(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
2025年1月23日(23.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/017976 A1

(51) 国際特許分類:
H03H 9/19 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/013407

(22) 国際出願日： 2024年4月1日(01.04.2024)

(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 2023-117392 2023年7月19日(19.07.2023) JP

(71) 出願人： 株式会社村田製作所 **(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.)** [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足１丁目１０番１号 Kyoto (JP).

(72) 発明者： 村内 大樹 **(MURAUCHI, Daiki)**; 〒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). 西村 俊雄 **(NISHIMURA, Toshio)**; 〒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：稲葉 良幸，外 **(INABA, Yoshiyuki** et al.); 〒1066123 東京都港区六本木６－１０－１ 六本木ヒルズ森タワー２３階 ＴＭＩ総合法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

(54) **Title:** PIEZOELECTRIC VIBRATION ELEMENT

(54) 発明の名称： 圧電振動素子

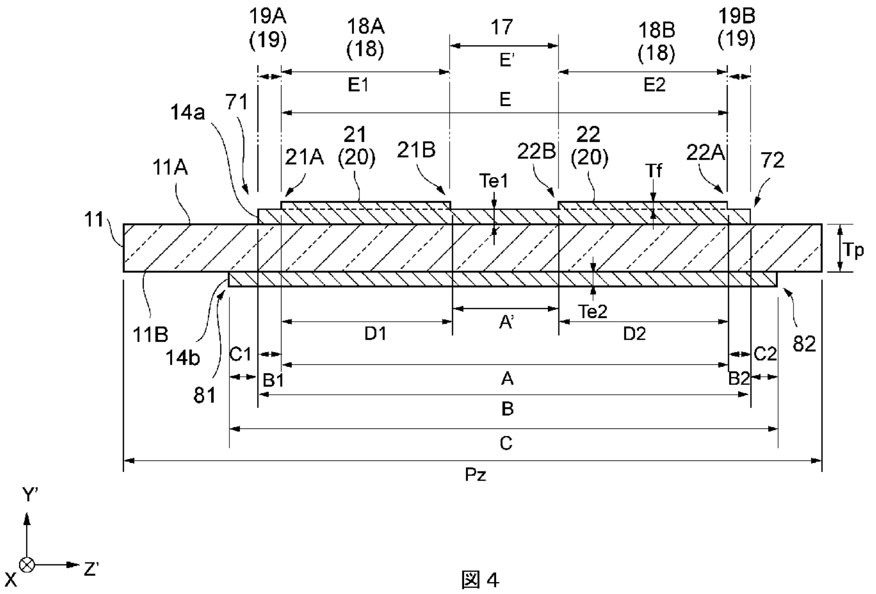


図４

(57) **Abstract:** A piezoelectric vibration element 10 comprises: a piezoelectric piece 11; a first excitation electrode 14a provided on a first principal surface 11A of the piezoelectric piece 11; a second excitation electrode 14b provided on a second principal surface 11B of the piezoelectric piece 11; and a mass addition film 20 at least partially overlapping the first excitation electrode 14a. The mass addition film 20 includes a first portion 21 and a second portion 22 that are provided so as to avoid a central portion of the first excitation electrode 14a; the first excitation electrode 14a has a first

WO 2025/017976 A1

［続葉有］

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, 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)）

outer edge portion 71 and a second outer edge portion 72 in plan view; the second excitation electrode 14b has a third outer edge portion 81 and a fourth outer edge portion 82; the first portion 21 is provided along the first outer edge portion 71; the second portion 22 is provided along the second outer edge portion 72; and when a region in which the piezoelectric piece 11, the first excitation electrode 14a, and the second excitation electrode 14b overlap one another is defined as a high acoustic velocity region 17, and regions in which the mass addition film 20 further overlaps the piezoelectric piece 11, the first excitation electrode 14a, and the second excitation electrode 14b are defined as first and second low acoustic velocity regions 18A, 18B, the third outer edge portion 81 and the fourth outer edge portion 82 are further away from the central portion than the first low acoustic velocity region 18A and the second low acoustic velocity region 18B, respectively, in plan view.

(57) 要約：圧電振動素子１０は、圧電片１１と、圧電片１１の第１主面１１Ａの上に設けられた第１励振電極１４ａと、圧電片１１の第２主面１１Ｂの上に設けられた第２励振電極１４ｂと、少なくとも一部が第１励振電極１４ａに重なる質量付加膜２０とを備え、質量付加膜２０は、第１励振電極１４ａの中央部を避けて設けられた第１部分２１及び第２部分２２を含み、第１励振電極１４ａは、平面視において第１外縁部７１と第２外縁部７２とを有し、第２励振電極１４ｂは、第３外縁部８１と第４外縁部８２とを有し、第１部分２１は、第１外縁部７１に沿って設けられ、第２部分２２は、第２外縁部７２に沿って設けられ、圧電片１１、第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂが重なった領域を高音速領域１７とし、圧電片１１、第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂにさらに質量付加膜２０が重なった領域を第１、第２低音速領域１８Ａ、１８Ｂとしたとき、平面視において、第３外縁部８１、第４外縁部８２は、それぞれ第１低音速領域１８Ａ、第２低音速領域１８Ｂよりも中央部から離れてる。

明 細 書

発明の名称 ： 圧電振動素子

技術分野

[0001] 本発明は、圧電振動素子に関する。

背景技術

[0002] 移動通信端末、通信基地局、家電などの各種電子機器において、タイミングデバイス、センサ又は発振器等の用途に圧電振動素子が用いられている。圧電振動素子は、一対の主面を有する圧電片と、圧電片の一対の主面に設けられた一対の励振電極を備える。

[0003] 例えば、特許文献１には、第１主面及び第２主面を有する水晶片と、第１主面に設けられた第１励振電極と、第２主面に設けられた第２励振電極とを備え、第１励振電極及び第２励振電極は、電極端部において他の部分よりも膜厚が大きい膜厚部を有する、水晶振動素子が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第２０２２／０８０４２６号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献１に記載の水晶振動素子においては、製造バラツキによる膜厚部の位置ずれによって、電気機械結合係数が悪化する場合がある。

[0006] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、電気機械結合係数の悪化の抑制を図ることができる圧電振動素子を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様に係る圧電振動素子は、第１方向及び第１方向と交差する第２方向に延在する第１主面、及び、第１主面に対向する第２主面を有する圧電片と、圧電片の第１主面の上に設けられた第１励振電極と、圧電片の第

２主面の上に設けられた第２励振電極と、少なくとも一部が第１励振電極に重なる質量付加膜とを備え、質量付加膜は、第１励振電極の中央部を避けて設けられた第１部分及び第２部分を含み、第１励振電極は、平面視において、中央部に対して第１方向における一方側に位置する第１外縁部と、中央部に対して第１方向における他方側に位置する第２外縁部とを有し、第２励振電極は、平面視において、中央部に対して第１方向における一方側に位置する第３外縁部と、中央部に対して第１方向における他方側に位置する第４外縁部とを有し、第１部分は、第１外縁部に沿って設けられ、第２部分は、第２外縁部に沿って設けられ、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極が重なった領域を高音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第１部分が重なった領域を第１低音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第２部分が重なった領域を第２低音速領域としたとき、平面視において、第３外縁部は、第１低音速領域よりも中央部から離れており、平面視において、第４外縁部は、第２低音速領域よりも中央部から離れている。

[0008]　本発明の一態様に係る圧電振動素子は、第１方向及び第１方向と交差する第２方向に延在する第１主面、及び、第１主面に対向する第２主面を有する圧電片と、圧電片の第１主面の上に設けられた第１励振電極と、圧電片の第２主面の上に設けられた第２励振電極と、少なくとも一部が第１励振電極に重なる質量付加膜とを備え、質量付加膜は、第１励振電極の中央部を避けて設けられた第１部分及び第２部分を含み、第１励振電極は、平面視において、中央部に対して第１方向における一方側に位置する第１外縁部と、中央部に対して第１方向における他方側に位置する第２外縁部とを有し、第２励振電極は、平面視において、中央部に対して第１方向における一方側に位置する第３外縁部と、中央部に対して第１方向における他方側に位置する第４外縁部とを有し、第１部分は、第１外縁部に沿って設けられ、第２部分は、第２外縁部に沿って設けられ、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極が重なった領域を高音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさら

に質量付加膜の第１部分が重なった領域を第１低音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第２部分が重なった領域を第２低音速領域とし、質量付加膜における第１部分の第２部分とは反対側の端部と第２部分の第１部分とは反対側の端部との間の第１方向に沿った寸法をＡ、第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢ、第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、Ａ＝Ｃ＜Ｂの関係が成り立ち、平面視したとき、第１低音速領域の第２低音速領域とは反対側の外縁部、及び、第２低音速領域の第１低音速領域とは反対側の外縁は、第１励振電極に重なっており、平面視したとき、第２励振電極の第３外縁部及び第４外縁部は、第１励振電極に重なっている。

発明の効果

[0009]　本発明によれば、電気機械結合係数の悪化の抑制を図ることができる圧電振動素子を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]第１実施形態に係る水晶発振器の断面図である。

[図2]第１実施形態に係る水晶振動子の分解斜視図である。

[図3]第１実施形態に係る水晶振動子の断面図である。

[図4]第１実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図5]第１実施形態に係る水晶振動素子の平面図である。

[図6]第１実施形態に基づくシミュレーションの条件を示す表である。

[図7]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図8]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図9]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図10]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図11]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図12]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図13]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図14]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図15]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図16]第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[図17]第１実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。

[図18]第１実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。

[図19]第２実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図20]第３実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図21]第４実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図22]第４実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。

[図23]第４実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。

[図24]第５実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図25]第５実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。

[図26]第５実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。

[図27]第６実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図28]第６実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。

[図29]第６実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。

[図30]第７実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図31]第８実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図32]比較例及び第１乃至第８実施形態に基づく実施例のシミュレーション結果を示す表である。

[図33]比較例及び第１乃至第８実施形態に基づく実施例のシミュレーション条件を示す表である。

[図34]第９実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[図35]第１０実施形態に係る水晶振動素子の平面図である。

[図36]第１１実施形態に係る水晶振動素子の平面図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下に本発明の実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の構成要素は同一又は類似の符号で表している。図面は例示であり、各部の寸法や形状は模式的なものであり、本発明の技術的範囲を当該実施形

態に限定して解するべきではない。なお、以下の説明において、「寸法」は対象物の長さを意味し、「距離」は２つの対象物の間隔の長さを意味するものとする。

[0012] 各図面には、各図面の相互の関係を明確にし、各部材の位置関係を理解する助けとするために、便宜的にＸ軸、Ｙ’軸及びＺ’軸からなる直交座標系を付すことがある。Ｘ軸、Ｙ’軸及びＺ’軸は各図面において互いに対応している。Ｘ軸、Ｙ’軸及びＺ’軸は、それぞれ、後述する水晶片１１の結晶軸（Ｃｒｙｓｔａｌｌｏｇｒａｐｈｉｃ　Ａｘｅｓ）に対応している。Ｘ軸は水晶の電気軸（極性軸）、Ｙ軸は水晶の機械軸、Ｚ軸は水晶の光学軸に、それぞれ相当する。Ｙ’軸及びＺ’軸は、それぞれ、Ｙ軸及びＺ軸をＸ軸の周りにＹ軸からＺ軸の方向に３５度１５分±１分３０秒回転させた軸である。

[0013] 以下の説明において、Ｘ軸に平行な方向を「Ｘ軸方向」、Ｙ’軸に平行な方向を「Ｙ’軸方向」、Ｚ’軸に平行な方向を「Ｚ’軸方向」という。また、Ｘ軸、Ｙ’軸及びＺ’軸の矢印の先端方向を「正」又は「＋（プラス）」、矢印とは反対の方向を「負」又は「－（マイナス）」という。なお、便宜的に、＋Ｙ’軸方向を上方向、－Ｙ’軸方向を下方向として説明するが、水晶振動素子１０、水晶振動子１、及び水晶発振器１００の上下の向きは限定されるものではない。また、Ｘ軸及びＺ’軸によって特定される面をＺ’Ｘ面とし、他の軸によって特定される面についても同様とする。

[0014] ＜第１実施形態＞

[0015] まず、図１を参照しつつ、一実施形態に従う水晶発振器の概略構成について説明する。第１実施形態に係る水晶発振器の断面図である。

[0016] 以下の説明において、圧電発振器として、水晶振動子（Ｑｕａｒｔｚ　Ｃｒｙｓｔａｌ　Ｒｅｓｏｎａｔｏｒ　Ｕｎｉｔ）を備えた水晶発振器（ＸＯ：Ｃｒｙｓｔａｌ　Ｏｓｃｉｌｌａｔｏｒ）を例に挙げて説明する。また、圧電振動子（Ｐｉｅｚｏｅｌｅｃｔｒｉｃ　Ｒｅｓｏｎａｔｏｒ　Ｕｎｉｔ）として、水晶振動素子（Ｑｕａｒｔｚ　Ｃｒｙｓｔａｌ　Ｒｅｓｏｎａｔ

ｏｒ）を備えた水晶振動子（Ｑｕａｒｔｚ　Ｃｒｙｓｔａｌ　Ｒｅｓｏｎａｔｏｒ　Ｕｎｉｔ）を例に挙げて説明する。また、圧電振動素子として、水晶片（Ｑｕａｒｔｚ　Ｃｒｙｓｔａｌ　Ｅｌｅｍｅｎｔ）を備えた水晶振動素子を例に挙げて説明する。水晶片は、印加電圧に応じて振動する圧電体（圧電片）の一種である。なお、圧電発振器は、水晶振動子に限定されるものではなく、セラミック等の他の圧電体を利用するものであってもよい。同様に、圧電振動子は、水晶振動子に限定されるものではなく、セラミック等の他の圧電体を利用するものであってもよい。また同様に、圧電振動素子は、水晶振動素子に限定されるものではなく、セラミック等の他の圧電体を利用するものであってもよい。

[0017]　図１に示すように、水晶発振器１００は、水晶振動子１と、実装基板１３０と、蓋体１４０と、電子部品１５６とを備える。

[0018]　水晶振動子１及び電子部品１５６は、実装基板１３０と蓋体１４０との間に形成される空間に収容される。実装基板１３０及び蓋体１４０によって形成される空間は、例えば気密に封止される。なお、この空間は、真空状態で気密に封止されてもよく、不活性ガス等の気体が充填された状態で気密に封止されてもよい。

[0019]　実装基板１３０は、平板状の回路基板である。実装基板１３０は、例えば、ガラスエポキシ板と、ガラスエポキシ板にパターニングされた配線層とを含んで構成される。

[0020]　水晶振動子１は、実装基板１３０の一方の面（図１における上面）の上に設けられる。より詳細には、水晶振動子１は、半田１５３によって実装基板１３０の配線層に電気的に接続されている。

[0021]　蓋体１４０は、一方の側（図１における下側）が開口した、有底の開口部を含む。言い換えると、蓋体１４０は、平板状の天壁部と、天壁部の外縁から実装基板１３０に向かって延在する側壁部と、側壁部の先端から外側に延在するフランジ部とを含む。フランジ部は、実装基板１３０の一方の面（図１における上面）に接合される。これにより、蓋体１４０の内部に、実装基

板１３０に接合された水晶振動子１が収容される。蓋体１４０は、金属材料によって構成されており、例えば金属板の絞り加工によって形成される。

[0022] 電子部品１５６は、実装基板１３０の一方の面（図１における上面）の上に設けられる。より詳細には、半田１５３によって実装基板１３０の配線層と電子部品１５６とが接合されている。これにより、電子部品１５６は、実装基板１３０に実装される。

[0023] 電子部品１５６は、実装基板１３０の配線層を通して、水晶振動子１に電気的に接続される。電子部品１５６は、例えばコンデンサやＩＣチップ等を含んで構成される。電子部品１５６は、例えば、水晶振動子１を発振させる発振回路の一部、又は、水晶振動子１の温度特性を補償する温度補償回路の一部等である。電子部品１５６が温度補償回路を含む場合、水晶発振器１００は、温度補償水晶発振器（ＴＣＸＯ：Ｔｅｍｐｅｒａｔｕｒｅ Ｃｏｍｐｅｎｓａｔｅｄ Ｃｒｙｓｔａｌ Ｏｓｃｉｌｌａｔｏｒ）の一例に相当する。水晶発振器１００は、電圧制御水晶発振器（ＶＣＸＯ：Ｖｏｌｔａｇｅ Ｃｏｎｔｒｏｌｌｅｄ Ｃｒｙｓｔａｌ Ｏｓｃｉｌｌａｔｏｒ）一例に相当してもよく、恒温槽付水晶発振器（ＯＣＸＯ：Ｏｖｅｎ Ｃｏｎｔｒｏｌｌｅｄ Ｃｒｙｓｔａｌ Ｏｓｃｉｌｌａｔｏｒ）の一例に相当してもよい。

[0024] 次に、図２及び３を参照しつつ、第１実施形態に係る水晶振動子１の構成について説明する。図２は、第１実施形態に係る水晶振動子の分解斜視図である。図３は、第１実施形態に係る水晶振動子の断面図である。

[0025] Ｚ’軸方向は「第１方向」の一例に相当し、Ｘ軸方向は「第２方向」の一例に相当し、Ｙ’軸方向は「第３方向」の一例に相当する。Ｙ’軸方向は、「厚さ方向」の一例に相当する。但し、第１方向、第２方向及び第３方向は上記に限定されるものではない。例えば、Ｘ軸方向が第１方向であり、Ｚ’軸方向が第２方向であってもよい。

[0026] 水晶振動子１は、水晶振動素子１０と、ベース部材３０と、蓋部材４０と、接合部５０を備えている。

[0027] 水晶振動素子１０は、圧電効果により電気エネルギーと機械エネルギーとを相互に変換する電気機械エネルギー変換素子である。水晶振動素子１０のメインモードの周波数は、例えば０．８ＧＨｚ以上２．０ＧＨｚ以下程度であり、例えば０．９５ＧＨｚ程度である。水晶振動素子１０のインハーモニックモードの周波数は、例えば、メインモードの周波数の１％程度の範囲内に存在する。水晶振動素子１０は、薄片状の水晶片（Ｑｕａｒｔｚ Ｃｒｙｓｔａｌ Ｅｌｅｍｅｎｔ）１１と、一対の励振電極を構成する第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂと、一対の引出電極を構成する第１引出電極１５ａ及び第２引出電極１５ｂと、一対の接続電極を構成する第１接続電極１６ａ及び第２接続電極１６ｂと、質量付加膜２０とを備えている。

[0028] 水晶片１１は、互いに対向する上面１１Ａ及び下面１１Ｂを有している。上面１１Ａは、蓋部材４０の天壁部４１に対向する側に位置している。下面１１Ｂは、ベース部材３０に対向する側に位置している。上面１１Ａ及び下面１１Ｂは、水晶片１１の一対の主面に相当する。

[0029] 水晶片１１は、例えば、ＡＴカット型の水晶結晶である。ＡＴカット型の水晶結晶は、ＸＺ’面が主面となり、Ｙ’軸と平行な方向が厚さとなるように形成される。一例として、厚さ方向において上面１１Ａを平面視したとき（以下、単に「平面視」とする。）、水晶片１１の形状（以下、「平面形状」とする。）は、Ｚ’軸方向に延在する一対の辺と、Ｘ軸方向に延在する一対の辺とを有する正方形状である。また、水晶片１１は、Ｙ’軸方向に厚さを有する。一例として、水晶片１１の形状は、厚さが一様な平板状である。

[0030] なお、水晶片の平面形状は上記に限定されるものではない。例えば、水晶片の平面形状は、Ｚ’軸方向に延在する長辺とＸ軸方向に延在する短辺とを有する長方形状であってもよく、Ｚ’軸方向に延在する短辺とＸ軸方向に延在する長辺とを有する長方形状であってもよい。水晶片の平面形状は、多角形状、円形状、楕円形状、又はこれらの組合せであってもよい。また、水晶片は平板状に限定されるものではない。水晶片は、上面１１Ａ及び下面１１Ｂの少なくとも一方に凹凸を有するメサ型構造又は逆メサ型構造であっても

よい。水晶片は、厚さの変化量が連続的に変化するコンベックス構造であってもよく、厚さの変化量が不連続に変化するベベル構造であってもよい。

[0031] ＡＴカット型の水晶片１１は、人工水晶（Ｓｙｎｔｈｅｔｉｃ Ｑｕａｒｔｚ Ｃｒｙｓｔａｌ）の結晶軸であるＸ軸、Ｙ軸、Ｚ軸のうち、Ｙ軸及びＺ軸をＸ軸の周りにＹ軸からＺ軸の方向に３５度１５分±１分３０秒回転させた軸をそれぞれＹ’軸及びＺ’軸とし、ＸＺ’面を主面として切り出されたものである。

[0032] ＡＴカット型の水晶片１１を用いた水晶振動素子１０は、広い温度範囲で高い周波数安定性を有する。また、ＡＴカット水晶振動素子は、経時変化特性にも優れており、低コストで製造することが可能である。さらに、ＡＴカット水晶振動素子は、厚み滑り振動モード（Ｔｈｉｃｋｎｅｓｓ Ｓｈｅａｒ Ｖｉｂｒａｔｉｏｎ Ｍｏｄｅ）を主要振動として用いる。

[0033] なお、水晶片のカット角は上記に限定されるものではない。ＡＴカット型の水晶片１１におけるＹ’軸及びＺ’軸の回転角は、３５度１５分から－５度以上又は＋１５度以下の範囲で傾いてもよい。また、水晶片のカット角は、ＡＴカット以外の異なるカット、例えばＢＴカット、ＧＴカット、ＳＣカット等を適用してもよい。また、水晶振動素子の主要振動モードは厚み滑り振動モードに限定されるものではなく、例えば、厚み縦振動、広がり振動、長さ振動又は屈曲振動であってもよい。

[0034] 第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂは、水晶片１１に交番電圧を印加して、水晶片１１を励振する。第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂは、平面視における水晶片１１の中央部に設けられている。第１励振電極１４ａは、上面１１Ａに設けられ、第２励振電極１４ｂは、下面１１Ｂに設けられている。第１励振電極１４ａと第２励振電極１４ｂとは、水晶片１１を挟んでＹ’軸方向において互いに対向している。第１励振電極１４ａは、「励振電極」の一例に相当する。

[0035] 第１励振電極１４の平面形状は、Ｚ’軸方向に延在する短辺と、Ｘ軸方向に延在する長辺とを有する長方形状である。また、第１励振電極１４ａはＹ

’軸方向に厚さを有する。第２励振電極１４ｂも同様の形状である。

[0036] なお、第１励振電極及び第２励振電極の平面形状は上記に限定されるものではない。第１励振電極及び第２励振電極の平面形状は、Ｘ軸方に延在する短辺を有する長方形状であってもよい。また、第１励振電極及び第２励振電極の平面形状は、正方形状、多角形状、円形状、楕円形状又はこれらの組み合わせであってもよい。

[0037] 第１引出電極１５ａは第１励振電極１４ａと第１接続電極１６ａとを電気的に接続し、第２引出電極１５ｂは第２励振電極１４ｂと第２接続電極１６ｂとを電気的に接続する。第１引出電極１５ａは水晶片１１の上面１１Ａから下面１１Ｂに亘って設けられ、第２引出電極１５ｂは水晶片１１の下面１１Ｂに設けられている。

[0038] 第１接続電極１６ａ及び第２接続電極１６ｂは、水晶振動素子１０をベース部材３０に電気的に接続する。第１接続電極１６ａ及び第２接続電極１６ｂは、水晶片１１の下面１１Ｂに設けられている。

[0039] 第１励振電極１４ａ、第１引出電極１５ａ及び第１接続電極１６ａは、一体的に設けられている。第２励振電極１４ｂ、第２引出電極１５ｂ及び第２接続電極１６ｂも同様である。これら水晶振動素子１０の電極は、例えば、下地層と表面層とをこの順に積層して設けられる多層構造である。例えば、下地層は水晶片１１との密着性が良好なクロム（Ｃｒ）層であり、表面層は化学的安定性の良好な金（Ａｕ）層である。水晶振動素子１０の電極は、チタン（Ｔｉ）、アルミニウム（Ａｌ）、モリブデン（Ｍｏ）、又は、アルミニウム（Ａｌ）を主成分とするアルミ銅合金（ＡｌＣｕ）を含んでもよい。水晶振動素子１０の電極は、単層構造であってもよい。

[0040] 質量付加膜２０は、質量付加効果により、第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂが対向する領域における一部の音速を低下させる。質量付加膜２０は、第１励振電極１４ａの水晶片１１とは反対側に設けられている。質量付加膜２０の少なくとも一部が第１励振電極１４ａに重なっている。質量付加膜２０の材質は、電気伝導体であり、例えば第１励振電極１４ａの材質

と同じである。

[0041] 第１励振電極１４ａと質量付加膜２０との材質が同一で境界が不明確である場合、高音速領域１７（図４参照）における第１励振電極１４ａの表面を含むＸＺ’面に対して、水晶片１１とは反対側に位置する部分を質量付加膜２０とする。

[0042] なお、質量付加膜は、第１励振電極の水晶片とは反対側ではなく、第２励振電極の水晶片１１とは反対側に設けられてもよい。質量付加膜２０の材質は、第１励振電極とは異なる金属であってもよく、絶縁体であってもよい。

[0043] ベース部材３０は、水晶振動素子１０を励振可能に保持している。ベース部材３０は、基体３１と、接続電極３３ａ，３３ｂと、引出電極３４ａ，３４ｂと、外部電極３５ａ，３５ｂ，３５ｃ，３５ｄと、導電性保持部材３６ａ，３６ｂとを備えている。

[0044] 基体３１は、厚さ方向において互いに対向する上面３１Ａ及び下面３１Ｂを有する板状の絶縁体である。上面３１Ａ及び下面３１Ｂは、基体３１の一対の主面に相当する。上面３１Ａは、水晶振動素子１０及び蓋部材４０に対向する側に位置し、水晶振動素子１０が搭載される搭載面に相当する。リフロー等の熱履歴によって基体３１から水晶振動素子１０に作用する熱応力を抑制する観点から、基体３１は耐熱性材料によって構成されることが好ましい。同様の観点から、基体３１は、水晶片１１に近い熱膨張率を有する材料によって設けられてもよい。基体３１は、例えば、セラミック基板、ガラス基板又は水晶基板によって設けられる。

[0045] 基体３１のコーナー部は、その一部が円筒曲面状（キャスタレーション形状とも呼ばれる。）に形成された切り欠き側面を有している。なお、基体３１のコーナー部の形状はこれに限定されるものではない。基体のコーナー部は、角柱状に形成された切り欠き側面を有してもよく、切り欠きが無い略直角のコーナー部であってもよい。

[0046] 接続電極３３ａ，３３ｂは、水晶振動素子１０に電気的に接続される。接続電極３３ａは水晶振動素子１０の接続電極１６ａに電気的に接続され、接

続電極３３ｂは、水晶振動素子１０の接続電極１６ｂに接続される。

[0047] 引出電極３４ａは接続電極３３ａと外部電極３５ａとを電気的に接続し、引出電極３４ｂは接続電極３３ｂと外部電極３５ｂとを電気的に接続している。引出電極３４ａ，３４ｂは、基体３１の上面３１Ａに設けられている。

[0048] 外部電極３５ａ，３５ｂは水晶振動素子１０を外部基板に電気的に接続するための外部端子である。外部電極３５ａは水晶振動素子１０の第１励振電極１４ａを実装基板１３０に電気的に接続し、外部電極３５ｂは水晶振動素子１０の第２励振電極１４ｂを実装基板１３０に電気的に接続する。外部電極３５ｃ，３５ｄのうち一方は、蓋部材４０を接地する接地電極であり、他方は水晶振動素子１０及び蓋部材４０とは電気的に接続されていないダミー電極である。外部電極３５ａ，３５ｂ，３５ｃ，３５ｄのそれぞれは、基体３１の４つのコーナー部に設けられた切り欠き側面から下面３１Ｂにわたって連続的に設けられている。図２に示す例において、外部電極３５ａと外部電極３５ｂとは基体３１の上面３１Ａにおける対角に位置し、外部電極３５ｃと外部電極３５ｄとは基体３１の上面３１Ａにおける別の対角に位置している。但し、外部電極３５ａ，３５ｂ，３５ｃ，３５ｄは上記に限定されるものではない。外部電極３５ｃ，３５ｄは両方とも接地電極であってもよく、両方ともダミー電極であってもよい。外部電極３５ｃ，３５ｄは省略されてもよい。外部電極３５ｃは外部電極３５ａ，３５ｂのうち一方と電気的に接続されてもよく、外部電極３５ｄは外部電極３５ａ，３５ｂのうち他方と電気的に接続されてもよい。

[0049] 導電性保持部材３６ａ，３６ｂは、ベース部材３０と水晶振動素子１０とを電気的に接続するとともに、水晶振動素子１０を機械的に保持している。導電性保持部材３６ａは、水晶振動素子１０の第１接続電極１６ａと、ベース部材３０の接続電極３３ａとを電気的に接続している。導電性保持部材３６ｂは、水晶振動素子１０の第２接続電極１６ｂと、ベース部材３０の接続電極３３ｂとを電気的に接続している。導電性保持部材３６ａ，３６ｂは、熱硬化性樹脂や光硬化性樹脂等を含む導電性接着剤の硬化物である。導電性

保持部材３６ａ，３６ｂの主成分は、例えばシリコーン樹脂である。導電性保持部材３６ａ，３６ｂは導電性粒子を含んでおり、当該導電性粒子としては例えば銀（Ａｇ）を含む金属粒子が用いられる。

[0050] 導電性保持部材３６ａ，３６ｂの主成分は、シリコーン樹脂に限定されるものではなく、例えばエポキシ樹脂やアクリル樹脂などであってもよい。また、導電性保持部材３６ａ，３６ｂに含まれる導電性粒子は、銀粒子に限定されるものではなく、その他の金属、導電性セラミック、導電性有機材料などによって形成されてもよい。導電性保持部材３６ａ，３６ｂは、導電性高分子を含んでもよい。

[0051] 蓋部材４０は、ベース部材３０との間に、水晶振動素子１０が収容される内部空間３９を形成する。蓋部材４０は、天壁部４１と、天壁部４１の外縁部からベース部材３０に向かって延出する側壁部４２と、実装基板１３０の先端から外側に向かって延出するフランジ部４３とを有している。天壁部４１は、Ｙ’軸方向において、水晶振動素子１０を挟んでベース部材３０と対向している。側壁部４２は、ＸＺ’面方向において、間隔を空けて水晶振動素子１０を囲んでいる。フランジ部４３は、平面視において枠状に設けられており、蓋部材４０のうち最もベース部材３０の近くに設けられている。蓋部材４０の材質は、望ましくは導電材料であり、さらに望ましくは気密性の高い金属材料である。蓋部材４０が導電材料で構成されることによって、内部空間３９への電磁波の出入りを低減する電磁シールド機能が蓋部材４０に付与される。熱応力の発生を抑制する観点から、蓋部材４０の材質は、ベース部材３０に近い熱膨張率を有する材料であることが望ましく、例えば常温付近での熱膨張率がガラスやセラミックと広い温度範囲で一致するＦｅ－Ｎｉ－Ｃｏ系合金である。蓋部材４０は、図示しない接地部材によって、外部電極３５ｃ，３５ｄの少なくとも一方に電気的に接続されている。

[0052] 接合部５０は、ベース部材３０と蓋部材４０とを接合し、内部空間３９を封止する。接合部５０は、ベース部材３０のフランジ部４３の全周に亘って枠状に設けられており、蓋部材４０のフランジ部４３の下面とベース部材３

０の上面３１Ａとによって挟まれている。接合部５０は絶縁材料によって設けられている。接合部５０は、例えば、エポキシ系、ビニル系、アクリル系、ウレタン系又はシリコーン系の樹脂を含む有機系接着剤によって設けられる。接合部５０の材質は有機系接着剤に限定されるものではなく、水ガラスなどを含むケイ素系接着剤や、セメントなどを含むカルシウム系接着剤などの無機系接着剤によって設けられてもよい。接合部５０の材質は、低融点ガラス（例えば鉛ホウ酸系や錫リン酸系等）であってもよい。

[0053] 次に、図４及び図５を参照しつつ、第１実施形態に係る水晶振動素子１０の構成について説明する。図４は、第１実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。図５は、第１実施形態に係る水晶振動素子の平面図である。なお、説明を簡略化するため、図４及び図５においては、第１引出電極１５ａ、第２引出電極１５ｂ、第１接続電極１６ａ及び第２接続電極１６ｂの図示を省略している。

[0054] 水晶振動素子１０は、電圧が印加されて励振される励振領域において、高音速領域１７と、低音速領域１８と、外側高音速領域１９とを有する。低音速領域１８は、質量付加膜２０が設けられることによって質量付加効果により音速が低下した領域である。高音速領域１７及び外側高音速領域１９の音速は、低音速領域１８の音速よりも大きい。高音速領域１７の音速は、外側高音速領域１９の音速と略同等である。

[0055] 図５に示すように、平面視において、高音速領域１７は、第１励振電極１４ａの中央部に重なる領域に設けられている。高音速領域１７の平面形状は、Ｘ軸方向に沿って延在する長辺と、Ｚ’軸方向に沿って延在する短辺とを有する長方形状である。

[0056] なお、高音速領域の平面形状は上記に限定されるものではない。高音速領域の平面形状は、Ｘ軸方向に沿って延在する短辺と、Ｚ’軸方向に沿って延在する長辺とを有する長方形状であってもよい。また、高音速領域の平面形状は、正方形状、多角形状、円形状、楕円形状又はこれらの組み合わせであってもよい。

