

(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
2012 年 12 月 20 日(20.12.2012)



(10) 国際公開番号

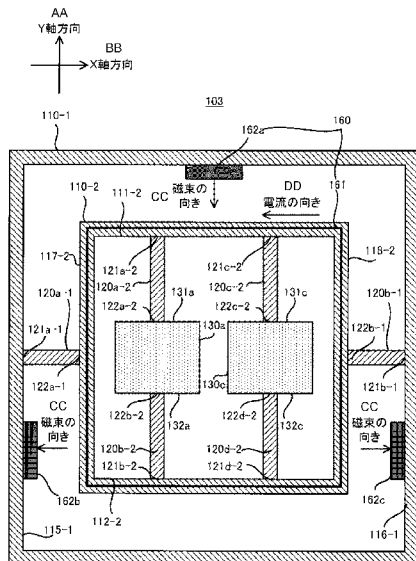
WO 2012/172653 A1

- (51) 国際特許分類:
B06B 1/02 (2006.01) *G02B 26/08* (2006.01)
B81C 3/00 (2006.01) *H02N 2/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/063681
- (22) 国際出願日: 2011 年 6 月 15 日(15.06.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パイオニア株式会社 (PIONEER CORPORATION) [JP/JP]; 〒2120031 神奈川県川崎市幸区新小倉 1 番 1 号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鈴木 純(SUZUKI, Jun) [JP/JP]; 〒2120031 神奈川県川崎市幸区新小倉 1-1 パイオニア株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 江上 達夫, 外(EGAMI, Tatsuo et al.); 〒1040031 東京都中央区京橋一丁目 1 6 番 1 0 号 オークビル京橋 3 階 東京セントラル特許事務所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: DRIVE DEVICE

(54) 発明の名称: 駆動装置

[図9]



AA Y axis direction
BB X axis direction
CC Magnetic flux orientation
DD Current orientation

(57) Abstract: A drive device (100) comprises: a first base section (110-1); a second base section (110-2); first elastic sections (120a-1, 120b-1); a plurality of driven sections (130a, 130c); a plurality of second elastic sections (120a-2, 120b-2); and an application unit (160) that applies to the second base section an excitation force for rotating the plurality of driven sections such that each driven section rotates while resonating, around a central axis being an axis along one direction, at a resonant frequency determined by each of the plurality of driven sections and one second elastic section among the plurality of second elastic sections that corresponds to each driven section. The resonant frequency determined by each of the plurality of driven sections and the one second elastic section among the plurality of second elastic sections that corresponds to each driven section is the same between at least two of the plurality of driven sections.

(57) 要約: 駆動装置 (100) は、第 1 ベース部 (110-1) と、第 2 ベース部 (110-2) と、第 1 弾性部 (120a-1, 120b-1) と、複数の被駆動部 (130a, 130c) と、複数の第 2 弾性部 (120a-2, 120b-2) と、複数の被駆動部の夫々及び複数の第 2 弾性部のうち夫々の被駆動部に対応する一つの第 2 弾性部により定まる共振周波数で夫々の被駆動部が前記一方向に沿った軸を中心軸として共振しながら回転するように複数の被駆動部を回転させるための加振力を第 2 ベース部に加える印加部 (160) とを備え、複数の被駆動部の夫々及び複数の第 2 弾性部のうち夫々の被駆動部に対応する一つの第 2 弾性部により定まる共振周波数は、複数の被駆動部の少なくとも 2 つの間で同じになる。

明 細 書

発明の名称： 駆動装置

技術分野

[0001] 本発明は、例えばミラー等の被駆動物を回転させるMEMSスキャナ等の駆動装置の技術分野に関する。

背景技術

[0002] 例えば、ディスプレイ、プリンティング装置、精密測定、精密加工、情報記録再生などの多様な技術分野において、半導体工程技術によって製造されるMEMS (Micro Electro Mechanical System) デバイスについての研究が活発に進められている。このようなMEMSデバイスとして、例えば、光源から入射された光を所定の画面領域に対して走査して画像を具現するディスプレイ分野、または所定の画面領域に対して光を走査して反射された光を受光して画像情報を読み込むスキャニング分野では、微小構造のミラー駆動装置（光スキャナないしはMEMSスキャナ）が注目されている。

[0003] ミラー駆動装置は、一般的には、ベースとなる固定された本体と、所定の中心軸の周りに回転可能なミラーと、本体とミラーとを接続する又は接合するトーションバー（ねじれ部材）とを備える構成が知られている（特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表2007-522529号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] このような構成を有するミラー駆動装置では、ミラーが回転する周波数を高くすることができないという技術的な問題点を有している。言い換えれば、このような構成を有するミラー駆動装置では、ミラーが回転する周期を短

くすることができないという技術的な問題点を有している。

[0006] このような従来のミラー駆動装置に対して、本発明は、例えば、ミラー（或いは、回転する被駆動物）が回転する周波数を相対的に高くすることが可能な駆動装置（つまり、MEMSスキャナ）を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記課題を解決するために、駆動装置は、第1ベース部と、前記第1ベース部に取り囲まれる第2ベース部と、前記第1ベース部と前記第2ベース部とを接続し、且つ前記第2ベース部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させるような弾性を有する第1弾性部と、夫々が回転可能な複数の被駆動部と、夫々が前記第2ベース部と前記複数の被駆動部のうちの対応する一つの被駆動部とを接続し、且つ夫々が前記対応する一つの被駆動部を前記他の方向とは異なる一方向に沿った軸を中心軸として回転させるような弾性を有する複数の第2弾性部と、前記複数の被駆動部の夫々及び前記複数の第2弾性部のうち前記夫々の被駆動部に対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数で前記夫々の被駆動部が前記一方向に沿った軸を中心軸として共振しながら回転するように前記複数の被駆動部を回転させるための加振力を前記第2ベース部に加える印加部とを備え、前記複数の被駆動部の夫々及び前記複数の第2弾性部のうち前記夫々の被駆動部に対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数は、前記複数の被駆動部の少なくとも2つの間で同じになる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]第1実施例のMEMSスキャナの構成を概念的に示す平面図である。

[図2]ベースの裏側（具体的には、図1に示したベースの反対側）の構成を示す平面斜視図である。

[図3]第1実施例のMEMSスキャナによる動作の態様を概念的に示す平面図である。

[図4]駆動源部から加えられる微振動に起因した方向性のない力について説明するための平面図である。

[図5]ベースの変形振動の態様を、ミラーの回転の態様と関連付けて示す側面図である。

[図6]ベースの変形振動の態様を、ミラーの回転の態様と関連付けて示す側面図である。

[図7]第2実施例のMEMSスキャナの構成を概念的に示す平面図である。

[図8]第3実施例のMEMSスキャナの構成を概念的に示す平面図である。

[図9]第4実施例のMEMSスキャナの構成を概念的に示す平面図である。

[図10]第2ベースの裏側（具体的には、図9に示した第2ベースの反対側）の構成を示す平面斜視図である。

[図11]第4実施例のMEMSスキャナによる動作の態様を概念的に示す平面図である。

[図12]駆動源部から加えられる微振動に起因した方向性のない力について説明するための平面図である。

[図13]第2ベースの変形振動の態様を、ミラーの回転の態様と関連付けて示す断面図である。

[図14]第2ベースの変形振動の態様を、ミラーの回転の態様と関連付けて示す断面図である。

[図15]第5実施例のMEMSスキャナの構成を概念的に示す平面図である。

[図16]第6実施例のMEMSスキャナの構成を概念的に示す平面図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、駆動装置の実施形態について順に説明する。

[0010] 本実施形態の駆動装置は、第1ベース部と、前記第1ベース部に取り囲まれる第2ベース部と、前記第1ベース部と前記第2ベース部とを接続し、且つ前記第2ベース部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させるような弾性を有する第1弾性部と、夫々が回転可能な複数の被駆動部と、夫々が前記第2ベース部と前記複数の被駆動部のうちの対応する一つの被駆動部とを接続し、且つ夫々が前記対応する一つの被駆動部を前記他の方向とは異なる一方向に沿った軸を中心軸として回転させるような弾性を有する複数の第

2弾性部と、前記複数の被駆動部の夫々及び前記複数の第2弾性部のうち前記夫々の被駆動部に対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数で前記夫々の被駆動部が前記一方向に沿った軸を中心軸として共振しながら回転するように前記複数の被駆動部を回転させるための加振力を前記第2ベース部に加える印加部とを備え、前記複数の被駆動部の夫々及び前記複数の第2弾性部のうち前記夫々の被駆動部に対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数は、前記複数の被駆動部の少なくとも2つの間で同じになる。

[0011] 本実施形態の駆動装置によれば、基礎となる第1ベース部と当該第1ベース部に取り囲まれる第2ベース部とが、弾性を有する第1弾性部（例えば、後述するトーションバー等）によって直接的に又は間接的に接続されている。更に、第2ベース部と回転可能に配置される被駆動部（例えば、後述するミラー等）とが、弾性を有する第2弾性部（例えば、後述するトーションバー等）によって直接的に又は間接的に接続されている。第2ベース部は、第1弾性部の弾性（例えば、第2ベース部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させることができるという弾性）によって、他の方向に沿った軸を中心軸として回転駆動される。被駆動部は、第2弾性部の弾性（例えば、被駆動部を一方向に沿った軸を中心軸として回転させることができるという弾性）によって、一方向に沿った軸を中心軸として回転駆動される。

[0012] 本実施形態の駆動装置は、複数の被駆動部を備えている。本実施形態の駆動装置は、複数の被駆動部に対応するように複数の第2弾性部を備えている。例えば、本実施形態の駆動装置は、 N 個（但し、 N は2以上の整数）の被駆動部及び N 個の第2弾性部を備えている。この場合、 N 個（但し、 N は2以上の整数）の被駆動部のうちの第 k （但し、 k は、1以上且つ N 以下の整数）番目の被駆動部は、 N 個の第2弾性部のうちの第 k 番目の被駆動部に対応する第 k 番目の第2弾性部によって第2ベース部と接続される。

[0013] 本実施形態の駆動装置では特に、印加部の動作により、複数の被駆動部の夫々及び複数の第2弾性部のうちの対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数で夫々の被駆動部が一方向に沿った軸を中心軸として共振しな

がら回転するような加振力（例えば、後述する微振動や板波等）が加えられる。より具体的には、印加部は、(i) N 個の被駆動部のうちの第 1 番目の被駆動部の一の方向に沿った軸周り（つまり、第 1 番目の被駆動部の回転軸周り）の慣性モーメント及び当該第 1 番目の被駆動部に対応する第 1 番目の第 2 弾性部のねじりばね定数により定まる共振周波数で第 1 番目の被駆動部が一の方向に沿った軸を中心軸として回転し、(ii) N 個の被駆動部のうちの第 2 番目の被駆動部の一の方向に沿った軸周り（つまり、第 2 番目の被駆動部の回転軸周り）の慣性モーメント及び当該第 2 番目の被駆動部に対応する第 2 番目の第 2 弾性部のねじりばね定数により定まる共振周波数で第 2 番目の被駆動部が一の方向に沿った軸を中心軸として回転し、 $\dots$ 、(N) N 個の被駆動部のうちの第 N 番目の被駆動部の一の方向に沿った軸周り（つまり、第 N 番目の被駆動部の回転軸周り）の慣性モーメント及び当該第 N 番目の被駆動部に対応する第 N 番目の第 2 弾性部のねじりばね定数により定まる共振周波数で第 N 番目の被駆動部が一の方向に沿った軸を中心軸として回転するような加振力を加える。

[0014] 加えて、本実施形態の駆動装置では、第 2 ベース部は、第 1 弾性部の弾性（例えば、第 2 ベース部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させることができるという弾性）によって、他の方向に沿った軸を中心軸として回転駆動される。従って、第 2 ベース部と第 2 弾性部を介して接続されている複数の被駆動部もまた、他の方向に沿った軸を中心軸として回転駆動される。つまり、本実施形態の駆動装置は、複数の被駆動部の 2 軸回転駆動を実現することができる。但し、2 軸以上の多軸回転駆動を行ってもよいことは言うまでもない。

[0015] 更に、本実施形態の駆動装置では、複数の被駆動部の夫々及び複数の第 2 弾性部のうち夫々の被駆動部に対応する一つの第 2 弾性部により定まる共振周波数は、複数の被駆動部のうちの少なくとも 2 つの間で同じになる。より具体的には、(i) N 個の被駆動部のうちの第 1 番目の被駆動部の一の方向に沿った軸周り（つまり、第 1 番目の被駆動部の回転軸周り）の慣性モーメント

及び当該第1番目の被駆動部に対応する第1番目の第2弾性部のねじりばね定数により定まる共振周波数と、(ii) N個の被駆動部のうちの第2番目の被駆動部の一の方向に沿った軸周り（つまり、第2番目の被駆動部の回転軸周り）の慣性モーメント及び当該第2番目の被駆動部に対応する第2番目の第2弾性部のねじりばね定数により定まる共振周波数と、・・・、(N) N個の被駆動部のうちの第N番目の被駆動部の一の方向に沿った軸周り（つまり、第N番目の被駆動部の回転軸周り）の慣性モーメント及び当該第N番目の被駆動部に対応する第N番目の第2弾性部のねじりばね定数により定まる共振周波数のうちの少なくとも2つは、同じになる。従って、複数の被駆動部の少なくとも2つの間で同じになる共振周波数に対応する特定の一つの周期で印加部から加振力が印加されることで、複数の被駆動部のうちの少なくとも2つを共振させながら且つ同期させながら回転させることができる。

[0016] 本実施形態の駆動装置の一の態様では、前記印加部は、前記複数の被駆動部のうちの第1の被駆動部が回転する位相が前記複数の駆動部のうちの第2の被駆動部が回転する位相に対して逆相となるように、前記加振力を加える。

[0017] この態様によれば、印加部は、複数の被駆動部のうちの第1の被駆動部が回転する位相が複数の駆動部のうちの第2の被駆動部が回転する位相に対して逆相となるように、加振力を加える。具体的には、例えば、印加部は、複数の被駆動部のうちの第1の被駆動部が回転する位相と複数の駆動部のうちの第2の被駆動部が回転する位相との間のずれが 180° となるように、加振力を加える。その結果、第1の被駆動部が一の方向に沿った中心軸に対して時計回りで回転している場合には、第2の被駆動部は、一の方向に沿った中心軸に対して半時計回りで回転することになる。同様に、第1の被駆動部が一の方向に沿った中心軸に対して半時計回りで回転している場合には、第2の被駆動部は、一の方向に沿った中心軸に対して時計回りで回転することになる。加えて、第1の被駆動部が基準位置から時計回りで所定量（或いは、所定角度）だけ回転している時点で、第2の被駆動部は、基準位置から半

時計回りで同一の所定量（或いは、所定角度）だけ回転している。同様に、加えて、第1の被駆動部が基準位置から半時計回りで所定量（或いは、所定角度）だけ回転している時点で、第2の被駆動部は、基準位置から時計回りで同一の所定量（或いは、所定角度）だけ回転している。従って、1つの被駆動物を特定の周波数 f で回転させる駆動装置と比較して、複数の被駆動部（例えば、互いに逆相で回転する第1及び第2の被駆動部）を1つの被駆動部の如く取り扱うことで、実質的には、2倍の周波数 $2f$ で（言い換えれば、 $1/2$ の周期で）1つの被駆動部を回転させている状態と同様の状態を実現することができる。言い換えれば、複数の被駆動部（例えば、互いに逆相で回転する第1及び第2の被駆動部）の夫々を半分の周波数 $f/2$ で回転させても、複数の被駆動部（例えば、互いに逆相で回転する第1及び第2の被駆動部）を1つの被駆動部の如く取り扱うことで、実質的には、2倍の周波数 f で1つの被駆動部を回転させている状態と同様の状態を実現することができる。

[0018] 本実施形態の駆動装置の他の態様では、前記印加部は、前記他の方向に沿って前記第2ベース部が定常波状に変形振動するように前記加振力を加え、前記複数の被駆動部の夫々は、前記複数の弾性部を介して、前記第2ベース部の変形振動における節に対応する箇所に接続されている。

[0019] この態様によれば、加振力が加えられる第2ベース部は、他の方向に沿って定常波状に（つまり、定常波の波形状に）変形振動する。つまり、第2ベース部は、そのある一部分が変形振動の腹となり且つその他の一部分が変形振動の節となるように、その外観を変形させる。このような第2ベース部の変形振動によって、他の方向に沿って腹及び節が現れる。第2ベース部の変形振動は、いわゆる定常波の波形に従って行われるため、その腹及び節の位置は実質的には固定されている。

[0020] 更に、この態様によれば、第2ベース部の変形振動における節に対応する箇所に複数の被駆動部の夫々が接続されている。このため、複数の被駆動部の上下方向（具体的には、一の方向及び他の方向の夫々に直交する方向であ

って、第2ベース部の表面に対して垂直な方向)の移動を防ぎつつ、複数の被駆動部を互いに逆相で回転させることができる。

[0021] 他の方向に沿って第2ベース部が定常波状に変形振動するように印加部が加振力を加える駆動装置の態様では、前記印加部は、前記他の方向に沿った前記第2ベース部の変形振動が共振となるように前記加振力を加えるように構成してもよい。

[0022] このように構成すれば、第2ベース部の変形振動が共振となるため、第2ベース部の変形振動を好適に実現することができる。

[0023] 第2ベース部の変形振動が共振となる駆動装置の態様では、前記第2ベース部が共振する共振周波数は、前記複数の被駆動部のうちの少なくとも一つの共振周波数と同一であるように構成してもよい。

[0024] このように構成すれば、第2ベース部の変形振動の周期と複数の被駆動部の回転の周期との間の同期をとりやすくなる。従って、第2ベース部の変形振動の周期と複数の被駆動部の回転との間の同期を適切に図ることで、複数の被駆動部を互いに逆相で回転させることができる。

[0025] 他の方向に沿って第2ベース部が定常波状に変形振動するように印加部が加振力を加える駆動装置の態様では、前記第2ベース部の変形振動における節に対応する箇所の剛性が、前記第2ベース部の変形振動における節以外の箇所の剛性よりも高いように構成してもよい。

[0026] このように構成すれば、第2ベース部の剛性を調整することで、第2ベース部を他の方向に沿って定常波状に変形振動させやすくすることができる。

[0027] 他の方向に沿って第2ベース部が定常波状に変形振動するように印加部が加振力を加える駆動装置の態様では、前記第2ベース部の変形振動における節に対応する箇所の質量が、前記第2ベース部の変形振動における節以外の箇所の質量よりも小さいように構成してもよい。

[0028] このように構成すれば、第2ベース部の質量(具体的には、例えば、単位長当たりの質量や、単位体積当たりの質量等)を調整することで、第2ベース部を他の方向に沿って定常波状に変形振動させやすくすることができる。

