(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
2023年12月7日(07.12.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/234383 A1

(51) 国際特許分類:
H03H 9/145 (2006.01)　*H03H 9/25* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2023/020400

(22) 国際出願日：　2023年6月1日(01.06.2023)

(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 2022-089625　2022年6月1日(01.06.2022)　JP

(71) 出願人：京セラ株式会社 (**KYOCERA CORPORATION**) [JP/JP]；〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町６番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者：野添　惣一朗 (**NOZOE, Soichiro**)；〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町６番地 京セラ株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人：弁理士法人 HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK (**HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK**)；〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋２丁目北２番６号 大和南森町ビル Osaka (JP).

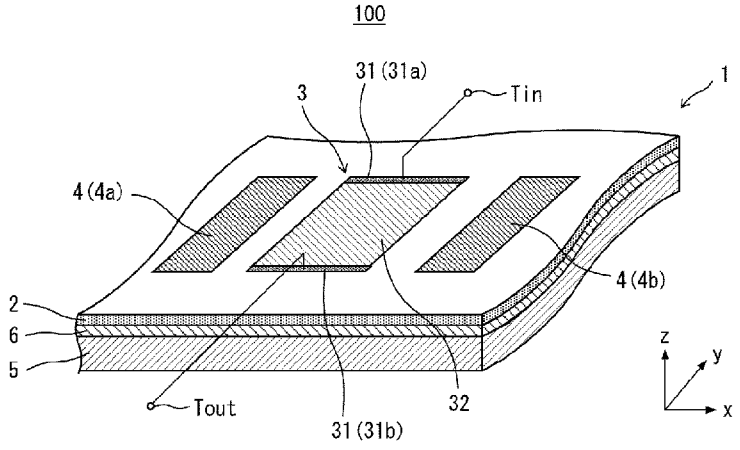
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, 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,

(54) **Title:** ELASTIC WAVE DEVICE AND COMMUNICATION DEVICE

(54) 発明の名称：弾性波装置および通信装置

図 1



(57) **Abstract:** In the present invention, the size of an elastic wave device is reduced. The elastic wave device includes: a support substrate; a piezoelectric body layer that directly, or indirectly, contacts the support substrate; and an IDT electrode that is positioned on the piezoelectric body layer. The elastic wave device excites asymmetrical zero-order-mode Lamb waves.

(57) 要約：弾性波装置を小型化する。弾性波装置は、支持基板と、支持基板に直接的又は間接的に接する圧電体層と、圧電体層上に位置するＩＤＴ電極と、を有し、非対称０次モードラム波を励振する。

WO 2023/234383 A1

IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 弾性波装置および通信装置

技術分野

[0001]　本開示は、弾性波装置および通信装置に関する。

背景技術

[0002]　従来、圧電結晶上にＩＤＴ（Interdigital Transducer）電極を形成した構造を有する弾性波素子が知られている。弾性波素子は、例えば、特定の周波数近傍の弾性表面波（ＳＡＷ：Surface Acoustic Wave）の励振および特定の周波数近傍の電気信号の受信を行うフィルタ（ＳＡＷフィルタ）として用いることができ、通信機器におけるバンドパスフィルタ等に使用されている（例えば、特許文献１を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開２０１２－２５７０１９号公報

発明の概要

[0004]　本開示の一態様に係る弾性波装置は、支持基板と、前記支持基板に直接的又は間接的に接する圧電体層と、前記圧電体層上に位置するＩＤＴ電極と、を有し、非対称０次モードラム波を励振する。

図面の簡単な説明

[0005] [図1]本開示の一実施形態における弾性波装置の構成例を示す斜視図である。

[図2]本開示の一実施形態における弾性波装置の構成例を示す断面図である。

[図3]弾性波装置のＦＥＭシミュレーションモデルの概要を示す図である。

[図4]ＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図5A]検討例１における、ＡＩ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図5B]検討例１における、ＡＩ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図5C]検討例１における、ＡｌＮ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図6A]検討例１における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図6B]検討例１における、ＬＴ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図6C]検討例１における、ＬＴ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図7A]検討例１における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図7B]検討例１における、ＬＴカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図7C]検討例１における、ＬＴカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図8A]検討例１における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図8B]検討例１における、ＬＴ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図8C]検討例１における、ＬＴ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図9A]検討例２における、Ｃｕ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図9B]検討例２における、Ｃｕ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図9C]検討例２における、Ｃｕ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図10A]検討例２における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図10B]検討例２における、ＬＴ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図10C]検討例２における、ＬＴ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図11A]検討例２における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図11B]検討例２における、ＬＴカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図11C]検討例２における、ＬＴカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図12A]検討例２における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図12B]検討例２における、ＬＴ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図12C]検討例２における、ＬＴ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図13A]検討例３における、Ｐｔ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図13B]検討例３における、Ｐｔ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図13C]検討例３における、Ｐｔ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図14A]検討例３における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図14B]検討例３における、ＬＴ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図14C]検討例３における、ＬＴ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図15A]検討例３における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図15B]検討例３における、ＬＴカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図15C]検討例３における、ＬＴカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図16A]検討例３における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図16B]検討例３における、ＬＴ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図16C]検討例３における、ＬＴ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図17A]主要な金属材料の横波音速を示す表である。

[図17B]横波音速の算出式を示す図である。

[図18A]検討例１～３の結果における、電極材料の横波音速と電極厚さの中心点ＣＰとの関係を示すグラフである。

[図18B]検討例１～３の結果における、電極材料の横波音速と音速（弾性波音速）Ｖとの関係を示すグラフである。

[図18C]検討例１～３の結果における、電極材料の横波音速と比帯域幅Δｆとの関係を示すグラフである。

[図19A]検討例５における、ＡＩ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図19B]検討例５における、ＡＩ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図19C]検討例５における、ＡＩ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図20A]検討例５における、ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図20B]検討例５における、ＬＮ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図20C]検討例５における、ＬＮ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図21A]検討例５における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図21B]検討例５における、ＬＮカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図21C]検討例５における、ＬＮカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図22A]検討例５における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図22B]検討例５における、ＬＮ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図22C]検討例５における、ＬＮ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図23A]検討例６における、Ｃｕ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図23B]検討例６における、Ｃｕ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図23C]検討例６における、Ｃｕ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図24A]検討例６における、ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図24B]検討例６における、ＬＮ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図24C]検討例６における、ＬＮ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図25A]検討例６における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図25B]検討例６における、ＬＮカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図25C]検討例６における、ＬＮカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図26A]検討例６における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図26B]検討例６における、ＬＮ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図26C]検討例６における、ＬＮ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図27A]検討例７における、Ｐｔ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図27B]検討例７における、Ｐｔ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図27C]検討例７における、Ｐｔ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図28A]検討例７における、ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図28B]検討例７における、ＬＮ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図28C]検討例７における、ＬＮ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図29A]検討例７における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図29B]検討例７における、ＬＮカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図29C]検討例７における、ＬＮカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図30A]検討例７における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。

[図30B]検討例７における、ＬＮ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図30C]検討例７における、ＬＮ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。

[図31A]検討例５～７の結果における、電極材料の横波音速と電極厚さの中心点ＣＰとの関係を示すグラフである。

[図31B]検討例５～７の結果における、電極材料の横波音速と音速（弾性波音速）Ｖとの関係を示すグラフである。

[図31C]検討例５～７の結果における、電極材料の横波音速と比帯域幅Δｆとの関係を示すグラフである。

[図32]本開示の一実施形態における弾性波装置の他の構造例を示す斜視図である。

[図33]本開示の一実施形態における弾性波装置の他の一構成例を示す断面図である。

[図34]本開示の一実施形態における弾性波装置の他の一構成例を示す断面図である。

[図35]通信装置の概略的な構成を例示する図である。

発明を実施するための形態

[0006] 以下、本開示の一例である実施形態の弾性波装置について、図面を参照して詳細に説明する。但し、以下の記載は発明の趣旨をより良く理解させるためのものであり、特に指定のない限り、本開示を限定するものではない。本明細書において特記しない限り、数値範囲を表す「Ａ～Ｂ」は、「Ａ以上Ｂ以下」を意味する。また、以下の説明において参照する各図は、説明の便宜上、実施形態を説明する上で必要な主要部材のみを簡略化して示したもので

あり、公知の技術的事項については、簡潔化のために説明を適宜省略する。よって、本実施形態における弾性波装置は、参照する各図に示されていない公知の構成部材を任意に備えていてよい。また、各図中の部材の寸法は、実際の構成部材の寸法および各部材の寸法比率等を忠実に表したものではない。

[0007] ＜弾性波装置の構成の概略＞

図１は、本実施形態における弾性波装置１００の構成例を示す斜視図である。図２は本実施形態における弾性波装置１００の構成例を示す断面図である。本実施形態における弾性波装置１００の有するＩＤＴ電極３の具体的な形状は特に限定されず、ＩＤＴ電極３の電極指３２は、公知の各種形状に形成されていてよい。それゆえ、図１においてＩＤＴ電極３の電極指３２を単に斜線ハッチングにて図示している。また、図２および以下の説明で参照する断面図においては、図示の平明化のために、断面よりも奥側の部材の図示を省略した図（切断部断面図）を示している。

[0008] 図１および図２に示すように、本開示の一態様における弾性波装置１００は、少なくとも１つの共振子１を有していてよい。一例における弾性波装置１００では、入力端子Ｔｉｎおよび出力端子Ｔｏｕｔが共振子１に接続されていてよい。共振子１は、入力端子Ｔｉｎに入力された電気信号をフィルタリングし、フィルタリング後の電気信号を出力端子Ｔｏｕｔに出力する周波数フィルタ（ＳＡＷフィルタ）として構成されてよい。

[0009] 弾性波装置１００は、支持基板５と、支持基板５に直接的又は間接的に接する圧電体層２と、圧電体層２上に位置するＩＤＴ電極３と、を有していてよい。ＩＤＴ電極３は、励振電極とも称される。そして、本実施形態における弾性波装置１００は、非対称０次モードラム波を効果的に励振するように構成されている。このことについて、詳しくは後述する。

[0010] 弾性波装置１００に複数の共振子１が含まれる場合、複数の共振子１のそれぞれは、支持基板５と圧電体層２とを共有していてよい。複数の共振子１のそれぞれは、個別のＩＤＴ電極３を有していてよい。

[0011] 支持基板５は、弾性波装置１００の各部を支持する。支持基板５は、その具体的な材質は特に限定されず、例えば、Ｓｉ基板であってよい。

[0012] 圧電体層２は、圧電性を有する単結晶材料によって構成されてよい。例えば、圧電体層２の材料は、タンタル酸リチウム（$LiTaO_3$：ＬＴとも称される）またはニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$：ＬＮとも称される）であってよい。

[0013] 弾性波装置１００は、支持基板５と圧電体層２との間に位置する中間層６を有していてよい。支持基板５と圧電体層２とは、中間層６を介して接合されていてよい。中間層６の構成材料は、典型的には酸化シリコン（SiO_x）であってよい。一例として、中間層６は、SiO_2膜であってよい。弾性波装置１００は、中間層６を有していなくてもよい。中間層６を有する弾性波装置１００は、中間層６を有しない弾性波装置１００よりも製造が容易であり得る。また、弾性波装置１００が中間層６を有しない場合、弾性波装置１００の製造過程において支持基板５と圧電体層２とを接合することによりそれらの間に形成される接合層が、弾性波装置１００のフィルタ特性に悪影響を及ぼし得る。これは、当該接合層と、圧電体層２における支持基板５から遠い側の表面と、の距離が比較的近くなるためである。

[0014] ＩＤＴ電極３は、典型的には、正極の第１電極指３２ａと、負極の第２電極指３２ｂとからなる電極対を周期的に配置した、交差指状電極である。圧電体層２の表面において、ＩＤＴ電極３によって励振されるＳＡＷの伝搬方向は、第１電極指３２ａおよび第２電極指３２ｂがそれぞれ延びる方向に直交する方向である。

[0015] 図１では、弾性波装置１００における、圧電体層２の表面を伝搬するＳＡＷの伝搬方向をｘ方向、弾性波装置１００の各部材の厚さ方向をｚ方向、ｘ方向およびｚ方向に直交する方向をｙ方向とする。以下では、ｚ方向の正の向きを上方向、ｚ方向の負の向きを下方向と称することがある。また、以下の説明において参照する各図面に、図１に示されている直交座標系（ｘｙｚ座標系）を適宜示している。

[0016] ＩＤＴ電極３は、ｙ方向において互いに対向している２本のバスバー３１（第１バスバー３１ａおよび第２バスバー３１ｂ）を有していてよい。ＩＤＴ電極３は、第１バスバー３１ａに接続された複数の第１電極指３２ａと、第２バスバー３１ｂに接続された複数の第２電極指３２ｂと、を有していてよい。第１電極指３２ａは、第１バスバー３１ａから第２バスバー３１ｂに向かってｙ方向に延びていてよい。第２電極指３２ｂは、第２バスバー３１ｂから第１バスバー３１ａに向かってｙ方向に延びていてよい。

[0017] 図２を参照して、第１電極指３２ａおよび第２電極指３２ｂは、圧電体層２上において、ｘ方向に概ね一定の間隔を有するように、交互に繰り返して位置していてよい。本明細書では、第１電極指３２ａおよび第２電極指３２ｂを、電極指３２と総称することがある。ＩＤＴ電極３における電極指ピッチ（電極指のピッチ）ｐは、ｘ方向において、隣り合う２つの電極指３２の中心間の距離（換言すれば電極指３２の繰り返し間隔）であってよい。一般に、ＩＤＴ電極３によって励振されるＳＡＷの波長λは、電極指ピッチｐの２倍の長さとして規定されてよい。以下では、λ＝２ｐと規定する。

[0018] また、本明細書において、電極指３２（第１電極指３２ａまたは第２電極指３２ｂ）のうちの１本のｘ方向における長さを幅ｗと称する。第１電極指３２ａおよび第２電極指３２ｂは、互いに同一または略同一の幅ｗを有していてよい。本明細書において、「略同一」とは、実質的に同一であることを意味し、±５％程度の寸法の相違（誤差）を許容することを意味する。このことは、以下の記載においても同じであり、繰り返して説明することは省略する。

[0019] 幅ｗは、例えば、弾性波装置１００に要求される電気特性に応じて適宜設定されてよい。一例として、幅ｗは、電極指ピッチｐに対応して設定されてよい。本明細書では、電極指ピッチｐに対する幅ｗの比率（ｗ／ｐ）を、Ｄｕｔｙ（デューティ）と称する。共振子１は、電極指３２の全体において幅ｗおよび電極指ピッチｐが一定（すなわちデューティが一定）であってよい。本明細書において、「一定である」とは、厳密に変化が無いことに限るも

のでなく、±５度程度の誤差を許容する意味で用いる。

[0020] 電極指３２は、例えば、金属材料により形成された、ｙ方向に延びる薄厚の平板状であってよい。一例として、当該金属は、アルミニウム（Ａｌ）、銅（Ｃｕ）、または白金（Ｐｔ）であってよい。電極指３２の構成（材質および厚さ）について、より詳しくは後述する。

[0021] ＩＤＴ電極３は、電極指３２を覆う保護層をさらに含んでいてもよい。当該保護層の材料は、例えばSiO_2であってよく、一般的に保護膜として用いられる絶縁材料が適宜用いられてよい。

[0022] 弾性波装置１００は、ＩＤＴ電極３に対応する一対の反射器４ａ・４ｂを有していてもよい。本明細書では、反射器４ａ・４ｂを、総称的に反射器４とも称する。反射器４は、ｘ方向においてＩＤＴ電極３を挟むように位置してよい。

[0023] ＜本開示の知見の概要＞

通信機器等において、比較的低い周波数の帯域であって、例えば７００ＭＨｚ～９００ＭＨｚの周波数帯（以下、説明の便宜上、「目的周波数帯」と称することがある）が通信に用いられる。帯域幅（通過帯域幅）を中心周波数（共振周波数）で割ることにより算出される値は、比帯域幅（本明細書において、「比帯域幅Δｆ」と称することがある）と呼ばれる。目的周波数帯を利用する現行の各種の通信バンドのそれぞれの比帯域幅Δｆのうち、最小の値は、Ｂａｎｄ６の下り方向通信における１．１％である。そこで、本発明者らは、弾性波装置１００のフィルタ特性に要求される条件として、目的周波数帯に帯域幅を有し、かつ比帯域幅Δｆが１．１％以上であることを設定した。

[0024] また、上記の目的周波数帯を利用する通信機器等に搭載される弾性波装置１００について、更なる小型化が要求される。ここで、一般に、圧電体層２の表面に対して垂直な振動面を有するラム波は、ＳＡＷにおける各種の伝搬モードのうちの１種であり、多モード性を有することが知られている。ラム波のうち、非対称０次モードラム波（「Ａ０モードラム波」とも称される）

は、一般的な各種のＳＡＷよりも音速が低い。本明細書において、「音速」は、弾性波装置１００において利用する弾性波の伝搬速度であり、位相速度とも言える。

[0025] 本発明者らは、Ａ０モードラム波を利用して音速Ｖを低下させることにより、弾性波装置１００の小型化を実現することを着想した。Ａ０モードラム波は、圧電体層２の厚さを薄くするにつれて音速Ｖが低くなる。しかし、Ａ０モードラム波を利用して、目的周波数帯における比帯域幅Δｆが１．１％以上の条件を満たす弾性波装置１００については知られておらず、弾性波装置１００に要求される具体的な条件は明らかでない。

[0026] 本発明者らは、上述した基本構造（貼り合わせ構造）を有する弾性波装置１００について、有限要素法（ＦＥＭ）シミュレーションを用いて、具体的な構造とフィルタ特性との関係を評価した。そして、弾性波装置１００の構造に関して規定される条件を見出し、本願発明を想到した。以下、ＦＥＭシミュレーションを用いて本発明者らが探索した結果、すなわち、比帯域幅Δｆおよび音速Ｖの特性が所定の条件を満たす、弾性波装置１００における共振子１の構造について説明する。

[0027] ＜ＦＥＭシミュレーションの基本構造＞

図３は、弾性波装置のＦＥＭシミュレーションモデルの概要を示す図である。図４は、ＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図３に示すように、弾性波装置のＦＥＭシミュレーションモデルＳＭは、支持基板５の上方に中間層６を介して圧電体層２が接合されており、圧電体層２の表面に位置する第１電極指３２ａおよび第２電極指３２ｂを有している。

[0028] 図４に示すような条件にてＦＥＭシミュレーションを行った。電極指３２の材質は、Ａｌ、Ｃｕ、またはＰｔとした。圧電体層２の材質は、ＬＴ（$LiTaO_3$）またはＬＮ（$LiNbO_3$）とした。電極指３２の厚さ、並びに、圧電体層２の厚さ、カット角、および伝搬角を変数とした。また、ＦＥＭシミュレーションにおいて、電極指ピッチｐは１．０μｍ、デューティは０．５に固定した。非対称０次モードラム波の波長λは、電極指ピッチｐの２

倍の２．０μｍとなる。

[0029] ここで、予備的なＦＥＭシミュレーションにおいて、中間層６の厚さは、フィルタ特性に大きく影響しなかった。そのため、以下に説明するＦＥＭシミュレーションにおいて、中間層６の材質はSiO_2とし、厚さは一般的な値として０．５λに固定した。

[0030] 圧電体層２のオイラー角は、一般に（φ、θ、ψ）と表すことができる。以下に説明するＦＥＭシミュレーションでは、φは０°に固定し、θおよびψを変数とした。圧電体層２のオイラー角におけるφ、θ、およびψのそれぞれの意味は、技術常識に基づいて理解することができる。簡潔化のために、圧電体層２のオイラー角について詳細に説明することは省略する。

[0031] 以下に説明する複数のＦＥＭシミュレーション結果のそれぞれにおいて、各変数について求められる条件範囲、および、その範囲内における中心点ＣＰを特定した。本明細書において、「中心点ＣＰ」とは、範囲の中央値ではなく、比帯域幅Δｆおよび音速Ｖの両方の特性のバランスを考慮して選択された値であり、その選択理由については、個々のＦＥＭシミュレーション結果にて後述する。

[0032] ＜検討例１：ＬＴ膜・ＡＩ電極＞

検討例１では、電極材料をＡＩとし、圧電体層２をＬＴ膜としてＦＥＭシミュレーションを行った。

[0033] （ＡＩ電極厚さ）

図５Ａは、検討例１における、ＡＩ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図５Ｂは、検討例１における、ＡＩ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図５Ｃは、検討例１における、ＡＩ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例１における、ＡＩ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定した。また、ＬＴ厚さを５０％λに固定した。

[0034] 図５Ａ～５Ｃに示すように、ＡＩ電極厚さが０．６％λ以上５０．０％λ以下の範囲内において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。音速ＶとＡＩ電極厚さとの関係については、概して、ＡＩ電極厚さが大きいほど音速Ｖが小さくなる傾向にあることがわかる。図５Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例１におけるＡＩ電極厚さの中心点ＣＰは、３０％λとした。

[0035] 本明細書において、比帯域幅Δｆの単位を「％ｆｒ」と示すことがある。これは、通過帯域幅を共振周波数（ｆｒ）で割って算出された値の百分率表記であることを意味する。

[0036] （ＬＴ厚さ）

図６Ａは、検討例１における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図６Ｂは、検討例１における、ＬＴ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図６Ｃは、検討例１における、ＬＴ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例１における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定し、ＡＩ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３０％λに固定した。

[0037] 図６Ａ～６Ｃに示すように、ＬＴ厚さが２０．０％λ以上の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。また、ＬＴ厚さが２０．０％λ以上の範囲において、ＬＴ厚さを大きくするにつれて音速Ｖが大きくなり、ＬＴ厚さが８７．５％λで音速Ｖの値が飽和した。この結果に基づいて、比帯域幅Δｆが比較的大きく、音速Ｂが比較的遅い点を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例１におけるＬＴ厚さの中心点ＣＰは、３２．５％λとした。

[0038] （ＬＴカット角）

図７Ａは、検討例１における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーシ

ョン条件について示す表である。図７Ｂは、検討例１における、ＬＴカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図７Ｃは、検討例１における、ＬＴカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例１における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーションでは、ＡＩ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３０％λに固定し、ＬＴ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３２．５％λに固定した。

[0039] 図７Ａ～７Ｃに示すように、ＬＴカット角が８°以上７４°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。他のＦＥＭシミュレーションにおける探索との統一のために、ＬＴカット角の中心点ＣＰは、３６°とした。図７Ｂに示すように、上記ＬＴカット角の中心点ＣＰは、比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の近傍に位置することがわかる。

[0040] （ＬＴ伝搬角）

図８Ａは、検討例１における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図８Ｂは、検討例１における、ＬＴ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図８Ｃは、検討例１における、ＬＴ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例１における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーションでは、ＡＩ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３０％λに固定した。また、ＬＴ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３２．５％λに固定し、ＬＴカット角を３６°に固定した。

[0041] 図８Ａ～８Ｃに示すように、ＬＴ伝搬角が０°以上２６°以下および１５４°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＴ伝搬角が－２６°以上２６°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。図８Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブには、ＬＴ

伝搬角の０°と１８０°とは等価であるために、実際上、上に凸のピークが存在する。当該フィッティングカーブの極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、ＬＴ伝搬角の中心点ＣＰは、０°とした。

[0042] ＜構成例１＞

上述の検討例１のＦＥＭシミュレーション結果に基づく、本実施形態の構成例１における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がタンタル酸リチウム（ＬＴ）であり、厚さが２０．０％λ以上８７．５％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが８°以上７４°以下、ψが－２６°以上２６°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分がＡｌであり、厚さが０．６％λ以上５０．０％λ以下である。上記λは、Ａ０モードラム波の波長λであり、ＩＤＴ電極３に含まれる複数の電極指３２のピッチｐの２倍の長さとして規定される。上記λの定義については、本明細書における以下の説明においても同じであり、繰り返して記載することは省略する。

