

(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5月27日(27.05.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/058544 A1

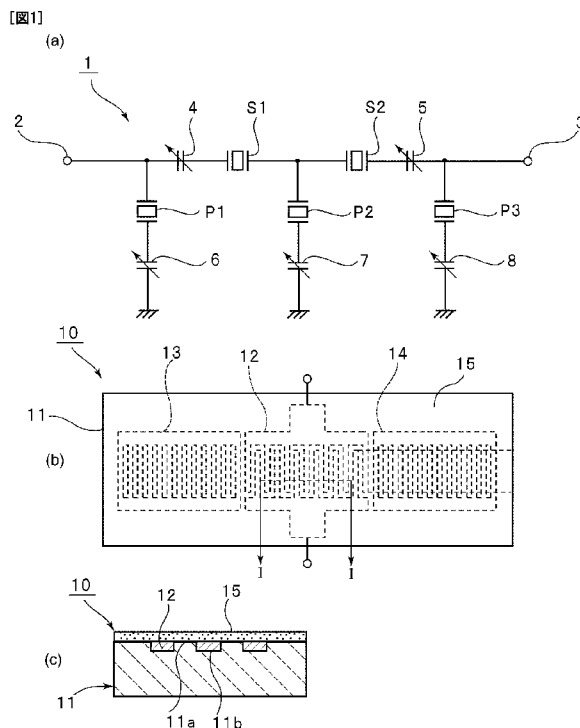
- (51) 国際特許分類:
H03H 9/145 (2006.01) H03H 9/64 (2006.01)
H03H 9/25 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/006106
- (22) 国際出願日: 2009年11月16日(16.11.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-294694 2008年11月18日(18.11.2008) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社村田製作所(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 門田道雄(KADOTA, Michio) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).

- (74) 代理人: 宮▲崎▼主税(MIYAZAKI, Chikara); 〒5400012 大阪府大阪市中央区谷町1丁目5番4号 大同生命ビル6階 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, 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: TUNABLE FILTER

(54) 発明の名称: チューナブルフィルタ



(57) Abstract: Disclosed is a tunable filter capable of increasing the electromechanical coupling coefficient of a surface acoustic wave resonator being used, and thus enabling a widening of the fractional bandwidth. This tunable filter is equipped with: a surface acoustic wave resonator (11), on which an IDT electrode (13) is formed by filling an electrode material into a concave part (12a) on the top face of a piezoelectric substrate (12) that is comprised of LiNbO₃ or LiTaO₃, and on the top face of which a concave part exists, with a ZnO film (15) being provided to cover the top face of the piezoelectric substrate (12); and variable capacitors (4-8) connected to the surface acoustic wave resonator.

(57) 要約: 用いられている弾性表面波共振子の電気機械結合係数を高めることができ、それによって比帯域幅を広げることが可能とされているチューナブルフィルタを提供する。LiNbO₃またはLiTaO₃からなり、上面に凹部を有する圧電基板12の上面の凹部12aに電極材料を埋め込むことによりIDT電極13が形成されており、圧電基板12の上面を覆うようにZnO膜15が設けられている弾性表面波共振子11と、弾性表面波共振子に接続された可変コンデンサ4~8とを備えるチューナブルフィルタ1。

WO 2010/058544 A1



CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, 添付公開書類:
TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： チューナブルフィルタ

技術分野

[0001] 本発明は、通信システムの帯域フィルタとして用いられ、帯域を調整することが可能なチューナブルフィルタに関し、より詳細には、弾性表面波共振子を用いて構成されたチューナブルフィルタに関する。

背景技術

[0002] 通信システムに用いられる帯域フィルタにおいて、通過帯域を調整し得ることが求められることがある。このような要求を満たす帯域フィルタ、すなわちチューナブルフィルタが種々提案されている。

[0003] 例えば下記の特許文献 1 には、複数の弾性表面波共振子と可変コンデンサとを用いたチューナブルフィルタが開示されている。図 17 は、特許文献 1 に記載のチューナブルフィルタの回路図である。

[0004] チューナブルフィルタ 101 では、入力端 102 と出力端 103 との間を結ぶ直列腕において、複数の直列腕共振子 104, 105 が互いに直列に接続されている。また、直列腕とグラウンド電位との間の複数の並列腕において、それぞれ、並列腕共振子 106, 107 が接続されている。直列腕共振子 104, 105 及び並列腕共振子 106, 107 は、弾性表面波共振子により形成されている。

[0005] 上記直列腕共振子 104, 105 及び並列腕共振子 106, 107 を有するラダー型フィルタ回路が構成されている。さらに、通過帯域を調整することを可能とするために、可変コンデンサ 108 ~ 115 が接続されている。すなわち、直列腕共振子 104 に並列に、可変コンデンサ 108 が接続されており、該直列腕共振子 104 及び可変コンデンサ 108 に直列に可変コンデンサ 110 が接続されている。同様に、直列腕共振子 105 にも、並列に可変コンデンサ 109 が接続されており、直列に可変コンデンサ 111 が接続されている。

[0006] 並列腕においても、並列腕共振子 106 に並列に可変コンデンサ 112 が接続されており、並列腕共振子 106 及び可変コンデンサ 112 に直列に可変コンデンサ 114 が接続されている。同様に、並列腕共振子 107 に並列に可変コンデンサ 113 が接続されており、直列に可変コンデンサ 115 が接続されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開 2005-217852 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] チューナブルフィルタ 101 においては、可変コンデンサ 110, 111 の容量、すなわち直列容量が小さくなるほど、直列腕の回路部分における共振周波数 F_{rS} を高めることができる。また、並列容量、すなわち可変コンデンサ 108, 109 による静電容量が大きくなるほど、直列腕における反共振周波数 F_{aS} を低めることができる。

[0009] 同様に、並列に接続される可変コンデンサ 112, 113 及び直列に接続される可変コンデンサ 114, 115 の容量を変化させることにより、並列腕の回路部分の共振周波数 F_{rP} 及び反共振周波数 F_{aP} を変化させることができる。そのため、上記可変コンデンサ 104 ~ 115 の容量を変化させることにより、チューナブルフィルタ 101 全体の中心周波数を変化させることができる。

[0010] しかしながら、特許文献 1 に記載のチューナブルフィルタ 101 では、直列腕共振子 104, 105 や並列腕共振子 106, 107 に用いられている弾性表面波共振子の電気機械結合係数が小さかった。また、十分な比帯域幅や可変量がとれなかった。さらに周波数温度係数 TCF の絶対値が大きいという問題があった。

[0011] 本発明の目的は、上述した従来技術の現状に鑑み、弾性表面波共振子の電

気機械結合係数を大きくでき、それによって比帯域幅やチューナブルフィルタの周波数の可変幅を拡大することができ、さらに、周波数温度係数TCFの絶対値を小さくすることが可能とされているチューナブルフィルタを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明のチューナブルフィルタは、 LiNbO_3 または LiTaO_3 からなり、かつ上面に凹部を有する圧電基板と、前記圧電基板の上面の凹部に電極材料を埋め込むことにより形成されたIDT電極と、前記圧電基板の上面を覆うように設けられた ZnO 膜とを有する弾性表面波共振子を備える。さらに、前記弾性表面波共振子に接続された可変コンデンサが備えられている。

なお、以下においては、 LiNbO_3 を、場合によってはLNと略すこととする。また LiTaO_3 を場合によってはLTと略すこととする。

[0013] 本発明に係るチューナブルフィルタのある特定の局面によれば、前記圧電基板が、オイラー角(0° , $100^\circ \pm 20^\circ$, 0°)の LiNbO_3 基板であり、前記IDT電極を形成している電極材料がAl, Ag, Pt, Au, Ta, W, Mo, NiまたはCuである。この場合には、弾性表面波共振子の電気機械結合係数をより一層大きくすることができ、それによって、比帯域幅とチューナブルフィルタの周波数可変幅を広げることが可能となる。

[0014] 本発明に係るチューナブルフィルタの他の特定の局面では、前記弾性表面波共振子のIDT電極がAlからなる電極層を主体としている。この場合には、前記 ZnO 膜の厚みを h 、前記弾性表面波共振子のIDT電極の電極指ピッチで定まる波長を λ としたときに、前記 ZnO 膜の規格化膜厚 h/λ は、 $0.0007 \sim 0.006$ の範囲にある。そのため、 ZnO 膜を設けない場合に比べ、より一層弾性表面波共振子の電気機械結合係数を大きくすることができ、それによって、比帯域幅とチューナブルフィルタ周波数の可変幅を広げることが可能となる。

[0015] 本発明に係るチューナブルフィルタの他の特定の局面では、前記弾性表面波共振子のIDT電極がNi, Cu及びMo並びにこれらの金属を主体とす

る合金から選択された１種からなる電極層を主体としている。この場合には、前記ＺｎＯ膜の厚みを h 、ＩＤＴ電極の電極指ピッチで定まる波長を λ としたときに、前記ＺｎＯ膜の規格化膜厚 h/λ は、 $0.004 \sim 0.045$ の範囲にある。よって、ＺｎＯ膜を設けない場合に比べ、より一層弾性表面波共振子の電気機械結合係数を大きくすることができ、従って、比帯域幅を広げることが可能となる。

[0016] 本発明に係るチューナブルフィルタの他の特定の局面では、前記弾性表面波共振子のＩＤＴ電極がPt, Au, W, Ta, 及びAg並びにこれらの金属を主体とする合金から選択された１種からなる電極層を主体としている。この場合には、前記ＺｎＯ膜の厚みを h 、ＩＤＴ電極の電極指ピッチで定まる波長を λ としたときに、前記ＺｎＯ膜の規格化膜厚 h/λ は、 $0.005 \sim 0.14$ の範囲にあることが好ましい。この場合にも、ＺｎＯ膜を設けない場合に比べ、より一層弾性表面波共振子の電気機械結合係数を大きくすることができ、よって、比帯域幅とチューナブルフィルタの周波数可変幅を広げることが可能となる。

[0017] 本発明に係るチューナブルフィルタの他の特定の局面では、前記ＩＤＴ電極が、前記電極層と、前記電極層を構成する金属とは異なる金属からなる第２の電極層との積層体により構成されている。この積層体の平均密度は前記電極層を構成する前記金属または合金の密度とほぼ同じである。この場合にも、ＺｎＯ膜を設けない場合に比べて、より一層弾性表面波共振子の電気機械結合係数を大きくすることができ、従って、比帯域幅とチューナブルフィルタの周波数可変幅を広げることが可能となる。

