(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
2016 年 11 月 3 日(03.11.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/174789 A1

(51) 国際特許分類:
H03H 9/17 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/079755

(22) 国際出願日: 2015 年 10 月 21 日(21.10.2015)

(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:
62/153,049 2015 年 4 月 27 日(27.04.2015) US
62/153,757 2015 年 4 月 28 日(28.04.2015) US

(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: 後藤　雄一 (**GOTO, Yuichi**); 〒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). 廣田　和香奈 (**HIROTA, Wakana**); 〒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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

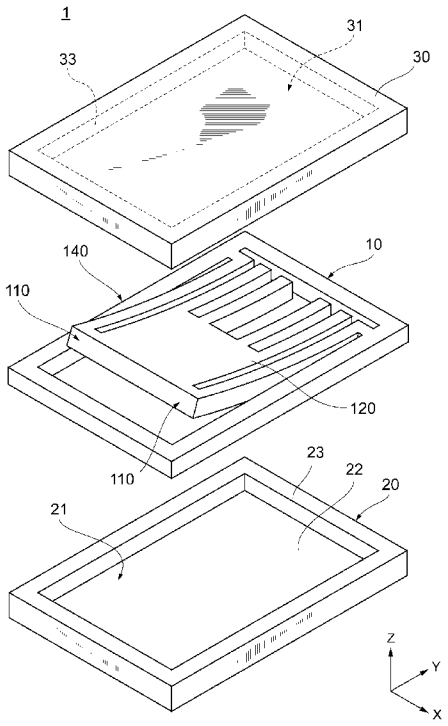
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,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

[続葉有]

(54) **Title**: RESONATOR AND RESONANCE DEVICE

(54) 発明の名称 : 共振子及び共振装置

FIG.2



(57) **Abstract**: Vibration arms are prevented from contacting a top or bottom substrate even in a resonance device that has been reduced in size. The invention is provided with a resonator and a top lid and a bottom lid that face each other across the resonator. The resonator has: a base part; a plurality of vibration arms having a piezoelectric body and a pair of electrode layers that face each other with the piezoelectric body interposed therebetween, one end of each vibration arm being connected to the front end of the base, and the vibration arms extending in a direction away from the base; a holding part provided in at least one part of the area around the base and the vibration arms; and holding arms, one end of which being connected to the base, and the other end of which being connected to the holding part on the other-end side of the plurality of vibration arms, rather than on the one end of the plurality of vibration arms. The base, the plurality of vibration arms, and the holding arms have a substrate and a temperature characteristic correction layer laminated on the substrate, and are integrally formed by the substrate and the temperature characteristic correction layer. The temperature characteristic correction layer comprises a material having a different thermal expansion rate from that of the substrate.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/174789 A1

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

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

小型化された共振装置においても、振動腕が上下の基板に接触してしまうことを防ぐ。共振子と、共振子を間に挟んで互いに対向する上蓋と、下蓋とを備え、共振子は、基部と、圧電体と当該圧電体を間に挟んで互いに対向する１対の電極層とを有し、一端が基部の前端と接続し、基部から離れる方向に延びる複数の振動腕と、基部及び振動腕の周囲の少なくとも一部に設けられた保持部と、一端が基部に接続され、他端が、複数の振動腕の一端よりも、複数の振動腕の他端側において保持部に接続される保持腕と、を有し、基部、複数の振動腕、及び保持腕は、基板、及び、当該基板に積層された、当該基板とは熱膨脹率の異なる材料から成る温度特性補正層を有し、基板と温度特性補正層によって、一体に形成されている。

明　細　書

発明の名称 ： 共振子及び共振装置

技術分野

[0001] 本発明は、複数の振動腕が屈曲振動モードで振動する共振子及び共振装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、ＭＥＭＳ（Ｍｉｃｒｏ　Ｅｌｅｃｔｒｏ　Ｍｅｃｈａｎｉｃａｌ　Ｓｙｓｔｅｍｓ）技術を用いた共振装置が例えばタイミングデバイスとして用いられている。この共振装置は、スマートフォンなどの電子機器内に組み込まれるプリント基板上に実装される。共振装置は、下側基板と、下側基板との間でキャビティを形成する上側基板と、下側基板及び上側基板の間でキャビティ内に配置された共振子と、を備えている。

[0003] 例えば特許文献１には、複数の振動腕を備えた面外屈曲共振子が開示されている。この共振子では、振動腕はその固定端で基部の前端に接続されており、基部は、前端とは反対側の後端で支持部に接続されている。支持部は、例えば下側基板及び上側基板の間に挟み込まれる基台に接続されている。特許文献１の図１の例では、振動腕に印加される電界が互いに逆方向に設定されることによって、内側の振動腕と外側の２本の振動腕との間で互いに逆位相の振動が実現される。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第５０７１０５８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 振動腕は、例えばシリコン等の基板の上に、一対の電極間に圧電体を設けて形成される。

本発明者らは、基板の温度特性向上等のために、例えば酸化シリコン層等

の温度特性補正層を基板に形成した場合、基板材料と温度特性補正層の材料の厚みや熱膨張係数の違いにより、振動腕が反ってしまうことを発見した。振動腕が反ることによって、例えば携帯電話等の用途のために小型化が求められる共振装置においては、共振子の振動空間を形成する上下の基板に振動腕の先端が接触してしまう。

[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、小型化された共振装置においても、振動腕が上下の基板に接触してしまうことを防ぐことを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一側面に係る共振装置は、共振子と、共振子を間に挟んで互いに対向する上蓋と、下蓋とを備え、共振子は、基部と、圧電体と当該圧電体を間に挟んで互いに対向する1対の電極層とを有し、一端が基部の前端と接続し、基部から離れる方向に延びる複数の振動腕と、基部及び振動腕の周囲の少なくとも一部に設けられた保持部と、一端が基部に接続され、他端が、複数の振動腕の一端よりも、複数の振動腕の他端側において保持部に接続される保持腕と、を有し、基部、複数の振動腕、及び保持腕は、基板、及び、当該基板に積層された、当該基板とは熱膨脹率の異なる材料から成る温度特性補正層を有し、基板及び温度特性補正層によって一体に形成されている。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、小型化された共振装置においても、振動腕が上下の基板に接触してしまうことを防ぐことができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の第1実施形態に係る共振装置の外観を概略的に示す斜視図である。

[図2]本発明の第1実施形態に係る共振装置の構造を概略的に示す分解斜視図である。

[図3]上側基板を取り外した本発明の第1実施形態に係る共振子の平面図である。

[図4]図１のＡＡ´線に沿った断面図である。

[図5A]本発明の第１実施形態に係る、保持部、振動部、及び保持腕の相互の位置関係を模式的に示す図である。

[図5B]本発明の第１実施形態の比較例に係る、保持部、振動部、及び保持腕の相互の位置関係を模式的に示す図である。

[図6A]本発明の第１実施形態に係る共振装置のプロセスフローの一例を示す図である。

[図6B]本発明の第１実施形態に係る共振装置のプロセスフローの一例を示す図である。

[図6C]本発明の第１実施形態に係る共振装置のプロセスフローの一例を示す図である。

[図6D]本発明の第１実施形態に係る共振装置のプロセスフローの一例を示す図である。

[図6E]本発明の第１実施形態に係る共振装置のプロセスフローの一例を示す図である。

[図6F]本発明の第１実施形態に係る共振装置のプロセスフローの一例を示す図である。

[図7]図３に対応し、上側基板を取り外した本発明の第２実施形態に係る共振子の平面図である。

[図8]図５に対応し、本発明の第２実施形態に係る、保持部、振動部、及び保持腕の相互の位置関係を模式的に示す図である。

[図9]図３に対応し、上側基板を取り外した本発明の第３実施形態に係る共振子の平面図である。

[図10]図５に対応し、本発明の第３実施形態に係る、保持部、振動部、及び保持腕の相互の位置関係を模式的に示す図である。

[図11]図３に対応し、上側基板を取り外した本発明の第４実施形態に係る共振子の平面図である。

[図12]図５に対応し、本発明の第４実施形態に係る、保持部、振動部、及び

保持腕の相互の位置関係を模式的に示す図である。

[図13]図３に対応し、上側基板を取り外した本発明の第５実施形態に係る共振子の平面図である。

[図14]図５に対応し、本発明の第５実施形態に係る、保持部、振動部、及び保持腕の相互の位置関係を模式的に示す図である。

[図15]図３に対応し、上側基板を取り外した本発明の第６実施形態に係る共振子の平面図である。

発明を実施するための形態

[0010] ［第１の実施形態］

以下、添付の図面を参照して本発明の第１実施形態について説明する。図１は、本発明の第１実施形態に係る共振装置１の外観を概略的に示す斜視図である。また、図２は、本発明の第１実施形態に係る共振装置１の構造を概略的に示す分解斜視図である。

[0011] この共振装置１は、共振子１０と、共振子１０を挟んで設けられた上蓋３０及び下蓋２０と、を備えている。すなわち、共振装置１は、下蓋２０と、共振子１０と、上蓋３０とがこの順で積層されて構成されている。

[0012] また、共振子１０と下蓋２０及び上蓋３０とが接合され、これにより、共振子１０が封止され、また、共振子１０の振動空間が形成される。共振子１０、下蓋２０及び上蓋３０は、それぞれＳｉ基板を用いて形成されている。そして、共振子１０、下蓋２０及び上蓋３０は、Ｓｉ基板同士が互いに接合されて、互いに接合される。共振子１０及び下蓋２０は、ＳＯＩ基板を用いて形成されてもよい。

[0013] 共振子１０は、ＭＥＭＳ技術を用いて製造されるＭＥＭＳ共振子である。なお、本実施形態においては、共振子１０はシリコン基板を用いて形成されるものを例として説明するが、アモルファスＳｉや、ＳｉＣ、ＳｉＧｅ、Ｇｅ、ガリヒ素、水晶などシリコン以外の基板を用いて形成されるものでもよい。

以下、共振装置１の各構成について詳細に説明する。

[0014] （１．上蓋３０）

上蓋３０はＸＹ平面に沿って平板状に広がっており、その裏面に例えば平たい直方体形状の凹部３１が形成されている。凹部３１は、側壁３３に囲まれており、共振子１０が振動する空間である振動空間の一部を形成する。

[0015] （２．下蓋２０）

下蓋２０は、ＸＹ平面に沿って設けられる矩形平板状の底板２２と、底板２２の周縁部からＺ軸方向（すなわち、下蓋２０と共振子１０との積層方向）に延びる側壁２３とを有する。下蓋２０には、共振子１０と対向する面において、底板２２の表面と側壁２３の内面とによって形成される凹部２１が設けられる。凹部２１は、共振子１０の振動空間の一部を形成する。上述した上蓋３０と下蓋２０とによって、この振動空間は気密に封止され、真空状態が維持される。この振動空間には、例えば不活性ガス等の気体が充填されてもよい。

[0016] （３．共振子１０）

図３は、本実施形態に係る、共振子１０の構造を概略的に示す平面図である。図２及び図３を用いて本実施形態に係る共振子１０の、各構成について説明する。共振子１０は、振動部１２０と、保持部１４０と、保持腕１１０とを備えている。

[0017] （ａ）振動部１２０

振動部１２０は、図３の直交座標系におけるＸＹ平面に沿って広がる矩形の輪郭を有している。振動部１２０は、保持部１４０の内側に設けられており、振動部１２０と保持部１４０との間には、所定の間隔で空間が形成されている。図３の例では、振動部１２０は、基部１３０と４本の振動腕１３５Ａ～１３５Ｄ（まとめて「振動腕１３５」とも呼ぶ。）とを有している。なお、振動腕の数は、４本に限定されず、例えば２本以上の任意の数に設定される。

[0018] 基部１３０は、図２に示すように、Ｚ軸方向に湾曲した略直方体の形状に形成されている。

図３を参照して、基部１３０の平面視における構造について説明する。基部１３０は、Ｘ軸方向に長辺１３１ａ（前端の一例である。）、１３１ｂ（後端の一例である。）、Ｙ軸方向に短辺１３１ｃ、１３１ｄを有している。基部１３０は、短辺１３１ｃ、１３１ｄにおいて、後述する保持腕１１０によって保持部１４０に接続され、保持されている。本実施形態では、長辺１３１ａ、１３１ｂの長さは２４５μｍ程度、短辺１３１ｃ、１３１ｄの長さは１１０μｍ程度に設定される。なお、基部１３０は、図３の例では平面視において、略長方形の形状を有しているがこれに限定されず、長辺１３１ａの垂直二等分線に沿って規定される平面に対して略面対称に形成されていればよい。基部１３０は、例えば、長辺１３１ｂが１３１ａより短い台形や、長辺１３１ａを直径とする半円の形状であってもよい。また、長辺１３１ａ、１３１ｂ、短辺１３１ｃ、１３１ｄは直線に限定されず、曲線であってもよい。

[0019] 各振動腕１３５は、図２に示すように、Ｙ軸方向に延び、Ｚ軸方向に湾曲した略角柱形状に形成され、それぞれ同一のサイズを有している。具体的には、振動腕１３５は、自由端から固定端に向かうにつれて、後述する保持部１４０に沿って規定されるＸＹ平面から徐々にＺ軸方向に向かって離れる立体形状を有している。

[0020] 図３を参照して、振動腕１３５の平面視における構造について説明する。振動腕１３５は、それぞれが基部１３０と保持部１４０との間にＹ軸方向に平行に設けられ、一端は、基部１３０の一方の長辺１３１ａと接続されて固定端となっており、他端は自由端となっている。さらに、振動腕１３５は、それぞれ、Ｘ軸方向に所定の間隔で、並列して設けられている。本実施形態において、各振動腕１３５は、基部１３０と一体に形成されている。なお、振動腕１３５は、例えばＸ軸方向の幅が５０μｍ程度、Ｙ軸方向の長さが４８０μｍ程度である。