[0043] 圧電体層２のオイラー角におけるφは、製造過程における誤差を許容する観点から、－５°以上５°以下の範囲に規定している。φが－５°以上５°以下の範囲において、弾性波装置１００の特性は、ほとんど変動しない。

[0044] 構成例１における弾性波装置１００では、共振子１によってＡ０モードラム波を効果的に励振または受信することができる。構成例１における弾性波装置１００は、当該Ａ０モードラム波を利用するＳＡＷフィルタとして機能し、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上の周波数特性を有する。

[0045] ここで、従来ＳＡＷの音速Ｖは約４０００ｍ／ｓ程度であり、Ａ０モードラム波の音速Ｖは、従来ＳＡＷよりも遅い。例えば、或る共振周波数を有する弾性波装置１００と、従来ＳＡＷを利用する同一の共振周波数を有する弾性波装置（従来の弾性波装置）とを比較すると、以下のことが言える。すなわち、従来ＳＡＷよりもＡ０モードラム波の音速Ｖが小さいため、Ｖ＝ｆλ（ｆ：一定とする）およびλ＝２ｐより、弾性波装置１００は、従来の弾性波装置よりも電極指ピッチｐを小さくすることができる。例えば、共振周波

数ｆｒを１０００ＭＨｚとすると、Ｖ＝４０００ｍ／ｓの場合には電極指ピッチｐは２μｍであり、Ｖ＝２０００ｍ／ｓの場合には電極指ピッチｐは１μｍとなる。電極指３２の総数が同一とすると、電極指ピッチｐが小さくなるほど、ＩＤＴ電極３の大きさをコンパクトにすることができる。

[0046] 構成例１における弾性波装置１００によれば、従来ＳＡＷよりも遅い音速Ｖにて伝搬するＡ０モードラム波を利用することにより、共振子１を小型化することができる。その結果、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上の周波数特性を有しつつ、弾性波装置１００を効果的に小型化することができる。

[0047] （補記事項）

本実施形態において、「構成材料の主成分が成分Ａである」とは、構成材料の全体に対する上記成分Ａの割合が５０質量％よりも大きいことを意味する。このことは、本明細書における以下の説明においても同じであり、繰り返して記載することは省略する。

[0048] 本実施形態の構成例１における弾性波装置１００では、圧電体層２は、ＬＴからなっていてもよく、実質的にＬＴからなっていてもよい。また、ＩＤＴ電極３は、ＡＩからなっていてもよく、実質的にＡＩからなっていてもよい。本実施形態において、「実質的に成分Ｂからなる」とは、構成材料の全体に対する上記成分Ｂの割合が９０質量％以上であることを意味する。このことは、本明細書における以下の説明においても同じであり、繰り返して記載することは省略する。

[0049] 上記の例に限定されず、本実施形態の構成例１における弾性波装置１００では、圧電体層２は、ＬＴを７０質量％以上含んでいてもよく、８０質量％以上含んでいてもよい。圧電体層２の構成材料におけるＬＴ以外の残部は、任意の添加成分および不可避的不純物からなっていてよい。

[0050] また、本実施形態の構成例１における弾性波装置１００では、ＩＤＴ電極３は、ＡＩを７０質量％以上含んでいてもよく、８０質量％以上含んでいてもよい。ＩＤＴ電極３の構成材料におけるＡＩ以外の残部は、任意の添加成分および不可避的不純物からなっていてよい。

[0051] ＜検討例２：ＬＴ膜・Ｃｕ電極＞

検討例２では、電極材料をＣｕとし、圧電体層２をＬＴ膜としてＦＥＭシミュレーションを行った。

[0052] （Ｃｕ電極厚さ）

図９Ａは、検討例２における、Ｃｕ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図９Ｂは、検討例２における、Ｃｕ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図９Ｃは、検討例２における、Ｃｕ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例２における、Ｃｕ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定した。

[0053] 図９Ａ～９Ｃに示すように、Ｃｕ電極厚さが０．２％λ以上５０．０％λ以下の範囲内において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。音速ＶとＣｕ電極厚さとの関係については、概して、Ｃｕ電極厚さが大きいほど音速Ｖが小さくなる傾向にあることがわかる。図９Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例２におけるＣｕ電極厚さの中心点ＣＰは、２０％λとした。

[0054] （ＬＴ厚さ）

図１０Ａは、検討例２における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図１０Ｂは、検討例２における、ＬＴ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図１０Ｃは、検討例２における、ＬＴ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例２における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定し、Ｃｕ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである２０％λに固定した。

[0055] 図１０Ａ～１０Ｃに示すように、ＬＴ厚さが１７．５％λ以上の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。また、ＬＴ厚さが１７．５％λ以上の範囲において、ＬＴ厚さを大きくするにつれて音速Ｖが大きくなり、ＬＴ厚さが９０．０％λで音速Ｖの値が飽和した。この結果に基づいて、比帯域幅Δｆが比較的大きく、音速Ｂが比較的遅い点を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例２におけるＬＴ厚さの中心点ＣＰは、３７．５％λとした。

[0056] （ＬＴカット角）

図１１Ａは、検討例２における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図１１Ｂは、検討例２における、ＬＴカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図１１Ｃは、検討例２における、ＬＴカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例２における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーションでは、Ｃｕ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである２０％λに固定し、ＬＴ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３７．５％λに固定した。

[0057] 図１１Ａ～１１Ｃに示すように、ＬＴカット角が０°以上８０°以下および１６０°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＴカット角が－２０°以上８０°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。他のＦＥＭシミュレーションにおける探索との統一のために、ＬＴカット角の中心点ＣＰは、３６°とした。図１１Ｂに示すように、上記ＬＴカット角の中心点ＣＰは、比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の近傍に位置することがわかる。

[0058] （ＬＴ伝搬角）

図１２Ａは、検討例２における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図１２Ｂは、検討例２における、ＬＴ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグ

ラフである。図１２Ｃは、検討例２における、ＬＴ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例２における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーションでは、Ｃｕ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである２０％λに固定した。また、ＬＴ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３７．５％λに固定し、ＬＴカット角を３６°に固定した。

[0059] 図１２Ａ～１２Ｃに示すように、ＬＴ伝搬角が０°以上４０°以下および１４０°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＴ伝搬角が－４０°以上４０°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。図１２Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブには、ＬＴ伝搬角の０°と１８０°とは等価であるために、実際上、上に凸のピークが存在する。当該フィッティングカーブの極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、ＬＴ伝搬角の中心点ＣＰは、０°とした。

[0060] ＜構成例２＞

上述の検討例２のＦＥＭシミュレーション結果に基づく、本実施形態の構成例２における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がタンタル酸リチウム（ＬＴ）であり、厚さが１７．５％λ以上９０．０％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－２０°以上８０°以下、ψが－４０°以上４０°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分がＣｕであり、厚さが０．２％λ以上５８．０％λ以下である。圧電体層２のオイラー角におけるφは、製造過程における誤差を許容する観点から、－５°以上５°以下の範囲に規定している。

[0061] 本実施形態の構成例２における弾性波装置１００では、圧電体層２は、上記構成例１と同じであってよい。また、ＩＤＴ電極３は、Ｃｕからなっていてもよく、実質的にＣｕからなっていてもよい。ＩＤＴ電極３は、Ｃｕを７０質量％以上含んでいてもよく、８０質量％以上含んでいてもよい。ＩＤＴ電極３の構成材料におけるＣｕ以外の残部は、任意の添加成分および不可避

的不純物からなっていてよい。

[0062] 構成例２における弾性波装置１００においても、共振子１によってＡ０モードラム波を効果的に励振または受信することができる。従来ＳＡＷよりも遅い音速Ｖにて伝搬するＡ０モードラム波を利用することにより、共振子１を小型化することができる。その結果、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上の周波数特性を有しつつ、弾性波装置１００を効果的に小型化することができる。このことは、繰り返して説明することは省略するが、以下の構成例３～８においても同じである。

[0063] ＜検討例３：ＬＴ膜・Ｐｔ電極＞

検討例３では、電極材料をＰｔとし、圧電体層２をＬＴ膜としてＦＥＭシミュレーションを行った。

[0064] （Ｐｔ電極厚さ）

図１３Ａは、検討例３における、Ｐｔ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図１３Ｂは、検討例３における、Ｐｔ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図１３Ｃは、検討例３における、Ｐｔ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例３における、Ｐｔ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定した。

[0065] 図１３Ａ～１３Ｃに示すように、Ｐｔ電極厚さが０．３％λ以上７４．０％λ以下の範囲内において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。音速ＶとＰｔ電極厚さとの関係については、概して、Ｐｔ電極厚さが大きいほど音速Ｖが小さくなる傾向にあることがわかる。図１３Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例３におけるＰｔ電極厚さの中心点ＣＰは、１３％λとした。

[0066] （ＬＴ厚さ）

図１４Ａは、検討例３における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーショ

ン条件について示す表である。図１４Ｂは、検討例３における、ＬＴ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図１４Ｃは、検討例３における、ＬＴ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例３における、ＬＴ厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定し、Ｐｔ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１３％λに固定した。

[0067] 図１４Ａ～１４Ｃに示すように、ＬＴ厚さが１５．０％λ以上の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。また、ＬＴ厚さが１５．０％λ以上の範囲において、ＬＴ厚さを大きくするにつれて音速Ｖが大きくなり、ＬＴ厚さが８５．０％λで音速Ｖの値が飽和した。この結果に基づいて、比帯域幅Δｆが比較的大きく、音速Ｂが比較的遅い点を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例３におけるＬＴ厚さの中心点ＣＰは、４０．０％λとした。

[0068] （ＬＴカット角）

図１５Ａは、検討例３における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図１５Ｂは、検討例３における、ＬＴカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図１５Ｃは、検討例３における、ＬＴカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例３における、ＬＴカット角に関するＦＥＭシミュレーションでは、Ｐｔ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１３％λに固定した。また、ＬＴ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである４０．０％λに固定した。

[0069] 図１５Ａ～１５Ｃに示すように、ＬＴカット角が０°以上８６°以下および１４０°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＴカット角が－４０°以上８６°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となること

がわかる。他のＦＥＭシミュレーションにおける探索との統一のために、ＬＴカット角の中心点ＣＰは、３６°とした。図１５Ｂに示すように、上記ＬＴカット角の中心点ＣＰは、比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の近傍に位置することがわかる。

[0070] （ＬＴ伝搬角）

図１６Ａは、検討例３における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図１６Ｂは、検討例３における、ＬＴ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図１６Ｃは、検討例３における、ＬＴ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例３における、ＬＴ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーションでは、Ｐｔ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１３％λに固定した。また、ＬＴ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである４０．０％λに固定し、ＬＴカット角を３６°に固定した。

[0071] 図１６Ａ～１６Ｃに示すように、ＬＴ伝搬角が０°以上５０°以下および１３０°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＴ伝搬角が－５０°以上５０°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。図１６Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブには、ＬＴ伝搬角の０°と１８０°とは等価であるために、実際上、上に凸のピークが存在する。当該フィッティングカーブの極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、ＬＴ伝搬角の中心点ＣＰは、０°とした。

[0072] ＜構成例３＞

上述の検討例３のＦＥＭシミュレーション結果に基づく、本実施形態の構成例３における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がタンタル酸リチウム（ＬＴ）であり、厚さが１５．０％λ以上８５．０％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－４０°以上８６°以下、ψが－５０°以上５０°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分がＰｔであり、厚さが０．３

％λ以上７４．０％λ以下である。圧電体層２のオイラー角におけるφは、製造過程における誤差を許容する観点から、－５°以上５°以下の範囲に規定している。

[0073] 本実施形態の構成例３における弾性波装置１００では、圧電体層２は、上記構成例１と同じであってよい。また、ＩＤＴ電極３は、Ｐｔからなっていてもよく、実質的にＰｔからなっていてもよい。ＩＤＴ電極３は、Ｐｔを７０質量％以上含んでいてもよく、８０質量％以上含んでいてもよい。ＩＤＴ電極３の構成材料におけるＰｔ以外の残部は、任意の添加成分および不可避的不純物からなっていてよい。

[0074] ＜検討例４：ＬＴ膜・金属電極＞

上記検討例１～３では、電極材料をそれぞれＡｌ，Ｃｕ，Ｐｔとし、圧電体層２をＬＴ膜として検討を行った。これに対し、検討例４では、上記検討例１～３の結果に基づいて、圧電体層２をＬＴ膜とする場合における、ＩＤＴ電極３を構成する電極材料について更に検討した。

[0075] 図１７Ａは、主要な金属材料の横波音速を示す表である。図１７Ｂは、横波音速の算出式を示す図である。図１７Ｂに記載の式において、Ｖは横波音速（ｍ／ｓ）、Ｅはヤング率（Ｐａ）、ρは密度（ｋｇ／ｍ^3）、γはポアソン比である。

[0076] 図１７Ａに示すように、上記検討例１～３に用いたＡｌ，Ｃｕ，Ｐｔの横波音速は、それぞれ２５７１ｍ／ｓ、１８０４ｍ／ｓ、１２４４ｍ／ｓであることがわかる。

[0077] 前述の検討例１では、ＡＩ電極厚さの中心点ＣＰは３０％λであり、当該中心点ＣＰにおける音速（弾性波音速）Ｖは約３０００ｍ／ｓであり、当該中心点ＣＰにおける比帯域幅Δｆは約１．６であった（図５Ａ～図５Ｃを参照）。また、前述の検討例２では、Ｃｕ電極厚さの中心点ＣＰは２０％λであり、当該中心点ＣＰにおける音速（弾性波音速）Ｖは約２５００ｍ／ｓであり、当該中心点ＣＰにおける比帯域幅Δｆは約２．１であった（図９Ａ～図９Ｃを参照）。前述の検討例３では、Ｐｔ電極厚さの中心点ＣＰは１３％

λであり、当該中心点ＣＰにおける音速（弾性波音速）Ｖは約２３００ｍ／ｓであり、当該中心点ＣＰにおける比帯域幅Δｆは約２．５であった（図１３Ａ～図１３Ｃを参照）。

[0078] 図１８Ａは、検討例１～３の結果における、電極材料の横波音速と電極厚さの中心点ＣＰとの関係を示すグラフである。図１８Ｂは、検討例１～３の結果における、電極材料の横波音速と音速（弾性波音速）Ｖとの関係を示すグラフである。図１８Ｃは、検討例１～３の結果における、電極材料の横波音速と比帯域幅Δｆとの関係を示すグラフである。図１８Ａ～図１８Ｃには、検討例１～３の結果に対応するプロットを一次関数で近似して算出された直線および決定係数を示している。図１８Ａ～図１８Ｃに示すように、電極材料の横波音速と、音速（弾性波音速）Ｖおよび比帯域幅Δｆとは、互いに一次関数の関係を有すると言えることがわかる。

[0079] 図１８Ｃに示すように、電極材料の横波音速が３４７３ｍ／ｓ以下において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。横波音速の低い電極材料を用いた電極では、電極周辺にエネルギーが集中し易くなり、その結果、比帯域幅Δｆが大きくなり易い。また、図１７Ａに示すように、主要な金属材料において、Ａｕの横波音速が最も遅く、その値は６５８ｍ／ｓであった。このことに基づき、電極材料の横波音速の下限は５００ｍ／ｓとした。

[0080] ＜構成例４＞

上記検討例１～３のＦＥＭシミュレーション結果および上述の検討結果に基づく、本実施形態の構成例４における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がタンタル酸リチウムであり、厚さが１５．０％λ以上９０．０％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、φ）として、φが－５°以上５°以下、θが－４０°以上８６°以下、φが－５０°以上５０°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分が、５００ｍ／ｓ以上３４７３ｍ／ｓ以下の横波音速を有する金属であり、厚さが０．２％λ以上７４．０％λ以下である。

[0081] また、上記検討例１～３のＦＥＭシミュレーション結果および上述の検討結果に基づく、本実施形態の構成例４の別例における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がタンタル酸リチウムであり、厚さが２０．０％λ以上８５．０％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが８°以上７４°以下、ψが－２６°以上２６°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分が、５００ｍ／ｓ以上３４７３ｍ／ｓ以下の横波音速を有する金属であり、厚さが０．６％λ以上５０．０％λ以下である。

[0082] 本実施形態の構成例４またはその別例における弾性波装置１００では、圧電体層２は、上記構成例１と同じであってよい。また、ＩＤＴ電極３は、５００ｍ／ｓ以上３４７３ｍ／以下の横波音速を有する金属（以下、「特定金属Ｍ１」と称する）からなっていてもよく、実質的に特定金属Ｍ１からなっていてもよく、構成材料の主成分が特定金属Ｍ１であってもよい。

[0083] ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分は、ＩＤＴ電極３の電極構造に応じて特定されてよい。例えば、電極が積層構造である場合、積層構造を構成する複数の層のうち最も厚い層において、最も濃度が高い材料を主成分とすることができる。或いは、積層構造を構成する複数の層のそれぞれの材質の横波音速の平均値を、ＩＤＴ電極３の構成材料の横波音速としてみなしてもよく、この場合、当該平均値が例えば５００ｍ／ｓ以上３４７３ｍ／以下の範囲内であってもよい。電極が積層構造である場合、音速は、例えば体積平均に基づいて計算することもできる。

[0084] 或いは、ＩＤＴ電極３における電極は合金であってもよい。電極が合金である場合、合金の成分組成における、最も濃度が高い材料が主成分であってよい。合金の成分組成における濃度は、例えばＥＤＸ（Energy Dispersive X-ray Spectroscopy）又はＷＤＸ（wavelength-dispersive X-ray spectroscopy）を用いて測定することができる。或いは、合金の密度、ヤング率、ポアソン比に基づいて算出されるＩＤＴ電極３の構成材料の横波音速が、例えば５００ｍ／ｓ以上３４７３ｍ／以下の範囲内であってもよい。ポアソン比は

、種々の合金において、例えば０．３である。

[0085] ＜検討例５：ＬＮ膜・ＡＩ電極＞

次に、検討例５では、電極材料をＡＩとし、圧電体層２をＬＮ膜としてＦＥＭシミュレーションを行った。

[0086] （ＡＩ電極厚さ）

図１９Ａは、検討例５における、ＡＩ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図１９Ｂは、検討例５における、ＡＩ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図１９Ｃは、検討例５における、ＡＩ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例５における、ＡＩ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定した。

[0087] 図１９Ａ～１９Ｃに示すように、ＡＩ電極厚さが１００％λ以下の範囲内において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。１００％λを超えるＡＩ電極厚さは現実的でなく、また、薄すぎるＡＩ電極厚さも現実的ではない。そこで、ＡＩ電極厚さの範囲は、０．０５％λ以上１００．０％λ以下として規定できる。比帯域幅Δｆの値が、ＡＩ電極厚さが０．０５％λの場合の値以上になる範囲として、ＡＩ電極厚さの範囲を、０．０５％λ以上５０．０％λ以下と規定してもよい。

[0088] 図１９Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例５におけるＡＩ電極厚さの中心点ＣＰは、２４％λとした。

[0089] （ＬＮ厚さ）

図２０Ａは、検討例５における、ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２０Ｂは、検討例５における、ＬＮ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２０Ｃは、検討例５における、ＬＮ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例５における、

ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定し、ＡＩ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである２４％λに固定した。

[0090] 図２０Ａ～２０Ｃに示すように、ＬＮ厚さが１０．０％λ以上の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。また、ＬＮ厚さが１０．０％λ以上の範囲において、ＬＮ厚さを大きくするにつれて音速Ｖが大きくなり、ＬＮ厚さが９２．５％λで音速Ｖの値が飽和した。この結果に基づいて、比帯域幅Δｆが比較的大きく、音速Ｂが比較的遅い点を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例５におけるＬＮ厚さの中心点ＣＰは、３５．０％λとした。

[0091] （ＬＮカット角）

図２１Ａは、検討例５における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２１Ｂは、検討例５における、ＬＮカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２１Ｃは、検討例５における、ＬＮカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例５における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーションでは、ＡＩ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである２４％λに固定し、ＬＮ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３５．０％λに固定した。

[0092] 図２１Ａ～２１Ｃに示すように、ＬＮカット角が０°以上９０°以下および１４２°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＮカット角が－３８°以上９０°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。他のＦＥＭシミュレーションにおける探索との統一のために、ＬＮカット角の中心点ＣＰは、３６°とした。図２１Ｂに示すように、上記ＬＮカット角の中心点ＣＰは、比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の近傍に位置することがわかる。

[0093] （ＬＮ伝搬角）

図２２Ａは、検討例５における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２２Ｂは、検討例５における、ＬＮ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２２Ｃは、検討例５における、ＬＮ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例５における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーションでは、ＡＩ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである２４％λに固定した。また、ＬＮ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３５．０％λに固定し、ＬＮカット角を３６°に固定した。

[0094] 図２２Ａ～２２Ｃに示すように、ＬＮ伝搬角が０°以上５０°以下および１３０°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＮ伝搬角が－５０°以上５０°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。図２２Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブには、ＬＮ伝搬角の０°と１８０°とは等価であるために、実際上、上に凸のピークが存在する。当該フィッティングカーブの極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、ＬＮ伝搬角の中心点ＣＰは、０°とした。

[0095] ＜構成例５＞

上述の検討例５のＦＥＭシミュレーション結果に基づく、本実施形態の構成例５における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、厚さが１０．０％λ以上９２．５％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－３８°以上９０°以下、ψが－５０°以上５０°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分がＡＩであり、厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である。

[0096] 本実施形態の構成例５における弾性波装置１００では、圧電体層２は、ＬＮからなっていてもよく、実質的にＬＮからなっていてもよい。圧電体層２は、ＬＮを７０質量％以上含んでいてもよく、８０質量％以上含んでいても

よい。圧電体層２の構成材料におけるＬＮ以外の残部は、任意の添加成分および不可避的不純物からなっていてよい。

[0097] また、ＩＤＴ電極３は、ＡＩからなっていてもよく、実質的にＡＩからなっていてもよい。ＩＤＴ電極３は、ＡＩを７０質量％以上含んでいてもよく、８０質量％以上含んでいてもよい。ＩＤＴ電極３の構成材料におけるＡＩ以外の残部は、任意の添加成分および不可避的不純物からなっていてよい。

[0098] ＜検討例６：ＬＮ膜・Ｃｕ電極＞

検討例６では、電極材料をＣｕとし、圧電体層２をＬＮ膜としてＦＥＭシミュレーションを行った。

[0099] （Ｃｕ電極厚さ）

図２３Ａは、検討例６における、Ｃｕ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２３Ｂは、検討例６における、Ｃｕ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２３Ｃは、検討例６における、Ｃｕ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例６における、Ｃｕ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定した。

[0100] 図２３Ａ～２３Ｃに示すように、Ｃｕ電極厚さが１００％λ以下の範囲内において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。１００％λを超えるＣｕ電極厚さは現実的でなく、また、薄すぎるＣｕ電極厚さも現実的ではない。そこで、Ｃｕ電極厚さの範囲は、０．０５％λ以上１００．０％λ以下として規定できる。比帯域幅Δｆの値が、Ｃｕ電極厚さが０．０５％λの場合の値以上になる範囲として、Ｃｕ電極厚さの範囲を、０．０５％λ以上６６．０％λ以下と規定してもよい。

[0101] 図２３Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例６におけるＣｕ電極厚さの中心点ＣＰは、１８％λとした。

[0102] （ＬＮ厚さ）

図２４Ａは、検討例６における、ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２４Ｂは、検討例６における、ＬＮ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２４Ｃは、検討例６における、ＬＮ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例６における、ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定し、Ｃｕ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１８％λに固定した。

[0103] 図２４Ａ～２４Ｃに示すように、ＬＮ厚さが７．５％λ以上の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。また、ＬＮ厚さが７．５％λ以上の範囲において、ＬＮ厚さを大きくするにつれて音速Ｖが大きくなり、ＬＮ厚さが８５．０％λで音速Ｖの値が飽和した。この結果に基づいて、比帯域幅Δｆが比較的大きく、音速Ｂが比較的遅い点を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例６におけるＬＮ厚さの中心点ＣＰは、３２．５％λとした。