[0018] 本発明に係るチューナブルフィルタのさらに別の特定の局面では、前記ＺｎＯ膜の上に積層されているＳｉＯ₂膜がさらに備えられている。この場合には、弾性表面波共振子の周波数温度係数TCFの絶対値が小さくなるため、温度変化による周波数特性の変化を抑制することができる。

[0019] 本発明に係るチューナブルフィルタのさらに別の特定の局面では、前記圧電基板の上面と前記ＺｎＯ膜との間に積層されているＳｉＯ₂膜がさらに備え

られている。この場合には、弾性表面波共振子の周波数温度係数 TCF の絶対値が小さくなるため、温度変化による周波数特性の変化を抑制することができる。

発明の効果

[0020] 本発明に係るチューナブルフィルタでは、可変コンデンサにおいて静電容量を変化させることにより、周波数帯域を調整することができる。しかも、上記弾性表面波共振子において、圧電基板が $LiNbO_3$ または $LiTaO_3$ からなり、該圧電基板の上面の凹部に電極材料を埋め込むことにより IDT 電極が形成されており、該圧電基板の上面を覆うように ZnO 膜が設けられているので、弾性表面波共振子の電気機械結合係数を高めることができる。従って、チューナブルフィルタの比帯域幅やチューナブルフィルタの周波数可変量を広げることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1] 図1 (a) は、本発明の一実施形態に係るチューナブルフィルタの回路構成を示す図であり、(b) は、実施形態で用いられる弾性表面波共振子を示す模式的平面図であり、(c) は、(b) 中の I-I 線に沿う部分の正面断面図である。

[図2] 図2 は、第1の実験例で測定された弾性表面波共振子の周波数特性を示す図であり、実線が $LiNbO_3$ 基板を用い、弾性表面波共振子の波長を λ としたときに、 SiO_2 膜の膜厚を 0.22λ としたときの弾性表面波共振子のインピーダンス特性及び位相特性を示し、破線が SiO_2 膜も ZnO 膜も形成されていないことを除いては、同様に形成された弾性表面波共振子のインピーダンス特性及び位相特性を示し、一点鎖線が、 $LiNbO_3$ 基板に 0.01λ の厚みの ZnO 膜を形成した場合のインピーダンス特性及び位相特性を示す SiO_2 膜も ZnO 膜も形成されていないことを除いては、同様に形成された弾性表面波共振子のインピーダンス特性及び位相特性を示し、一点鎖線が、 $LiNbO_3$ 基板に 0.01λ の厚みの ZnO 膜を形成した場合のインピーダンス特性及び位相特性を示す図である。

[図3] 図3は、第2の実験例のフィルタ回路を示す回路図である。

[図4] 図4は、第2の実験例において、図3の第2の実験例のフィルタ回路における可変コンデンサの静電容量を変化させた場合のフィルタ特性の変化を示す図である。

[図5] 図5は、第3の実験例で求めたAl電極膜厚0.06のときのZnO膜の規格化膜厚 h/λ を変化させた場合の弾性表面波の音速の変化を示す図である。

[図6] 図6は、第3の実験例で求めたAl電極膜厚0.14のときのZnO膜の規格化膜厚 h/λ を変化させた場合の弾性表面波の音速の変化を示す図である。

[図7] 図7は、第3の実験例で求めたZnO膜の規格化膜厚 h/λ を変化させた場合の電気機械結合係数 k^2 の変化を示す図である。

[図8] 図8は、第4の実験例で求めたCu電極膜厚0.06のときのZnO膜の規格化膜厚 h/λ を変化させた場合の弾性表面波の音速の変化を示す図である。

[図9] 図9は、第4の実験例で求めたCu電極膜厚0.10のときのZnO膜の規格化膜厚 h/λ を変化させた場合の弾性表面波の音速の変化を示す図である。

[図10] 図10は、第4の実験例で求められた、弾性表面波共振子におけるZnO膜の規格化膜厚 h/λ と反射係数との関係を示す図である。

[図11] 図11は、第4の実験例で求められた、弾性表面波共振子におけるZnO膜の規格化膜厚 h/λ と電気機械結合係数 k^2 との関係を示す図である。

[図12] 図12は、第5の実験例で求めたNi電極膜厚0.04のときのZnO膜の規格化膜厚 h/λ を変化させた場合の弾性表面波の音速の変化を示す図である。

[図13] 図13は、第5の実験例で求められた、弾性表面波共振子におけるZnO膜の規格化膜厚 h/λ と反射係数との関係を示す図である。

[図14] 図14は、第5の実験例で求められた、弾性表面波共振子におけるZ

ZnO 膜の規格化膜厚 h/λ と電気機械結合係数 k^2 との関係を示す図である。

[図15] 図15は、Pt, Au, W, Ta, Ag電極のときの ZnO 膜の規格化膜厚 h/λ を変化させた場合の弾性表面波の音速の変化を示す図である。

[図16] 図16は、本発明の変形例のチューナブルフィルタに用いられる弾性表面波共振子の模式的断面図である。

[図17] 図17は、従来のチューナブルフィルタの回路構成を示す回路図である。

発明を実施するための形態

[0022] 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。

[0023] 図1(a)は、本発明の一実施形態に係るチューナブルフィルタの回路図であり、(b)は、該チューナブルフィルタに用いられる弾性表面波共振子の模式的平面図であり、(c)は、(b)中のI-I線に沿う部分の正面断面図である。

[0024] 図1(a)に示すように、チューナブルフィルタ1は、入力端子2と出力端子3とを有する。入力端子2と出力端子3とを結ぶ直列腕において、複数の直列腕共振子S1及びS2が互いに直列に接続されている。直列腕共振子S1の入力側において、直列腕共振子S1に直列に可変コンデンサ4が接続されている。また、直列腕共振子S2の出力側においては、直列腕共振子S2に直列に可変コンデンサ5が接続されている。

[0025] 直列腕共振子S1の入力側においては、直列腕とグラウンド電位とを結ぶ第1の並列腕が形成されている。第1の並列腕には、並列腕共振子P1が接続されている。第1の並列腕においては、並列腕共振子P1に直列に可変コンデンサ6が接続されている。また、直列腕共振子S1, S2間の接続点とグラウンド電位との間に、第2の並列腕が形成されている。第2の並列腕に第2の並列腕共振子P2が接続されており、並列腕共振子P2に直列に可変コンデンサ7が接続されている。さらに、直列腕共振子S2の出力側においては、第3の並列腕が、直列腕とグラウンド電位とを結ぶように形成されて

いる。第3の並列腕において、並列腕共振子P3に可変コンデンサ8が直列に接続されている。

[0026] 上記直列腕共振子S1、S2及び並列腕共振子P1～P3は、いずれも、弾性表面波共振子により形成されている。周知のように、ラダー型フィルタでは、並列腕共振子の反共振周波数と、直列腕共振子の共振周波数とにより通過帯域が形成される。上記可変コンデンサ4～8を、直列腕共振子または並列腕共振子に直列に接続し、かつ該可変コンデンサ4～8の静電容量を変化させることにより、直列腕及び並列腕における共振特性を変化させることができる。従って、特許文献1に記載のチューナブルフィルタと同様に、チューナブルフィルタ1の中心周波数を変化させることができる。

[0027] 上記直列腕共振子S1、S2及び並列腕共振子P1～P3は、弾性表面波共振子からなる。弾性表面波共振子の構造を、直列腕共振子S1を代表して説明する。図1(b)及び(c)に示すように、直列腕共振子S1を構成している弾性表面波共振子10は、圧電基板11を有する。圧電基板11は、本実施形態では、 15° YカットX伝搬の LiNbO_3 からなる。すなわち、オイラー角で $(0^\circ, 105^\circ, 0^\circ)$ の LiNbO_3 基板が圧電基板11として用いられている。

[0028] 圧電基板11の上面11aには、凹部として複数本の溝11bが形成されている。溝11b内に電極材料を充填することにより、IDT電極12が形成されている。図1(b)に示すように、本実施形態では、IDT電極12の弾性表面波伝搬方向両側に、反射器13、14が形成されている。従って、1ポート型弾性表面波共振子10が構成されている。

[0029] 反射器13、14もまた、圧電基板11の上面11a上に設けられた凹部、すなわち複数本の溝に電極材料を充填することにより形成されている。

[0030] 図1(c)に示すように、上記IDT電極12の上面すなわち電極指部分の上面は、圧電基板11の上面11aとほぼ面一とされている。

[0031] 従って、上記IDT電極12及び反射器13、14を形成した後に、圧電基板11の上面11aは平坦とされている。この圧電基板11の上面11a

を覆うようにZnO膜15が形成されている。

[0032] 直列腕共振子S1を例にとり説明したが、直列腕共振子S2も同様に構成されている。また、直列腕共振子S1、S2の共振周波数がチューナブルフィルタ1の通過帯域内に設定されている。直列腕共振子S1、S2の反共振周波数は通過帯域よりも高域側の減衰域に設定されている。他方、並列腕共振子P1～P3の共振周波数が通過帯域よりも低域側の減衰域に設定されている。並列腕共振子P1～P3の反共振周波数は通過帯域内に形成される。

[0033] 本実施形態のチューナブルフィルタ1では、直列腕共振子S1、S2及び並列腕共振子P1～P3が上記特定の構造を有する弾性表面波共振子からなるため、電気機械結合係数を高めることができる。それによって、比帯域幅とチューナブルフィルタ周波数の可変幅を広げることが可能とされている。これを、具体的な実験例に基づき明らかにする。

[0034] (第1の実験例)

図2の破線は、第1の実験例における弾性表面波共振子のインピーダンス特性及び位相特性を示す図である。第1の実験例では、15° YカットX伝搬のLiNbO₃基板、すなわちオイラー角で(0°, 105°, 0°)のLiNbO₃基板を用い、電極材料としてAlを用いた。弾性表面波共振子の波長をλとしたときに、IDT電極12の膜厚を0.17λとしたときの周波数特性である。

[0035] 図2の一点鎖線は、LiNbO₃基板上に0.01λの厚みのZnO膜を形成した場合のインピーダンス特性を示す。共振周波数は約2%低下している。しかし、帯域は12%広がっている。また、反共振点におけるインピーダンスの共振点におけるインピーダンスに対する比であるインピーダンス比は61dBと大きい。