[0029] 本実施形態の駆動装置の他の態様では、前記加振力は、無方向性振動エネルギーとしての無方向性微振動又は異方性微振動である。

[0030] この態様によれば、印加部は、第2ベース部という構造体内を微振動が伝搬するように、微振動を第2ベース部に対して加える。つまり、印加部は、第2ベース部そのものを直接ねじれさせる力を加えることに代えて、構造体内を伝搬する微振動を、複数の被駆動部を回転させるための加振エネルギー（言い換えれば、波動エネルギー）として加える。言い換えれば、印加部は、構造体内をエネルギーとして（言い換えれば、「振動」という力を振動に変えることなく、当該力を発現させるエネルギーとして）伝搬する微振動を、複数の被駆動部を回転させるための波動エネルギーとして加える。このような微振動（言い換えれば、構造体内を伝搬する波動エネルギー）は、少なくとも構造体内を伝搬している段階では、方向性を有していない力となる。言い換えれば、微振動として第2ベース部内を伝搬する波動エネルギーは、第2ベース部内を任意の方向に向かって伝搬する。その結果、この微振動は、波動エネルギーとして、例えば第2ベース部等の構造体から複数の第2弾性部へと（更には、第2ベース部から複数の第2弾性部を介して複数の被駆動部へと）伝わる。その後、構造体内を伝搬してきた微振動（言い換えれば、波動エネルギー）が、複数の第2弾性部自身の弾性に応じた方向に向かって複数の第2弾性部を振動させたり、複数の第2弾性部の弾性に応じた方向に向かって複数の被駆動部を回転させたりする。言い換えれば、この波動エネルギーは、微振動の方向を限定することなくあらゆる方向の振動として取り出すことができる。つまり、第2ベース部内を伝搬した波動エネルギーは、振動（より具体的には、共振）という形で外部に取り出すことができ、その結果、複数の被駆動部を回転させることができる。

[0031] ここで、いわゆる方向性を有する力を加えることで複数の被駆動部の回転駆動を行う場合（例えば、第2ベース部そのものを複数の被駆動部の回転方向に向かって大きくねじれさせ、そのねじれを複数の第2弾性部や複数の被駆動部に直接加えることで複数の被駆動部の回転駆動を行う場合）には、複

数の被駆動部を一の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力（つまり、第2ベース部等の構造体を一の方向に沿った軸を中心軸とする回転方向に向けてねじれさせる方向性を有する力）を印加部から加える必要がある。このため、このような方向性を有する力を加えることができるように、印加部の配置位置を適切に設定しなければならない。つまり、方向性を有する力を加える場合には、当該力を作用させる方向に依存して印加部の配置位置が限定されてしまう。

[0032] しかるに、この態様によれば、微振動に起因した方向性のない力を加えているがゆえに、印加部の配置位置が限定されてしまうことはなくなる。言い換えれば、微振動に起因した方向性のない力を加えているがゆえに、複数の被駆動部の回転の方向に依存して印加部の配置位置が限定されてしまうことはなくなる。つまり、印加部の配置位置がどのような位置に設定されたとしても、印加部から加えられる微振動（つまり、方向性のない力）は、複数の第2弾性部の弾性を利用して、複数の被駆動部を一の方向に沿った軸を中心軸として回転させることができる。これにより、駆動装置の設計の自由度を相対的に増加させることができる。

[0033] 加えて、この態様によれば、無方向性微振動又は異方性微振動として第2ベース部内を伝搬する波動エネルギーを、第2ベース部内を任意の方向に向かって伝搬させることができる。尚、「無方向性微振動」又は「異方性微振動」は、例えば、複数の被駆動部の回転方向に対して無相関な方向の微振動であってもよい。その結果、この波動エネルギーは、微振動の方向を限定することなくあらゆる方向の振動として取り出すことができる。つまり、第2ベース部内を伝搬した波動エネルギーは、振動（より具体的には、共振）という形で外部に取り出すことができ、その結果、複数の被駆動部を回転させることができる。

[0034] 加振力が無方向性振動エネルギーとしての無方向性微振動又は異方性微振動である駆動装置の態様では、前記印加部は、前記一の方向に沿った軸を中心軸とする回転方向とは異なる方向に作用する力によって生ずる前記微振動

を加えるように構成してもよい。

[0035] このように構成すれば、印加部は、微振動を加える際には、まず、一の方向に沿った軸を中心軸とする回転方向（つまり、被駆動部の回転方向）とは異なる方向に作用する力を発生させる。この力は、後に図面を用いて詳細に説明するように、微振動（言い換えれば、波動エネルギー）となって第2ベース部に加えられる。つまり、一の方向に沿った軸を中心軸とする回転方向とは異なる方向に作用する力によって生ずる微振動（言い換えれば、当該力が変換されて生ずる微振動ないしは波動エネルギー）を加えることができる。従って、上述した各種効果を好適に享受することができる。

[0036] 加振力が無方向性振動エネルギーとしての無方向性微振動又は異方性微振動である駆動装置の態様では、前記印加部は、静止時の前記被駆動部の表面に沿った方向に作用する力によって生ずる前記微振動を加えるように構成してもよい。

[0037] この態様によれば、印加部は、微振動を加える際には、まず、静止時の（言い換えれば、初期配置時の）複数の被駆動部の表面に沿った方向（つまり、面内方向）に作用する力を発生させる。この力は、後に図面を用いて詳細に説明するように、微振動（言い換えれば、波動エネルギー）となって第2ベース部に加えられる。つまり、静止時の被駆動部の表面に沿った方向に作用する力によって生ずる微振動（言い換えれば、当該力が変換されて生ずる微振動ないしは波動エネルギー）を加えることができる。従って、上述した各種効果を好適に享受することができる。

[0038] 加振力が無方向性振動エネルギーとしての無方向性微振動又は異方性微振動である駆動装置の態様では、前記印加部は、前記第2ベース部を前記他の方向に沿った軸を中心軸として回転させるための前記微振動であって且つ前記複数の被駆動部の夫々及び前記複数の第2弾性部のうち前記夫々の被駆動部に対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数で前記夫々の被駆動部が前記一方向に沿った軸を中心軸として共振しながら回転するように前記複数の被駆動部を回転させるための前記微振動を前記第2ベース部に加え

るように構成してもよい。

[0039] このように構成すれば、印加部の動作により、第2ベース部（言い換えれば、第2ベース部により支持される被駆動部）が他の方向に沿った軸を中心軸として回転するような微振動が加えられる。同時に、この微振動は、複数の被駆動部の夫々及び複数の第2弾性部のうちの対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数で、複数の被駆動部を、一の方向に沿った軸を中心軸として共振しながら回転させる。つまり、この態様では、同一の印加部（言い換えれば、単一の印加部）から、複数の被駆動部の2軸回転駆動を行うための微振動が加えられる。

[0040] ここで、いわゆる方向性を有する力を加えることで複数の被駆動部の2軸回転駆動を行う場合（例えば、第1ベース部や第2ベース部そのものを複数の被駆動部の回転方向に向かって大きくねじれさせ、そのねじれを第1弾性部や複数の第2弾性部や複数の被駆動部に直接加えることで複数の被駆動部の2軸回転駆動を行う場合）には、複数の被駆動部を一の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力（つまり、第2ベース部等の構造体を一の方向に沿った軸を中心軸とする回転方向に向けてねじれさせる方向性を有する力）を一の印加部から加えると共に、複数の被駆動部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力（つまり、第1ベース部や第2ベース部等の構造体を他の方向に沿った軸を中心軸とする回転方向に向けてねじれさせる方向性を有する力）を他の印加部から加える必要がある。つまり、方向性を有する力を加えることで複数の被駆動部の2軸回転駆動を行う場合には、通常は、2つ以上の印加部（つまりは、2つ以上の駆動源）を駆動装置が備えていなければならない。言い換えれば、方向性を有する力を加えることで複数の被駆動部の2軸回転駆動を行う場合には、1つの印加部からは1つの方向に向かって作用する力しか加えることができないため、2つ以上の印加部（つまりは、2つ以上の駆動源）を駆動装置が備えていなければならない。

[0041] しかるに、この態様では、微振動に起因した方向性のない力を加えること

で、複数の被駆動部の2軸回転駆動を行うことができる。ここで、微振動に起因した方向性のない力を加えているがゆえに、1つの印加部から加えられた微振動は、第1弾性部及び複数の第2弾性部の弾性（つまり、複数の被駆動部を一の方向に沿った軸を中心軸として回転させる弾性及び複数の被駆動部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させる弾性）を利用して、複数の被駆動部を一の方向に沿った軸を中心軸として回転させると共に複数の被駆動部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させることができる。つまり、この態様では、複数の被駆動部の2軸回転駆動を行う場合であっても、2つの印加部を備える必要は必ずしもない。このため、単一の印加部（言い換えれば、単一の駆動源）を用いて、複数の被駆動部の2軸回転駆動を行うための微振動を加えることができる。

[0042] 加えて、仮に1つの印加部から2つの方向に向かって作用する力を加えることができたとしても、方向性を有する力を加えることで複数の被駆動部の2軸回転駆動を行う場合には、結局のところ、2つの方向に作用する成分（つまり、複数の被駆動部を一の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力の成分と、複数の被駆動部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力の成分）を有する力を加える必要がある。しかるに、この態様では、微振動に起因した方向性のない力を加振エネルギーとして加えているため、力が作用する方向を考慮した上で当該力を加える必要がなくなるという利点も有している。

[0043] 本実施形態のこのような作用及び他の利得は次に説明する実施例から明らかにされる。

[0044] 以上説明したように、本実施形態の駆動装置によれば、第1ベース部と、第2ベース部と、第1弾性部と、複数の被駆動部と、複数の第2弾性部と、印加部とを備え、複数の被駆動部の共振周波数が同じになる。従って、被駆動部を好適に回転させることができる。

実施例

[0045] 以下、図面を参照しながら、駆動装置の実施例について説明する。尚、以

下では、駆動装置をMEMSスキャナに適用した例について説明する。

[0046] (1) 第1実施例

図1から図5を参照して、第1実施例のMEMSスキャナ100について説明する。

[0047] (1-1) 基本構成

図1を参照して、第1実施例のMEMSスキャナ100の基本構成について説明する。図1は、第1実施例のMEMSスキャナ100の基本構成を概念的に示す平面図である。

[0048] 図1に示すように、第1実施例のMEMSスキャナ100は、ベース110と、トーションバー120a及び120bと、トーションバー120c及び120dと、ミラー130aと、ミラー130cと、駆動源部160とを備えている。

[0049] ベース110は、内部に空隙を備える枠形状を有している。つまり、ベース110は、図1中のY軸方向に延伸する2つの辺と図1中のX軸方向（つまり、Y軸に直交する軸方向）に延伸する2つの辺とを有すると共に、Y軸方向に延伸する2つの辺とX軸方向に延伸する2つの辺とによって取り囲まれた空隙を有する枠形状を有している。図1に示す例では、ベース110は、正方形の形状を有しているが、これに限定されることはなく、例えばその他の形状（例えば、長方形等の矩形の形状や円形の形状等）を有していてもよい。また、ベース110は、第1実施例に係るMEMSスキャナ100の基礎となる構造体であって、不図示の基板ないしは支持部材に対して固定されている（言い換えれば、MEMSスキャナ100という系の内部においては固定されている）ことが好ましい。

[0050] 尚、図1では、ベース110が枠形状を有している例を示しているが、その他の形状を有していてもよいことは言うまでもない。例えば、ベース110は、その一部の辺が開口となるコの字型形状を有していてもよい。或いは、例えば、ベース110は、内部に空隙を備える箱型形状を有していてもよい。つまり、ベース110は、X軸及びY軸によって規定される平面上に分

布する2つの面と、X軸及び不図示のZ軸（つまり、X軸及びY軸の双方に直交する軸）によって規定される平面上に分布する2つの面と、Y軸及び不図示のZ軸によって規定される平面上に分布する2つの面とを有すると共に、これらの6つの面によって取り囲まれた空隙を有する箱形状を有していてもよい。或いは、ミラー130a及び130cが配置される態様に応じて適宜ベース110の形状を任意に代えてもよい。

[0051] トーションバー120aは、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。トーションバー120aは、図1中Y軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、トーションバー120aは、Y軸の方向に延伸する長手を有すると共にX軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、トーションバー120aは、Y軸の方向に延伸する短手を有すると共にX軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。トーションバー120aの一方の端部121aは、ベース110の内側の辺111に接続される。トーションバー120aの他方の端部122aは、Y軸の方向に沿ってベース110の内側の辺111に対向するミラー130aの辺131aに接続される。

[0052] トーションバー120bは、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。トーションバー120bは、図1中Y軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、トーションバー120bは、Y軸の方向に延伸する長手を有すると共にX軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、トーションバー120bは、Y軸の方向に延伸する短手を有すると共にX軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。トーションバー120bの一方の端部121bは、Y軸の方向に沿ってベース110の内側の辺111（つまり、トーションバー120aの一方の端部121aが接続されるベース110の内側の辺111）に対向するベース110の内側の辺112に接続される。トーションバー12

0 b の他方の端部 1 2 2 b は、Y 軸の方向に沿ってベース 1 1 0 の内側の辺 1 1 2 に対向するミラー 1 3 0 a の辺 1 3 2 a に接続される。

[0053] トーションバー 1 2 0 c は、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。トーションバー 1 2 0 c は、図 1 中 Y 軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、トーションバー 1 2 0 c は、Y 軸の方向に延伸する長手を有すると共に X 軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、トーションバー 1 2 0 c は、Y 軸の方向に延伸する短手を有すると共に X 軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。トーションバー 1 2 0 c の一方の端部 1 2 1 c は、ベース 1 1 0 の内側の辺 1 1 1 に接続される。トーションバー 1 2 0 c の他方の端部 1 2 2 c は、Y 軸の方向に沿ってベース 1 1 0 の内側の辺 1 1 1 に対向するミラー 1 3 0 c の辺 1 3 1 c に接続される。

[0054] トーションバー 1 2 0 d は、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。トーションバー 1 2 0 d は、図 1 中 Y 軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、トーションバー 1 2 0 d は、Y 軸の方向に延伸する長手を有すると共に X 軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、トーションバー 1 2 0 d は、Y 軸の方向に延伸する短手を有すると共に X 軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。トーションバー 1 2 0 d の一方の端部 1 2 1 d は、Y 軸の方向に沿ってベース 1 1 0 の内側の辺 1 1 1（つまり、トーションバー 1 2 0 c の一方の端部 1 2 1 c が接続されるベース 1 1 0 の内側の辺 1 1 1）に対向するベース 1 1 0 の内側の辺 1 1 2 に接続される。トーションバー 1 2 0 d の他方の端部 1 2 2 d は、Y 軸の方向に沿ってベース 1 1 0 の内側の辺 1 1 2 に対向するミラー 1 3 0 c の辺 1 3 2 c に接続される。

[0055] ミラー 1 3 0 a は、ベース 1 1 0 の内部の空隙に、トーションバー 1 2 0 a 及び 1 2 0 b によって吊り下げられる又は支持されるように配置される。

ミラー 130 a は、トーションバー 120 a 及び 120 b の弾性によって、Y 軸の方向を中心軸として回転するように構成されている。

[0056] ミラー 130 c は、ベース 110 の内部の空隙に、トーションバー 120 c 及び 120 d によって吊り下げられる又は支持されるように配置される。ミラー 130 c は、トーションバー 120 c 及び 120 d の弾性によって、Y 軸の方向を中心軸として回転するように構成されている。

[0057] 駆動源部 160 は、ミラー 130 a 及び 130 c を Y 軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させるために必要な微振動をベース 110 に対して加える。尚、駆動源部 160 が微振動をベース 110 に加えることができる限りは、その配置態様は任意に定めてもよい。また、ベース 110 に対して力を加えることに限らず、その他の位置（例えば、トーションバー 120 a や、トーションバー 120 b や、トーションバー 120 c や、トーションバー 120 d や、ミラー 130 a や、ミラー 130 c 等）に対して力を加えることができるように構成されてもよい。

[0058] より具体的には、駆動源部 160 は、電磁力に起因した力を加える駆動源部であって、ベース 110 の枠形状に沿って配置されるコイル 161 と、不図示の基材に固定される磁極 162 とを備える。この場合、コイル 161 には、不図示の駆動源部制御回路から所望のタイミングで、所望の電圧が印加される。コイル 161 への電圧の印加によって電流が流れ、コイル 161 と磁極 162 との間に電磁相互作用が生ずる。その結果、電磁相互作用による電磁力が発生する。この電磁力は微振動としてベース 110 に伝えられる。

[0059] 続いて、図 2 を参照して、ベース 110 の裏側（具体的には、図 1 に示したベース 110 の反対側）の構成について説明する。図 2 は、ベース 110 の裏側（具体的には、図 1 に示したベース 110 の反対側）の構成を示す平面斜視図である。

[0060] 図 2 に示すように、ベース 110 の枠形状のうちの一部の領域 110 a には、ベース 110 の表面から突き出るリブ 119 が形成されている。リブ 119 は、ベース 110 と一体的に形成されていてもよいし、ベース 110 が

形成された後に付加的に配置されていてもよい。一方で、ベース 110 の枠形状のうちの他の一部の領域 110 b には、リブ 119 が形成されていない。

[0061] 図 2 に示すリブ 119 により、ベース 110 の枠形状のうちの一部の領域 110 a の剛性は、ベース 110 の枠形状のうちの他の一部の領域 110 b の剛性よりも高くなる。言い換えれば、リブ 119 は、ベース 110 の枠形状のうちの一部の領域 110 a の剛性が、ベース 110 の枠形状のうちの他の一部の領域 110 b の剛性よりも高くなる状態を実現することができるように、ベース 110 に形成されることが好ましい。つまり、ベース 110 の枠形状のうちの一部の領域 110 a の剛性が、ベース 110 の枠形状のうちの他の一部の領域 110 b の剛性よりも高くなる状態を実現することができるように、リブ 119 の形成位置や、大きさや、質量や、剛性や、密度等が適宜決定されることが好ましい。

[0062] 或いは、図 2 に示すリブ 119 により、ベース 110 の枠形状のうちの一部の領域 110 a の質量（或いは、ベース 110 の枠方向に沿った単位長当たりの質量）は、ベース 110 の枠形状のうちの他の一部の領域 110 b の質量（或いは、ベース 110 の枠方向に沿った単位長当たりの質量）よりも大きくなる。或いは、リブ 119 は、ベース 110 の枠形状のうちの一部の領域 110 a の質量が、ベース 110 の枠形状のうちの他の一部の領域 110 b の質量よりも大きくなる状態を実現することができるように、ベース 110 に形成されることが好ましい。つまり、ベース 110 の枠形状のうちの一部の領域 110 a の質量が、ベース 110 の枠形状のうちの他の一部の領域 110 b の質量よりも大きくなる状態を実現することができるように、リブ 119 の形成位置や、大きさや、質量や、剛性や、密度等が適宜決定されることが好ましい。

