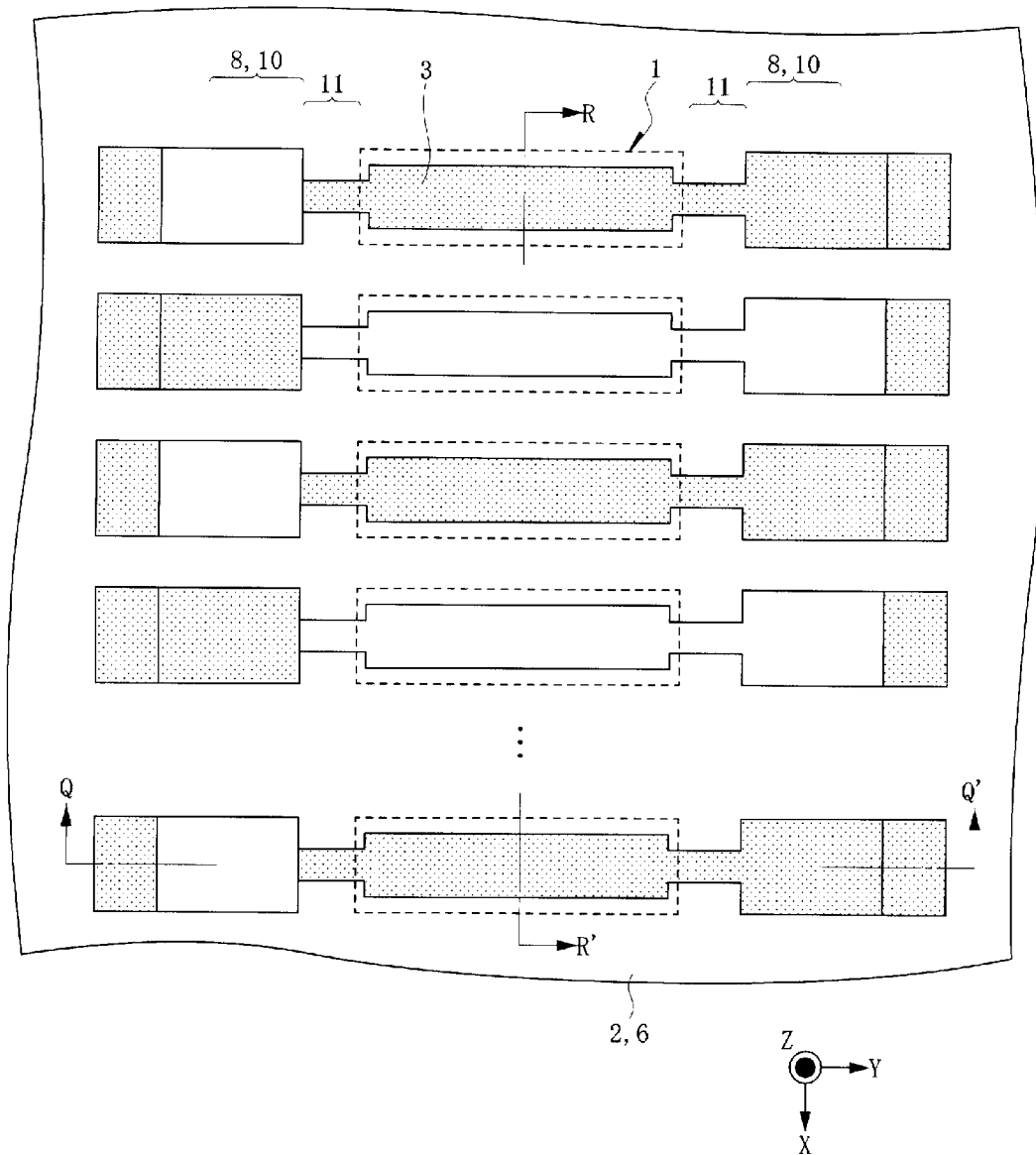


[図49]