[0036] 実線は、さらに厚み0.22λのSiO₂膜を形成した場合のインピーダンス一周波数特性及び位相特性を示す。

[0037] 図2から明らかなように、ZnO膜の形成により、共振周波数及び反共振周波数が低くなるように周波数域を調整し得、かつ大幅に帯域を広げること

ができることがわかる。また、反共振点におけるインピーダンスの共振周波数におけるインピーダンスに対する比であるインピーダンス比は、 SiO_2 膜や ZnO 膜を形成しなかった場合には、57.5 dBであった。これに対して、 ZnO 膜を形成した構造では61 dBと大きくすることができ、 SiO_2 膜を形成した構造では60.2 dBと大きくすることが可能であった。

[0038] さらに、周波数温度係数TCFについては、 SiO_2 膜や ZnO 膜を有しない場合には $-100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ であった。これに対して、 ZnO 膜の形成により、 $-70 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \sim -80 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ とTCFの絶対値を小さくすることができ、 SiO_2 の形成により $-5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ とさらにTCF絶対値を小さくすることが可能であった。

なお、 SiO_2 膜と ZnO 膜の順序を逆に形成しても略同じ周波数温度特性が得られる。

[0039] 従って、 SiO_2 膜を形成した場合には帯域が13.5%から10%に狭くなるが、 ZnO 膜の形成により、山谷比すなわち上記インピーダンス比を大きくすることができ、かつ電気機械結合係数 k^2 が高められている。それによって、帯域が14.9%まで広くなることがわかる。加えて、温度特性を改善することもできることがわかる。

[0040] (第2の実験例)

次に、図3に示すフィルタ回路21を形成し、可変コンデンサの静電容量の変化によるフィルタ特性の変化を調べた。図3に示すフィルタ回路21では、入力端子22と出力端子23とを結ぶ直列腕において、直列腕共振子 S_1 、 S_2 が互いに直列に接続されている。そして、直列腕共振子 S_1 の入力側において、直列腕共振子 S_1 に直列に直列腕共振子 C_2 が接続されている。また、直列腕共振子 S_1 の入力側においては、直列腕とグラウンド電位とを結ぶ並列腕に、コンデンサ C_1 が接続されている。

[0041] 直列腕共振子 S_1 及び S_2 間の接続点とグラウンド電位とを結ぶ第2の並列腕において、インダクタンス L_1 が接続されている。また、直列腕共振子 S_2 の出力側においては、可変コンデンサ C_3 が直列腕共振子 S_2 に接続さ

れている。さらに、出力端子3とグラウンド電位との間を結ぶ第3の並列腕にコンデンサC4が接続されている。

[0042] ここでは、直列腕共振子S1, S2は、上記と同様に、 15° YカットX伝搬、オイラー角で $(0^\circ, 105^\circ, 0^\circ)$ の LiNbO_3 基板を用いた。 LiNbO_3 基板の上面の溝に電極材料としてAlを埋め込み、規格化膜厚 H/λ が0.17のIDT電極及び反射器を形成した。なお、ZnO膜は形成しなかった。また、可変コンデンサC2と可変コンデンサC3の静電容量を等しくした構造において、静電容量を図4のように、1 pF、2 pF、5 pF、10 pF、25 pF、50 pFまたは100 pFと変化させ、フィルタ特性を測定した。

[0043] 直列腕共振子S1, S2の静電容量については、IDT電極の電極指の対数あるいは交差幅を変化させることにより調整した。上記インダクタンスL1の値は12 nHとした。

[0044] 図4は、上記のように可変コンデンサC2と可変コンデンサC3の静電容量を等しくして、可変コンデンサC2, C3の静電容量を変化させた場合のフィルタ特性の変化を示す。図4から明らかなように、容量が1 pFから100 pFから変化していくにつれ、フィルタの中心周波数が2.3 GHz付近から2.48 GHz付近の間で変化すること、すなわち約11%変化することがわかる。よって、コンデンサC1~C4の静電容量を変化させることにより、このようなラダー型回路構成を有するフィルタの通過帯域を調整し得ることがわかる。

[0045] 本実験例では、オイラー角 $(0^\circ, 105^\circ, 0^\circ)$ の LiNbO_3 を用いたが、本願発明者の実験によれば、 $(0^\circ, 105^\circ \pm 20^\circ, 0^\circ)$ の範囲の LiNbO_3 基板を用いた場合にも、本実験例と同様の結果の得られることが確かめられた。

[0046] 第2の実験例から分るように、上記実施形態のチューナブルフィルタ1においても、コンデンサ4~8の静電容量を変化させることにより、周波数特性を容易に調整し得ることがわかる。

[0047] (第3の実験例)

図1(b), (c)に示した弾性表面波共振子10では、圧電基板11の上面11aを覆うように、ZnO膜15が形成されている。ZnO膜15の形成により、弾性表面波共振子の電気機械結合係数を効果的に高めることができる。これを、具体的に説明する。

[0048] 図5、図6及び図7は、圧電基板として、 10° 回転Y板X伝搬、オイラー角で(0° 、 100° 、 0°)のLiNbO₃基板を用い、IDT電極を厚み0.06と0.14のAlで形成した場合の弾性表面波共振子31におけるZnOの規格化膜厚 h/λ と、弾性表面波の音速及び電気機械結合係数 k^2 の関係をそれぞれ示す図である。なお、 h はZnO膜の厚み、 λ はIDT電極の電極指ピッチで定まる波長である。

[0049] 図5及び図6において、 f_a と f_r はそれぞれ反共振周波数と共振周波数に相当する音速を示す。 f_a 及び f_r の双方が遅いバルク横波音速より速い領域と遅い領域とで良好な共振子特性を示す。

LiNbO₃の遅いバルク横波音速は4030m/秒である。

[0050] 図5及び図6から明らかなように、Al電極の厚みにかかわらずZnOの規格化膜厚 h/λ が0.02から0.085の範囲では良好な共振子特性が得られない。よってZnO膜の厚み h/λ の望ましい領域は0~0.02及び0.085~0.3の範囲である。また、図7よりZnO膜の厚み h/λ 0.0007~0.006の範囲で大きな電気機械結合係数 k^2 が得られているが、0.09以上では電気機械結合係数 k^2 は小さくなっている。

[0051] (第4の実験例)

次に、 10° 回転Y板X伝搬のLiNbO₃、すなわちオイラー角で(0° 、 100° 、 0°)のLiNbO₃を圧電基板11として用いた。電極材料として厚み H/λ が0.06と0.1のCu膜を用いた。ZnO膜15の規格化膜厚 h/λ を種々変更し、弾性表面波共振子の音速、反射係数及び電気機械結合係数 k^2 の変化を求めた。結果を図8、図9、図10及び図11に示す。

- [0052] 図8から明らかなように、Cu厚み H/λ が0.06の場合には、 f_a 及び f_r の双方が遅いバルク横波より速くあるいは遅くなるZnO膜の厚み h/λ の範囲は0~0.012の範囲及び0.05~0.3の範囲である。これらのZnO膜厚範囲で良好な共振子特性が得られる。一方、図9より明らかなようにCu厚み H/λ が0.1ではZnO膜厚 h/λ にかかわらず f_a 及び f_r の双方が遅いバルク横波音速より遅いため、図に示したZnO膜厚 h/λ が0~0.3の範囲で良好な共振子特性が得られる。
- [0053] また図10に示すようにそのZnO膜厚 h/λ が0~0.1の領域での反射係数も大きい。一方、図11に示すようにCu厚み H/λ が0.06及び0.1のいずれの場合にも、ZnO膜厚 h/λ が0.004~0.04の範囲で大きな電気機械結合係数 k^2 を示している。ZnO膜厚 h/λ が0.04より厚くなると、電気機械結合係数 k^2 が小さくなる。よって良好な共振子特性を示し、大きな反射係数及び大きな電気機械結合係数 k^2 が得られる。ZnO膜厚 h/λ の範囲は、Cu厚みにかかわらず0.004~0.04である。
- [0054] 従って、好ましくは、ZnO膜の規格化膜厚 h/λ を0.04以下とすることが望ましい。それによってZnO膜の積層により、電気機械結合係数 k^2 を効果的に高め、よって、チューナブルフィルタの比帯域幅を広げ得ることがわかる。
- [0055] (第5の実験例)
- 第4の実験例と同様にして、但し、電極材料としてCuに代えて厚み H/λ が0.04のNiを用いた。第4の実験例と同様に、ZnO膜の規格化膜厚 h/λ を変化させ、音速、反射係数の変化及び電気機械結合係数 k^2 の変化を求めた。結果を図12、図13及び図14に示す。
- [0056] 図12より、遅いバルク横波音速より f_a 及び f_r の双方が速いZnO膜の膜厚 h/λ の範囲は0~0.062である。
- [0057] 一方、図13よりZnO膜厚 h/λ が0~0.045の範囲で大きい反射係数を示す。また図14よりZnO膜厚 h/λ が0~0.045の範囲で大

きい電気機械結合係数を示す。

[0058] ZnO 膜厚 h/λ が 0 のとき、電気機械結合係数 k^2 は 0.375 を示す。 ZnO の膜厚 h/λ が 0.005 では、電気機械結合係数 k^2 は 0.39 であり、 h/λ が 0.03 では電気機械結合係数 k^2 は 0.42 である。それ以上の膜厚 h/λ では、電気機械結合係数 k^2 は徐々に小さくなり、 ZnO 厚み h/λ が 0.05 では電気機械結合係数 k^2 が 0.35 となる。

[0059] 従って、好ましくは、 h/λ を 0.045 未満とすることにより、 ZnO 膜の形成により、電気機械結合係数 k^2 を効果的に高めることができ、チューナブルフィルタ 1 の比帯域幅を広げ得ることがわかる。

[0060] 図 15 に Ag 電極（厚み H/λ 0.04）、 Ta 電極（厚み H/λ 0.01）、 W 電極（厚み H/λ 0.01）、 Pt 電極（厚み H/λ 0.01）、 Au 電極（厚み H/λ 0.01）の各場合の ZnO 膜厚と電気機械結合係数 k^2 の関係を示す。いずれの電極も ZnO 膜厚 h/λ が 0.005 以上、0.14 以下の範囲で大きな電気機械結合係数 k^2 を示している。