[0063] 尚、リブ 119 が形成される領域 110 a とリブ 119 が形成されない領域 110 b は、ミラー 130 a 及び 130 b の夫々の回転軸（つまり、Y 軸）に直交する方向（つまり、X 軸に沿った方向）に沿って並ぶことが好まし

い。

[0064] 尚、図2は、リブ119がベース110の裏側に形成される例を示している。しかしながら、リブ119は、ベース110の表側に形成されてもよいし、ベース110の側面に形成されてもよいし、ベース110の内面に形成されてもよい。或いは、リブ119以外の構成を用いて、ベース110の枠形状のうちの一部の領域110aの剛性が、ベース110の枠形状のうちの他の一部の領域110bの剛性よりも高くなる状態を実現してもよい。或いは、リブ119以外の構成を用いて、ベース110の枠形状のうちの一部の領域110aの質量が、ベース110の枠形状のうちの他の一部の領域110bの質量よりも大きくなる状態を実現してもよい。例えば、ベース110の密度や材質等を領域110aと領域110bとで異ならしめることで、上述の状態を実現してもよい。

[0065] (1-2) MEMSスキャナの動作

続いて、図3を参照して、第1実施例のMEMSスキャナ100の動作の態様（具体的には、ミラー130a及び130cを回転させる動作の態様）について説明する。図3は、第1実施例のMEMSスキャナ100による動作の態様を概念的に示す平面図である。

[0066] 第1実施例のMEMSスキャナ100の動作時には、コイル161には、不図示の駆動源部制御回路から所望のタイミングで、所望の電圧が印加される。コイル161への電圧の印加によって電流が流れ、コイル161と磁極162との間に電磁相互作用が生ずる。その結果、電磁相互作用による電磁力が発生する。この電磁力は微振動（ないしは、波動エネルギー）としてベース110に伝えられる。

[0067] ここで、電磁相互作用による電磁力の方向は、図3中奥側（紙面奥側）から手前側（紙面手前側）方向である。この電磁力そのものは、ミラー130a及び130cの回転方向（つまり、Y軸に沿った方向を中心軸とする回転方向）とは異なる。一方で、この電磁力は、微振動（言い換えれば、波動エネルギーであって、方向性のない力）としてベース110に伝わる。より具

体的には、駆動源部 160 は、基礎となるベース 110 に対して、ベース 110 そのものの回転方向のねじれをなくしつつもベース 110 内を伝搬する微振動を、波動エネルギーとして加える。言い換えれば、駆動源部 160 は、ベース 110 そのものに回転方向のねじれを与える力を加えることに代えて、ベース 110 内をエネルギーとして（言い換えれば、力を発現させる波動エネルギーとして）伝搬する微振動を加える。このような微振動は、ベース 110 内を伝搬している時点では、方向性を有していない力となる。言い換えれば、微振動としてベース 110 内を伝搬する波動エネルギーは、ベース 110 内を任意の方向に向かって伝搬する。また、このような微振動が加えられたベース 110 は、ベース 110 そのものが振動する物体となるというよりは、微振動（言い換えれば、波動エネルギー）を伝搬する媒体となる。

[0068] その結果、駆動源部 160 からベース 110 に対して加えられる微振動は、ベース 110 からトーションバー 120 a 及び 120 b へと伝わる。その後、図 3 に示すように、ベース 110 内を伝搬してきた微振動（言い換えれば、波動エネルギー）が、トーションバー 120 a 及び 120 b 自身の弾性に応じた方向に向かってトーションバー 120 a 及び 120 b を回転させたり、ミラー 130 a を回転させたりする。言い換えれば、ベース 110 内を伝搬してきた微振動は、トーションバー 120 a 及び 120 b の回転やミラー 130 a の回転という形で発現する。言い換えれば、この波動エネルギーは、微振動の方向を限定することなくあらゆる方向の振動として取り出すことができる。つまり、ベース 110 内を伝搬した波動エネルギーは、振動（より具体的には、共振）という形で外部に取り出すことができ、その結果、ミラー 130 a を回転させることができる。その結果、図 3 に示すように、ミラー 130 a が、Y 軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。より具体的には、ミラー 130 a は、共振周波数での回転動作を所定の角度の範囲内で繰り返すように（言い換えれば、所定の角度の範囲内での回転の往復運動を繰り返す）。

[0069] このとき、ミラー 130a は、ミラー 130a 並びにトーションバー 120a 及び 120b に応じて定まる共振周波数で共振するように回転する。より具体的には、ミラー 130a は、ミラー 130a（より具体的には、ミラー 130a を含む被懸架部であり、トーションバー 120a 及び 120b によって吊り下げられる構造物）の Y 軸に沿った軸周り慣性モーメント並びにトーションバー 120a 及び 120b のねじりバネ定数に応じて定まる共振周波数で共振するように回転する。例えば、ミラー 130a の Y 軸に沿った軸回り慣性モーメントが I_a であり且つトーションバー 120a 及び 120b を 1 本のバネとみなした場合のねじりバネ定数が k_a であるとすれば、ミラー 130a は、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_a / I_a)}$ にて特定される共振周波数（或いは、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_a / I_a)}$ の N 倍若しくは N 分の 1 倍（但し、 N は 1 以上の整数）の共振周波数）で共振するように、Y 軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。このため、駆動源部 160 は、ミラー 130a が上述の共振周波数で共振するように、上記共振周波数に同期した態様で微振動を加える。

[0070] また、ミラー 130a の共振周波数は、厳密に言えば、ミラー 130a という回転体を含む回転系を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。例えば、ミラー 130a の共振周波数は、ミラー 130a という回転体を含む回転系を支えるベース 110 等の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。このため、ミラー 130a を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）を考慮した上で、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_a / I_a)}$ という数式（或いは、当該数式を特定するパラメータである k_a 及び I_a ）に対して所定の補正演算を施した結果得られる共振周波数を、実際のミラー 130a の共振周波数として取り扱ってもよい。

[0071] 同様に、駆動源部 160 からベース 110 に対して加えられる微振動は、ベース 110 からトーションバー 120c 及び 120d へと伝わる。その後、図 3 に示すように、ベース 110 内を伝搬してきた微振動（言い換えれば

、波動エネルギー）が、トーションバー 120c 及び 120d 自身の弾性に
応じた方向に向かってトーションバー 120c 及び 120d を回転させたり
、ミラー 130c を回転させたりする。言い換えれば、ベース 110 内を伝
搬してきた微振動は、トーションバー 120c 及び 120d の回転やミラー
130c の回転という形で発現する。言い換えれば、この波動エネルギーは
、微振動の方向を限定することなくあらゆる方向の振動として取り出すこ
とができる。つまり、ベース 110 内を伝搬した波動エネルギーは、振動（よ
り具体的には、共振）という形で外部に取り出すことができ、その結果、ミ
ラー 130c を回転させることができる。その結果、図 3 に示すように、ミ
ラー 130c が、Y 軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。より具
体的には、ミラー 130c は、共振周波数での回転動作を所定の角度の範囲
内で繰り返すように（言い換えれば、所定の角度の範囲内での回転の往復運
動を繰り返す）。

[0072] このとき、ミラー 130c は、ミラー 130c 並びにトーションバー 120c 及び 120d に応じて定まる共振周波数で共振するように回転する。より具体的には、ミラー 130c は、ミラー 130c（より具体的には、ミラー 130c を含む被懸架部であり、トーションバー 120c 及び 120d によって吊り下げられる構造物）の Y 軸に沿った軸周り慣性モーメント並びにトーションバー 120c 及び 120d のねじりバネ定数に応じて定まる共振周波数で共振するように回転する。例えば、ミラー 130c の Y 軸に沿った軸回り慣性モーメントが I_c であり且つトーションバー 120c 及び 120d を 1 本のバネとみなした場合のねじりバネ定数が k_c であるとすれば、ミラー 130c は、 $(1 / (2\pi)) \times \sqrt{(k_c / I_c)}$ にて特定される共振周波数（或いは、 $(1 / (2\pi)) \times \sqrt{(k_c / I_c)}$ の N 倍若しくは N 分の 1 倍（但し、 N は 1 以上の整数）の共振周波数）で共振するように、Y 軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。このため、駆動源部 160 は、ミラー 130c が上述の共振周波数で共振するように、上記共振周波数に同期した態様で微振動を加える。

[0073] また、ミラー 130c の共振周波数は、厳密に言えば、ミラー 130c という回転体を含む回転系を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。例えば、ミラー 130c の共振周波数は、ミラー 130c という回転体を含む回転系を支えるベース 110 等の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。このため、ミラー 130c を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）を考慮した上で、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_c / I_c)}$ という数式（或いは、当該数式を特定するパラメータである k_c 及び I_c ）に対して所定の補正演算を施した結果得られる共振周波数を、実際のミラー 130c の共振周波数として取り扱ってもよい。

[0074] 尚、第 1 実施例では、ミラー 130a の共振周波数とミラー 130c の共振周波数とは同一であることが好ましい。具体的には、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_a / I_a)} = (1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_c / I_c)}$ となることが好ましい。或いは、MEMS スキャナ 100 が 3 つ以上の複数のミラー 130 を備えている場合には、複数のミラー 130 のうちの少なくとも 2 つの共振周波数が同一であることが好ましい。

[0075] ここで、図 4 を参照して、駆動源部 160 から加えられる微振動に起因した方向性のない力について更に説明する。図 4 は、駆動源部 160 から加えられる微振動に起因した方向性のない力について説明するための平面図である。尚、以下の説明では、説明を分かりやすくするために、図 1 に示す駆動源部 160 とは異なる構成を有する駆動源部 160 を用いて説明を進める。但し、図 1 に示す駆動源部 160 から加えられる微振動としての電磁力と図 4 に示す駆動源部 160 から加えられる微振動としての電磁力とは、実際上は同一の力（つまり、方向性のない力）である。

[0076] 図 4 に示すように、駆動源部 160 は、伝達枝 160b と、伝達枝 160b を介してベース 110 に接続される第 1 支持板 160-1c であって且つ Y 軸の方向に沿って相対向する第 1 枝 160-1x 及び 160-1y を備える第 1 支持板 160-1c と、伝達枝 160b を介してベース 110 に接続

される第2支持板160-2cであって且つY軸の方向に沿って相対向する第2枝160-2x及び160-2yを備える第2支持板160-2cと、第1枝160-1x及び160-1yの夫々に巻かれた第1コイル160-1zと、第2枝160-2x及び160-2yの夫々に巻かれた第2コイル160-2zとを備えている。また、第1枝160-1x及び160-1y並びに第2枝160-2x及び160-2yの形状及び特性は同一であるとし、第1枝160-1xに巻かれたコイル160-1zの特性（例えば、巻き数等）及び第1枝160-1yに巻かれたコイル160-1zの特性（例えば、巻き数等）は同一であるとし、第2枝160-2xに巻かれたコイル160-2zの特性（例えば、巻き数等）及び第2枝160-2yに巻かれたコイル160-2zの特性（例えば、巻き数等）は同一であるものとする。

[0077] ここで、第1枝160-1x及び160-1y並びに第2枝160-2x及び160-2yの夫々に巻かれたコイル160-1z及び160-2zに電流を流すと、電磁相互作用により、第1枝160-1x及び第2枝160-2xに対して第1枝160-1y及び第2枝160-2yの方向に向かって引っ張られる力（つまり、Y軸の負の方向であって図4中下側に向かう方向に作用する力）が発生する場合には、第1枝160-1y及び第2枝160-2yに対しても、第1枝160-1x及び第2枝160-2xの方向に向かって引っ張られる力（つまり、Y軸の正の方向であって図4中上側に向かう方向に作用する力）が発生する。この力は、互いに逆向きで同じ大きさであるため、それらが外部に加速度を生じさせたり、それら自身に加速度を発生させることもなく、第1枝160-1xと第1枝160-1yとが接合する点P1（言い換えれば、伝達枝160b上の点P1）及び第2枝160-2xと第2枝160-2yとが接合する点P2（言い換えれば、伝達枝160b上の点P2）には微振動のみが伝達される。その結果、点P1及びP2における力には方向性がないことになる。同様に、電磁相互作用により、第1枝160-1x及び第2枝160-2xに対して第1枝160-1y及

び第2枝160-2yから引き離される力（つまり、Y軸の正の方向であって図4中上側に向かう方向に作用する力）が発生する場合には、第1枝160-1y及び第2枝160-2yに対しても第1枝160-1x及び第2枝160-2xから引き離される力（つまり、Y軸の負の方向であって図4中下側に向かう方向に作用する力）が発生する。この力は、互いに逆向きで同じ大きさであるため、それらが外部に加速度を生じさせたり、それら自身に加速度を発生させることもなく、第1枝160-1xと第1枝160-1yとが接合する点P1及び第2枝160-2xと第2枝160-2yとが接合する点P2には微振動のみが伝達される。その結果、点P1及びP2における力には方向性がないことになる。

[0078] しかしながら、本願発明者の実験によれば、上記構成によってベース110内を微振動（つまり、波動エネルギーであって、方向性のない力）が伝搬し、その結果、ミラー130a及び130cがY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転することが判明している。つまり、駆動源部160により加えられる微振動が上述した方向性のない力（言い換えれば、波動エネルギー）としてベース110内を伝搬することで、ミラー130a及び130cがY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転することが判明している。

[0079] このように、第1実施例においては、ミラー130aがミラー130a並びにトーションバー120a及び120bに応じて定まる共振周波数で共振するように、Y軸の方向に沿った軸を中心軸としてミラー130aを回転させることができる。更に、第1実施例においては、ミラー130cがミラー130c並びにトーションバー120c及び120dに応じて定まる共振周波数で共振するように、Y軸の方向に沿った軸を中心軸としてミラー130cを回転させることができる。つまり、第1実施例においては、ミラー130a及び130cはY軸を中心軸として自励共振する。

[0080] ここで、「共振」とは、無限小の力の繰り返しにより無限大の変位が生じる現象である。このため、ミラー130a及び130cを回転させるために加えられる力を小さくしても、ミラー130a及び130cの回転範囲（言

い換えれば、回転方向の振幅)を大きくとることができる。つまり、ミラー 130a 及び 130c が回転するために必要な力を相対的に小さくすることができる。このため、ミラー 130a 及び 130c の回転に必要な力を加えるために必要な電力量をも少なくすることができる。従って、より効率的にミラー 130a 及び 130c を移動させることができ、その結果、MEMS スキャナ 100 の低消費電力化を実現することができる。

[0081] 加えて、第 1 実施例では、方向性を有していない力を加えている。

[0082] ここで、比較例として、いわゆる方向性を有する力を加えることでミラー 130a 及び 130c の回転駆動を行う構成(例えば、ベース 110 そのものをミラー 130a 及び 130c の回転方向に向かって大きくねじれさせ、そのねじれをトーションバー 120a 及び 120b 並びにトーションバー 120c 及び 120d やミラー 130a 及び 130c に直接加えることでミラー 130a 及び 130c の回転駆動を行う構成)を例にあげて説明する。この場合、ミラー 130a 及び 130c を Y 軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力(つまり、ベース 110 を、Y 軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させるようにねじれさせる力)をある駆動源部 160 から加える必要がある。このため、このような方向性を有する力を加えることができるように、駆動源部 160 の配置位置を適切に設定しなければならない。つまり、方向性を有する力を加える場合には、当該力を作用させる方向に依存して駆動源部 160 の配置位置が限定されてしまう。

[0083] しかるに、第 1 実施例では、微振動に起因した方向性のない力を加えているがゆえに、駆動源部 160 の配置位置が限定されてしまうことはなくなる。言い換えれば、微振動に起因した方向性のない力を加えているがゆえに、ミラー 130a 及び 130c の回転の方向に依存して駆動源部 160 の配置位置が限定されてしまうことはなくなる。つまり、駆動源部 160 の配置位置がどのような位置に設定されたとしても、駆動源部 160 から加えられる微振動(つまり、方向性のない力)は、トーションバー 120a 及び 120b 並びにトーションバー 120c 及び 120d の弾性を利用して、ミラー 1

30a及び130cをY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させることができる。これにより、MEMSスキャナ100の設計の自由度を相対的に増加させることができる。これは、各構成要件のサイズのな又は設計的な制約が大きいMEMSスキャナにとって実践上非常に有利である。

[0084] 更に第1実施例では、ベース110の裏側にリブ119が形成されているため、駆動源部160から加えられる微振動によって、ベース110そのものが波打つように変形振動する。以下、図5を参照して、ベース110の変形振動の態様について説明する。図5は、ベース110の変形振動の態様を、ミラー130a及び130bの回転の態様と関連付けて示す側面図である。尚、図5は、図3に示す矢印「III」の方向からベース110並びにミラー130a及び130cを観察した場合の側面図を示す。

[0085] 図5(a)に示すように、駆動源部160からベース110に対して微振動が加えられていない状態では、ベース110は変形振動しておらず、ミラー130a及び130bも回転していない。

[0086] 図5(b)に示すように、駆動源部160からベース110に対して微振動が加えられると、リブ119が形成されている領域110aは、剛性が相対的に高いため、微振動によって屈曲しにくい一方で、リブ119が形成されていない領域110bは、剛性が相対的に低いため、微振動によって屈曲しやすい。その結果、ベース110は、リブが形成されている領域110aを節とし且つリブ119が形成されていない領域110bを腹にして、X軸の方向に沿って波打つように変形振動する。より具体的には、ベース110は、リブ119が形成されている領域110aを節とし且つリブ119が形成されていない領域110bを腹にする定常波のようにその外観を変形させながら振動する。尚、図5(b)に示す例では、ベース110は、その中心から折れ曲がるように変形振動する。但し、ベース110は、他の変形モード（例えば、更に多くの節を有する変形モード）で変形振動してもよい。

[0087] 尚、第1実施例におけるベース110の変形振動は、リブ119が適切な箇所に形成されることによって実現されている。従って、上述したリブ11

9は、リブが形成されている領域110aを節とし且つリブ119が形成されていない領域110bを腹にしてベース110がX軸の方向に沿って変形振動するように、ベース110上の適切な箇所形成されることが好ましい。このとき、トーションバー120a及び120b並びにトーションバー120c及び120dが接続されている箇所が領域110aに対応することが好ましい。例えば、上述したリブ119は、X軸の方向に沿った曲げ剛性が相対的に高い部分とX軸の方向に沿った曲げ剛性が相対的に低い部分とがX軸の方向に沿って順に現れるように、ベース110上の適切な箇所形成されることが好ましい。或いは、例えば、上述したリブ119は、X軸の方向に沿った曲げ剛性が相対的に高い部分とX軸の方向に沿った曲げ剛性が相対的に低い部分とがX軸の方向に沿って順に現れると共に、トーションバー120a及び120b並びにトーションバー120c及び120dが接続されている箇所が領域110aになり且つその他の箇所が領域110bになるように、ベース110上の適切な箇所形成されることが好ましい。