[0057] 図５に示すように、平面視において、低音速領域１８は、第１励振電極１４ａの外縁部の内側の領域において、第１励振電極１４ａの外縁部に沿って設けられている。低音速領域１８は、第１励振電極１４ａの中央部を囲む枠状に設けられている。低音速領域１８は、第１低音速領域１８Ａ、第２低音速領域１８Ｂ、第３低音速領域１８Ｃ及び第４低音速領域１８Ｄを有している。

[0058] 第１低音速領域１８Ａは、高音速領域１７のＺ’軸負方向側に隣接し、Ｘ軸方向に沿って延在している。第２低音速領域１８Ｂは、高音速領域１７のＺ’軸正方向側に隣接し、Ｘ軸方向に沿って延在している。第３低音速領域１８Ｃは、高音速領域１７のＸ軸正方向側に隣接し、Ｚ’軸方向に沿って延在している。第４低音速領域１８Ｄは、高音速領域１７のＸ軸負方向側に隣接し、Ｚ’軸方向に沿って延在している。第１低音速領域１８ＡのＸ軸正方向側の端部は、第３低音速領域１８ＣのＺ’軸負方向側の端部に接続し、第１低音速領域１８ＡのＸ軸正方向側の端部は、第４低音速領域１８ＤのＺ’軸負方向側の端部に接続している。第２低音速領域１８ＢのＸ軸正方向側の端部は、第３低音速領域１８ＣのＺ’軸正方向側の端部に接続し、第２低音速領域１８ＢのＸ軸負方向側の端部は、第４低音速領域１８ＤのＺ’軸正方向側の端部に接続している。

[0059] 平面視において、第１低音速領域１８ＡのＸ軸正方向側の端部は、第３低音速領域１８ＣのＺ’軸負方向側の端部と重なっており、第１低音速領域１８ＡのＸ軸負方向側の端部は、第４低音速領域１８ＤのＺ’軸負方向側の端部と重なっている。第２低音速領域１８ＢのＸ軸正方向側の端部は、第３低音速領域１８ＣのＺ’軸正方向側の端部と重なっており、第２低音速領域１８ＢのＸ軸負方向側の端部は、第４低音速領域１８ＤのＺ’軸正方向側の端部と重なっている。

[0060] 平面視において、第１低音速領域１８Ａにおける第１励振電極１４ａの中央部とは反対側に位置する外縁部は、質量付加膜２０の後述する第１部分２１における第１励振電極１４ａの中央部とは反対側に位置する外縁部（後述

する外縁部２１Ａ）と重なっている。第２低音速領域１８Ｂにおける第１励振電極１４ａの中央部とは反対側に位置する外縁部は、質量付加膜２０の後述する第２部分２２における第１励振電極１４ａの中央部とは反対側に位置する外縁部（後述する外縁部２２Ａ）と重なっている。第３低音速領域１８Ｃにおける第１励振電極１４ａの中央部とは反対側に位置する外縁部は、質量付加膜２０の後述する第３部分２３における第１励振電極１４ａの中央部とは反対側に位置する外縁部（後述する外縁部２３Ａ）と重なっている。第４低音速領域１８Ｄにおける第１励振電極１４ａの中央部とは反対側に位置する外縁部は、質量付加膜２０の後述する第４部分２４における第１励振電極１４ａの中央部とは反対側に位置する外縁部（後述する外縁部２４Ａ）と重なっている。

[0061]　平面視において、第１低音速領域１８Ａにおける第１励振電極１４ａの中央部側に位置する内縁部は、質量付加膜２０の後述する第１部分２１における第１励振電極１４ａの中央部側に位置する内縁部（後述する内縁部２１Ｂ）と重なっている。第２低音速領域１８Ｂにおける第１励振電極１４ａの中央部側に位置する内縁部は、質量付加膜２０の後述する第２部分２２における第１励振電極１４ａの中央部側に位置する内縁部（後述する内縁部２２Ｂ）と重なっている。第３低音速領域１８Ｃにおける第１励振電極１４ａの中央部側に位置する内縁部は、質量付加膜２０の後述する第３部分２３における第１励振電極１４ａの中央部側に位置する内縁部（後述する内縁部２３Ｂ）と重なっている。第４低音速領域１８Ｄにおける第１励振電極１４ａの中央部側に位置する内縁部は、質量付加膜２０の後述する第４部分２４における第１励振電極１４ａの中央部側に位置する内縁部（後述する内縁部２４Ｂ）と重なっている。

[0062]　平面視において、第１励振電極１４ａの後述する外縁部７１、及び、第２励振電極１４ｂの後述する外縁部８１は、両方とも、第１低音速領域１８Ａの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部８１は、外縁部７１よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。第１

励振電極１４ａの後述する外縁部７２、及び、第２励振電極１４ｂの後述する外縁部８２は、両方とも、第２低音速領域１８Ｂの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部８２は、外縁部７２よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。第１励振電極１４ａの後述する外縁部７３、及び、第２励振電極１４ｂの後述する外縁部８３は、両方とも、第３低音速領域１８Ｃの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部８３は、外縁部７３よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。第１励振電極１４ａの後述する外縁部７４、及び、第２励振電極１４ｂの後述する外縁部８４は、両方とも、第４低音速領域１８Ｄの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部８４は、外縁部７３よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。

[0063]　なお、低音速領域の形状は上記に限定されるものではない。第３低音速領域及び第４低音速領域が省略されてもよい。すなわち、高音速領域、第１低音速領域及び第２低音速領域は、Ｘ軸方向に沿って互いに平行に延在する帯状に設けられてもよい。また、第１低音速領域及び第２低音速領域が省略され、高音速領域、第３低音速領域及び第４低音速領域がＺ’軸方向に沿って互いに平行に延在する帯状に設けられてもよい。また、第１低音速領域のＸ軸正方向側の端部は第３低音速領域から離間していてもよく、第１低音速領域のＸ軸負方向側の端部は第４低音速領域から離間していてもよい。第２低音速領域のＸ軸正方向側の端部は第３低音速領域から離間していてもよく、第２低音速領域のＸ軸負方向側の端部は第４低音速領域から離間していてもよい。

[0064]　また、第１低音速領域、第２低音速領域、第３低音速領域及び第４低音速領域の位置関係は上記に限定されるものではない。第１低音速領域が高音速領域のＺ’軸正方向側に隣接し、第２低音速領域が高音速領域のＺ’軸負方向側に隣接してもよい。第３低音速領域が高音速領域のＸ軸負方向側に隣接し、第４低音速領域が高音速領域のＸ軸正方向側に隣接してもよい。第１低音速領域及び第２低音速領域のうち、一方が高音速領域のＸ軸負方向側に隣

接し、他方が高音速領域のＸ軸正方向側に隣接してもよい。第３低音速領域及び第４低音速領域のうち、一方が高音速領域のＺ’軸負方向側に隣接し、他方が高音速領域のＺ’軸正方向側に隣接してもよい。

[0065] 図５に示すように、平面視において、外側高音速領域１９は、質量付加膜２０の外縁部と第１励振電極１４ａの外縁部との間の領域において、第１励振電極１４ａの外縁部に沿って設けられている。外側高音速領域１９は、低音速領域１８を囲む枠状に設けられている。外側高音速領域１９は、第１外側高音速領域１９Ａ、第２外側高音速領域１９Ｂ、第３外側高音速領域１９Ｃ及び第４外側高音速領域１９Ｄを有している。

[0066] 第１外側高音速領域１９Ａは、第１低音速領域１８ＡのＺ’軸負方向側に隣接し、Ｘ軸方向に沿って延在している。第２外側高音速領域１９Ｂは、第２低音速領域１８ＢのＺ’軸正方向側に隣接し、Ｘ軸方向に沿って延在している。第３外側高音速領域１９Ｃは、第３低音速領域１８ＣのＸ軸正方向側に隣接し、Ｚ’軸方向に沿って延在している。第４外側高音速領域１９Ｄは、第４低音速領域１８ＤのＸ軸負方向側に隣接し、Ｚ’軸方向に沿って延在している。第１外側高音速領域１９ＡのＸ軸正方向側の端部は、第３外側高音速領域１９ＣのＺ’軸負方向側の端部に接続し、第１外側高音速領域１９ＡのＸ軸負方向側の端部は、第４外側高音速領域１９ＤのＺ’軸負方向側の端部に接続している。第２外側高音速領域１９ＢのＸ軸正方向側の端部は、第３外側高音速領域１９ＣのＺ’軸正方向側の端部に接続し、第２外側高音速領域１９ＢのＸ軸負方向側の端部は、第４外側高音速領域１９ＤのＺ’軸正方向側の端部に接続している。

[0067] 平面視において、第１外側高音速領域１９ＡのＸ軸正方向側の端部は、第３外側高音速領域１９ＣのＺ’軸負方向側の端部と重なっており、第１外側高音速領域１９ＡのＸ軸負方向側の端部は、第４外側高音速領域１９ＤのＺ’軸負方向側の端部と重なっている。第２外側高音速領域１９ＢのＸ軸正方向側の端部は、第３外側高音速領域１９ＣのＺ’軸正方向側の端部と重なっており、第２外側高音速領域１９ＢのＸ軸負方向側の端部は、第４外側高音

速領域１９ＤのＺ’軸正方向側の端部と重なっている。

[0068] なお、外側高音速領域の形状は上記に限定されるものではない。第３外側高音速領域及び第４外側高音速領域が省略されてもよい。すなわち、第１外側高音速領域及び第２外側高音速領域は、Ｘ軸方向に沿って互いに平行に延在する帯状に設けられてもよい。このとき、第１外側高音速領域及び第２外側高音速領域は、平面視において第１励振電極のＸ軸負方向側の端部からＸ軸正方向側の端部に亘って設けられてもよい。また、第１外側高音速領域及び第２外側高音速領域が省略され、第３外側高音速領域及び第４外側高音速領域がＺ’軸方向に沿って互いに平行に延在する帯状に設けられてもよい。このとき、第３外側高音速領域及び第４外側高音速領域は、平面視において第１励振電極のＺ’軸負方向側の端部からＺ’軸正方向側の端部に亘って設けられてもよい。また、第１外側高音速領域は、第３外側高音速領域から離間していてもよく、第４外側高音速領域から離間していてもよい。第２外側高音速領域は、第３外側高音速領域から離間していてもよく、第４外側高音速領域から離間していてもよい。

[0069] 高音速領域１７、低音速領域１８及び外側高音速領域１９には、水晶片１１、第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂが設けられている。低音速領域１８には、さらに質量付加膜２０が設けられている。質量付加膜２０は、高音速領域１７及び外側高音速領域１９を避けて設けられている。つまり、質量付加膜２０の平面形状は、低音速領域１８に重なる枠状である。

[0070] 第１励振電極１４ａは、外縁部７１，７２，７３，７４を有している。外縁部７１は、平面視したときの第１励振電極１４ａの四辺の縁部のうち、Ｚ’軸負方向側においてＸ軸に沿って延在する一辺の縁部である。外縁部７２はＺ’軸正方向側においてＸ軸に沿って延在する一辺の縁部であり、外縁部７３はＸ軸正方向側においてＺ’軸に沿って延在する一辺の縁部であり、外縁部７４はＸ軸負方向側においてＺ’軸に沿って延在する一辺の縁部である。

[0071] 第２励振電極１４ｂは、外縁部８１，８２，８３，８４を有している。外

縁部８１は、平面視したときの第１励振電極１４ａの四辺の縁部のうち、Ｚ’軸負方向側においてＸ軸に沿って延在する一辺の縁部である。外縁部８２はＺ’軸正方向側においてＸ軸に沿って延在する一辺の縁部であり、外縁部８３はＸ軸正方向側においてＺ’軸に沿って延在する一辺の縁部であり、外縁部８４はＸ軸負方向側においてＺ’軸に沿って延在する一辺の縁部である。

[0072] 質量付加膜２０は、第１部分２１、第２部分２２、第３部分２３及び第４部分２４を含んでいる。第１部分２１は、第１低音速領域１８Ａにおいて、第１励振電極１４ａの上に設けられている。第２部分２２は、第２低音速領域１８Ｂにおいて、第１励振電極１４ａの上に設けられている。第３部分２３は、第３低音速領域１８Ｃにおいて、第１励振電極１４ａの上に設けられている。第４部分２４は、第４低音速領域１８Ｄにおいて、第１励振電極１４ａの上に設けられている。

[0073] 第１部分２１は、高音速領域１７を避けて、高音速領域１７のＺ’軸負方向側に位置する第１励振電極１４ａの外縁部７１に沿って設けられている。第２部分２２は、高音速領域１７を避けて、高音速領域１７のＺ’軸正方向側に位置する第１励振電極１４ａの外縁部７２に沿って設けられている。第３部分２３は、高音速領域１７を避けて、高音速領域１７のＸ軸正方向側に位置する第１励振電極１４ａの外縁部７３に沿って設けられている。第４部分２４は、高音速領域１７を避けて、高音速領域１７のＸ軸負方向側に位置する第１励振電極１４ａの外縁部７４に沿って設けられている。平面視において、第１部分２１は外縁部７１から離間し、第２部分２２は外縁部７２から離間し、第３部分２３は外縁部７３から離間し、第４部分２４は外縁部７４から離間している。

[0074] 第１部分２１は、外側高音速領域１９の側に位置する外縁部２１Ａと、高音速領域１７の側に位置する内縁部２１Ｂとを有している。第２部分２２は、外側高音速領域１９の側に位置する外縁部２２Ａと、高音速領域１７の側に位置する内縁部２２Ｂとを有している。第３部分２３は、外側高音速領域

１９の側に位置する外縁部２３Ａと、高音速領域１７の側に位置する内縁部２３Ｂとを有している。第４部分２４は、外側高音速領域１９の側に位置する外縁部２４Ａと、高音速領域１７の側に位置する内縁部２４Ｂとを有している。

[0075] 外縁部２１Ａ，２２Ａ，２３Ａ，２４Ａは、低音速領域１８と外側高音速領域１９との境界に位置する。内縁部２１Ｂ，２２Ｂ，２３Ｂ，２４Ｂは、高音速領域１７と低音速領域１８との境界に位置する。外縁部２１ＡのＸ軸正方向側の端部は、外縁部２３ＡのＺ’軸負方向側の端部に接続し、外縁部２１ＡのＸ軸負方向側の端部は、外縁部２４ＡのＺ’軸負方向側の端部に接続している。外縁部２２ＡのＸ軸正方向側の端部は、外縁部２３ＡのＺ’軸正方向側の端部に接続し、外縁部２２ＡのＸ軸負方向側の端部は、外縁部２４ＡのＺ’軸正方向側の端部に接続している。内縁部２１ＢのＸ軸正方向側の端部は、内縁部２３ＢのＺ’軸負方向側の端部に接続し、内縁部２１ＢのＸ軸負方向側の端部は、内縁部２４ＢのＺ’軸負方向側の端部に接続している。内縁部２２ＢのＸ軸正方向側の端部は、内縁部２３ＢのＺ’軸正方向側の端部に接続し、内縁部２２ＢのＸ軸負方向側の端部は、内縁部２４ＢのＺ’軸正方向側の端部に接続している。

[0076] 図５に示すように、平面視において、第１励振電極１４ａの外縁部７１，７２は、第２励振電極１４ｂに重なっている。第１励振電極１４ａの外縁部７１，７２は、第２励振電極１４ｂの外縁部８１と外縁部８２との間に位置している。第１励振電極１４ａの外縁部７１は、第２励振電極１４ｂの外縁部８１と、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａとの間に位置している。第１励振電極１４ａの外縁部７２は、第２励振電極１４ｂの外縁部８２と、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａとの間に位置している。同様に、第１励振電極１４ａの外縁部７３，７４は、第２励振電極１４ｂに重なっている。第１励振電極１４ａの外縁部７３，７４は、第２励振電極１４ｂの外縁部８３と外縁部８４との間に位置している。第１励振電極１４ａの外縁部７３は、第２励振電極１４ｂの外縁部８３と、質量付加膜２０の

第３部分２３の外縁部２３Ａとの間に位置している。第１励振電極１４ａの外縁部７４は、第２励振電極１４ｂの外縁部８４と、質量付加膜２０の第４部分２４の外縁部２４Ａとの間に位置している。

[0077] 図４に示すように、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと第２部分２２の外縁部２２Ａとの間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＡとする。質量付加膜２０の第１部分２１の内縁部２１Ｂと第２部分２２の内縁部２２Ｂとの間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＡ’とする。第１励振電極１４ａの外縁部７１と外縁部７２との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＢとする。質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと第１励振電極１４ａの外縁部７１との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＢ１とする。質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａと第１励振電極１４ａの外縁部７２との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＢ２とする。第２励振電極１４ｂの外縁部８１と外縁部８２との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＣとする。第１励振電極１４ａの外縁部７１と第２励振電極１４ｂの外縁部８１との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＣ１とする。第１励振電極１４ａの外縁部７２と第２励振電極１４ｂの外縁部８２との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＣ２とする。質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと内縁部２１Ｂとの間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＤ１とし、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａと内縁部２２Ｂとの間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＤ２とする。第１低音速領域１８Ａにおける第２低音速領域１８Ｂとは反対側の外縁部と、第２低音速領域１８Ｂにおける第１低音速領域１８Ａとは反対側の外縁部との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＥとする。高音速領域１７における第１低音速領域１８Ａ側の外縁部と第２低音速領域１８Ｂ側の外縁部との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＥ’とする。言い換えると、長さＥ’は、第１低音速領域１８Ａの第２低音速領域１８Ｂ側の内縁部と、第２低音速領域１８Ｂの第１低音速領域１８Ａ側の内縁部との間のＺ’軸方向に沿った距離である。第１低音速領域１８Ａにおける、第２低音速領域１８Ｂとは反対側の外縁部と、第２低音速領域１８Ｂ側の外縁部との間のＺ’

軸方向に沿った距離を長さＥ１とする。第２低音速領域１８Ｂにおける、第１低音速領域１８Ａとは反対側の外縁部と、第１低音速領域１８Ａ側の外縁部との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＥ２とする。

[0078] 長さＡは、質量付加膜２０のＺ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＡ’は、高音速領域１７のＺ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＢは、第１励振電極１４ａのＺ’軸方向に沿った寸法に相当し、高音速領域１７、第１低音速領域１８Ａ、第２低音速領域１８Ｂ、第１外側高音速領域１９Ａ及び第２外側高音速領域１９ＢのＺ’軸方向に沿った寸法の総和に相当する。長さＢ１は、第１外側高音速領域１９ＡのＺ’軸方向に沿った寸法に相当し、長さＢ２は、第２外側高音速領域１９ＢのＺ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＣは、第２励振電極１４ｂのＺ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＣ１は、平面視において第２励振電極１４ｂにおける第１励振電極１４ａからＺ’軸負方向側に延出した部分の、Ｚ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＣ２は、平面視において第２励振電極１４ｂにおける第１励振電極１４ａからＺ’軸正方向側に延出した部分の、Ｚ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＤ１は、質量付加膜２０の第１部分２１のＺ’軸方向に沿った寸法に相当し、長さＤ２は、質量付加膜２０の第２部分２２のＺ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＥは、高音速領域１７及び低音速領域１８のＺ’軸方向に沿った寸法の和に相当する。長さＥ’は、高音速領域１７のＺ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＥ１は、第１低音速領域１８ＡのＺ’軸方向に沿った寸法に相当する。長さＥ２は、第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った寸法に相当する。

[0079] 図５に示すように、質量付加膜２０の外縁部２１Ａ，２２Ａが平面視においてＸ軸方向に対して平行な場合、長さＡは、外縁部２１Ａと外縁部２２Ａとの間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定される。質量付加膜２０の内縁部２１Ｂ，２２Ｂが平面視においてＸ軸方向に対して平行な場合、長さＡ’は、内縁部２１Ｂと内縁部２２Ｂとの間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定される。

[0080] 図５に示すように、第１励振電極１４ａの外縁部７１，７２が平面視においてＸ軸方向に対して平行な場合、長さＢは、外縁部７１と外縁部７２との間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定される。質量付加膜２０の外縁部２１Ａ，２２Ａ及び第１励振電極１４ａの外縁部７１，７２が平面視においてＸ軸方向に対して平行な場合、長さＢ１は、外縁部２１Ａと外縁部７１との間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定され、長さＢ２は、外縁部２２Ａと外縁部７２との間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定される。

[0081] 図５に示すように、第２励振電極１４ｂの外縁部８１，８２が平面視においてＸ軸方向に対して平行な場合、長さＣは、外縁部８１と外縁部８２との間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定される。第１励振電極１４ａの外縁部７１，７２及び第２励振電極１４ｂの外縁部８１，８２が平面視においてＸ軸方向に対して平行な場合、長さＣ１は、外縁部７１と外縁部８１との間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定され、長さＣ２は、外縁部７２と外縁部８２との間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定される。

[0082] 図５に示すように、質量付加膜２０の外縁部２１Ａ，２２Ａ及び内縁部２１Ｂ，２２Ｂが平面視においてＸ軸方向に対して平行な場合、長さＤ１は、外縁部２１Ａと内縁部２１Ｂとの間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定され、長さＤ２は、外縁部２２Ａと内縁部２２Ｂとの間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定される。

[0083] 図５に示すように、質量付加膜２０の外縁部２１Ａ，２２Ａ及び内縁部２１Ｂ，２２Ｂが平面視においてＸ軸方向に対して平行な場合、長さＥは、外縁部２１Ａと外縁部２２Ａとの間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定される。また、長さＥ’は、内縁部２１Ｂと内縁部２２Ｂとの間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定され、長さＥ１は、外縁部２１Ａと内縁部２１Ｂとの間のＺ’軸方向における距離を測定することによって特定され、長さＥ２は、外縁部２２Ａと内縁部２２Ｂとの間の

Ｚ’軸方向における距離を測定することによって特定される。

[0084] 但し、質量付加膜２０の平面形状が多角形状、円形状、楕円形状又はこれらの組み合わせである場合など、質量付加膜２０の外縁部２１Ａ，２２Ａが平面視において平行ではない場合、長さＡは、上記以外の方法によって特定される。例えば、長さＡは、外縁部２１Ａと外縁部２２Ａとの間の距離の最大値として特定されてもよい。長さＡは、外縁部２１Ａと外縁部２２Ａとの間の距離の平均値又は最小値として特定されてもよい。また、長さＡは、質量付加膜２０の外縁部２１Ａ，２２Ａ，２３Ａ，２４Ａによって囲まれた領域の面積を、外縁部２３Ａと外縁部２４Ａとの間のＸ軸方向における距離で除算することによって特定してもよい。また、長さＡは、平面視において質量付加膜２０の内縁部２３Ｂ又は内縁部２３Ｂに接してＺ’軸方向に延在する接線上における、外縁部２１Ａと外縁部２２Ａとの間の距離を測定することによって特定されてもよい。長さＡ’，Ｂ，Ｂ１，Ｂ２，Ｃ，Ｃ１，Ｃ２，Ｄ１，Ｄ２，Ｅ，Ｅ’，Ｅ１，Ｅ２についても、長さＡと同様に特定してもよい。

[0085] 本実施形態においては、長さＥと長さＡとは略等しく（Ｅ＝Ａ）、長さＥ’と長さＡ’とは略等しい（Ｅ’＝Ａ’）。長さＥ１と長さＤ１とは略等しく（Ｅ１＝Ｄ１）、長さＥ２と長さＤ２とは略等しい（Ｅ２＝Ｄ２）。長さＥ１と長さＥ２とは略等しい（Ｅ１＝Ｅ２）。具体的には、Ｅ１＝Ｅ２＝（１±０．０４）×（Ｅ－Ｅ’）／２の関係が成り立つ。長さＥ１及び長さＥ２は、長さＡ’よりも大きい（Ａ’＜Ｅ１、及び、Ａ’＜Ｅ２）。但し、長さＥ１及び長さＥ２は、長さＡ’と略等しくてもよく、長さＡ’よりも小さくてもよい。

[0086] 本実施形態においては、長さＡは長さＢよりも小さく、長さＢは長さＣよりも小さい（Ａ＜Ｂ＜Ｃ）。長さＢ１と長さＢ２とは略等しい（Ｂ１＝Ｂ２）。具体的には、Ｂ１＝Ｂ２＝（１±０．１０）×（Ｂ－Ａ）／２の関係が成り立つ。長さＣ１と長さＣ２とは略等しい（Ｃ１＝Ｃ２）。具体的には、Ｃ１＝Ｃ２＝（１±０．１０）×（Ｃ－Ｂ）／２の関係が成り立つ。一例と

して、長さＣ１は長さＢ１より大きく（Ｂ１＜Ｃ１）、長さＣ２は長さＢ２より大きい（Ｂ２＜Ｃ２）。長さＤ１と長さＤ２とは略等しい（Ｄ１＝Ｄ２）。具体的には、Ｄ１＝Ｄ２＝（１±０．０４）×（Ａ－Ａ’）／２の関係が成り立つ。一例として、長さＤ１は長さＡ’以上の大きさであり（Ａ’≦Ｄ１）、長さＤ２は長さＡ’以上の大きさである（Ａ’≦Ｄ２）。長さＢに対する長さＡ’の割合Ａ’／Ｂは、例えば０．０２以上である（０．０２≦Ａ’／Ｂ）。望ましくは、０．０５≦Ａ’／Ｂ≦０．５の関係が成り立つ。さらに望ましくは、０．２０≦Ａ’／Ｂ≦０．４７の関係が成り立つ。

[0087]　なお、Ａ＜Ｂ＜Ｃの関係が成り立つのであれば、長さＡ，Ａ’，Ｂ，Ｂ１，Ｂ２，Ｃ，Ｃ１，Ｃ２，Ｄ１，Ｄ２の大小関係は上記に限定されるものではない。例えば、Ｂ１＜Ｂ２又はＢ２＜Ｂ１の関係が成り立ってもよく、Ｃ１＜Ｃ２又はＣ２＜Ｃ１の関係が成り立ってもよい。Ｃ１≦Ｂ１の関係が成り立ってもよく、Ｃ２≦Ｂ２の関係が成り立ってもよい。Ｄ１＜Ｄ２又はＤ２＜Ｄ１の関係が成り立ってもよい。Ｄ１＜Ａ’の関係が成り立ってもよく、Ｄ２＜Ａ’の関係が成り立ってもよい。

[0088]　図４に示すように、水晶片１１の厚さをＴｐとし、第１励振電極１４ａの厚さをＴｅ１とし、第２励振電極１４ｂの厚さをＴｅ２とし、質量付加膜２０の厚さをＴｆとする。第１励振電極１４ａと質量付加膜２０との材質が同一で境界が不明確である場合、質量付加膜２０の厚さＴｆは、高音速領域１７における第１励振電極１４ａの表面と、低音速領域１８における質量付加膜２０の表面との間のＹ’軸方向に沿った距離として特定してもよい。また、質量付加膜２０の厚さＴｆは、質量付加膜２０の外縁部２１Ａ，２２Ａ，２３Ａ，２４Ａにおける段差の高さとして特定されてもよく、質量付加膜２０の内縁部２１Ｂ，２２Ｂ，２３Ｂ，２４Ｂにおける段差の高さとして特定されてもよい。但し、外縁部２１Ａ，２２Ａ，２３Ａ，２４Ａにおける段差の高さと内縁部２１Ｂ，２２Ｂ，２３Ｂ，２４Ｂにおける段差の高さとが異なる場合には、質量付加膜２０の厚さＴｆは、内縁部２１Ｂ，２２Ｂ，２３Ｂ，２４Ｂにおける段差の高さとして特定される。

[0089] 厚さＴｐは、高音速領域１７、低音速領域１８及び外側高音速領域１９に亘って略一定である。同様に、厚さＴｅ１，Ｔｅ２は、高音速領域１７、低音速領域１８及び外側高音速領域１９に亘って略一定である。厚さＴｆは、低音速領域１８の全域に亘って略一定である。つまり、第１部分２１、第２部分２２、第３部分２３及び第４部分２４の厚さは略等しい。厚さＴｅ１と厚さＴｅ２とは略等しく（Ｔｅ１＝Ｔｅ２）、厚さＴｆは厚さＴｅ１よりも小さい（Ｔｆ＜Ｔｅ１）。例えば、厚さＴｅ１，Ｔｅ２は０．０５μｍ程度であり、厚さＴｆは０．０２μｍ程度である。

[0090] なお、厚さの大小関係は上記に限定されるものではない。例えば、厚さＴｆは厚さＴｅ１と同様以上の大きさであってもよい（Ｔｅ１≦Ｔｆ）。厚さＴｅ１は厚さＴｅ２よりも小さくてもよく（Ｔｅ１＜Ｔｅ２）、厚さＴｅ１は厚さＴｅ２よりも大きくてもよい（Ｔｅ２＜Ｔｅ１）。

[0091] 図５に示すように、水晶片１１のＸ軸方向に沿った寸法を長さＰｘとし、水晶片１１のＺ’軸方向に沿った寸法を長さＰｚとする。第１励振電極１４ａのＸ軸方向に沿った寸法を長さＸｅ１とし、第１励振電極１４ａのＺ’軸方向に沿った寸法を長さＺｅ１とする。第２励振電極１４ｂのＸ軸方向に沿った寸法を長さＸｅ２とし、第２励振電極１４ｂのＺ’軸方向に沿った寸法を長さＺｅ２とする。質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと第１励振電極１４ａ外縁部７１との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＷｇｚとする。質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａと第１励振電極１４ａ外縁部７２との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＷｇｚとする。質量付加膜２０の第１部分２１の内縁部２１Ｂと第１励振電極１４ａの外縁部７１との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＷｚとする。質量付加膜２０の第２部分２２の内縁部２２Ｂと第１励振電極１４ａの外縁部７２との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＷｚとする。質量付加膜２０の第３部分２３の外縁部２３Ａと第１励振電極１４ａ外縁部７３との間のＸ軸方向に沿った距離を長さＷｇｘとする。質量付加膜２０の第４部分２４の外縁部２４Ａと第１励振電極１４ａ外縁部７４との間のＸ軸方向に沿った距離を長さＷｇｘとする。

質量付加膜２０の第３部分２３の内縁部２３Ｂと第１励振電極１４ａの外縁部７３との間のＸ軸方向に沿った距離を長さＷｘとする。質量付加膜２０の第４部分２４の内縁部２４Ｂと第１励振電極１４ａの外縁部７４との間のＸ軸方向に沿った距離を長さＷｘとする。質量付加膜２０の第１部分２１と第２部分２２との間のＺ’軸方向に沿った距離を長さＺｆとし、質量付加膜２０の第３部分２３と第４部分２４との間のＸ軸方向に沿った距離を長さＸｆとする。

[0092]　長さＺｅ２は長さＣに相当する（Ｚｅ２＝Ｃ）。長さＺｅ１は長さＢに相当する（Ｚｅ１＝Ｂ）。長さＷｇｚは長さＢ１，Ｂ２に相当する（Ｗｇｚ＝Ｂ１＝Ｂ２）。長さＷｚは、長さＢ１と長さＤ１との和、及び、長さＢ２と長さＤ２との和に相当する（Ｗｚ＝Ｂ１＋Ｄ１＝Ｂ２＋Ｄ２）。長さＺｆは長さＡ’に相当する（Ｚｆ＝Ａ’）。質量付加膜２０のＺ’軸方向に沿った寸法は、２×Ｗｚ＋Ｚｆ－２×Ｗｇｚと表すことができ、第２励振電極１４ｂのＺ’軸方向に沿った寸法Ｚｅ２以下の大きさである（２×Ｗｚ＋Ｚｆ－２×Ｗｇｚ≦Ｚｅ２）。また、質量付加膜２０のＸ軸方向に沿った寸法は、２×Ｗｘ＋Ｘｆ－２×Ｗｇｘと表すことができ、第２励振電極１４ｂのＸ軸方向に沿った寸法Ｘｅ２以下の大きさである（２×Ｗｘ＋Ｘｆ－２×Ｗｇｘ≦Ｘｅ２）。長さＷｇｚは、例えば、長さＷｇｘと略等しい大きさである（Ｗｇｚ＝Ｗｇｘ）。但し、長さＷｇｚは長さＷｇｘよりも小さくてもよく（Ｗｇｚ＜Ｗｇｘ）、長さＷｇｚは長さＷｇｘよりも大きくてもよい（Ｗｇｘ＜Ｗｇｚ）。

[0093]　次に、図６乃至図１６を参照しつつ、第１実施形態に基づく実施例のシミュレーション結果について説明する。図６は、第１実施形態に基づくシミュレーションの条件を示す表である。図７乃至図１６は、第１実施形態に基づくシミュレーション結果を示すグラフである。

[0094]（第１実施例）

Ｔｐ＝１．５２μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０８μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１２０μｍ