本実施形態の振動部１２０では、Ｘ軸方向において、外側に２本の振動腕１３５Ａ、１３５Ｄが配置されており、内側に２本の振動腕１３５Ｂ、１３

５Ｃが配置されている。Ｘ軸方向における、振動腕１３５Ｂと１３５Ｃとの間隔Ｗ１は、Ｘ軸方向における、外側の振動腕１３５Ａ（１３５Ｄ）と当該外側の振動腕１３５Ａ（１３５Ｄ）に隣接する内側の振動腕１３５Ｂ（１３５Ｃ）との間の間隔Ｗ２よりも大きく設定される。間隔Ｗ１は例えば２５μ程度、間隔Ｗ２は例えば１０μｍ程度である。間隔Ｗ２は間隔Ｗ１より小さく設定することにより、振動特性が改善される。また、共振装置１の小型化できるように、間隔Ｗ１を間隔Ｗ２よりも小さく設定してもよいし、等間隔にしても良い。

[0021] （ｂ）保持部１４０

保持部１４０は、ＸＹ平面に沿って矩形の枠状に形成される。保持部１４０は、平面視において、ＸＹ平面に沿って振動部１２０の外側を囲むように設けられる。なお、保持部１４０は、振動部１２０の周囲の少なくとも一部に設けられていればよく、枠状の形状に限定されない。例えば、保持部１４０は、振動部１２０を保持し、また、上蓋３０及び下蓋２０と接合できる程度に、振動部１２０の周囲に設けられていればよい。

[0022] 本実施形態においては、保持部１４０は枠体１４０ａ～１４０ｄからなる。なお、図２に示すように、枠体１４０ａ～１４０ｄは、一体形成される角柱形状を有している。

[0023] 図３を参照して、保持部１４０の平面視における構造について説明する。枠体１４０ａは、図３に示すように、振動腕１３５の自由端に対向して、長手方向がＸ軸に平行に設けられる。枠体１４０ｂは、基部１３０の長辺１３１ｂに対向して、長手方向がＸ軸に平行に設けられる。枠体１４０ｃは、後述する保持腕１１０の腕１１２ａの長辺に対向して、長手方向がＹ軸に平行に設けられ、その両端で枠体１４０ａ、１４０ｂの一端にそれぞれ接続される。枠体１４０ｄは、後述する保持腕１１０の腕１１２ｂの長辺に対向して、長手方向がＹ軸に平行に設けられ、その両端で枠体１４０ａ、１４０ｂの他端にそれぞれ接続される。

[0024] なお、以下の説明では、枠体１４０ａ側を共振子１０の上側、枠体１４０

ｂ側を共振子１０の下側として説明する。

[0025] （ｃ）保持腕１１０

保持腕１１０は、保持部１４０の内側に設けられ、基部１３０の短辺１３１ｃ、１３１ｄと枠体１４０ｃ、１４０ｄとを接続する。

[0026] 保持腕１１０は、図２に示すように、一体に形成され、Ｚ軸方向に湾曲した角柱板状の腕１１１ａ、１１２ａ、１１３ａ、及び１１１ｂ、１１２ｂ、１１３ｂを有している。具体的には、腕１１２ａは、腕１１３ａとの接続箇所から腕１１１ａとの接続箇所に向かうにつれて、保持部１４０に沿って規定されるＸＹ平面から、徐々にＺ軸方向に向かって離れる立体形状を有している。同様に、腕１１２ｂは、腕１１３ｂとの接続箇所から腕１１１ｂとの接続箇所に向かうにつれて、保持部１４０に沿って規定されるＸＹ平面から、徐々にＺ軸方向に向かって離れる立体形状を有している。また、図２の例では、腕１１２ａのＸ軸方向における中心をとおるＹＺ平面は、枠体１４０ｃの中心をとおるＹＺ平面に対して平行に設けられる。同様に、腕１１２ｂのＸ軸方向における中心をとおるＹＺ平面は、枠体１４０ｄの中心をとおるＹＺ平面に対して平行に設けられる。

[0027] 図３を参照し、保持腕１１０の平面視における構造について説明する。本実施形態において、保持腕１１０は、基部１３０のＸ軸方向の中心線に沿ってＹＺ平面に平行に規定される仮想平面Ｐに対して略面対称に形成される。

腕１１１ａは、図３に示すように、基部１３０と枠体１４０ｃとの間に、枠体１４０ｂに対向して、長手方向がＸ軸に平行になるように設けられている。腕１１１ａは、一端が基部１３０の短辺１３１ｃにおいて基部１３０と接続しており、そこから短辺１３１ｃに対して略垂直、すなわち、Ｘ軸方向に延びている。腕１１１ａの他端は、その側面（ＸＺ平面上の面）において、腕１１２ａの一端に接続されている。腕１１１ａは、Ｙ軸方向に規定される幅が２０μｍ程度であり、Ｘ軸方向に規定される長さが４０μｍである。

[0028] また、腕１１２ａは、基部１３０と枠体１４０ｃとの間に、枠体１４０ｃに対向して、長手方向がＹ軸に平行になるように設けられている。また、腕

１１２ａの他端は、腕１１３ａの一端における、枠体１４０ｃと対向する側の側面に接続している。腕１１２ａは、例えばＸ軸方向に規定される幅が２０μｍ程度であり、Ｙ軸方向に規定される長さが５５０μｍ程度である。

[0029] 腕１１３ａは、振動腕１３５Ａと枠体１４０ｃとの間に、枠体１４０ａに対向して、長手方向がＸ軸に平行になるように設けられている。腕１１３ａの他端は、枠体１４０ｃにおける振動腕１３５Ａの自由端と対向する領域付近において、枠体１４０ｃと接続する。すなわち、腕１１３ａの他端は、振動腕１３５Ａの側方において、枠体１４０ｃに対して固定される。腕１１３ａは、例えばＹ軸方向に規定される幅が２０μｍ程度、Ｘ軸方向に規定される長さが４０μｍ程度である。なお、腕１１１ｂ、１１２ｂ、１１３ｂの構成は、腕１１１ａ、１１２ａ、１１３ａの構成と同様である。

[0030] 以上のとおり、本実施形態に係る保持腕１１０は、腕１１１ａ、１１１ｂの一端において基部１３０と接続し、腕１１１ａ、１１１ｂの他端における側面と腕１１２ａ、１１２ｂとの接続箇所において折れ曲がり、腕１１２ａ、１１２ｂと腕１１３ａ、１１３ｂとの接続箇所で再度折れ曲がった後に、保持部１４０へと接続する構成となっている。このように、本実施形態に係る保持腕１１０は、折れ曲がる構成となっているため、基部１３０の屈曲変位を阻害することなく、基部１３０を保持することができる。その結果、大振幅駆動時における周波数の上昇を低減することが可能になる。この結果、本実施形態に係る共振子１０は、共振周波数のシフトを抑制することができる。さらに、本実施形態においては、保持腕１１０は、保持部１４０における枠体１４０ｃ、１４０ｄであって、振動腕１３５の側方の領域に接続される。言い換えると、本実施形態に係る共振装置１においては、振動腕１３５の自由端と、保持部１４０の枠体１４０ａとの間に、保持腕１１０は設けられない。これによって、共振装置１を振動腕１３５の長手方向において、小型化することが可能になる。

なお、保持腕１１０は、各腕の接続箇所において直角に折れ曲がっている形状に限定されない。保持腕１１０における、各腕の接続箇所は曲線の形状

であってもよい。

[0031] （４．積層構造）

図４を用いて共振装置１の積層構造について説明する。図４は、図１のＡＡ´断面図である。

[0032] 図４に示すように、本実施形態に係る共振装置１では、下蓋２０の側壁２３上に共振子１０の保持部１４０が接合され、さらに共振子１０の保持部１４０と上蓋３０の側壁３３とが接合される。このように下蓋２０と上蓋３０との間に共振子１０が保持され、下蓋２０と上蓋３０と共振子１０の保持部１４０とによって、振動腕１３５が振動する振動空間が形成される。

[0033] 下蓋２０の底板２２及び側壁２３は、Ｓｉ（シリコン）ウエハＳ１により、一体的に形成されている。側壁２３の上面には酸化ケイ素（例えばSiO_2（二酸化ケイ素））膜Ｆ１が形成されており、この酸化ケイ素膜Ｆ１によって、下蓋２０と共振子１０の保持部１４０と接合されている。Ｚ軸方向に規定される下蓋２０の厚みは例えば、１５０μｍ、凹部２１の深さは例えば５０μｍである。

[0034] 上蓋３０は、所定の厚みのＳｉ（シリコン）ウエハＳ２により形成されている。図４に示すように、上蓋３０はその周辺部（側壁３３）で共振子１０の保持部１４０と接合されている。上蓋３０の周縁部と保持部１４０との間には、上蓋３０と保持部１４０とを接合するために、接合部Ｈが形成されている。接合部Ｈは、例えばＡｕ（金）膜及びＳｎ（錫）膜によって形成されている。

[0035] 共振子１０では、保持部１４０、基部１３０、振動腕１３５、保持腕１１０は、同一プロセスで一体的に形成される。共振子１０では、まず、Ｓｉ（シリコン）基板Ｆ２（基板の一例である。）の上に、金属層Ｅ１が積層されている。そして、金属層Ｅ１の上には、金属層Ｅ１を覆うように圧電薄膜Ｆ３（圧電体の一例である。）が積層されており、さらに、圧電薄膜Ｆ３の上には、金属層Ｅ２が積層されている。

[0036] Ｓｉ基板Ｆ２は、例えば、厚さ１０μｍ程度の縮退したｎ型Ｓｉ半導体か

ら形成されており、ｎ型ドーパントとしてＰ（リン）やＡｓ（ヒ素）、Ｓｂ（アンチモン）などを含むことができる。Ｓｉ基板Ｆ２に用いられる縮退Ｓｉの抵抗値は０．５ｍΩ・ｃｍ以上０．９ｍΩ・ｃｍ以下であることが望ましい。本実施形態で用いられる縮退Ｓｉの抵抗値は、たとえば０．６３ｍΩ・ｃｍである。さらにＳｉ基板Ｆ２の下面には酸化ケイ素（例えばSiO_2）層Ｆ２´（温度特性補正層の一例である。）が形成されている。これにより、温度特性を向上させることが可能になる。

本実施形態において、少なくとも基部１３０、振動腕１３５、及び保持腕１１０は、同一のＳｉ基板Ｆ２及び同一の酸化ケイ素層Ｆ２´によって一体に形成される。

[0037] 本実施形態において、温度特性補正層とは、当該温度特性補正層をＳｉ基板Ｆ２に形成しない場合と比べて、Ｓｉ基板Ｆ２に温度補正層を形成した時の振動部における周波数の温度係数（すなわち、温度当たりの変化率）を、少なくとも常温近傍において低減する機能を持つ層をいう。振動部１２０が温度特性補正層を有することにより、例えば、Ｓｉ基板Ｆ２と電極層Ｅ１、Ｅ２と圧電薄膜Ｆ３及び酸化ケイ素層（温度補正層）Ｆ２´による積層構造体の共振周波数の、温度に伴う変化を低減することができる。

[0038] 共振子１０においては、酸化ケイ素層Ｆ２´は、均一の厚みで形成されることが望ましい。なお、均一の厚みとは、酸化ケイ素層Ｆ２´の厚みのばらつきが、厚みの平均値から±２０％以内であることをいう。

[0039] なお、酸化ケイ素層Ｆ２´は、Ｓｉ基板Ｆ２の上面に形成されてもよいし、Ｓｉ基板Ｆ２の上面と下面の双方に形成されてもよい。

また、保持部１４０においては、Ｓｉ基板Ｆ２の下面に酸化ケイ素層Ｆ２´が形成されなくてもよい。

[0040] また、金属層Ｅ２、Ｅ１は、例えば厚さ０．１μｍ程度のＭｏ（モリブデン）やアルミニウム（Ａｌ）等を用いて形成される。なおＳｉ基板Ｆ２として、縮退したＳｉを用いることで、Ｓｉ基板Ｆ２が金属層Ｅ１を兼ねることができる。

[0041] 金属層Ｅ２、Ｅ１は、エッチング等により、所望の形状に形成される。金属層Ｅ１は、例えば振動部１２０上においては、下部電極（電極層の一例である。）として機能するように形成される。また、金属層Ｅ１は、保持腕１１０や保持部１４０上においては、共振子１０の外部に設けられた交流電源に下部電極を接続するための配線として機能するように形成される。

[0042] 他方で、金属層Ｅ２は、振動部１２０上においては、上部電極（電極層の一例である。）として機能するように形成される。また、金属層Ｅ２は、保持腕１１０や保持部１４０上においては、共振子１０の外部に設けられた交流電源に上部電極を接続するための配線として機能するように形成される。

[0043] なお、交流電源から下部配線または上部配線への接続にあたっては、上蓋３０の外面に電極を形成して、当該電極が交流電源と下部配線または上部配線とを接続する構成や、上蓋３０内にビアを形成し、当該ビアの内部に導電性材料を充填して配線を設け、当該配線が交流電源と下部配線または上部配線とを接続する構成が用いられてもよい。

[0044] 圧電薄膜Ｆ３は、印加された電圧を振動に変換する圧電体の薄膜であり、例えば、ＡｌＮ（窒化アルミニウム）等の窒化物や酸化物を主成分とすることができる。具体的には、圧電薄膜１２８は、ＳｃＡｌＮ（窒化スカンジウムアルミニウム）により形成することができる。ＳｃＡｌＮは、窒化アルミニウムにおけるアルミニウムの一部をスカンジウムに置換したものである。また、圧電薄膜Ｆ３は、例えば、１μｍの厚さを有する。

[0045] 圧電薄膜Ｆ３は、金属層Ｅ２、Ｅ１によって圧電薄膜Ｆ３に印加される電界に応じて、ＸＹ平面の面内方向すなわちＹ軸方向に伸縮する。この圧電薄膜Ｆ３の伸縮によって、振動腕１３５は、下蓋２０及び上蓋３０の内面に向かってその自由端を変位させ、面外の屈曲振動モードで振動する。

[0046] 本実施形態では、外側の振動腕１３５Ａ、１３５Ｄに印加される電界の位相と、内側の振動腕１３５Ｂ、１３５Ｃに印加される電界の位相とが互いに逆位相になるように設定される。これにより、外側の振動腕１３５Ａ、１３５Ｄと内側の振動腕１３５Ｂ、１３５Ｃとが互いに逆方向に変位する。例え