[0088] このとき、駆動源部160から加えられる微振動の周期によっては、ベース110は、共振するように変形振動する。ここで、第1実施例では、ベース110の変形振動における共振周波数は、ミラー130a及び130bの共振周波数と同一であることが好ましい。言い換えれば、ミラー130a及び130bの共振周波数と同一の共振周波数でベース110が変形振動するように、ベース110の特性が定められることが好ましい。例えば、ミラー130a及び130bの共振周波数と同一の共振周波数で変形振動するように、ベース110の裏側に形成されるリブ119の特性（例えば、形成位置や、大きさや、質量や、剛性や、密度等）が定められることが好ましい。

[0089] 尚、ベース110の変形振動における共振周波数は、ベース110及びリブ119を含む構造物を一つのバネ系としてみなし、当該バネ系に付加されている質量をMとし且つ当該バネ系のバネ定数をkとした場合には、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{k/M}$ にて特定される。但し、当該バネ系が一つのバネに一つの質量構造物が接続された（言い換えれば、固有振動数が1個であり

且つ固有振動モードが１個である）１自由度のバネ系であれば、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k/M)}$ という共振周波数を採用することができる。一方で、当該バネ系が一つのバネに２つの質量構造物が接続された２自由度のバネ系であれば、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k/M)}$ という共振周波数における「 k 」及び「 M 」等を補正することが好ましい。尚、ベース１１０及びリブ１１９を含む構造物を一つのバネ系とみなした場合、当該バネ系に付加されている質量 M 及び当該バネ系のバネ定数 k は、ベース１１０の剛性及び質量に応じて定まる。第１実施例では、ベース１１０の剛性及び質量をリブ１１９によって調整している。このため、ベース１１０の共振周波数は、実質的には、上述したリブ１１９の特性によって定められる。

[0090] また、ベース１１０の変形振動における共振周波数は、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k/M)}$ という式によって特定される。しかしながら、ベース１１０の変形振動における共振周波数は、厳密に言えば、ベース１１０という変形振動体を含む振動系を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。このため、ベース１１０を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）を考慮した上で、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k/M)}$ という数式（或いは、当該数式を特定するパラメータである k 及び M ）に対して所定の補正演算を施した結果得られる共振周波数を、実際のベース１１０の変形振動における共振周波数として取り扱ってもよい。

[0091] また、ベース１１０の変形振動における共振は、ベース１１０の変形振動に係るバネ系を一つのバネに２つの質量構造物が接続された２自由度のバネ系とみなすことによって規定することに代えて、ベース１１０という板状の部材の高次の共振モードとみなすことによって規定してもよい。

[0092] ここで、上述したように、駆動源部１６０からはミラー１３０a及び１３０cが上述の共振周波数で共振するように当該共振周波数に同期した態様で微振動が加えられている。従って、このような微振動の印加により、ベース１１０は、共振するように変形振動する。つまり、図５（a）から図５（f）に時系列的に示すように、ベース１１０は、両端が開放された定常波の如

き外観を有するように変形振動する。つまり、ベース 110 は、ミラー 130 a 及び 130 c の回転軸に直交する方向（つまり、X 軸の方向）に沿って定常波が現れるような外観を有する。

[0093] このような態様でベース 110 が変形振動すると、ミラー 130 a 側におけるベース 110（具体的には、図 5（a）から図 5（f）の夫々の相対的に左側のベース 110）の変形の態様とミラー 130 c 側におけるベース 110（具体的には、図 5（a）から図 5（f）の夫々の相対的に右側のベース 110）の変形の態様とは逆になる。例えば、ミラー 130 a 側におけるベース 110 がミラー 130 a の回転軸を中心として反時計周りに変形している場合（例えば、図 5（a）から図 5（c）に示すように変形している場合）、ミラー 130 c 側におけるベース 110 は、ミラー 130 c の回転軸を中心として時計周りに変形することになる。同様に、例えば、ミラー 130 a 側におけるベース 110 がミラー 130 a の回転軸を中心として時計周りに変形している場合（例えば、図 5（d）から図 5（f）に示すように変形している場合）、ミラー 130 c 側におけるベース 110 は、ミラー 130 c の回転軸を中心として反時計周りに変形することになる。従って、ミラー 130 a 及び 130 c の夫々の共振周波数が等しいことから、ミラー 130 a 及び 130 c は、ベース 110 の変形振動に伴って、ミラー 130 a の回転の位相とミラー 130 c の回転の位相とが互いに逆相になるように回転する。言い換えれば、ミラー 130 a 及び 130 c は、ミラー 130 a の回転の位相がミラー 130 c の回転の位相に対して 180° ずれるように回転する。言い換えれば、ミラー 130 a 及び 130 c は、ミラー 130 a の回転の位相とミラー 130 c の回転の位相との間のずれが 180° に固定されるように回転する。このようなミラー 130 a の回転の位相とミラー 130 c の回転の位相との間の関係は、図 5（c）から図 5（f）に示すように、ベース 110 の変形振動がどのような状態であっても成立する。

[0094] 尚、ミラー 130 a の回転の位相とベース 110 の変形振動の位相との間のずれは、時間の経過によって変動してもよいし固定されていてもよい。同

様に、ミラー 130c の回転の位相とベース 110 の変形振動の位相との間のずれは、時間の経過によって変動してもよいし固定されていてもよい。上述の図 5 を用いた説明は、ミラー 130a 及び 130c の回転の位相とベース 110 の変形振動の位相との間のずれが固定されている場合の例を示している。しかしながら、ミラー 130a 及び 130c の回転の位相とベース 110 の変形振動の位相との間のずれが変動する場合であっても、ミラー 130a 及び 130c が、ミラー 130a の回転の位相とミラー 130c の回転の位相とが互いに逆相になるように回転することに変わりはない。

[0095] このように、第 1 実施例によれば、ミラー 130a の回転の位相とミラー 130c の回転の位相とが互いに逆相になるように、ミラー 130a 及び 130c を回転させることができる。つまり、2つのミラー 130a 及び 130c を同期させながら逆相で回転（つまり、駆動）させることができる。従って、1つのミラー 130 を基準周波数 f で回転させる MEMS スキャナと比較して、2つのミラー 130a 及び 130c を 1つのミラー 130 の如く取り扱うことで、基準周波数 f の 2 倍の周波数 $2f$ で（言い換えれば、 $1/2$ の周期で）1つのミラー 130 を回転させている状態と同様の状態を実現することができる。言い換えれば、ミラー 130a 及び 130c の夫々を基準周波数 f の半分の周波数 $f/2$ で回転させても、2つのミラー 130a 及び 130c を 1つのミラー 130 の如く取り扱うことで、基準周波数 f で 1つのミラー 130 を回転させている状態と同様の状態を実現することができる。例えば、静止時の状態を 0° として 1 周期で $\pm X^\circ$ 回転することができるミラー 130 を例にあげて説明する。仮に 1つのミラー 130 を用いるのであれば、 $-X^\circ$ から X° に至るまでの角度を利用するためには、1 周期の期間が必要になる。一方で、互いに逆相で回転する 2つのミラー 130a 及び 130c を用いるのであれば、半周期で、ミラー 130a が 0° から X° まで回転すると共にミラー 130c が 0° から $-X^\circ$ まで回転する。このため、第 1 実施例によれば、 $-X^\circ$ から X° に至るまでの角度を利用するためには、1 周期の期間は必ずしも必要ではなく、例えば半周期で足りる。従っ

て、ミラー 130a 及び 130c の夫々を駆動する周波数を落としても、ミラー 130a 及び 130c を 1 枚のミラー 130 の如く取り扱った場合の当該ミラー 130 の駆動周波数が落ちることはない。

[0096] 尚、図 5 では、ミラー 130a 及び 130c の夫々の回転の位相と、ベース 110 の変形振動の位相とが逆相になる例を示している。しかしながら、図 6 に示すように、ミラー 130a 及び 130c の夫々の回転の位相と、ベース 110 の変形振動の位相とが同相になってもよい。ミラー 130a 及び 130c の夫々の回転の位相とベース 110 の変形振動の位相とが同相になる場合であっても、ベース 110 の変形振動の位相とが同相になってもよい。ミラー 130a 及び 130c の夫々の回転の位相とベース 110 の変形振動の位相とが逆相になる場合に享受することができる各種効果を好適に享受することができる。

[0097] 尚、上述した第 1 実施例では、ミラー 130a 及び 130c を回転させるための力（つまり、駆動源部から加えられる）として、微振動を用いる例について説明している。しかしながら、ミラー 130a 及び 130c を回転させるための力として、微振動以外の任意の力を用いてもよい。例えば、特開 2006-293116 号公報に記載されている「基板の板波を用いてミラーにねじれ振動を生じさせる駆動方式（例えば、ラム波共鳴圧電駆動方式）」を利用して、ミラー 130a 及び 130c を回転させてもよい。或いは、例えば、ミラー 130a 及び 130c を回転させるための力として、ミラー 130a 及び 130c を直接的に回転させる方向に作用する方向性のある力を用いてもよい。言い換えれば、例えば、ミラー 130a 及び 130c を回転させるための力として、トーションバー 120a 及び 120b 並びに 120c 及び 120d を直接的にねじれさせる方向に作用する方向性のある力を用いてもよい。以下の第 2 実施例から第 6 実施例においても同様である。

[0098] （２）第 2 実施例

続いて、図 7 を参照して、第 2 実施例の MEMS スキャナ 101 について説明する。図 7 は、第 2 実施例の MEMS スキャナ 101 の基本構成を概念

的に示す平面図である。尚、上述の第1実施例のMEMSスキャナ100と同一の構成については、同一の参照符号を付することでその詳細な説明を省略する。

[0099] 図7に示すように、第2実施例のMEMSスキャナ101は、第1実施例のMEMSスキャナ100と同様に、ベース110と、トーションバー120a及び120bと、トーションバー120c及び120dと、ミラー130aと、ミラー130cとを備えている。第2実施例のMEMSスキャナ101は、電磁力に起因した力（微振動）を加える駆動源部160に代えて、圧電効果に起因した力（微振動）を加える駆動源部140を備えている。

[0100] 駆動源部140は、第1圧電素子140-1aと、第2圧電素子140-2aと、伝達枝140bと、第1空隙140-1dを有すると共に伝達枝140bを介してベース110に固定される第1支持板140-1cと、第2空隙140-2dを有すると共に伝達枝140bを介してベース110に固定される第2支持板140-2cとを備えている。第1支持板140-1c上では、第1空隙140-1dによって規定される相対向する第1枝140-1e及び140-1fによって、第1圧電素子140-1aが挟持される。第2支持板140-2c上では、第2空隙140-2dによって規定される相対向する第2枝140-2e及び140-2fによって、第2圧電素子140-2aが挟持される。不図示の電極を介して第1圧電素子140-1aに電圧を印加することで、第1圧電素子140-1aはその形状を変化させる。この第1圧電素子140-1aの形状の変化は、第1枝140-1e及び140-1fの形状の変化を引き起こす。その結果、第1枝140-1e及び140-1fの形状の変化は、後に詳述するように微振動（ないしは、波動エネルギー）として伝達枝140bを介してベース110に伝えられる。同様に、不図示の電極を介して第2圧電素子140-2aに電圧を印加することで、第2圧電素子140-2aはその形状を変化させる。この第2圧電素子140-2aの形状の変化は、第2枝140-2e及び140-2fの形状の変化を引き起こす。その結果、第2枝140-2e及び140-

2 f の形状の変化は、後に詳述するように微振動（ないしは、波動エネルギー）として伝達枝 140 b を介してベース 110 に伝えられる。

[0101] このような駆動源部 140 から加えられる微振動は、図 4 を用いて説明した方向性のない力となる。従って、第 2 実施例の MEMS スキャナ 101 によれば、上述した第 1 実施例の MEMS スキャナ 100 が享受する各種効果と同様の効果を好適に享受することができる。

[0102] （3）第 3 実施例

続いて、図 8 を参照して、第 3 実施例の MEMS スキャナ 102 について説明する。図 8 は、第 3 実施例の MEMS スキャナ 102 の基本構成を概念的に示す平面図である。尚、上述の第 1 実施例の MEMS スキャナ 100 と同一の構成については、同一の参照符号を付することでその詳細な説明を省略する。

[0103] 図 7 に示すように、第 3 実施例の MEMS スキャナ 102 は、第 1 実施例の MEMS スキャナ 100 と同様に、ベース 110 と、トーションバー 120 a 及び 120 b と、トーションバー 120 c 及び 120 d と、ミラー 130 a と、ミラー 130 c とを備えている。第 3 実施例の MEMS スキャナ 102 は、電磁力に起因した力（微振動）を加える駆動源部 160 に代えて、静電力に起因した力（微振動）を加える駆動源部 150 を備えている。

[0104] 駆動源部 150 は、ベース 110 の外側の辺に沿って配置される櫛歯状の第 1 電極 151 と、不図示の基材に固定されると共に第 1 電極 151 の間に分布する櫛歯状の第 2 電極 152 とを備える。この場合、第 1 電極 151（又は、第 2 電極 152）には、不図示の駆動源部制御回路から所望のタイミングで、所望の電圧が印加される。第 1 電極 151 と第 2 電極 152 との間の電位差に起因して、第 1 電極 151 と第 2 電極 152 との間には静電力（言い換えれば、クーロン力）が生ずる。その結果、静電力が発生する。この静電力は微振動としてベース 110 に伝えられる。

[0105] このような駆動源部 150 から加えられる微振動は、図 4 を用いて説明した方向性のない力となる。従って、第 3 実施例の MEMS スキャナ 102 に

よれば、上述した第1実施例のMEMSスキャナ100が享受する各種効果と同様の効果を好適に享受することができる。

[0106] (4) 第4実施例

続いて、図9から図14を参照して、MEMSスキャナの第4実施例について説明する。

[0107] (4-1) 基本構成

初めに、図9を参照して、第4実施例のMEMSスキャナ103の基本構成について説明する。ここに、図9は、第4実施例のMEMSスキャナ103の基本構成を概念的に示す平面図である。

[0108] 図9図9に示すように、第4実施例のMEMSスキャナ103は、第1ベース110-1と、第1トーシヨンバー120a-1及び120b-1と、第2ベース110-2と、第2トーシヨンバー120a-2及び120b-2と、第2トーシヨンバー120c-2及び120d-2と、ミラー130aと、ミラー130cと、駆動源部160とを備えている。

[0109] 第1ベース110-1は、内部に空隙を備える枠形状を有している。つまり、第1ベース110-1は、図9図9中のY軸方向に延伸する2つの辺と図9図9中のX軸方向（つまり、Y軸に直交する軸方向）に延伸する2つの辺とを有すると共に、Y軸方向に延伸する2つの辺とX軸方向に延伸する2つの辺とによって取り囲まれた空隙を有する枠形状を有している。図9図9に示す例では、第1ベース110-1は、正方形の形状を有しているが、これに限定されることはなく、例えばその他の形状（例えば、長方形等の矩形の形状や円形の形状等）を有していてもよい。また、第1ベース110-1は、第4実施例のMEMSスキャナ103の基礎となる構造体であって、不図示の基板ないしは支持部材に対して固定されている（言い換えれば、MEMSスキャナ103という系の内部においては固定されている）ことが好ましい。

[0110] 尚、図9図9では、第1ベース110-1が枠形状を有している例を示しているが、その他の形状を有していてもよいことは言うまでもない。例えば

、第1ベース110-1は、その一部の辺が開口となるコの字型形状を有していてもよい。或いは、例えば、第1ベース110-1は、内部に空隙を備える箱型形状を有していてもよい。つまり、第1ベース110-1は、X軸及びY軸によって規定される平面上に分布する2つの面と、X軸及び不図示のZ軸（つまり、X軸及びY軸の双方に直交する軸）によって規定される平面上に分布する2つの面と、Y軸及び不図示のZ軸によって規定される平面上に分布する2つの面とを有すると共に、これらの6つの面によって取り囲まれた空隙を有する箱形状を有していてもよい。或いは、ミラー130a及び130cが配置される態様に応じて適宜第1ベース110-1の形状を任意に代えてもよい。

[0111] 第1トーションバー120a-1は、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。第1トーションバー120a-1は、図9図9中X軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、第1トーションバー120a-1は、X軸の方向に延伸する長手を有すると共にY軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、第1トーションバー120a-1は、X軸の方向に延伸する短手を有すると共にY軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。第1トーションバー120a-1の一方の端部121a-1は、第1ベース110-1の内側の辺115-1に接続される。第1トーションバー120a-1の他方の端部122a-1は、X軸の方向に沿って第1ベース110-1の内側の辺115-1に対向する第2ベース110-2の外側の辺117-2に接続される。

[0112] 第1トーションバー120b-1は、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。第1トーションバー120b-1は、図9図9中X軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、第1トーションバー120b-1は、X軸の方向に延伸する長手を有すると共にY軸の方向に延伸する短手を有する形

状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、第1 トーションバー 120b-1 は、X軸の方向に延伸する短手を有すると共にY軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。第1 トーションバー 120b-1 の一方の端部 121b-1 は、X軸の方向に沿って第1 ベース 110-1 の内側の辺（言い換えれば、領域部分） 115-1（つまり、第1 トーションバー 120a-1 の一方の端部 121a-1 が接続される第1 ベース 110-1 の内側の辺 115-1）に対向する第1 ベース 110-1 の内側の辺 116-1 に接続される。第1 トーションバー 120b-1 の他方の端部 122b-1 は、X軸の方向に沿って第1 ベース 110-1 の内側の辺 116-1 に対向する第2 ベース 110-2 の外側の辺 118-2 に接続される。

[0113] 第2 ベース 110-2 は、内部に空隙を備える枠形状を有している。つまり、第2 ベース 110-2 は、図9図9中のY軸方向に延伸する2つの辺と図9中のX軸方向（つまり、Y軸に直交する軸方向）に延伸する2つの辺とを有すると共に、Y軸方向に延伸する2つの辺とX軸方向に延伸する2つの辺とによって取り囲まれた空隙を有する枠形状を有している。図9に示す例では、第2 ベース 110-2 は、正方形の形状を有しているが、これに限定されることはなく、例えばその他の形状（例えば、長方形等の矩形の形状や円形の形状等）を有していてもよい。

[0114] 第2 ベース 110-2 は、第1 ベース 110-1 の内部の空隙に、第1 トーションバー 120a-1 及び 120b-1 によって吊り下げられる又は支持されるように配置される。第2 ベース 110-2 は、第1 トーションバー 120a-1 及び 120b-1 の弾性によって、X軸の方向を中心軸として回転するように構成されている。

[0115] 尚、図9では、第2 ベース 110-2 が枠形状を有している例を示しているが、その他の形状を有していてもよいことは言うまでもない。例えば、第2 ベース 110-2 は、その一部の辺が開口となるコの字型形状を有していてもよい。或いは、例えば、第2 ベース 110-2 は、内部に空隙を備える