[0061] （変形例）

図 16 は、本発明において用いられる弾性表面波共振子の変形例を示す正面断面図である。本変形例の弾性表面波共振子 31 では、 ZnO 膜 15 の上に SiO_2 膜 32 が積層されていることを除いては、図 1 (b)、(c) に示した弾性表面波共振子 10 と同様とされている。 SiO_2 膜の周波数温度係数 TCF は正の値であり、 $LiNbO_3$ や $LiTaO_3$ の周波数温度係数 TCF は負の値である。従って、正の TCF をもつ SiO_2 膜 32 の積層により、弾性表面波共振子 31 の周波数温度係数 TCF の絶対値を小さくすることができる。よって、このような弾性表面波共振子 31 を、直列腕共振子や並列腕共振子として用いることにより、温度変化による周波数特性の変化を抑制することができ、従って、温度特性を改善することができる。

なお、 SiO_2 膜と ZnO 膜の順序を逆に形成しても略同じ周波数温度特性が得られる。

[0062] 上述した実施形態及び実験例では、圧電基板は $LiNbO_3$ で形成されてい

たが、 LiTaO_3 からなるものであってもよい。

[0063] また、上記実験例では、オイラー角が $(0^\circ, 100^\circ, 0^\circ)$ の LiNbO_3 を用いたが、本願発明者の実験によれば、オイラー角の θ が、 $100^\circ \pm 20^\circ$ の範囲内であれば、同様の結果が得られることが確かめられている。

[0064] また、本発明において、オイラー角 $(0^\circ, 100^\circ \pm 20^\circ, 0^\circ)$ における ϕ 及び ψ の値は、 0° に限らず、 $0^\circ \pm 5^\circ$ の範囲であれば、同様の効果が得られるため、オイラー角の ϕ 及び ψ の 0° は、それぞれ、 $\pm 5^\circ$ の範囲でばらついてもよく、 $\pm 5^\circ$ の範囲は、上記ばらつきの許容度であることを指摘しておく。

[0065] また、上記実験例では、電極材料として、 Ni 、 Cu 、 Au 、 Pt 、 W 、 Ta 、 Ag または Al を示したが、これらの合金であつてもよく、あるいは Mo などの他の金属により形成されてもよい。加えて、電極材料として複数の金属もしくは合金を用い、積層金属膜を凹部内に形成することによりIDT電極を形成してもよい。 Ta 、 W は融点が高いため、成膜にはスパッタやイオンプレーティングなどの高価な設備を必要とする。

[0066] また、上記実験例では単一の金属からなる電極を示したが、複数の異なる金属からなる電極層の積層体により電極が構成されていてもよい。平均密度は、電極層を構成する金属の密度と膜厚の積の総和を各電極層の膜厚の総和で除算した値になる。平均密度とほぼ同じ密度を有する単一金属を用いた場合の ZnO 膜厚と、同じ ZnO 膜厚とすることにより、積層体を用いた場合においても、単一金属を用いた場合と同じ効果を得ることができる。

符号の説明

[0067] 1…チューナブルフィルタ
2…入力端子
3…出力端子
4～8…可変コンデンサ
10…弾性表面波共振子

1 1 …圧電基板
1 1 a …上面
1 1 b …溝
1 2 …I D T電極
1 3, 1 4 …反射器
1 5 …Z n O膜
2 1 …フィルタ回路
2 2 …入力端子
2 3 …出力端子
3 1 …弾性表面波共振子
3 2 …S i O₂膜
C 1 ~ C 4 …コンデンサ
P 1 ~ P 3 …並列腕共振子
S 1, S 2 …直列腕共振子

請求の範囲

- [請求項1] LiNbO_3 または LiTaO_3 からなり、かつ上面に凹部を有する圧電基板と、
- 前記圧電基板の上面の凹部に電極材料を埋め込むことにより形成されたIDT電極と、
- 前記圧電基板の上面を覆うように設けられたZnO膜とを有する弾性表面波共振子と、
- 前記弾性表面波共振子に接続された可変コンデンサとを備えるチューナブルフィルタ。
- [請求項2] 前記圧電基板が、オイラー角 (0° , $100^\circ \pm 20^\circ$, 0°) の LiNbO_3 基板であり、前記IDT電極を形成している電極材料がAl, Ag, Pt, Au, Ta, W, Mo, NiまたはCuである、請求項1に記載のチューナブルフィルタ。
- [請求項3] 前記弾性表面波共振子のIDT電極がAlからなる電極層を主体としており、前記ZnO膜の厚みを h 、前記弾性表面波共振子のIDT電極の電極指ピッチで定まる波長を λ としたときに、前記ZnO膜の規格化膜厚 h/λ が、 $0.0007 \sim 0.006$ の範囲にある、請求項2に記載のチューナブルフィルタ。
- [請求項4] 前記弾性表面波共振子のIDT電極がNi, Cu及びMo並びにこれらの金属を主体とする合金から選択された1種からなる電極層を主体としており、前記ZnO膜の厚みを h 、IDT電極の電極指ピッチで定まる波長を λ としたときに、前記ZnO膜の規格化膜厚 h/λ が、 $0.004 \sim 0.045$ の範囲にある、請求項2に記載のチューナブルフィルタ。
- [請求項5] 前記弾性表面波共振子のIDT電極がPt, Au, W, Ta, 及びAg並びにこれらの金属を主体とする合金から選択された1種からなる電極層を主体としており、前記ZnO膜の厚みを h 、IDT電極の電極指ピッチで定まる波長を λ としたときに、前記ZnO膜の規格化

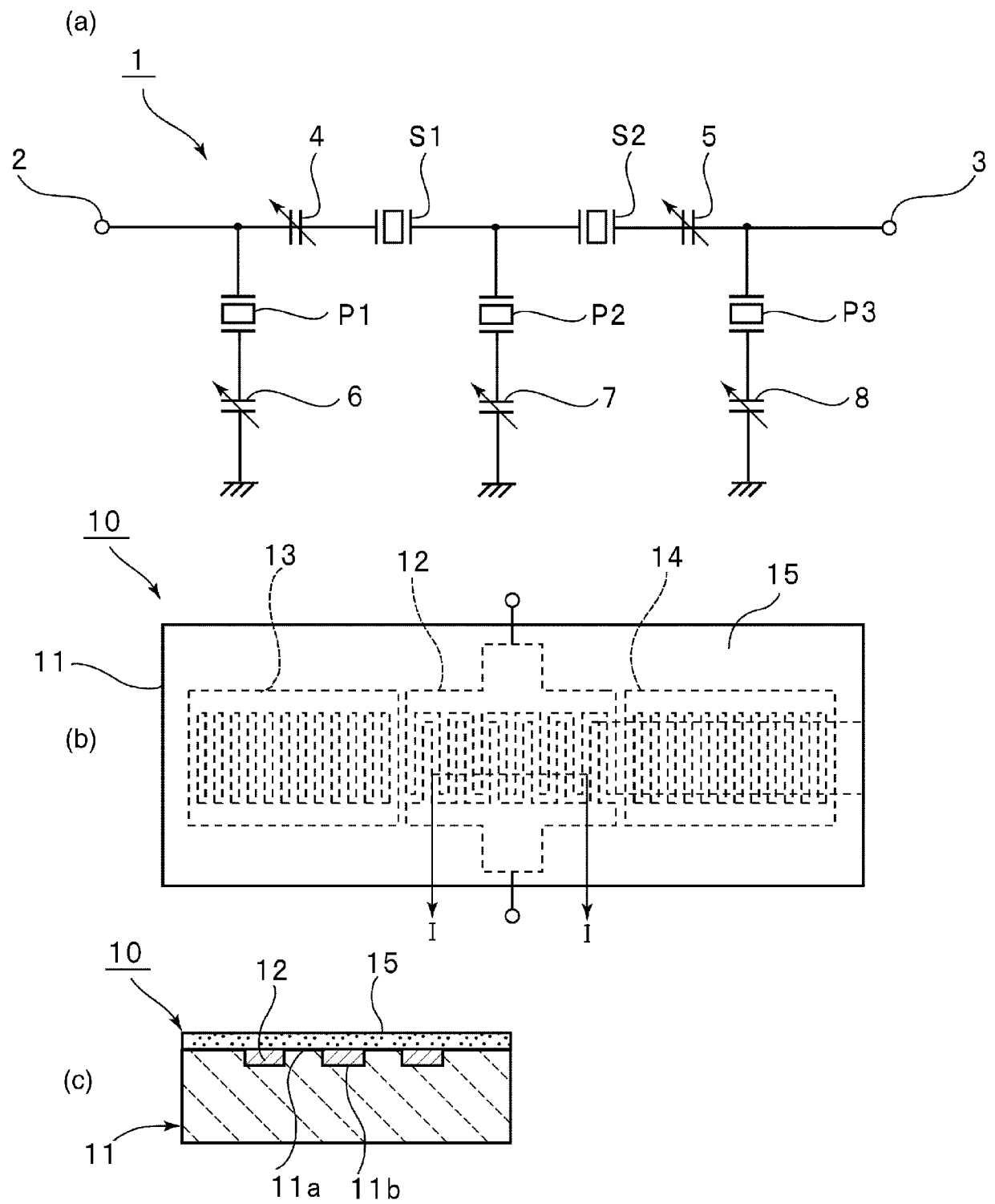
膜厚 h/λ が、 $0.005 \sim 0.14$ の範囲にある、請求項 2 に記載のチューナブルフィルタ。

[請求項 6] 前記 I D T 電極が、前記電極層と、前記電極層を構成する金属とは異なる金属からなる第 2 の電極層との積層体により構成されており、該積層体の平均密度が前記電極層を構成する前記金属または合金の密度とほぼ同じである、請求項 4 または 5 に記載のチューナブルフィルタ。