ば、外側の振動腕１３５Ａ、１３５Ｄが上蓋３０の内面に向かって自由端を変位すると、内側の振動腕１３５Ｂ、１３５Ｃは下蓋２０の内面に向かって自由端を変位する。

[0047] 以上のような共振装置１では、逆位相の振動時、すなわち、図４に示す振動腕１３５Ａと振動腕１３５Ｂとの間でＹ軸に平行に延びる中心軸ｒ１回りに振動腕１３５Ａと振動腕１３５Ｂとが上下逆方向に振動する。また、振動腕１３５Ｃと振動腕１３５Ｄとの間でＹ軸に平行に延びる中心軸ｒ２回りに振動腕１３５Ｃと振動腕１３５Ｄとが上下逆方向に振動する。これによって、中心軸ｒ１とｒ２とで互いに逆方向の捩れモーメントが生じ、基部１３０で屈曲振動が発生する。

[0048] （５．断面構造）

図５は、図３のＢＢ´断面における、振動腕１３５、保持腕１１０及び保持部１４０の相互の位置関係を模式的に示す図である。図５Ａは、本実施形態に係る共振子１０における断面を、図５Ｂは、比較例である共振子１０´における断面を示している。

[0049] 図５Ａ、５Ｂにおいて、破線は、保持部１４０のＳｉ基板Ｆ２における、下蓋２０と対向する面Ｌ１（図４において、酸化ケイ素層Ｆ２´と接触する面をいう。第１面の一例である。）を示している。また、実線は、振動腕１３５のＳｉ基板Ｆ２における、下蓋２０と対向する面Ｌ４（図４において、酸化ケイ素層Ｆ２´と接触する面をいう。第４面の一例である。）を示し、点線は、基部１３０のＳｉ基板Ｆ２における、下蓋２０と対向する面Ｌ２（図４において、酸化ケイ素層Ｆ２´と接触する面をいう。第２面の一例である）を示し、一点鎖線は、保持腕１１０におけるＳｉ基板Ｆ２の下蓋２０と対向する面Ｌ３（図４において、酸化ケイ素層Ｆ２´と接触する面をいう。第３面の一例である。）を示している。また、点Ｍ１は、保持腕１１０と保持部１４０との接続箇所を示し、点Ｍ２は、保持腕１１０と基部１３０との接続箇所を示している。

[0050] 比較例の共振子１０´は、振動部１２０においてＳｉ基板Ｆ２の下面に酸

化ケイ素層Ｆ２´を有する一方で、本実施形態に係る共振子１０とは異なり、保持腕１１０においてＳｉ基板Ｆ２の下面に酸化ケイ素層Ｆ２´を有していない。

[0051] シリコンと酸化ケイ素とは、熱膨脹率の異なる材料である。従って、共振子１０における所定の部位において、Ｓｉ基板Ｆ２に酸化ケイ素層Ｆ２´を積層した場合、応力によって、当該部位は反った形状になる。ここで「反る」とは、Ｓｉ基板Ｆ２に酸化ケイ素層Ｆ２´を積層した部位におけるＳｉ基板Ｆ２の面（下蓋２０に対向する面）が、酸化ケイ素層Ｆ２´を積層していない部位におけるＳｉ基板Ｆ２の面（下蓋２０に対向する面）と同一平面上にない部分を有する状態をいう。本実施形態においては、さらに、「反る」は所定の曲率で湾曲した部位を含む状態をいう。

[0052] 図５Ｂに示すように、比較例の共振子１０´では、保持腕１１０´は、酸化ケイ素層Ｆ２´を有しないため、その断面が反った形状にならない。従って、保持腕１１０´の面Ｌ３は、保持部１４０´の面Ｌ１に沿って、当該面Ｌ１と同一平面上に広がっている。他方、振動部１２０´は、酸化ケイ素層Ｆ２´を有するため、基部１３０´及び振動腕１３５´は反った形状となる。従って、基部１３０´の面Ｌ２は、基部１３０´の点Ｍ２から前端に向かうにつれて、徐々に面Ｌ１から遠ざかる。さらに振動腕１３５´の面Ｌ４は、振動腕１３５の固定端から自由端に向かうにつれて、徐々に面Ｌ１から遠ざかる。

[0053] 他方、本実施形態に係る共振子１０は、保持腕１１０においても、Ｓｉ基板Ｆ２に酸化ケイ素層Ｆ２´が形成されている。従って、本実施形態に係る共振子１０では、保持腕１１０は、振動部１２０と同様の曲率で反った形状となる。すなわち、本実施形態に係る共振子１０では、面Ｌ２及び面Ｌ４の断面は、面Ｌ３の断面と、形状及びＺ方向における位置が略一致する。具体的には、図５Ａに示すように、保持腕１１０における面Ｌ３のうち、保持腕１１０の点Ｍ２は、面Ｌ１上にない。より具体的には、保持腕１１０の面Ｌ３は、点Ｍ１から保持腕１１０における基部１３０との接続箇所（点Ｍ２）

に向かうにつれて、徐々に保持部１４０の面Ｌ１から離れる形状となる。従って、保持腕１１０は、面Ｌ１よりも上側、すなわち、上蓋３０（図５においては図示を省略）の凹部３１（図５においては図示を省略）の内部に設けられる。

[0054] 他方で、基部１３０における面Ｌ２のうち、後端は、面Ｌ１上にない。より具体的には、基部１３０の面Ｌ２は、点Ｍ２から前端に向かうにつれて徐々に面Ｌ１に近づく形状となる。従って、基部１３０は、面Ｌ１よりも上側、すなわち、上蓋３０（図５においては図示を省略）の凹部３１（図５においては図示を省略）の内部に設けられる。

[0055] また、振動腕１３５における面Ｌ４のうち、振動腕１３５の固定端に対応する部分は、面Ｌ１上にない。より具体的には、振動腕１３５の面Ｌ４は、振動腕１３５の固定端から、自由端に向かうにつれて、面Ｌ１に近づき、自由端において、面Ｌ１と略同一平面上に位置する形状となる。従って、振動腕１３５は、面Ｌ１よりも上側、すなわち、上蓋３０（図５においては図示を省略）の凹部３１（図５においては図示を省略）の内部に設けられる。

[0056] このように、本実施形態に係る共振装置１において、振動腕１３５及び保持腕１１０において、Ｓｉ基板Ｆ２が、略均一の厚みに調整された酸化ケイ素層Ｆ２´を有しており、かつ、保持腕１１０が、保持部１４０における、振動腕１３５の固定端に対向する領域よりも自由端の先端に対向する領域（すなわち枠体１４０ａ）側で接続することによって、保持腕１１０と振動腕１３５の反り量が同じ程度に調整され、これにより振動腕１３５の自由端における、保持部１４０の面Ｌ４からの変位量を低減させることができる。

さらに、本実施形態においては、保持腕１１０を、保持部１４０における、振動腕１３５の長手方向における中央近傍よりも自由端側に対向する領域、より具体的には、振動腕１３５の自由端の先端に対向する領域（すなわち枠体１４０ａ）に接続させることによって、保持部１４０からの、振動腕１３５の自由端における変位量をゼロに近づけることができる。

[0057] さらに、本実施形態に係る共振子１０では、振動腕１３５の面Ｌ４におけ

る自由端に対応する部分と保持部１４０の面Ｌ１との距離ｄ１は、基部１３０の面Ｌ２における基部１３０の後端に対応する部分と面Ｌ１との距離ｄ２よりも小さい。これによって、振動腕１３５が面外屈曲振動をした場合であっても、振動腕１３５の自由端が、下蓋２０や上蓋３０に衝突することを防ぐことができる。

[0058] さらに、本実施形態において、基部１３０の前端から、腕１１１ａ、１１１ｂの枠体１４０ｂに最も近い端部までの長さ（すなわち、基部１３０のＹ軸方向の長さ１１０μｍ）が、振動腕１３５の長手方向の長さ（すなわち４８０μｍ）よりも短くなるように、基部１３０、保持腕１１０、振動腕１３５におけるＹ軸方向に沿った長さが設定されている。これによって、共振子１０における酸化ケイ素層Ｆ２´の厚みに多少のばらつき（厚みの平均値から±２０％程度）があった場合においても、振動腕１３５と保持腕１１０との反り量のばらつきを低減することができる。

また、本実施形態に係る共振装置１において、共振子１０における反った形状を有する部分（例えば、基部１３０、振動腕１３５、及び保持腕１１０）は、上蓋３０の凹部３１又は下蓋２０の凹部２１のいずれか一方の内側に位置するように設けられる。これによって、本実施形態に係る共振装置１は、下蓋２０と上蓋３０のうち、共振子１０が内側に設けられる方の凹部を深く形成すればよく、不要な大型化を抑制することができる。

[0059] （６．プロセスフロー）

図６は、本実施形態に係る共振子１０のプロセスフローの一例を示す図である。なお、図６では、便宜上、ウエハに形成される複数の共振装置１のうち、１つの共振装置１を示して説明するが、共振装置１は、通常のＭＥＭＳプロセスと同様に、１つのウエハに複数形成された後に、当該ウエハが分割されることによって得られる。

[0060] 図６Ａに示す最初の工程では、用意したＳｉ基板Ｆ２に、熱酸化によって、酸化ケイ素層Ｆ２´を形成する。なお、酸化ケイ素層Ｆ２´は、スパッタやＣＶＤなどの成膜により形成されても良い。

[0061] 次に、図６Ｂに示す工程において、凹部２１を有する下蓋２０と、酸化ケイ素層Ｆ２´が形成されたＳｉ基板Ｆ２とを、側壁２３で接合する。なお、図６においては図示を省略するが、接合後に化学的機械研磨や、エッチバック等の処理によって、Ｓｉ基板Ｆ２の表面を平坦化することが望ましい。

[0062] さらにＳｉ基板Ｆ２の表面には、金属層Ｅ１が積層される。金属層Ｅ１は、エッチング等の加工により望ましい形状となるように成形されてもよい。

[0063] 次に、金属層Ｅ１の表面に、圧電薄膜Ｆ３と、金属層Ｅ２とがこの順に積層される。金属層Ｅ２は、積層された後、エッチング等の加工により望ましい形状となるように成形される（図６Ｃ）。

[0064] さらに、エッチング等の加工によって、金属層Ｅ２、圧電薄膜Ｆ３、金属層Ｅ１、Ｓｉ基板Ｆ２、酸化ケイ素層Ｆ２´が順に除去されることによって、振動腕１３５Ａ～１３５Ｄ、保持腕１１０、基部１３０（図６においては図示を省略）が形成され、共振子１０が形成される（図６Ｄ）。

[0065] 次に、図６Ｅに示す工程において、保持部１４０に接合部Ｈが形成される。さらに、上蓋３０における凹部３１と、下蓋２０における凹部２１とが一致するように、位置合わせされた上蓋３０が、接合部Ｈを介して接合される（図６Ｆ）。

[0066] ［第２の実施形態］

第２の実施形態以降では第１の実施形態と共通の事柄についての記述を省略し、異なる点についてのみ説明する。特に、同様の構成による同様の作用効果については実施形態毎には逐次言及しない。

[0067] 図７は、本実施形態に係る、共振子１０の平面図の一例を示す図である。以下に、本実施形態に係る共振装置１の詳細構成のうち、第１の実施形態との差異点を中心に説明する。

[0068] 本実施形態では、保持腕１１０は、第１の実施形態における保持腕１１０よりもＹ軸方向に規定される長さが短い。具体的には、本実施形態に係る腕１１２ａ、１１２ｂは、例えば、Ｙ軸方向に規定される長さが３３０μｍ程度である。また、本実施形態に係る腕１１３ａ、１１３ｂは、枠体１４０ｃ

、１４０ｄにおける、振動腕１３５Ａ、１３５ＤのＹ軸方向における中央付近と対向する領域において、それぞれ枠体１４０ｃ、１４０ｄに接続する。

その他の保持腕１１０の構成は第１の実施形態と同様である。

[0069] 図８は、図７のＣＣ´断面における、振動腕１３５と保持腕１１０と保持部１４０との関係を示す図である。

図８に示すように、本実施形態において、振動腕１３５の面Ｌ４は、振動腕１３５の固定端から、振動腕１３５の長手方向における中央付近（点Ｍ１に対向する領域）に向かうにつれて、保持部１４０の面Ｌ１に近づく形状となる。さらに、面Ｌ４は、振動腕１３５の長手方向における中央付近から、自由端に向かうにつれて、面Ｌ１から離れる形状となる。

なお、面Ｌ２及びＬ３と面Ｌ１との関係は第１の実施形態と同様である。

[0070] 本実施形態においては、保持腕１１０が、保持部１４０における、振動腕１３５の長手方向の中央付近と対向する領域と接続する構成となっている。この場合、保持部１４０からの、振動腕１３５の自由端における変位量は、図５Ｂの比較例に示した共振子１０´の、保持部１４０´からの、振動腕１３５´自由端における変位量の約５０％程度に低減される。

その他の構成、機能は第１の実施形態と同様である。

[0071] ［第３の実施形態］

第３の実施形態以降では第１の実施形態と共通の事柄についての記述を省略し、異なる点についてのみ説明する。特に、同様の構成による同様の作用効果については実施形態毎には逐次言及しない。

[0072] 図９は、本実施形態に係る、共振子１０の平面図の一例を示す図である。以下に、本実施形態に係る共振装置１の詳細構成のうち、第１の実施形態との差異点を中心に説明する。

[0073] 本実施形態では、保持腕１１０は、折れ曲がらず、枠体１４０ａのＸ軸方向における中央付近と、基部１３０の長辺１３１ａのＸ軸方向における中央付近（すなわち、振動腕１３５Ｂと振動腕１３５Ｃとの間の領域）とを接続する。本実施形態において、保持腕１１０のＹ軸方向に規定される長さは、

５００μｍ程度である。

その他の保持腕１１０の構成は第１の実施形態と同様である。

[0074] 図１０は、図９のＤＤ´断面における、振動腕１３５と保持腕１１０と保持部１４０との関係を示す図である。

図１０に示すように、本実施形態において、基部１３０の面Ｌ２は、点Ｍ２（すなわち基部１３０の前端）から基部１３０の後端に向かうにつれて、徐々に保持部１４０の面Ｌ１から離れる形状となる。また、振動腕１３５の面Ｌ４は、振動腕１３５の固定端から、自由端に向かうにつれて、面Ｌ１に近づくが、自由端においても、面Ｌ１と同一平面上に位置しない形状となる。