箱型形状を有していてもよい。つまり、第2ベース110-2は、X軸及びY軸によって規定される平面上に分布する2つの面と、X軸及び不図示のZ軸（つまり、X軸及びY軸の双方に直交する軸）によって規定される平面上に分布する2つの面と、Y軸及び不図示のZ軸によって規定される平面上に分布する2つの面とを有すると共に、これらの6つの面によって取り囲まれた空隙を有する箱形状を有していてもよい。或いは、ミラー130a及び130cが配置される態様に応じて適宜第2ベース110-2の形状を任意に代えてもよい。

[0116] 第2トーションバー120a-2は、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。第2トーションバー120a-2は、図9中Y軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、第2トーションバー120a-2は、Y軸の方向に延伸する長手を有すると共にX軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、第2トーションバー120a-2は、Y軸の方向に延伸する短手を有すると共にX軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。第2トーションバー120a-2の一方の端部121a-2は、第2ベース110-2の内側の辺111-2に接続される。第2トーションバー120a-2の他方の端部122a-2は、Y軸の方向に沿って第2ベース110-2の内側の辺111-2に対向するミラー130aの一方の辺131aに接続される。

[0117] 第2トーションバー120b-2は、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。第2トーションバー120b-2は、図9中Y軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、第2トーションバー120b-2は、Y軸の方向に延伸する長手を有すると共にX軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、第2トーションバー120b-1は、Y軸の方向に延伸する短手を有すると共にX軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。第2トーションバー1

20b-2の一方の端部121b-2は、Y軸の方向に沿って第2ベース110-2の内側の辺111-2（つまり、第2トーションバー120a-2の一方の端部121a-2が接続される第2ベース110-2の内側の辺111-2）に対向する第2ベース110-2の内側の辺112-2に接続される。第2トーションバー120b-2の他方の端部122b-2は、Y軸の方向に沿って第2ベース110-2の内側の辺112-2に対向するミラー130aの他方の辺132aに接続される。

[0118] 第2トーションバー120c-2は、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。第2トーションバー120c-2は、図9中Y軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、第2トーションバー120c-2は、Y軸の方向に延伸する長手を有すると共にX軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、第2トーションバー120c-2は、Y軸の方向に延伸する短手を有すると共にX軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。第2トーションバー120c-2の一方の端部121c-2は、第2ベース110-2の内側の辺111-2に接続される。第2トーションバー120c-2の他方の端部122c-2は、Y軸の方向に沿って第2ベース110-2の内側の辺111-2に対向するミラー130cの一方の辺131cに接続される。

[0119] 第2トーションバー120d-2は、例えばシリコン、銅合金、鉄系合金、その他金属、樹脂等を材料とするバネ等のような弾性を有する部材である。第2トーションバー120d-2は、図9中Y軸の方向に延伸するように配置される。言い換えれば、第2トーションバー120d-2は、Y軸の方向に延伸する長手を有すると共にX軸の方向に延伸する短手を有する形状を有している。但し、後述する共振周波数の設定状況に応じて、第2トーションバー120d-1は、Y軸の方向に延伸する短手を有すると共にX軸の方向に延伸する長手を有する形状を有していてもよい。第2トーションバー120d-2の一方の端部121d-2は、Y軸の方向に沿って第2ベース1

10-2の内側の辺111-2（つまり、第2トーションバー120c-2の一方の端部121c-2が接続される第2ベース110-2の内側の辺111-2）に対向する第2ベース110-2の内側の辺112-2に接続される。第2トーションバー120d-2の他方の端部122d-2は、Y軸の方向に沿って第2ベース110-2の内側の辺112-2に対向するミラー130cの他方の辺132cに接続される。

[0120] ミラー130aは、第2ベース110-2の内部の空隙に、第2トーションバー120a-2及び120b-2によって吊り下げられる又は支持されるように配置される。ミラー130aは、第2トーションバー120a-2及び120b-2の弾性によって、Y軸の方向を中心軸として回転するように構成されている。

[0121] ミラー130cは、第2ベース110-2の内部の空隙に、第2トーションバー120c-2及び120d-2によって吊り下げられる又は支持されるように配置される。ミラー130cは、第2トーションバー120c-2及び120d-2の弾性によって、Y軸の方向を中心軸として回転するように構成されている。

[0122] 駆動源部160は、ミラー130a及び130cをY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させるために必要な微振動を第2ベース110-2に対して加える。尚、駆動源部160が微振動を第2ベース110-2に加えることができる限りは、その配置態様は任意に定めてもよい。また、第2ベース110-2に対して力を加えることに限らず、その他の位置（例えば、第1ベース110-1）に対して力を加えることができるように構成されてもよい。

[0123] より具体的には、駆動源部160は、電磁力に起因した力を加える駆動源部であって、第2ベース110-2の枠形状に沿って配置されるコイル161と、第1ベース110-1に固定される磁極162aから162cとを備える。この場合、コイル161には、不図示の駆動源部制御回路から所望のタイミングで、所望の電圧が印加される。コイル161への電圧の印加によ

って電流が流れ、コイル161と磁極162aから162cとの間に電磁相互作用が生ずる。その結果、電磁相互作用による電磁力が発生する。この電磁力は微振動として第2ベース110-2に伝えられる。

[0124] 尚、磁極162aは、第2ベース110-2の一方側の辺110-2であって且つミラー130aとミラー130cとの間の領域（つまりは、第2ベース110-2における変形振動の腹となる領域）に隣接して配置されることが好ましい。一方で、磁極162b及び162cは、第2ベース110-2の回転軸に対して磁極162aと反対側に位置する領域であって且つ第2ベース110-2を（或いは、ミラー130a及びミラー130cを）Y軸の方向に沿って挟みこむ位置に配置されることが好ましい。

[0125] 続いて、図10を参照して、第2ベース110-2の裏側（具体的には、図9に示した第2ベース110-2の反対側）の構成について説明する。図10は、第2ベース110-2の裏側（具体的には、図9に示した第2ベース110-2の反対側）の構成を示す平面斜視図である。

[0126] 図10に示すように、第2ベース110-2の枠形状のうちの一部の領域110aには、第2ベース110-2の表面から突き出るリブ119が形成されている。リブ119は、第2ベース110-2と一体的に形成されていてもよいし、第2ベース110-2が形成された後に付加的に配置されていてもよい。一方で、第2ベース110-2の枠形状のうちの他の一部の領域110bには、リブ119が形成されていない。

[0127] 図10に示すリブ119により、第2ベース110-2の枠形状のうちの一部の領域110aの剛性は、第2ベース110-2の枠形状のうちの他の一部の領域110bの剛性よりも高くなる。言い換えれば、リブ119は、第2ベース110-2の枠形状のうちの一部の領域110aの剛性が、第2ベース110-2の枠形状のうちの他の一部の領域110bの剛性よりも高くなる状態を実現することができるように、第2ベース110-2に形成されることが好ましい。つまり、第2ベース110-2の枠形状のうちの一部の領域110aの剛性が、第2ベース110-2の枠形状のうちの他の一部

の領域 110b の剛性よりも高くなる状態を実現することができるように、リブ 119 の形成位置や、大きさや、質量や、剛性や、密度等が適宜決定されることが好ましい。

[0128] 或いは、図 10 に示すリブ 119 により、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの一部の領域 110a の質量（或いは、第 2 ベース 110-2 の枠方向に沿った単位長当たりの質量）は、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの他の一部の領域 110b の質量（或いは、第 2 ベース 110-2 の枠方向に沿った単位長当たりの質量）よりも大きくなる。或いは、リブ 119 は、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの一部の領域 110a の質量が、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの他の一部の領域 110b の質量よりも大きくなる状態を実現することができるように、第 2 ベース 110-2 に形成されることが好ましい。つまり、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの一部の領域 110a の質量が、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの他の一部の領域 110b の質量よりも大きくなる状態を実現することができるように、リブ 119 の形成位置や、大きさや、質量や、剛性や、密度等が適宜決定されることが好ましい。

[0129] 尚、リブ 119 が形成される領域 110a とリブ 119 が形成されない領域 110b は、ミラー 130a 及び 130b の夫々の回転軸（つまり、Y 軸）に直交する方向（つまり、X 軸に沿った方向）に沿って並ぶことが好ましい。

[0130] 尚、図 10 は、リブ 119 が第 2 ベース 110-2 の裏側に形成される例を示している。しかしながら、リブ 119 は、第 2 ベース 110-2 の表側に形成されてもよいし、第 2 ベース 110-2 の側面に形成されてもよいし、第 2 ベース 110-2 の内面に形成されてもよい。或いは、リブ 119 以外の構成を用いて、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの一部の領域 110a の剛性が、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの他の一部の領域 110b の剛性よりも高くなる状態を実現してもよい。或いは、リブ 119 以外の構成を用いて、第 2 ベース 110-2 の枠形状のうちの一部の領域 110

aの質量が、第2ベース110-2の枠形状のうちの他の一部の領域110bの質量よりも大きくなる状態を実現してもよい。例えば、第2ベース110-2の密度や材質等を領域110aと領域110bとで異ならしめることで、上述の状態を実現してもよい。

[0131] (4-2) MEMSスキャナの動作

続いて、図11を参照して、第4実施例のMEMSスキャナ103の動作の態様（具体的には、ミラー130a及び130cを回転させる動作の態様）について説明する。ここに、図11は、第4実施例のMEMSスキャナ103による動作の態様を概念的に示す平面図である。

[0132] 第4実施例のMEMSスキャナ103の動作時には、コイル161には、不図示の駆動源部制御回路から所望のタイミングで、所望の電圧が印加される。コイル161への電圧の印加によって電流が流れ、コイル161と磁極162aから162cとの間に電磁相互作用が生ずる。その結果、電磁相互作用による電磁力が発生する。この電磁力は微振動（ないしは、波動エネルギー）として第2ベース110-2に伝えられる。

[0133] ここで、コイル161と磁極162aとの間の電磁相互作用による電磁力の方向は、図11中奥側（紙面奥側）から手前側（紙面手前側）方向である。コイル161と磁極162bとの間の電磁相互作用による電磁力の方向は、図11中手前側から奥側方向である。コイル161と磁極162cとの間の電磁相互作用による電磁力の方向は、図11中手前側から奥側方向である。その結果、図11に示すように、この電磁力は、第1トーシヨンバー120a-1及び120b-1自身の弾性に応じた方向に向かって第1トーシヨンバー120a-1及び120b-1を回転させたり、第2ベース110-2を回転させたりする。その結果、図11に示すように、第2ベース110-2が、X軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。

[0134] 尚、第2ベース110-2は、後述するミラー130a及び130cの共振周波数と同じ周波数、又は当該共振周波数よりも低い若しくは高い周波数での回転動作を所定の角度の範囲内で繰り返してもよい。例えば、第4実施

例のMEMSスキャナ103をディスプレイ（或いは、ヘッドマウントディスプレイ）に適用する場合には、第2ベース110-2は、例えばディスプレイの走査周期又はフレームレートに応じた周波数（例えば、60Hz）での回転動作を繰り返してもよい。

[0135] 或いは、第2ベース110-2は、第2ベース110-2を含む被懸架部並びに第1トーションバー120a-1及び120b-1により定まる共振周波数での回転動作を所定の角度の範囲内で繰り返してもよい。具体的には、第2ベース110-2は、第2ベース110-2を含む被懸架部（言い換えれば、第1トーションバー120a-1及び120b-1により懸架される第2ベース110-2を含む被懸架部）並びに第1トーションバー120a-1及び120b-1に応じて定まる共振周波数で共振するように回転してもよい。例えば、第2ベース110-2を含む被懸架部のX軸に沿った軸回りの慣性モーメント（より具体的には、第2ベース110-2内に備えられる第2トーションバー120a-2から120d-2並びにミラー130a及び130cの夫々の質量をも加味した第2ベース110-2という系全体からなる被懸架設部のX軸に沿った軸回りの慣性モーメント）が I_1 であり且つ第1トーションバー120a-1及び120b-1を1本のバネとみなした場合のねじりバネ定数が k_1 であるとすれば、第2ベース110-2は、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k_1/I_1)}$ にて特定される共振周波数（或いは、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k_1/I_1)}$ のN倍若しくはN分の1倍（但し、Nは1以上の整数）の共振周波数）で共振するように、X軸の方向に沿った軸を中心軸として回転してもよい。

[0136] 更に、駆動源部160から加えられる電磁力そのものは、ミラー130a及び130cの回転方向（つまり、Y軸に沿った方向を中心軸とする回転方向）とは異なる。一方で、この電磁力は、微振動として第2ベース110-2に伝わる。より具体的には、駆動源部160は、第2ベース110-2に対して、第2ベース110-2そのものの回転方向のねじれをなくしつつも第2ベース110-2内を伝搬する微振動を、波動エネルギーとして加える

。言い換えれば、駆動源部 160 は、第 2 ベース 110-2 そのものに回転方向のねじれを与える力を加えることに代えて、第 2 ベース 110-2 内をエネルギーとして（言い換えれば、力を発現させる波動エネルギーとして）伝搬する微振動を加える。このような微振動は、第 2 ベース 110-2 内を伝搬している時点では、方向性を有していない力となる。言い換えれば、微振動として第 2 ベース 110-2 内を伝搬する波動エネルギーは、第 2 ベース 110-2 内を任意の方向に向かって伝搬する。また、このような微振動が加えられた第 2 ベース 110-2 は、第 2 ベース 110-2 そのものが振動する物体となるというよりは、微振動（言い換えれば、波動エネルギー）を伝搬する媒体となる。

[0137] その結果、駆動源部 160 から第 2 ベース 110-2 に対して加えられる微振動は、第 2 ベース 110-1 から第 2 トーションバー 120a-2 及び 120b-2 へと伝わる。その後、図 11 に示すように、第 2 ベース 110-2 内を伝搬してきた微振動（言い換えれば、波動エネルギー）が、第 2 トーションバー 120a-2 及び 120b-2 自身の弾性に応じた方向に向かって第 2 トーションバー 120a-2 及び 120b-2 を回転させたり、ミラー 130a を回転させたりする。言い換えれば、第 2 ベース 110-2 内を伝搬してきた微振動は、第 2 トーションバー 120a-2 及び 120b-2 の回転やミラー 130a の回転という形で発現する。言い換えれば、この波動エネルギーは、微振動の方向を限定することなくあらゆる方向の振動として取り出すことができる。つまり、第 2 ベース 110-2 内を伝搬した波動エネルギーは、振動（より具体的には、共振）という形で外部に取り出すことができ、その結果、ミラー 130a を回転させることができる。その結果、図 11 に示すように、ミラー 130a が、Y 軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。より具体的には、ミラー 130a は、共振周波数での回転動作を所定の角度の範囲内で繰り返す（言い換えれば、所定の角度の範囲内での回転の往復運動を繰り返す）。

[0138] このとき、ミラー 130a は、ミラー 130a 並びに第 2 トーションバー

120a-2及び120b-2に応じて定まる共振周波数で共振するように回転する。より具体的には、ミラー130aは、ミラー130a（より具体的には、ミラー130aを含む被懸架部であり、第2トーションバー120a-2及び120b-2によって吊り下げられる構造物）のY軸に沿った軸周り慣性モーメント並びに第2トーションバー120a-2及び120b-2のねじりバネ定数に応じて定まる共振周波数で共振するように回転する。例えば、ミラー130aのY軸に沿った軸回りの慣性モーメントが I_a であり且つ第2トーションバー120a-2及び120b-2を1本のバネとみなした場合のねじりバネ定数が k_a であるとすれば、ミラー130aは、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k_a/I_a)}$ にて特定される共振周波数（或いは、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k_a/I_a)}$ のN倍若しくはN分の1倍（但し、Nは1以上の整数）の共振周波数）で共振するように、Y軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。このため、駆動源部160は、ミラー130aが上述の共振周波数で共振するように、上記共振周波数に同期した態様で微振動を加える。

[0139] また、ミラー130aの共振周波数は、厳密に言えば、ミラー130aという回転体を含む回転系を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。例えば、ミラー130aの共振周波数は、ミラー130aという回転体を含む回転系を支える第1ベース110-1や第1トーションバー120a-1及び120b-1や第2ベース110-2等の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。このため、ミラー130aを支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）を考慮した上で、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k_a/I_a)}$ という数式（或いは、当該数式を特定するパラメータである k_a 及び I_a ）に対して所定の補正演算を施した結果得られる共振周波数を、実際のミラー130aの共振周波数として取り扱ってもよい。

[0140] 同様に、駆動源部160から第2ベース110-2に対して加えられる微振動は、第2ベース110-1から第2トーションバー120c-2及び1

20d-2へと伝わる。その後、図11に示すように、第2ベース110-2内を伝搬してきた微振動（言い換えれば、波動エネルギー）が、第2トーションバー120c-2及び120d-2自身の弾性に応じた方向に向かって第2トーションバー120c-2及び120d-2を回転させたり、ミラー130cを回転させたりする。言い換えれば、第2ベース110-2内を伝搬してきた微振動は、第2トーションバー120c-2及び120d-2の回転やミラー130cの回転という形で発現する。言い換えれば、この波動エネルギーは、微振動の方向を限定することなくあらゆる方向の振動として取り出すことができる。つまり、第2ベース110-2内を伝搬した波動エネルギーは、振動（より具体的には、共振）という形で外部に取り出すことができ、その結果、ミラー130cを回転させることができる。その結果、図11に示すように、ミラー130cが、Y軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。より具体的には、ミラー130cは、共振周波数での回転動作を所定の角度の範囲内で繰り返す（言い換えれば、所定の角度の範囲内での回転の往復運動を繰り返す）。

- [0141] このとき、ミラー130cは、ミラー130c並びに第2トーションバー120c-2及び120d-2に応じて定まる共振周波数で共振するように回転する。より具体的には、ミラー130cは、ミラー130c（より具体的には、ミラー130cを含む被懸架部であり、第2トーションバー120c-2及び120d-2によって吊り下げられる構造物）のY軸に沿った軸周り慣性モーメント並びに第2トーションバー120c-2及び120d-2のねじりバネ定数に応じて定まる共振周波数で共振するように回転する。例えば、ミラー130cのY軸に沿った軸回りの慣性モーメントが I_c であり且つ第2トーションバー120c-2及び120d-2を1本のバネとみなした場合のねじりバネ定数が k_c であるとすれば、ミラー130aは、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k_c/I_c)}$ にて特定される共振周波数（或いは、 $(1/(2\pi)) \times \sqrt{(k_c/I_c)}$ のN倍若しくはN分の1倍（但し、Nは1以上の整数）の共振周波数）で共振するように、Y軸の方向に沿った軸を

中心軸として回転する。このため、駆動源部 160 は、ミラー 130c が上述の共振周波数で共振するように、上記共振周波数に同期した態様で微振動を加える。

[0142] また、ミラー 130c の共振周波数は、厳密に言えば、ミラー 130c という回転体を含む回転系を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。例えば、ミラー 130c の共振周波数は、ミラー 130c という回転体を含む回転系を支える第 1 ベース 110-1 や第 1 トーションバー 120a-1 及び 120b-1 や第 2 ベース 110-2 等の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。このため、ミラー 130c を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）を考慮した上で、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_c / I_c)}$ という数式（或いは、当該数式を特定するパラメータである k_c 及び I_c ）に対して所定の補正演算を施した結果得られる共振周波数を、実際のミラー 130c の共振周波数として取り扱ってもよい。