[0104] （ＬＮカット角）

図２５Ａは、検討例６における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２５Ｂは、検討例６における、ＬＮカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２５Ｃは、検討例６における、ＬＮカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例６における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーションでは、Ｃｕ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１８％λに固定し、ＬＮ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３２．５％λに固定した。

[0105] 図２５Ａ～２５Ｃに示すように、ＬＮカット角が０°以上８４°以下および１２８°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＮカット角が－５２°以

上８４°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。他のＦＥＭシミュレーションにおける探索との統一のために、ＬＮカット角の中心点ＣＰは、３６°とした。図２５Ｂに示すように、上記ＬＮカット角の中心点ＣＰは、比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の近傍に位置することがわかる。

[0106] （ＬＮ伝搬角）

図２６Ａは、検討例６における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２６Ｂは、検討例６における、ＬＮ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２６Ｃは、検討例６における、ＬＮ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例６における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーションでは、Ｃｕ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１８％λに固定した。また、ＬＮ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３２．５％λに固定し、ＬＮカット角を３６°に固定した。

[0107] 図２６Ａ～２６Ｃに示すように、ＬＮ伝搬角が０°以上５８°以下および１２２°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＮ伝搬角が－５８°以上５８°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。図２６Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブには、ＬＮ伝搬角の０°と１８０°とは等価であるために、実際上、上に凸のピークが存在する。当該フィッティングカーブの極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、ＬＮ伝搬角の中心点ＣＰは、０°とした。

[0108] ＜構成例６＞

上述のＦＥＭシミュレーション結果に基づく、本実施形態の構成例６における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、厚さが７．５％λ以上８５．０％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－５２°以上８４°以下、ψが－５８°以上５８°以下である。ＩＤＴ電極

３の構成材料の主成分がＣｕであり、厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である。

[0109] 本実施形態の構成例６における弾性波装置１００では、圧電体層２は、上記構成例５と同じであってよい。また、ＩＤＴ電極３は、Ｃｕからなっていてもよく、実質的にＣｕからなっていてもよい。ＩＤＴ電極３は、Ｃｕを７０質量％以上含んでいてもよく、８０質量％以上含んでいてもよい。ＩＤＴ電極３の構成材料におけるＣｕ以外の残部は、任意の添加成分および不可避的不純物からなっていてよい。

[0110] ＜検討例７：ＬＮ膜・Ｐｔ電極＞

検討例７では、電極材料をＰｔとし、圧電体層２をＬＮ膜としてＦＥＭシミュレーションを行った。

[0111] （Ｐｔ電極厚さ）

図２７Ａは、検討例７における、Ｐｔ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２７Ｂは、検討例７における、Ｐｔ電極厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２７Ｃは、検討例７における、Ｐｔ電極厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例７における、Ｐｔ電極厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定した。

[0112] 図２７Ａ～２７Ｃに示すように、Ｐｔ電極厚さが１００％λ以下の範囲内において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。１００％λを超えるＰｔ電極厚さは現実的でなく、また、薄すぎるＰｔ電極厚さも現実的ではない。そこで、Ｐｔ電極厚さの範囲は、０．０５％λ以上１００．０％λ以下として規定できる。比帯域幅Δｆの値が、Ｐｔ電極厚さが０．０５％λの場合の値以上になる範囲として、Ｐｔ電極厚さの範囲を、０．０５％λ以上８６．０％λ以下と規定してもよい。

[0113] 図２７Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例７におけるＰ

ｔ電極厚さの中心点ＣＰは、１２％λとした。

[0114] （ＬＮ厚さ）

図２８Ａは、検討例７における、ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２８Ｂは、検討例７における、ＬＮ厚さと比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２８Ｃは、検討例７における、ＬＮ厚さと音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例７における、ＬＮ厚さに関するＦＥＭシミュレーションでは、圧電体層２のオイラー角を、一般的な値である（０°、３６°、０°）に固定し、Ｐｔ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１２％λに固定した。

[0115] 図２８Ａ～２８Ｃに示すように、ＬＮ厚さが７．５％λ以上の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。また、ＬＮ厚さが７．５％λ以上の範囲において、ＬＮ厚さを大きくするにつれて音速Ｖが大きくなり、ＬＮ厚さが８２．５％λで音速Ｖの値が飽和した。この結果に基づいて、比帯域幅Δｆが比較的大きく、音速Ｂが比較的遅い点を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、検討例７におけるＬＮ厚さの中心点ＣＰは、３２．５％λとした。

[0116] （ＬＮカット角）

図２９Ａは、検討例７における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図２９Ｂは、検討例７における、ＬＮカット角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図２９Ｃは、検討例７における、ＬＮカット角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例７における、ＬＮカット角に関するＦＥＭシミュレーションでは、Ｐｔ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１２％λに固定した。また、ＬＮ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３２．５％λに固定した。

[0117] 図２９Ａ～２９Ｃに示すように、ＬＮカット角が０°以上８６°以下および１２２°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＮカット角が－５８°以上８６°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。他のＦＥＭシミュレーションにおける探索との統一のために、ＬＮカット角の中心点ＣＰは、３６°とした。図２９Ｂに示すように、上記ＬＮカット角の中心点ＣＰは、比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブにおける極大点の近傍に位置することがわかる。

[0118] （ＬＮ伝搬角）

図３０Ａは、検討例７における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーション条件について示す表である。図３０Ｂは、検討例７における、ＬＮ伝搬角と比帯域幅Δｆとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。図３０Ｃは、検討例７における、ＬＮ伝搬角と音速Ｖとの関係についてのＦＥＭシミュレーション結果を示すグラフである。検討例７における、ＬＮ伝搬角に関するＦＥＭシミュレーションでは、Ｐｔ電極厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである１２％λに固定した。また、ＬＮ厚さを上述のＦＥＭシミュレーション結果における中心点ＣＰである３２．５％λに固定し、ＬＮカット角を３６°に固定した。

[0119] 図３０Ａ～３０Ｃに示すように、ＬＮ伝搬角が０°以上６４°以下および１１６°以上１８０°以下の範囲、換言すればＬＮ伝搬角が－６４°以上６４°以下の範囲において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。図３０Ｂに示す比帯域幅Δｆのプロットのフィッティングカーブには、ＬＮ伝搬角の０°と１８０°とは等価であるために、実際上、上に凸のピークが存在する。当該フィッティングカーブの極大点の部分を中心点ＣＰとして選択した。すなわち、ＬＮ伝搬角の中心点ＣＰは、０°とした。

[0120] ＜構成例７＞

上述のＦＥＭシミュレーション結果に基づく、本実施形態の構成例７における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、厚さが７．５％λ以上８２．５％λである。また、圧電体層２

のオイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－５８°以上８６°以下、ψが－６４°以上６４°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分がＰｔであり、厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である。

[0121] 本実施形態の構成例７における弾性波装置１００では、圧電体層２は、上記構成例５と同じであってよい。また、ＩＤＴ電極３は、Ｐｔからなっていてもよく、実質的にＰｔからなっていてもよい。ＩＤＴ電極３は、Ｐｔを７０質量％以上含んでいてもよく、８０質量％以上含んでいてもよい。ＩＤＴ電極３の構成材料におけるＰｔ以外の残部は、任意の添加成分および不可避的不純物からなっていてよい。

[0122] ＜検討例８：ＬＮ膜・金属電極＞

上記検討例５～７では、電極材料をそれぞれＡｌ，Ｃｕ，Ｐｔとし、圧電体層２をＬＮ膜として検討を行った。これに対し、検討例８では、上記検討例５～７の結果に基づいて、圧電体層２をＬＮ膜とする場合における、ＩＤＴ電極３を構成する電極材料について更に検討した。

[0123] 上記検討例４について、図１７Ａおよび図１７Ｂを用いて説明したことは、本検討例８においても同じであり、繰り返して説明することは省略する。

[0124] 上記検討例５において、Ａｌ電極厚さの中心点ＣＰは２４％λであり、当該中心点ＣＰにおける音速（弾性波音速）Ｖは約３１００ｍ／ｓであり、当該中心点ＣＰにおける比帯域幅Δｆは約４．２であった（図１９Ａ～図１９Ｃを参照）。また、上記検討例６において、Ｃｕ電極厚さの中心点ＣＰは１８％λであり、当該中心点ＣＰにおける音速（弾性波音速）Ｖは約２６００ｍ／ｓであり、当該中心点ＣＰにおける比帯域幅Δｆは約５．３であった（図２３Ａ～図２３Ｃを参照）。上記検討例７において、Ｐｔ電極厚さの中心点ＣＰは１２％λであり、当該中心点ＣＰにおける音速（弾性波音速）Ｖは約２３００ｍ／ｓであり、当該中心点ＣＰにおける比帯域幅Δｆは約６．０であった（図２７Ａ～図２７Ｃを参照）。

[0125] 図３１Ａは、検討例５～７の結果における、電極材料の横波音速と電極厚

さの中心点ＣＰとの関係を示すグラフである。図３１Ｂは、検討例５～７の結果における、電極材料の横波音速と音速（弾性波音速）Ｖとの関係を示すグラフである。図３１Ｃは、検討例５～７の結果における、電極材料の横波音速と比帯域幅Δｆとの関係を示すグラフである。図３１Ａ～図３１Ｃには、検討例５～７の結果に対応するプロットを一次関数で近似して算出された直線および決定係数を示している。図３１Ａ～図３１Ｃに示すように、電極材料の横波音速と、音速（弾性波音速）Ｖおよび比帯域幅Δｆとは、互いに一次関数の関係を有すると言えることがわかる。

[0126] 図３１Ｃに示すように、電極材料の横波音速が約５０００ｍ／ｓ以下において、比帯域幅Δｆが１．１％ｆｒ以上となることがわかる。ここで、従来ＳＡＷの音速は、約４０００ｍ／ｓである。従来ＳＡＷは、レイリー波、リーキー波が含まれる。ＬＴ膜を伝搬するリーキー波の音速は、約４０００ｍ／ｓである。そのため、図３１Ｂに示すように、音速（弾性波音速）Ｖが従来ＳＡＷよりも遅くなる範囲として、電極材料の横波音速の上限は４００５ｍ／ｓとした。また、前述の検討例４と同じく、電極材料の横波音速の下限は５００ｍ／ｓとした。

[0127] ＜構成例８＞

上記検討例５～７のＦＥＭシミュレーション結果および上述の検討結果に基づく、本実施形態の構成例８における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、厚さが７．５％λ以上９２．５％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－５８°以上９０°以下、ψが－６４°以上６４°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分が、５００ｍ／ｓ以上４００５ｍ／以下の横波音速を有する金属であり、厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である。

[0128] 上記検討例５～７のＦＥＭシミュレーション結果および上述の検討結果に基づく、本実施形態の構成例８の別例における弾性波装置１００では、圧電体層２の構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、厚さが１０．０％λ

以上８２．５％λ以下である。また、圧電体層２のオイラー角を（φ、θ、φ）として、φが－５°以上５°以下、θが－３８°以上８４°以下、φが－５０°以上５０°以下である。ＩＤＴ電極３の構成材料の主成分が、５００ｍ／ｓ以上４００５ｍ／以下の横波音速を有する金属であり、厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である。

[0129] 本実施形態の構成例８またはその別例における弾性波装置１００では、圧電体層２は、上記構成例５と同じであってよい。また、ＩＤＴ電極３は、５００ｍ／ｓ以上４００５ｍ／以下の横波音速を有する金属（以下、「特定金属Ｍ２」と称する）からなっていてもよく、実質的に特定金属Ｍ２からなっていてもよく、構成材料の主成分が特定金属Ｍ２であってもよい。ＩＤＴ電極３の構成材料と横波音速の範囲との関係については、前述の構成例４に関して説明したことと同じであるため、繰り返して説明することを省略する。

[0130] ＜その他の構造例＞

図３２は、本実施形態における弾性波装置１００の他の構造例を示す斜視図である。本実施形態における弾性波装置１００は、前述のように、Ａ０モードラム波を励振するように構成されていればよく、ＩＤＴ電極３の具体的な形状は特に限定されるものではない。例えば、図３２に示すように、弾性波装置１００は、トランスバーサル型の共振子１を有していてもよい。

[0131] 図３２に示す例では、共振子１は、Ｘ方向に配された第１のＩＤＴ電極１３０（入力側のＩＤＴ電極）と第２のＩＤＴ電極２３０（出力側のＩＤＴ電極）とを有していてよい。第１のＩＤＴ電極１３０は、ｙ方向において互いに対向している２本のバスバー１３１（第１バスバー１３１ａおよび第２バスバー１３１ｂ）を有していてよい。また、第２のＩＤＴ電極２３０は、ｙ方向において互いに対向している２本のバスバー２３１（第１バスバー２３１ａおよび第２バスバー２３１ｂ）を有していてよい。

[0132] 例えば、入力端子Ｔｉｎが第１のＩＤＴ電極１３０における第１バスバー１３１ａに接続され、出力端子Ｔｏｕｔが第２のＩＤＴ電極２３０における第２バスバー２３１ｂに接続されていてよい。第１のＩＤＴ電極１３０にお

ける第２バスバー１３１ｂおよび第２のＩＤＴ電極２３０における第１バスバー２３１ａはそれぞれ、グランド端子に接続されていてよい。

[0133] 図３２に示す例では、弾性波装置１００は、第１のＩＤＴ電極１３０と第２のＩＤＴ電極２３０との間の伝搬路に、第３電極１４を有していてもよい。第３電極１４は、例えば、アルミニウム電極膜であってよく、第１のＩＤＴ電極１３０から第２のＩＤＴ電極２３０への信号（Ａ０モードラム波）の伝搬効率を向上させる機能を有する。第３電極１４は、グランド端子に接続されていてよく、接続されていなくてもよい。弾性波装置１００において、第３電極１４は設けられていなくてもよい。

[0134] 弾性波装置１００は、第１のＩＤＴ電極１３０および第２のＩＤＴ電極２３０のそれぞれについて、前述のＩＤＴ電極３と同様の形状および成分比を有していればよい。第３電極１４としては、公知の構成を採用することができる。

[0135] ＜その他の構成１＞

図３３は、本実施形態における弾性波装置１００の他の一構成例を示す断面図である。図３３に示す例では、弾性波装置１００が備える共振子１は、支持基板５と圧電体層２との間に、音響反射膜を有していてよい。音響反射膜の具体的な構造は特に限定されないが、例えば、弾性波装置１００は、支持基板５と圧電体層２との間に反射多層膜６０を有していてよい。

[0136] 反射多層膜６０は、第１層６１と第２層６２とを、それぞれ交互に積層して含んでいてよい。第１層６１の構成材料は、第２層６２の構成材料よりも音響インピーダンスが低いものであってよい。例えば、第１層６１は、構成材料の主成分が二酸化ケイ素（SiO_2）であってよい。例えば、第２層６２は、構成材料の主成分が酸化ハフニウム（HfO_2）であってよい。また、第２層６２は、構成材料の主成分が五酸化タンタル（Ta_2O_5）、二酸化ジルコニウム（ZrO_2）、酸化チタン（TiO_2）、および酸化マグネシウム（ＭｇＯ）の何れかとなっていてもよい。反射多層膜６０は、第１層６１および第２層６２をそれぞれ少なくとも一層含んでいてよい。反射多層膜６０に

おける、圧電体層２に接する層は第１層６１である。一方で、反射多層膜６０における、支持基板５に最も近い位置の層は、第１層６１および第２層６２のどちらであってもよい。例えば、反射多層膜６０は、第１層６１および第２層６２を、合計して３層以上１２層以下含んでいてもよい。

[0137] ＜その他の構成２＞

図３４は、本実施形態における弾性波装置１００の他の一変形例を示す断面図である。図３４に示す例では、弾性波装置１００が備える共振子１は、ＩＤＴ電極３の少なくとも一部が、圧電体層２に埋め込まれていてよい。

[0138] 図３４に示す例では、電極指３２の上面と、圧電体層２の上面とが揃っている（面一である）が、これに限定されない。例えば、電極指３２の上面が圧電体層２の上面に対して凸又は凹になるように、ＩＤＴ電極３が圧電体層２に埋め込まれていてもよい。これにより、スプリアスを効果的に低減することができる。

[0139] ＜その他の構成３＞

弾性波装置１００の共振周波数は、例えば、７００ＭＨｚ以上９００ＭＨｚ以下であってよい。ここで、圧電体層２およびＩＤＴ電極３の断面厚さ（％λ表記）が一定の場合、Ａ０モードラム波の音速Ｖも一定となる。この場合、Ｖ＝ｆλ（Ｖ：一定）より、λ（換言すれば電極指ピッチｐ）を変化させることによって共振周波数を調整することができる。逆に言えば、所望の共振周波数となるように、λを設定し、設定したλに基づいて圧電体層２およびＩＤＴ電極３の断面厚さ（％λ表記）を算出する。算出した厚さの圧電体層２およびＩＤＴ電極３を有する共振子１を作製すればよい。

[0140] ＜通信装置＞

図３５は、通信装置１５１の概略的な構成を例示する図である。通信装置１５１は、本開示の一態様に係る弾性波装置１００の一適用例であり、電波を利用した無線通信を行う。通信装置１５１は、送信フィルタ１０９としての１つの分波器１０１と、受信フィルタ１１１としての別の１つの分波器１０１とを含んでいてよい。２つの分波器１０１のそれぞれは、本開示の一態

様に係る弾性波装置１００を含んでいてよい。このように、通信装置１５１は、本開示の一態様に係る弾性波装置１００を含んでいてよい。

[0141] 通信装置１５１において、送信すべき情報を含む送信情報信号ＴＩＳは、ＲＦ－ＩＣ（Radio Frequency-Integrated Circuit）１５３によって変調および周波数の引き上げ（搬送波周波数を有する高周波信号への変換）がなされ、送信信号ＴＳへと変換されてよい。バンドパスフィルタ１５５は、ＴＳについて、送信用の通過帯以外の不要成分を除去してよい。次いで、不要成分除去後のＴＳは、増幅器１５７によって増幅されて、送信フィルタ１０９に入力されてよい。

[0142] 送信フィルタ１０９は、入力された送信信号ＴＳから送信用の通過帯以外の不要成分を除去してよい。送信フィルタ１０９は、アンテナ端子を介して、不要成分除去後のＴＳをアンテナ１５９に出力してよい。アンテナ１５９は、自身に入力された電気信号であるＴＳを、無線信号としての電波に変換し、当該電波を通信装置１５１の外部に送信してよい。

[0143] また、アンテナ１５９は、受信した外部からの電波を、電気信号である受信信号ＲＳに変換し、アンテナ端子を介して当該ＲＳを受信フィルタ１１１に入力してよい。受信フィルタ１１１は、入力されたＲＳから受信用の通過帯以外の不要成分を除去してよい。受信フィルタ１１１は、不要成分除去後の受信信号ＲＳを増幅器１６１へ出力してよい。出力されたＲＳは、増幅器１６１によって増幅されてよい。バンドパスフィルタ１６３は、増幅後のＲＳについて、受信用の通過帯以外の不要成分を除去してよい。不要成分除去後のＲＳは、ＲＦ－ＩＣ１５３によって周波数の引き下げおよび復調がなされ、受信情報信号ＲＩＳへと変換されてよい。

[0144] ＴＩＳおよびＲＩＳは、適宜な情報を含む低周波信号（ベースバンド信号）であってよい。例えば、ＴＩＳおよびＲＩＳは、アナログ音声信号であってもよいし、あるいはデジタル化された音声信号であってよい。無線信号の通過帯は、適宜に設定されてよく、公知の各種の規格に準拠してよい。

[0145] 〔附記事項〕

以上、本開示に係る発明について、諸図面および実施例に基づいて説明してきた。しかし、本開示に係る発明は上述した各実施形態および実施例に限定されるものではない。すなわち、本開示に係る発明は本開示で示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態および実施例にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本開示に係る発明の技術的範囲に含まれる。つまり、当業者であれば本開示に基づき種々の変形または修正を行うことが容易であることに注意されたい。また、これらの変形または修正は本開示の範囲に含まれることに留意されたい。

符号の説明

[0146]
１　共振子
２　圧電体層
３　ＩＤＴ電極
３１　バスバー
３２　電極指
４　反射器
５　支持基板
６　中間層
１００　弾性波装置

請求の範囲

[請求項1] 支持基板と、

前記支持基板に直接的又は間接的に接する圧電体層と、

前記圧電体層上に位置するＩＤＴ電極と、を有し、

非対称０次モードラム波を励振する、弾性波装置。

[請求項2] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がタンタル酸リチウムであり、

厚さが２０．０％λ以上８７．５％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが８°以上７４°以下、ψが－２６°以上２６°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分がＡｌであり、

厚さが０．６％λ以上５０．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項3] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がタンタル酸リチウムであり、

厚さが１７．５％λ以上９０．０％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－２０°以上８０°以下、ψが－４０°以上４０°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分がＣｕであり、

厚さが０．２％λ以上５８．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項4] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前

記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がタンタル酸リチウムであり、

厚さが１５．０％λ以上８５．０％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－４０°以上８６°以下、ψが－５０°以上５０°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分がＰｔであり、

厚さが０．３％λ以上７４．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項5] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がタンタル酸リチウムであり、

厚さが１５．０％λ以上９０．０％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－４０°以上８６°以下、ψが－５０°以上５０°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分が、５００ｍ／ｓ以上３４７３ｍ／ｓ以下の横波音速を有する金属であり、

厚さが０．２％λ以上７４．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項6] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がタンタル酸リチウムであり、

厚さが２０．０％λ以上８５．０％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、

θが８°以上７４°以下、φが－２６°以上２６°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分が、５００ｍ／ｓ以上３４７３ｍ／ｓ以下の横波音速を有する金属であり、

厚さが０．６％λ以上５０．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項7] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、

厚さが１０．０％λ以上９２．５％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、φ）として、φが－５°以上５°以下、θが－３８°以上９０°以下、φが－５０°以上５０°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分がＡｌであり、

厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項8] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、

厚さが７．５％λ以上８５．０％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、φ）として、φが－５°以上５°以下、θが－５２°以上８４°以下、φが－５８°以上５８°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分がＣｕであり、

厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項9] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、

厚さが７．５％λ以上８２．５％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－５８°以上８６°以下、ψが－６４°以上６４°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分がＰｔであり、

厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項10] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、

厚さが７．５％λ以上９２．５％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－５８°以上９０°以下、ψが－６４°以上６４°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分が、５００ｍ／ｓ以上４００５ｍ／ｓ以下の横波音速を有する金属であり、

厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項11] 前記ＩＤＴ電極に含まれる複数の電極指のピッチの２倍の長さを前記非対称０次モードラム波の波長λと規定して、