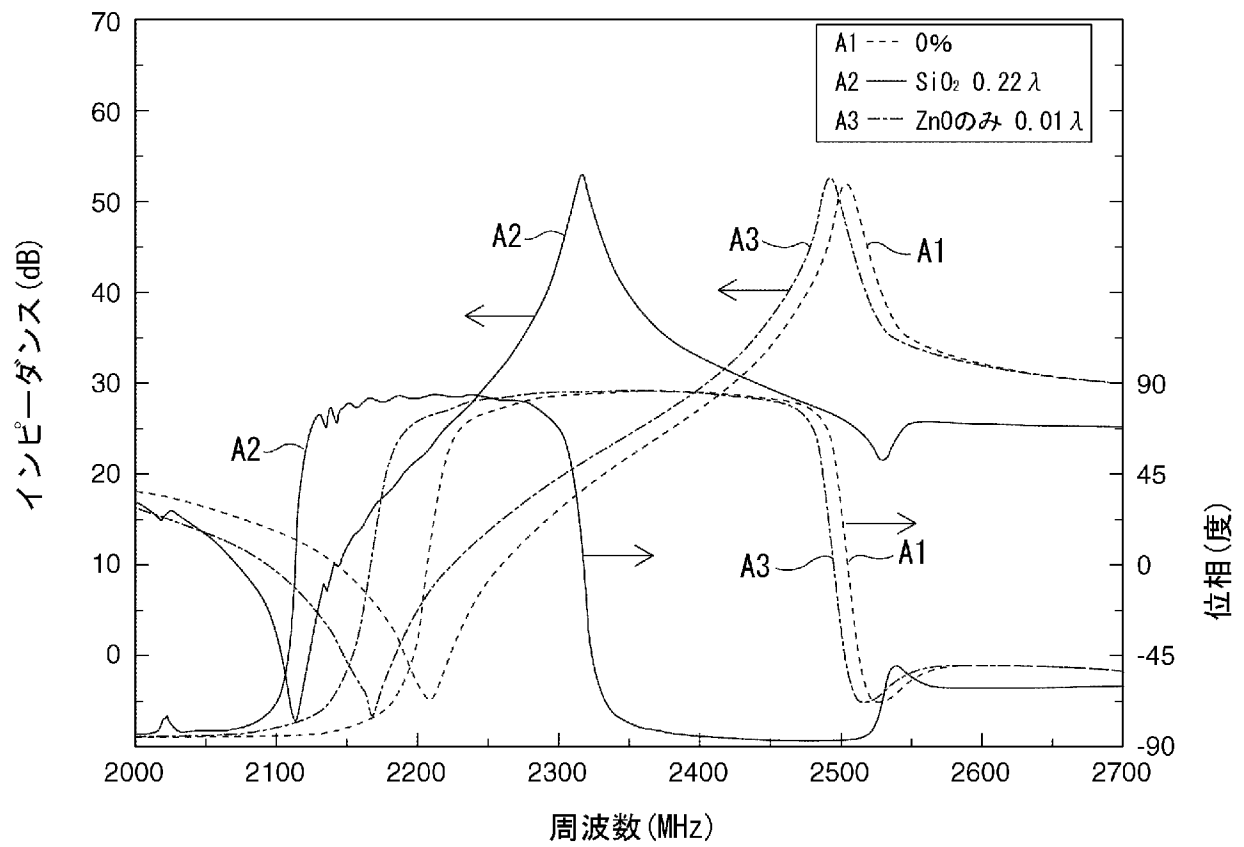
[請求項 7] 前記 Z n O 膜上に積層されている S i O₂ 膜をさらに備える、請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のチューナブルフィルタ。

[請求項 8] 前記圧電基板の上面と前記 Z n O 膜との間に積層されている S i O₂ 膜をさらに備える、請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のチューナブルフィルタ。

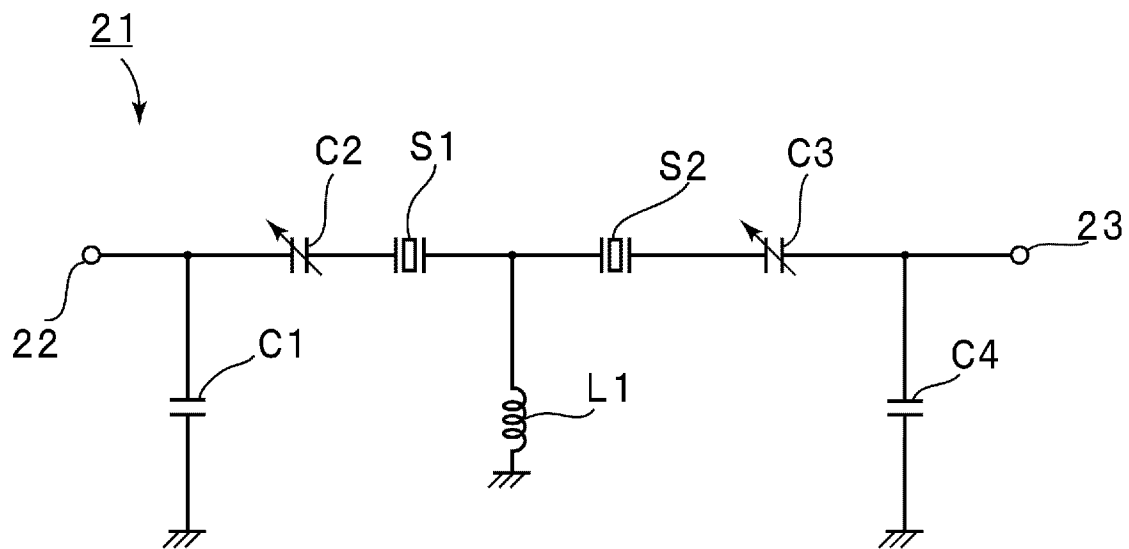
[図1]



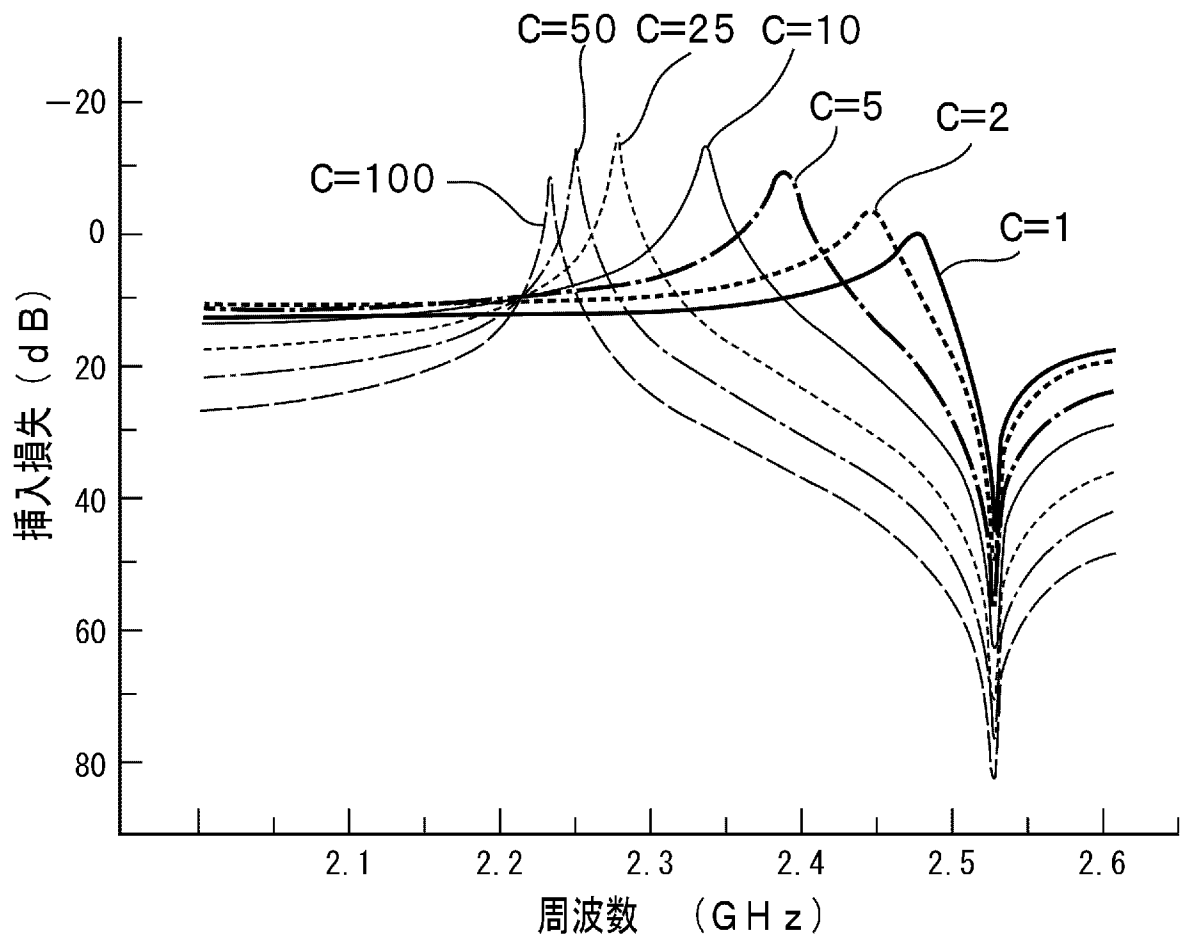
[図2]



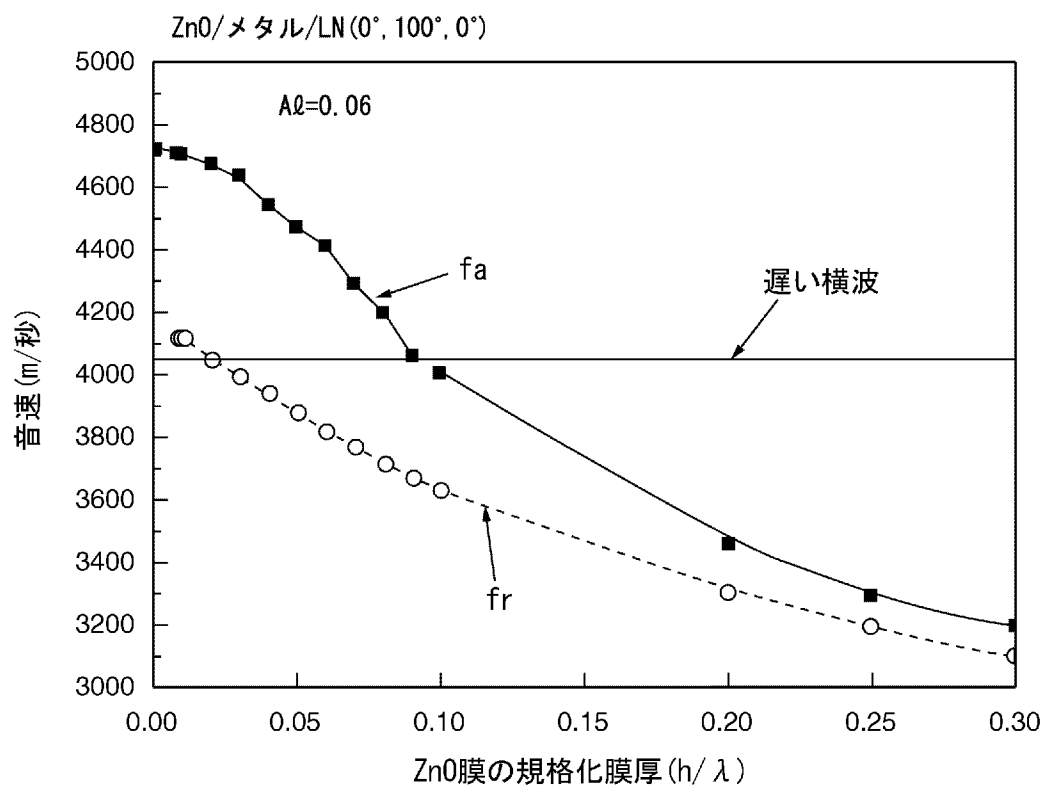
[図3]