[0143] 尚、第 4 実施例では、ミラー 130a の共振周波数とミラー 130c の共振周波数とは同一であることが好ましい。具体的には、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_a / I_a)} = (1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k_c / I_c)}$ となることが好ましい。或いは、MEMS スキャナ 103 が 3 つ以上の複数のミラー 130 を備えている場合には、複数のミラー 130 のうちの少なくとも 2 つの共振周波数が同一であることが好ましい。

[0144] ここで、図 12 を参照して、駆動源部 160 から加えられる微振動に起因した方向性のない力について更に説明する。ここに、図 12 は、駆動源部 160 から加えられる微振動に起因した方向性のない力について説明するための平面図である。尚、以下の説明では、説明を分かりやすくするために、図 9 に示す駆動源部 160 とは異なる構成を有する駆動源部 160 を用いて説明を進める。但し、図 9 に示す駆動源部 160 から加えられる微振動としての電磁力と図 12 に示す駆動源部 160 から加えられる微振動としての電磁力とは、実際上は同一の力（つまり、方向性のない力）である。

[0145] 図12に示すように、駆動源部160は、伝達枝160bと、伝達枝160bを介して第1ベース110-1に接続される第1支持板160-1cであって且つY軸の方向に沿って相対向する第1枝160-1x及び160-1yを備える第1支持板160-1cと、伝達枝160bを介して第1ベース110-1に接続される第2支持板160-2cであって且つY軸の方向に沿って相対向する第2枝160-2x及び160-2yを備える第2支持板160-2cと、第1枝160-1x及び160-1yの夫々に巻かれた第1コイル160-1zと、第2枝160-2x及び160-2yの夫々に巻かれた第2コイル160-2zとを備えている。また、第1枝160-1x及び160-1y並びに第2枝160-2x及び160-2yの形状及び特性は同一であるとし、第1枝160-1xに巻かれたコイル160-1zの特性（例えば、巻き数等）及び第1枝160-1yに巻かれたコイル160-1zの特性（例えば、巻き数等）は同一であるとし、第2枝160-2xに巻かれたコイル160-2zの特性（例えば、巻き数等）及び第2枝160-2yに巻かれたコイル160-2zの特性（例えば、巻き数等）は同一であるものとする。

[0146] ここで、第1枝160-1x及び160-1y並びに第2枝160-2x及び160-2yの夫々に巻かれたコイル160-1z及び160-2zに電流を流すと、電磁相互作用により、第1枝160-1x及び第2枝160-2xに対して第1枝160-1y及び第2枝160-2yの方向に向かって引っ張られる力（つまり、Y軸の負の方向であって図12中下側に向かう方向に作用する力）が発生する場合には、第1枝160-1y及び第2枝160-2yに対しても、第1枝160-1x及び第2枝160-2xの方向に向かって引っ張られる力（つまり、Y軸の正の方向であって図12中上側に向かう方向に作用する力）が発生する。この力は、互いに逆向きで同じ大きさであるため、それらが外部に加速度を生じさせたり、それら自身に加速度を発生させることもなく、第1枝160-1xと第1枝160-1yとが接合する点P1（言い換えれば、伝達枝160b上の点P1）及び第2枝1

60-2xと第2枝160-2yとが接合する点P2（言い換えれば、伝達枝160b上の点P2）には微振動のみが伝達される。その結果、点P1及びP2における力には方向性がないことになる。同様に、電磁相互作用により、第1枝160-1x及び第2枝160-2xに対して第1枝160-1y及び第2枝160-2yから引き離される力（つまり、Y軸の正の方向であって図12中上側に向かう方向に作用する力）が発生する場合には、第1枝160-1y及び第2枝160-2yに対しても第1枝160-1x及び第2枝160-2xから引き離される力（つまり、Y軸の負の方向であって図12中下側に向かう方向に作用する力）が発生する。この力は、互いに逆向きで同じ大きさであるため、それらが外部に加速度を生じさせたり、それら自身に加速度を発生させることもなく、第1枝160-1xと第1枝160-1yとが接合する点P1及び第2枝160-2xと第2枝160-2yとが接合する点P2には微振動のみが伝達される。その結果、点P1及びP2における力には方向性がないことになる。

[0147] しかしながら、本願発明者の実験によれば、上記構成によって第1ベース110-1並びに第1トーションバー120a-1及び120b-1を介して伝わる微振動（つまり、波動エネルギーであって、方向性のない力）が第2ベース110-2内を伝搬し、その結果、ミラー130a及び130cがY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転することが判明している。つまり、駆動源部160により加えられる微振動が上述した方向性のない力（言い換えれば、波動エネルギー）として第2ベース110-2内を伝搬することで、ミラー130a及び130cがY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転することが判明している。

[0148] このように、第4実施例においては、ミラー130aがミラー130a並びに第2トーションバー120a-2及び120b-2に応じて定まる共振周波数で共振するように、Y軸の方向に沿った軸を中心軸としてミラー130aを回転させることができる。更に、第4実施例においては、ミラー130cがミラー130c並びに第2トーションバー120c-2及び120d

ー2に応じて定まる共振周波数で共振するように、Y軸の方向に沿った軸を中心軸としてミラー130cを回転させることができる。加えて、第4実施例においては、X軸の方向に沿った軸を中心軸として第2ベース110-2を回転させることができる。ここで、ミラー130a及び130cが第2トーションバー120a-2及び120b-2並びに第2トーションバー120c-2及び120d-2を介して第2ベース110-2に接続されていることを考慮すれば、X軸の方向に沿った軸を中心軸とする第2ベース110-2の回転に合わせて、ミラー130a及び130cもまたX軸の方向に沿った軸を中心軸として回転する。その結果、ミラー130a及び130cがX軸及びY軸の夫々を中心軸として共振するようにミラー130a及び130cを回転させることができる。つまり、第4実施例においては、ミラー130a及び130cは、X軸を中心軸として回転駆動すると共に、Y軸を中心軸として自励共振する。

[0149] ここで、「共振」とは、無限小の力の繰り返しにより無限大の変位が生じる現象である。このため、ミラー130a及び130cを回転させるために加えられる力を小さくしても、ミラー130a及び130cの回転範囲（言い換えれば、回転方向の振幅）を大きくとることができる。つまり、ミラー130a及び130cが回転するために必要な力を相対的に小さくすることができる。このため、ミラー130a及び130cの回転に必要な力を加えるために必要な電力量をも少なくすることができる。従って、より効率的にミラー130a及び130cを移動させることができ、その結果、MEMSスキャナ103の低消費電力化を実現することができる。

[0150] 加えて、第4実施例では、方向性を有していない力を加えている。

[0151] ここで、比較例として、いわゆる方向性を有する力を加えることでミラー130a及び130cの2軸回転駆動を行う構成（例えば、第2ベース110-2そのものをミラー130a及び130cの回転方向に向かって大きくねじれさせ、そのねじれを第2トーションバー120a-2及び120b-2や第2トーションバー120c-2及び120d-2やミラー130a及

び130cに直接加えることでミラー130a及び130cの2軸回転駆動を行う構成)を例にあげて説明する。この場合、ミラー130a及び130cをX軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力(例えば、第1ベース110-1を、X軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させるようにねじれさせる力)をある駆動源部160から加えると共に、ミラー130a及び130cをY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力(例えば、第2ベース110-2を、Y軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させるようにねじれさせる力)を他の駆動源部160から加える必要がある。つまり、方向性を有する力を加えることでミラー130a及び130cの2軸回転駆動を行う場合には、通常は、2つ以上の駆動源部160をMEMSスキャナが備えていなければならない。言い換えれば、方向性を有する力を加えることでミラー130a及び130cの2軸回転駆動を行う場合には、1つの駆動源部160からは1つの方向に向かって作用する力しか加えることができないため、2つ以上の駆動源部160をMEMSスキャナが備えていなければならない。

- [0152] しかるに、第4実施例では、微振動に起因した方向性のない力を加えることで、ミラー130a及び130cの2軸回転駆動を行うことができる。ここで、微振動に起因した方向性のない力を加えているがゆえに、1つの駆動源部160から加えられた微振動(つまり、方向性のない力)は、第1トーションバー120a-1及び120b-1の弾性(つまり、ミラー130a及び130cを支持する第2ベース110-2をX軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させる弾性)並びに第2トーションバー120a-2から120d-2の弾性(つまり、ミラー130a及び130cをY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させる弾性)を利用して、ミラー130a及び130cをX軸及びY軸の夫々の方向に沿った軸を中心軸として回転させることができる。つまり、第4実施例では、ミラー130a及び130cの2軸回転駆動を行う場合であっても、2つの駆動源部160を備える必要は必ずしもない。このため、単一の駆動源部160を用いて、ミラー130a及び

130cの2軸回転駆動を行うための微振動に起因した方向性のない力を加えることができる。

[0153] 加えて、仮に1つの駆動源部から2つの方向に向かって作用する力を加えることができたとしても、方向性を有する力を加えることでミラー130a及び130cの2軸回転駆動を行う場合には、結局のところ、2つの方向に作用する成分（つまり、ミラー130a及び130cをX軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力の成分と、ミラー130a及び130cをY軸の方向に沿った軸を中心軸として回転させる方向性を有する力の成分）を有する力を加える必要がある。しかるに、第4実施例では、微振動に起因した方向性のない力を波動エネルギーとして加えているため、力が作用する方向を考慮した上で当該力を加える必要がなくなるという利点も有している。

[0154] 加えて、微振動に起因した方向性のない力を加えているがゆえに、駆動源部160の配置位置が限定されてしまうことはなくなる。言い換えれば、微振動に起因した方向性のない力を加えているがゆえに、ミラー130a及び130cの回転の方向に依存して駆動源部160の配置位置が限定されてしまうことはなくなる。つまり、駆動源部160の配置位置がどのような位置に設定されたとしても、駆動源部160から加えられる微振動（つまり、方向性のない力）は、第2トーションバー120a-2及び120b-2並びに第2トーションバー120c-2及び120d-2の夫々の弾性を利用して、ミラー130a及び130cをY軸の夫々の方向に沿った軸を中心軸として回転させることができる。これにより、MEMSスキャナ103の設計の自由度を相対的に増加させることができる。これは、各構成要件のサイズの又は設計的な制約が大きいMEMSスキャナにとって実践上非常に有利である。

[0155] 更に第4実施例では、第2ベース110-2の裏側にリブ119が形成されているため、駆動源部160から加えられる微振動によって、第2ベース110-2そのものが波打つように変形振動する。以下、図13を参照して

、第2ベース110-2の変形振動の態様について説明する。図13は、第2ベース110-2の変形振動の態様を、ミラー130a及び130bの回転の態様と関連付けて示す側面図である。尚、図13は、図11に示す矢印「X」の方向から第2ベース110-2並びにミラー130a及び130cを観察した場合の側面図を示す。

[0156] 図13(a)に示すように、駆動源部160から第2ベース110-2に対して微振動が加えられていない状態では、第2ベース110-2は変形振動しておらず、ミラー130a及び130bも回転していない。

[0157] 図13(b)に示すように、駆動源部160から第2ベース110-2に対して微振動が加えられると、リブ119が形成されている領域110aは、剛性が相対的に高いため、微振動によって屈曲しにくい一方で、リブ119が形成されていない領域110bは、剛性が相対的に低いため、微振動によって屈曲しやすい。その結果、第2ベース110-2は、リブが形成されている領域110aを節とし且つリブ119が形成されていない領域110bを腹にして、X軸の方向に沿って波打つように変形振動する。より具体的には、第2ベース110-2は、リブ119が形成されている部分を節とし且つリブ119が形成されていない部分を腹にする定常波のようにその外観を変形させながら振動する。尚、図13(b)に示す例では、第2ベース110-2は、その中心から折れ曲がるように変形振動する。但し、第2ベース110-2は、他の変形モード（例えば、更に多くの節を有する変形モード）で変形振動してもよい。

[0158] 尚、第4実施例における第2ベース110-2の変形振動は、リブ119が適切な箇所に形成されることによって実現されている。従って、上述したリブ119は、リブが形成されている領域110aを節とし且つリブ119が形成されていない領域110bを腹にして第2ベース110-2がX軸の方向に沿って変形振動するように、第2ベース110-2上の適切な箇所に形成されることが好ましい。このとき、第2トーションバー120a-2及び120b-2並びに第2トーションバー120c-2及び120d-2が

接続されている箇所が領域 110a に対応することが好ましい。例えば、上述したリブ 119 は、X 軸の方向に沿った曲げ剛性が相対的に高い部分と X 軸の方向に沿った曲げ剛性が相対的に低い部分とが X 軸の方向に沿って順に現れるように、第 2 ベース 110-2 上の適切な箇所に形成されることが好ましい。或いは、例えば、上述したリブ 119 は、X 軸の方向に沿った曲げ剛性が相対的に高い部分と X 軸の方向に沿った曲げ剛性が相対的に低い部分とが X 軸の方向に沿って順に現れると共に、第 2 トーションバー 120a-2 及び 120b-2 並びに第 2 トーションバー 120c-2 及び 120d-2 が接続されている箇所が領域 110a になり且つその他の箇所が領域 110b になるように、第 2 ベース 110-2 上の適切な箇所に形成されることが好ましい。

[0159] このとき、駆動源部 160 から加えられる微振動の周期によっては、第 2 ベース 110-2 は、共振するように変形振動する。ここで、第 4 実施例では、第 2 ベース 110-2 の変形振動における共振周波数は、ミラー 130a 及び 130b の共振周波数と同一であることが好ましい。言い換えれば、ミラー 130a 及び 130b の共振周波数と同一の共振周波数で第 2 ベース 110-2 が変形振動するように、第 2 ベース 110-2 の特性が定められることが好ましい。例えば、ミラー 130a 及び 130b の共振周波数と同一の共振周波数で変形振動するように、第 2 ベース 110-2 の裏側に形成されるリブ 119 の特性（例えば、形成位置や、大きさや、質量や、剛性や、密度等）が定められることが好ましい。

[0160] 尚、第 2 ベース 110-2 の変形振動における共振周波数は、第 2 ベース 110-2 及びリブ 119 を含む構造物を一つのバネ系としてみなし、当該バネ系に付加されている質量を M とし且つ当該バネ系のバネ定数を k とした場合には、 $(1 / (2\pi)) \times \sqrt{(k / M)}$ にて特定される。但し、当該バネ系が一つのバネに一つの質量構造物が接続された（言い換えれば、固有振動数が 1 個であり且つ固有振動モードが 1 個である）1 自由度のバネ系であれば、 $(1 / (2\pi)) \times \sqrt{(k / M)}$ という共振周波数を採用することが

できる。一方で、当該バネ系が一つのバネに2つの質量構造物が接続された2自由度以上のバネ系であれば、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k / M)}$ という共振周波数における「k」及び「M」等を補正することが好ましい。尚、第2ベース110-2及びリブ119を含む構造物を一つのバネ系とみなした場合、当該バネ系に付加されている質量M及び当該バネ系のバネ定数kは、第2ベース110-2の剛性及び質量に応じて定まる。第4実施例では、第2ベース110-2の剛性及び質量をリブ119によって調整している。このため、第2ベース110-2の共振周波数は、実質的には、上述したリブ119の特性によって定められる。

[0161] また、第2ベース110-2の変形振動における共振周波数は、厳密に言えば、第2ベース110-2という変形振動体を含む振動系を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。例えば、第2ベース110-2の変形振動における共振周波数は、第2ベース110-2という変形振動体を含む振動系を支える第1ベース110-1や第1トーションバー120a-1及び120b-1等の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）によって変化しかねない。このため、第2ベース110-2を支える土台の剛性や質量（或いは、慣性モーメント）を考慮した上で、 $(1 / (2 \pi)) \times \sqrt{(k / M)}$ という数式（或いは、当該数式を特定するパラメータであるk及びM）に対して所定の補正演算を施した結果得られる共振周波数を、実際の第2ベース110-2の変形振動における共振周波数として取り扱ってもよい。

[0162] また、第2ベース110-2の変形振動における共振は、第2ベース110-2の変形振動に係るバネ系を一つのバネに2つの質量構造物が接続された2自由度のバネ系とみなすことによって規定することに代えて、第2ベース110-2という板状の部材の高次の共振モードとみなすことによって規定してもよい。

[0163] ここで、上述したように、駆動源部160からはミラー130a及び130cが上述の共振周波数で共振するように当該共振周波数に同期した態様で

微振動が加えられている。従って、このような微振動の印加により、第2ベース110-2は、共振するように変形振動する。つまり、図13(a)から図13(f)に時系列的に示すように、第2ベース110-2は、両端が開放された定常波の如き外観を有するように変形振動する。つまり、第2ベース110-2は、ミラー130a及び130cの回転軸に直交する方向（つまり、X軸の方向）に沿って定常波が現れるような外観を有する。

[0164] このような態様で第2ベース110-2が変形振動すると、ミラー130a側における第2ベース110-2（具体的には、図13(a)から図13(f)の夫々の相対的に左側の第2ベース110-2）の変形の態様とミラー130c側における第2ベース110-2（具体的には、図13(a)から図13(f)の夫々の相対的に右側の第2ベース110-2）の変形の態様とは逆になる。例えば、ミラー130a側における第2ベース110-2がミラー130aの回転軸を中心として反時計周りに変形している場合（例えば、図13(a)から図13(c)に示すように変形している場合）、ミラー130c側における第2ベース110-2は、ミラー130cの回転軸を中心として時計周りに変形することになる。同様に、例えば、ミラー130a側における第2ベース110-2がミラー130aの回転軸を中心として時計周りに変形している場合（例えば、図13(d)から図13(f)に示すように変形している場合）、ミラー130c側における第2ベース110-2は、ミラー130cの回転軸を中心として反時計周りに変形することになる。従って、ミラー130a及び130cの夫々の共振周波数が等しいことから、ミラー130a及び130cは、第2ベース110-2の変形振動に伴って、ミラー130aの回転の位相とミラー130cの回転の位相とが互いに逆相になるように回転する。言い換えれば、ミラー130a及び130cは、ミラー130aの回転の位相がミラー130cの回転の位相に対して 180° ずれるように回転する。言い換えれば、ミラー130a及び130cは、ミラー130aの回転の位相とミラー130cの回転の位相との間のずれが 180° に固定されるように回転する。このようなミラー130

aの回転の位相とミラー130cの回転の位相との間の関係は、図13(c)から図13(f)に示すように、第2ベース110-2の変形振動がどのような状態であっても成立する。