前記圧電体層は、

構成材料の主成分がニオブ酸リチウムであり、

厚さが１０．０％λ以上８２．５％λ以下であり、

オイラー角を（φ、θ、ψ）として、φが－５°以上５°以下、θが－３８°以上８４°以下、ψが－５０°以上５０°以下であり、

前記ＩＤＴ電極は、

構成材料の主成分が、５００ｍ／ｓ以上４００５ｍ／ｓ以下の横波音速を有する金属であり、

厚さが０．０５％λ以上１００．０％λ以下である、請求項１に記載の弾性波装置。

[請求項12] 前記支持基板と前記圧電体層との間に中間層を有する、請求項１から１１のいずれか１項に記載の弾性波装置。

[請求項13] 前記支持基板と前記圧電体層との間に音響反射膜を有する、請求項１から１１のいずれか１項に記載の弾性波装置。

[請求項14] 比帯域幅が１．１％以上である、請求項１から１３のいずれか１項に記載の弾性波装置。

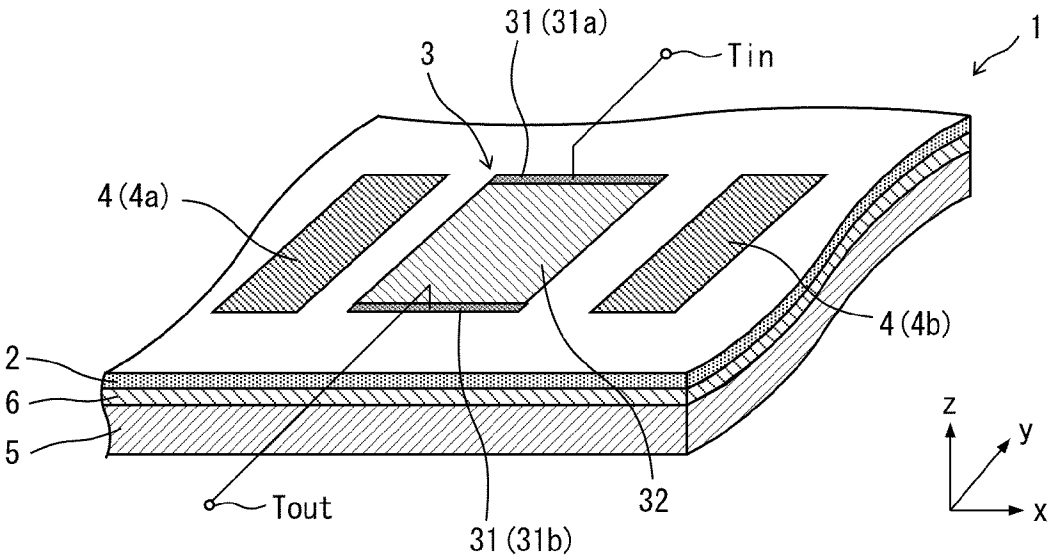
[請求項15] 前記ＩＤＴ電極の少なくとも一部が、前記圧電体層に埋め込まれている、請求項１から１４のいずれか１項に記載の弾性波装置。

[請求項16] 請求項１から１５のいずれか１項に記載の弾性波装置を備える通信装置。

[図1]

図 1

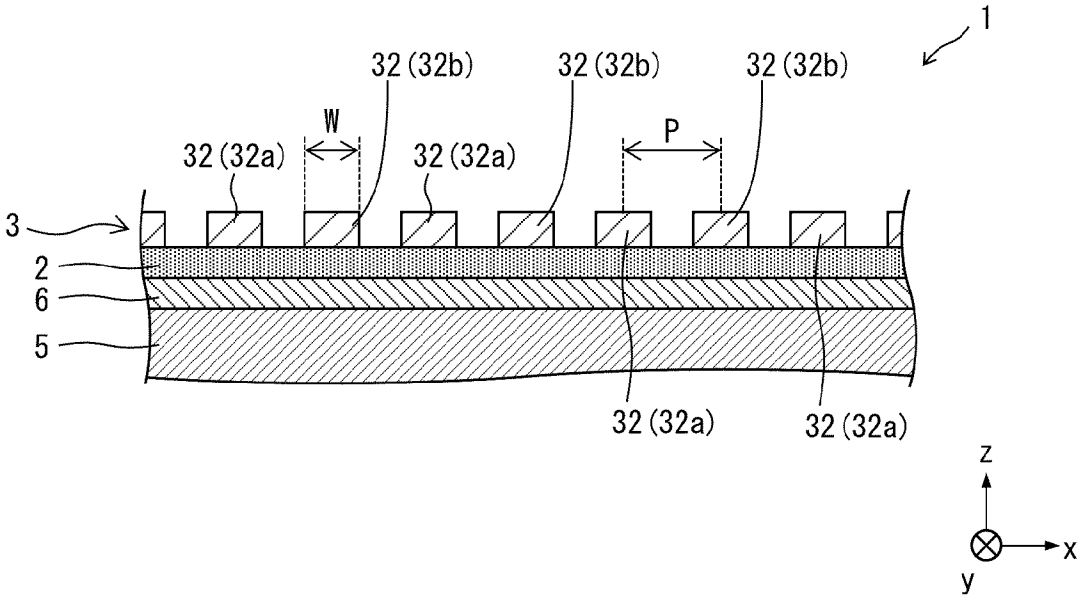
100



[図2]

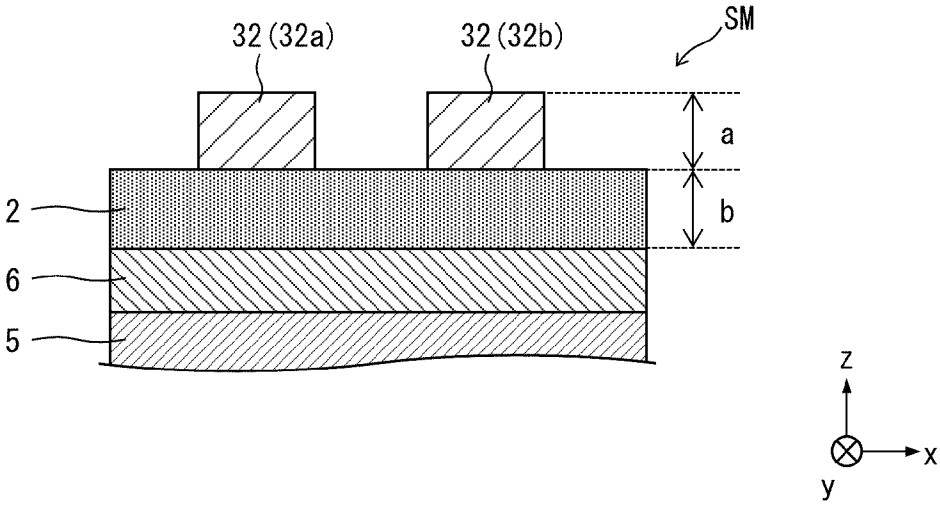
図 2

100



[図3]

図 3



[図4]

図 4

電極指	材質	Al、Cu、またはPt	
	厚さ	a	
	ピッチ	1.0μm	固定
	デューティ	0.5	固定
圧電体層	材質	LTまたはLN	
	厚さ	b	
	オイラー角	（0°、θ、ψ）	φ固定
中間層	材質	SiO_2	固定
	厚さ	0.5λ	固定
支持基板	材質	Si	固定

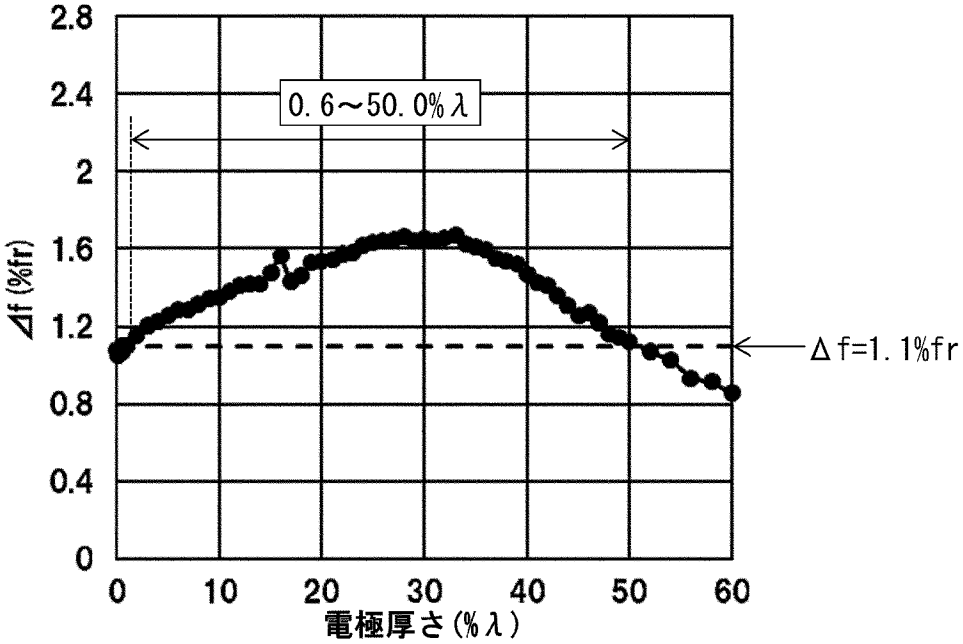
[図5A]

図 5A

電極指	材質	Al	
	厚さ	a	変数
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	50%λ	
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

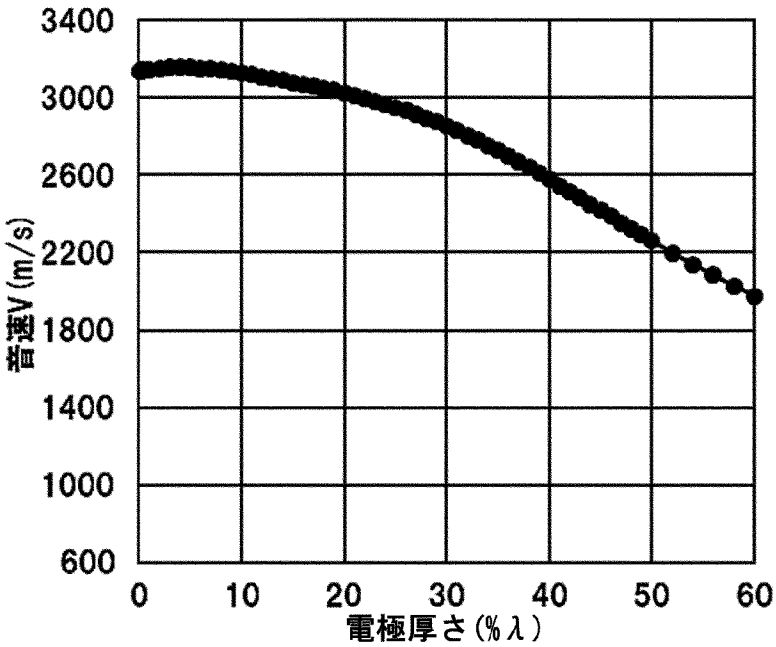
[図5B]

図 5B



[図5C]

図 5C



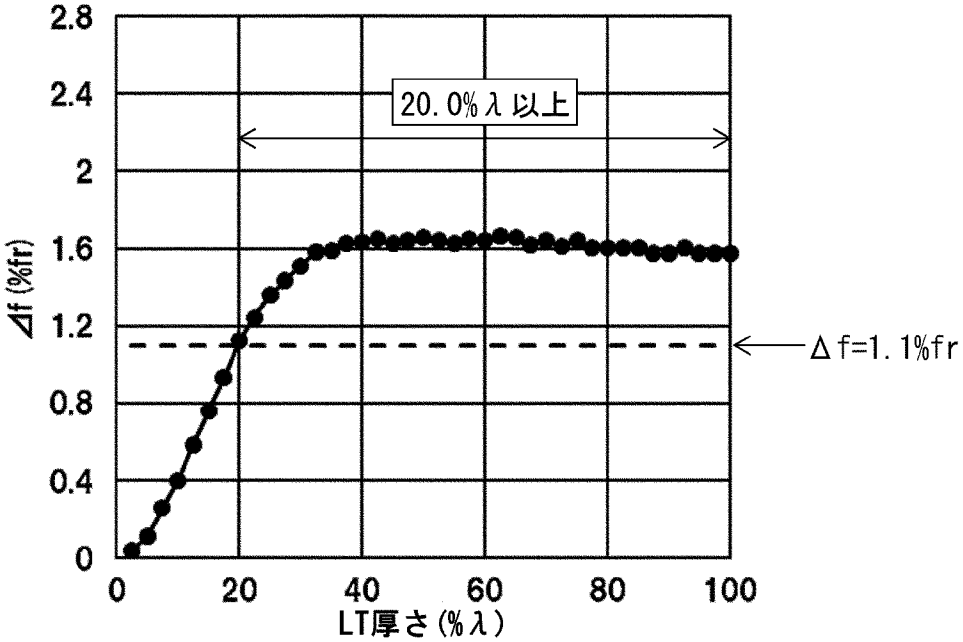
[図6A]

図 6A

電極指	材質	Al	
	厚さ	30%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	b	変数
	オイラー角	(0°、36°、0°)	

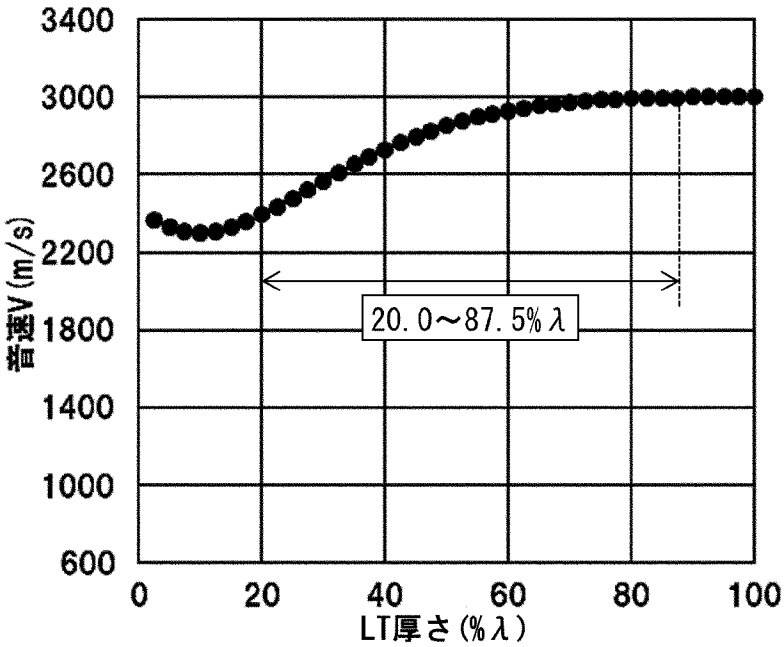
[図6B]

図 6B



[図6C]

図 6C



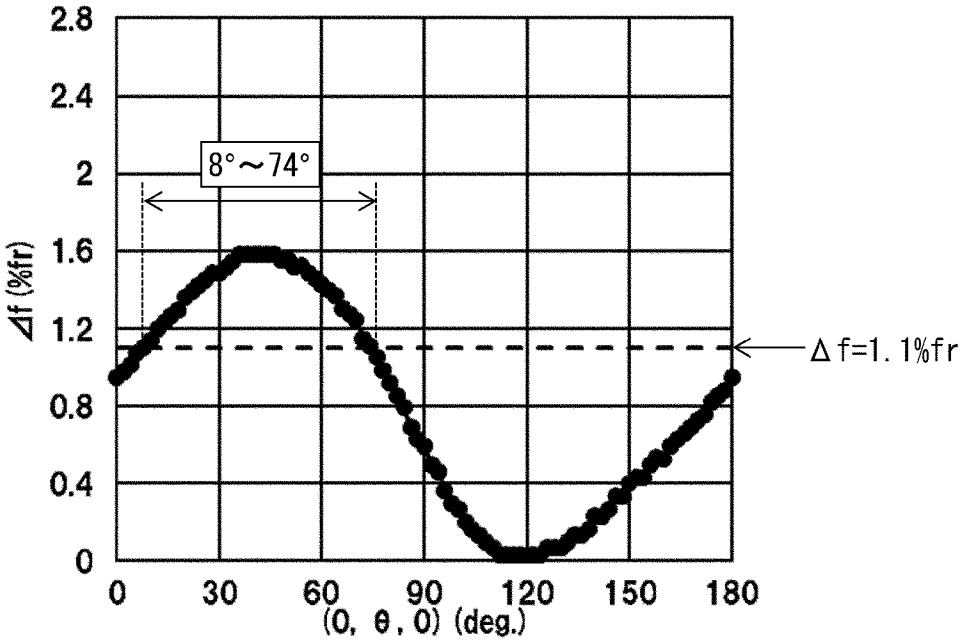
[図7A]

図 7A

電極指	材質	Al	
	厚さ	30%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	32.5%λ	
	オイラー角	(0° 、θ 、0°)	変数

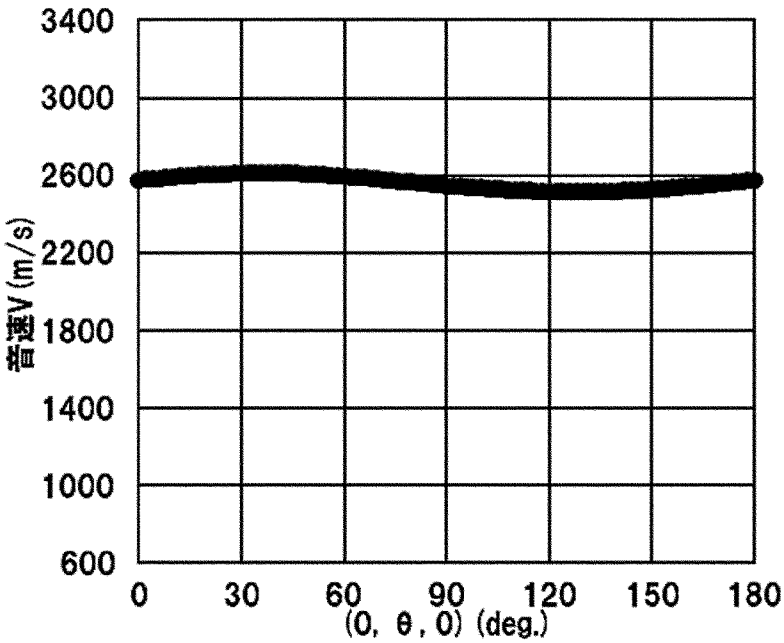
[図7B]

図 7B



[図7C]

図 7C



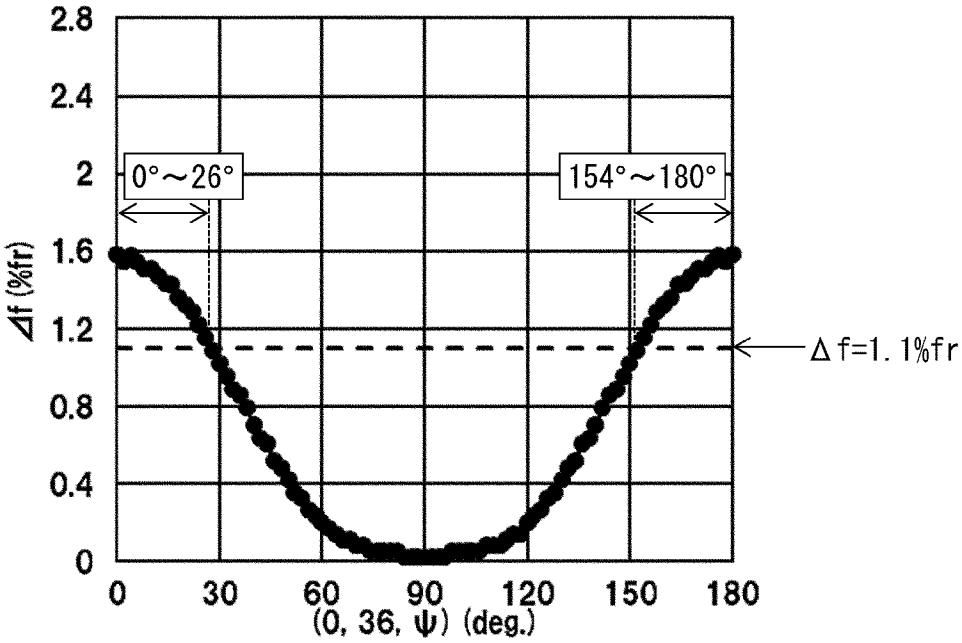
[図8A]

図 8A

電極指	材質	Al	
	厚さ	30%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	32.5%λ	
	オイラー角	（0°、36°、ψ）	変数

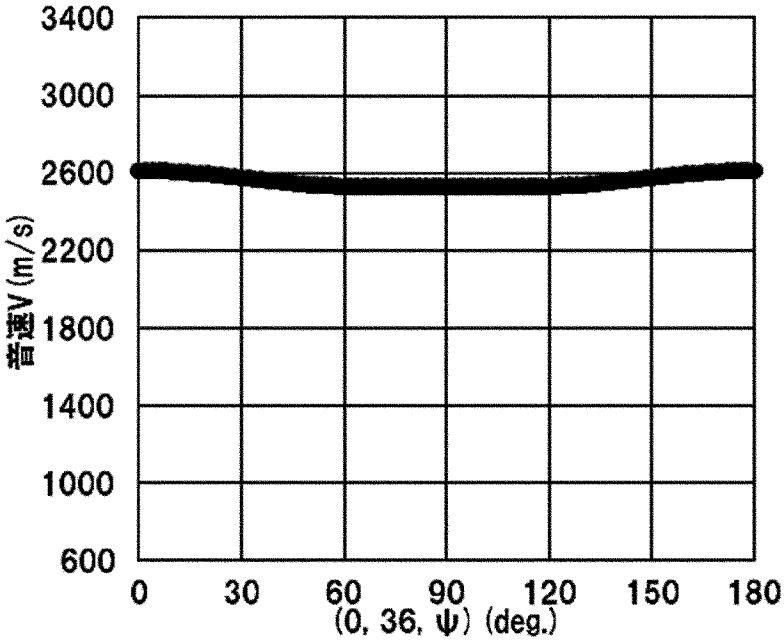
[図8B]

図 8B



[図8C]

図 8C



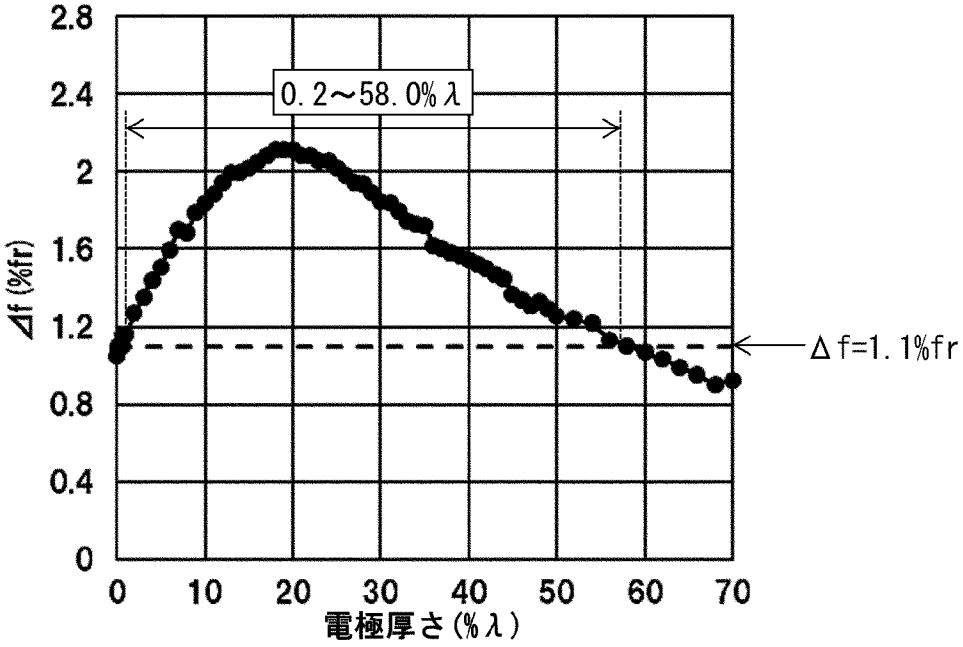
[図9A]

図 9A

電極指	材質	Cu	
	厚さ	a	変数
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	50%λ	
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