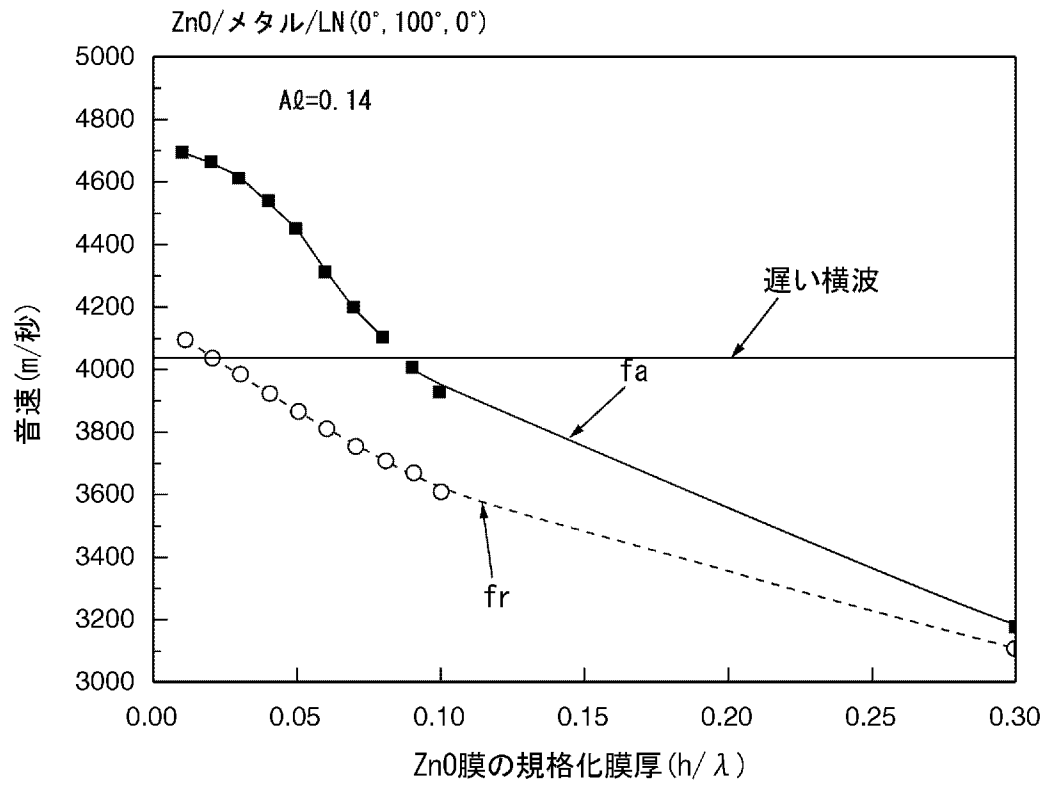
[図4]



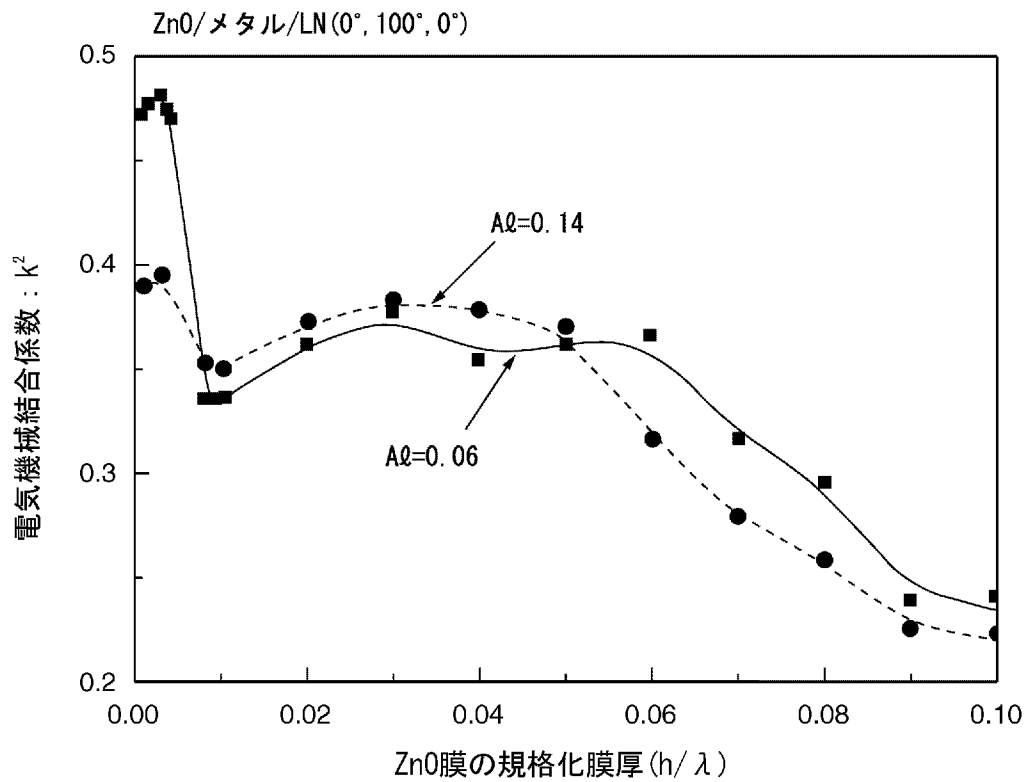
[図5]



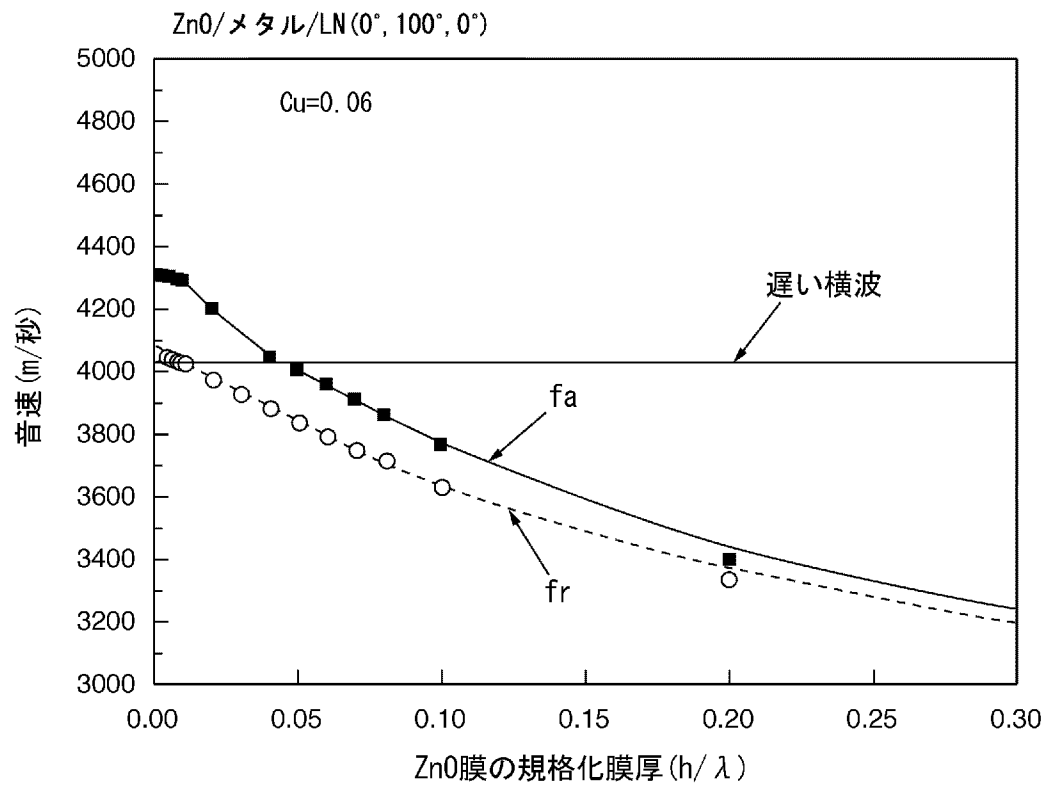
[図6]