Ｘｆ＝Ｚｆ＝２０μｍ

Ｗｘ＝４０μｍ

Ｗｚ＝３０μｍ

Ｗｇｘ：変数

Ｗｇｚ：変数

Ｘｅ１＝１００μｍ

Ｚｅ１＝８０μｍ

Ｘｅ２＝１０４μｍ

Ｚｅ２＝８４μｍ

（第１’実施例）

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝２μｍ

Ｘｅ２：変数

Ｚｅ２：変数

上記以外は第１実施例と同じである。

[0095] （第２実施例）

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝１２μｍ

Ｚｆ＝２８μｍ

Ｗｘ＝２４μｍ

Ｗｚ＝１６μｍ

Ｗｇｘ：変数

Ｗｇｚ：変数

Ｘｅ１＝Ｚｅ１＝６０μｍ

Ｘｅ２＝Ｚｅ２＝６４μｍ

（第２’実施例）

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝２μｍ

Ｘｅ２：変数

Ｚｅ２：変数

上記以外は第２実施例と同じである。

[0096] （第３実施例）

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝１９μｍ

Ｚｆ＝３０μｍ

Ｗｘ＝２８μｍ

Ｗｚ＝２０μｍ

Ｗｇｘ：変数

Ｗｇｚ：変数

Ｘｅ１＝７５μｍ

Ｚｅ１＝７０μｍ

Ｘｅ２＝７９μｍ

Ｚｅ２＝７４μｍ

（第３’実施例）

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝２μｍ

Ｘｅ２：変数

Ｚｅ２：変数

上記以外は第３実施例と同じである。

[0097] 図７は、第１実施例に基づくシミュレーション結果を示している。縦軸はメインモードであるＳ０モードの電気機械結合係数ｋ（以下、「ｋ＿Ｓ０」

ともいう。）を示し、横軸はＷｇｘ＝Ｗｇｚを示している。グラフ中には、第１実施例（Ｗｘ＝４０μｍ、Ｗｚ＝３０μｍ）におけるｋ＿Ｓ０のシミュレーション結果、第１実施例を基にＷｘ＝３０μｍ、Ｗｚ＝２５μｍに変更した構成におけるｋ＿Ｓ０のシミュレーション結果、及び、第１実施例を基にＷｘ＝２５μｍ、Ｗｚ＝２０μｍに変更した構成におけるｋ＿Ｓ０のシミュレーション結果、をプロットしている。Ｔｆ＝０、すなわち質量付加膜２０を設けていない構成の場合、ｋ＿Ｓ０は６．８％程度である。なお、次式Ｘｆ＝Ｘｅ１－Ｗｘ×２、Ｚｆ＝Ｚｅ１－Ｗｚ×２によってＸｆ及びＺｆは決定されるため、Ｗｘ及びＷｚと連動してＸｆ及びＺｆは変化している。

[0098]　第１実施例において、Ｂ’＝Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ≦８μｍのとき、ｋ＿Ｓ０は、Ｔｆ＝０の場合の６．８％よりも向上している。第１実施例の構成から、Ｗｘ及びＷｚを変更しても、同様の傾向が得られる。少なくとも、Ｘｅ１に対するＷｘの割合が２５％以上４０％以下であって、且つ、Ｚｅ１に対するＷｚの割合が２５％以上３７．５％以下である場合、Ｗｘ及びＷｚの大きさに依らず、Ｂ’＝Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＜８μｍのとき６．８％＜ｋ＿Ｓ０となり、Ｂ’＝Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ≦７μｍのとき６．８％＜ｋ＿Ｓ０となる。

[0099]　なお、質量付加膜の平面形状が周方向に連続した矩形の枠状である場合、Ｗｘ及びＷｚの大きさに依らずＢ’＝Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＜８μｍのとき６．８％＜ｋ＿Ｓ０となる条件は、第１励振電極の面積に対する質量付加膜の面積比率で表すとすると、当該面積比率が７５％以上９５％以下となることである。また、質量付加膜の平面形状がＸ軸方向に並行する２本の帯状である場合、Ｗｚの大きさに依らずＢ’＝Ｗｇｚ＜８μｍのとき６．８％＜ｋ＿Ｓ０となる条件は、当該面積比率が５０％以上８０％以下となることである。同様に、質量付加膜の平面形状がＺ’軸方向に並行する２本の帯状である場合、Ｗｘの大きさに依らずＢ’＝Ｗｇｘ＜８μｍのとき６．８％＜ｋ＿Ｓ０となる条件は、当該面積比率が５０％以上８０％以下となることである。

[0100]　図８は、第１実施例に基づくシミュレーション結果を示している。図９は、第２実施例に基づくシミュレーション結果を示している。図８及び図９に

おいて、縦軸はスプリアスモードであるＡ０モードの電気機械結合係数ｋ（以下、「ｋ＿Ａ０」ともいう。）を示し、横軸はＷｇｘ＝Ｗｇｚを示している。図８及び図９のグラフ中には、質量付加膜２０及び第２励振電極１４ｂの位置ずれが生じていない構成におけるｋ＿Ａ０Ｚのシミュレーション結果、及び、位置ずれが生じている構成におけるｋ＿Ａ０Ｚのシミュレーション結果、をプロットしている。位置ずれが生じている構成におけるｋ＿Ａ０Ｚのシミュレーション結果は、質量付加膜２０がＸ軸正方向及びＺ’軸正方向に０．５μｍずつ位置ずれし、第２励振電極１４ｂがＸ軸負方向及びＺ’軸負方向に０．５μｍずつ位置ずれした想定でシミュレーションを行っている。

[0101] 図８及び図９のどちらにおいても、２μｍ≦Ｂ’＝Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ≦１０μｍの範囲において、位置ずれありの構成におけるｋ＿Ａ０Ｚは、位置ずれなしの構成におけるｋ＿Ａ０Ｚと略等しくなる。つまり、２μｍ≦Ｂ’＝Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ≦１０μｍの範囲において、第１励振電極１４ａ、第２励振電極１４ｂ及び質量付加膜２０の寸法及び位置ずれに依らず、ｋ＿Ａ０Ｚの増大は抑制される。

[0102] 図１０は、第１実施例に基づくシミュレーション結果を示している。縦軸はＱ値を示し、横軸はＷｇｘ＝Ｗｇｚを示している。グラフ中には、質量付加膜２０及び第２励振電極１４ｂの位置ずれなしの構成におけるＱ値のシミュレーション結果、及び、位置ずれありの構成におけるＱ値のシミュレーション結果、をプロットしている。図１０における位置ずれありの構成における位置ずれの方向及び量は、図８及び図９における位置ずれありの構成における位置ずれの方向及び量と同じである。

[0103] 位置ずれなしの構成において、Ｑ値は、０＜Ｂ’＝Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ≦１０μｍの範囲において略変化しない。また、位置ずれありの構成におけるＱ値は、位置ずれなしの構成におけるＱ値と略等しい。つまり、Ｑ値は、Ｂ’＝Ｗｇｘ＝Ｗｇｚの大きさ及び位置ずれの有無に依らず、略一定である。

[0104] 図１１は、第１’実施例に基づくシミュレーション結果を示している。縦

軸はｋ＿＿Ｓ０を示し、横軸はｘ＝Ｃ－Ｂ＝Ｚｅ２－Ｚｅ１を示している。グラフ中には、質量付加膜２０及び第２励振電極１４ｂの位置ずれが生じていない構成におけるｋ＿＿Ｓ０のシミュレーション結果、及び、位置ずれが生じている構成におけるｋ＿＿Ｓ０のシミュレーション結果、をプロットしている。図１１における位置ずれありの構成における位置ずれの方向及び量は、図８及び図９における位置ずれありの構成における位置ずれの方向及び量と同じである。

[0105] 位置ずれなしの構成において、ｋ＿＿Ｓ０は、０＜ｘ≦１０μｍの範囲において略変化しない。また、０＜ｘ≦１０μｍの範囲において、位置ずれありの構成におけるｋ＿＿Ｓ０は、位置ずれなしの構成におけるｋ＿＿Ｓ０と略等しい。つまり、ｋ＿＿Ｓ０は、ｘの大きさ及び位置ずれの有無に依らず、略一定である。

[0106] 図１２は第１’実施例に基づくシミュレーション結果を示し、図１３は第２’実施例に基づくシミュレーション結果を示し、図１４は第３’実施例に基づくシミュレーション結果を示している。図１２乃至図１４において、縦軸はｋ＿＿Ａ０を示し、横軸はｘ＝Ｃ－Ｂ＝Ｚｅ２－Ｚｅ１を示している。図１２乃至図１４のグラフ中には、質量付加膜２０及び第２励振電極１４ｂの位置ずれが生じていない構成におけるｋ＿＿Ａ０Ｘ，ｋ＿＿Ａ０Ｚのシミュレーション結果、及び、位置ずれが生じている構成におけるｋ＿＿Ａ０Ｘ，ｋ＿＿Ａ０Ｚのシミュレーション結果、をプロットしている。図１２乃至図１４における位置ずれありの構成における位置ずれの方向及び量は、図８及び図９における位置ずれありの構成における位置ずれの方向及び量と同じである。

[0107] 図１２において、ｋ＿＿Ａ０Ｘ，ｋ＿＿Ａ０Ｚのいずれも、３μｍ≦ｘ≦１０μｍの範囲において、充分に低減され、略一定となっている。つまり、３μｍ≦ｘ≦１０μｍの範囲において、Ａ０モードの励振抑制効果は安定している。また、３μｍ≦ｘ≦１０μｍの範囲において、位置ずれありの構成におけるｋ＿＿Ａ０Ｘ，ｋ＿＿Ａ０Ｚは、位置ずれなしの構成におけるｋ＿＿Ａ０Ｘ，ｋ＿＿Ａ０Ｚと略等しい。つまり、３μｍ≦ｘ≦１０μｍの範囲において、ｋ

＿Ａ０Ｘ，ｋ＿Ａ０Ｚは、ｘの大きさ及び位置ずれの有無に依らず、略一定である。図１３及び図１４においても、ｋ＿Ａ０Ｘ，ｋ＿Ａ０Ｚは同様の傾向を示す。つまり、第１励振電極１４ａ、第２励振電極１４ｂ及び質量付加膜２０の寸法及び位置ずれに依らず、ｋ＿Ａ０の増大は抑制される。

[0108] 図１５及び図１６は第１’実施例に基づくシミュレーション結果を示している。図１５及び図１６において、縦軸はＱ値を示し、横軸はｘ＝Ｃ－Ｂ＝Ｚｅ２－Ｚｅ１を示している。図１５のグラフ中には、質量付加膜２０及び第２励振電極１４ｂの位置ずれなしの構成におけるＱ値のシミュレーション結果、及び、位置ずれありの構成におけるＱ値のシミュレーション結果、をプロットしている。図１５における位置ずれありの構成における位置ずれの方向及び量は、図８及び図９における位置ずれありの構成における位置ずれの方向及び量と同じである。図１６のグラフ中には、第１実施例（Ｗｘ＝４０μｍ、Ｗｚ＝３０μｍ）におけるＱ値のシミュレーション結果、第１実施例を基にＷｘ＝３０μｍ、Ｗｚ＝２５μｍに変更した構成におけるＱ値のシミュレーション結果、及び、第１実施例を基にＷｘ＝４５μｍ、Ｗｚ＝３０μｍに変更した構成におけるＱ値のシミュレーション結果、をプロットしている。

[0109] 図１５に示すように、位置ずれなしの構成におけるＱ値は、０＜ｘ≦８μｍの範囲において、ｘ＝０μｍの場合のＱ値の８０％以上の大きさである。位置ずれありの構成におけるＱ値は、位置ずれなしの構成におけるＱ値と同様の傾向を示し、位置ずれなしの構成におけるＱ値と略等しい。つまり、０＜ｘ≦８μｍの範囲においては、位置ずれの有無に依らず、Ｑ値の低下が抑制される。

[0110] 図１６に示すように、第１実施例を基にＷｘ及びＷｚを変更した場合であっても、Ｑ値は同様の傾向を示す。つまり、０＜ｘ≦８μｍの範囲においては、第１励振電極１４ａ、第２励振電極１４ｂ及び質量付加膜２０の寸法に依らず、Ｑ値の低下が抑制される。

[0111] 次に、図１７及び図１８を参照しつつ、位置ずれの影響について説明する

。図１７は、第１実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。図１８は、第１実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。図１７は、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における、水晶振動素子１０の断面図である。図１８は、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合における、水晶振動素子１０の断面図である。

[0112]　図１７に示すように、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における第１外側高音速領域１９ＡのＺ’軸方向に沿った長さをＢ１ｄ１としたとき、長さＢ１ｄ１は、ずれ量ｄｚの分だけ長さＢ１よりも大きくなる。つまり、Ｂ１ｄ１＝Ｂ１＋ｄｚと表される。質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における第２外側高音速領域１９ＢのＺ’軸方向に沿った長さをＢ２ｄ１としたとき、長さＢ２ｄ１は、ずれ量ｄｚの分だけ長さＢ２よりも小さくなる。つまり、Ｂ２ｄ１＝Ｂ２－ｄｚと表される。

[0113]　図１７に示すように、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における第１低音速領域１８ＡのＺ’軸方向に沿った長さをＥ１ｄ１としたとき、長さＥ１ｄ１は、長さＥ１から変化しない。つまり、Ｅ１ｄ１＝Ｅ１＝Ｄ１と表される。質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さをＥ２ｄ１としたとき、長さＥ２ｄ１は、長さＥ２から変化しない。つまり、Ｅ２ｄ１＝Ｅ２＝Ｄ２と表される。このため、本実施形態においては質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合であっても、第１低音速領域１８Ａと第２低音速領域１８ＢとのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化せず、Ｅ１ｄ１＝Ｅ２ｄ１の関係が成り立つ。したがって、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれたとしても、ｋ＿Ａ０の増大は抑制され、ｋ＿Ｓ０の減少は抑制される。

[0114]　なお、Ｂ２＜ｄｚの場合、質量付加膜２０の第２部分２２は、平面視において第１励振電極１４ａからＺ’軸正方向側に延出する。このため、質量付加膜２０の第２部分２２が第１励振電極１４ａに重ならない部分が出てきてしまい、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化する。第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域

１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスを保つためには、ｄｚ≦Ｂ’＝Ｂ１＝Ｂ２の関係を満たすことが望ましい。同一面における位置ずれは例えば最大０．３μｍ程度なので、０．５μｍ≦Ｂ’であることが望ましく、さらに望ましくは１μｍ≦Ｂ’であり、さらに望ましくは２μｍ≦Ｂ’である。

[0115] 図１８に示すように、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合における第１低音速領域１８ＡのＺ’軸方向に沿った長さをＥ１ｄ２としたとき、長さＥ１ｄ２は、長さＥ１から変化しない。つまり、Ｅ１ｄ２＝Ｅ１＝Ｄ１と表される。第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合における第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さをＥ２ｄ２としたとき、長さＥ２ｄ２は、長さＥ２から変化しない。つまり、Ｅ２ｄ２＝Ｅ２＝Ｄ２と表される。このため、本実施形態においては、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合であっても、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化せず、Ｅ１ｄ２＝Ｅ２ｄ２の関係が成り立つ。したがって、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれたとしても、ｋ＿Ａ０の増大は抑制され、ｋ＿Ｓ０の減少は抑制される。

[0116] なお、Ｃ２＜ｄｚの場合、第２励振電極１４ｂは、平面視において第１励振電極１４ａからＺ’軸正方向側に延出する。このため、第１励振電極１４ａには、第２励振電極１４ｂと重ならない部分が出てきてしまい、第１外側高音速領域１９Ａ及び第２外側高音速領域１９ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化する。第１外側高音速領域１９Ａ及び第２外側高音速領域１９ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスを保つためには、ｄｚ≦Ｃ’＝Ｃ１＝Ｃ２の関係を満たすことが望ましい。異なる面における位置ずれは例えば最大０．７μｍ程度なので、１μｍ≦Ｃ’であることが望ましく、さらに望ましくは２μｍ≦Ｃ’であり、さらに望ましくは４μｍ≦Ｃ’である。

[0117] 以上説明した通り、本実施形態によれば、第１励振電極１４ａの上に質量付加膜２０が設けられている。質量付加膜２０は第１励振電極１４ａの外縁

部に沿って設けられ、質量付加膜２０のＺ’軸方向に沿った寸法をＡ、第２励振電極１４ｂのＺ’軸方向に沿った寸法をＣとしたとき、Ａ≦Ｃの関係が成り立つ。また、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ及び第２部分２２の外縁部２２Ａは、第２励振電極１４ｂに重なっている。

[0118]　これによれば、質量付加膜２０及び第２励振電極１４ｂの位置がずれた場合であっても、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８Ｂの寸法のバランスの悪化を抑制することができる。したがって、スプリアスモードの電気機械結合係数ｋ＿Ａ０の増大を抑制し、メインモードの電気機械結合係数ｋ＿Ｓ０の減少を抑制することができる。

[0119]　また、本実施形態において、質量付加膜２０の第１部分２１のＺ’軸方向に沿った寸法をＤ１、質量付加膜２０の第２部分２２のＺ’軸方向に沿った寸法をＤ２、質量付加膜２０の第１部分２１と第２部分２２との間のＺ’軸方向に沿った距離をＡとしたとき、Ｄ１とＤ２とは略等しく、例えばＤ１＝（１±０．０４）×（Ａ－Ａ’）／２μｍ、Ｄ２＝（１±０．０４）×（Ａ－Ａ’）／２μｍである。

[0120]　これによれば、Ａ０モードのスプリアス振動を抑制することができる。

[0121]　また、本実施形態において、質量付加膜２０の第１部分２１と第２部分２２との間のＺ’軸方向に沿った距離をＡ’、第１励振電極１４ａのＺ’軸方向に沿った寸法をＢとしたとき、Ａ’／Ｂ≦０．５の関係が成り立つ。

[0122]　これによれば、質量付加膜２０の第１部分２１又は第２部分２２の面積が広すぎることによって、質量付加膜２０によるスプリアス振動を低減する効果が低下することを抑制することができる。

[0123]　また、本実施形態において、０．０５≦Ａ’／Ｂの関係が成り立つ。

[0124]　これによれば、質量付加膜２０が第１励振電極１４ａに対して位置ずれを生じた場合に、平面視において質量付加膜２０の第１部分２１又は第２部分２２の大部分が第１励振電極１４ａの外側に延出することを抑制する。つまり、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８Ｂの寸法のバランスの悪化を抑制することができる。したがって、ｋ＿Ａ０の増大及びｋ＿Ｓ０の減

少を充分に抑制することができる。

[0125] また、本実施形態において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと第１励振電極１４ａの外縁部７１との間のＺ’軸方向に沿った距離、及び、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａと第１励振電極１４ａの外縁部７２との間のＺ’軸方向に沿った距離をＢ’としたとき、

２μｍ≦Ｂ’の関係が成り立つ。

[0126] これによれば、ｋ＿Ａ０の上昇を抑制することができる。

[0127] また、本実施形態において、Ｂ’≦８μｍの関係が成り立つ。

[0128] これによれば、ｋ＿Ｓ０の低下を抑制することができる。

[0129] また、本実施形態において、第２励振電極１４ｂのＺ’軸方向に沿った寸法をＣとしたとき、３μｍ≦Ｃ－Ｂの関係が成り立つ。

[0130] これによれば、ｋ＿Ａ０の増大を抑制することができる。

[0131] また、本実施形態において、Ｃ－Ｂ≦１０μｍの関係が成り立つ。

[0132] これによれば、Ｑ値の低下を抑制することができる。

[0133] 以下に、その他の実施形態について説明する。なお、第１実施形態に示した構成と同一又は類似の構成について同一又は類似の符号を付し、その説明を適宜省略する。また、同様の構成による同様の作用効果については、逐次言及しない。

[0134] ＜第２実施形態＞

次に、図１９を参照しつつ、第２実施形態に係る水晶振動素子２１０の構成について説明する。図１９は、第２実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[0135] 平面視において、第１励振電極１４ａの外縁部７１は、第２励振電極１４ｂの外縁部８１に重なり、第１励振電極１４ａの外縁部７２は、第２励振電極１４ｂの外縁部８２に重なっている。質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ及び第２部分２２の外縁部２２Ａは、第１励振電極１４ａの外縁部７１と外縁部７２との間に位置している。長さＢは、長さＣと略等しく、長さＡよりも大きい（Ａ＜Ｂ＝Ｃ）。長さＥ１は長さＤ１と略等しく（Ｅ１

＝Ｄ１）、長さＥ１は長さＤ１と略等しく（Ｅ２＝Ｄ２）、長さＥ１は長さＥ２と略等しい（Ｅ１＝Ｅ２）。

[0136] 平面視において、第１励振電極１４ａの外縁部７１、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８１は、両方とも、第１低音速領域１８Ａの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部７１及び外縁部８１は、第１励振電極１４ａの中央部から同程度に離れている。第１励振電極１４ａの外縁部７１、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８１は、両方とも、第２低音速領域１８Ｂの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部７２及び外縁部８２は、第１励振電極１４ａの中央部から同程度に離れている。

[0137] ＜第３実施形態＞

次に、図２０を参照しつつ、第３実施形態に係る水晶振動素子３１０の構成について説明する。図２０は、第３実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[0138] 平面視において、第２励振電極１４ｂの外縁部８１は、第１励振電極１４ａの外縁部７１と、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａとの間に位置している。第２励振電極１４ｂの外縁部８２は、第１励振電極１４ａの外縁部７２と、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａとの間に位置している。質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ及び第２部分２２の外縁部２２Ａは、第２励振電極１４ｂの外縁部８１と外縁部８２との間に位置している。第２励振電極１４ｂの外縁部８１及び外縁部８２は、第１励振電極１４ａの外縁部７１と外縁部７２との間に位置している。長さＢは長さＣよりも大きく、長さＣは長さＡよりも大きい（Ａ＜Ｃ＜Ｂ）。長さＥ１は長さＤ１と略等しく（Ｅ１＝Ｄ１）、長さＥ１は長さＤ１と略等しく（Ｅ２＝Ｄ２）、長さＥ１は長さＥ２と略等しい（Ｅ１＝Ｅ２）。

[0139] 平面視において、第１励振電極１４ａの外縁部７１、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８１は、両方とも、第１低音速領域１８Ａの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部７１は、外縁部８１よ

りも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。第１励振電極１４ａの外縁部７１、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８１は、両方とも、第２低音速領域１８Ｂの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部７２は、外縁部８２よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。

[0140] <第４実施形態>

次に、図２１を参照しつつ、第４実施形態に係る水晶振動素子４１０の構成について説明する。図２１は、第４実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[0141] 平面視において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ及び第２部分２２の外縁部２２Ａは、第２励振電極１４ｂの外縁部８１に重なっている。質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ及び第２部分２２の外縁部２２Ａは、第１励振電極１４ａの外縁部７１と外縁部７２との間に位置している。長さＡは、長さＣと略等しく、長さＢよりも小さい（Ａ＝Ｃ＜Ｂ）。長さＥ１は長さＤ１と略等しく（Ｅ１＝Ｄ１）、長さＥ１は長さＤ１と略等しく（Ｅ２＝Ｄ２）、長さＥ１は長さＥ２と略等しい（Ｅ１＝Ｅ２）。

[0142] 平面視において、第１低音速領域１８Ａの外縁部は、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａだけではなく、第２励振電極１４ｂの外縁部８１とも重なっている。第２低音速領域１８Ｂの外縁部は、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａだけではなく、第２励振電極１４ｂの外縁部８２とも重なっている。

[0143] 平面視において、第１励振電極１４ａの外縁部７１、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８１のうち、一方の外縁部７１は、第１低音速領域１８Ａの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。第１励振電極１４ａの外縁部７２、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８２のうち、一方の外縁部７２は、第２低音速領域１８Ｂの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。

[0144] 次に、図２２及び図２３を参照しつつ、第４実施形態における位置ずれの

影響について説明する。図２２及び図２３は、第４実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。図２２は、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における、水晶振動素子４１０の断面図である。図２３は、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合における、水晶振動素子４１０の断面図である。

[0145] 図２２に示すように質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合、及び、図２３に示すように第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合、のいずれの場合においても、平面視において、質量付加膜２０の第２部分２２は、ずれ量ｄｚの分だけ、第２励振電極１４ｂからＺ’軸正方向側に延出する。このため、第１励振電極１４ａ、第２励振電極１４ｂ及び質量付加膜２０の第２部分２２が重なる領域は、ずれ量ｄｚの分だけ縮小する。つまり、長さＥ２ｄ１及び長さＥ２ｄ２は、Ｅ２ｄ１＝Ｅ２ｄ２＝Ｅ２－ｄｚ＝Ｄ２－ｄｚと表される。長さＥ１ｄ１及び長さＥ２ｄ２は、長さＥ１から変化しない。つまり、Ｅ１ｄ１＝Ｅ１ｄ２＝Ｅ１＝Ｄ１と表される。このため、本実施形態においては、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化し、Ｅ２ｄ１＜Ｅ１ｄ１の関係が成り立つ。また、第２励振電極１４ｂがＺ’軸正方向にｄｚずれた場合も、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化し、Ｅ２ｄ２＜Ｅ１ｄ２の関係が成り立つ。しかし、第２低音速領域１８ＢのＺ’正方向側に質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａが位置し、さらにＺ’正方向側に第１励振電極１４ａの外縁部７２が位置している。つまり、第２低音速領域１８Ｂを起点にＺ’正方向側に進むに従い、水晶振動素子４１０の厚さの総和は、Ｔｐ＋Ｔｅ１＋Ｔｅ２＋ＴｆからＴｐ＋Ｔｅ１＋Ｔｆに変化し、Ｔｐ＋Ｔｅ１に変化し、Ｔｐに変化する。第２低音速領域１８ＢのＺ’正方向側において、水晶振動素子４１０の厚さの総和が段階的に減少するため、位相変化が早まる。これにより、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスが変化したこと

による不具合が緩和される。

[0146] ＜第５実施形態＞

次に、図２４を参照しつつ、第５実施形態に係る水晶振動素子５１０の構成について説明する。図２４は、第５実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[0147] 平面視において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａは、第１励振電極１４ａの外縁部７１に重なっており、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａは、第１励振電極１４ａの外縁部７２に重なっている。質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ及び第２部分２２の外縁部２２Ａは、第２励振電極１４ｂの外縁部８１と外縁部８２との間に位置している。長さＡは、長さＢと略等しく、長さＣよりも小さい（Ａ＝Ｂ＜Ｃ）。長さＥ１は長さＤ１と略等しく（Ｅ１＝Ｄ１）、長さＥ１は長さＤ１と略等しく（Ｅ２＝Ｄ２）、長さＥ１は長さＥ２と略等しい（Ｅ１＝Ｅ２）。

[0148] 平面視において、第１低音速領域１８Ａの外縁部は、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａだけではなく、第１励振電極１４ａの外縁部７１とも重なっている。第２低音速領域１８Ｂの外縁部は、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａだけではなく、第１励振電極１４ａの外縁部７２とも重なっている。

[0149] 平面視において、第１励振電極１４ａの外縁部７１、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８１のうち、一方の外縁部８１は、第１低音速領域１８Ａの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。第１励振電極１４ａの外縁部７２、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８２のうち、一方の外縁部８２は、第２低音速領域１８Ｂの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。

[0150] 次に、図２５及び図２６を参照しつつ、第５実施形態における位置ずれの影響について説明する。図２５及び図２６は、第５実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。図２５は、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における、水晶振動素子５１０の断面図である。図２

６は、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合における、水晶振動素子５１０の断面図である。

[0151] 図２５に示すように、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合、平面視において、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａは、第１励振電極１４ａの外縁部７２と第２励振電極１４ｂの外縁部８２との間に位置する。第１励振電極１４ａの外縁部７１は、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと第２励振電極１４ｂの外縁部８１との間に位置する。質量付加膜２０の第２部分２２は、ずれ量ｄｚの分だけ、第１励振電極１４ａからＺ’軸正方向側に延出する。このため、第１励振電極１４ａ、第２励振電極１４ｂ及び質量付加膜２０の第２部分２２が重なる領域は、ずれ量ｄｚの分だけ縮小する。つまり、長さＥ２ｄ１は、Ｅ２ｄ１＝Ｅ２－ｄｚ＝Ｄ２－ｄｚと表される。また、第１励振電極１４ａ、第２励振電極１４ｂ及び質量付加膜２０の第１部分２１が重なる領域の面積は変化しない。つまり、長さＥ１ｄ１は、Ｅ１ｄ１＝Ｅ１＝Ｄ１と表される。このため、本実施形態において質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化し、Ｅ２ｄ１＜Ｅ１ｄ１の関係が成り立つ。本実施形態においてＤ１＝Ｄ２としたとき、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さの差分はｄｚとなる。一方、質量付加膜の外縁部、第１励振電極の外縁部、及び、第２励振電極の外縁部が重なる構成を比較例とした場合、比較例において質量付加膜がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における第１低音速領域及び第２低音速領域のＺ’軸方向に沿った長さの差分はｄｚとなる。したがって、本実施形態において質量付加膜２０に位置ずれが生じた場合の電気機械結合係数ｋの悪化は、比較例において質量付加膜に位置ずれが生じた場合の電気機械結合係数ｋの悪化と同等である。

[0152] 図２６に示すように、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合、長さＥ１ｄ２は、長さＥ１から変化しない。つまり、Ｅ１ｄ２＝Ｅ１＝

Ｄ１と表される。また、長さＥ２ｄ２は、長さＥ２から変化しない。つまり、長さＥ２ｄ２は、Ｅ２ｄ２＝Ｅ２＝Ｄ２と表される。このため、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化せず、Ｅ１ｄ２＝Ｅ２ｄ２の関係が成り立つ。一方、比較例において第２励振電極がＺ’軸負方向にｄｚずれた場合における、第１低音速領域及び第２低音速領域のＺ’軸方向に沿った長さの差分はｄｚとなる。したがって、本実施形態において第２励振電極に位置ずれが生じた場合の電気機械結合係数ｋの悪化は、比較例において第２励振電極に位置ずれが生じた場合の電気機械結合係数ｋの悪化よりも抑制される。つまり、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれたとしても、ｋ＿Ａ０の増大は抑制され、ｋ＿Ｓ０の減少は抑制される。

[0153] ＜第６実施形態＞

次に、図２７を参照しつつ、第６実施形態に係る水晶振動素子６１０の構成について説明する。図２７は、第６実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[0154] 質量付加膜２０の材質は絶縁体であり、例えば酸化シリコン又は窒化シリコンである。平面視において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａは、第２励振電極１４ｂの外縁部８１に重なっており、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａは、第２励振電極１４ｂの外縁部８２に重なっている。第１励振電極１４ａの外縁部７１，７２は、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと外縁部２２Ａとの間に位置している。長さＡは、長さＣと略等しく、長さＢよりも大きい（Ｂ＜Ａ＝Ｃ）。長さＥ１は長さＤ１よりも小さく（Ｄ１＜Ｅ１）、長さＥ２は長さＤ２よりも小さく（Ｄ２＜Ｅ２）、長さＥ１は長さＥ２と略等しい（Ｅ１＝Ｅ２）。

[0155] 平面視において、第１低音速領域１８Ａの外縁部は、第１励振電極１４ａの外縁部７１と重なっている。第２低音速領域１８Ｂの外縁部は、第１励振電極１４ａの外縁部７２と重なっている。

[0156] 平面視において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ、及び、

第２励振電極１４ｂの外縁部８１は、両方とも、第１低音速領域１８Ａの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部２１Ａ及び外縁部８１は、第１励振電極１４ａの中央部から同程度に離れている。質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａ、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８２は、両方とも、第２低音速領域１８Ｂの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部２２Ａ及び外縁部８２は、第１励振電極１４ａの中央部から同程度に離れている。

[0157] 質量付加膜２０の第１部分２１における第１励振電極１４ａからＺ’軸負方向側にはみ出している部分のＺ’軸方向に沿った寸法をＤ’１としたとき、長さＥ１は、Ｅ１＝Ｄ１－Ｄ’１と表される。質量付加膜２０の第２部分２２における第１励振電極１４ａからＺ’軸負正方向側にはみ出している部分のＺ’軸方向に沿った寸法をＤ’２としたとき、長さＥ２は、Ｅ２＝Ｄ２－Ｄ’２と表される。

[0158] 次に、図２８及び図２９を参照しつつ、第６実施形態における位置ずれの影響について説明する。図２８及び図２９は、第６実施形態における位置ずれの影響を説明するための図である。図２８は、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における、水晶振動素子６１０の断面図である。図２９は、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合における、水晶振動素子６１０の断面図である。

[0159] 図２８に示すように、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合、第１低音速領域１８Ａは、ずれ量ｄｚの分だけ拡大する。つまり、長さＥ１ｄ１は、Ｅ１ｄ１＝Ｅ１＋ｄｚ＝（Ｄ１－Ｄ’１）＋ｄｚと表される。また、第２低音速領域１８Ｂは、ずれ量ｄｚの分だけ縮小する。つまり、長さＥ２ｄ１は、Ｅ２ｄ１＝Ｅ２－ｄｚ＝（Ｄ２－Ｄ’２）－ｄｚと表される。このため、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化し、Ｅ２ｄ１＜Ｅ１ｄ１の関係が成り立つ。本実施形態においてＤ１＝Ｄ２且つＤ’１＝Ｄ’２、つまりＥ１＝Ｅ２、としたとき、質量付加膜２０がＺ’軸正方向にｄｚずれた場合における、第１低音

速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さの差分は２ｄｚとなる。

[0160] 図２９に示すように、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合、長さＥ１ｄ２は、長さＥ１から変化しない。つまり、Ｅ１ｄ２＝Ｅ１＝Ｄ１－Ｄ’１と表される。また、長さＥ２ｄ２は、長さＥ２から変化しない。つまり、Ｅ２ｄ２＝Ｅ２＝Ｄ２－Ｄ’２と表される。本実施形態においてＤ１＝Ｄ２且つＤ’１＝Ｄ’２、つまりＥ１＝Ｅ２、としたとき、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれた場合であっても、第１低音速領域１８Ａ及び第２低音速領域１８ＢのＺ’軸方向に沿った長さのバランスは変化せず、Ｅ１ｄ２＝Ｅ２ｄ２の関係が成り立つ。したがって、第２励振電極１４ｂがＺ’軸負方向にｄｚずれたとしても、ｋ＿Ａ０の増大は抑制され、ｋ＿Ｓ０の減少は抑制される。