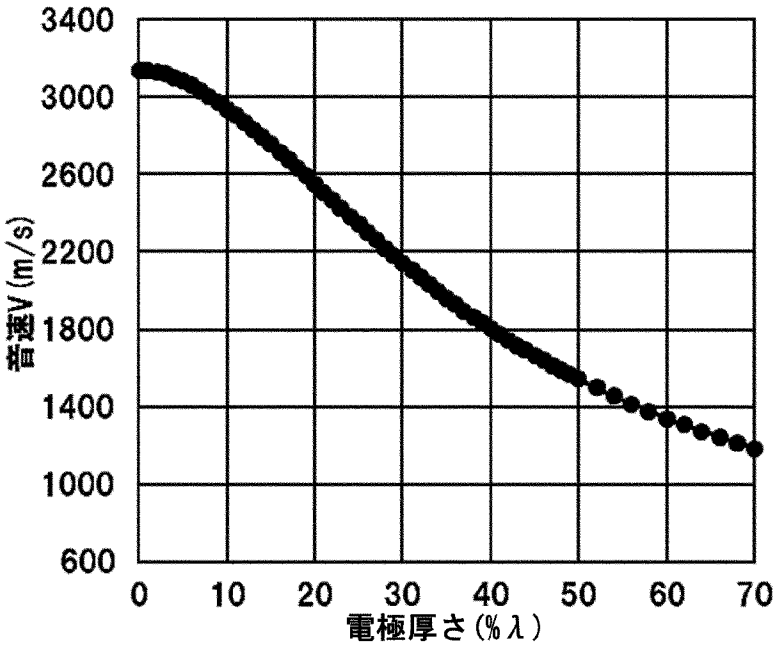
[図9B]

図 9B



[図9C]

図 9C



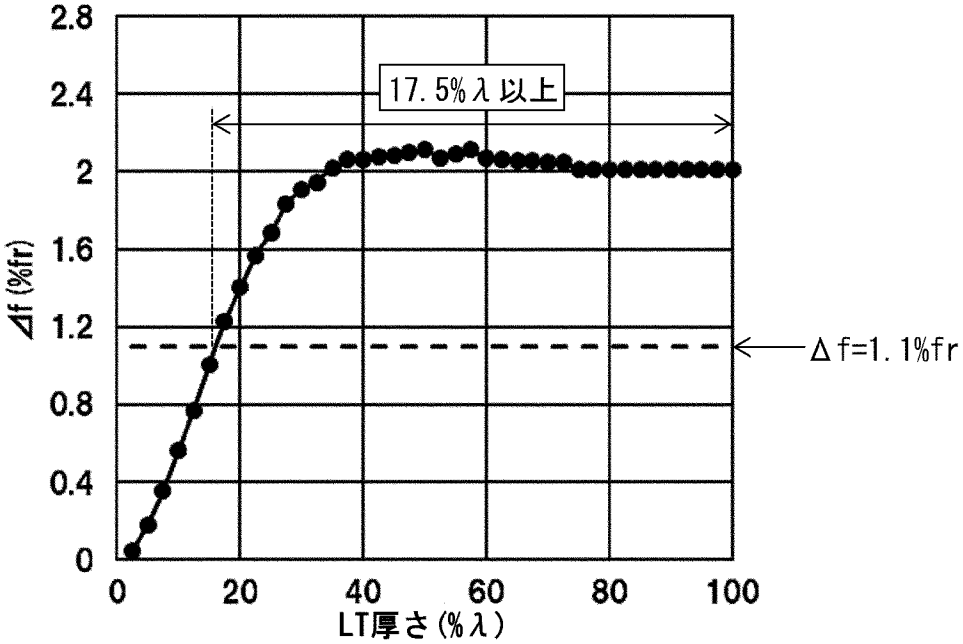
[図10A]

図 10A

電極指	材質	Cu	
	厚さ	20%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	b	変数
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

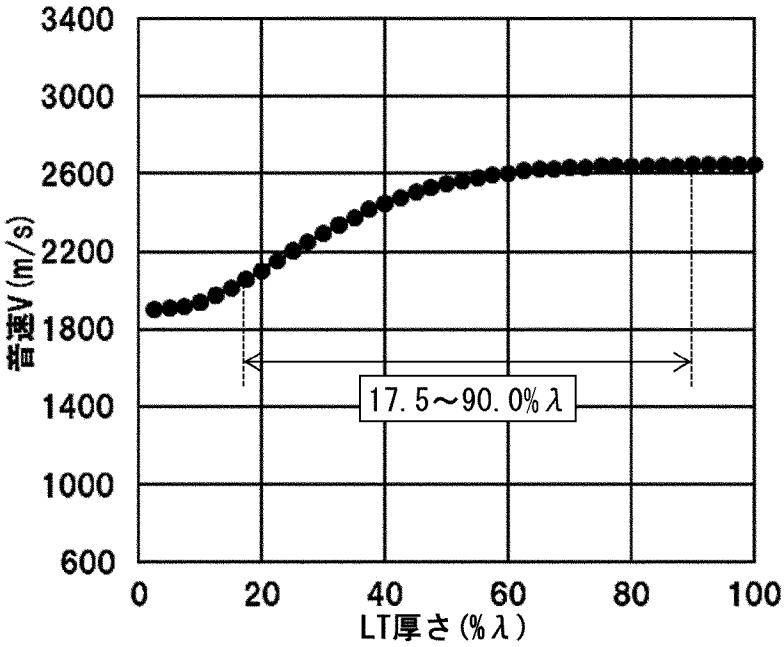
[図10B]

図 10B



[図10C]

図 10C



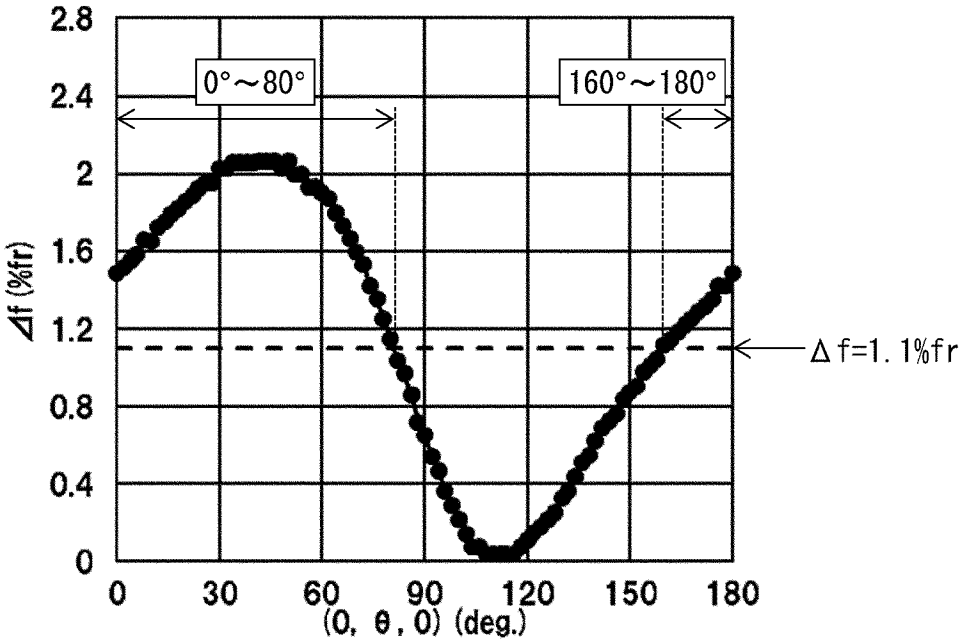
[図11A]

図 11A

電極指	材質	Cu	
	厚さ	20%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	37.5%λ	
	オイラー角	（0°、θ、0°）	変数

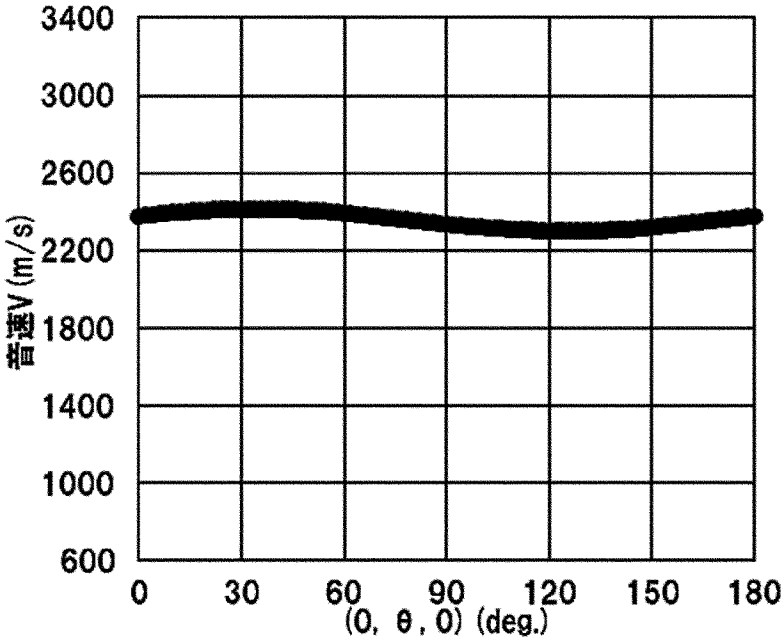
[図11B]

図 11B



[図11C]

図 11C



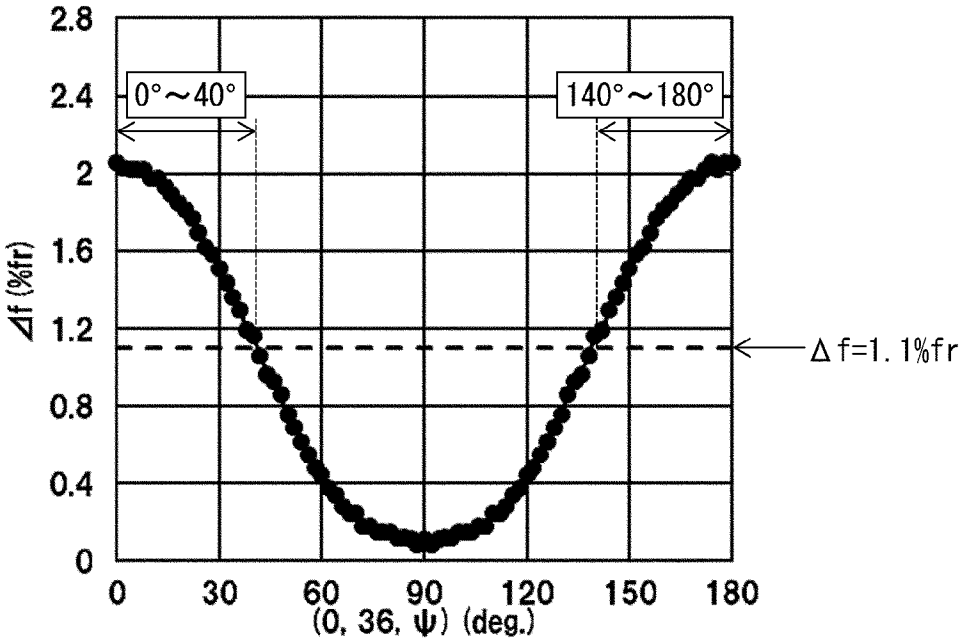
[図12A]

図 12A

電極指	材質	Cu	
	厚さ	20%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	37.5%λ	
	オイラー角	（0°、36°、ψ）	変数

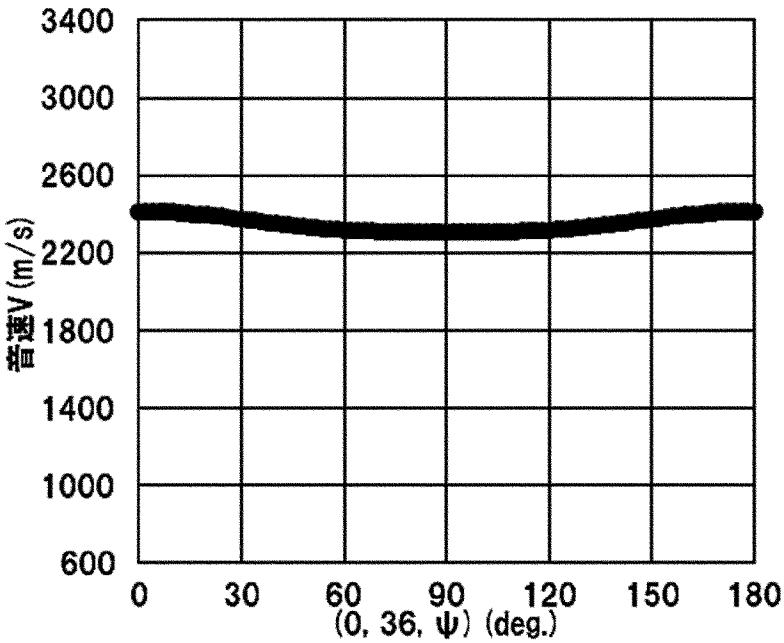
[図12B]

図 12B



[図12C]

図 12C



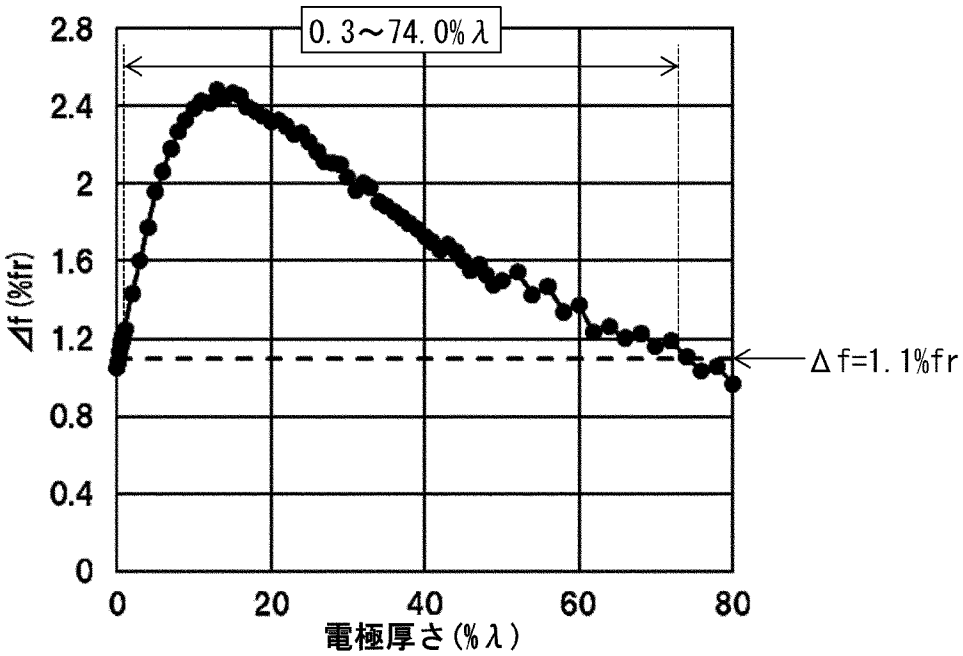
[図13A]

図 13A

電極指	材質	Pt	
	厚さ	a	変数
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	50%λ	
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

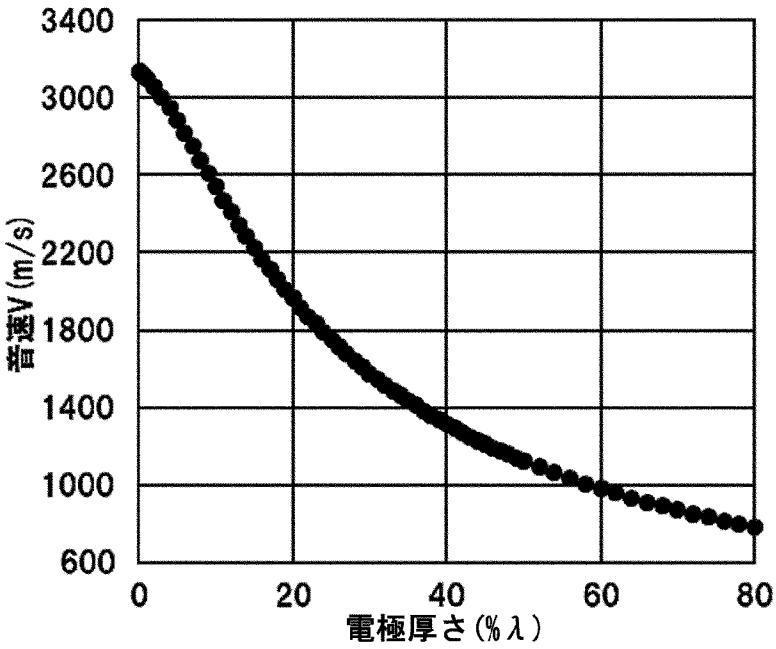
[図13B]

図 13B



[図13C]

図 13C



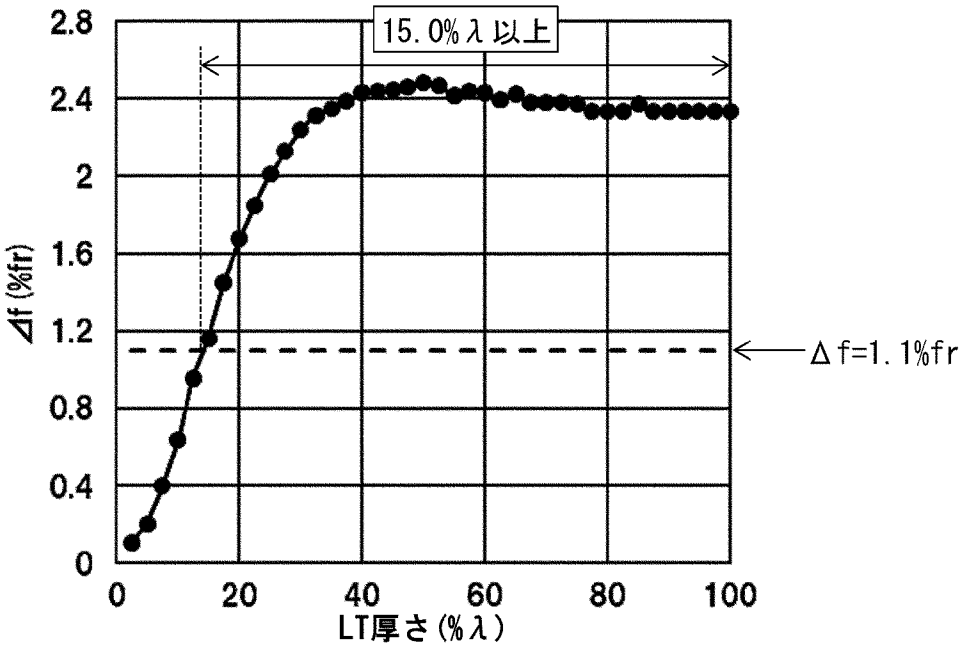
[図14A]

図 14A

電極指	材質	Pt	
	厚さ	13%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	b	変数
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

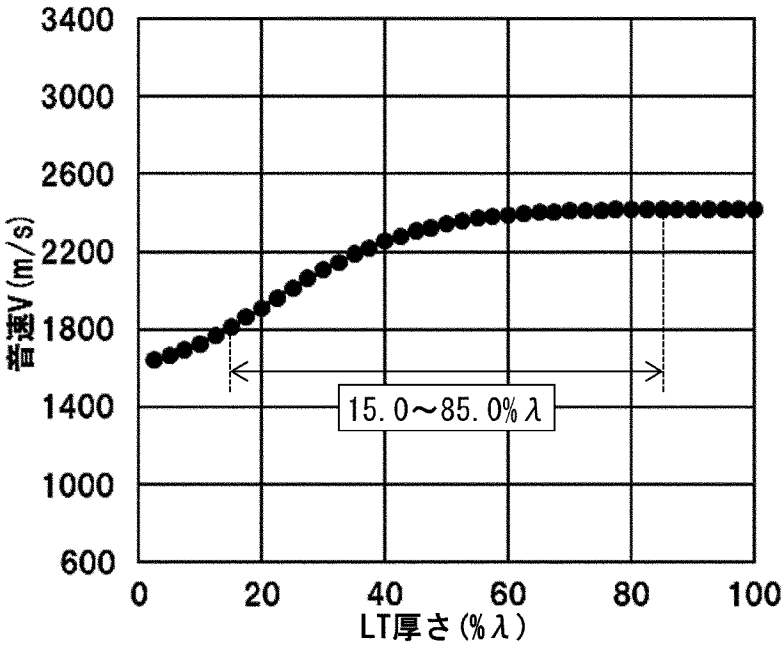
[図14B]

図 14B



[図14C]

図 14C



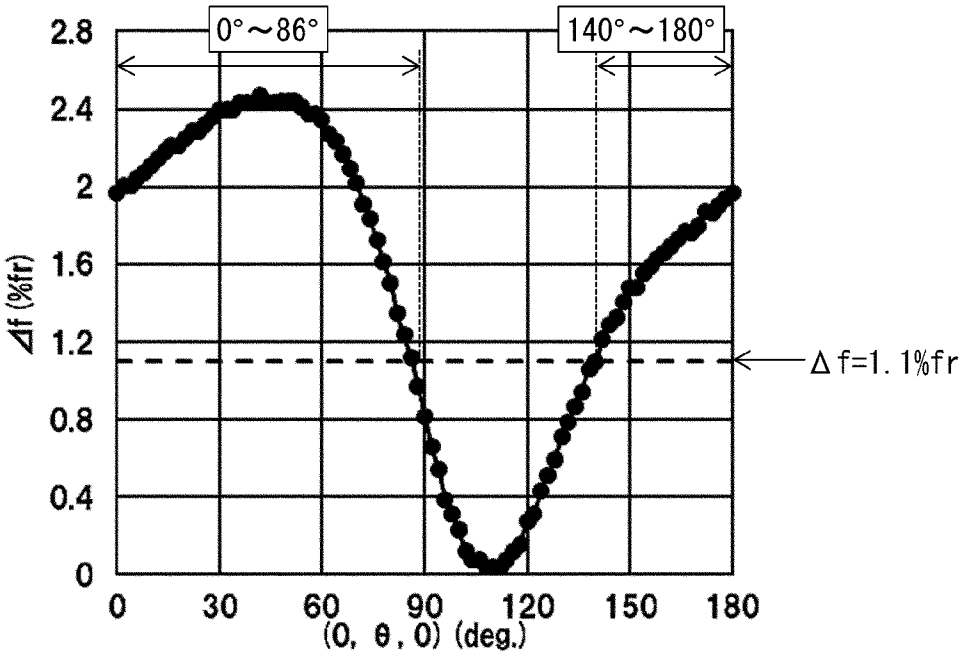
[図15A]

図 15A

電極指	材質	Pt	
	厚さ	13%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	40.0%λ	
	オイラー角	（0°、θ、0°）	変数

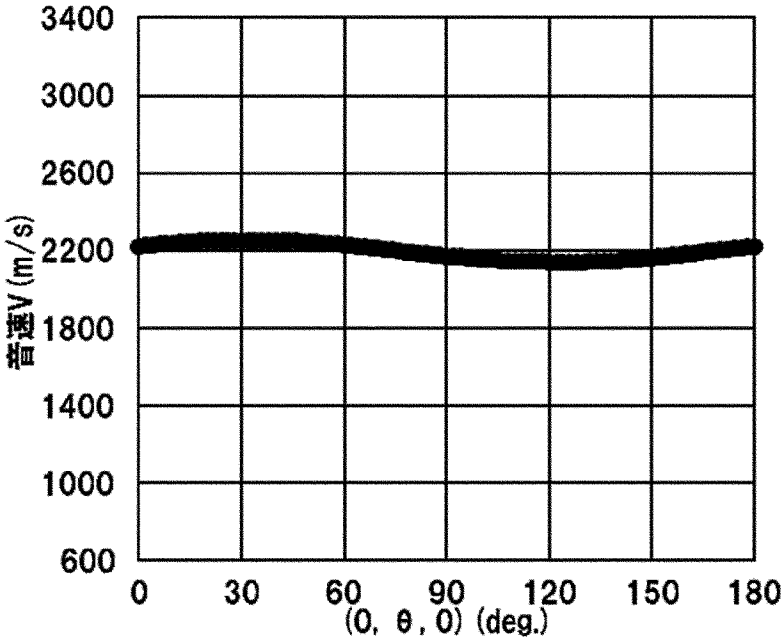
[図15B]

図 15B



[図15C]