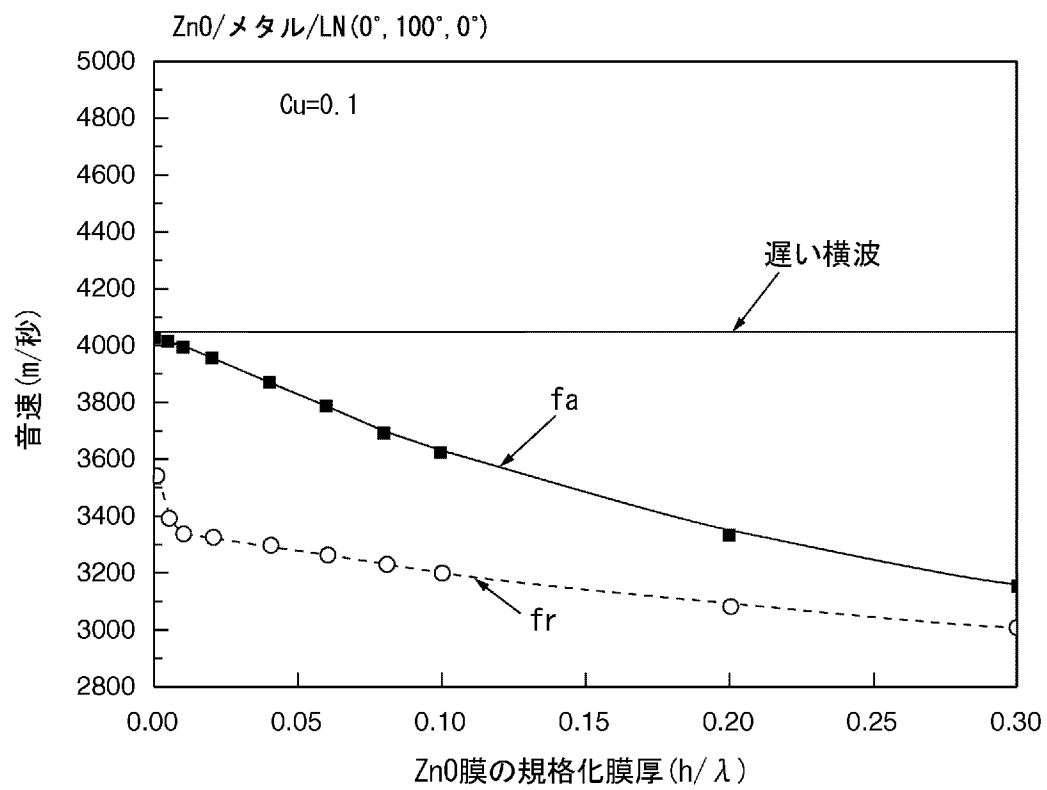
[図7]



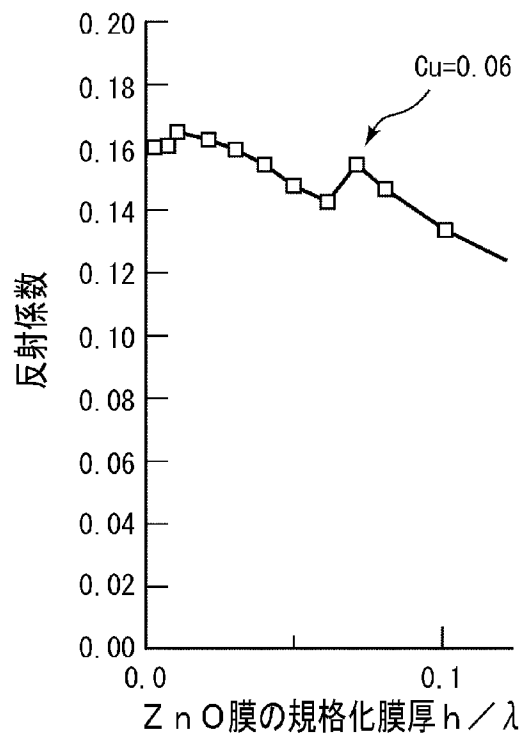
[図8]



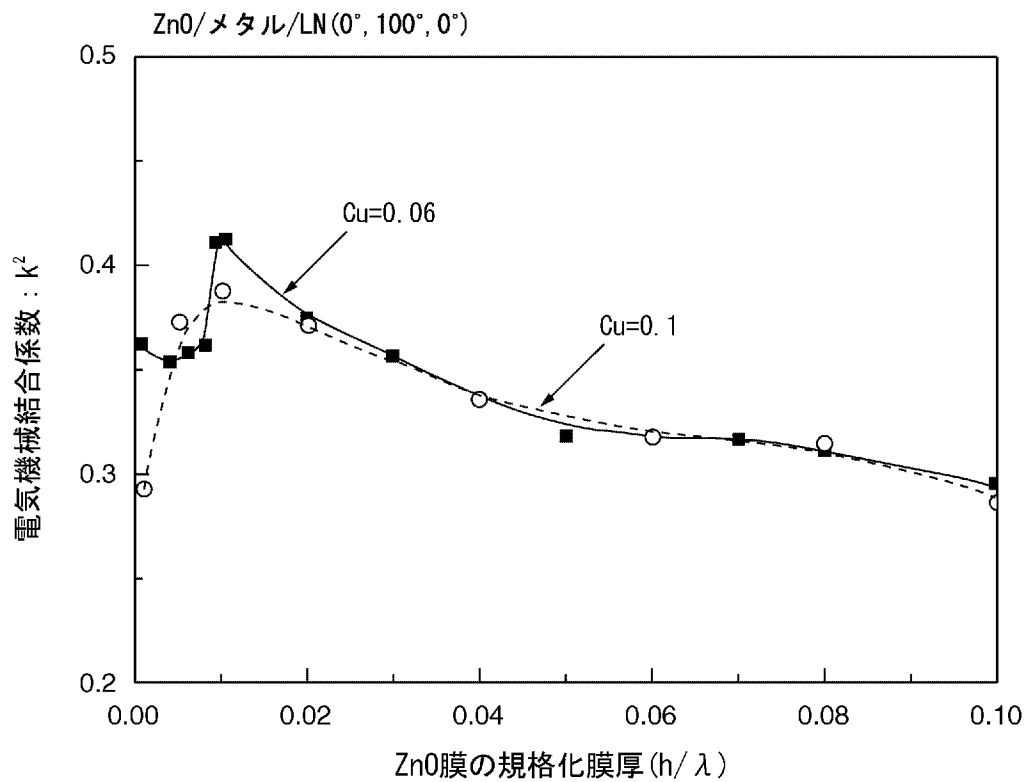
[図9]



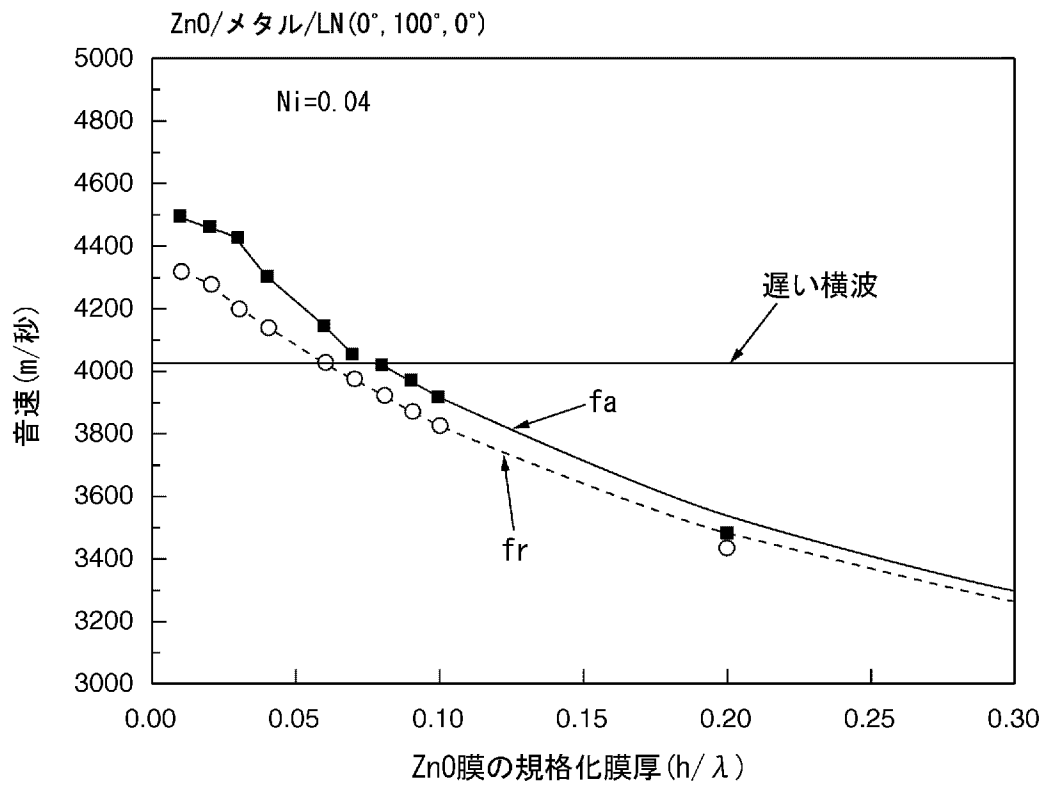
[図10]



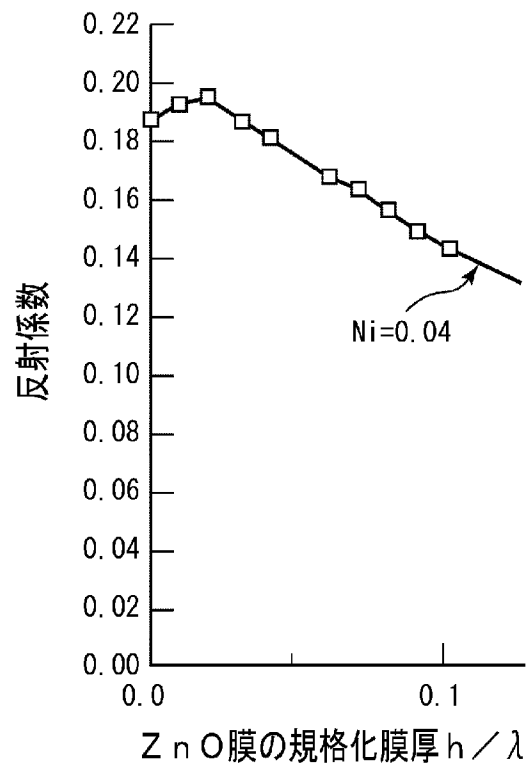
[図11]



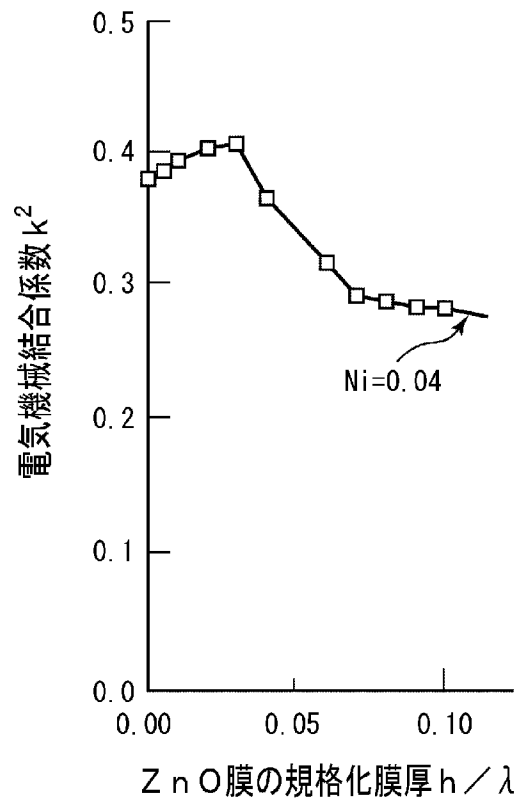
[図12]