[0161] ＜第７実施形態＞

次に、図３０を参照しつつ、第７実施形態に係る水晶振動素子７１０の構成について説明する。図３０は、第７実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[0162] 質量付加膜２０の材質は電気伝導体であり、例えば第１励振電極１４ａと同じ材質である。平面視において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａは、第２励振電極１４ｂの外縁部８１に重なっており、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａは、第２励振電極１４ｂの外縁部８２に重なっている。第１励振電極１４ａの外縁部７１，７２は、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと外縁部２２Ａとの間に位置している。長さＡは、長さＣと略等しく、長さＢよりも大きい（Ｂ＜Ａ＝Ｃ）。長さＥ１は長さＤ１よりも小さく（Ｄ１＜Ｅ１）、長さＥ２は長さＤ２よりも小さく（Ｄ２＜Ｅ２）、長さＥ１は長さＥ２と略等しい（Ｅ１＝Ｅ２）。長さＥ１は、Ｅ１＝Ｄ１－Ｄ’１と表され、長さＥ２は、Ｅ２＝Ｄ２－Ｄ’２と表される。

[0163] 平面視において、第１低音速領域１８Ａの外縁部は、第１励振電極１４ａ

の外縁部７１と重なっている。第２低音速領域１８Ｂの外縁部は、第１励振電極１４ａの外縁部７２と重なっている。

[0164] 平面視において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８１は、両方とも、第１低音速領域１８Ａの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部２１Ａ及び外縁部８１は、第１励振電極１４ａの中央部から同程度に離れている。質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａ、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８２は、両方とも、第２低音速領域１８Ｂの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部２２Ａ及び外縁部８２は、第１励振電極１４ａの中央部から同程度に離れている。

[0165] 質量付加膜２の第１部分２１は、第１励振電極１４ａからＺ’負方向側に延出している。質量付加膜２の第２部分２２は、第１励振電極１４ａからＺ’正方向側に延出している。質量付加膜２０は第１励振電極１４ａと同電位となるため、質量付加膜２０の第１励振電極１４ａから延出する部分は励振電極として機能する。したがって、平面視において第１励振電極１４ａの外側であって質量付加膜２０の第１部分２１と第２励振電極１４ｂとが重なる領域は第１外側高音速領域１９１Ａとなり、第１励振電極１４ａの外側であって質量付加膜２０の第２部分２２と第２励振電極１４ｂとが重なる領域は第２外側高音速領域１９１Ｂとなる。高音速領域１７における厚さの総和はＴｐ＋Ｔｅ１＋Ｔｅ２であり、第１外側高音速領域１９１Ａ及び第２外側高音速領域１９１Ｂのそれぞれにおける厚さの総和はＴｐ＋Ｔｆ＋Ｔｅ２である。したがって、質量付加膜２０の材質が第１励振電極１４ａの材質と同じであってＴｆ＜Ｔｅ１の関係が成り立つとき、第１外側高音速領域１９１Ａ及び第２外側高音速領域１９１Ｂにおける音速は、高音速領域１７における音速よりも大きくなる。つまり、外側高音速領域１９１の音速よりも高音速領域１７の音速が小さく、高音速領域１７の音速よりも低音速領域１８の音速が小さくなる。質量付加膜２０の材質が第１励振電極１４ａの材質と同じであってＴｆ＝Ｔｅ１の関係が成り立つとき、第１外側高音速領域１９１Ａ

及び第２外側高音速領域１９１Ｂにおける音速は、高音速領域１７における音速と略等しくなる。つまり、外側高音速領域１９１の音速と高音速領域１７の音速とは略等しく、低音速領域１８の音速よりも大きくなる。質量付加膜２０の材質が第１励振電極１４ａの材質と同じであってＴｅ１＜Ｔｆのとき、第１外側高音速領域１９１Ａ及び第２外側高音速領域１９１Ｂにおける音速は、高音速領域１７における音速よりも小さくなる。つまり、高音速領域１７の音速よりも外側高音速領域１９１の音速が小さく、外側高音速領域１９１の音速よりも低音速領域１８の音速が小さくなる。

[0166]　なお、質量付加膜２０の材質が第１励振電極１４ａの材質と異なる場合には、Ｔｆ＜Ｔｅ１の関係が成り立つときであっても、外側高音速領域１９１の音速が高音速領域１７の音速よりも小さくなることがある。例えば、質量付加膜２０の単位面積当たりの質量が第１励振電極１４ａの単位面積当たりの質量よりも大きい場合、外側高音速領域１９１の音速が高音速領域１７の音速よりも小さくなる。質量付加膜２０の単位面積当たりの質量が第１励振電極１４ａの単位面積当たりの質量と同等である場合、外側高音速領域１９１の音速が高音速領域１７の音速と同等となる。質量付加膜２０の単位面積当たりの質量が第１励振電極１４ａの単位面積当たりの質量よりも小さい場合、外側高音速領域１９１の音速が高音速領域１７の音速よりも大きくなる。

[0167]　なお、第６実施形態に係る水晶振動素子６１０及び第７実施形態に係る水晶振動素子７１０において、Ｂ＜Ａ＝Ｃの関係が成り立っているが、Ｂ＜Ｃの関係が成り立つのであれば、Ｃ＜Ａの関係が成り立ってもよい。つまり、Ｂ＜Ｃ＜Ａの関係が成り立ってもよい。

[0168] ＜第８実施形態＞

　次に、図３１を参照しつつ、第８実施形態に係る水晶振動素子８１０の構成について説明する。図３１は、第８実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[0169]　平面視において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ及び第２

部分２２の外縁部２２Ａは、第２励振電極１４ｂの外縁部８１と外縁部８２との間に位置している。第１励振電極１４ａの外縁部７１は、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａと第２励振電極１４ｂの外縁部８１との間に位置している。第１励振電極１４ａの外縁部７２は、質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａと第２励振電極１４ｂの外縁部８２との間に位置している。長さＡは、長さＢよりも大きく、長さＣよりも小さい（Ｂ＜Ａ＜Ｃ）。長さＥ１は長さＤ１よりも小さく（Ｄ１＜Ｅ１）、長さＥ２は長さＤ２よりも小さく（Ｄ２＜Ｅ２）、長さＥ１は長さＥ２と略等しい（Ｅ１＝Ｅ２）。長さＥ１は、Ｅ１＝Ｄ１－Ｄ’１と表され、長さＥ２は、Ｅ２＝Ｄ２－Ｄ’２と表される。

[0170]　平面視において、第１低音速領域１８Ａの外縁部は、第１励振電極１４ａの外縁部７１と重なっている。第２低音速領域１８Ｂの外縁部は、第１励振電極１４ａの外縁部７２と重なっている。

[0171]　平面視において、質量付加膜２０の第１部分２１の外縁部２１Ａ、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８１は、両方とも、第１低音速領域１８Ａの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部８１は、外縁部２１Ａよりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。質量付加膜２０の第２部分２２の外縁部２２Ａ、及び、第２励振電極１４ｂの外縁部８２は、両方とも、第２低音速領域１８Ｂの外縁部よりも、第１励振電極１４ａの中央部から離れている。外縁部８２は、外縁部２２Ａよりも、第１励振電極１４ａの中央部から同程度に離れている。

[0172]　図３２及び図３３を参照しつつ、比較例及び第１乃至第８実施形態に基づく実施例における、電気機械結合係数ｋの変化について説明する。図３２は、比較例及び第１乃至第８実施形態に基づく実施例のシミュレーション結果を示す表である。図３３は、比較例及び第１乃至第８実施形態に基づく実施例のシミュレーション条件を示す表である。

[0173]（比較例）

Ａ＝Ｂ＝Ｃ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝１９μｍ

Ｚｆ＝３０μｍ

Ｗｘ＝２８μｍ

Ｗｚ＝２０μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝０μｍ

Ｘｅ１＝７５μｍ

Ｚｅ１＝７０μｍ

Ｘｅ２＝７５μｍ

Ｚｅ２＝７０μｍ

（第１実施形態に基づく実施例）

Ａ＜Ｂ＜Ｃ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝２７μｍ

Ｚｆ＝３８μｍ

Ｗｘ＝２４μｍ

Ｗｚ＝１６μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝４μｍ

Ｘｅ１＝７５μｍ

Ｚｅ１＝７０μｍ

Ｘｅ２＝７９μｍ

Ｚｅ２＝７４μｍ

（第２実施形態に基づく実施例）

Ａ＜Ｂ＝Ｃ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝２７μｍ

Ｚｆ＝３８μｍ

Ｗｘ＝２４μｍ

Ｗｚ＝１６μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝４μｍ

Ｘｅ１＝７５μｍ

Ｚｅ１＝７０μｍ

Ｘｅ２＝７５μｍ

Ｚｅ２＝７０μｍ

（第３実施形態に基づく実施例）

Ａ＜Ｃ＜Ｂ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝２７μｍ

Ｚｆ＝３８μｍ

Ｗｘ＝２６μｍ

Ｗｚ＝１８μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝４μｍ

Ｘｅ１＝７９μｍ

Ｚｅ２＝７４μｍ

Ｘｅ２＝７５μｍ

Ｚｅ２＝７０μｍ

（第４実施形態に基づく実施例）

Ａ＝Ｃ＜Ｂ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝２７μｍ

Ｚｆ＝３８μｍ

Ｗｘ＝２６μｍ

Ｗｚ＝１８μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝２μｍ

Ｘｅ１＝７９μｍ

Ｚｅ２＝７４μｍ

Ｘｅ２＝７５μｍ

Ｚｅ２＝７０μｍ

（第５実施形態に基づく実施例）

Ａ＝Ｂ＜Ｃ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝１９μｍ

Ｚｆ＝３０μｍ

Ｗｘ＝２８μｍ

Ｗｚ＝２０μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝０μｍ

Ｘｅ１＝７５μｍ

Ｚｅ２＝７０μｍ

Ｘｅ２＝７９μｍ

Ｚｅ２＝７４μｍ

（第６実施形態に基づく実施例）

Ｂ＜Ａ＝Ｃ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝１１μｍ

Ｚｆ＝２２μｍ

Ｗｘ＝３２μｍ

Ｗｚ＝２４μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝－４μｍ

Ｘｅ１＝７５μｍ

Ｚｅ２＝７０μｍ

Ｘｅ２＝７９μｍ

Ｚｅ２＝７４μｍ

（第７実施形態に基づく実施例）

Ｂ＜Ａ＝Ｃ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝１１μｍ

Ｚｆ＝２２μｍ

Ｗｘ＝３２μｍ

Ｗｚ＝２４μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝－４μｍ

Ｘｅ１＝７５μｍ

Ｚｅ２＝７０μｍ

Ｘｅ２＝７９μｍ

Ｚｅ２＝７４μｍ

（第８実施形態に基づく実施例）

Ｂ＜Ａ＜Ｃ

Ｔｐ＝１．００μｍ

Ｔｆ＝０．０２μｍ

Ｔｅ１＝Ｔｅ２＝０．０５μｍ

Ｐｘ＝Ｐｚ＝１００μｍ

Ｘｆ＝１１μｍ

Ｚｆ＝２２μｍ

Ｗｘ＝３２μｍ

Ｗｚ＝２４μｍ

Ｗｇｘ＝Ｗｇｚ＝－４μｍ

Ｘｅ１＝７５μｍ

Ｚｅ２＝７０μｍ

Ｘｅ２＝８７μｍ

Ｚｅ２＝８２μｍ

[0174] 図３２の表中における「Ｆｒａｍｅずれ」は、質量付加膜２０の位置が第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂの位置に対してずれた状態を意味する。「裏面ずれ」は、第２励振電極１４ｂの位置が質量付加膜２０及び第１励振電極１４ａの位置に対してずれた状態を意味する。「両方ずれ」は、質量付加膜２０の位置が第１励振電極１４ａの位置に対してずれ、第２励振電極１４ｂの位置が第１励振電極１４ａの位置に対して質量付加膜２０の位置ずれとは反対方向にずれている状態を意味する。

[0175]　比較例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．１５％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．０４％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．２８％である。比較例において、Ａ０ＺモードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは１．０７％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．６９％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは１．４３％である。

[0176]　第１実施形態に基づく実施例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは０．００％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．００％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．００％である。第１実施形態に基づく実施例におけるＳ０モードのΔｋは、比較例におけるＳ０モードのΔｋよりも小さい。すなわち、第１実施形態に基づく実施例においては、位置ずれに起因したＳ０モードのｋの低下が抑制されている。

[0177]　第１実施形態に基づく実施例において、Ａ０ＺモードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０２％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０５％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０２％である。第１実施形態に基づく実施例におけるＡ０ＺモードのΔｋは、比較例におけるＡ０ＺモードのΔｋよりも小さい。すなわち、第１実施形態に基づく実施例においては、位置ずれに起因したＡ０Ｚモードのｋの上昇が抑制されている。

[0178]　第２実施形態に基づく実施例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは０．００％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０１％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０１％である。Ａ０ＺモードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０３％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０６％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０５％である。

[0179] 第３実施形態に基づく実施例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．０１％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．０２％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．０６％である。Ａ０Ｚモードのｆｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは０．１７％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．１９％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．３５％である。

[0180] 第４実施形態に基づく実施例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．０１％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．０２％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．０６％である。Ａ０ＺモードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは０．３４％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．３６％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．５１％である。

[0181] 第１実施形態に基づく実施例と同様、第２乃至第４実施形態に基づく実施例においては、位置ずれに起因したＳ０モードのｋの低下が抑制されている。第１実施形態に基づく実施例と同様、第２実施形態に基づく実施例においては、位置ずれに起因したＡ０Ｚモードのｋの上昇が抑制されている。

[0182] 第５実施形態に基づく実施例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．１３％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．００％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．１４％である。Ａ０ＺモードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは０．８９％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０２％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．９６％である。

[0183] 第６実施形態に基づく実施例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．１３％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．００％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δ

ｋは－０．１５％である。Ａ０Ｚモードのｆｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは１．０１％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０３％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは１．０６％である。

[0184] 第５及び第６実施形態に基づく実施例において、Ｆｒａｍｅずれにおける Ｓ０モードのΔｋ及びＡ０ＺモードのΔｋは、比較例におけるＳ０モードのΔｋ及びＡ０ＺモードのΔｋと略同等である。第５及び第６実施形態に基づく実施例において、裏面ずれ及び両方ずれにおけるＳ０モードのΔｋの低下が抑制され、裏面ずれ及び両方ずれにおけるＡ０ＺモードのΔｋの上昇が抑制されている。

[0185] 第７実施形態に基づく実施例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．２０％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．００％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．２２％である。Ａ０ＺモードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは１．２７％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．１１％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは１．３１％である。

[0186] 第８実施形態に基づく実施例において、Ｓ０モードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．１８％、Ｓ０モードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．００％であり、Ｓ０モードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは－０．１９％である。Ａ０ＺモードのＦｒａｍｅずれにおけるｋの変化量Δｋは１．２９％、Ａ０Ｚモードの裏面ずれにおけるｋの変化量Δｋは０．０７％であり、Ａ０Ｚモードの両方ずれにおけるｋの変化量Δｋは１．３１％である。

[0187] 第７及び第８実施形態に基づく実施例において、Ｆｒａｍｅずれにおける Ｓ０モードのΔｋ及びＡ０ＺモードのΔｋは、比較例におけるＳ０モードのΔｋ及びＡ０ＺモードのΔｋよりもやや悪化している。しかし、第７及び第８実施形態に基づく実施例において、裏面ずれ及び両方ずれにおけるＳ０モ

ードのΔｋの低下は抑制され、裏面ずれ及び両方ずれにおけるＡ０ＺモードのΔｋの上昇は抑制されている。

[0188] 次に図３４を参照しつつ、第９実施形態に係る水晶振動素子９１０の構成について説明する。図３４は、第９実施形態に係る水晶振動素子の断面図である。

[0189] 本実施形態において、質量付加膜２０は、第１励振電極１４ａとは異なる材質の金属によって設けられている。効率よく質量を付加し低音速領域１８の音速を低下させる観点から、質量付加膜２０の比重は、第１励振電極１４ａの比重よりも大きいことが望ましい。これによれば、質量付加膜２０の成膜プロセスを短縮し、製造効率を向上させることができる。

[0190] 次に図３５を参照しつつ、第１０実施形態に係る水晶振動素子１０１０の構成について説明する。図３５は、第１０実施形態に係る水晶振動素子の平面図である。

[0191] 質量付加膜２０の第３部分２３及び第４部分２４が省略されている。質量付加膜２０の第１部分２１及び第２部分２２は、互いに離間し、Ｘ軸方向に沿って延在する帯状に設けられている。

[0192] 次に図３６を参照しつつ、第１１実施形態に係る水晶振動素子１１１０の構成について説明する。図３６は、第１１実施形態に係る水晶振動素子の平面図である。

[0193] 質量付加膜２０の第１部分２１及び第２部分２２が省略されている。質量付加膜２０の第３部分２３及び第４部分２４は、互いに離間し、Ｚ’軸方向に沿って延在する帯状に設けられている。

[0194] 以下に、本発明の実施形態の一部又は全部を付記する。なお、本発明は以下の付記に限定されるものではない。

[0195] ＜１＞

第１方向及び第１方向と交差する第２方向に延在する第１主面、及び、第１主面に対向する第２主面を有する圧電片と、

圧電片の第１主面の上に設けられた第１励振電極と、

圧電片の第２主面の上に設けられた第２励振電極と、

少なくとも一部が第１励振電極に重なる質量付加膜と

を備え、

質量付加膜は、第１励振電極の中央部を避けて設けられた第１部分及び第２部分を含み、

第１励振電極は、平面視において、中央部に対して第１方向における一方側に位置する第１外縁部と、中央部に対して第１方向における他方側に位置する第２外縁部とを有し、

第２励振電極は、平面視において、中央部に対して第１方向における一方側に位置する第３外縁部と、中央部に対して第１方向における他方側に位置する第４外縁部とを有し、

第１部分は、第１外縁部に沿って設けられ、

第２部分は、第２外縁部に沿って設けられ、

圧電片、第１励振電極及び第２励振電極が重なった領域を高音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第１部分が重なった領域を第１低音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第２部分が重なった領域を第２低音速領域としたとき、

平面視において、第３外縁部は、第１低音速領域よりも中央部から離れており、

平面視において、第４外縁部は、第２低音速領域よりも中央部から離れている、

圧電振動素子。

[0196] ＜２＞

第１方向及び第１方向と交差する第２方向に延在する第１主面、及び、第１主面に対向する第２主面を有する圧電片と、

圧電片の第１主面の上に設けられた第１励振電極と、

圧電片の第２主面の上に設けられた第２励振電極と、

少なくとも一部が第１励振電極に重なる質量付加膜と
を備え、
質量付加膜は、第１励振電極の中央部を避けて設けられた第１部分及び第２部分を含み、
第１励振電極は、平面視において、中央部に対して第１方向における一方側に位置する第１外縁部と、中央部に対して第１方向における他方側に位置する第２外縁部とを有し、
第２励振電極は、平面視において、中央部に対して第１方向における一方側に位置する第３外縁部と、中央部に対して第１方向における他方側に位置する第４外縁部とを有し、
第１部分は、第１外縁部に沿って設けられ、
第２部分は、第２外縁部に沿って設けられ、
圧電片、第１励振電極及び第２励振電極が重なった領域を高音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第１部分が重なった領域を第１低音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第２部分が重なった領域を第２低音速領域とし、
質量付加膜における第１部分の第２部分とは反対側の端部と第２部分の第１部分とは反対側の端部との間の第１方向に沿った寸法をＡ、第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢ、第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、
Ａ＝Ｃ＜Ｂ
の関係が成り立ち、
平面視したとき、第１低音速領域の第２低音速領域とは反対側の外縁部、及び、第２低音速領域の第１低音速領域とは反対側の外縁は、第１励振電極に重なっており、
平面視したとき、第２励振電極の第３外縁部及び第４外縁部は、第１励振電極に重なっている、
圧電振動素子。

[0197] ＜３＞

平面視したとき、第１外縁部及び第２外縁部は、第２励振電極に重なっている、

＜１＞に記載の圧電振動素子。

[0198] ＜４＞

第１低音速領域の中央部とは反対側の外縁部と第２低音速領域の中央部とは反対側の外縁部との間の第１方向に沿った寸法をＥ、高音速領域における第１低音速領域側の外縁部と第２低音速領域側の外縁部との間の第１方向に沿った距離をＥ’としたとき、

第１低音速領域の第１方向に沿った寸法、及び、第２低音速領域の第１方向に沿った寸法は、（１±０．０４）×（Ｅ－Ｅ’）／２である、

＜１＞から＜３＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0199] ＜５＞

質量付加膜における第１部分の第２部分とは反対側の端部と第２部分の第１部分とは反対側の端部との間の第１方向に沿った寸法をＡ、第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢとしたとき、

Ａ＜Ｂ

の関係が成り立つ、

＜１＞に記載の圧電振動素子。

[0200] ＜６＞

第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＜Ｂ＜Ｃ

の関係が成り立つ、

＜５＞に記載の圧電振動素子。

[0201] ＜７＞

第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＜Ｂ＝Ｃ

の関係が成り立つ、

＜５＞に記載の圧電振動素子。

[0202] ＜８＞

第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＝Ｃ＜Ｂ

の関係が成り立つ、

＜５＞に記載の圧電振動素子。

[0203] ＜９＞

第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＜Ｃ＜Ｂ

の関係が成り立つ、

＜５＞に記載の圧電振動素子。

[0204] ＜１０＞

質量付加膜における第１部分の第２部分とは反対側の端部と第２部分の第１部分とは反対側の端部との間の第１方向に沿った寸法をＡ、第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢ、第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＝Ｂ＜Ｃ

の関係が成り立つ、

＜１＞に記載の圧電振動素子。

[0205] ＜１１＞

質量付加膜における第１部分の第２部分とは反対側の端部と第２部分の第１部分とは反対側の端部との間の第１方向に沿った寸法をＡ、第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢ、第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ｂ＜Ａ＝Ｃ

の関係が成り立つ、

＜１＞に記載の圧電振動素子。

[0206] ＜１２＞

質量付加膜における第１部分の第２部分とは反対側の端部と第２部分の第１部分とは反対側の端部との間の第１方向に沿った寸法をＡ、第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢ、第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ｂ＜Ａ＜Ｃ

の関係が成り立つ、

＜１＞に記載の圧電振動素子。

[0207] ＜１３＞

質量付加膜の材質は電気伝導体である、

＜１＞から＜１２＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0208] ＜１４＞

質量付加膜の材質は絶縁体である、

＜１＞から＜１２＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0209] ＜１５＞

質量付加膜における、第１部分の第２部分側とは反対側の端部と第２部分の第１部分側とは反対側の端部との間の第１方向に沿った距離をＡ’とし、第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢとしたとき、

Ａ’／Ｂ≦０．５

の関係が成り立つ、

＜１＞から＜１４＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0210] ＜１６＞

０．０５≦Ａ’／Ｂ

の関係が成り立つ、

＜１５＞に記載の圧電振動素子。

[0211] ＜１７＞

質量付加膜の第１部分の一方側に位置する外縁部と第１励振電極の第１外縁部との間の第１方向に沿った距離、及び、質量付加膜の第２部分の他方側に位置する外縁部と第１励振電極の第２外縁部との間の第１方向に沿った距

離は、０．５μｍ以上である、

＜１＞に記載の圧電振動素子。

[0212] ＜１８＞

質量付加膜の第１部分の一方側に位置する外縁部と第１励振電極の第１外縁部との間の第１方向に沿った距離、及び、質量付加膜の第２部分の他方側に位置する外縁部と第１励振電極の第２外縁部との間の第１方向に沿った距離は、８μｍ以下である、

＜１７＞に記載の圧電振動素子。

[0213] ＜１９＞

第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢ、第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

３μｍ≦Ｃ－Ｂ

の関係が成り立つ、

＜１＞に記載の圧電振動素子。

[0214] ＜２０＞

第１励振電極の第１方向に沿った寸法をＢ、第２励振電極の第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ｃ－Ｂ≦８μｍ

の関係が成り立つ、

＜１９＞に記載の圧電振動素子。

[0215] ＜２１＞

質量付加膜は、第１励振電極の中央部を避けて設けられた第３部分及び第４部分を含み、

第１励振電極は、平面視において、中央部に対して第２方向における一方側に位置する第５外縁部と、中央部に対して第２方向における他方側に位置する第６外縁部とを有し、

第２励振電極は、平面視において、中央部に対して第２方向における一方側に位置する第７外縁部と、中央部に対して第２方向における他方側に位置置

する第８外縁部とを有し、

第３部分は、第５外縁部に沿って設けられ、

第４部分は、第６外縁部に沿って設けられ、

圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第３部分が重なった領域を第３低音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第４部分が重なった領域を第４低音速領域としたとき、

平面視において、第７外縁部は、第３低音速領域よりも中央部から離れており、

平面視において、第８外縁部は、第４低音速領域よりも中央部から離れている、

＜１＞から＜２０＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0216] ＜２２＞

質量付加膜は、第１励振電極の中央部を避けて設けられた第３部分及び第４部分を含み、

第１励振電極は、平面視において、中央部に対して第２方向における一方側に位置する第５外縁部と、中央部に対して第２方向における他方側に位置する第６外縁部とを有し、

第２励振電極は、平面視において、中央部に対して第２方向における一方側に位置する第７外縁部と、中央部に対して第２方向における他方側に位置する第８外縁部とを有し、

第３部分は、第５外縁部に沿って設けられ、

第４部分は、第６外縁部に沿って設けられ、

圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第３部分が重なった領域を第３低音速領域とし、圧電片、第１励振電極及び第２励振電極にさらに質量付加膜の第４部分が重なった領域を第４低音速領域とし、

質量付加膜における第３部分の第４部分とは反対側の端部と第４部分の第３部分とは反対側の端部との間の第２方向に沿った寸法は、第２励振電極の

第２方向に沿った寸法と等しく、第１励振電極の第２方向に沿った寸法よりも小さく、

平面視したとき、第３低音速領域の第４低音速領域とは反対側の外縁部、及び、第４低音速領域の第３低音速領域とは反対側の外縁部は、第１励振電極に重なっており、

平面視したとき、第２励振電極の第７外縁部及び第８外縁部は、第１励振電極に重なっている、

＜１＞から＜２１＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0217] ＜２３＞

第１励振電極は、平面視において、中央部に対して第２方向における一方側に位置する第５外縁部と、中央部に対して第２方向における他方側に位置する第６外縁部とを有し、

平面視したとき、第５外縁部及び第６外縁部は、第２励振電極に重なっている、

＜１＞から＜２２＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0218] ＜２４＞

圧電片は水晶片である、

＜１＞から＜２３＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0219] ＜２５＞

水晶片のカット角は、ＡＴカット、ＢＴカット又はＳＴカットである、

＜２４＞に記載の圧電振動素子。

[0220] ＜２６＞

主要な振動モードは厚み滑り振動である、

＜１＞から＜２５＞のいずれか一つに記載の圧電振動素子。

[0221] なお、本発明に係る実施形態は、水晶振動子に限定されるものではなく、他の圧電振動子（Ｐｉｅｚｏｅｌｅｃｔｒｉｃ Ｒｅｓｏｎａｔｏｒ Ｕｎｉｔ）にも適用可能である。本実施形態に係る圧電振動子に好適に用いられる圧電片としては、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）や窒化アルミ

ニウムなどの圧電セラミック、ニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウムなどの圧電単結晶、を挙げることができるが、これらに限定されるものではなく適宜選択可能である。

[0222] 本発明に係る実施形態は、タイミングデバイス、発音器、発振器、荷重センサなど、圧電効果により電気機械エネルギー変換を行うデバイスであれば、特に限定されることなく適宜適用可能である。

[0223] 以上説明したように、本発明の一態様によれば、電気機械結合係数の悪化の抑制を図ることができる圧電振動素子を提供することができる。

[0224] なお、以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更／改良され得るとともに、本発明にはその等価物も含まれる。すなわち、実施形態及び／又は変形例に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に包含される。例えば、実施形態及び／又は変形例が備える各要素及びその配置、材料、条件、形状、サイズなどは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、実施形態及び変形例は例示であり、異なる実施形態及び／又は変形例で示した構成の部分的な置換又は組み合わせが可能であることは言うまでもなく、これらも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に包含される。

符号の説明

[0225] １００…水晶発振器

１…水晶振動子

１０…水晶振動素子

１１…水晶片

１１Ａ…上面

１１Ｂ…下面

１４ａ…第１励振電極

１４ｂ…第２励振電極

１７…高音速領域

１８…低音速領域

１８Ａ…第１低音速領域

１８Ｂ…第２低音速領域

１８Ｃ…第３低音速領域

１８Ｄ…第４低音速領域

１９…外側高音速領域

１９Ａ…第１外側高音速領域

１９Ｂ…第２外側高音速領域

１９Ｃ…第３外側高音速領域

１９Ｄ…第４外側高音速領域

２０…質量付加膜

２１…第１部分

２１Ａ…外縁部

２１Ｂ…内縁部

２２…第２部分

２２Ａ…外縁部

２２Ｂ…内縁部

２３…第３部分

２３Ａ…外縁部

２３Ｂ…内縁部

２４…第４部分

２４Ａ…外縁部

２４Ｂ…内縁部

７１，７２…外縁部

８１，８２…外縁部

請求の範囲

[請求項1] 第１方向及び前記第１方向と交差する第２方向に延在する第１主面、及び、前記第１主面に対向する第２主面を有する圧電片と、

前記圧電片の前記第１主面の上に設けられた第１励振電極と、

前記圧電片の前記第２主面の上に設けられた第２励振電極と、

少なくとも一部が前記第１励振電極に重なる質量付加膜と

を備え、

前記質量付加膜は、前記第１励振電極の中央部を避けて設けられた第１部分及び第２部分を含み、

前記第１励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第１方向における一方側に位置する第１外縁部と、前記中央部に対して前記第１方向における他方側に位置する第２外縁部とを有し、

前記第２励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第１方向における一方側に位置する第３外縁部と、前記中央部に対して前記第１方向における他方側に位置する第４外縁部とを有し、

前記第１部分は、前記第１外縁部に沿って設けられ、

前記第２部分は、前記第２外縁部に沿って設けられ、

前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極が重なった領域を高音速領域とし、前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極にさらに前記質量付加膜の前記第１部分が重なった領域を第１低音速領域とし、前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極にさらに前記質量付加膜の前記第２部分が重なった領域を第２低音速領域としたとき、

平面視において、前記第３外縁部は、前記第１低音速領域よりも前記中央部から離れており、

平面視において、前記第４外縁部は、前記第２低音速領域よりも前記中央部から離れている、

圧電振動素子。

[請求項2] 第１方向及び前記第１方向と交差する第２方向に延在する第１主面、及び、前記第１主面に対向する第２主面を有する圧電片と、

前記圧電片の前記第１主面の上に設けられた第１励振電極と、

前記圧電片の前記第２主面の上に設けられた第２励振電極と、

少なくとも一部が前記第１励振電極に重なる質量付加膜と

を備え、

前記質量付加膜は、前記第１励振電極の中央部を避けて設けられた第１部分及び第２部分を含み、

前記第１励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第１方向における一方側に位置する第１外縁部と、前記中央部に対して前記第１方向における他方側に位置する第２外縁部とを有し、

前記第２励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第１方向における一方側に位置する第３外縁部と、前記中央部に対して前記第１方向における他方側に位置する第４外縁部とを有し、

前記第１部分は、前記第１外縁部に沿って設けられ、

前記第２部分は、前記第２外縁部に沿って設けられ、

前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極が重なった領域を高音速領域とし、前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極にさらに前記質量付加膜の前記第１部分が重なった領域を第１低音速領域とし、前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極にさらに前記質量付加膜の前記第２部分が重なった領域を第２低音速領域とし、

前記質量付加膜における前記第１部分の前記第２部分とは反対側の端部と前記第２部分の前記第１部分とは反対側の端部との間の前記第１方向に沿った寸法をＡ、前記第１励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＢ、前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＝Ｃ＜Ｂ

の関係が成り立ち、

平面視したとき、前記第１低音速領域の前記第２低音速領域とは反対側の外縁部、及び、前記第２低音速領域の前記第１低音速領域とは反対側の外縁は、前記第１励振電極に重なっており、

平面視したとき、前記第２励振電極の前記第３外縁部及び前記第４外縁部は、前記第１励振電極に重なっている、

圧電振動素子。

[請求項3] 平面視したとき、前記第１外縁部及び前記第２外縁部は、前記第２励振電極に重なっている、

請求項１に記載の圧電振動素子。

[請求項4] 前記第１低音速領域の前記中央部とは反対側の外縁部と前記第２低音速領域の前記中央部とは反対側の外縁部との間の前記第１方向に沿った寸法をＥ、前記高音速領域における前記第１低音速領域側の外縁部と前記第２低音速領域側の外縁部との間の前記第１方向に沿った距離をＥ’としたとき、