図 15C



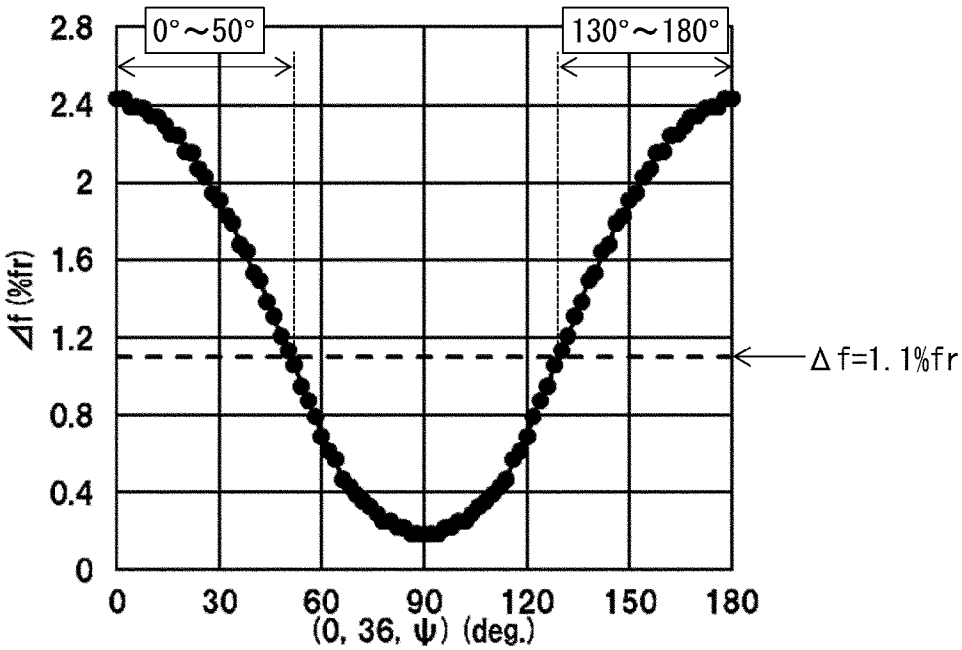
[図16A]

図 16A

電極指	材質	Pt	
	厚さ	13%λ	
圧電体層	材質	LT	
	厚さ	40.0%λ	
	オイラー角	（0°、36°、ψ）	変数

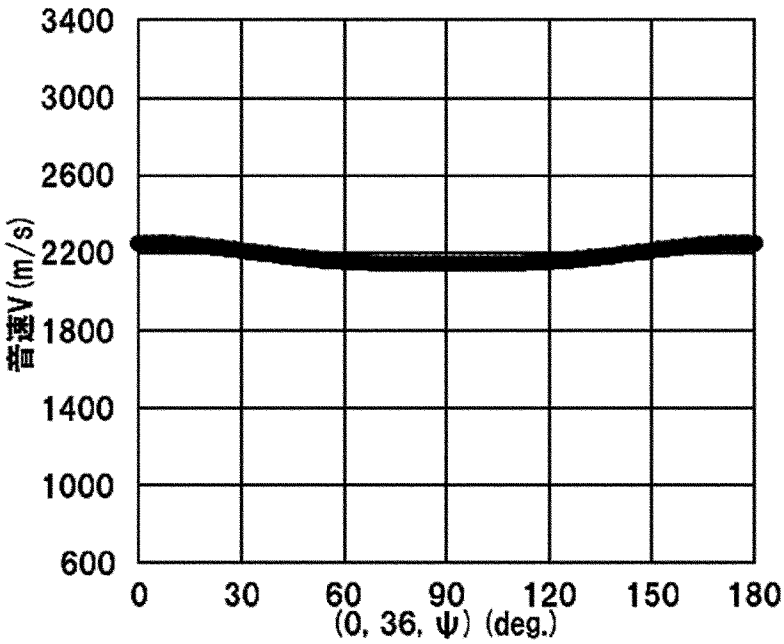
[図16B]

図 16B



[図16C]

図 16C



[図17A]

図 17A

材料	ヤング率 (GPa)	密度 (kg/m^3)	ポアソン比	横波音速 (m/s)
Al	70.3	2698.9	0.33	2571
Cu	120	8940	0.34	1804
Pt	168	21450	0.377	1244
Ti	116	4506	0.32	2610
Au	78	19320	0.44	658
Mo	330	10200	0.324	2902
W	407	19200	0.17	2903
Cr	279	7190	0.21	3774
Ag	82.7	10500	0.367	1286
Ni	200	8908	0.31	2486

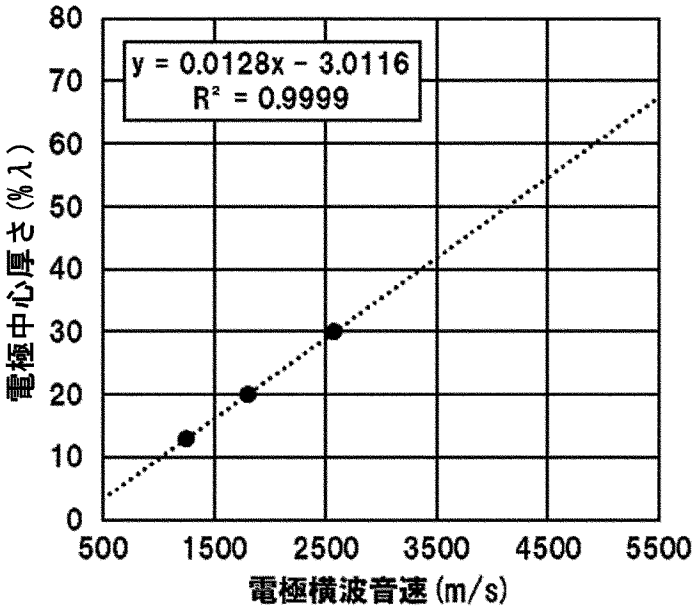
[図17B]

図 17B

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \times \sqrt{\frac{(1-2\gamma)}{2(1-\gamma)}}$$

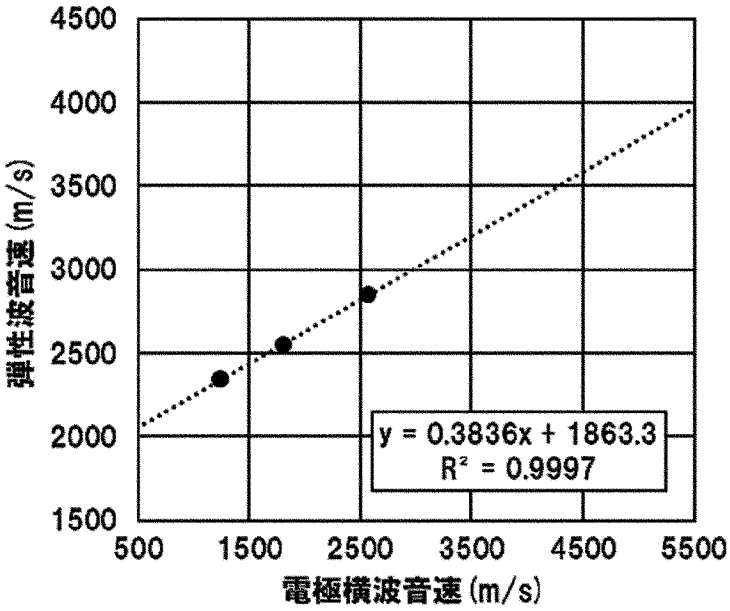
[図18A]

図 18A



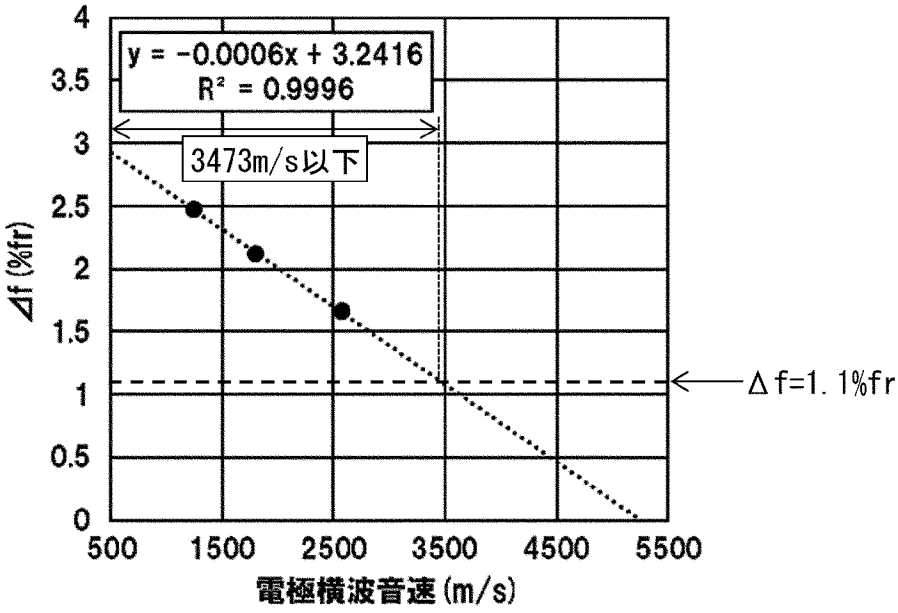
[図18B]

図 18B



[図18C]

図 18C



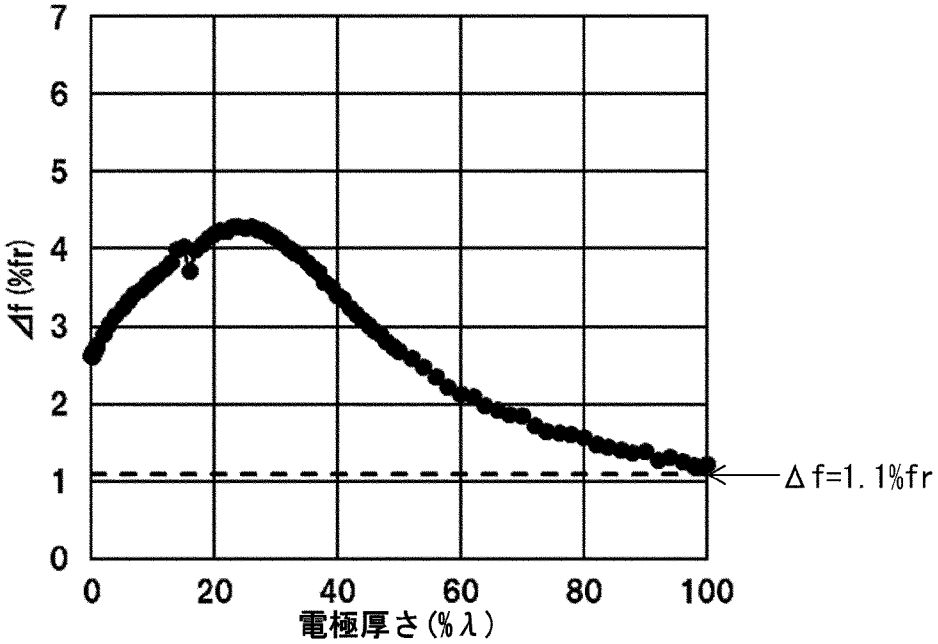
[図19A]

図 19A

電極指	材質	Al	
	厚さ	a	変数
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	50%λ	
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

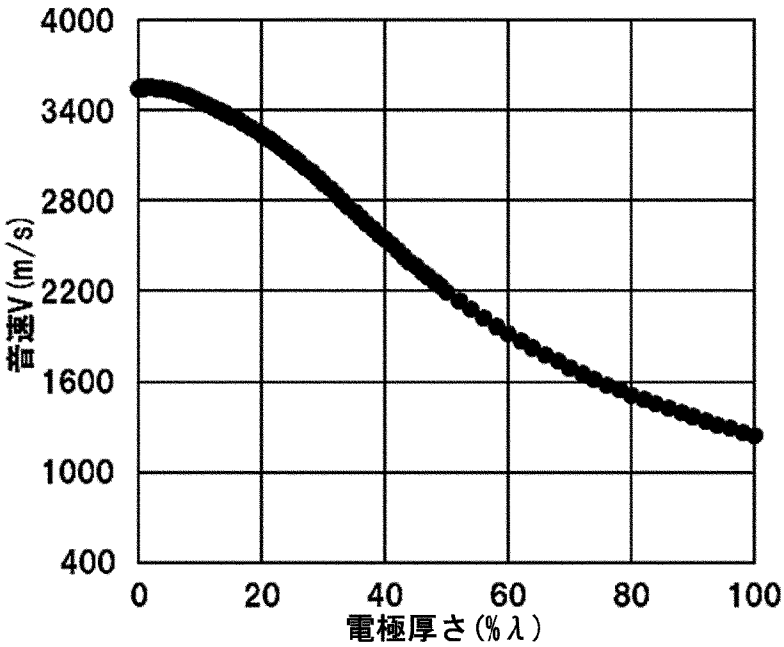
[図19B]

図 19B



[図19C]

図 19C



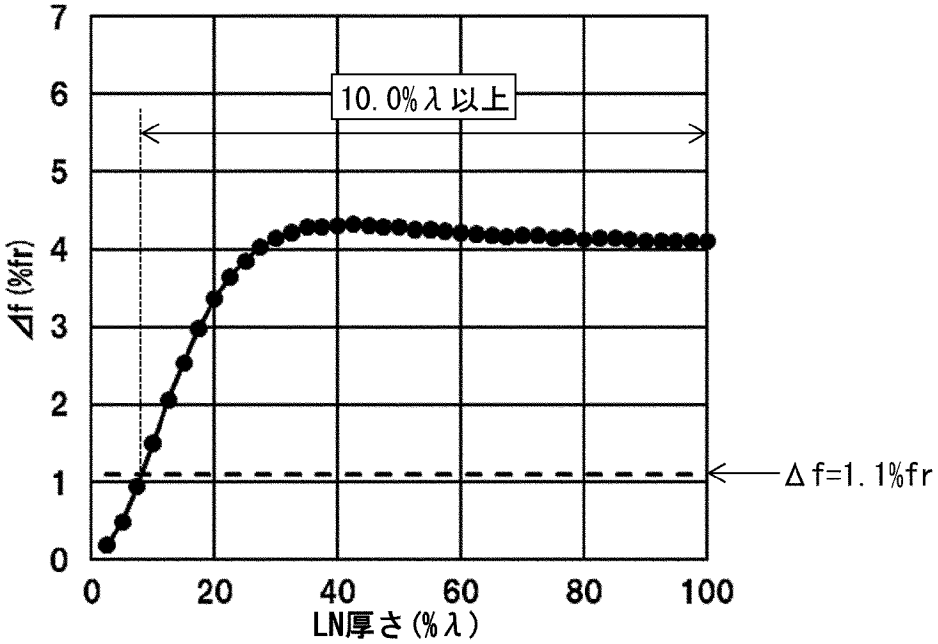
[図20A]

図 20A

電極指	材質	Al	
	厚さ	24%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	b	変数
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

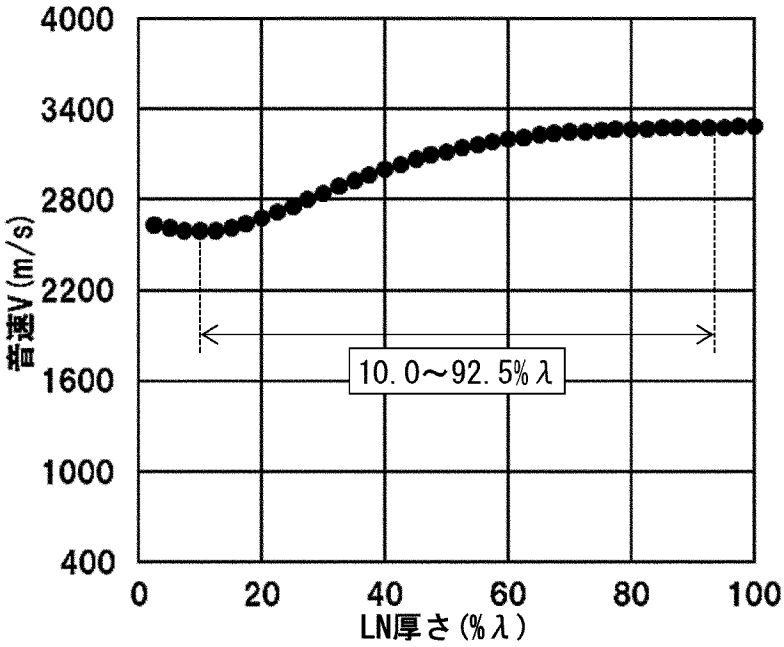
[図20B]

図 20B



[図20C]

図 20C



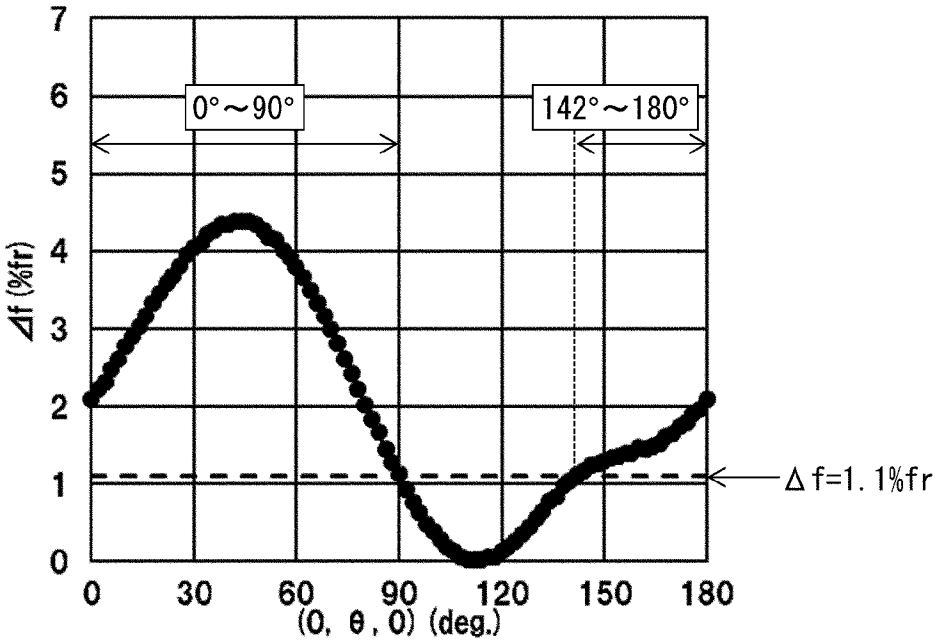
[図21A]

図 21A

電極指	材質	Al	
	厚さ	24%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	35.0%λ	
	オイラー角	(0° 、θ 、0°)	変数

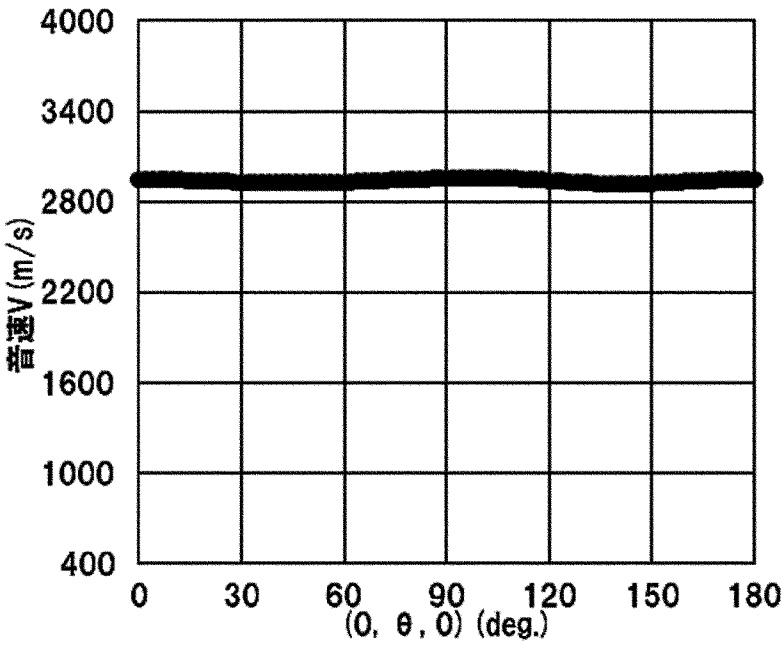
[図21B]

図 21B



[図21C]

図 21C



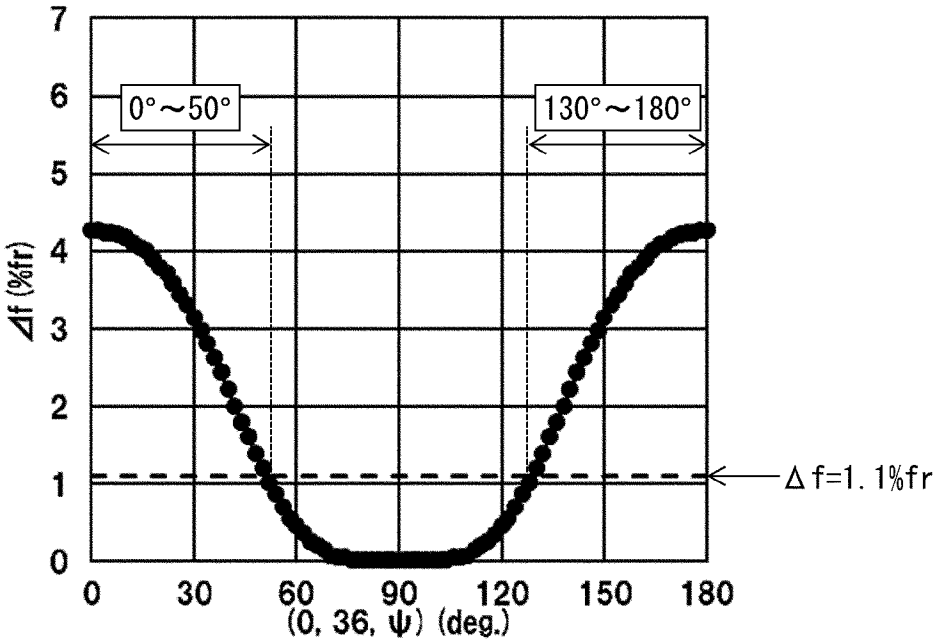
[図22A]

図 22A

電極指	材質	Al	
	厚さ	24%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	35.0%λ	
	オイラー角	（0°、36°、ψ）	変数

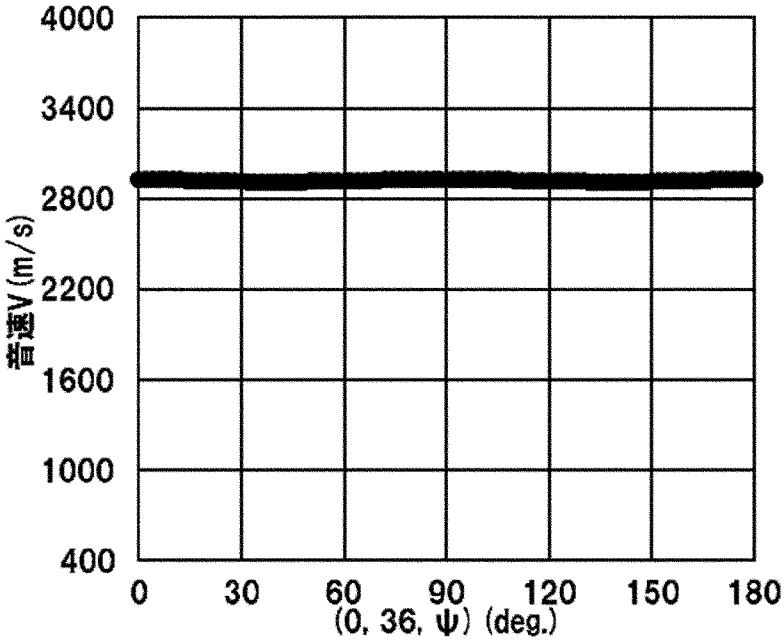
[図22B]

図 22B



[図22C]