なお、面Ｌ３と面Ｌ１との関係は第１の実施形態と同様である。

[0075] 本実施形態においては、保持腕１１０が、基部１３０の前端と接続する構成となっている。従って、保持腕１１０は、枠体１４０ａと接続するが、第１の実施形態に係る保持腕１１０よりも長手方向における長さが短い。この結果、本実施形態に係る共振子１０は、保持部１４０からの、振動腕１３５の自由端における変位量は、ほぼゼロに近づけることができるが、第１の実施形態における変位量よりも大きくなる。

その他の構成、機能は第１の実施形態と同様である。

[0076] ［第４の実施形態］

[0077] 図１１は、本実施形態に係る、共振子１０の平面図の一例を示す図である。以下に、本実施形態に係る共振装置１の詳細構成のうち、第１の実施形態との差異点を中心に説明する。

[0078] 本実施形態では、本実施形態に係る保持腕１１０は、第１の実施形態における腕１１３ａ、１１３ｂに対応する構成を有さず、腕１１２ａ、１１２ｂにおいて、枠体１４０ａと接続する。基部１３０の短辺１３１ｃ、１３１ｄと保持部１４０における枠体１４０ａとを接続する。腕１１２ａ、１１２ｂのＹ軸方向に規定される長さは、５９０μｍ程度である。

その他の保持腕１１０の構成は第１の実施形態と同様である。

[0079] 図１２は、図１１のＥＥ´断面における、振動腕１３５と保持腕１１０と保持部１４０との関係を示す図である。

図１２に示すように、本実施形態において、振動腕１３５の面Ｌ４は、振動腕１３５の固定端から、自由端に向かうにつれて、保持部１４０の面Ｌ１に近づき、自由端において、面Ｌ１と略同一平面上に位置する形状となる。

なお、面Ｌ３と面Ｌ１との関係は第１の実施形態と同様である。

[0080] 本実施形態においては、保持腕１１０が、基部１３０の短辺１３１ｃ、１３１ｄと枠体１４０ａとを接続する構成となっている。従って、本実施形態に係る共振子１０は、保持部１４０からの、振動腕１３５の自由端における変位量を、ほぼゼロに近づけることができる。

その他の構成、機能は第１の実施形態と同様である。

[0081] ［第５の実施形態］

[0082] 図１３は、本実施形態に係る、共振子１０の平面図の一例を示す図である。以下に、本実施形態に係る共振装置１の詳細構成のうち、第１の実施形態との差異点を中心に説明する。

[0083] 本実施形態では、保持腕１１０は、腕１１１ａ～１１３ａ、１１１ｂ～１１３ｂに加え、腕１１４ａ、１１４ｂ（子腕の一例である。）を有し、基部１３０の後端と、枠体１４０ｃ、１４０ｄとを接続する。

[0084] 腕１１４ａは、基部１３０と枠体１４０ｂとの間に、長手方向がＹ軸に平行になるように設けられている。腕１１４ａは、一端が長辺１３１ｂにおいて基部１３０と接続しており、そこから長辺１３１ｂに対して略垂直、すなわちＹ軸方向に沿って、長辺１３１ｂから離れる方向に延びている。また、腕１１４ａの他端は、その側面（ＹＺ平面上の面）において、腕１１１ａの一端に接続されている。腕１１４ａは、Ｘ軸方向に規定される幅が２０μｍ程度であり、Ｙ軸方向に規定される長さが４０μｍである。なお、腕１１４ｂの構成は、腕１１４ａの構成と同様である。

[0085] また、本実施形態に係る腕１１２ａ、１１２ｂは、例えば、Ｙ軸方向に規定される長さが３５０μｍ程度である。また、本実施形態に係る腕１１３ａ

、１１３ｂは、枠体１４０ｃ、１４０ｄにおける、振動腕１３５Ａ、１３５ＤのＹ軸方向における中央付近と対向する領域において接続する。

その他の保持腕１１０の構成は、第１の実施形態と同様である。

[0086] 図１４は、図１３のＦＦ´断面における、振動腕１３５と保持腕１１０と保持部１４０との関係を示す図である。

図１４に示すように、本実施形態において、振動腕１３５の面Ｌ４は、振動腕１３５の固定端から、振動腕１３５の長手方向における中央付近（点Ｍ１に対向する領域）に向かうにつれて、保持部１４０の面Ｌ１に近づく形状となる。さらに、面Ｌ４は、振動腕１３５の長手方向における中央付から、自由端に向かうにつれて、面Ｌ１から離れる形状となる。

なお、面Ｌ２及びＬ３と面Ｌ１との関係は第１の実施形態と同様である。

[0087] 本実施形態においては、保持腕１１０が、保持部１４０における、振動腕１３５の長手方向の中央付近と対向する領域と接続する構成となっている。従って、本実施形態における、保持部１４０からの、振動腕１３５の自由端における変位量は、図５Ｂの比較例に示した共振子１０´における、保持部１４０´からの、振動腕１３５´の自由端における変位量の約５０％程度に低減される。

さらに、本実施形態において、基部１３０の前端から、腕１１４ａ又は１１４ｂの他端までの長さ（すなわち、基部１３０のＹ軸方向の長さ８０μｍと腕１１４ａ又は１１４ｂの長手方向の長さ４０μｍの和である、１２０μｍ）が振動腕１３５の長手方向の長さ（すなわち４８０μｍ）よりも短くなるように、基部１３０、保持腕１１０、振動腕１３５におけるＹ軸方向に沿った長さが設定されている。これによって、共振子１０における酸化ケイ素層Ｆ２´の厚みに多少のばらつき（厚みの平均値から±２０％程度）があった場合においても、振動腕１３５と保持腕１１０との反り量のばらつきを低減することができる。

その他の構成、機能は第１の実施形態と同様である。

[0088] ［第６の実施形態］

[0089] 図１５は、本実施形態に係る、共振子１０の平面図の一例を示す図である。以下に、本実施形態に係る共振装置１の詳細構成のうち、第１の実施形態との差異点を中心に説明する。

[0090] 本実施形態において、保持腕１１０は、基部１３０のＸ軸方向の中心線に沿ってＹＺ平面に平行に規定される仮想平面Ｐに対して非対称に形成される。具体的には、本実施形態に係る保持腕１１０は、第１の実施形態に係る腕１１１ｂ～１１３ｂに対応する構成を有していない。その他の保持腕１１０の構成は第１の実施形態と同様である。

[0091] その他の構成、機能は第１の実施形態と同様である。

[0092] 以上、本発明の例示的な実施形態について説明した。本実施形態に係る共振装置１では、共振子１０と、共振子１０を間に挟んで互いに対向する上蓋３０と、下蓋２０とを備え、共振子１０は、基部１３０と、圧電薄膜Ｆ３と当該圧電薄膜Ｆ３を間に挟んで互いに対向する１対の電極層Ｅ１、Ｅ２とを有し、固定端が基部１３０の前端（長辺１３１ａ）と接続し、基部１３０から離れる方向に延びる複数の振動腕１３５と、基部１３０及び振動腕１３５の周囲の少なくとも一部に設けられた保持部１４０と、一端が基部１３０に接続され、他端が、複数の振動腕１３５の固定端よりも、振動腕１３５の自由端側において保持部１４０に接続される保持腕１１０と、を有し、基部１３０、複数の振動腕１３５、及び保持腕１１０は、Ｓｉ基板Ｆ２、及び、Ｓｉ基板Ｆ２に積層された、当該Ｓｉ基板Ｆ２とは熱膨脹率の異なる材料から成る酸化ケイ素層Ｆ２´を有し、Ｓｉ基板Ｆ２及び酸化ケイ素層Ｆ２´によって一体に形成されている。

これによって、本実施形態に係る共振装置１では、保持部１４０からの、振動腕１３５の自由端における変位量を低減させることができる。この結果、振動腕１３５が面外屈曲振動をした場合であっても、振動腕１３５の自由端が、下蓋２０や上蓋３０に衝突することを防ぐことができる。

[0093] また、保持部１４０はＳｉ基板Ｆ２を含み、当該Ｓｉ基板Ｆ２は、基部１３０、複数の振動腕１３５Ａ~１３５Ｄ、及び保持腕１１０におけるＳｉ基板

Ｆ２と一体に形成されており、保持部１４０におけるＳｉ基板Ｆ２は、下蓋２０と対向する面Ｌ１を有し、基部１３０におけるＳｉ基板Ｆ２は、下蓋２０と対向する面Ｌ２を有し、保持腕１１０におけるＳｉ基板Ｆ２は、下蓋２０と対向する面Ｌ３を有し、基部１３０における面Ｌ２のうち、当該基部１３０において前端と対向する後端に対応する部分は、面Ｌ１と同一平面上になく、保持腕１１０における面Ｌ３のうち、当該保持腕１１０の一端（点Ｍ２）に対応する部分は、面Ｌ１と同一平面上にないことが好ましい。

[0094] また、振動腕１３５におけるＳｉ基板Ｆ２は、下蓋２０と対向する面Ｌ４面を有し、面Ｌ４における振動腕１３５の自由端に対応する部分から、面Ｌ１までの距離は、面Ｌ２における基部１３０の後端に対応する部分から、面Ｌ１までの距離、よりも小さいことが好ましい。

[0095] また、振動腕１３５における面Ｌ４のうち、振動腕１３５の固定端に対応する部分は、面Ｌ１上になく、振動腕１３５における面Ｌ４は、振動腕１３５の固定端に対応する部分から振動腕１３５の自由端に対応する部分に向かって、面Ｌ１に近づく部分を有することが好ましい。

[0096] また、保持腕１１０における面Ｌ３は、保持腕１１０の他端に対応する部分から保持腕１１０の一端に対応する部分に向かうにつれて、面Ｌ１から離れることが好ましい。

[0097] また、基部１３０の前端から、基部１３０の後端までの長さは、複数の振動腕１３５Ａ～１３５Ｄにおける、固定端から自由端までの長さよりも小さいことが好ましい。また、保持腕１１０は、一端が基部１３０の後端に接続され、当該後端から離れる方向に延びる腕１１４ａ、１１４ｂを有し、基部１３０の前端から腕１１４ａ又は１１４ｂの他端までの長さは、複数の振動腕１３５Ａ～１３５Ｄにおける、固定端から自由端までの長さよりも小さいことが好ましい。これによって、酸化ケイ素層Ｆ２´の厚みに多少のばらつき（厚みの平均値から±２０％程度）があった場合においても、振動腕１３５と保持腕１１０との反り量のばらつきを低減することができる。

[0098] また、Ｓｉ基板Ｆ２は、シリコンから成り、温度特性補正層は、酸化シリ

コンから成ることが好ましい。これによって、Ｓｉ基板Ｆ２や温度特性補正層の厚みを均一にしやすくなるため、プロセスが容易になる。

[0099] 以上説明した各実施形態は、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。即ち、各実施形態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、各実施形態が備える各要素およびその配置、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。例えば、既述の実施形態において、保持腕１１０は２回以上折れ曲がる構成として説明したが、これに限定されない。保持腕１１０は、例えば、１回も折れ曲がらず、基部１３０の長辺１３１ｂと枠体１４０ｂとを接続する構成であってもよい。また、保持腕１１０は、例えば、１回だけ折れ曲がり、基部１３０の長辺１３１ｂと枠体１４０ｃ又は１４０ｄとを接続する構成であってもよい。この場合、共振装置１の小型化を図ることが可能になる。また、各実施形態は例示であり、異なる実施形態で示した構成の部分的な置換また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

[0100]

１	共振装置
１０	共振子
３０	上蓋
２０	下蓋
１４０	保持部
１４０ａ～ｄ	枠体
１１０	保持腕
１１１ａ～１１４ａ、１１ｂ～１１４ｂ	腕
１２０	振動部

１３０	基部
１３１ａ、１３１ｂ	長辺
１３１ｃ、１３１ｄ	短辺
１３５Ａ～Ｄ	振動腕
Ｆ２	Ｓｉ基板
Ｆ２´	酸化ケイ素層（温度特性補正層）

請求の範囲

[請求項1] 共振子と、

前記共振子を間に挟んで互いに対向する上蓋と、下蓋とを備え、

前記共振子は、

基部と、

圧電体と当該圧電体を間に挟んで互いに対向する１対の電極層とを有し、一端が前記基部の前端と接続し、前記基部から離れる方向に延びる複数の振動腕と、

前記基部及び前記振動腕の周囲の少なくとも一部に設けられた保持部と、

一端が前記基部に接続され、他端が、前記複数の振動腕の前記一端よりも、前記複数の振動腕の他端側において前記保持部に接続される保持腕と、

を有し、

前記基部、前記複数の振動腕、及び前記保持腕は、基板及び当該基板に積層された、当該基板とは熱膨脹率の異なる材料から成る温度特性補正層を有し、前記基板及び前記温度特性補正層によって一体に形成されている、

共振装置。

[請求項2] 前記保持部は基板を含み、当該基板は、前記基部、前記複数の振動腕、及び前記保持腕における前記基板と一体に形成されており、

前記保持部における基板は、前記下蓋と対向する第１面を有し、

前記基部における基板は、前記下蓋と対向する第２面を有し、

前記保持腕における基板は、前記下蓋と対向する第３面を有し、

前記基部における前記第２面のうち、当該基部において前記前端と対向する後端に対応する部分は、前記第１面と同一平面上になく、

前記保持腕における前記第３面のうち、当該保持腕の前記一端に対応する部分は、前記第１面と同一平面上にないことを特徴とする、請

求項１に記載の共振装置。

[請求項3] 前記複数の振動腕における基板は、前記下蓋と対向する第４面を有し、

前記第４面における前記複数の振動腕の前記他端に対応する部分から、前記第１面までの距離は、前記第２面における前記基部の前記後端に対応する部分から、前記第１面までの距離、よりも小さいことを特徴とする、請求項２に記載の共振装置。

[請求項4] 前記複数の振動腕における前記第４面のうち、前記複数の振動腕の前記一端に対応する部分は、前記第１面上になく、

前記複数の振動腕における前記第４面は、前記複数の振動腕の前記一端に対応する部分から前記複数の振動腕の他端に対応する部分に向かって、前記第１面に近づく部分を有することを特徴とする、請求項３に記載の共振装置。