[0165] 尚、ミラー130aの回転の位相と第2ベース110-2の変形振動の位相との間のずれは、時間の経過によって変動してもよいし固定されていてもよい。同様に、ミラー130cの回転の位相と第2ベース110-2の変形振動の位相との間のずれは、時間の経過によって変動してもよいし固定されていてもよい。上述の図13を用いた説明は、ミラー130a及び130cの回転の位相と第2ベース110-2の変形振動の位相との間のずれが固定されている場合の例を示している。しかしながら、ミラー130a及び130cの回転の位相と第2ベース110-2の変形振動の位相との間のずれが変動する場合であっても、ミラー130a及び130cが、ミラー130aの回転の位相とミラー130cの回転の位相とが互いに逆相になるように回転することに変わりはない。

[0166] このように、第4実施例によれば、ミラー130aの回転の位相とミラー130cの回転の位相とが互いに逆相になるように、ミラー130a及び130cを回転させることができる。つまり、2つのミラー130a及び130cを同期させながら逆相で回転（つまり、駆動）させることができる。従って、1つのミラー130を基準周波数 f で回転させるMEMSスキャナと比較して、2つのミラー130a及び130cを1つのミラー130の如く取り扱うことで、基準周波数 f の2倍の周波数 $2f$ で（言い換えれば、 $1/2$ の周期で）1つのミラー130を回転させている状態と同様の状態を実現することができる。言い換えれば、ミラー130a及び130cの夫々を基準周波数 f の半分の周波数 $f/2$ で回転させても、2つのミラー130a及び130cを1つのミラー130の如く取り扱うことで、基準周波数 f で1つのミラー130を回転させている状態と同様の状態を実現することができる。例えば、静止時の状態を 0° として1周期で $\pm X^\circ$ 回転することができるミラー130を例にあげて説明する。仮に1つのミラー130を用いるの

であれば、 $-X^{\circ}$ から X° に至るまでの角度を利用するためには、1 周期の期間が必要になる。一方で、互いに逆相で回転する 2 つのミラー 130 a 及び 130 c を用いるのであれば、半周期で、ミラー 130 a が 0° から X° まで回転すると共にミラー 130 c が 0° から $-X^{\circ}$ まで回転する。このため、第 1 実施例によれば、 $-X^{\circ}$ から X° に至るまでの角度を利用するためには、1 周期の期間は必ずしも必要ではなく、例えば半周期で足りる。従って、ミラー 130 a 及び 130 c の夫々を駆動する周波数を落としても、ミラー 130 a 及び 130 c を 1 枚のミラー 130 の如く取り扱った場合の当該ミラー 130 の駆動周波数が落ちることはない。

[0167] 尚、図 13 では、ミラー 130 a 及び 130 c の夫々の回転の位相と、第 2 ベース 110-2 の変形振動の位相とが逆相になる例を示している。しかしながら、図 14 に示すように、ミラー 130 a 及び 130 c の夫々の回転の位相と、第 2 ベース 110-2 の変形振動の位相とが同相になってもよい。ミラー 130 a 及び 130 c の夫々の回転の位相と第 2 ベース 110-2 の変形振動の位相とが同相になる場合であっても、ベース 110 の変形振動の位相とが同相になってもよい。ミラー 130 a 及び 130 c の夫々の回転の位相と第 2 ベース 110-2 の変形振動の位相とが逆相になる場合に享受することができる各種効果を好適に享受することができる。

[0168] 加えて、第 4 実施例では、尚、磁極 162 a は、第 2 ベース 110-2 の一方側の辺 110-2 であって且つミラー 130 a とミラー 130 c との間の領域（つまりは、第 2 ベース 110-2 における変形振動の腹となる領域）に隣接して配置され、且つ、磁極 162 b 及び 162 c は、第 2 ベース 110-2 の回転軸に対して磁極 162 a と反対側に位置する領域であって且つミラー 130 a 及びミラー 130 c を Y 軸の方向に沿って挟みこむ位置に配置される。つまり、磁極 162 a は、磁極 162 b 及び 162 c との間で第 2 ベース 110-2 の回転軸を挟みこむような位置に配置されている。このため、第 2 ベース 110-2 を X 軸の方向に沿って回転させやすくなる。更には、磁極 162 b 及び 162 c は、第 2 ベース 110-2（或いは、ミ

ラー 130a 及びミラー 130c) を Y 軸の方向に沿って挟みこむ位置に配置される。従って、磁極 162b 及び 162c によって生ずる微振動によって、第 2 ベース 110-2 を変形振動させやすくなる。

[0169] 尚、上述した第 4 実施例では、ミラー 130a 及び 130c を回転させるための力（つまり、駆動源部から加えられる）として、微振動を用いる例について説明している。しかしながら、ミラー 130a 及び 130c を回転させるための力として、微振動以外の任意の力を用いてもよい。例えば、特開 2006-293116 号公報に記載されている「基板の板波を用いてミラーにねじれ振動を生じさせる駆動方式（例えば、ラム波共鳴圧電駆動方式）」を利用して、ミラー 130a 及び 130c を回転させてもよい。或いは、例えば、ミラー 130a 及び 130c を回転させるための力として、ミラー 130a 及び 130c を直接的に回転させる方向に作用する方向性のある力を用いてもよい。言い換えれば、例えば、ミラー 130a 及び 130c を回転させるための力として、第 1 トーションバー 120a-1 及び 120b-1 並びに第 2 トーションバー 120a-1 から 120d-1 を直接的にねじれさせる方向に作用する方向性のある力を用いてもよい。以下の第 5 実施例から第 6 実施例においても同様である。

[0170] (5) 第 5 実施例

続いて、図 15 を参照して、第 5 実施例の MEMS スキャナ 104 について説明する。図 15 は、第 5 実施例の MEMS スキャナ 104 の基本構成を概念的に示す平面図である。尚、上述の第 4 実施例の MEMS スキャナ 103 と同一の構成については、同一の参照符号を付することでその詳細な説明を省略する。

[0171] 図 15 に示すように、第 5 実施例の MEMS スキャナ 104 は、第 4 実施例の MEMS スキャナ 103 と同様に、第 1 ベース 110-1 と、第 1 トーションバー 120a-1 及び 120b-1 と、第 2 ベース 110-2 と、第 2 トーションバー 120a-2 及び 120b-2 と、第 2 トーションバー 120c-2 及び 120d-2 と、ミラー 130a と、ミラー 130c とを備

えている。第5実施例のMEMSスキャナ104は、電磁力に起因した力（微振動）を加える駆動源部160に代えて、圧電効果に起因した力（微振動）を加える駆動源部140を備えている。

[0172] 駆動源部140は、第1圧電素子140-1aと、第2圧電素子140-2aと、伝達枝140bと、第1空隙140-1dを有すると共に伝達枝140bを介して第1ベース110-1に固定される第1支持板140-1cと、第2空隙140-2dを有すると共に伝達枝140bを介して第1ベース110-1に固定される第2支持板140-2cとを備えている。第1支持板140-1c上では、第1空隙140-1dによって規定される相対向する第1枝140-1e及び140-1fによって、第1圧電素子140-1aが挟持される。第2支持板140-2c上では、第2空隙140-2dによって規定される相対向する第2枝140-2e及び140-2fによって、第2圧電素子140-2aが挟持される。不図示の電極を介して第1圧電素子140-1aに電圧を印加することで、第1圧電素子140-1aはその形状を変化させる。この第1圧電素子140-1aの形状の変化は、第1枝140-1e及び140-1fの形状の変化を引き起こす。その結果、第1枝140-1e及び140-1fの形状の変化は、後に詳述するように微振動（ないしは、波動エネルギー）として伝達枝140bを介して第1ベース110-1に伝えられる。同様に、不図示の電極を介して第2圧電素子140-2aに電圧を印加することで、第2圧電素子140-2aはその形状を変化させる。この第2圧電素子140-2aの形状の変化は、第2枝140-2e及び140-2fの形状の変化を引き起こす。その結果、第2枝140-2e及び140-2fの形状の変化は、後に詳述するように微振動（ないしは、波動エネルギー）として伝達枝140bを介して第1ベース110-1に伝えられる。

[0173] このような駆動源部140から加えられる微振動は、図12を用いて説明した方向性のない力となる。従って、第5実施例のMEMSスキャナ104によれば、上述した第4実施例のMEMSスキャナ103が享受する各種効

果と同様の効果を好適に享受することができる。

[0174] (6) 第6実施例

続いて、図16を参照して、第6実施例のMEMSスキャナ105について説明する。図16は、第6実施例のMEMSスキャナ105の基本構成を概念的に示す平面図である。尚、上述の第4実施例のMEMSスキャナ103と同一の構成については、同一の参照符号を付することでその詳細な説明を省略する。

[0175] 図16に示すように、第6実施例のMEMSスキャナ105は、第4実施例のMEMSスキャナ103と同様に、第1ベース110-1と、第1トーションバー120a-1及び120b-1と、第2ベース110-2と、第2トーションバー120a-2及び120b-2と、第2トーションバー120c-2及び120d-2と、ミラー130aと、ミラー130cとを備えている。第6実施例のMEMSスキャナ105は、電磁力に起因した力（微振動）を加える駆動源部160に代えて、静電力に起因した力（微振動）を加える駆動源部150を備えている。

[0176] 駆動源部150（150aから150c）は、第2ベース110-2の外側の辺に沿って配置される櫛歯状の第1電極151aから151cと、第1ベース110-1の内側の辺に固定されると共に第1電極151aから151cの間に分布する櫛歯状の第2電極152aから152cとを備える。尚、第1電極151a及び第2電極152aは、上述した磁極162aと同様の位置に配置される。第1電極151b及び第2電極152bは、上述した磁極162bと同様の位置に配置される。第1電極151c及び第2電極152cは、上述した磁極162cと同様の位置に配置される。

[0177] この場合、第1電極151aから151c（又は、第2電極152aから152c）には、不図示の駆動源部制御回路から所望のタイミングで、所望の電圧が印加される。第1電極と第2電極との間の電位差に起因して、第1電極151aから151cと第2電極152aから152cとの間には静電力（言い換えれば、クーロン力）が生ずる。その結果、静電力が発生する。

この静電力は微振動として第2ベース110-2に伝えられる。

[0178] このような駆動源部150から加えられる微振動は、図12を用いて説明した方向性のない力となる。従って、第6実施例のMEMSスキャナ105によれば、上述した第4実施例のMEMSスキャナ103が享受する各種効果と同様の効果を好適に享受することができる。

[0179] 尚、上述の説明では、2つのミラー130a及び130cを備えるMEMSスキャナ100から106について説明しているが、3つ以上のミラー130を備えるMEMSスキャナに対して、上述した構成を適用してもよいことは言うまでもない。

[0180] 尚、上述した第1実施例のMEMSスキャナ100から第6実施例のMEMSスキャナ105は、例えば、ヘッドアップディスプレイや、ヘッドマウントディスプレイや、レーザスキャナや、レーザプリンタや、走査型駆動装置等の各種電子機器に対して適用することができる。従って、これらの電子機器もまた、本発明の範囲に含まれるものである。

[0181] また、本発明は、請求の範囲及び明細書全体から読み取るこのできる発明の要旨又は思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う駆動装置もまた本発明の技術思想に含まれる。

符号の説明

[0182] 100～105 MEMSスキャナ
110 ベース
110-1 第1ベース
110-2 第2ベース
120 トーションバー
120-1 第1トーションバー
120-2 第2トーションバー
130 ミラー
140、150、160 駆動源部

請求の範囲

[請求項1]

第1ベース部と、
前記第1ベース部に取り囲まれる第2ベース部と、
前記第1ベース部と前記第2ベース部とを接続し、且つ前記第2ベース部を他の方向に沿った軸を中心軸として回転させるような弾性を有する第1弾性部と、
夫々が回転可能な複数の被駆動部と、
夫々が前記第2ベース部と前記複数の被駆動部のうちの対応する一つの被駆動部とを接続し、且つ夫々が前記対応する一つの被駆動部を前記他の方向とは異なる一方向に沿った軸を中心軸として回転させるような弾性を有する複数の第2弾性部と、
前記複数の被駆動部の夫々及び前記複数の第2弾性部のうち前記夫々の被駆動部に対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数で前記夫々の被駆動部が前記一方向に沿った軸を中心軸として共振しながら回転するように前記複数の被駆動部を回転させるための加振力を前記第2ベース部に加える印加部と
を備え、
前記複数の被駆動部の夫々及び前記複数の第2弾性部のうち前記夫々の被駆動部に対応する一つの第2弾性部により定まる共振周波数は、前記複数の被駆動部のうちの少なくとも2つの間で同じになることを特徴とする駆動装置。

[請求項2]

前記印加部は、前記複数の被駆動部のうちの第1の被駆動部が回転する位相が前記複数の駆動部のうちの第2の被駆動部が回転する位相に対して逆相となるように、前記加振力を加えることを特徴とする請求項1に記載の駆動装置。

[請求項3]

前記印加部は、前記他の方向に沿って前記第2ベース部が定常波状に変形振動するように前記加振力を加え、
前記複数の被駆動部の夫々は、前記複数の弾性部を介して、前記第

2 ベース部の変形振動における節に対応する箇所接続されていることを特徴とする請求項 1 に記載の駆動装置。

[請求項4] 前記印加部は、前記他の方向に沿った前記第 2 ベース部の変形振動が共振となるように前記加振力を加えることを特徴とする請求項 3 に記載の駆動装置。

[請求項5] 前記第 2 ベース部が共振する共振周波数は、前記複数の被駆動部のうちの少なくとも一つの共振周波数と同一であることを特徴とする請求項 4 に記載の駆動装置。

[請求項6] 前記第 2 ベース部の変形振動における節に対応する箇所の剛性が、前記第 2 ベース部の変形振動における節以外の箇所の剛性よりも高いことを特徴とする請求項 3 に記載の駆動装置。

[請求項7] 前記第 2 ベース部の変形振動における節に対応する箇所の質量が、前記第 2 ベース部の変形振動における節以外の箇所の質量よりも小さいことを特徴とする請求項 3 に記載の駆動装置。

[請求項8] 前記加振力は、無方向性振動エネルギーとしての無方向性微振動又は異方性微振動であることを特徴とする請求項 1 に記載の駆動装置。

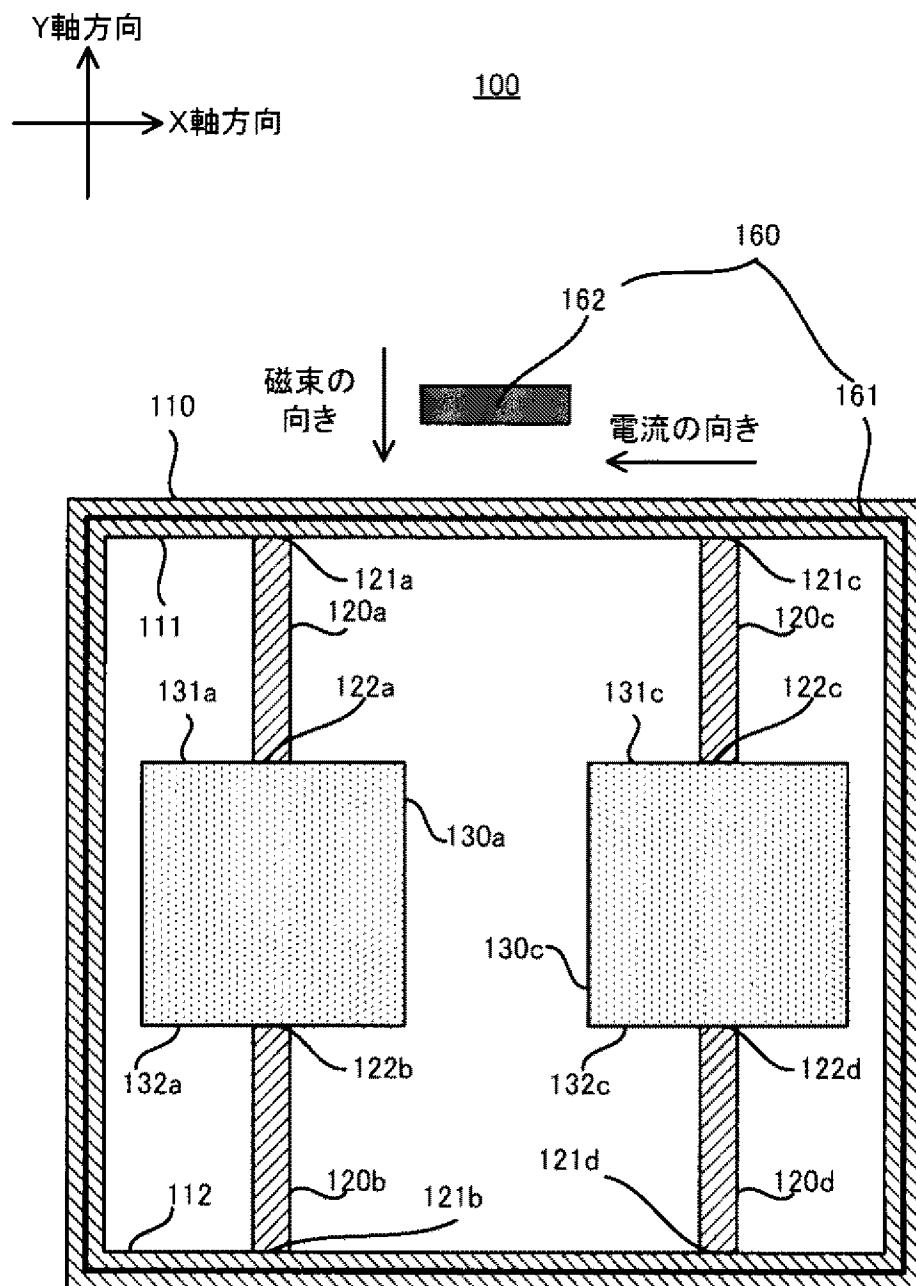
[請求項9] 前記印加部は、前記一の方向に沿った軸を中心軸とする回転方向とは異なる方向に作用する力によって生ずる前記微振動を加えることを特徴とする請求項 8 に記載の駆動装置。