図 22C



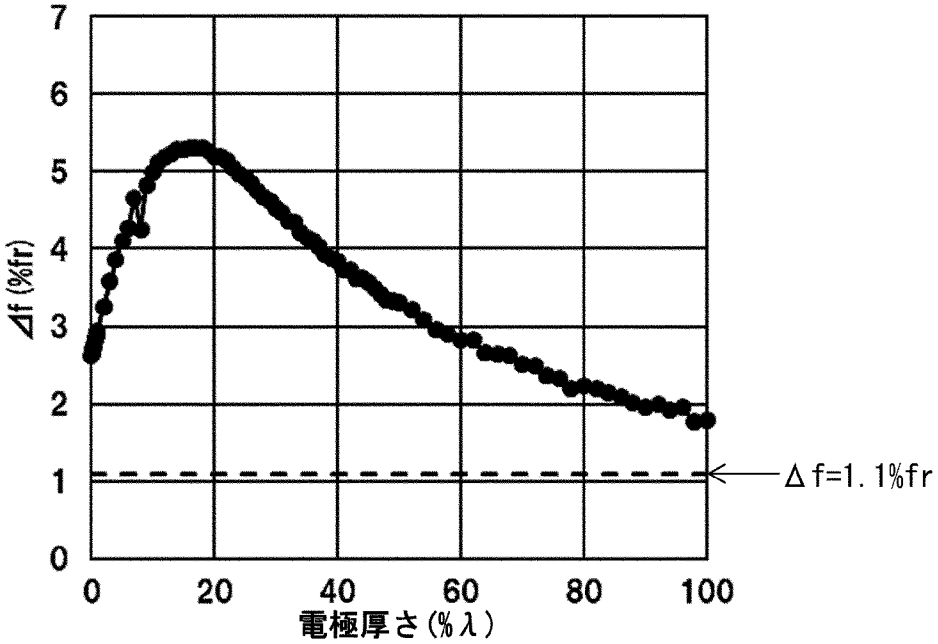
[図23A]

図 23A

電極指	材質	Cu	
	厚さ	a	変数
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	50%λ	
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

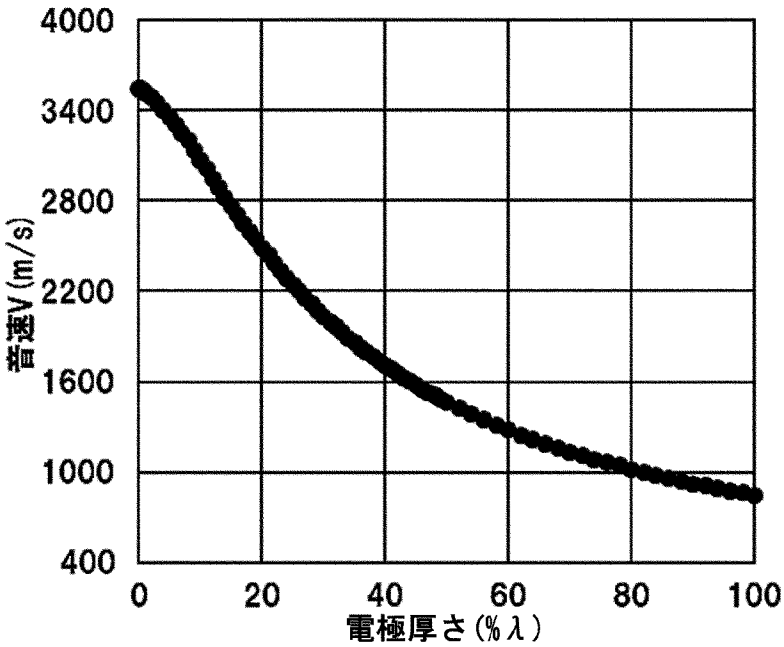
[図23B]

図 23B



[図23C]

図 23C



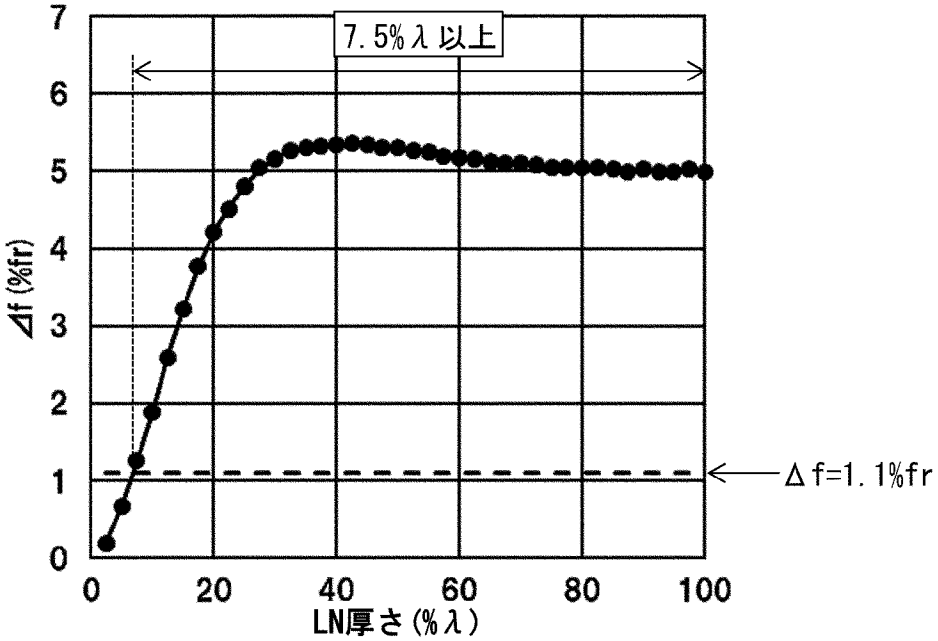
[図24A]

図 24A

電極指	材質	Cu	
	厚さ	18%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	b	変数
	オイラー角	(0° 、36° 、0°)	

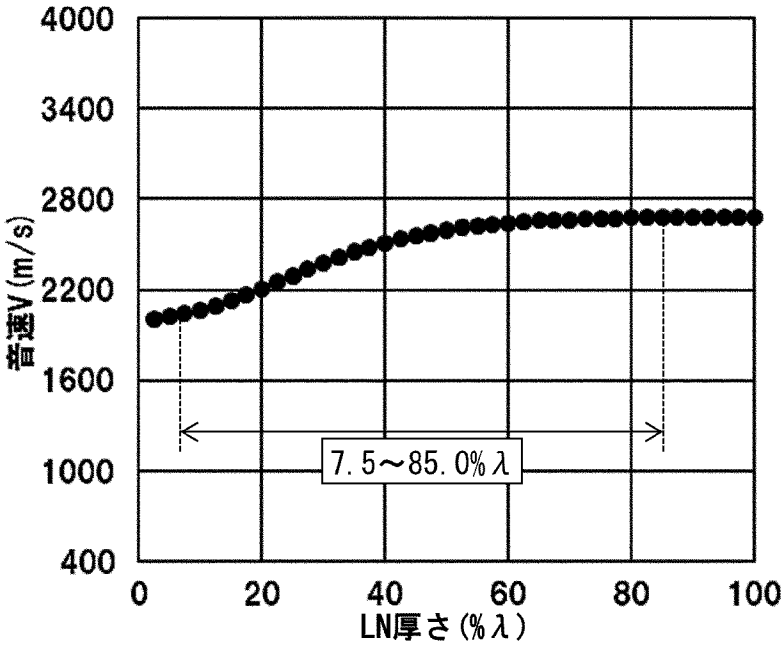
[図24B]

図 24B



[図24C]

図 24C



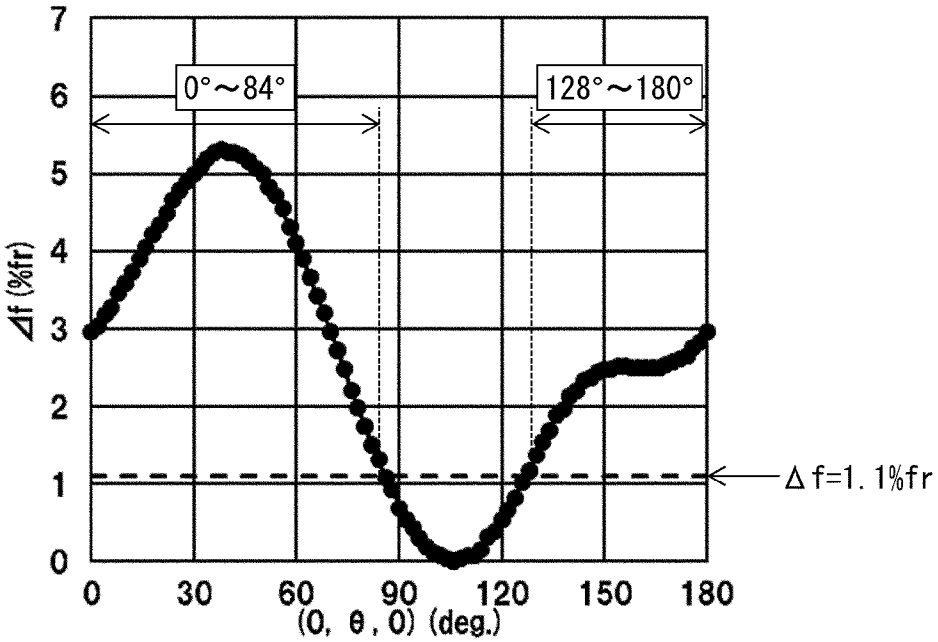
[図25A]

図 25A

電極指	材質	Cu	
	厚さ	18%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	32.5%λ	
	オイラー角	(0° 、θ 、0°)	変数

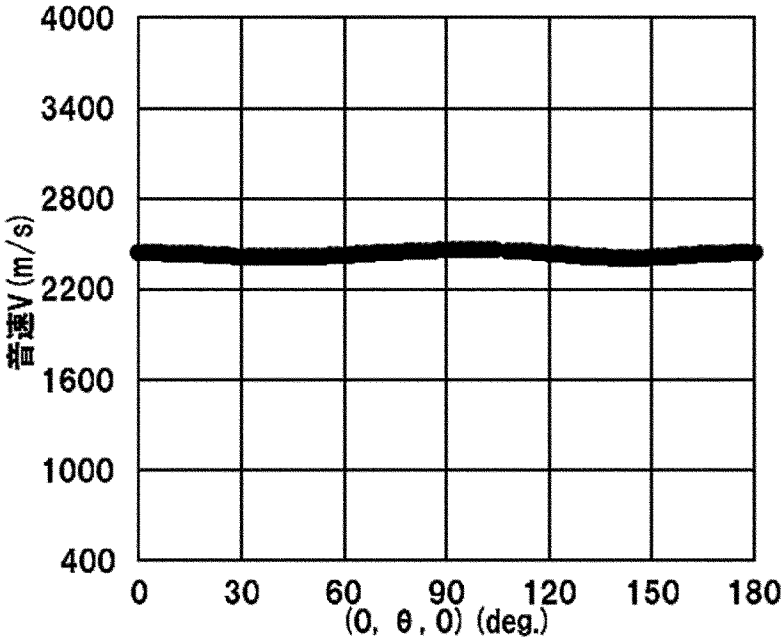
[図25B]

図 25B



[図25C]

図 25C



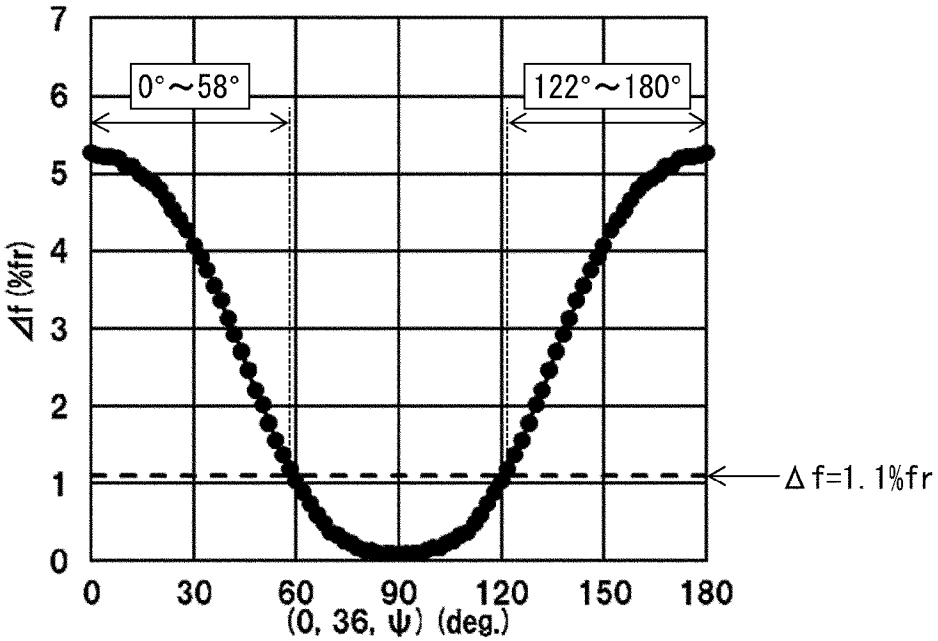
[図26A]

図 26A

電極指	材質	Cu	
	厚さ	18%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	32.5%λ	
	オイラー角	（0°、36°、ψ）	変数

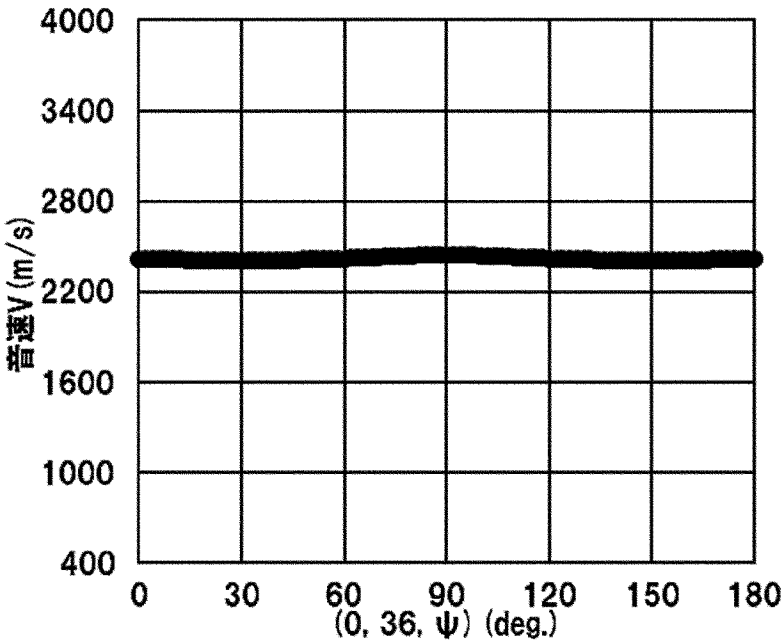
[図26B]

図 26B



[図26C]

図 26C



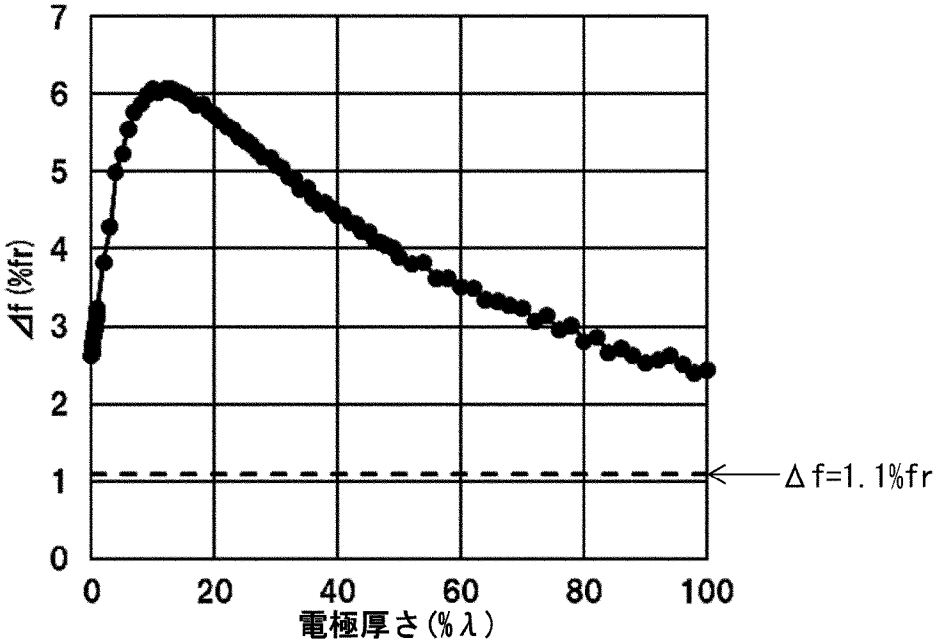
[図27A]

図 27A

電極指	材質	Pt	
	厚さ	a	変数
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	50%λ	
	オイラー角	（0°、36°、0°）	

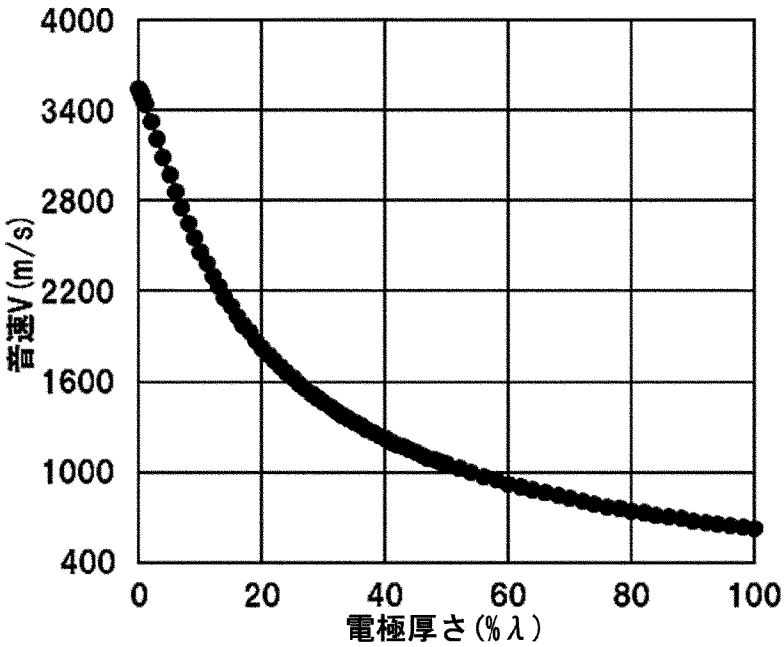
[図27B]

図 27B



[図27C]

図 27C



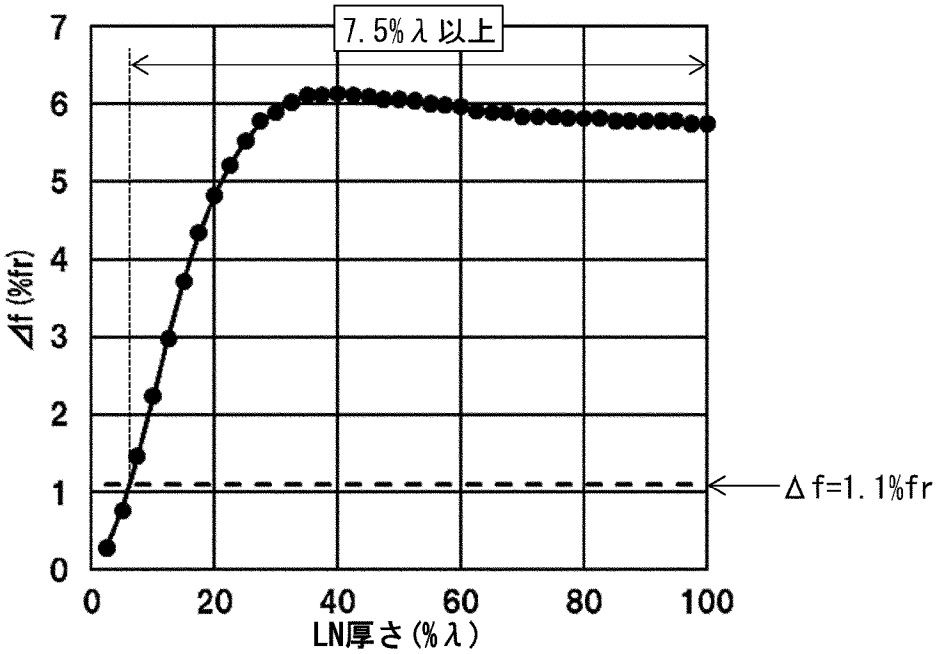
[図28A]

図 28A

電極指	材質	Pt	
	厚さ	12%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	b	変数
	オイラー角	(0° 、36° 、0°)	

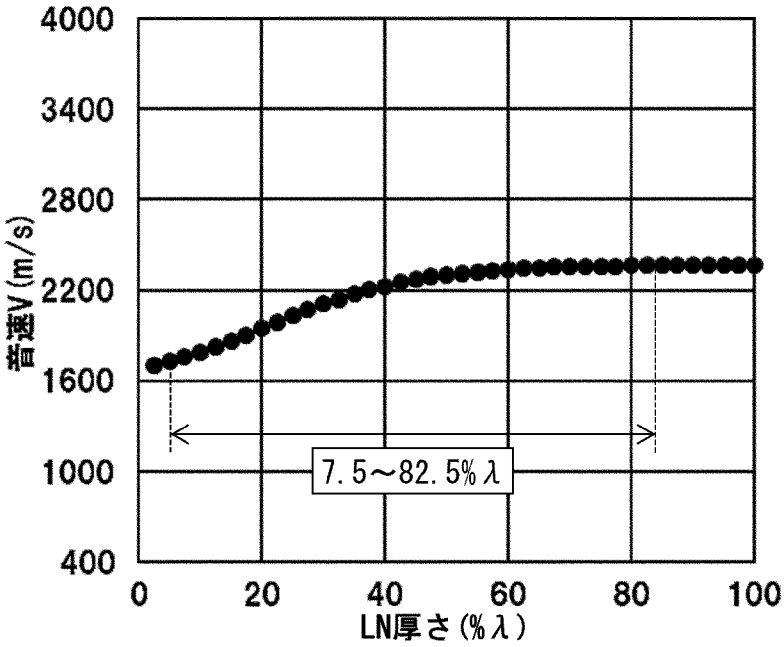
[図28B]

図 28B



[図28C]

図 28C



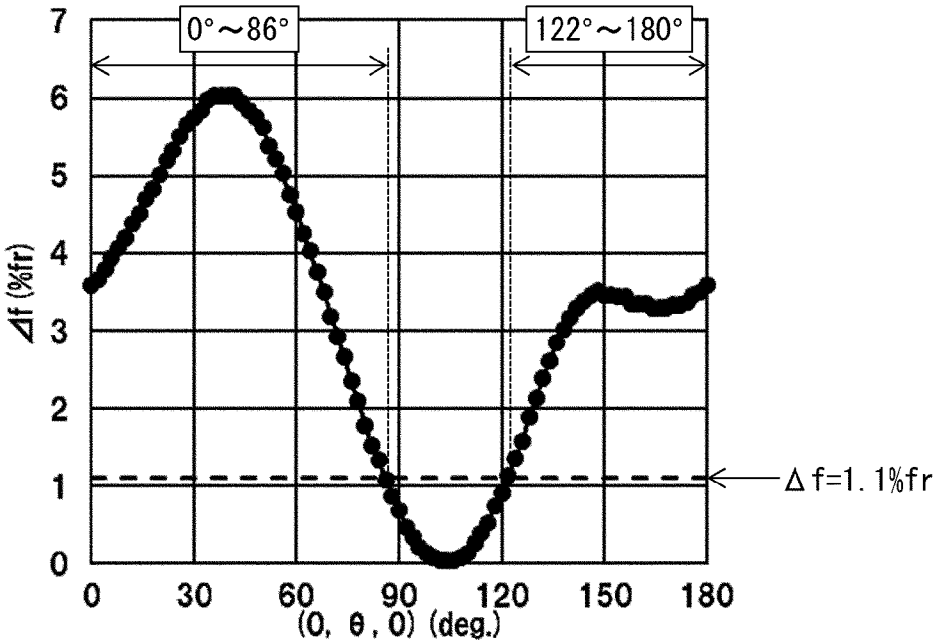
[図29A]