[請求項5] 前記保持腕における前記第３面は、前記保持腕の前記他端に対応する部分から前記保持腕の前記一端に対応する部分に向かうにつれて、前記第１面から離れることを特徴とする、請求項３または４に記載の共振装置。

[請求項6] 前記基部の前記前端から前記基部の前記後端までの長さは、前記複数の振動腕における、前記一端から前記他端までの長さよりも小さいことを特徴とする、請求項２～５いずれか一項に記載の共振装置。

[請求項7] 前記保持腕は、一端が前記基部の前記後端に接続され、当該後端から離れる方向に延びる子腕を有し、

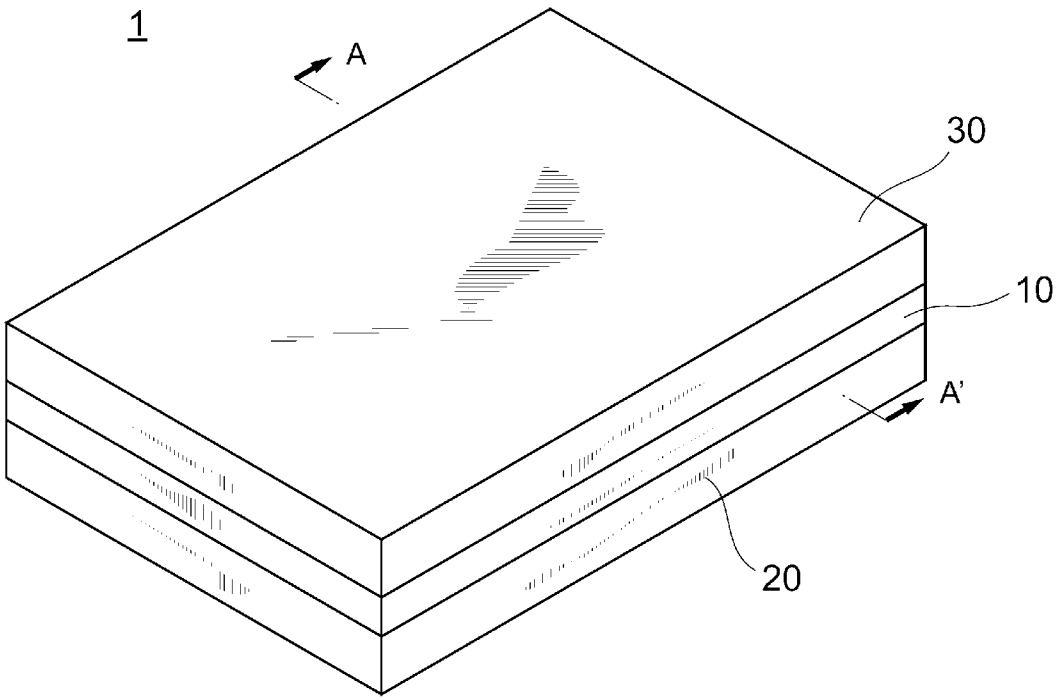
前記基部の前端から前記子腕の他端までの長さは、前記複数の振動腕における、前記一端から前記他端までの長さよりも小さいことを特徴とする、請求項２～５いずれか一項に記載の共振装置。

[請求項8] 前記基板は、シリコンから成り、

前記温度特性補正層は、酸化シリコンから成ることを特徴とする、請求項１～７いずれか一項に記載の共振装置。

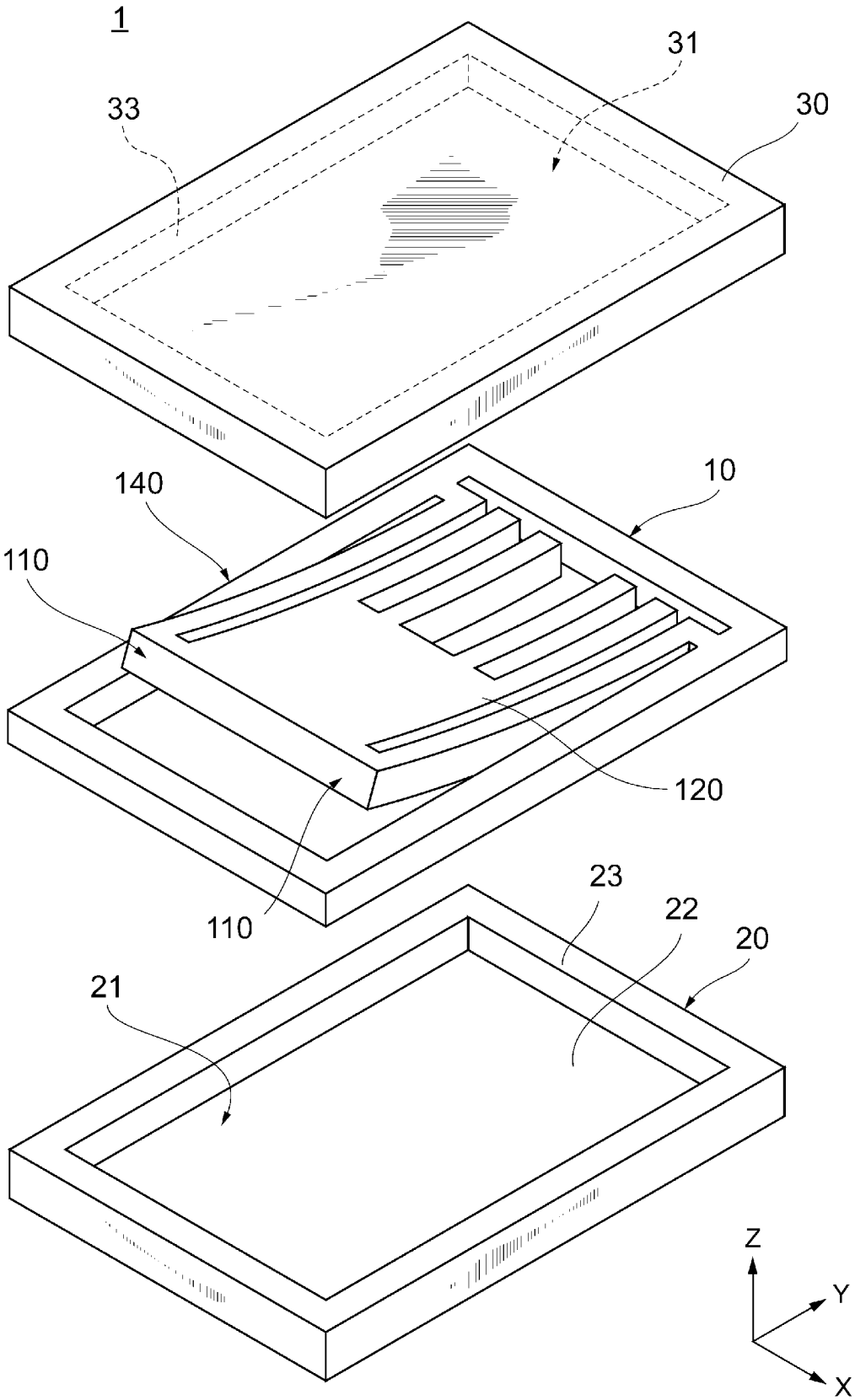
[図1]

FIG.1



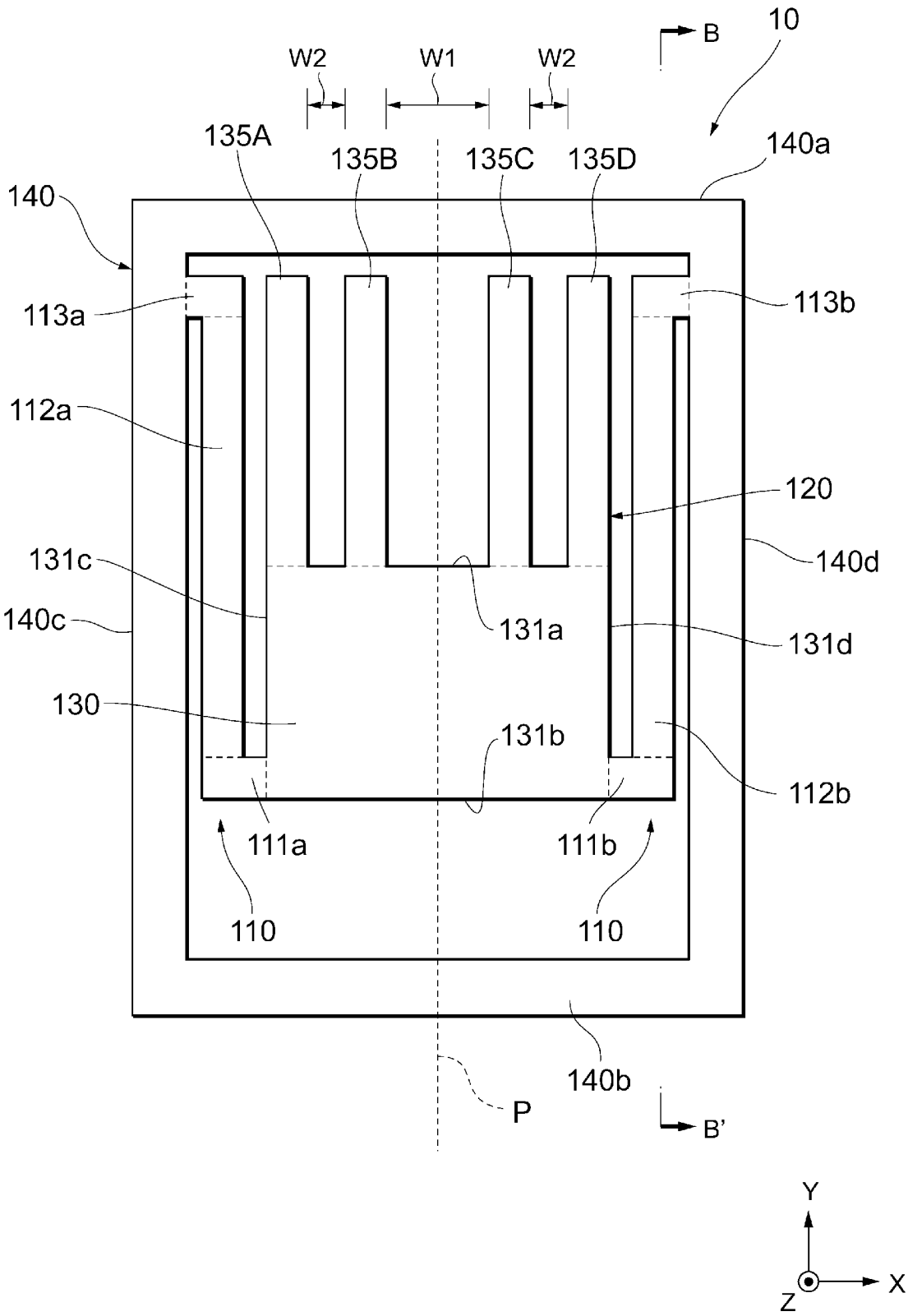
[図2]

FIG. 2



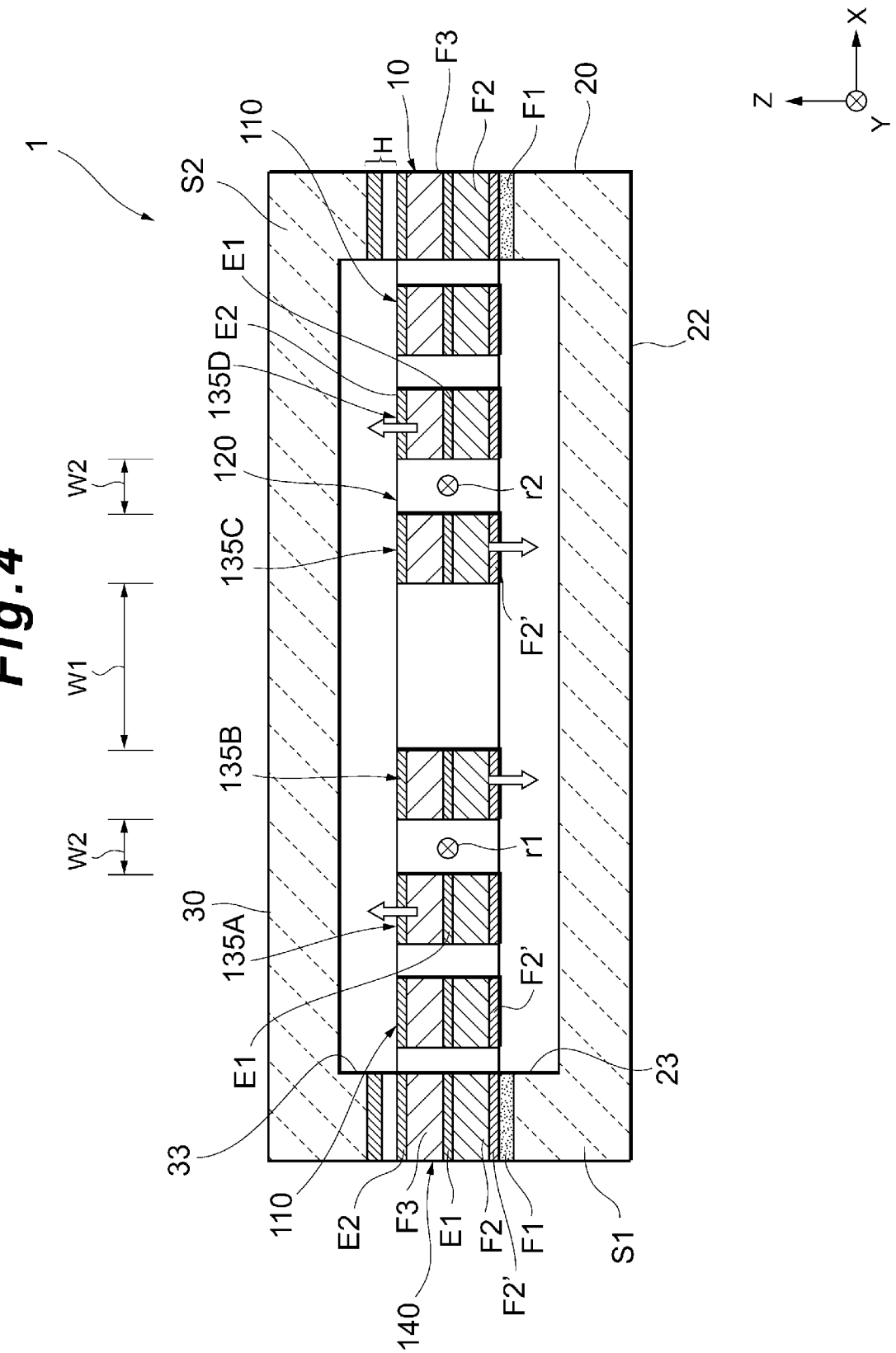
[図3]