前記第１低音速領域の前記第１方向に沿った寸法、及び、前記第２低音速領域の前記第１方向に沿った寸法は、（１±０．０４）×（Ｅ－Ｅ’）／２である、

請求項１から３のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[請求項5] 前記質量付加膜における前記第１部分の前記第２部分とは反対側の端部と前記第２部分の前記第１部分とは反対側の端部との間の前記第１方向に沿った寸法をＡ、前記第１励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＢとしたとき、

Ａ＜Ｂ

の関係が成り立つ、

請求項１に記載の圧電振動素子。

[請求項6] 前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＜Ｂ＜Ｃ

の関係が成り立つ、

請求項５に記載の圧電振動素子。

[請求項7] 前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＜Ｂ＝Ｃ

の関係が成り立つ、

請求項５に記載の圧電振動素子。

[請求項8] 前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＝Ｃ＜Ｂ

の関係が成り立つ、

請求項５に記載の圧電振動素子。

[請求項9] 前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＜Ｃ＜Ｂ

の関係が成り立つ、

請求項５に記載の圧電振動素子。

[請求項10] 前記質量付加膜における前記第１部分の前記第２部分とは反対側の端部と前記第２部分の前記第１部分とは反対側の端部との間の前記第１方向に沿った寸法をＡ、前記第１励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＢ、前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ａ＝Ｂ＜Ｃ

の関係が成り立つ、

請求項１に記載の圧電振動素子。

[請求項11] 前記質量付加膜における前記第１部分の前記第２部分とは反対側の端部と前記第２部分の前記第１部分とは反対側の端部との間の前記第１方向に沿った寸法をＡ、前記第１励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＢ、前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ｂ＜Ａ＝Ｃ

の関係が成り立つ、

請求項１に記載の圧電振動素子。

[請求項12] 前記質量付加膜における前記第１部分の前記第２部分とは反対側の端部と前記第２部分の前記第１部分とは反対側の端部との間の前記第１方向に沿った寸法をＡ、前記第１励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＢ、前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ｂ＜Ａ＜Ｃ

の関係が成り立つ、

請求項１に記載の圧電振動素子。

[請求項13] 前記質量付加膜の材質は電気伝導体である、

請求項１から１２のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[請求項14] 前記質量付加膜の材質は絶縁体である、

請求項１から１２のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[請求項15] 前記質量付加膜における、前記第１部分の前記第２部分側とは反対側の端部と前記第２部分の前記第１部分側とは反対側の端部との間の前記第１方向に沿った距離をＡ’とし、前記第１励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＢとしたとき、

Ａ’／Ｂ≦０．５

の関係が成り立つ、

請求項１から１４のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[請求項16] ０．０５≦Ａ’／Ｂ

の関係が成り立つ、

請求項１５に記載の圧電振動素子。

[請求項17] 前記質量付加膜の前記第１部分の前記一方側に位置する外縁部と前記第１励振電極の前記第１外縁部との間の前記第１方向に沿った距離、及び、前記質量付加膜の前記第２部分の前記他方側に位置する外縁部と前記第１励振電極の前記第２外縁部との間の前記第１方向に沿っ

た距離は、０．５μｍ以上である、

請求項１に記載の圧電振動素子。

[請求項18] 前記質量付加膜の前記第１部分の前記一方側に位置する外縁部と前記第１励振電極の前記第１外縁部との間の前記第１方向に沿った距離、及び、前記質量付加膜の前記第２部分の前記他方側に位置する外縁部と前記第１励振電極の前記第２外縁部との間の前記第１方向に沿った距離は、８μｍ以下である、

請求項１７に記載の圧電振動素子。

[請求項19] 前記第１励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＢ、前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

３μｍ≦Ｃ－Ｂ

の関係が成り立つ、

請求項１に記載の圧電振動素子。

[請求項20] 前記第１励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＢ、前記第２励振電極の前記第１方向に沿った寸法をＣとしたとき、

Ｃ－Ｂ≦８μｍ

の関係が成り立つ、

請求項１９に記載の圧電振動素子。

[請求項21] 前記質量付加膜は、前記第１励振電極の前記中央部を避けて設けられた第３部分及び第４部分を含み、

前記第１励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第２方向における一方側に位置する第５外縁部と、前記中央部に対して前記第２方向における他方側に位置する第６外縁部とを有し、

前記第２励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第２方向における一方側に位置する第７外縁部と、前記中央部に対して前記第２方向における他方側に位置する第８外縁部とを有し、

前記第３部分は、前記第５外縁部に沿って設けられ、

前記第４部分は、前記第６外縁部に沿って設けられ、

前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極にさらに前記質量付加膜の前記第３部分が重なった領域を第３低音速領域とし、前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極にさらに前記質量付加膜の前記第４部分が重なった領域を第４低音速領域としたとき、

前記第７外縁部は、平面視において、前記第３低音速領域よりも前記中央部から離れており、

平面視において、前記第８外縁部は、前記第４低音速領域よりも前記中央部から離れている、

請求項１から２０のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[請求項22] 前記質量付加膜は、前記第１励振電極の前記中央部を避けて設けられた第３部分及び第４部分を含み、

前記第１励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第２方向における一方側に位置する第５外縁部と、前記中央部に対して前記第２方向における他方側に位置する第６外縁部とを有し、

前記第２励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第２方向における一方側に位置する第７外縁部と、前記中央部に対して前記第２方向における他方側に位置する第８外縁部とを有し、

前記第３部分は、前記第５外縁部に沿って設けられ、

前記第４部分は、前記第６外縁部に沿って設けられ、

前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極にさらに前記質量付加膜の前記第３部分が重なった領域を第３低音速領域とし、前記圧電片、前記第１励振電極及び前記第２励振電極にさらに前記質量付加膜の前記第４部分が重なった領域を第４低音速領域とし、

前記質量付加膜における前記第３部分の前記第４部分とは反対側の端部と前記第４部分の前記第３部分とは反対側の端部との間の前記第２方向に沿った寸法は、前記第２励振電極の前記第２方向に沿った寸法と等しく、前記第１励振電極の前記第２方向に沿った寸法よりも小さく、

平面視したとき、前記第３低音速領域の前記第４低音速領域とは反対側の外縁部、及び、前記第４低音速領域の前記第３低音速領域とは反対側の外縁部は、前記第１励振電極に重なっており、

平面視したとき、前記第２励振電極の前記第７外縁部及び前記第８外縁部は、前記第１励振電極に重なっている、

請求項１から２１のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[請求項23] 前記第１励振電極は、平面視において、前記中央部に対して前記第２方向における一方側に位置する第５外縁部と、前記中央部に対して前記第２方向における他方側に位置する第６外縁部とを有し、

平面視したとき、前記第５外縁部及び前記第６外縁部は、前記第２励振電極に重なっている、

請求項１から２２のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[請求項24] 前記圧電片は水晶片である、

請求項１から２３のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[請求項25] 前記水晶片のカット角は、ＡＴカット、ＢＴカット又はＳＴカットである、

請求項２４に記載の圧電振動素子。

[請求項26] 主要な振動モードは厚み滑り振動である、

請求項１から２５のいずれか一項に記載の圧電振動素子。

[図1]

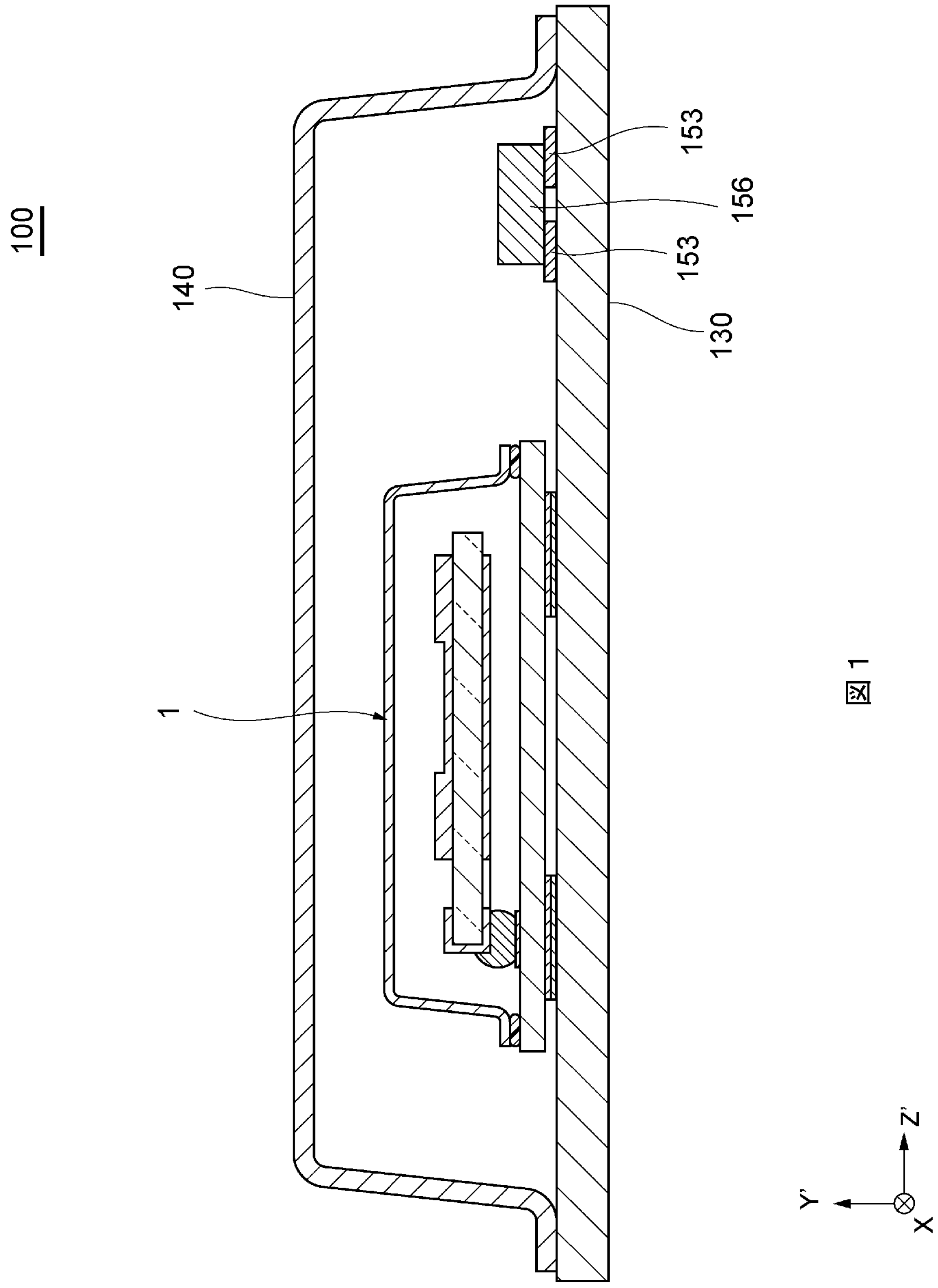


図 1

[図2]

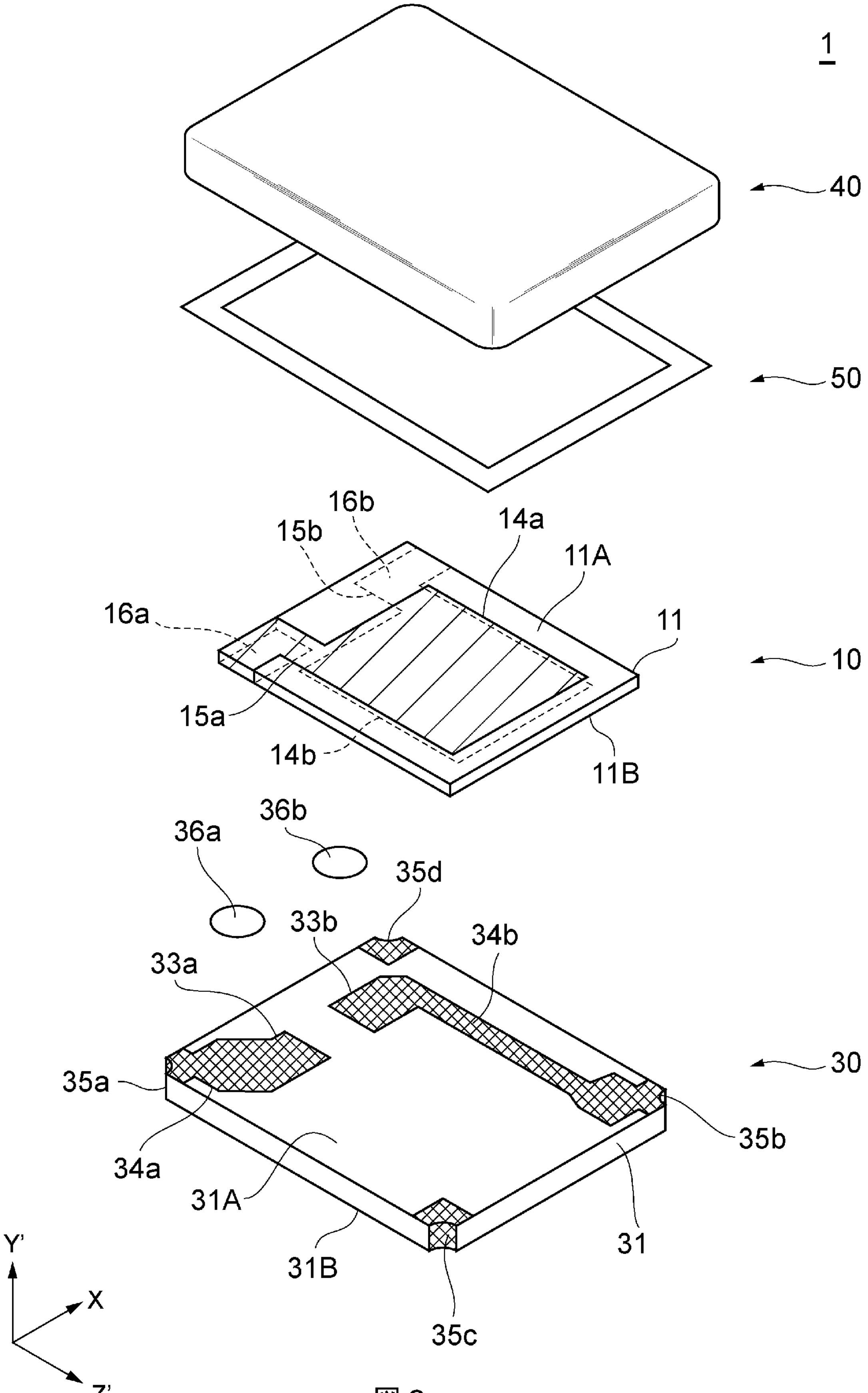

1
40
50
16b
14a
15b
11A
16a
11
10
15a
14b
11B
36b
36a
35d
33b
34b
33a
30
35a
35b
34a
31A
Y'
31B
31
X
35c
Z'

図 2

[図3]

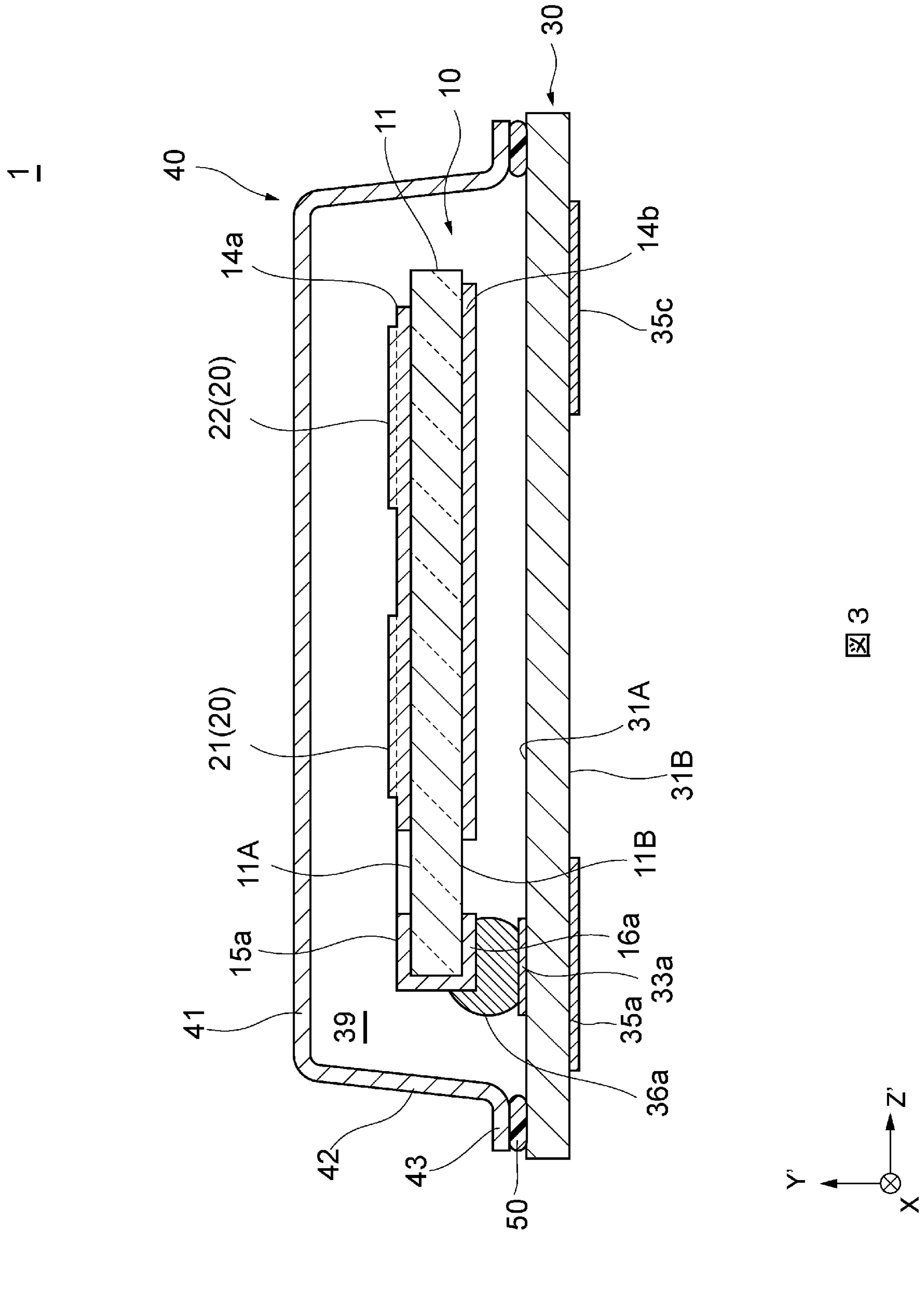

1
40
11
10
30
14a
14b
35c
22(20)
21(20)
31A
31B
11A
11B
15a
16a
33a
35a
41
39
36a
42
43
50
Z'
Y'
X

図 3

[図4]

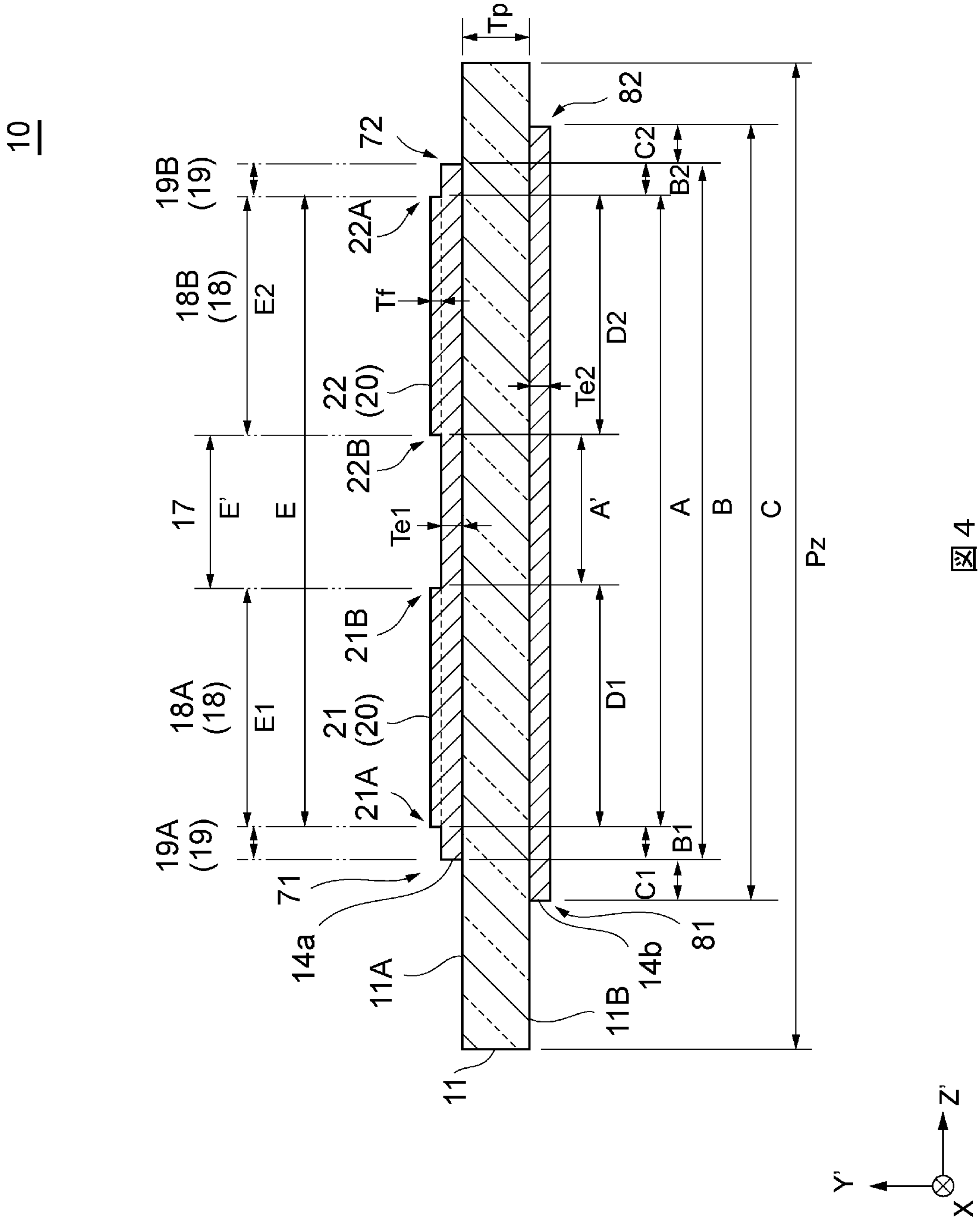

10
Tp
82
72
C2
B2
19B
(19)
22A
18B
(18)
E2
Tf
D2
22
(20)
Te2
22B
17
E'
E
Te1
A'
A
B
C
Pz
21B
18A
(18)
E1
21
(20)
D1
21A
19A
(19)
B1
C1
71
14a
81
14b
11A
11B
11
Z'
Y'
X

図 4

[図5]

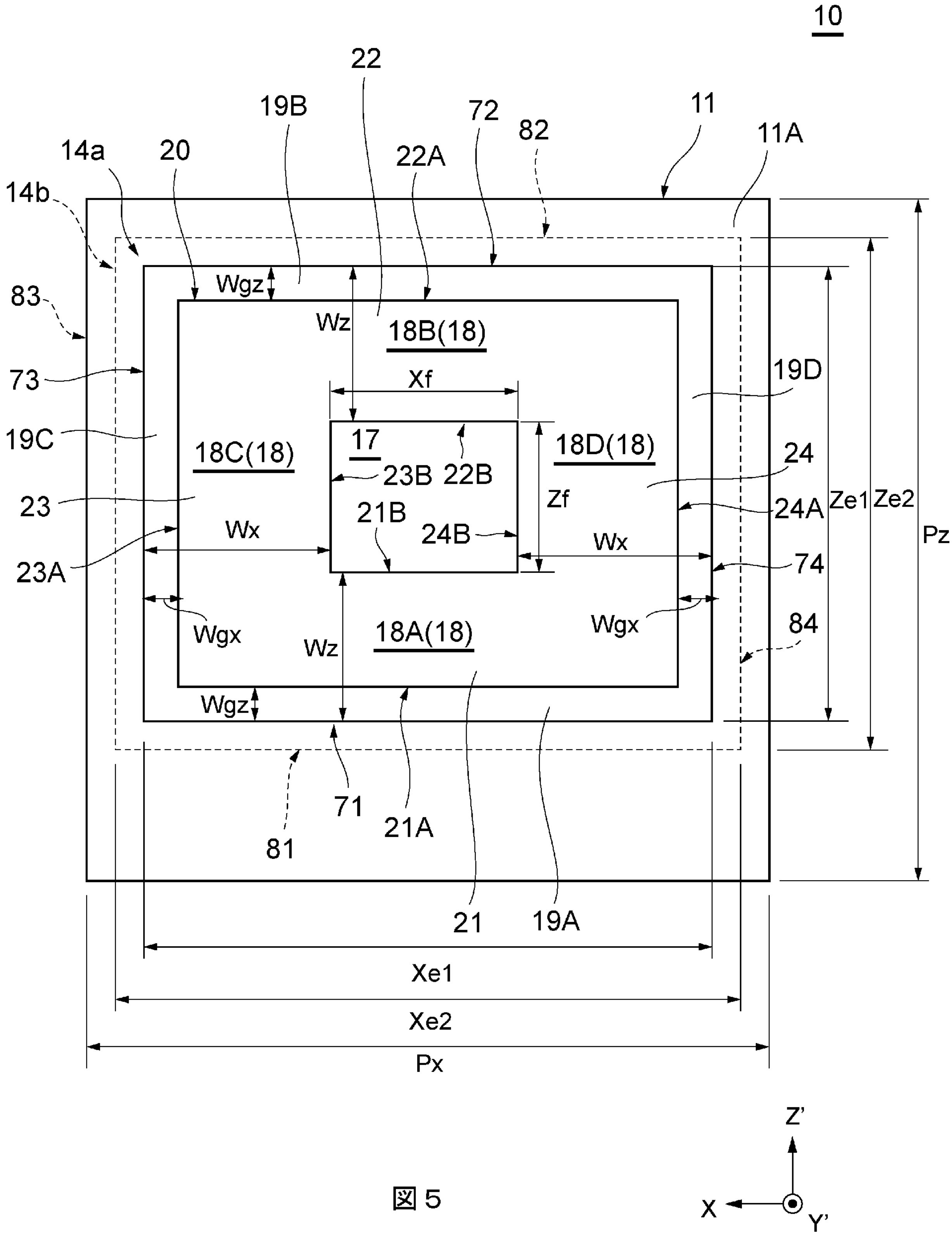

10
22
19B
72
82
11
11A
14a
20
22A
14b
Wgz
83
Wz
18B(18)
73
Xf
19D
19C
17
18D(18)
18C(18)
23B 22B
24
23
Zf
24A
Ze1
Ze2
21B
Wx
24B
Wx
Pz
23A
74
84
Wgx
Wgx
18A(18)
Wz
Wgz
71
21A
81
21
19A
Xe1
Xe2
Px
Z'
X
Y'

図５

[図6]

				第1実施例	第1’実施例	第2実施例	第2’実施例	第3実施例	第3’実施例
	パラメータ			Wgx,Wgz	Xe2,Ze2	Wgx,Wgz	Xe2,Ze2	Wgx,Wgz	Xe2,Ze2
断面寸法	水晶厚	Tp	[um]	1.52	1.52	1.00	1.00	1.00	1.00
	Frame厚	Tf	[um]	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	上部電極厚	Te1	[um]	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05
	下部電極厚	Te2	[um]	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05
平面寸法	共振子	Px	[um]	120.00	120.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		Pz	[um]	120.00	120.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Frameの内側	Xf	[um]	20.00	20.00	12.00	12.00	19.00	19.00
		Zf	[um]	20.00	20.00	28.00	28.00	30.00	30.00
	Frame幅	Wx	[um]	40.00	40.00	24.00	24.00	28.00	28.00
		Wz	[um]	30.00	30.00	16.00	16.00	20.00	20.00
	Frame gap	Wgx	[um]	パラメータ	2.00	パラメータ	2.00	パラメータ	2.00
		Wgz	[um]	パラメータ	2.00	パラメータ	2.00	パラメータ	2.00
	上部電極	Xe1	[um]	100.00	100.00	60.00	60.00	75.00	75.00
		Ze1	[um]	80.00	80.00	60.00	60.00	70.00	70.00
	下部電極	Xe2	[um]	104.00	パラメータ	64.00	パラメータ	79.00	パラメータ
		Ze2	[um]	84.00	パラメータ	64.00	パラメータ	74.00	パラメータ

図６

[図7]

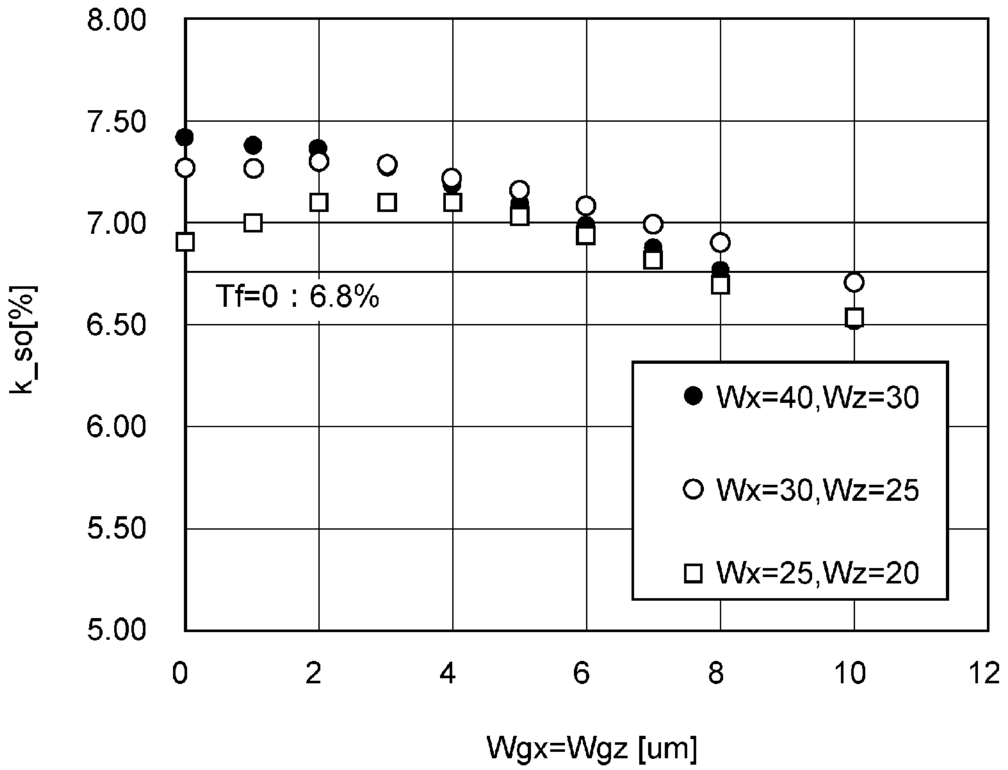

8.00
7.50
7.00
6.50
6.00
5.50
5.00
k_so[%]
Tf=0 : 6.8%
Wx=40,Wz=30
Wx=30,Wz=25
Wx=25,Wz=20
0
2
4
6
8
10
12
Wgx=Wgz [um]

図 7

[図8]