図 29A

電極指	材質	Pt	
	厚さ	12%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	32.5%λ	
	オイラー角	（0°、θ、0°）	変数

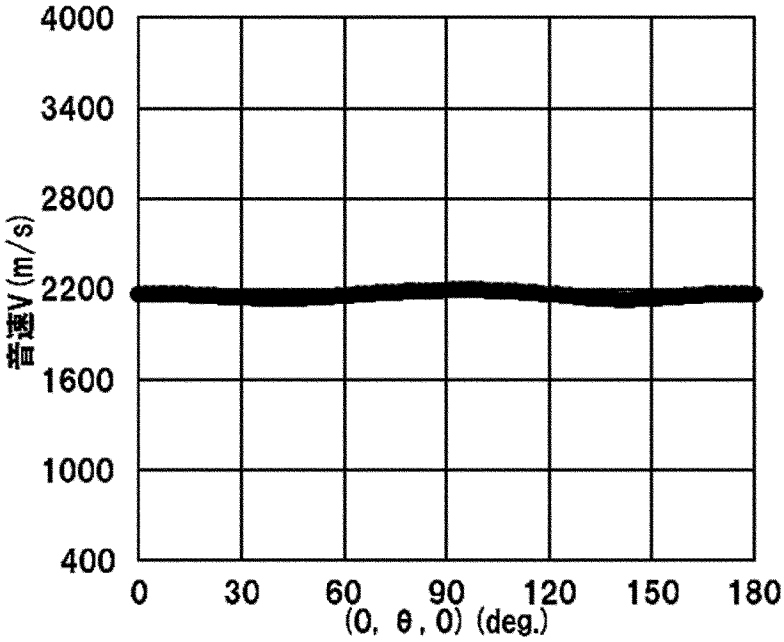
[図29B]

図 29B



[図29C]

図 29C



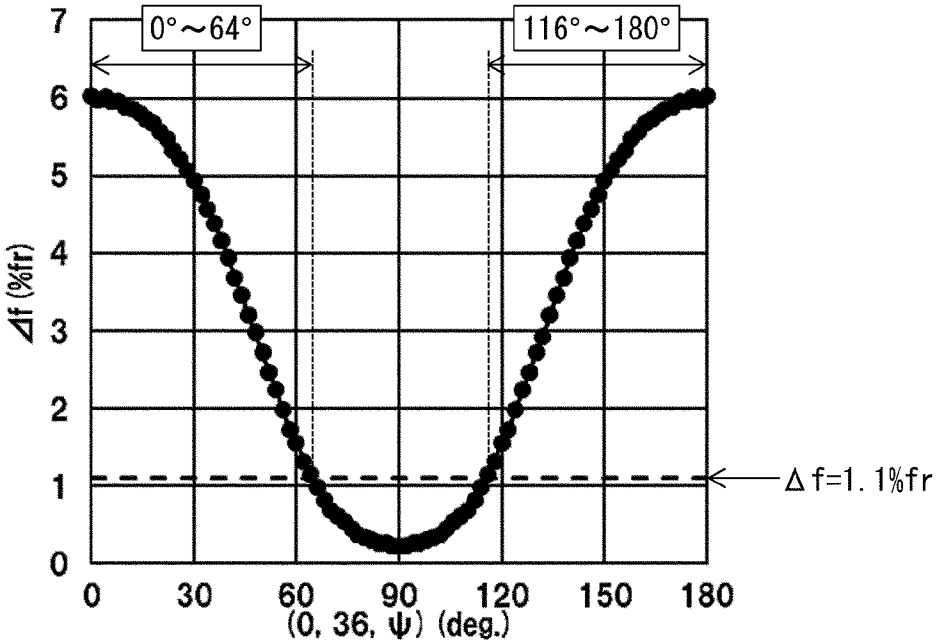
[図30A]

図 30A

電極指	材質	Pt	
	厚さ	12%λ	
圧電体層	材質	LN	
	厚さ	32.5%λ	
	オイラー角	（0°、36°、ψ）	変数

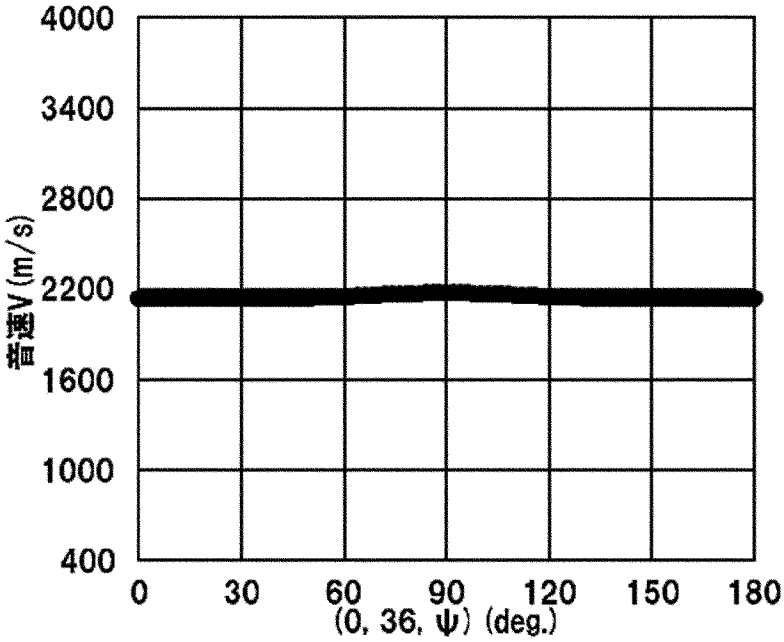
[図30B]

図 30B



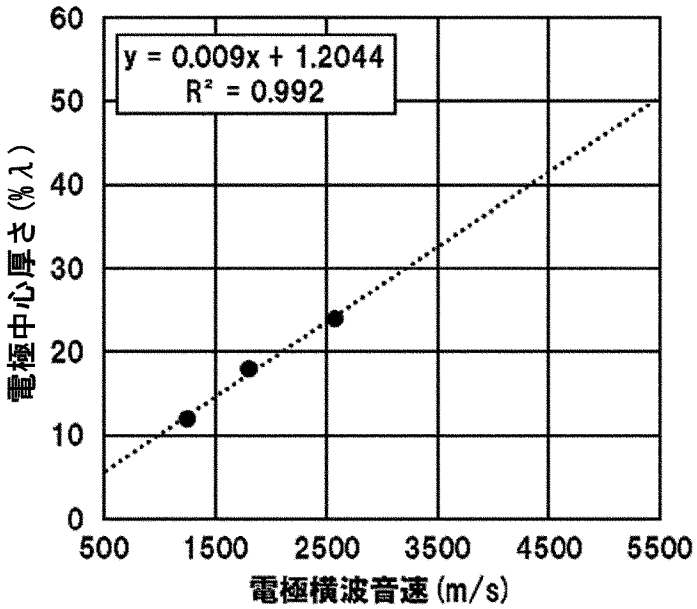
[図30C]

図 30C



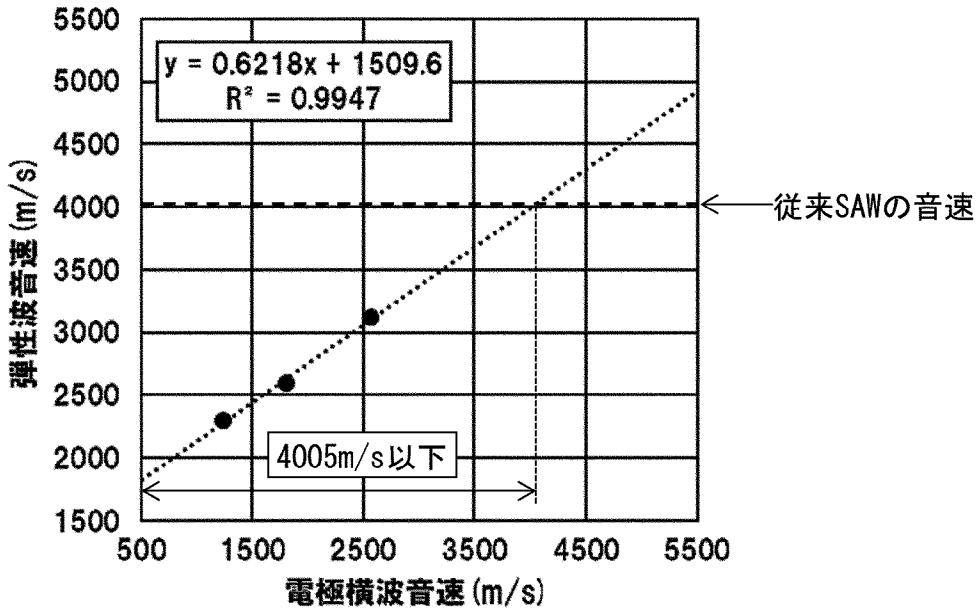
[図31A]

図 31A



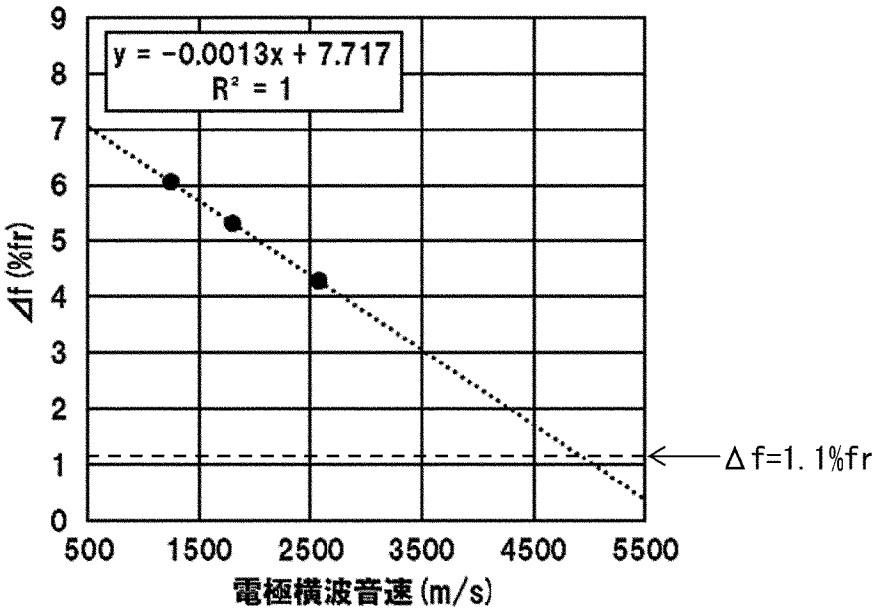
[図31B]

図 31B



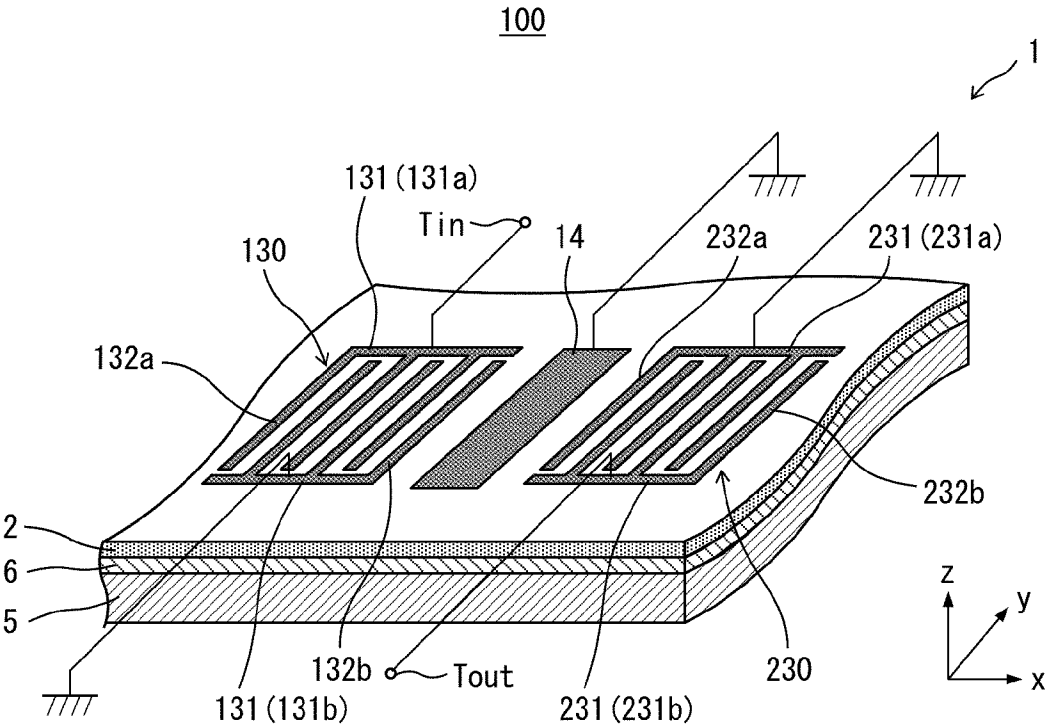
[図31C]

図 31C



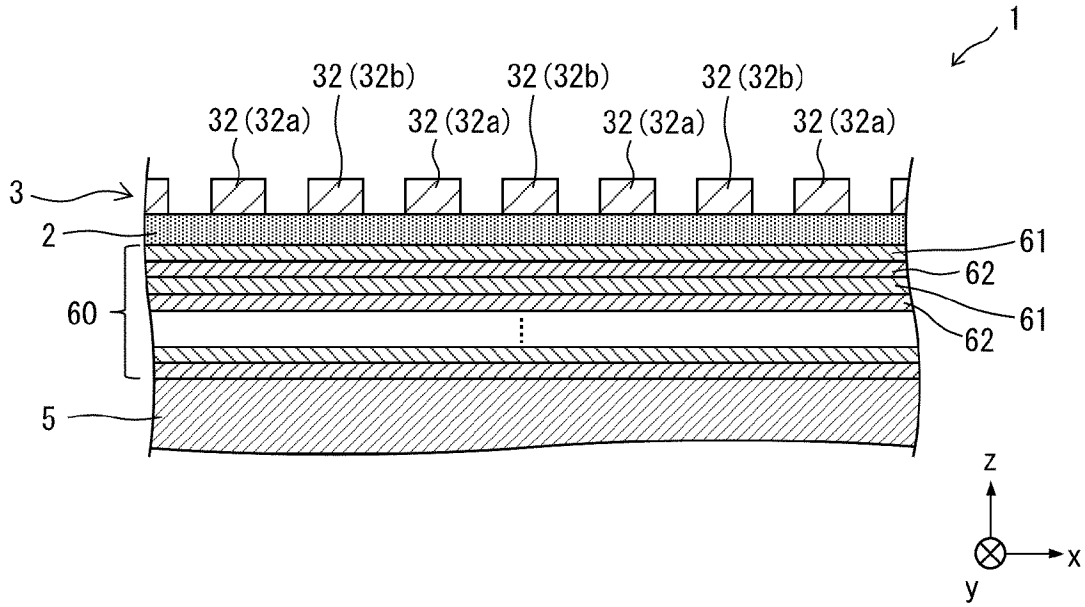
[図32]

図 32



[図33]

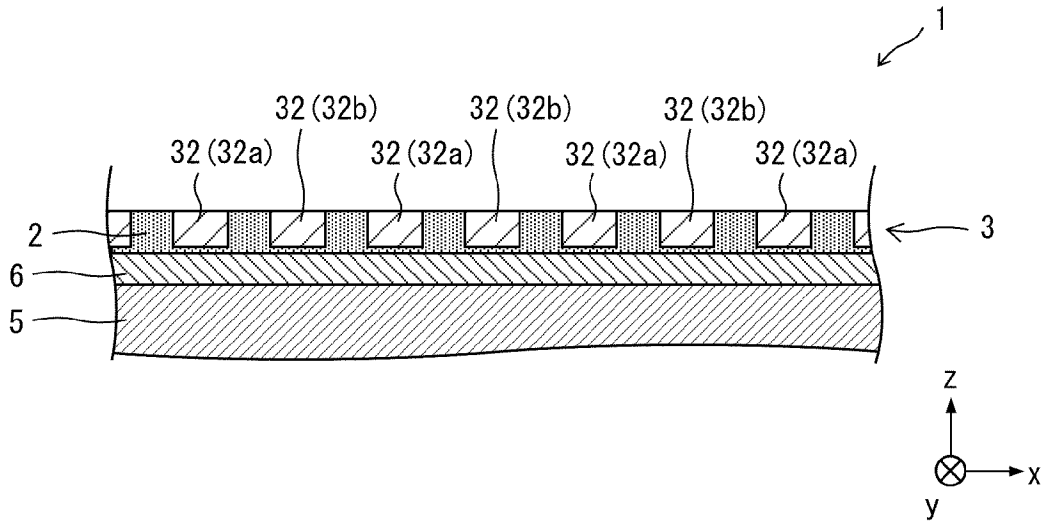
図 33



[図34]

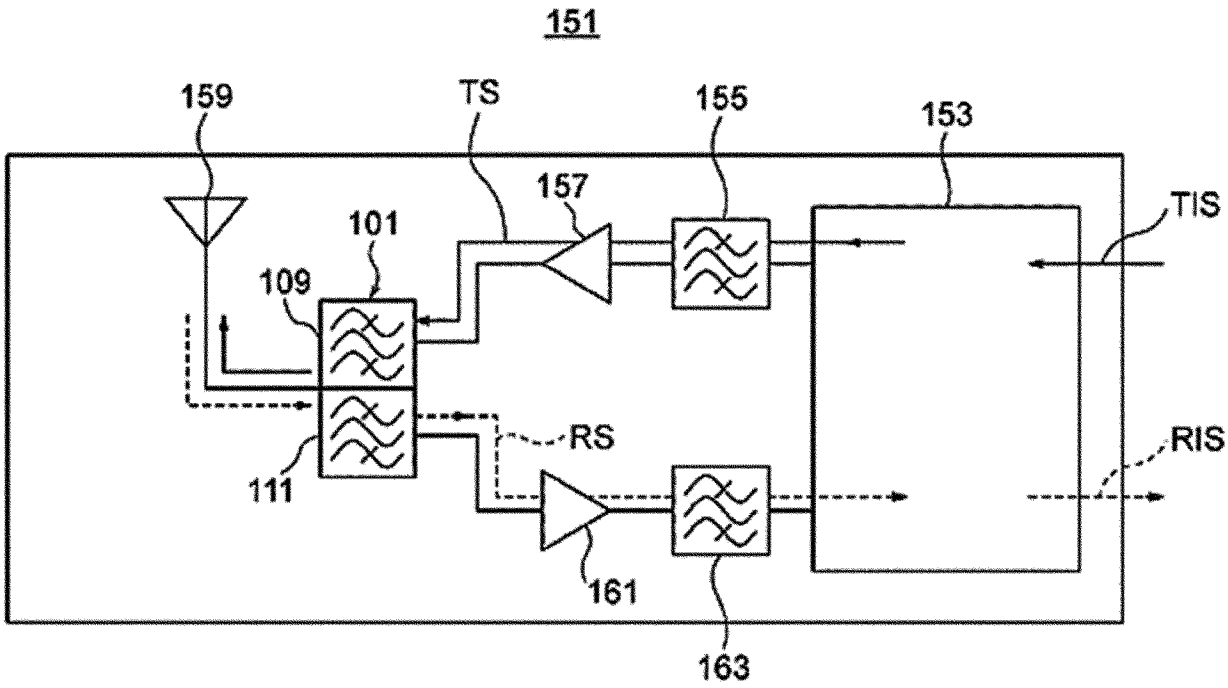
図 34

100



[図35]

図 35



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/020400

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H 9/145(2006.01)i; ***H03H 9/25***(2006.01)i
FI: H03H9/145 Z; H03H9/25 C

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)

H03H9/145; H03H9/25

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	WO 2007/046236 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 26 April 2007 (2007-04-26) paragraphs [0014], [0022]-[0027], [0032]-[0041], fig. 1, 3-5	1, 14
Y		3-5, 7-13, 15-16
A		2, 6
Y	WO 2012/086441 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 28 June 2012 (2012-06-28) paragraphs [0019]-[0026], [0037], [0038], fig. 1	3-4, 7-9, 12-13, 15-16
A		2, 6
Y	WO 2013/118532 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 15 August 2013 (2013-08-15) paragraphs [0002], [0030], [0035], fig. 4	5, 10-13, 15-16
A		2, 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	Date of mailing of the international search report
20 July 2023	**01 August 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2021/0021255 A1 (FREC'N'SYS) 21 January 2021 (2021-01-21) paragraphs [0057], [0109]	15-16
A		2, 6
A	JP 2012-257019 A (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 27 December 2012 (2012-12-27) paragraphs [0030], [0074]	2, 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/020400

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2007/046236 A1	26 April 2007	US 2008/0179989 A1 paragraphs [0016], [0032]-[0037], [0042]-[0051], fig. 1, 3-5 EP 1947765 A1 CN 101292423 A KR 10-2008-0063310 A	
WO 2012/086441 A1	28 June 2012	US 2014/0152146 A1 paragraphs [0034]-[0041], [0051], [0052], fig. 1 EP 2658122 A1 CN 103283147 A	
WO 2013/118532 A1	15 August 2013	US 2014/0333392 A1 paragraphs [0004], [0052], [0057], fig. 4 CN 104040887 A KR 10-2014-0116904 A	
US 2021/0021255 A1	21 January 2021	FR 3079668 A1 page 10, lines 6-10, page 17, lines 27-30	
JP 2012-257019 A	27 December 2012	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/020400

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H03H 9/145(2006.01)i; H03H 9/25(2006.01)i
FI: H03H9/145 Z; H03H9/25 C

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（ＩＰＣ））

H03H9/145; H03H9/25

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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３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	WO 2007/046236 A1 (株式会社村田製作所) 26.04.2007 (2007-04-26) 段落[0014], [0022]-[0027], [0032]-[0041], 図1, 3-5	1, 14
Y		3-5, 7-13, 15-16
A		2, 6
Y	WO 2012/086441 A1 (株式会社村田製作所) 28.06.2012 (2012-06-28) 段落[0019]-[0026], [0037]-[0038], 図1	3-4, 7-9, 12-13, 15-16
A		2, 6
Y	WO 2013/118532 A1 (株式会社村田製作所) 15.08.2013 (2013-08-15) 段落[0002], [0030], [0035], 図4	5, 10-13, 15-16
A		2, 6
Y	US 2021/0021255 A1 (FREC'N'SYS) 21.01.2021 (2021-01-21) 段落[0057], [0109]	15-16
A		2, 6
A	JP 2012-257019 A (株式会社村田製作所) 27.12.2012 (2012-12-27) 段落[0030], [0074]	2, 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
20.07.2023	01.08.2023

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
竹内　亨 5W 8388

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/020400

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2007/046236 A1	26.04.2007	US 2008/0179989 A1 段落[0016], [0032]-[0037], [0042]-[0051], 図1, 3-5 EP 1947765 A1 CN 101292423 A KR 10-2008-0063310 A	
WO 2012/086441 A1	28.06.2012	US 2014/0152146 A1 段落[0034]-[0041], [0051]-[0052], 図1 EP 2658122 A1 CN 103283147 A	
WO 2013/118532 A1	15.08.2013	US 2014/0333392 A1 段落[0004], [0052], [0057], 図4 CN 104040887 A KR 10-2014-0116904 A	
US 2021/0021255 A1	21.01.2021	FR 3079668 A1 第10頁第6-10行, 第17頁第27-30行,	
JP 2012-257019 A	27.12.2012	（ファミリーなし）	