図 49

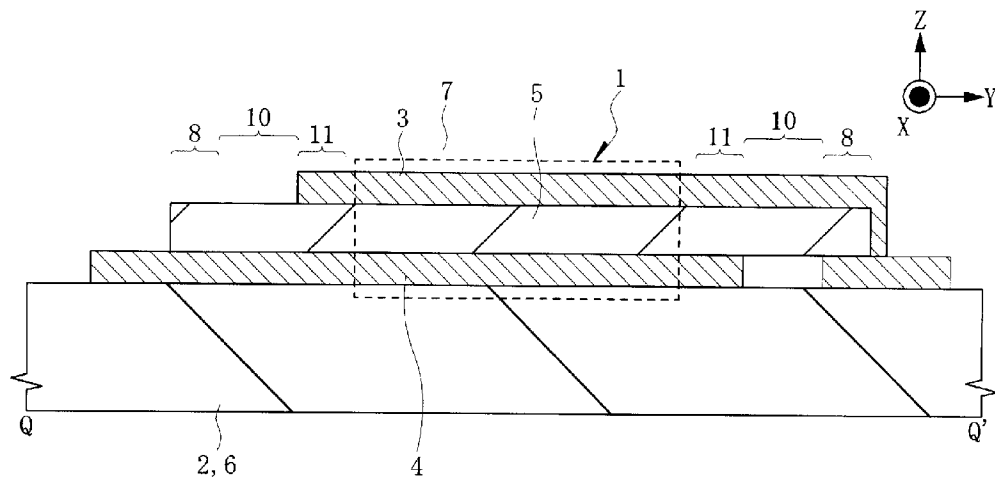


✕ 50



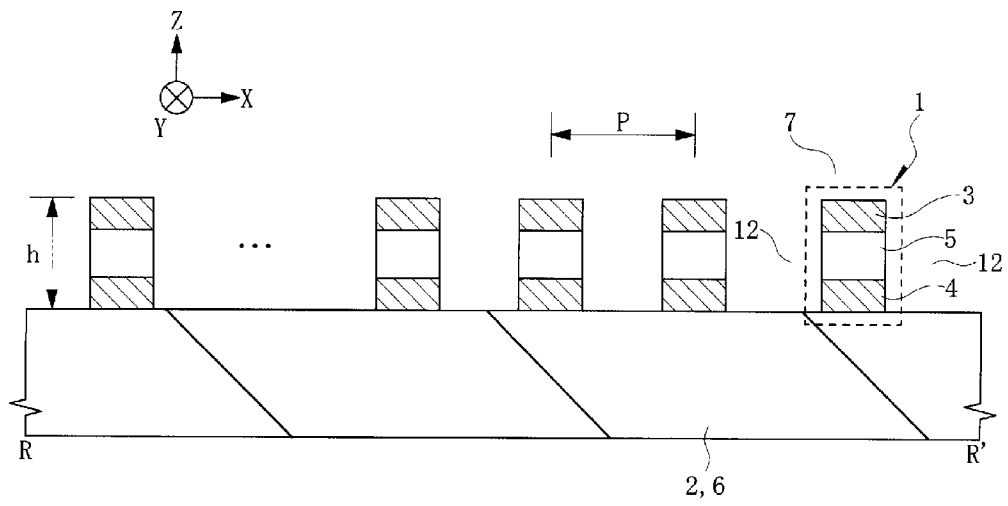
[図51]

図 51

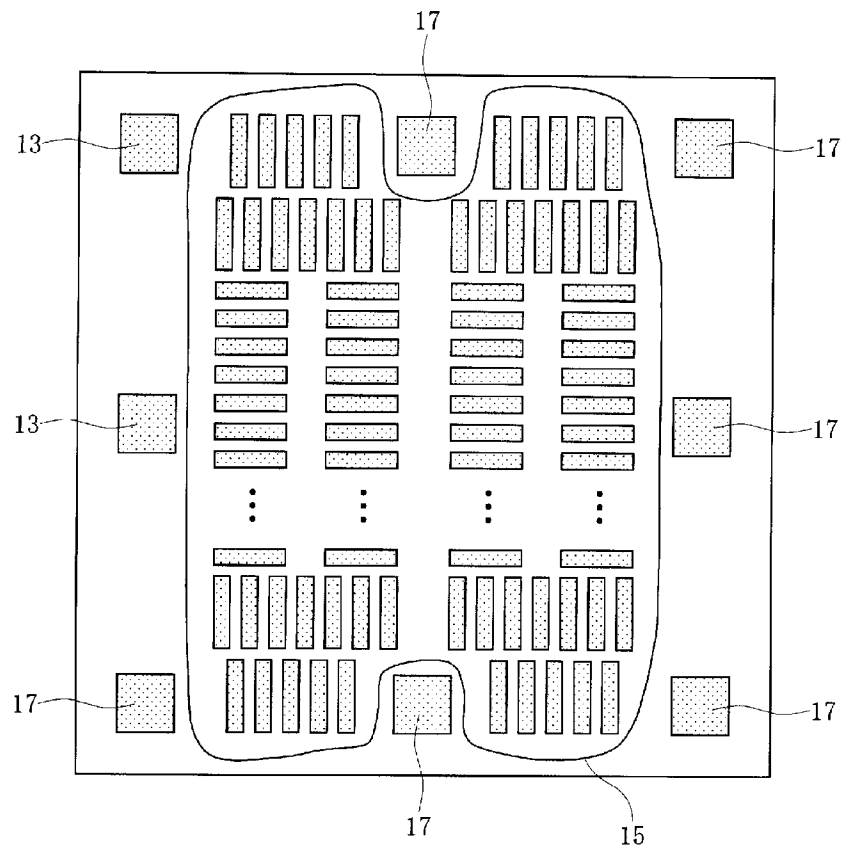


[図52]