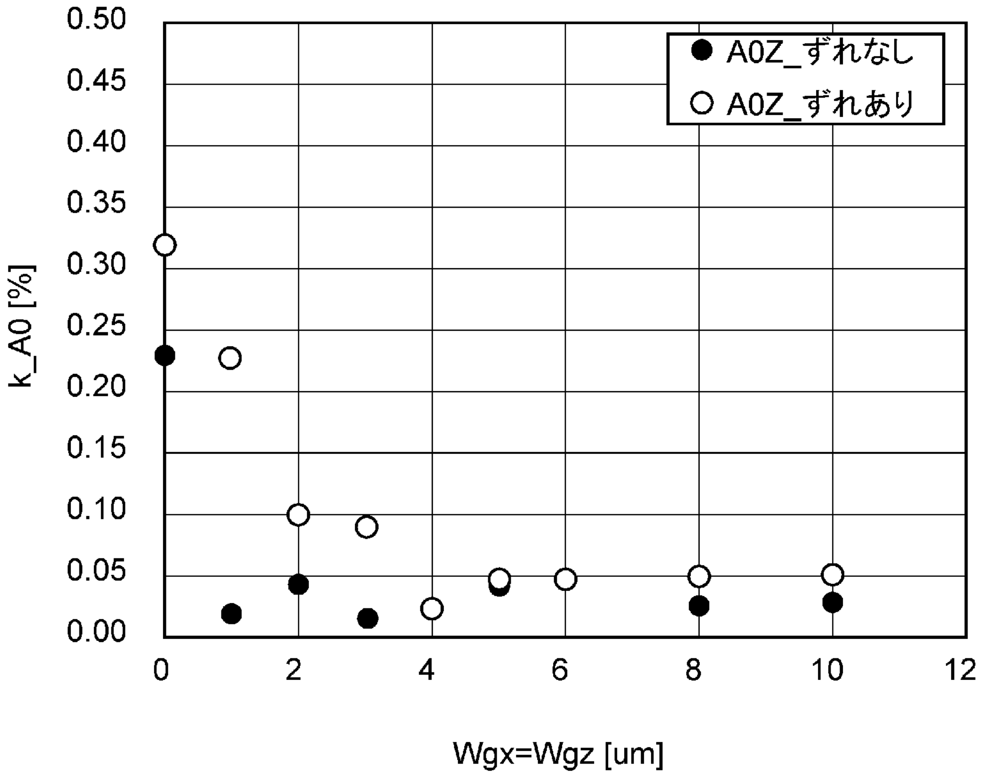
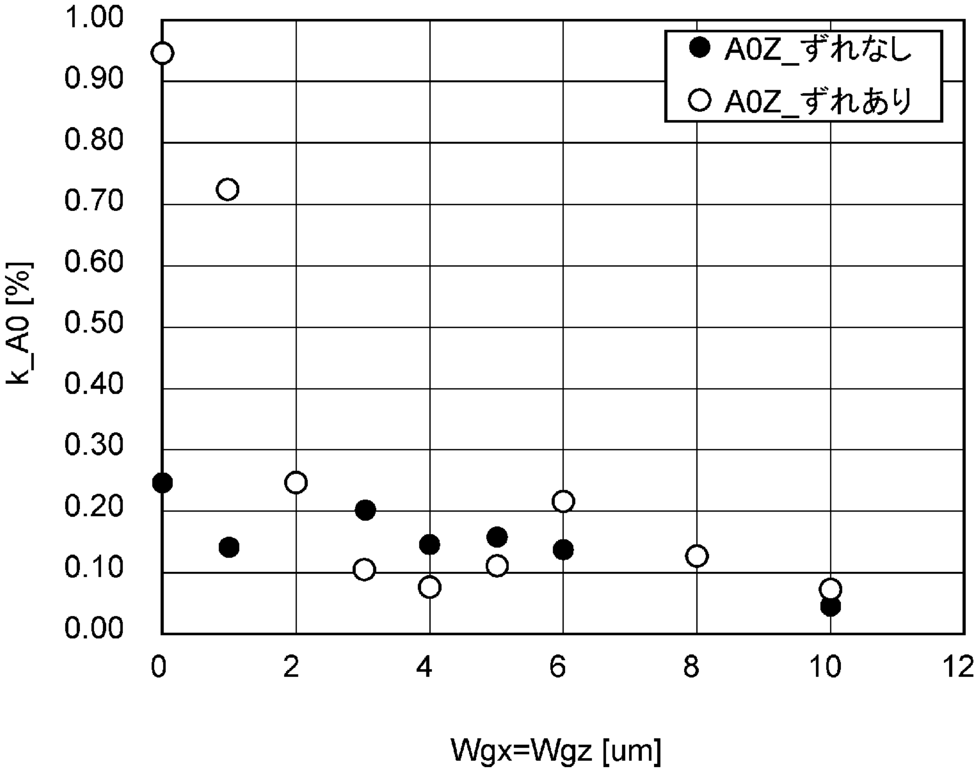

A0Z_ずれなし
A0Z_ずれあり
k_A0 [%]
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0
2
4
6
8
10
12
Wgx=Wgz [um]

図８

[図9]



1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
k_A0 [%]
A0Z_ずれなし
A0Z_ずれあり
0
2
4
6
8
10
12
Wgx=Wgz [um]

図９

[図10]

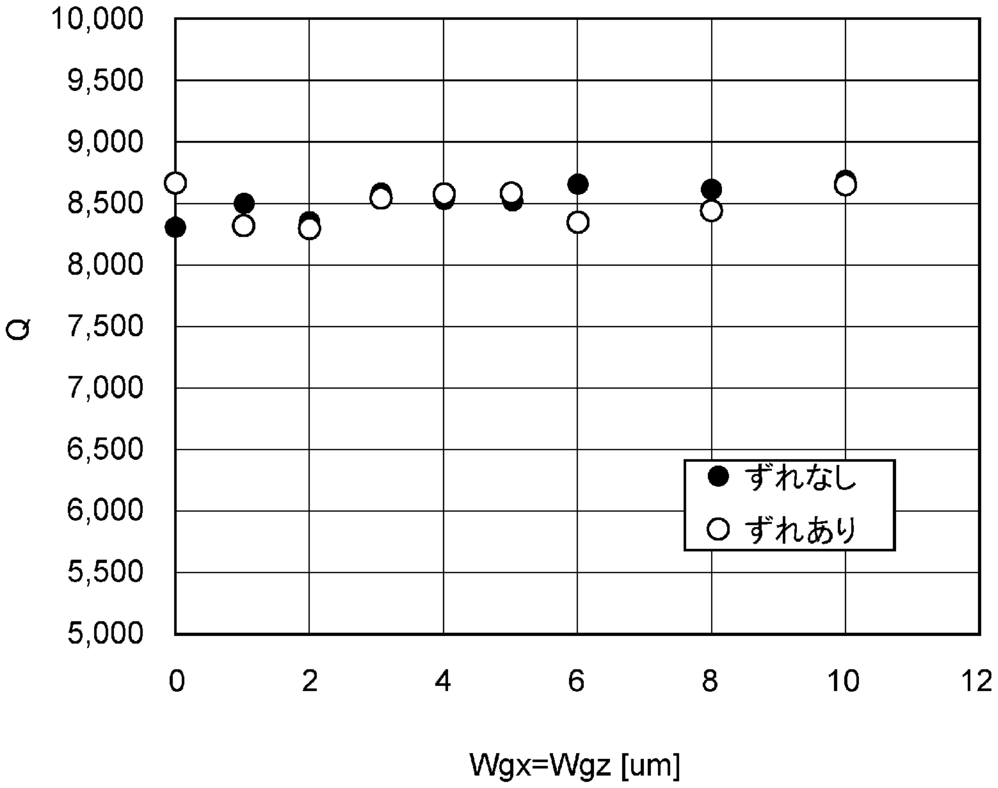

10,000
9,500
9,000
8,500
8,000
7,500
7,000
6,500
6,000
5,500
5,000
Q
0
2
4
6
8
10
12
Wgx=Wgz [um]
ずれなし
ずれあり

図１０

[図11]

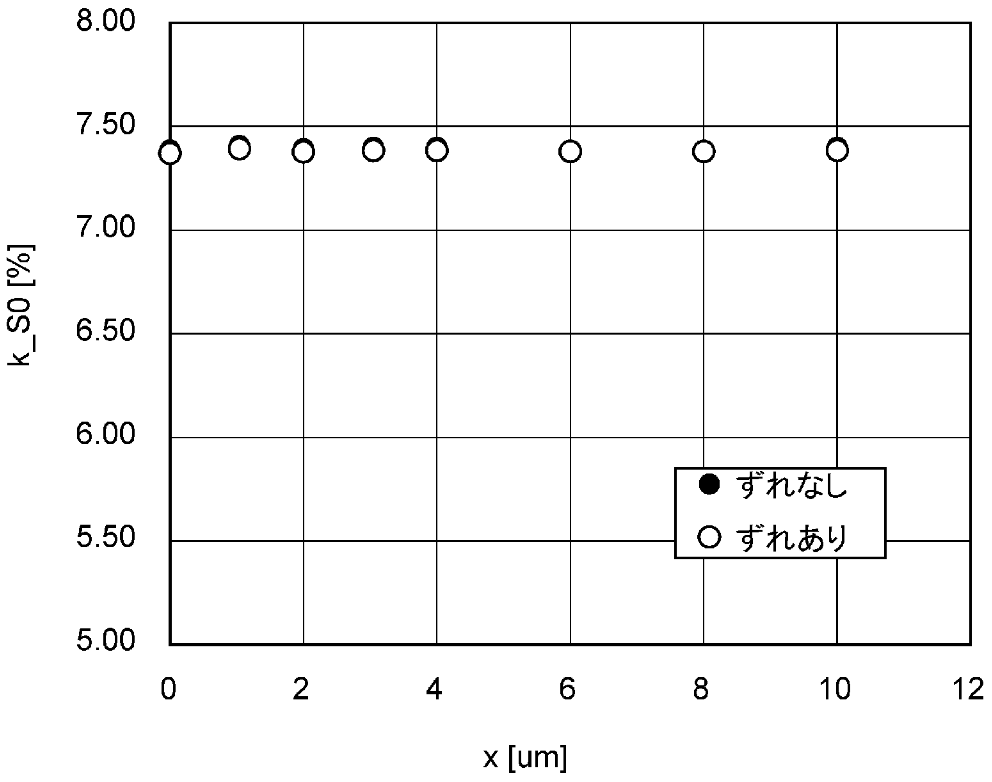


図１１

[図12]

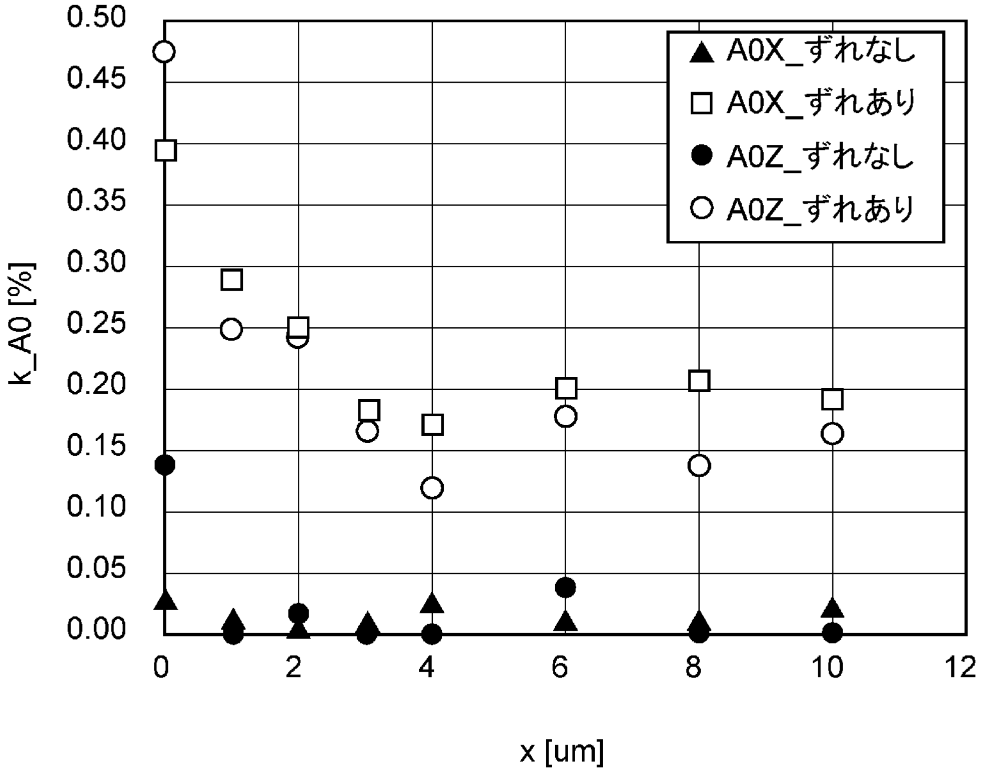

0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
k_A0 [%]
0
2
4
6
8
10
12
x [um]
A0X_ずれなし
A0X_ずれあり
A0Z_ずれなし
A0Z_ずれあり

図１２

[図13]

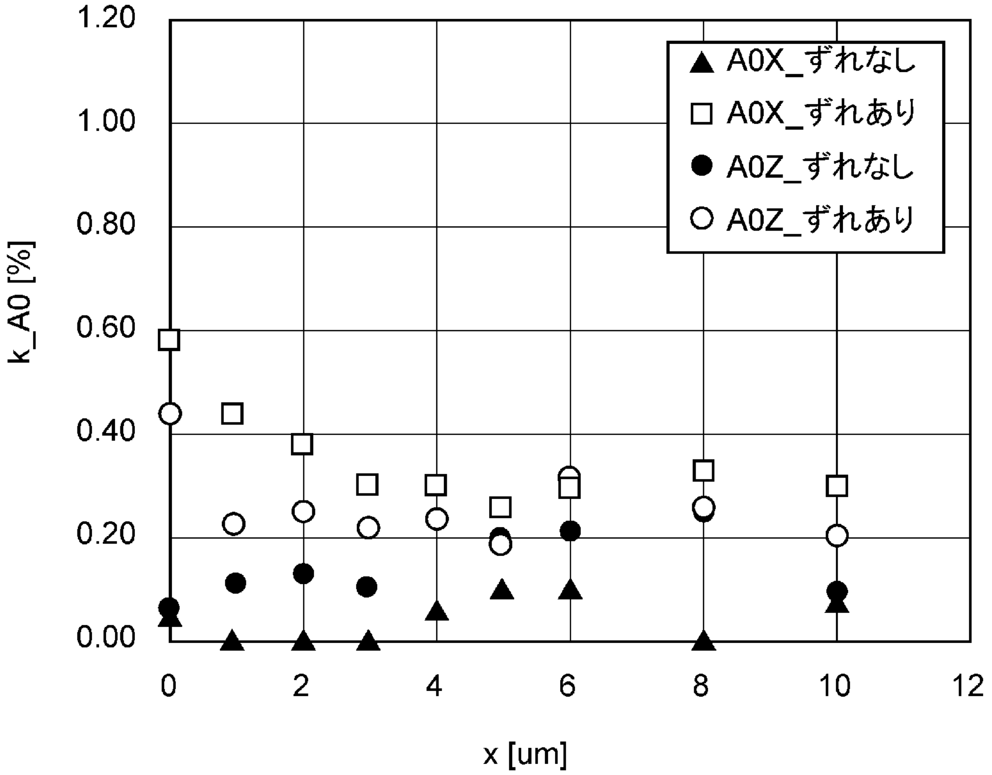

1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
k_A0 [%]
0
2
4
6
8
10
12
x [um]
A0X_ずれなし
A0X_ずれあり
A0Z_ずれなし
A0Z_ずれあり

図１３

[図14]

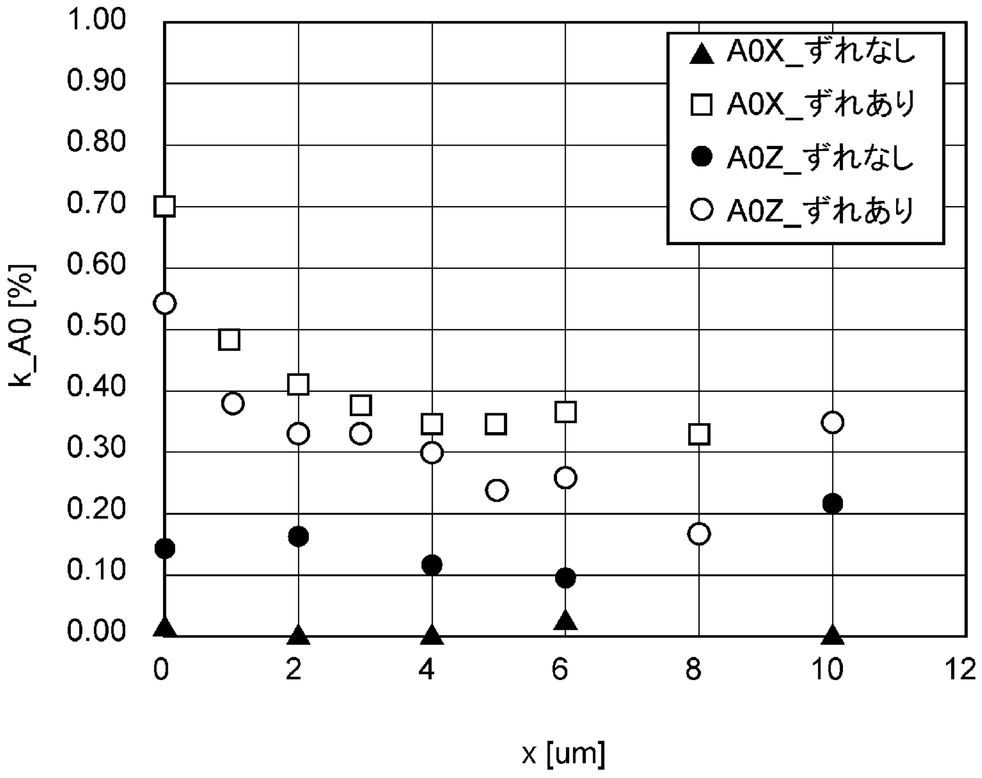

1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
k_A0 [%]
0
2
4
6
8
10
12
x [um]
A0X_ずれなし
A0X_ずれあり
A0Z_ずれなし
A0Z_ずれあり

図１４

[図15]

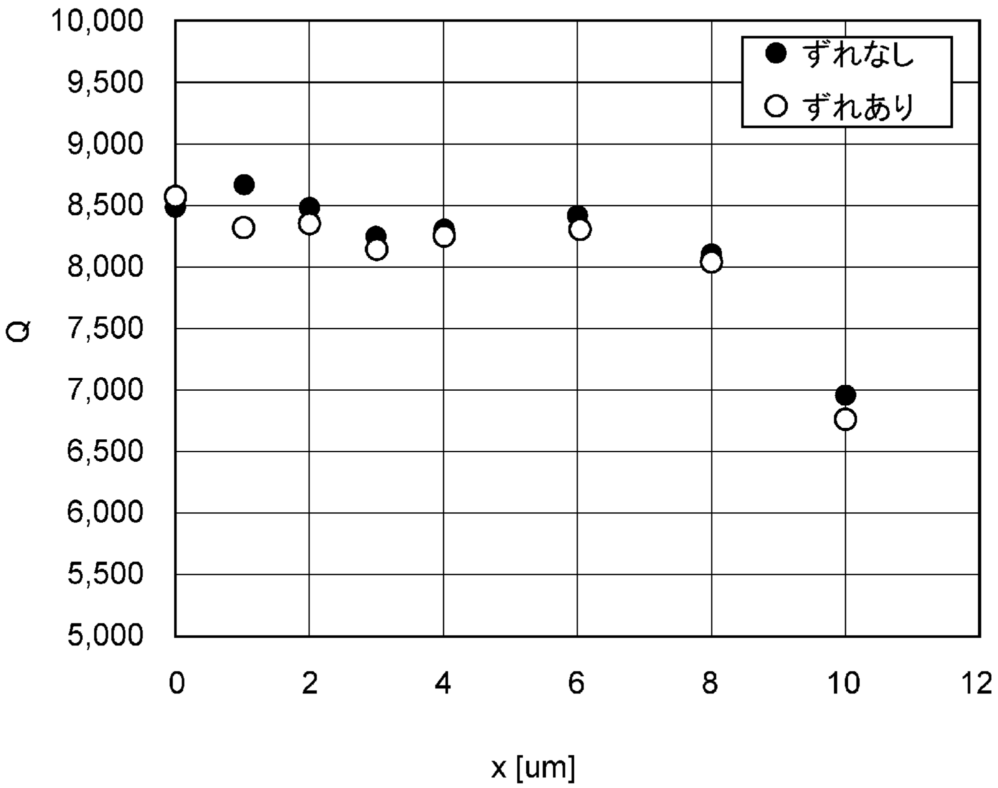

10,000
9,500
9,000
8,500
8,000
7,500
7,000
6,500
6,000
5,500
5,000
Q
0
2
4
6
8
10
12
x [um]
ずれなし
ずれあり

図１５

[図16]

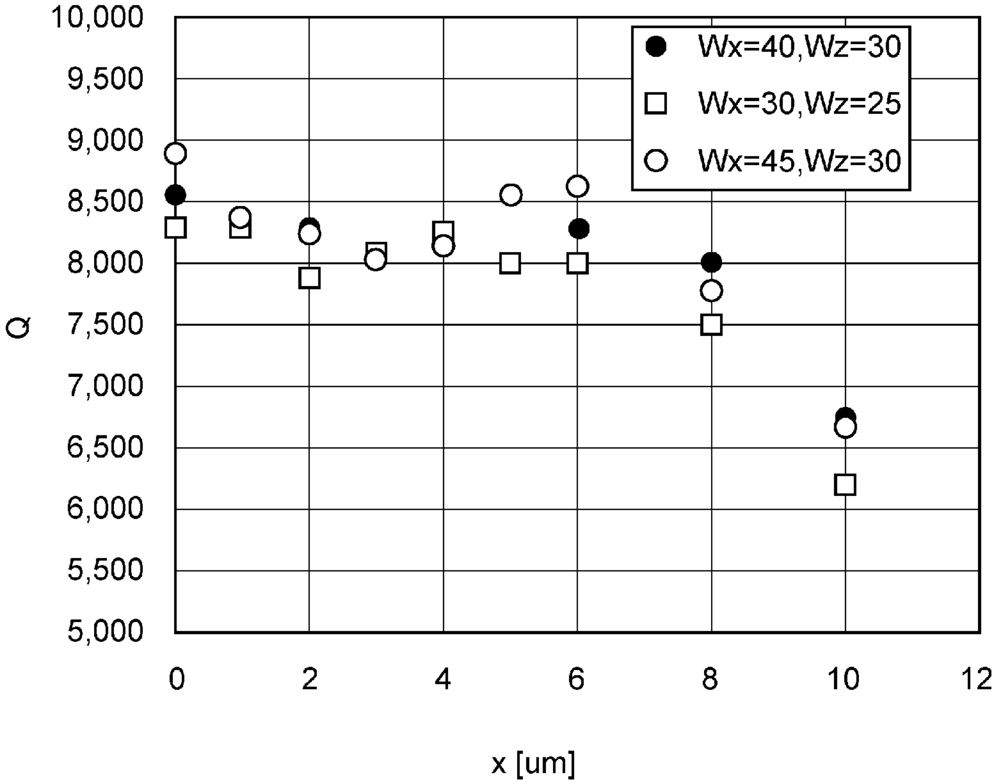

10,000
9,500
9,000
8,500
8,000
7,500
7,000
6,500
6,000
5,500
5,000
Q
0
2
4
6
8
10
12
x [um]
Wx=40,Wz=30
Wx=30,Wz=25
Wx=45,Wz=30

図１６

[図17]

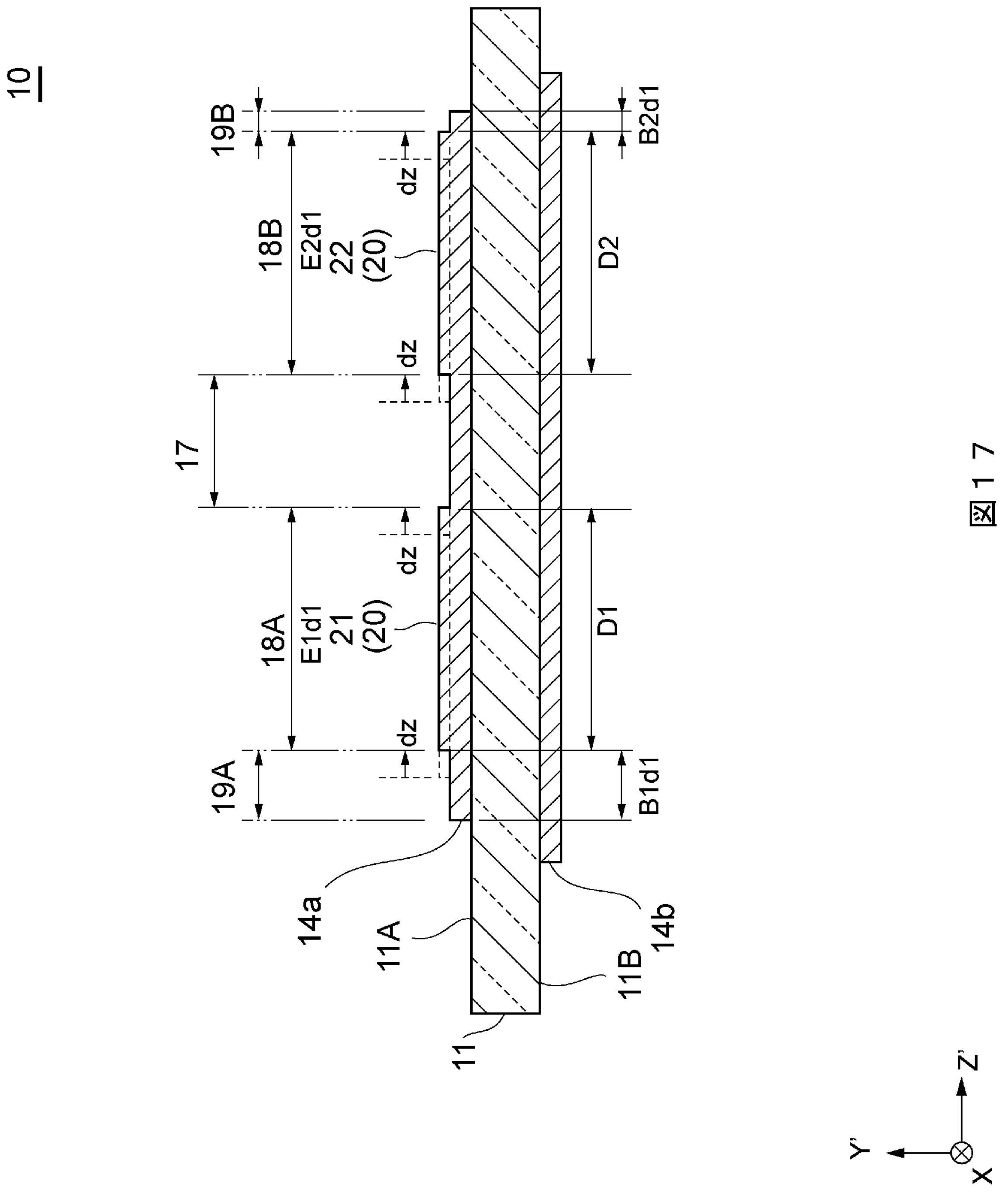

10
19B
18B
17
18A
19A
dz
E2d1
22
(20)
E1d1
21
(20)
B2d1
D2
D1
B1d1
14a
11A
11B
14b
11
Z'
Y'
X

図１７

[図18]

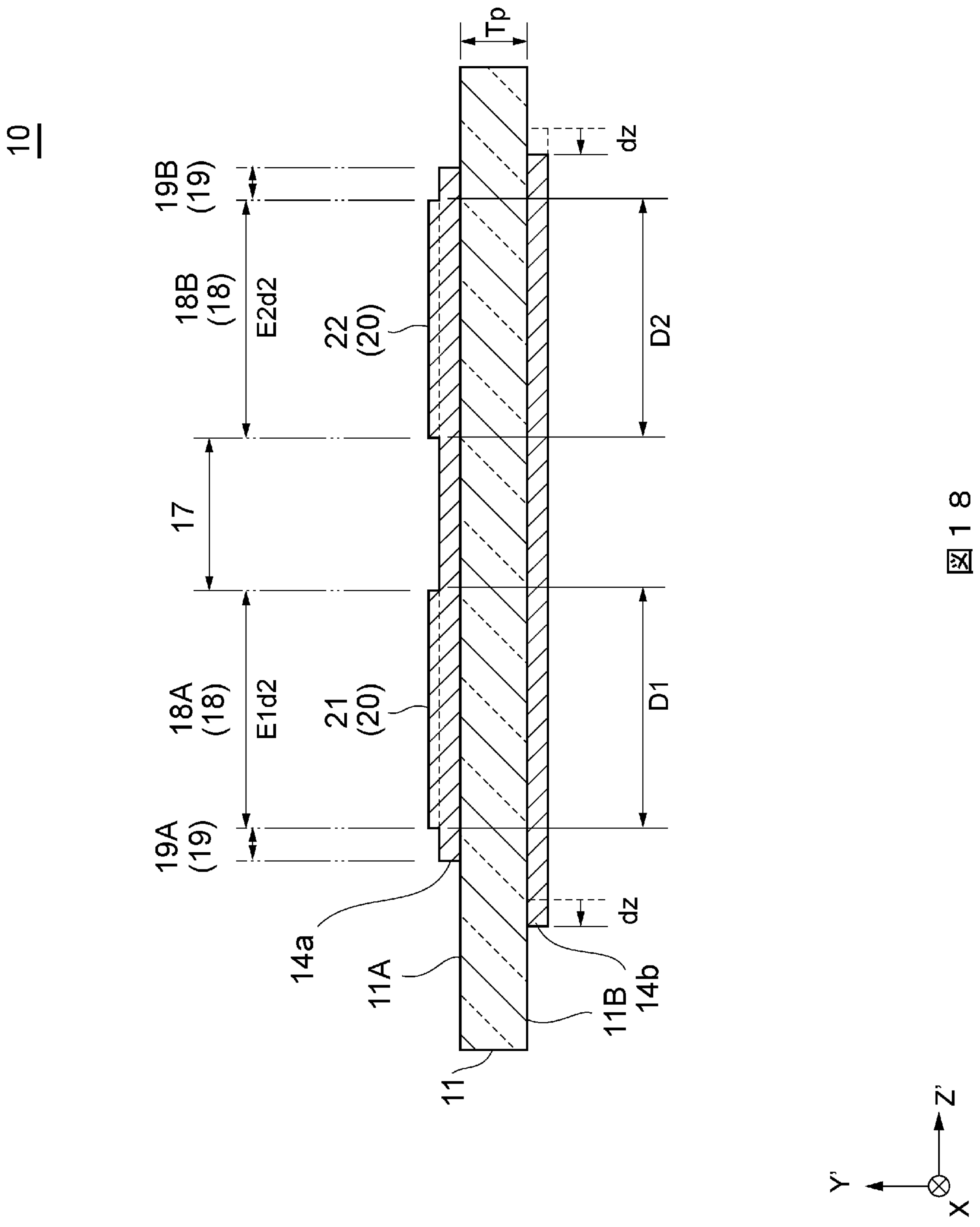

10
Tp
dz
19B
(19)
18B
(18)
E2d2
22
(20)
D2
17
18A
(18)
E1d2
21
(20)
D1
19A
(19)
dz
14a
11A
11B
14b
11
Z'
Y'
X

図１８

[図19]

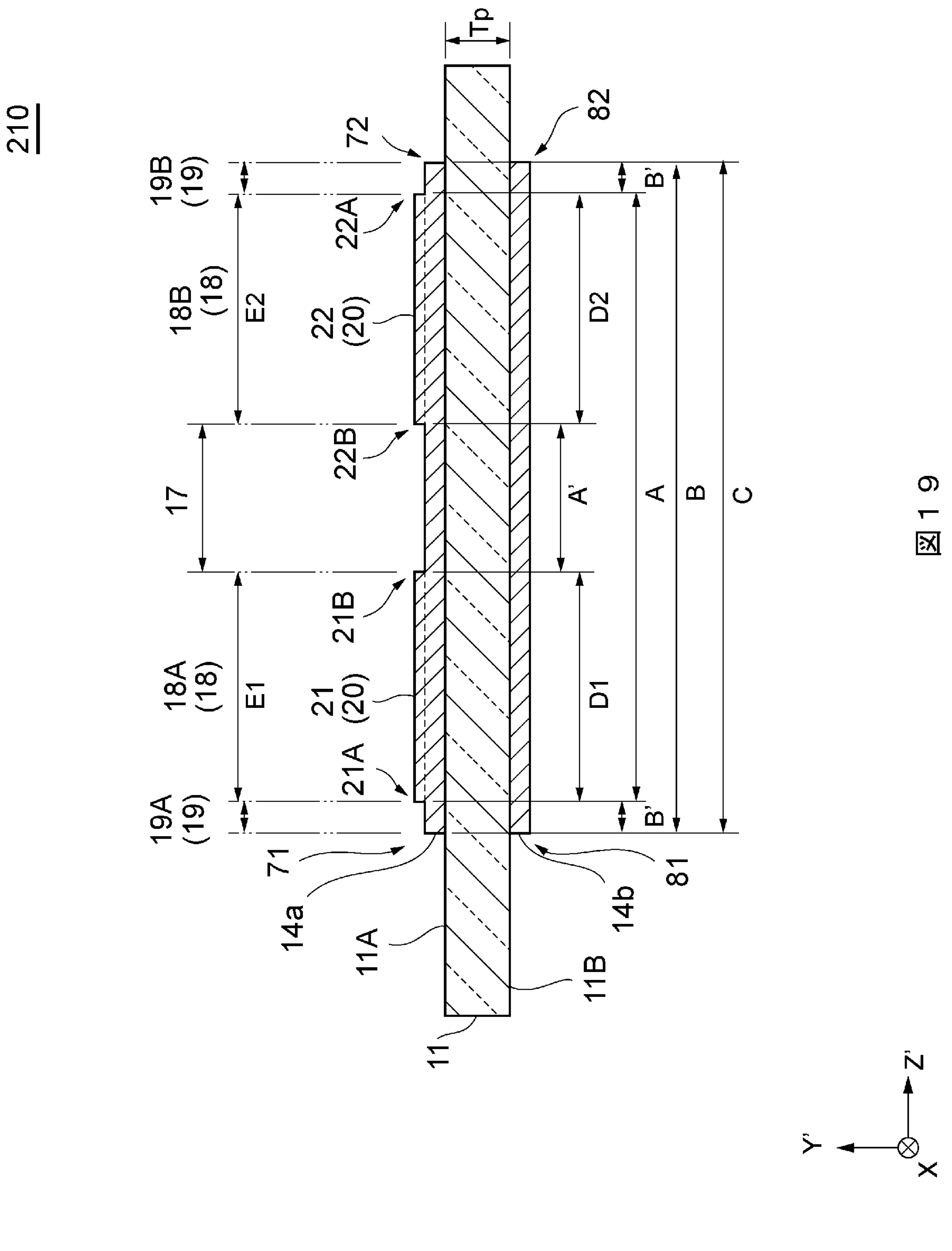

210
Tp
72
82
19B
(19)
22A
18B
(18)
E2
22
(20)
D2
B'
22B
17
A'
A
B
C
21B
18A
(18)
E1
21
(20)
D1
21A
19A
(19)
71
81
14a
14b
11A
11B
11
Z'
Y'
X