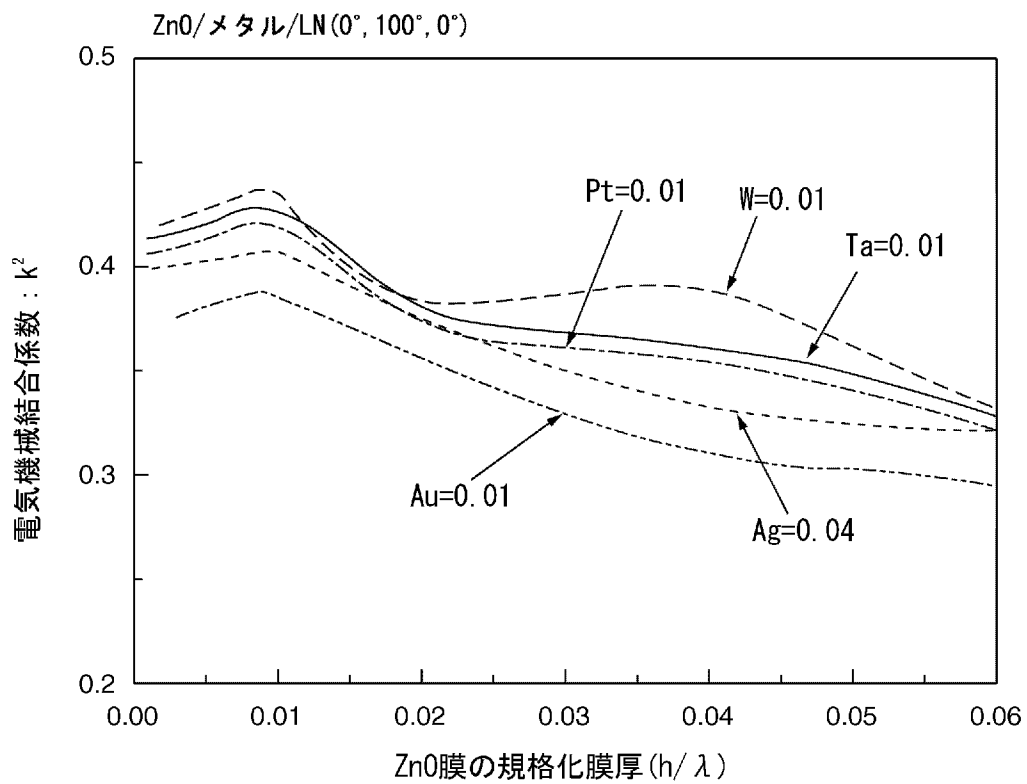
[図13]



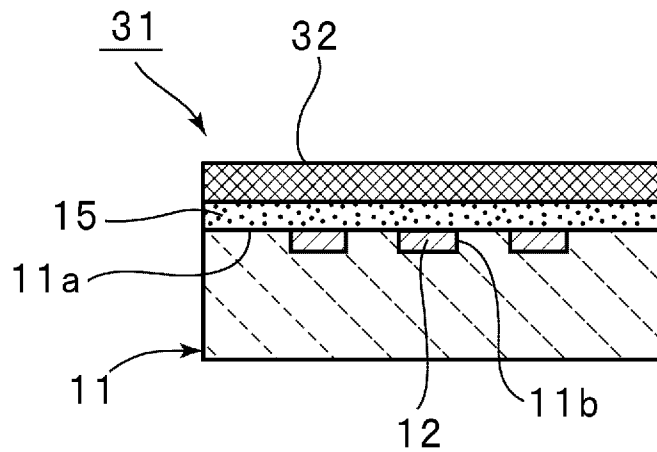
[図14]



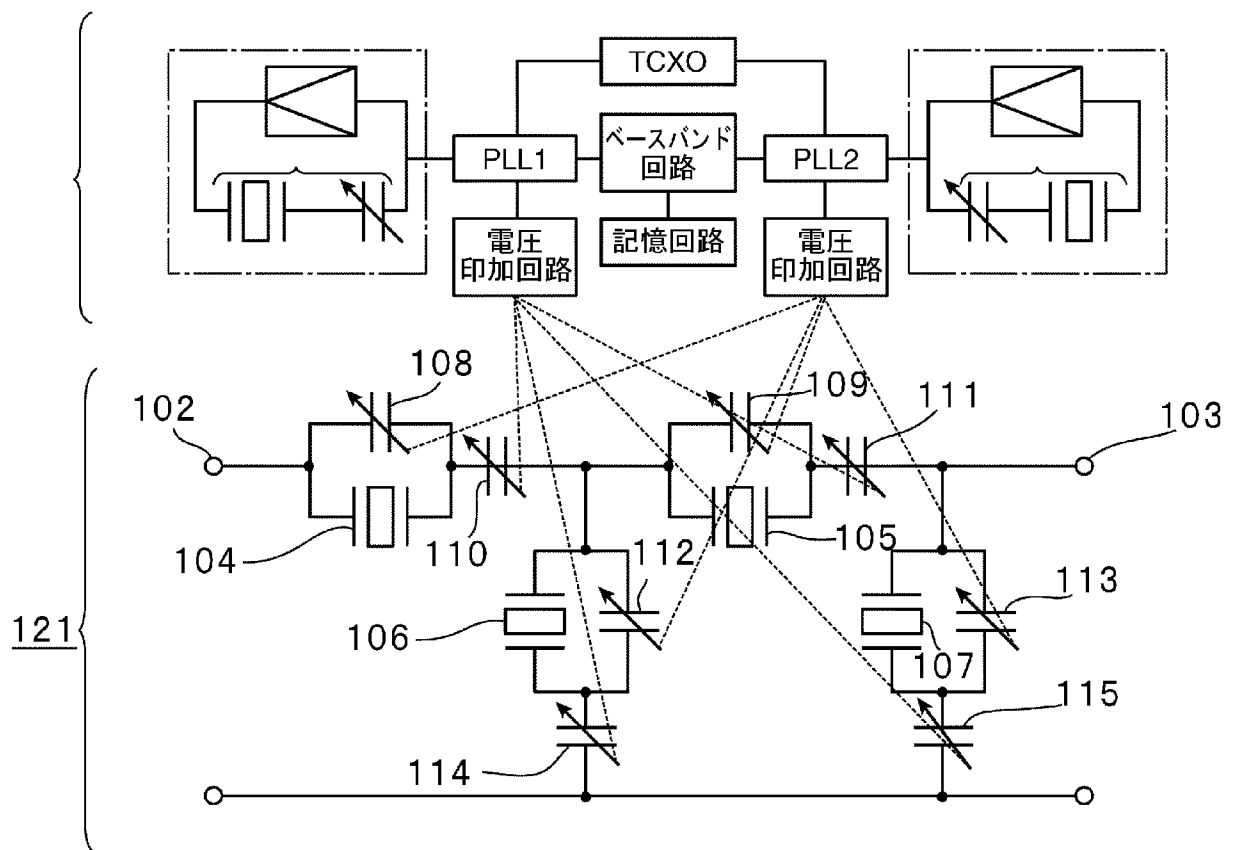
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006106

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H9/145(2006.01)i, H03H9/25(2006.01)i, H03H9/64(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

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.
Y A	JP 2005-217852 A (Toshiba Corp.), 11 August 2005 (11.08.2005), fig. 1; paragraph [0080] & US 2005/0212612 A1	1-2, 7-8 3-6
Y A	JP 2006-270906 A (Kazuhiko YAMANOUCI), 05 October 2006 (05.10.2006), examples 1, 4, 11 (Family: none)	1-2, 7-8 3-6
Y A	JP 1-277011 A (Toko, Inc.), 07 November 1989 (07.11.1989), page 2, lower left column (Family: none)	1-2, 7-8 3-6

☒ 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
02 February, 2010 (02.02.10)

Date of mailing of the international search report
16 February, 2010 (16.02.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006106

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 6-132760 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 13 May 1994 (13.05.1994), paragraphs [0039] to [0040] (Family: none)	1-2, 7-8 3-6
Y	JP 11-274883 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 08 October 1999 (08.10.1999), paragraphs [0039] to [0040]; fig. 17 (Family: none)	7-8
A	WO 2008/123131 A1 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 16 October 2008 (16.10.2008), paragraphs [0051] to [0058] (Family: none)	1-8
A	JP 6-268469 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 22 September 1994 (22.09.1994), paragraphs [0015] to [0017]; fig. 1 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H03H9/145(2006.01)i, H03H9/25(2006.01)i, H03H9/64(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

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
Y A	JP 2005-217852 A（株式会社東芝） 2005.08.11, 図1, [0080] & US 2005/0212612 A1	1-2, 7-8 3-6
Y A	JP 2006-270906 A（山之内和彦） 2006.10.05, [実施例1], [実施例4], [実施例11] (ファミリーなし)	1-2, 7-8 3-6

☒ 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

0 2 . 0 2 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 6 . 0 2 . 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）

崎間 伸洋

5 W

3 5 7 0

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

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 A	JP 1-277011 A (東光株式会社) 1989. 11. 07, 第 2 頁左下欄 (ファミリーなし)	1-2, 7-8 3-6
Y A	JP 6-132760 A (株式会社村田製作所) 1994. 05. 13, [0039]-[0040] (ファミリーなし)	1-2, 7-8 3-6
Y	JP 11-274883 A (住友電気工業株式会社) 1999. 10. 08, [0039]-[0040]、図 17 (ファミリーなし)	7-8
A	WO 2008/123131 A1 (株式会社村田製作所) 2008. 10. 16, [0051]-[0058] (ファミリーなし)	1-8
A	JP 6-268469 A (株式会社村田製作所) 1994. 09. 22, [0015]-[0017]、図 1 (ファミリーなし)	1-8