図 52

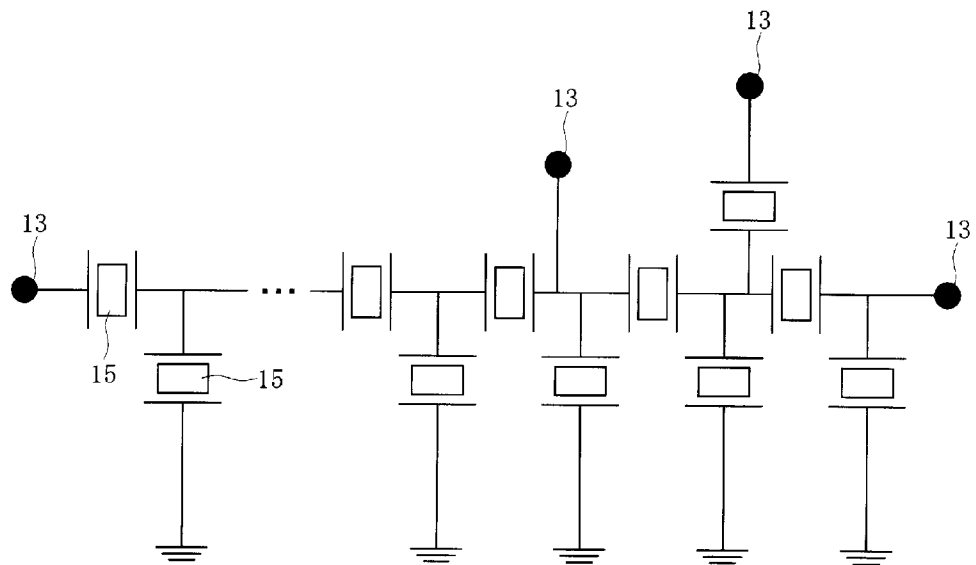


53



[図54]

図 54



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/052447

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H9/17(2006.01)i, H01L41/09(2006.01)i, H01L41/18(2006.01)i, H01L41/24(2006.01)i, H03H9/54(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)

H03H3/007-H03H3/10, H03H9/00-H03H9/76, H01L41/09, H01L41/18, H01L41/24

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 A	JP 2007-267108 A (Seiko Epson Corp.), 11 October 2007 (11.10.2007), paragraphs [0016] to [0040]; fig. 1 to 5 & US 2007/0228880 A1	1-7 15-20 8-14
Y	JP 2007-28612 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 01 February 2007 (01.02.2007), paragraph [0015]; fig. 3 & US 2007/0013463 A1 & EP 1746722 A2	15-16
Y	JP 2003-204239 A (Fujitsu Ltd.), 18 July 2003 (18.07.2003), paragraphs [0039] to [0043], [0064] to [0066]; fig. 1 to 2, 12 & US 2003/0107456 A1 & EP 1306973 A2	16-20

☒ 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
13 May, 2010 (13.05.10)

Date of mailing of the international search report
25 May, 2010 (25.05.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/052447

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-270770 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 05 October 2006 (05.10.2006), paragraph [0027]; fig. 1, 7 (Family: none)	1-20
A	JP 2003-283292 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 03 October 2003 (03.10.2003), paragraphs [0013] to [0015]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-20

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H03H9/17(2006.01)i, H01L41/09(2006.01)i, H01L41/18(2006.01)i, H01L41/24(2006.01)i,
H03H9/54(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. H03H3/007-H03H3/10, H03H9/00-H03H9/76, H01L41/09, H01L41/18, H01L41/24

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 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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	JP 2007-267108 A（セイコーエプソン株式会社）	1-7
Y	2007.10.11, [0016]-[0040], 図 1-図 5	15-20
A	& US 2007/0228880 A1	8-14
Y	JP 2007-28612 A（三星電子株式会社）	15-16
	2007.02.01, [0015], 図 3	
	& US 2007/0013463 A1	
	& EP 1746722 A2	

☒ 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

1 3 . 0 5 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 5 . 0 5 . 2 0 1 0

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

崎間 伸洋

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

5 W

3 5 7 0

C (続き) . 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
Y	JP 2003-204239 A (富士通株式会社) 2003. 07. 18, [0039]-[0043], [0064]-[0066], 図 1-図 2, 図 12 & US 2003/0107456 A1 & EP 1306973 A2	16-20
A	JP 2006-270770 A (三洋電機株式会社) 2006. 10. 05, [0027], 図 1, 図 7 (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2003-283292 A (株式会社村田製作所) 2003. 10. 03, [0013]-[0015], 図 1-図 2 (ファミリーなし)	1-20