図１９

[図20]

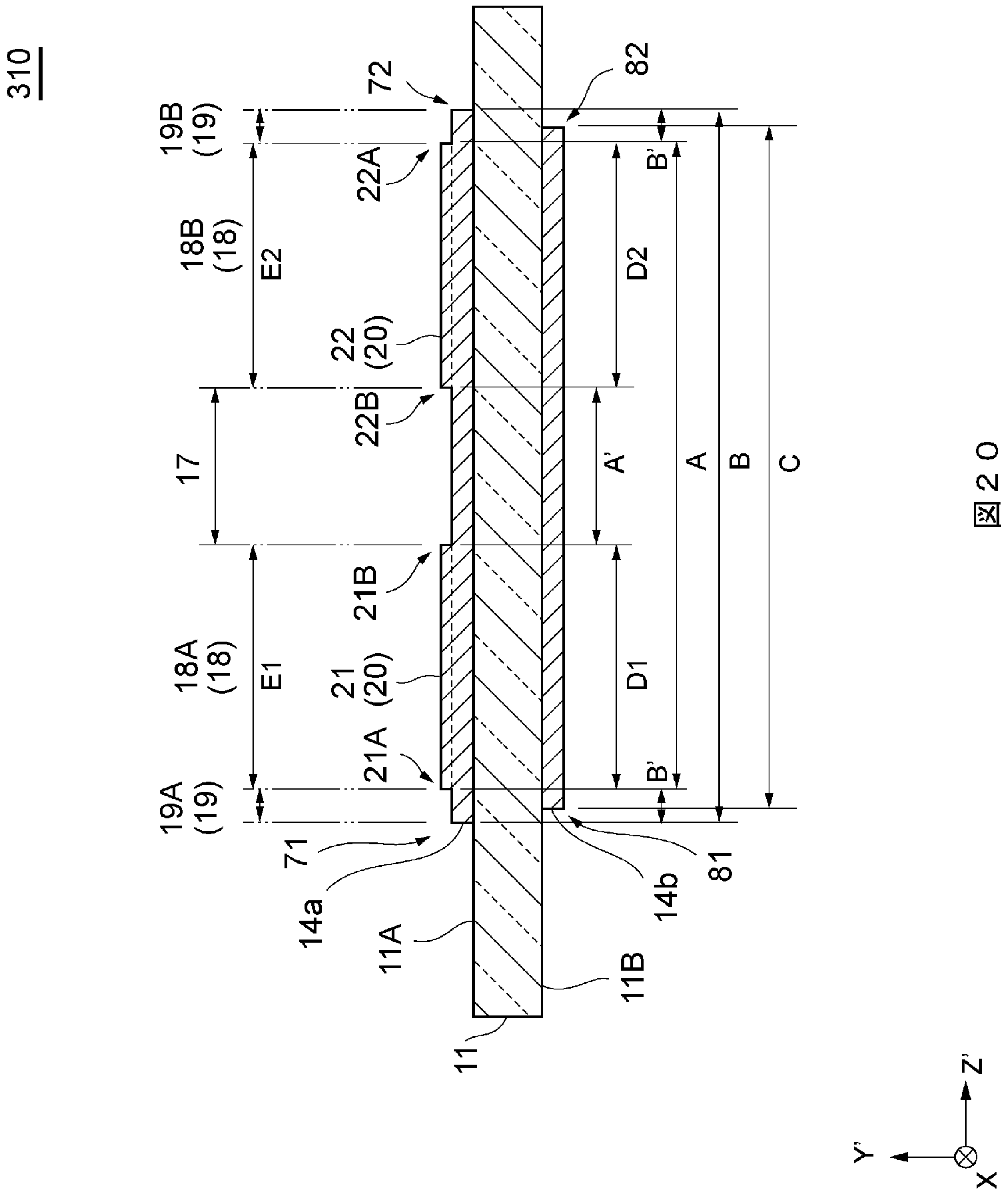

310
72
82
19B
(19)
22A
18B
(18)
E2
22
(20)
22B
17
21B
18A
(18)
E1
21
(20)
21A
19A
(19)
71
14a
11A
11
11B
14b
81
B'
D2
A'
D1
A
B
C
Z'
Y'
X

図２０

[図21]

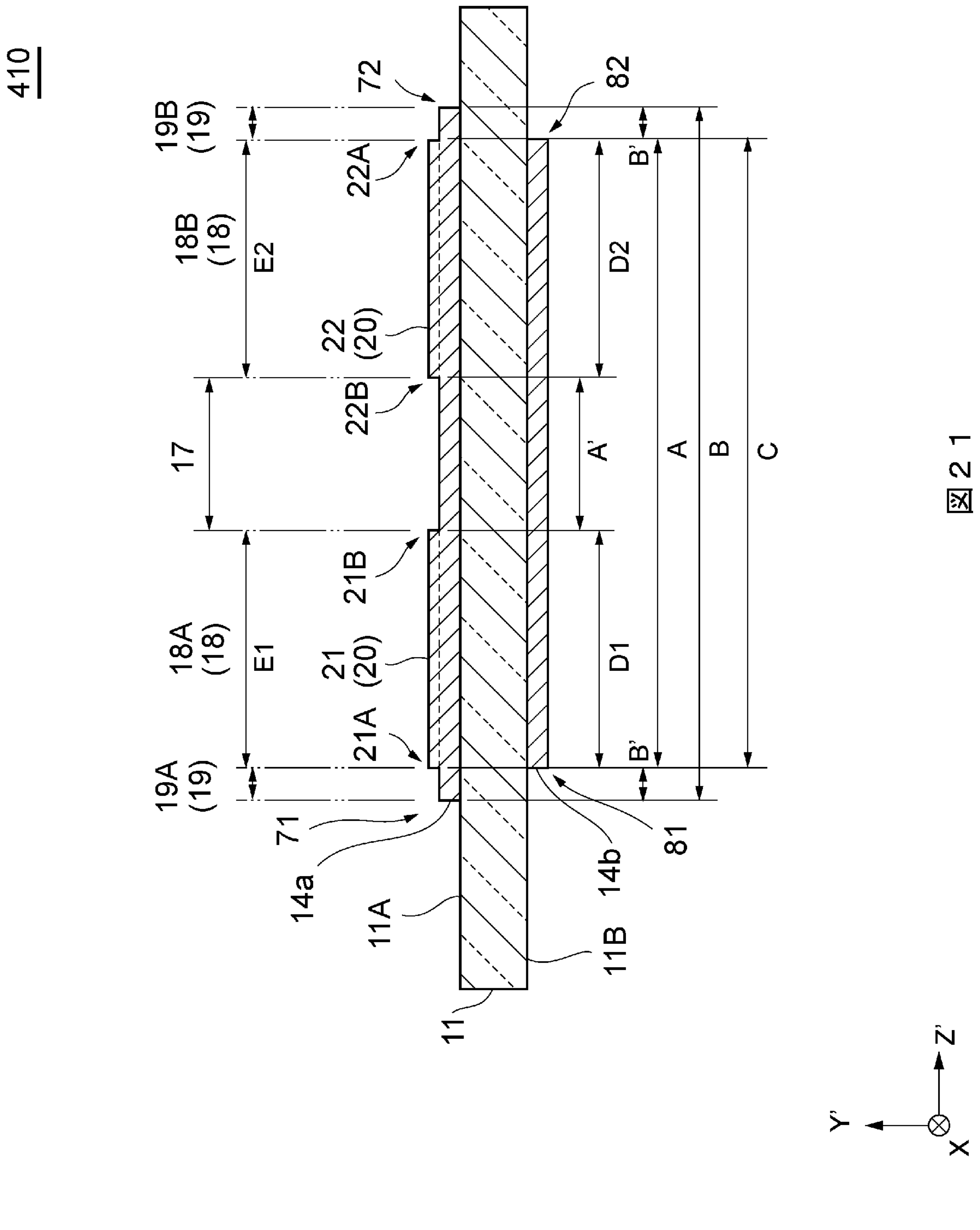

410
72
82
19B
(19)
22A
B'
18B
(18)
E2
D2
22
(20)
22B
17
A'
A
B
C
21B
18A
(18)
E1
21
(20)
D1
21A
19A
(19)
71
14a
14b
81
11A
11B
11
Z'
Y'
X

図２１

[図22]

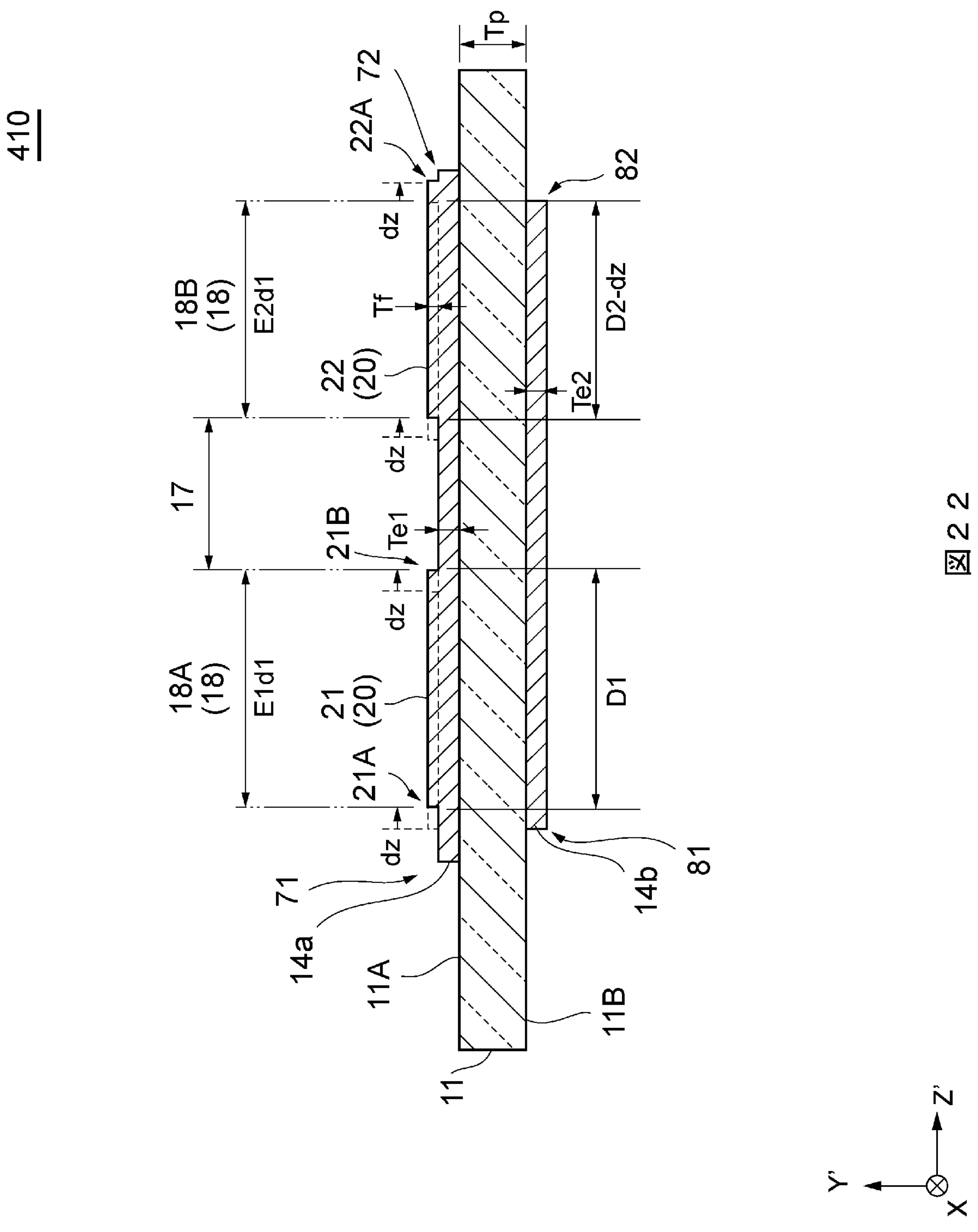

410
Tp
72
22A
82
dz
18B
(18)
E2d1
Tf
D2-dz
22
(20)
Te2
17
21B
Te1
18A
(18)
E1d1
21
(20)
D1
21A
71
14a
14b
81
11A
11B
11
Z'
Y'
X

図２２

[図23]

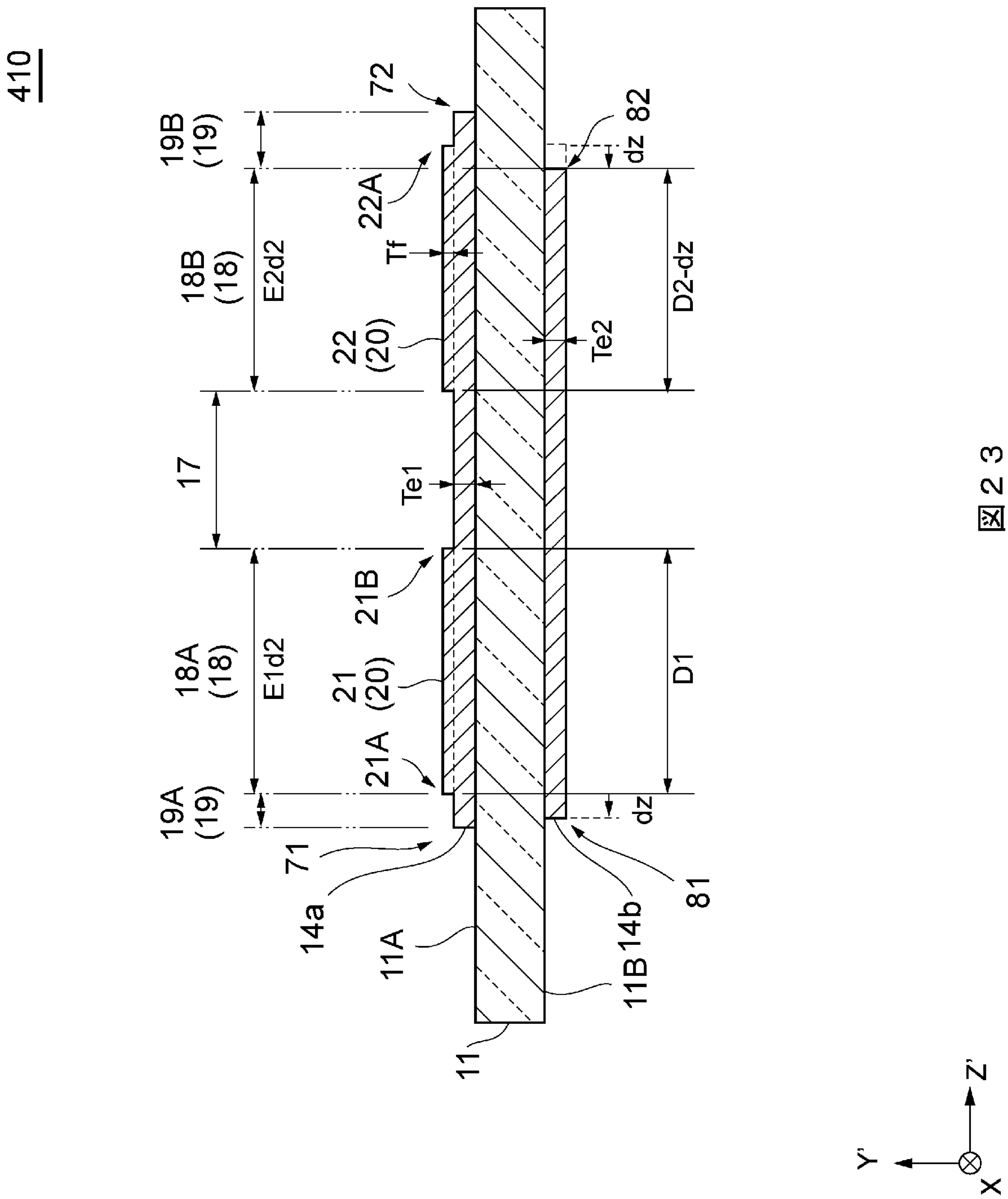

410
72
19B
(19)
22A
82
dz
Tf
18B
(18)
E2d2
D2-dz
22
(20)
Te2
17
Te1
21B
18A
(18)
E1d2
21
(20)
D1
21A
19A
(19)
dz
71
14a
81
11A
14b
11B
11
Z'
Y'
X

図２３

[図24]

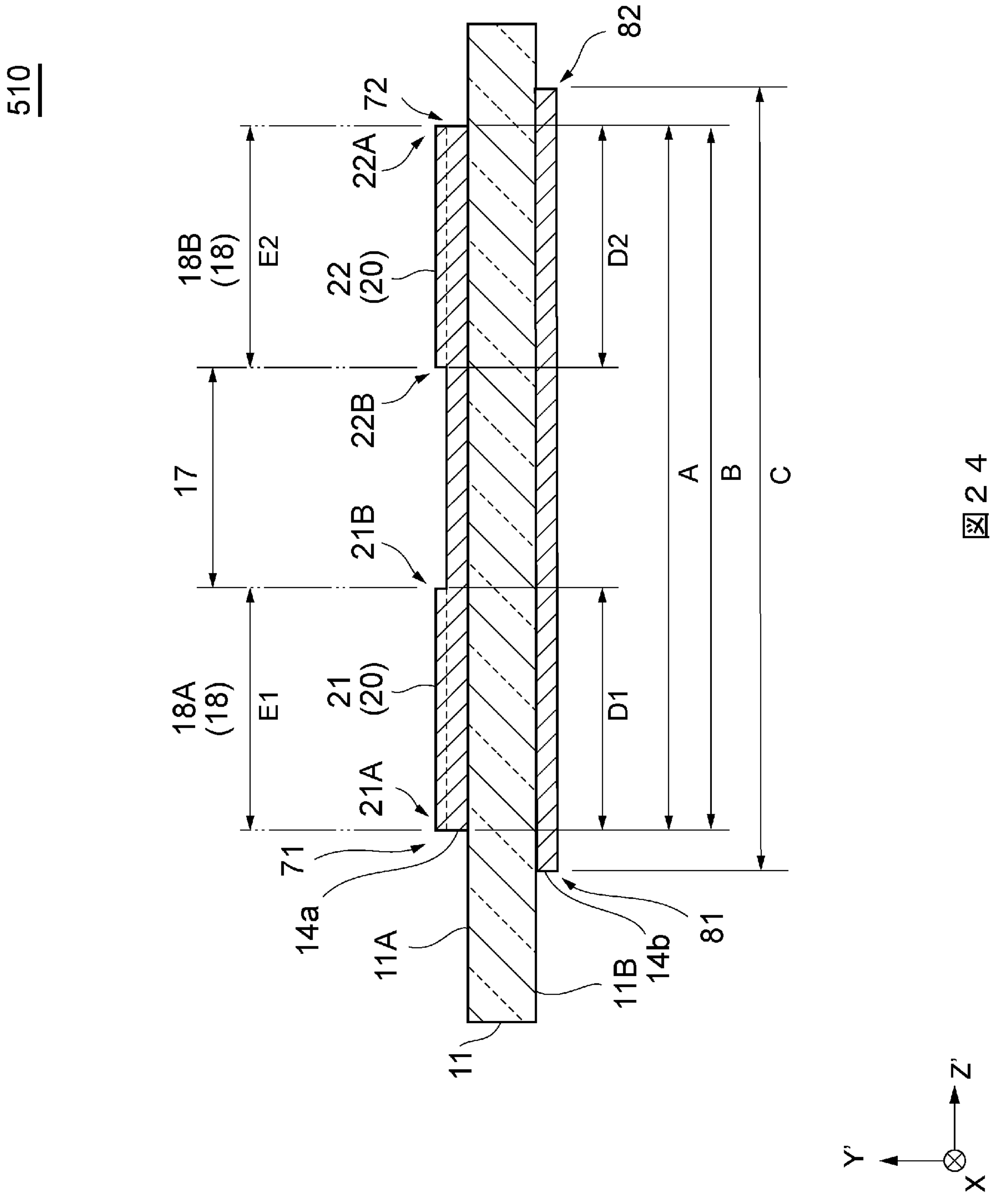

510
82
72
22A
18B
(18)
E2
22
(20)
D2
22B
17
21B
A
B
C
18A
(18)
E1
21
(20)
D1
21A
71
14a
11A
11B
14b
81
11
Z'
Y'
X

図２４

[図25]

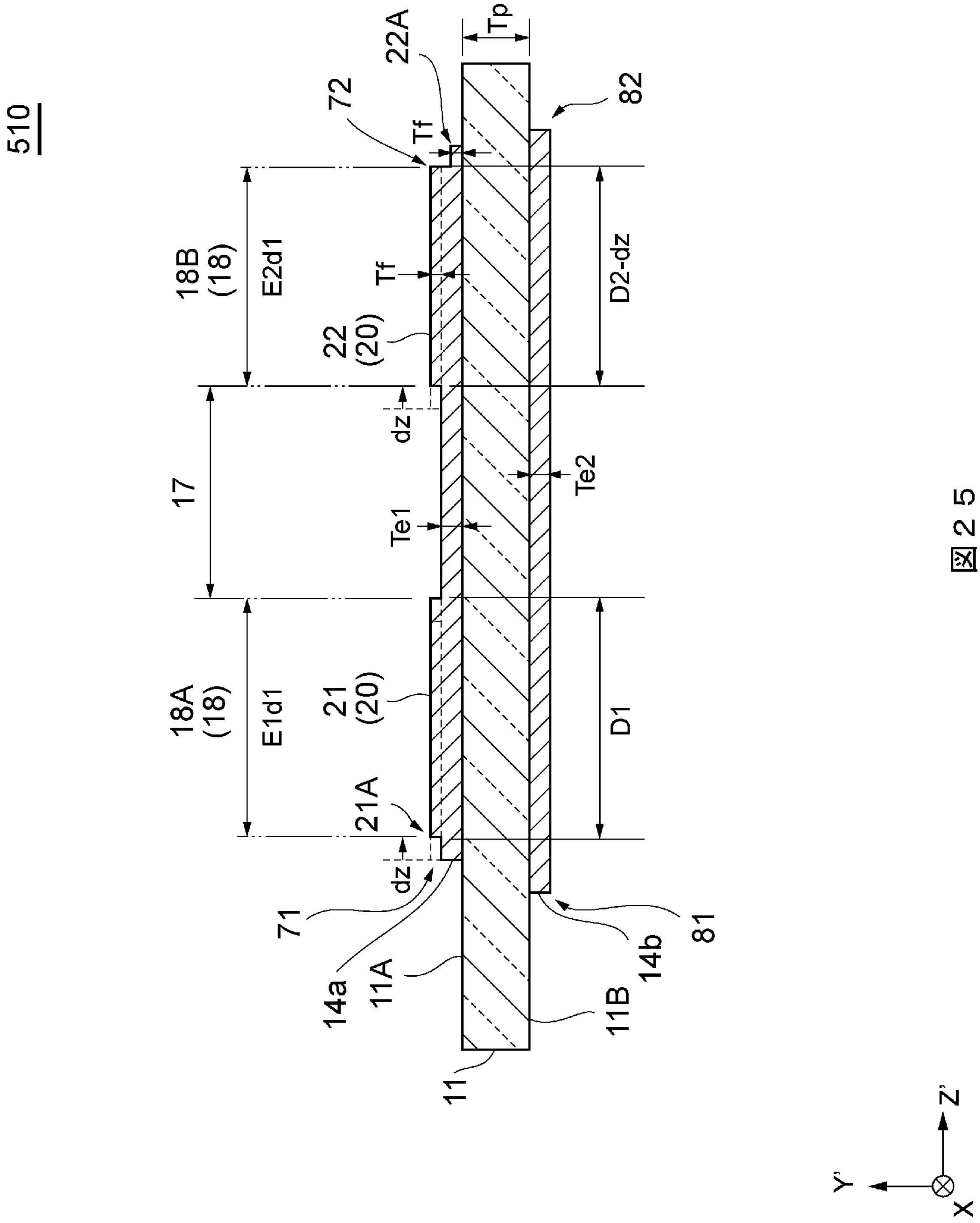

510
Tp
22A
82
72
Tf
18B
(18)
E2d1
Tf
D2-dz
22
(20)
dz
17
Te2
Te1
18A
(18)
E1d1
21
(20)
D1
21A
dz
71
14a
11A
14b
81
11B
11
Z'
Y'
X

図２５

[図26]

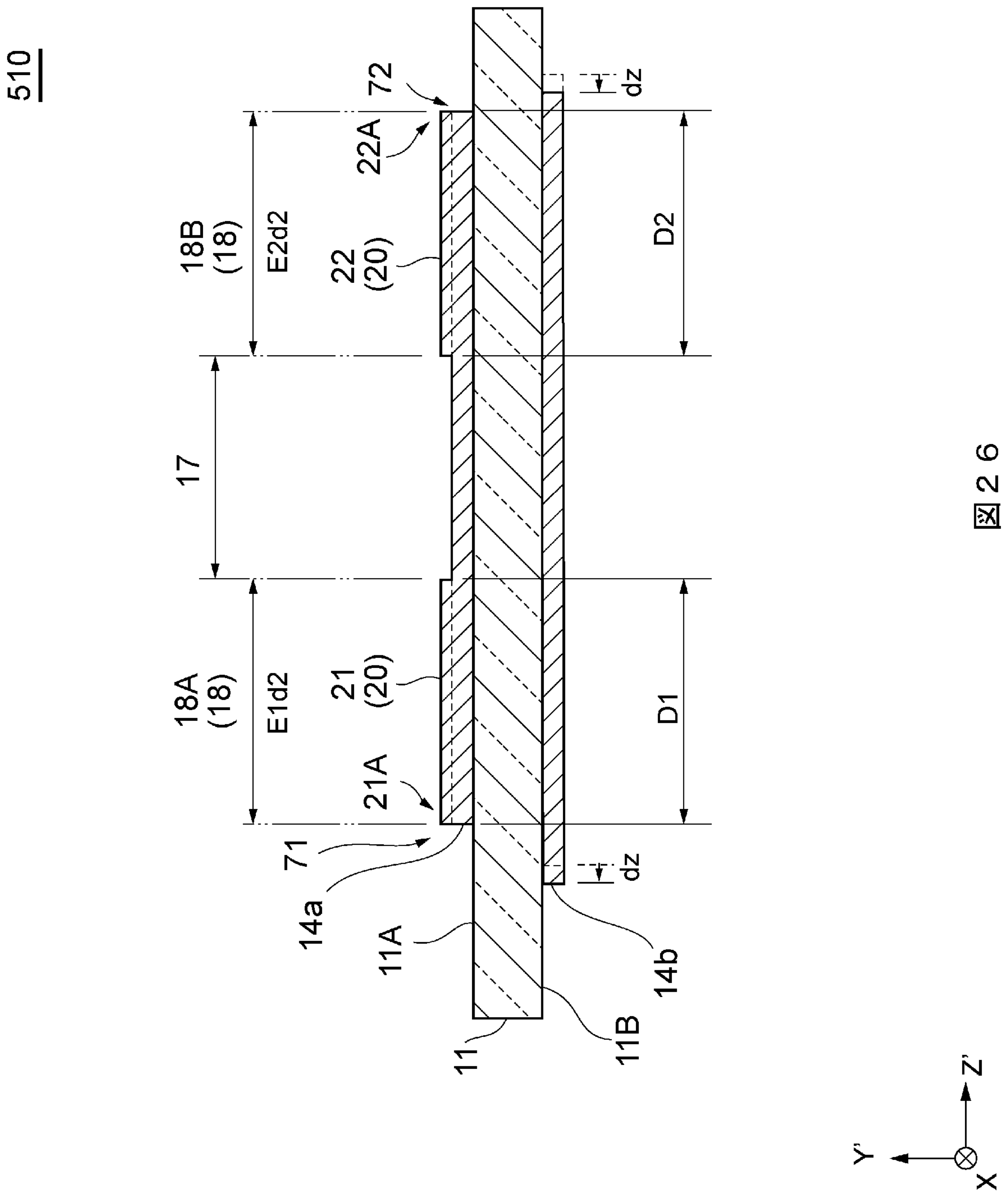

510
72
dz
22A
18B
(18)
E2d2
22
(20)
D2
17
18A
(18)
E1d2
21
(20)
D1
21A
71
dz
14a
11A
14b
11
11B
Z'
Y'
X

図２６

[図27]

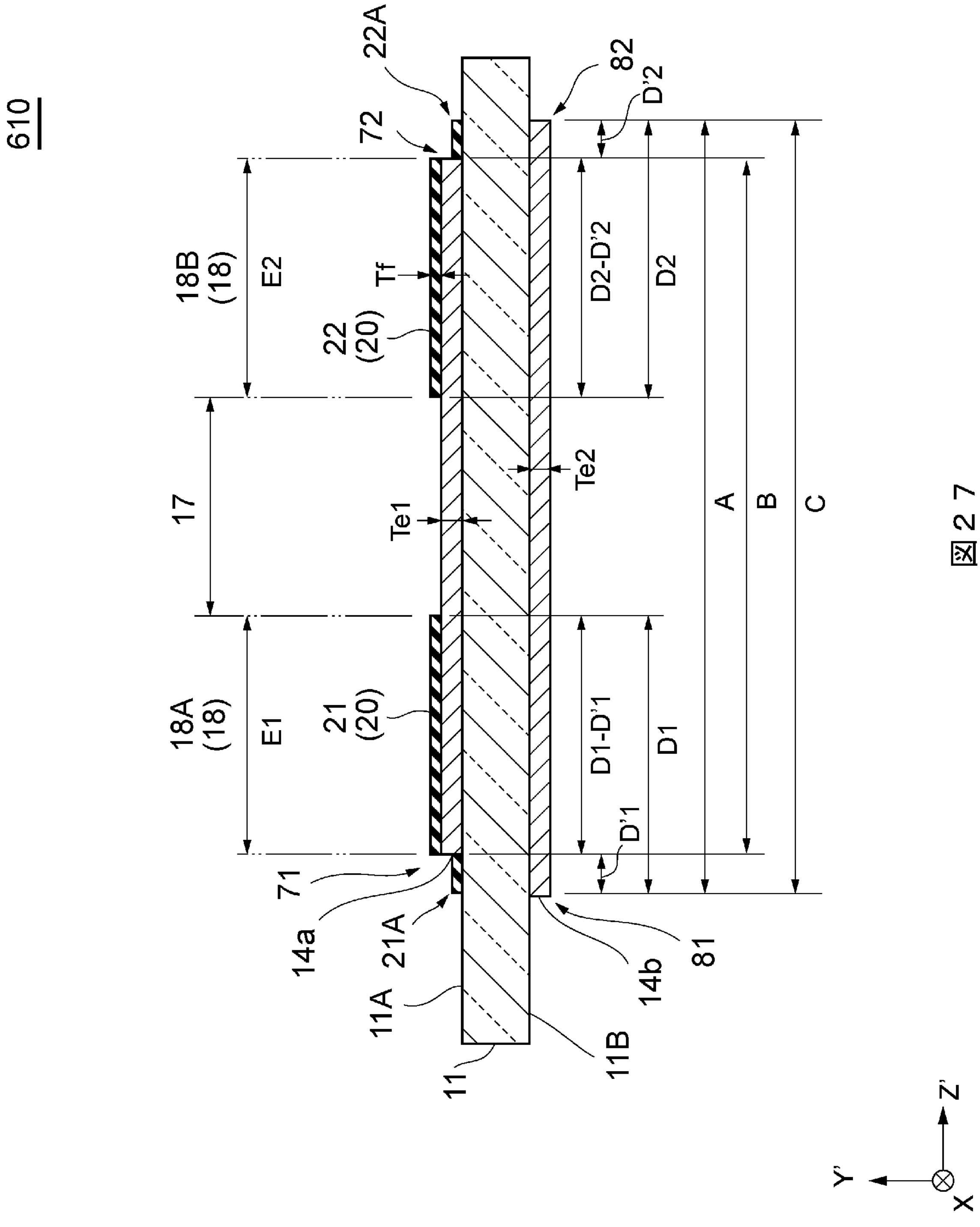

610
22A
82
D'2
72
18B
(18)
E2
Tf
D2-D'2
D2
22
(20)
17
Te2
Te1
A
B
C
18A
(18)
E1
21
(20)
D1-D'1
D1
D'1
71
14a
21A
14b
81
11A
11B
11
Z'
Y'
X

図２７

[図28]