Fig.3


10
B
W2
W1
W2
135A
135B
135C
135D
140a
140
113a
113b
112a
120
131c
140d
140c
131a
131d
130
131b
112b
111a
111b
110
110
140b
P
B'
Y
X
Z

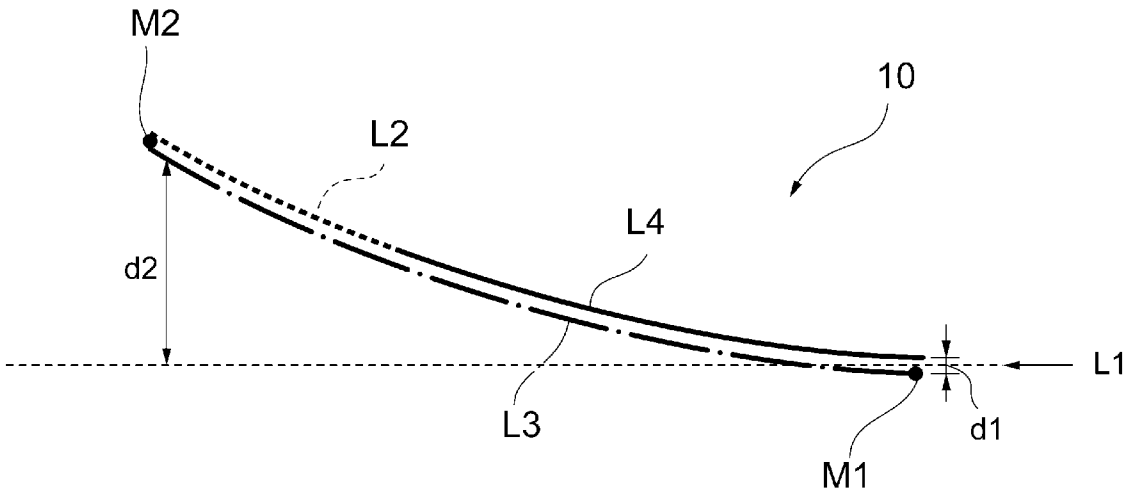
[図4]

Fig.4


1
S2
110
10
H
F3
F2
F1
20
X
Z
Y
E1
E2
135D
120
135C
135B
135A
30
33
W2
W1
W2
r2
r1
F2'
F2'
22
23
E1
110
E2
F3
E1
F2
F1
F2'
140
S1

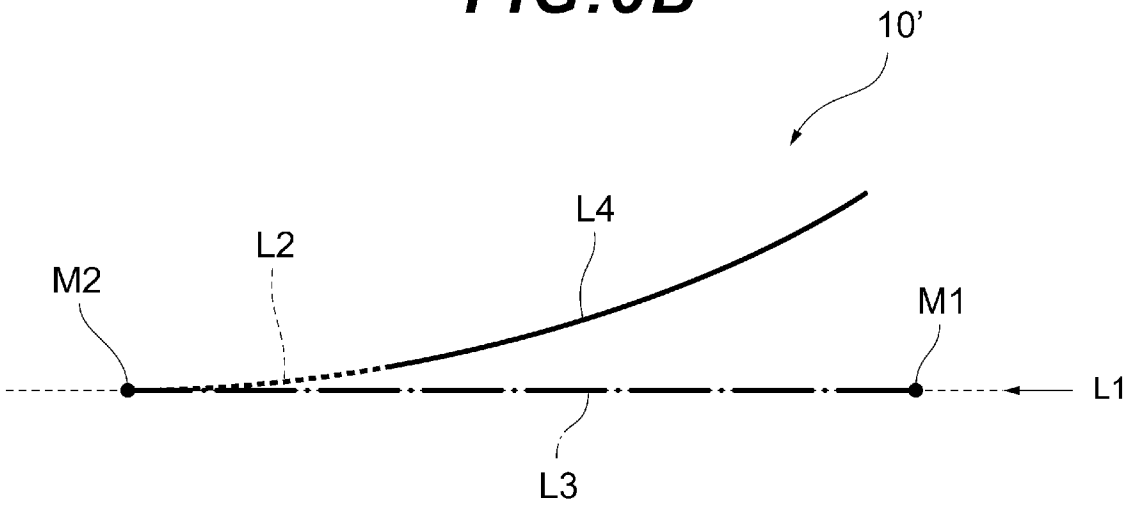
[図5A]

FIG.5A



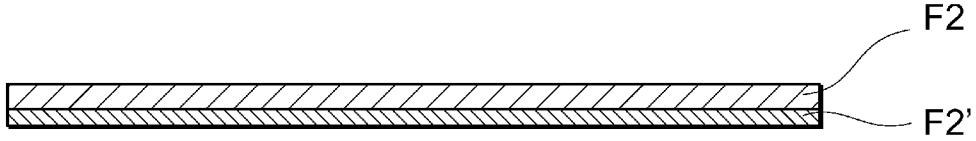
[図5B]

FIG.5B



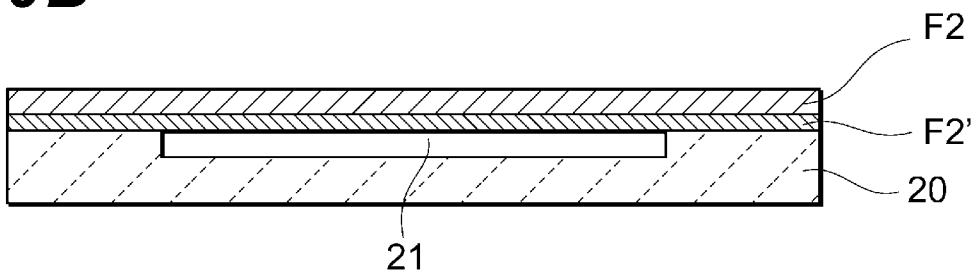
[図6A]

FIG.6A



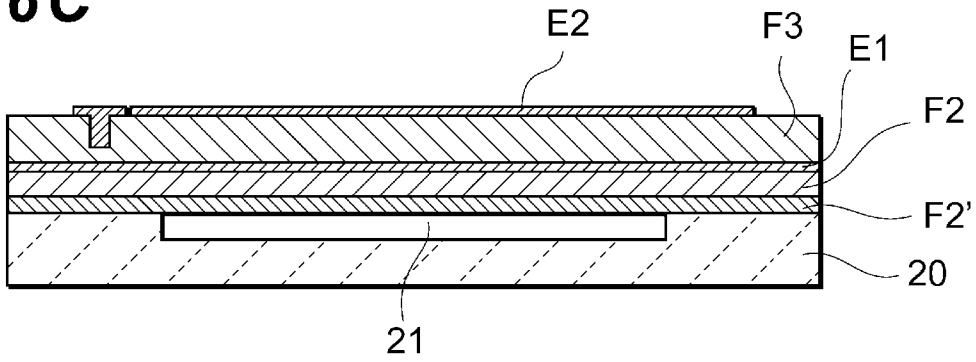
[図6B]

FIG.6B



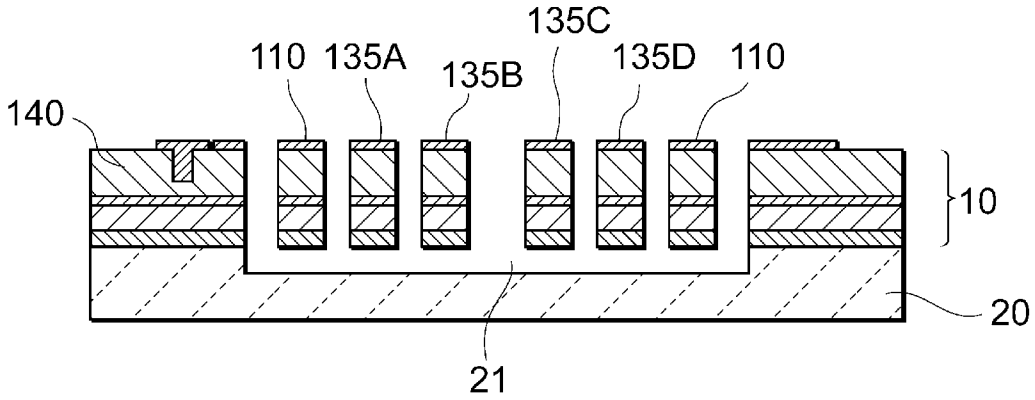
[図6C]

FIG.6C



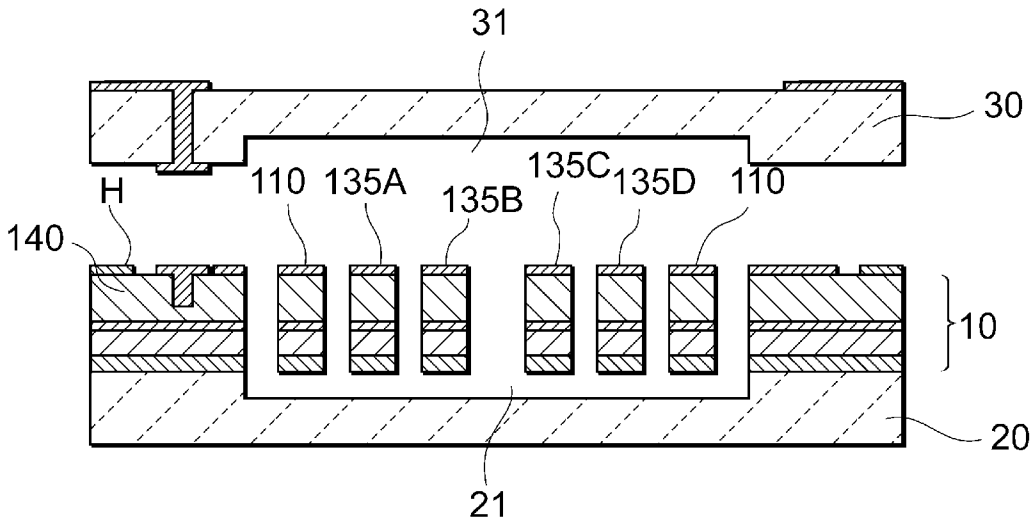
[図6D]

FIG.6D



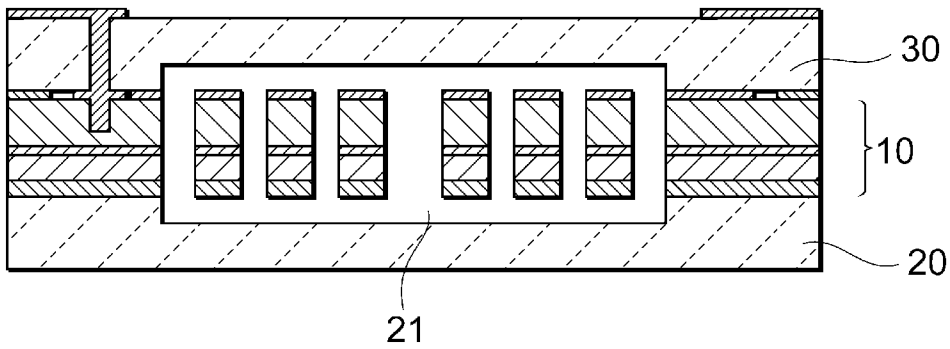
[図6E]

FIG.6E



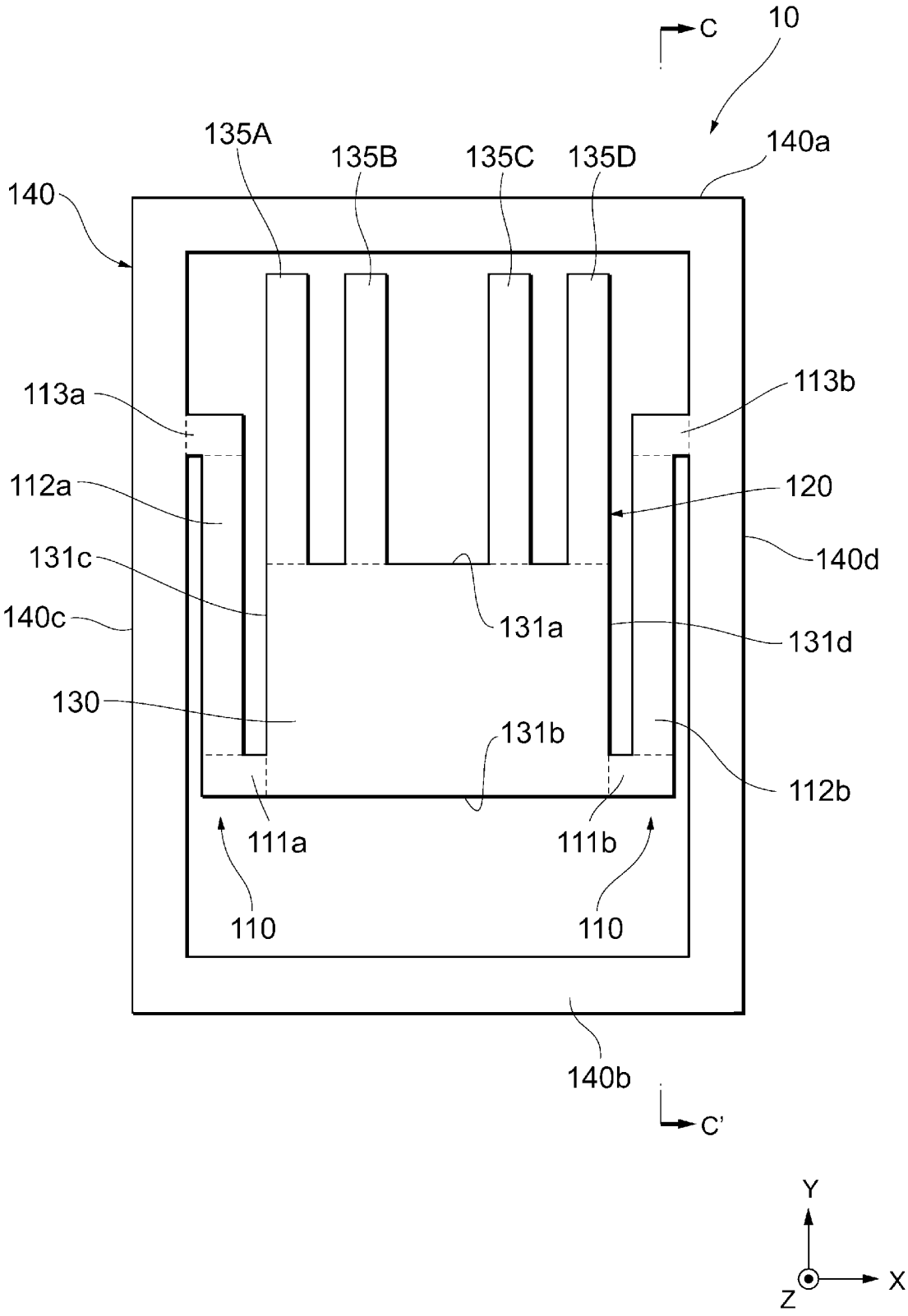
[図6F]