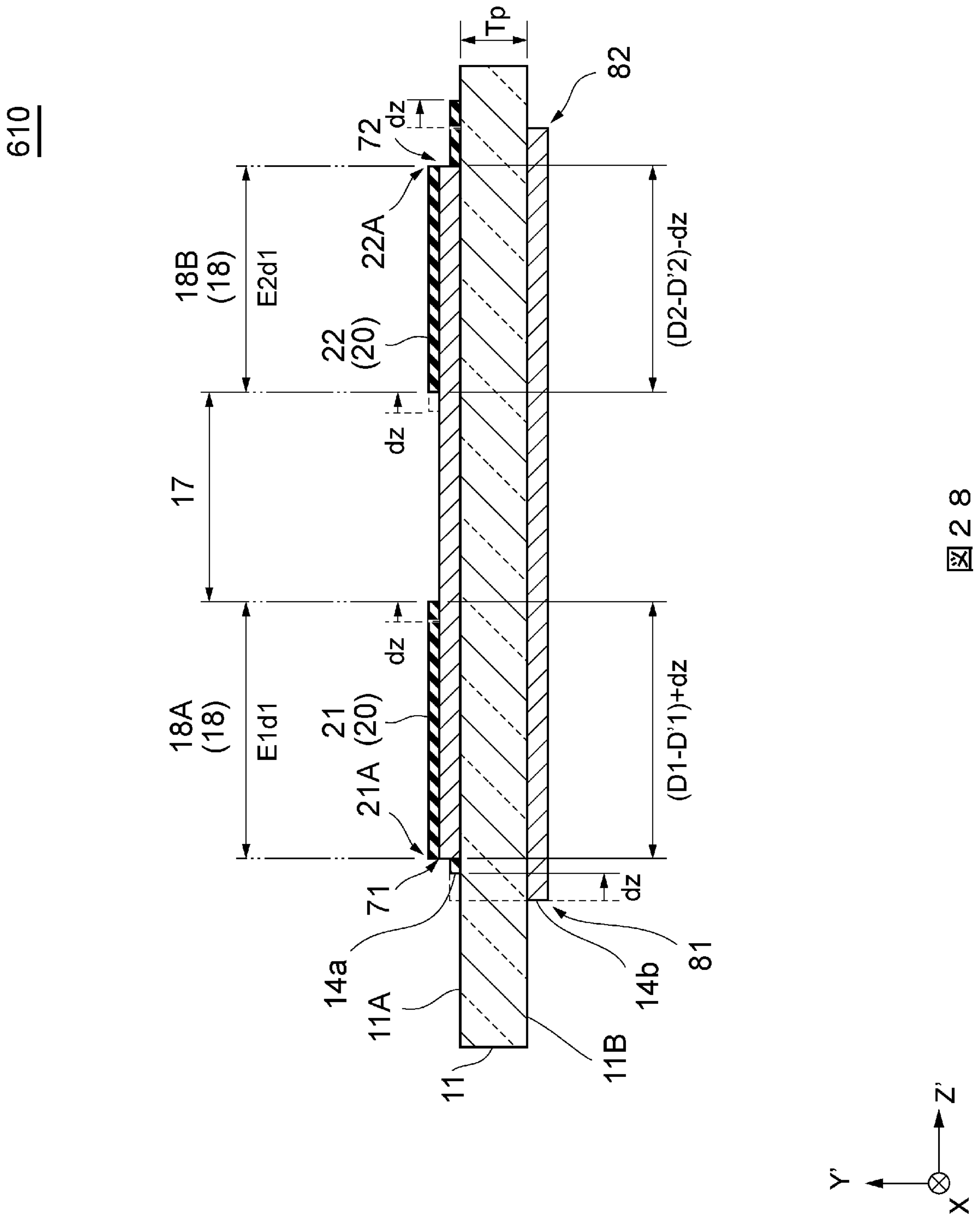

610
Tp
82
dz
72
22A
18B
(18)
E2d1
22
(20)
(D2-D'2)-dz
dz
17
dz
18A
(18)
E1d1
21
(20)
21A
(D1-D'1)+dz
dz
71
14a
11A
11
11B
14b
81
Z'
Y'
X

図２８

[図29]

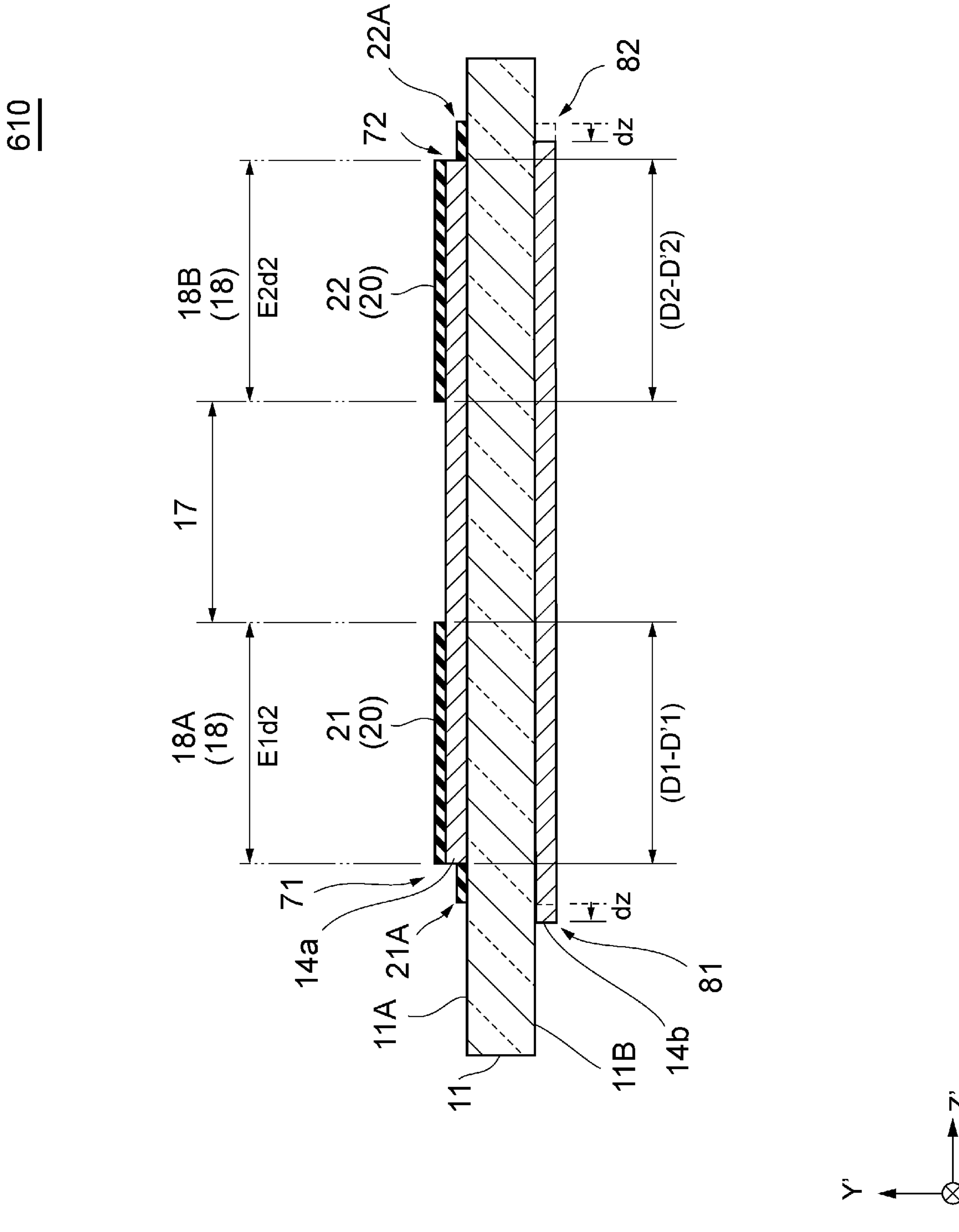
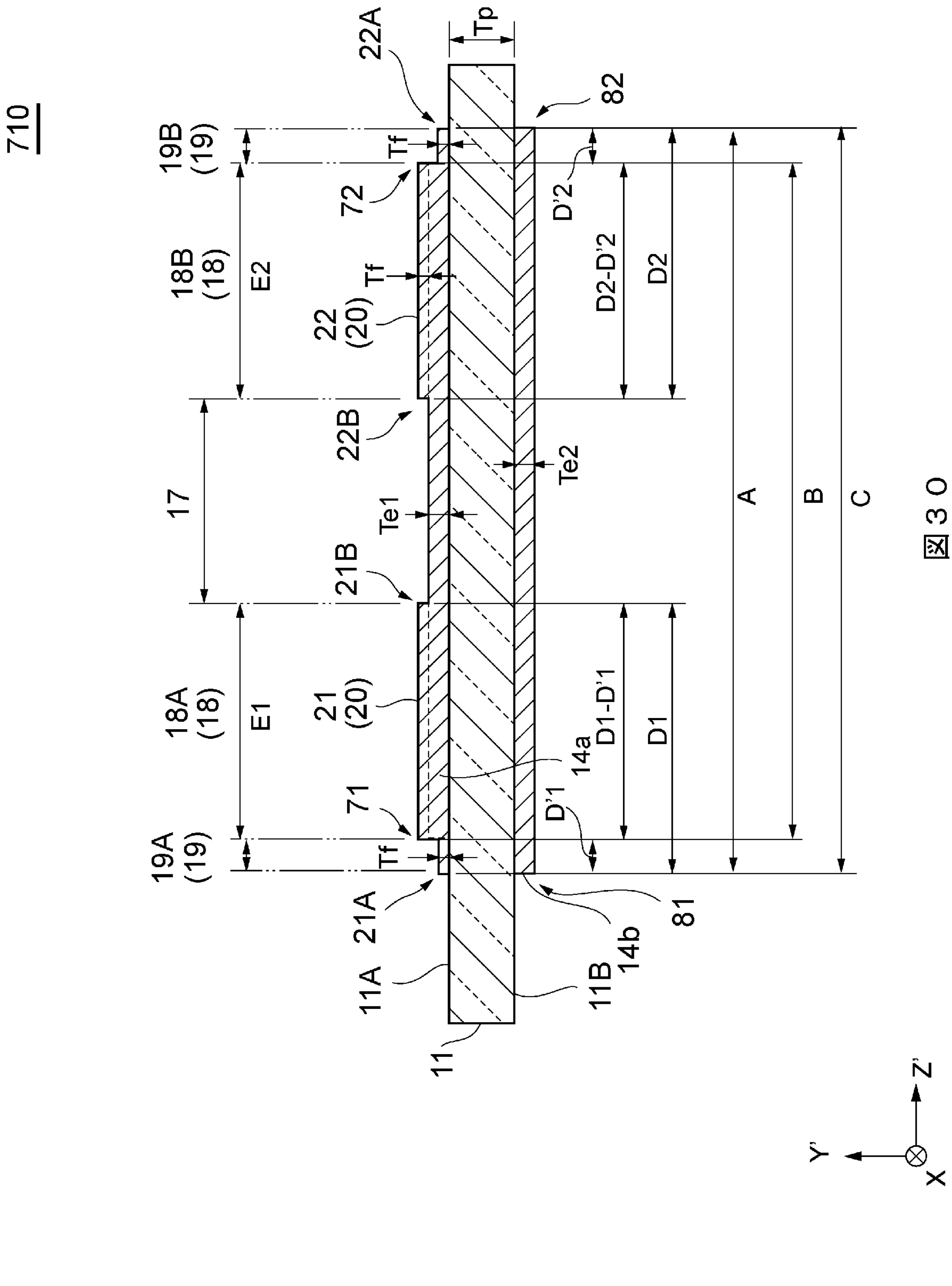

610
22A
82
72
dz
18B
(18)
E2d2
22
(20)
(D2-D'2)
17
18A
(18)
E1d2
21
(20)
(D1-D'1)
71
14a
21A
11A
11
11B
14b
81
dz
Z'
Y'
X

図２９

[図30]



710
22A
Tp
82
19B
(19)
Tf
72
D'2
18B
(18)
E2
Tf
22
(20)
D2-D'2
D2
22B
Te2
17
Te1
A
B
C
21B
18A
(18)
E1
21
(20)
14a
D1-D'1
D1
71
D'1
19A
(19)
Tf
21A
81
14b
11A
11B
11
Z'
Y'
X

図３０

[図31]

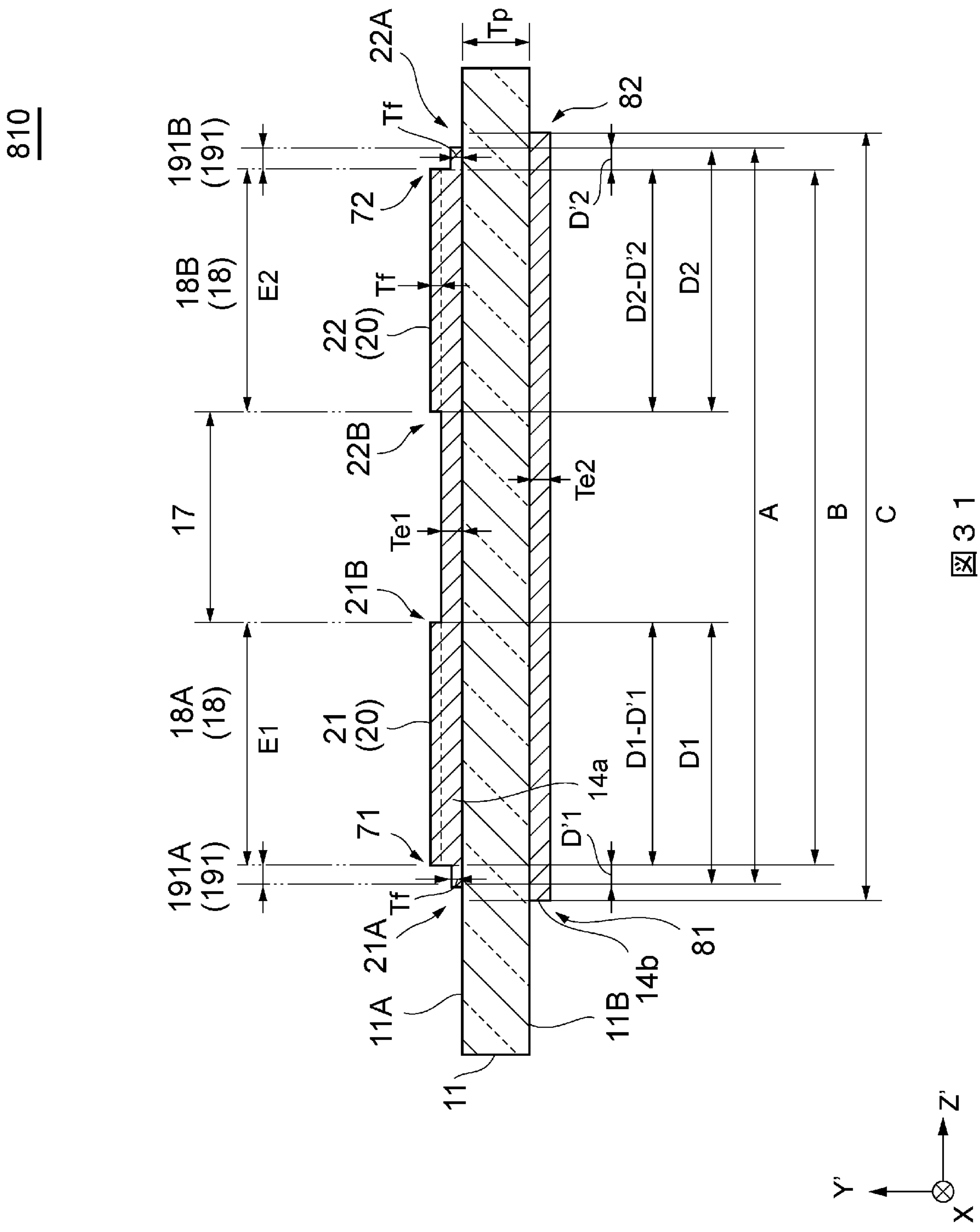

810
22A
Tp
82
191B
(191)
Tf
72
D'2
18B
(18)
E2
Tf
22
(20)
D2-D'2
D2
17
22B
Te2
Te1
A
B
C
21B
18A
(18)
21
(20)
E1
D1-D'1
D1
14a
71
D'1
191A
(191)
Tf
21A
81
14b
11A
11B
11
Z'
Y'
X

図３１

[図32]

		S0モード				A0Zモード			
		ずれなし	Frame ずれ	裏面ずれ	両方ずれ	ずれなし	Frame ずれ	裏面ずれ	両方ずれ
		k(%)	Δk(%)	Δk(%)	Δk(%)	k(%)	Δk(%)	Δk(%)	Δk(%)
比較例	A＝B＝C	7.33	-0.15	-0.04	-0.28	0.00	1.07	0.69	1.43
第１実施形態	A＜B＜C	6.86	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.05	0.02
第２実施形態	A＜B＝C	6.89	0.00	0.01	0.01	0.07	0.03	0.06	0.05
第３実施形態	A＜C＜B	7.16	-0.01	-0.02	-0.06	0.16	0.17	0.19	0.35
第４実施形態	A＝C＜B	7.16	-0.01	-0.02	-0.06	0.16	0.34	0.36	0.51
第５実施形態	A＝B＜C	7.34	-0.13	0.00	-0.14	0.02	0.89	0.02	0.96
第６実施形態	B＜A＝C	7.09	-0.13	0.00	-0.15	0.12	1.01	0.03	1.06
第７実施形態	B＜A＝C	7.07	-0.20	0.00	-0.22	0.05	1.27	0.11	1.31
第８実施形態	B＜A＜C	6.80	-0.18	0.00	-0.19	0.15	1.29	0.07	1.31

図３２

[図33]

	パラメータ			比較例	第1 実施形態	第2 実施形態	第3 実施形態	第4 実施形態	第5 実施形態	第6 実施形態	第7 実施形態	第8 実施形態
断面寸法	水晶厚	Tp	[um]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Frame厚	Tf	[um]	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	上部電極厚	Te1	[um]	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	下部電極厚	Te2	[um]	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
平面寸法	共振子	Px	[um]	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		Pz	[um]	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Frameの内側	Xf	[um]	19	27	27	27	27	19	11	11	11
		Zf	[um]	30	38	38	38	38	30	22	22	22
	Frame幅	Wx	[um]	28	24	24	26	26	28	32	32	32
		Wz	[um]	20	16	16	18	18	20	24	24	24
	Frame gap	Wgx	[um]	0	4	4	4	2	0	-4	-4	-4
		Wgz	[um]	0	4	4	4	2	0	-4	-4	-4
	上部電極	Xe1	[um]	75	75	75	79	79	75	75	75	75
		Ze1	[um]	70	70	70	74	74	70	70	70	70
	下部電極	Xe2	[um]	75	79	75	75	75	79	79	79	87
		Ze2	[um]	70	74	70	70	70	74	74	74	82

図３３

[図34]

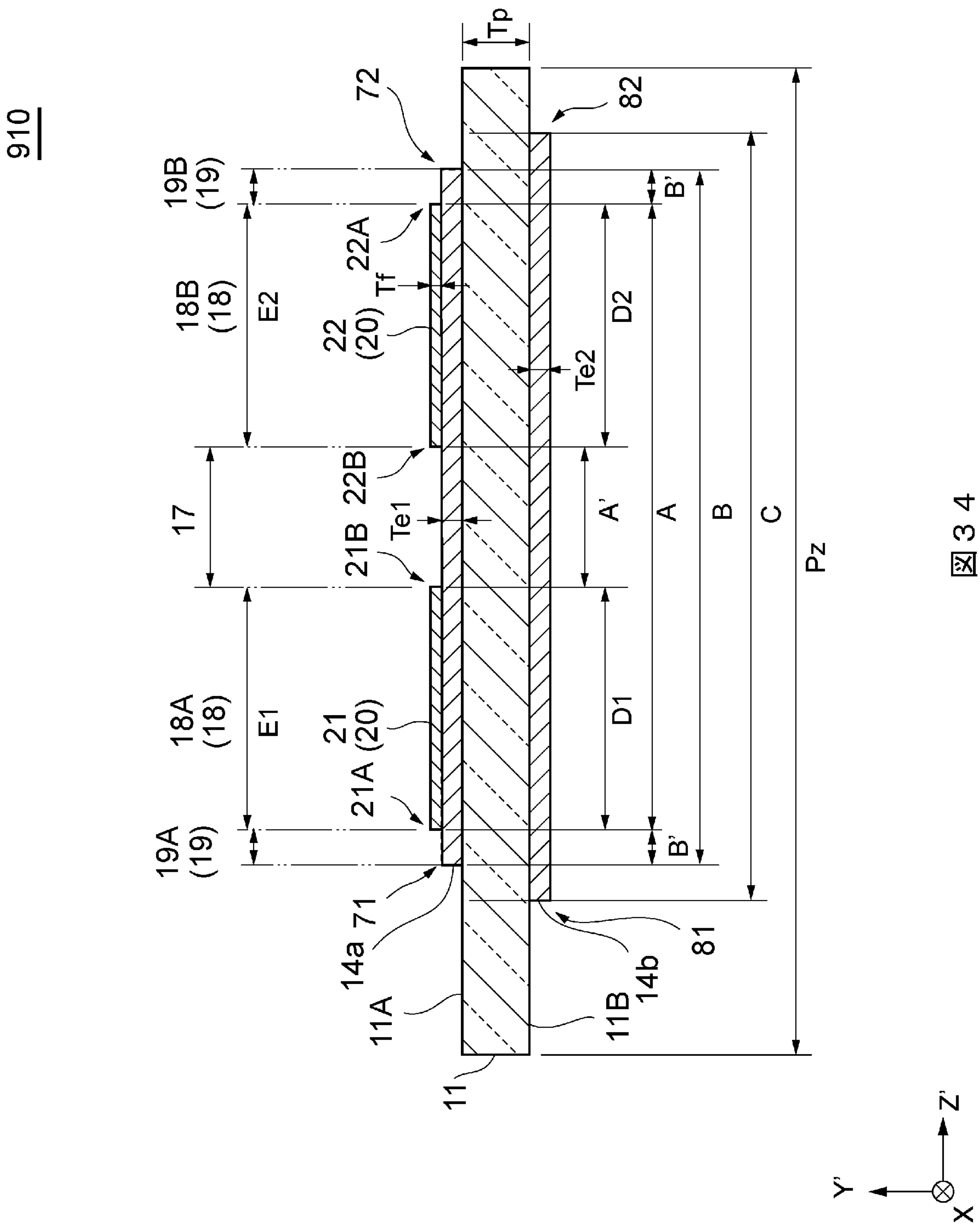

910
Tp
72
82
19B
(19)
18B
(18)
E2
22A
Tf
22
(20)
Te2
D2
B'
17
22B
Te1
21B
A'
A
B
C
Pz
18A
(18)
E1
21
(20)
21A
D1
19A
(19)
14a
71
81
14b
11B
11A
11
Z'
Y'
X

図34

[図35]

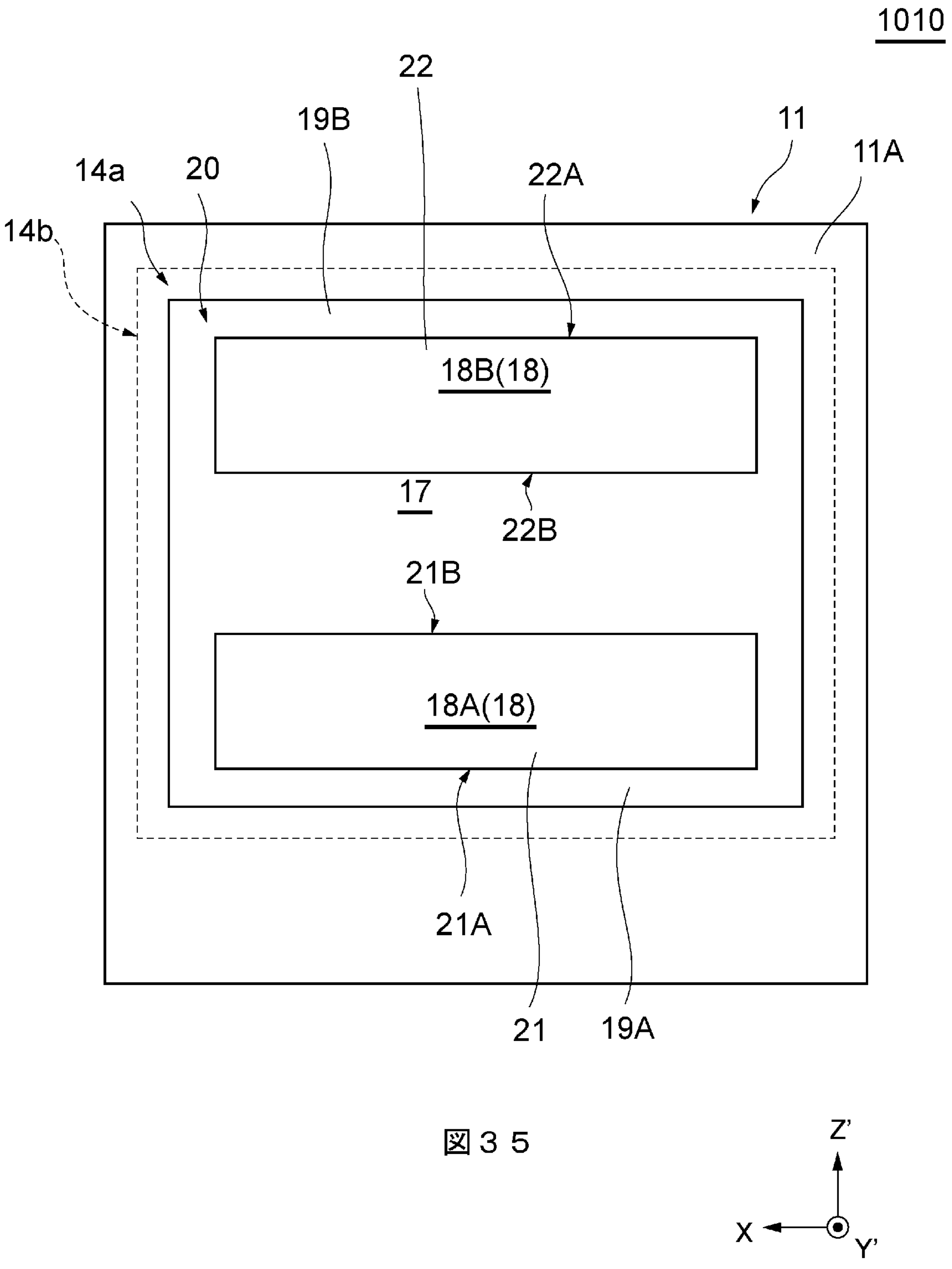

1010
22
19B
11
11A
14a
20
22A
14b
18B(18)
17
22B
21B
18A(18)
21A
21
19A
Z'
X
Y'

図３５

[図36]

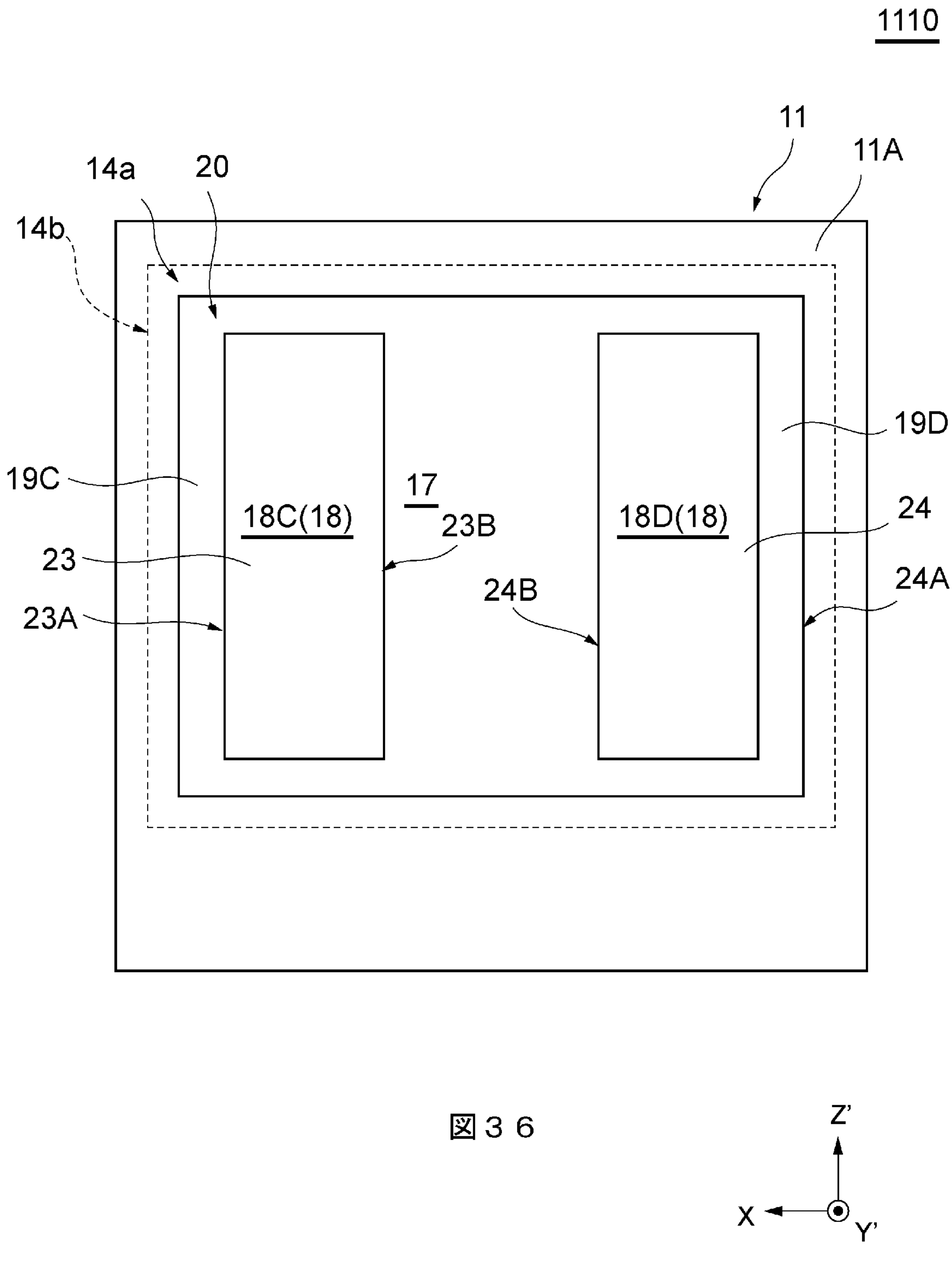

1110
11
11A
14a
20
14b
19D
19C
17
18C(18)
23B
18D(18)
24
23
24B
24A
23A
Z'
X
Y'

図３６

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/013407

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H 9/19(2006.01)i
FI: H03H9/19 F

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)

H03H9/19

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 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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	JP 03-001710 A (KINSEKI LTD.) 08 January 1991 (1991-01-08) p. 1, lower left column, line 17 to p. 1, lower right column, line 10, p. 2, lower right column, line 2 to p. 2, lower right column, line 7, fig. 3	1, 3-4, 10, 13-16, 19-21, 23-26
A	p. 1, lower left column, line 17 to p. 1, lower right column, line 10, p. 2, lower right column, line 2 to p. 2, lower right column, line 7, fig. 3	2, 5-9, 11-12, 17-18, 22
X	JP 2022-153702 A (DAISHINKU CORP.) 13 October 2022 (2022-10-13) paragraphs [0017]-[0036], fig. 1-5	2, 4, 13, 15-16, 24-26
A	paragraphs [0017]-[0036], fig. 1-5	1, 3, 5-12, 14, 17-23
A	WO 2021/112214 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 10 June 2021 (2021-06-10) entire text, all drawings	1-26
A	WO 2022/080426 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 21 April 2022 (2022-04-21) entire text, all drawings	1-26

☑ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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
29 May 2024	**18 June 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6111341 A (TOYO COMMUNICATION EQUIPMENT CO., LTD.) 29 August 2000 (2000-08-29) entire text, all drawings	1-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/013407

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 03-001710 A	08 January 1991	(Family: none)	
JP 2022-153702 A	13 October 2022	(Family: none)	
WO 2021/112214 A1	10 June 2021	US 2022/0294417 A1 entire text, all drawings CN 114788175 A	
WO 2022/080426 A1	21 April 2022	US 2023/0246632 A1 entire text, all drawings DE 212021000441 U1 CN 116368733 A	
US 6111341 A	29 August 2000	WO 1998/038736 A1 entire text, all drawings	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/013407

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H03H 9/19(2006.01)i
FI: H03H9/19 F

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））

H03H9/19

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	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 03-001710 A (キンセキ株式会社) 08.01.1991 (1991-01-08) 第1項左下欄第１７行-第1項右下欄第10行,第2項右下欄第2行-第2項右下欄第7行,第3図	1,3-4,10,13-16,19-21,23-26
A	第1項左下欄第１７行-第1項右下欄第10行,第2項右下欄第2行-第2項右下欄第7行,第3図	2,5-9,11-12,17-18,22
X	JP 2022-153702 A (株式会社大真空) 13.10.2022 (2022-10-13) 段落[0017]-[0036],[図1]-[図5]	2,4,13,15-16,24-26
A	段落[0017]-[0036],[図1]-[図5]	1,3,5-12,14,17-23
A	WO 2021/112214 A1 (株式会社村田製作所) 10.06.2021 (2021-06-10) 全文、全図	1-26
A	WO 2022/080426 A1 (株式会社村田製作所) 21.04.2022 (2022-04-21) 全文、全図	1-26

☑ 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
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“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
29.05.2024	18.06.2024

名称及びあて先	権限のある職員（特許庁審査官）
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	石田　昌敏 5G 4181 電話番号 03-3581-1101 内線 3524

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
A	US 6111341 A (TOYO COMMUNICATION EQUIPMENT CO., LTD.) 29.08.2000 (2000-08-29) 全文、全図	1-26

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/JP2024/013407

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 03-001710 A	08.01.1991	（ファミリーなし）	
JP 2022-153702 A	13.10.2022	（ファミリーなし）	
WO 2021/112214 A1	10.06.2021	US 2022/0294417 A1 全文、全図 CN 114788175 A	
WO 2022/080426 A1	21.04.2022	US 2023/0246632 A1 全文、全図 DE 212021000441 U1 CN 116368733 A	
US 6111341 A	29.08.2000	WO 1998/038736 A1 全文、全図	