FIG.6F



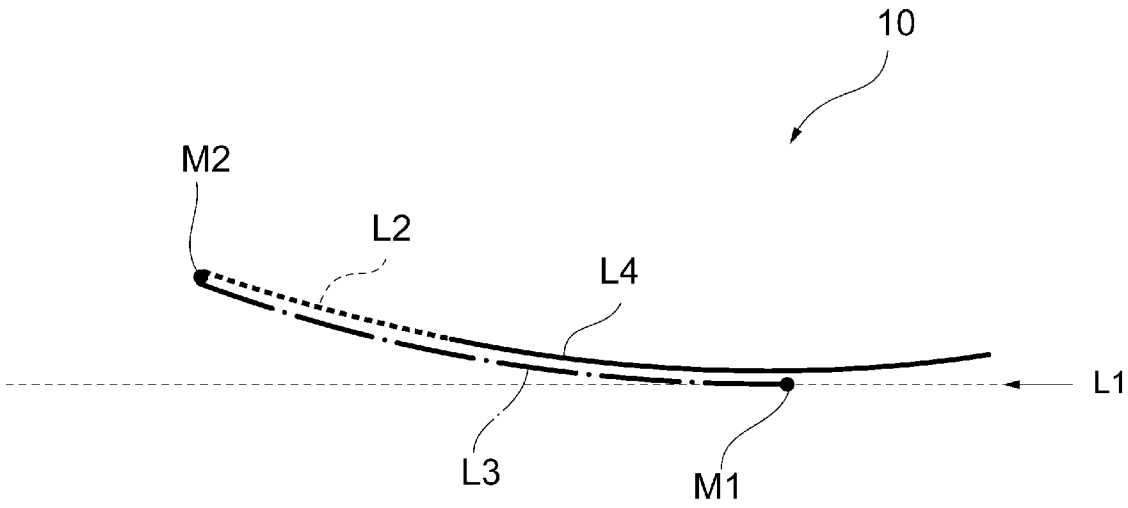
[図7]

Fig.7


C
10
135A
135B
135C
135D
140a
140
113a
113b
112a
120
131c
140d
140c
131a
131d
130
131b
112b
111a
111b
110
110
140b
C'
Y
Z
X

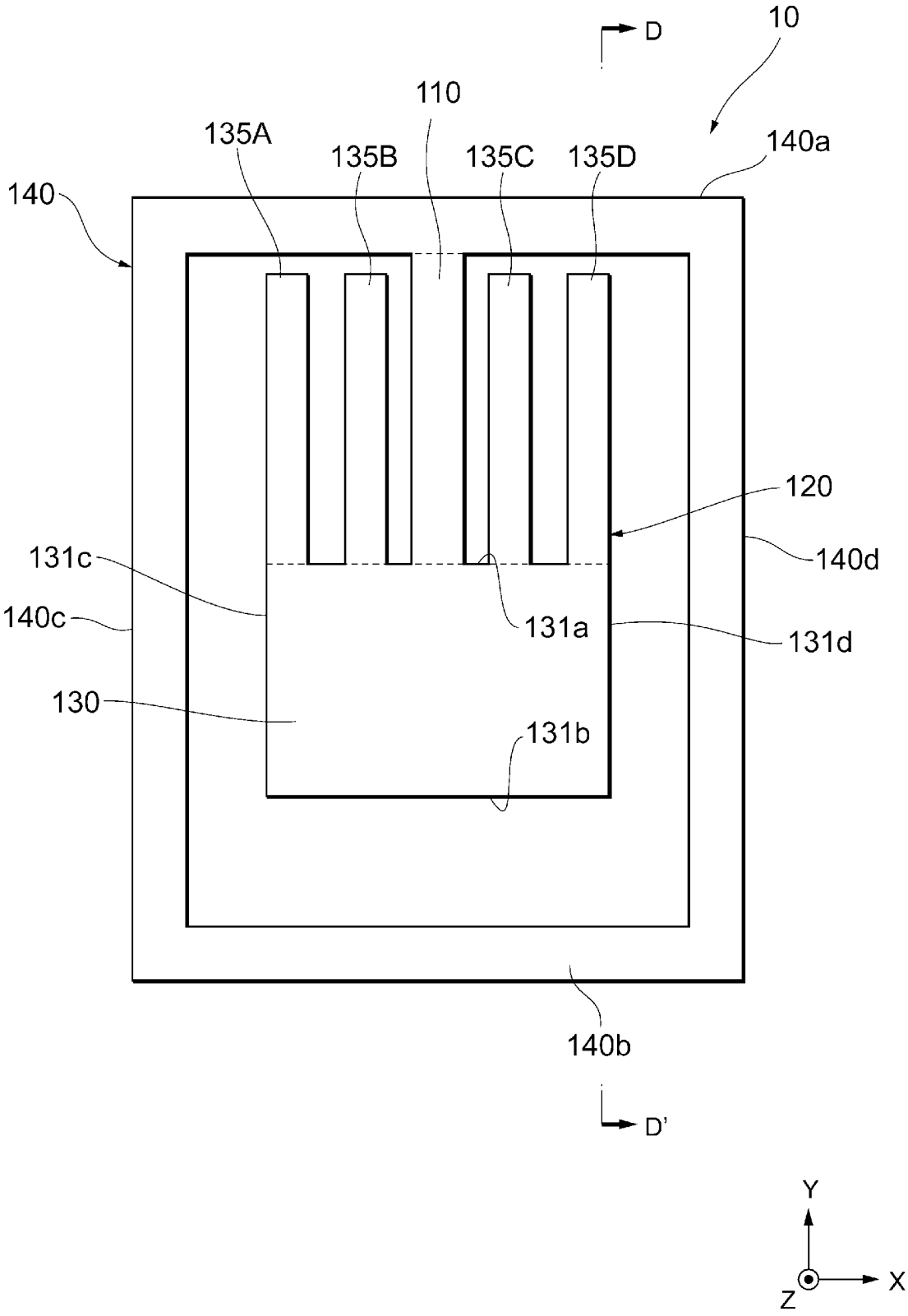
[図8]

FIG.8



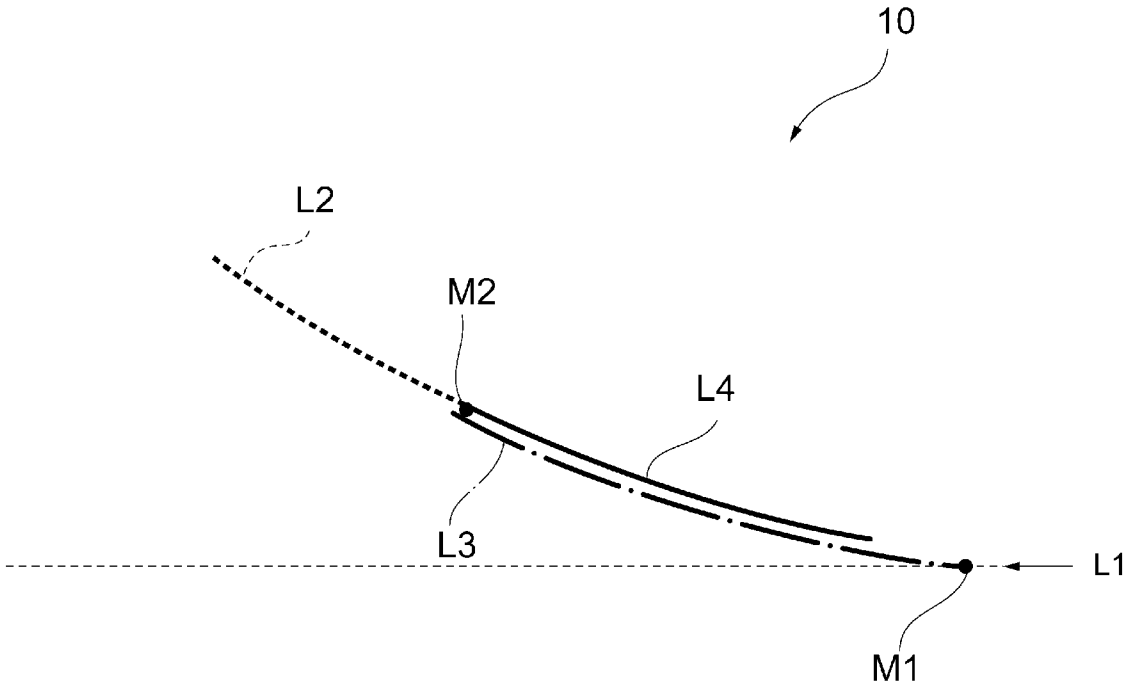
[図9]

Fig.9


D
10
110
135A
135B
135C
135D
140a
140
120
131c
140d
140c
131a
131d
130
131b
140b
D'
Y
X
Z

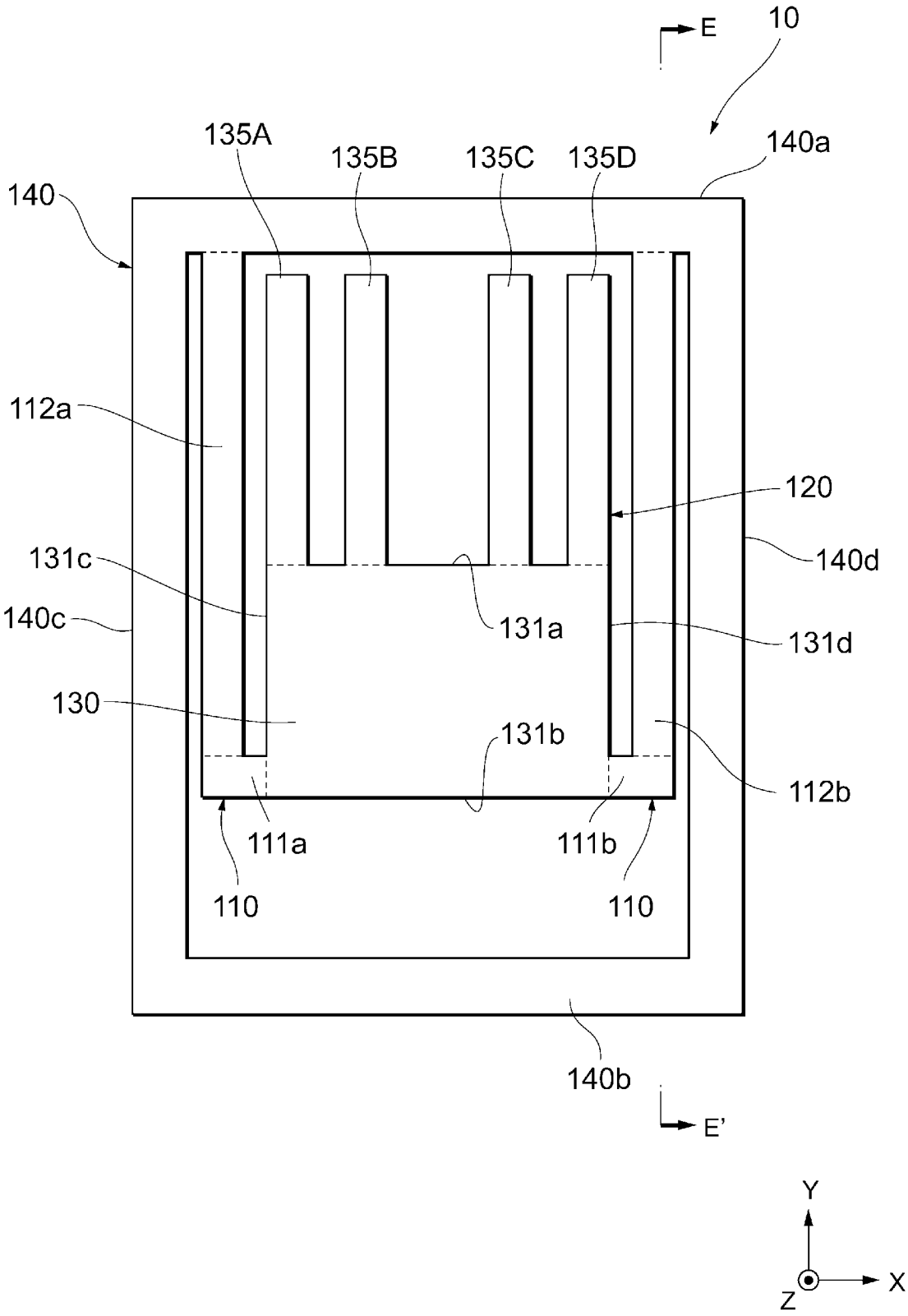
[図10]

FIG.10



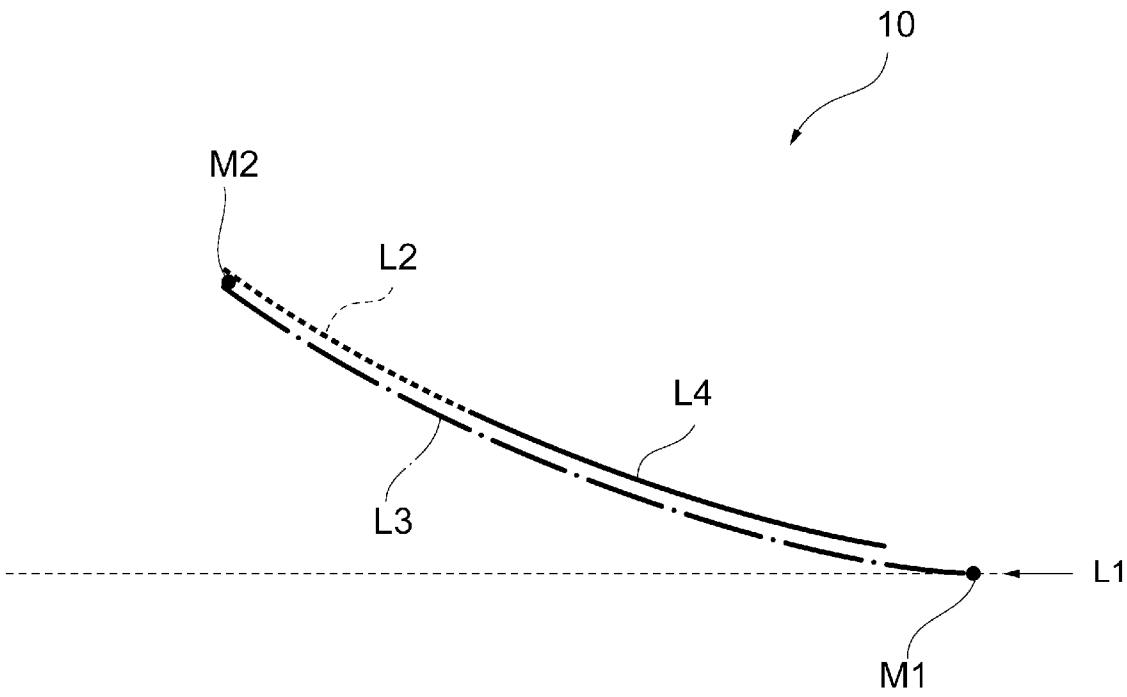
[図11]

Fig.11


E
10
135A
135B
135C
135D
140a
140
112a
120
131c
140d
140c
131a
131d
130
131b
112b
111a
111b
110
110
140b
E'
Y
X
Z

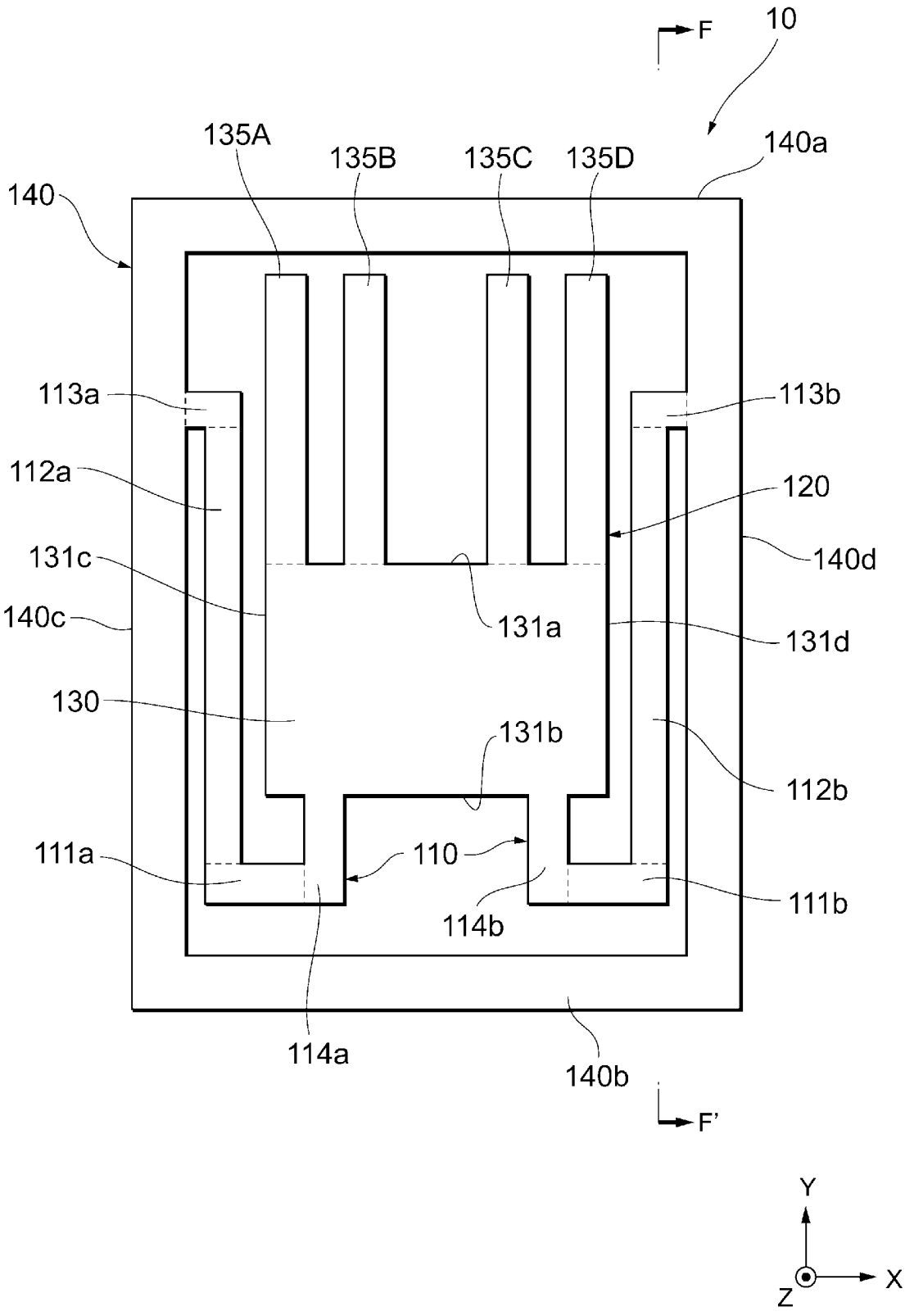
[図12]

FIG.12



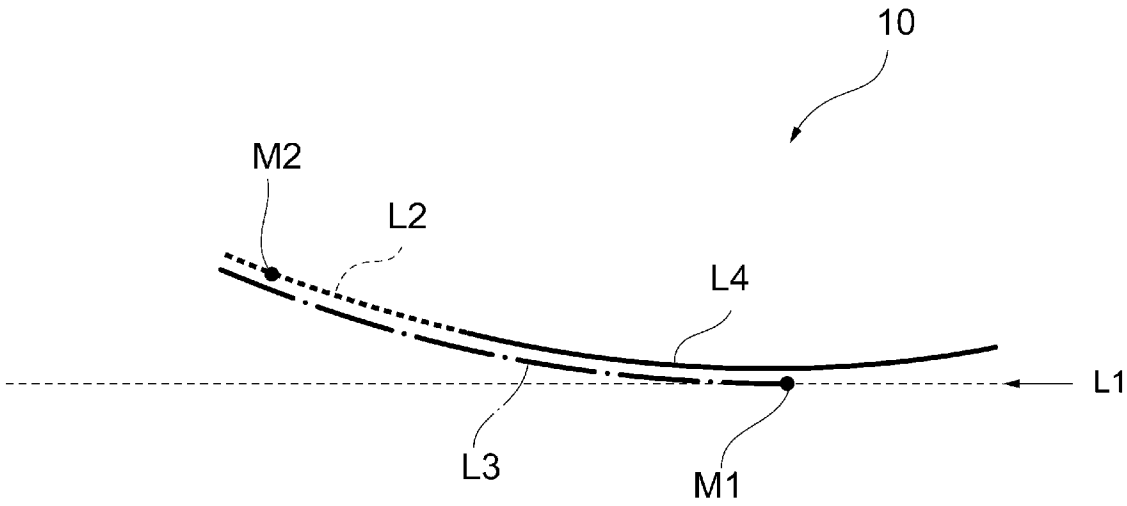
[図13]

Fig.13


F
10
135A
135B
135C
135D
140a
140
113a
113b
112a
120
131c
140d
140c
131a
131d
130
131b
112b
111a
110
111b
114b
114a
140b
F'
Y
Z
X

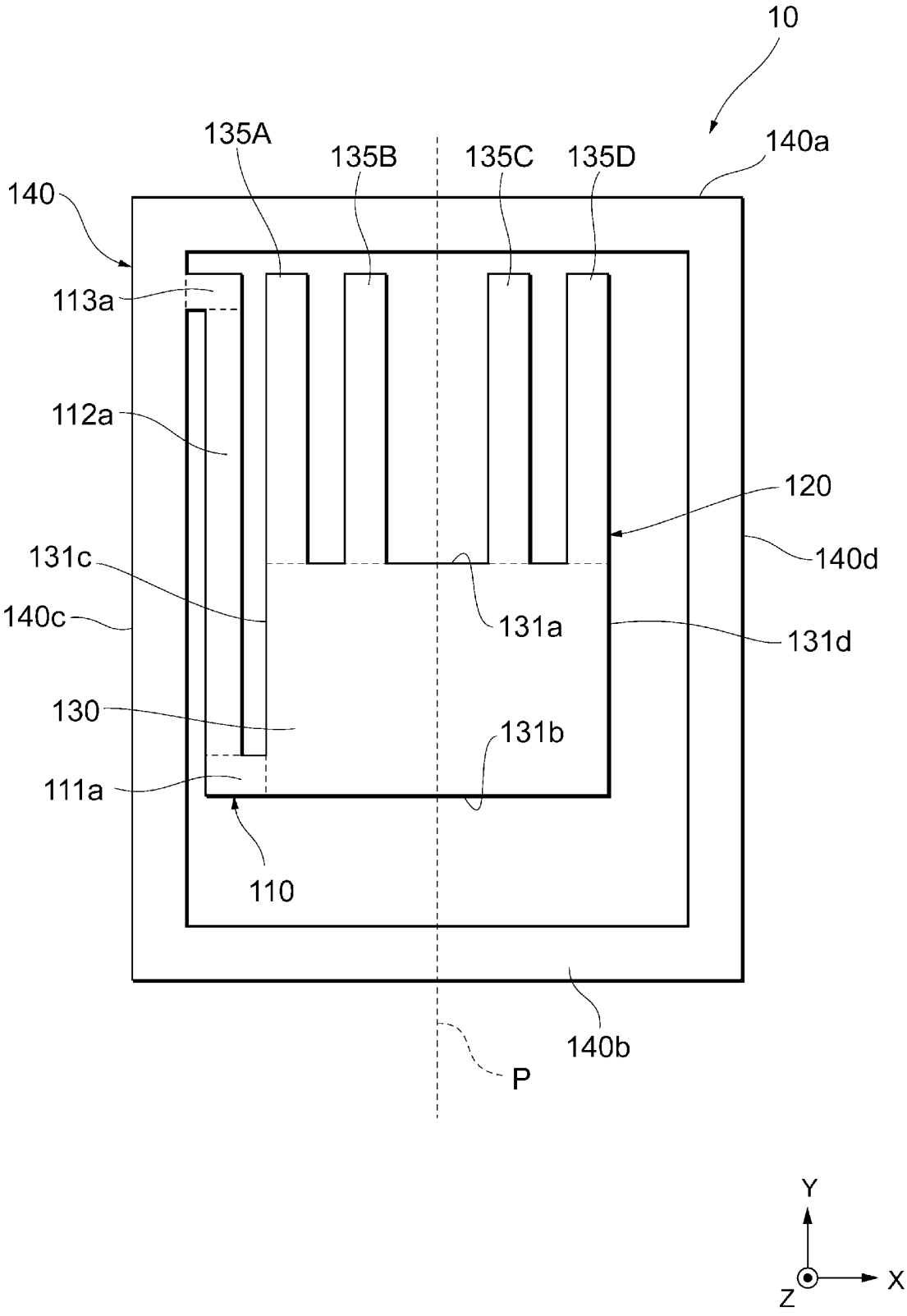
[図14]

FIG.14



[図15]

Fig.15


10
135A
135B
135C
135D
140a
140
113a
112a
120
131c
140d
131a
140c
131d
130
131b
111a
110
140b
P
Y
X
Z

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/079755

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H03H9/17(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H03H9/17

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
A	WO 2015/041152 A1 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 26 March 2015 (26.03.2015), paragraphs [0029] to [0044]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-8
A	JP 2009-089231 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 23 April 2009 (23.04.2009), paragraphs [0023] to [0049]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-8
A	JP 2007-123683 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 17 May 2007 (17.05.2007), paragraphs [0012] to [0024]; fig. 1 (Family: none)	1-8

☒ 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
10 November 2015 (10.11.15)	24 November 2015 (24.11.15)

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/079755

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-187054 A (Nihon Dempa Kogyo Co., Ltd.), 26 August 2010 (26.08.2010), paragraphs [0029] to [0043]; fig. 1, 2 & US 2010/0201221 A1 paragraphs [0034] to [0048]; fig. 1, 2	1-8

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０７９７５５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H03H9/17(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H03H9/17

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	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５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
Ａ	WO 2015/041152 A1（株式会社村田製作所）2015.03.26，段落［００２９］－［００４４］，図１－３（ファミリーなし）	１－８
Ａ	JP 2009-089231 A（株式会社村田製作所）2009.04.23，段落［００２３］－［００４９］，図１－５（ファミリーなし）	１－８
Ａ	JP 2007-123683 A（独立行政法人産業技術総合研究所）2007.05.17，段落［００１２］－［００２４］，図１（ファミリーなし）	１－８

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１０．１１．２０１５	２４．１１．２０１５

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　５Ｗ　４７７６
▲高▼橋　義昭
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５７６

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Ａ	JP 2010-187054 A（日本電波工業株式会社）2010.08.26, 段落［００２９］－［００４３］, 図１，２ & US 2010/0201221 A1 段落［００３４］－［００４８］, 図１，２	１－８