[請求項10] 前記印加部は、静止時の前記被駆動部の表面に沿った方向に作用する力によって生ずる前記微振動を加えることを特徴とする請求項 8 に記載の駆動装置。

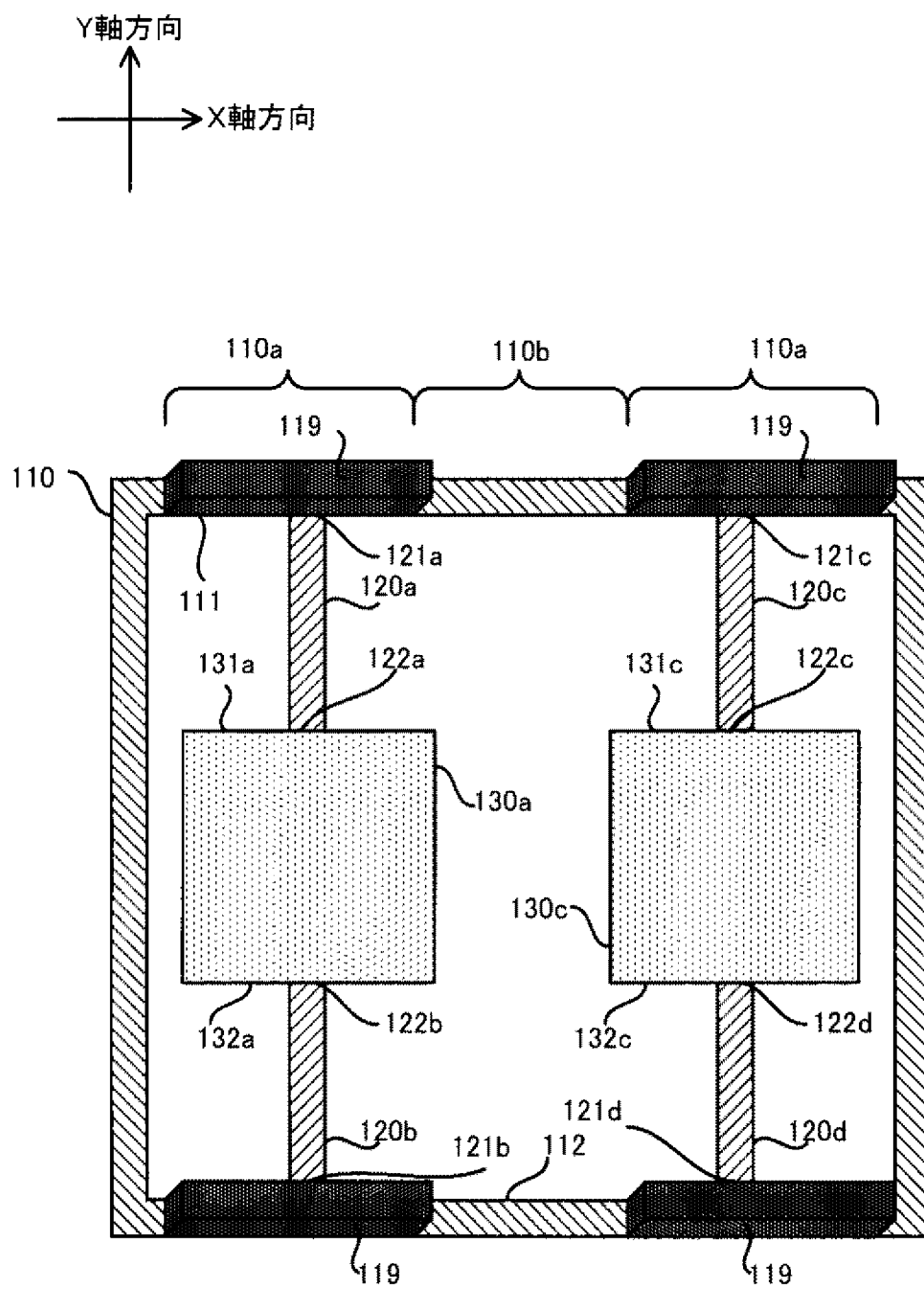
[請求項11] 前記印加部は、前記第 2 ベース部を前記他の方向に沿った軸を中心軸として回転させるための前記微振動であって且つ前記複数の被駆動部の夫々及び前記複数の第 2 弾性部のうち前記夫々の被駆動部に対応する一つの第 2 弾性部により定まる共振周波数で前記夫々の被駆動部が前記一の方向に沿った軸を中心軸として共振しながら回転するように前記複数の被駆動部を回転させるための前記微振動を前記第 2 ベー

ス部に加えることを特徴とする請求項 8 に記載の駆動装置。

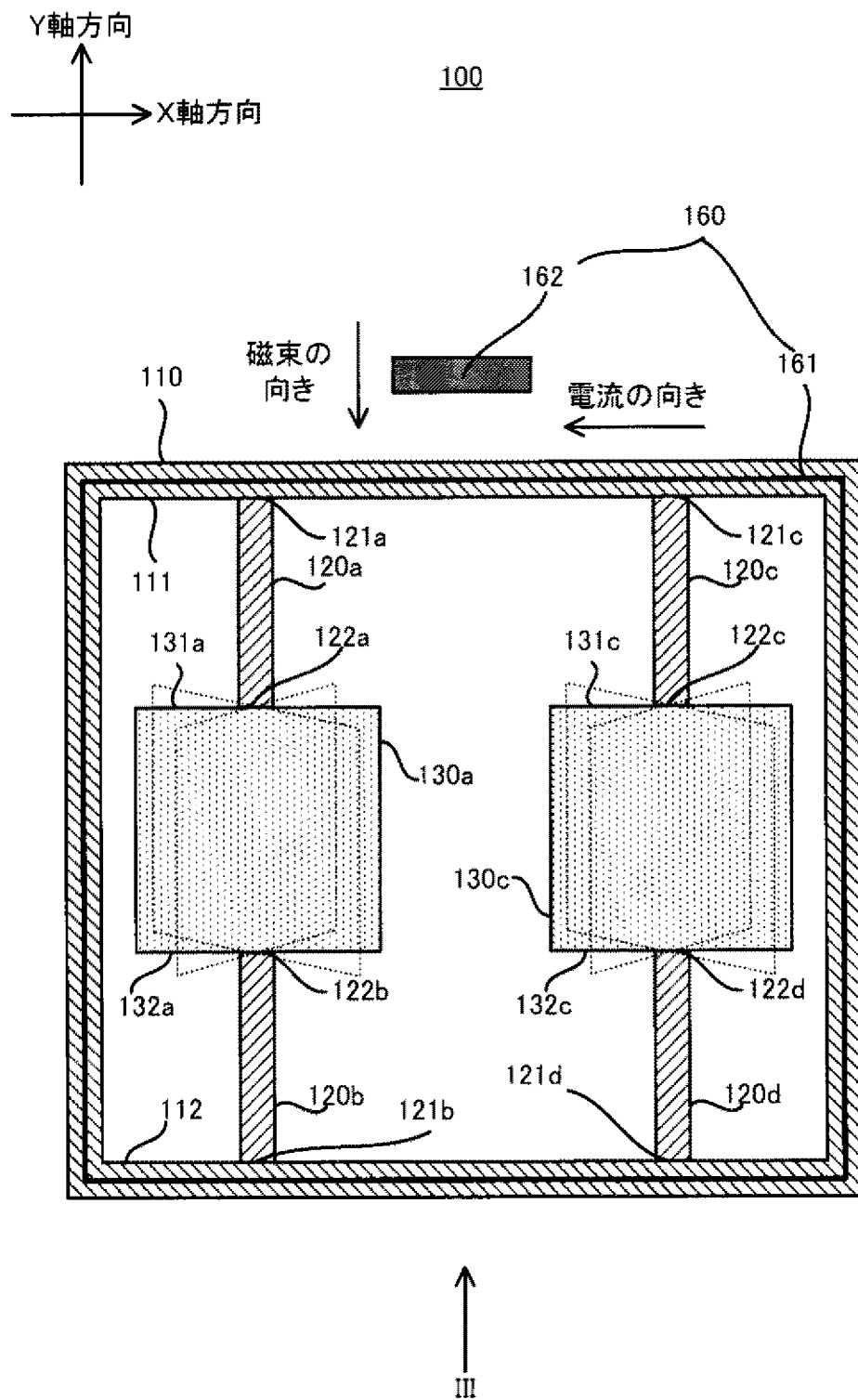
[図1]



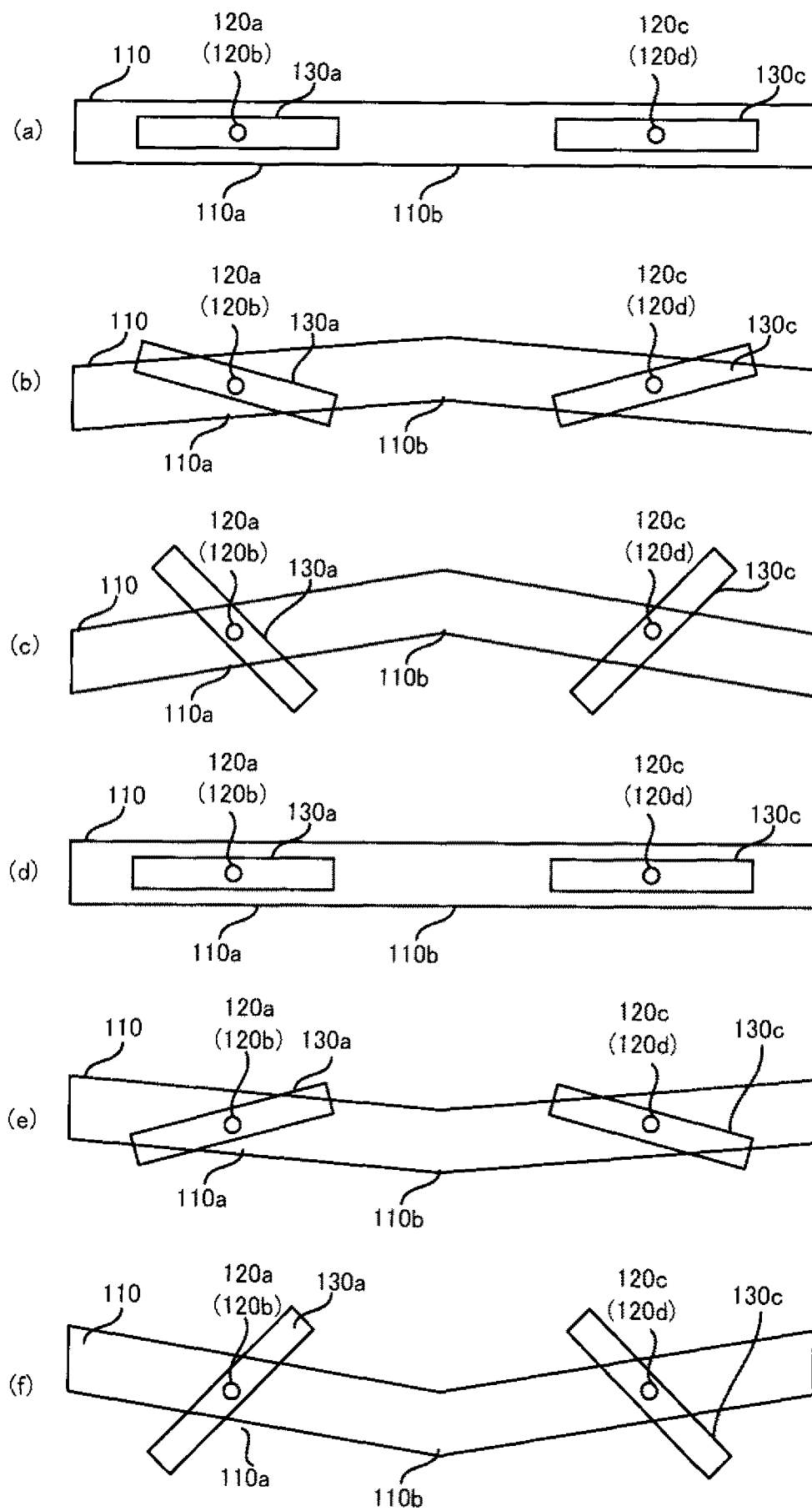
[図2]



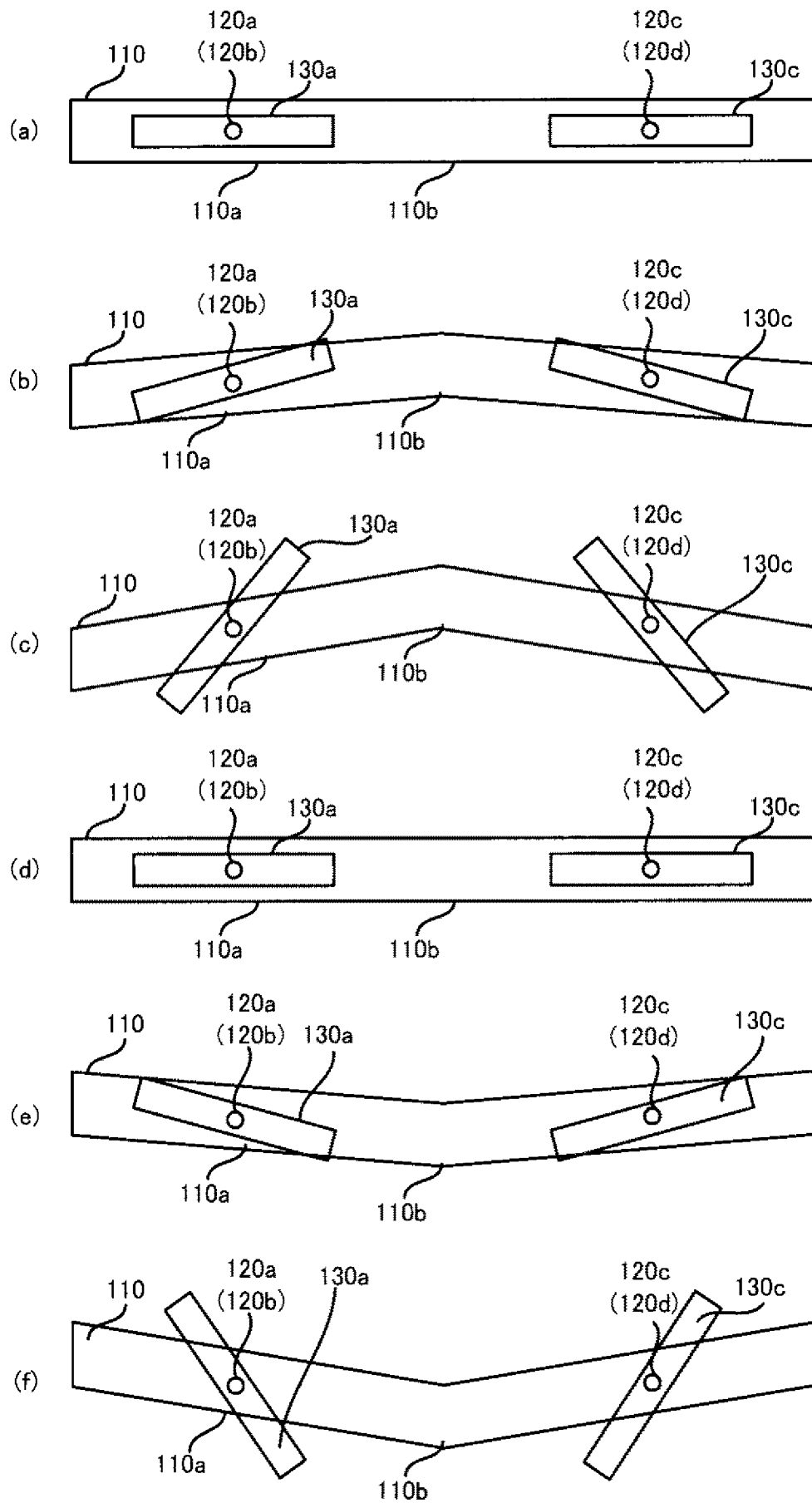
[図3]



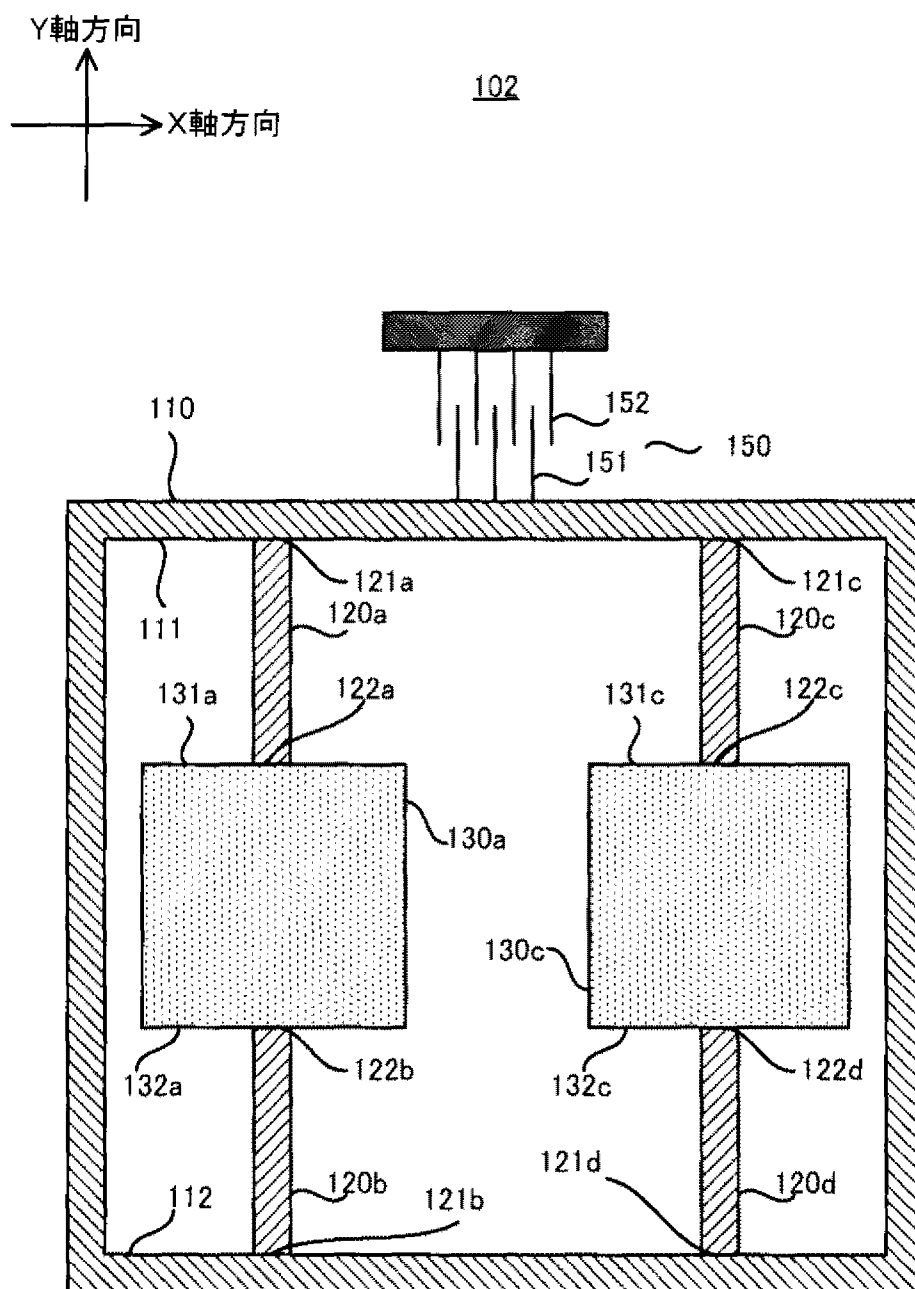
[図5]



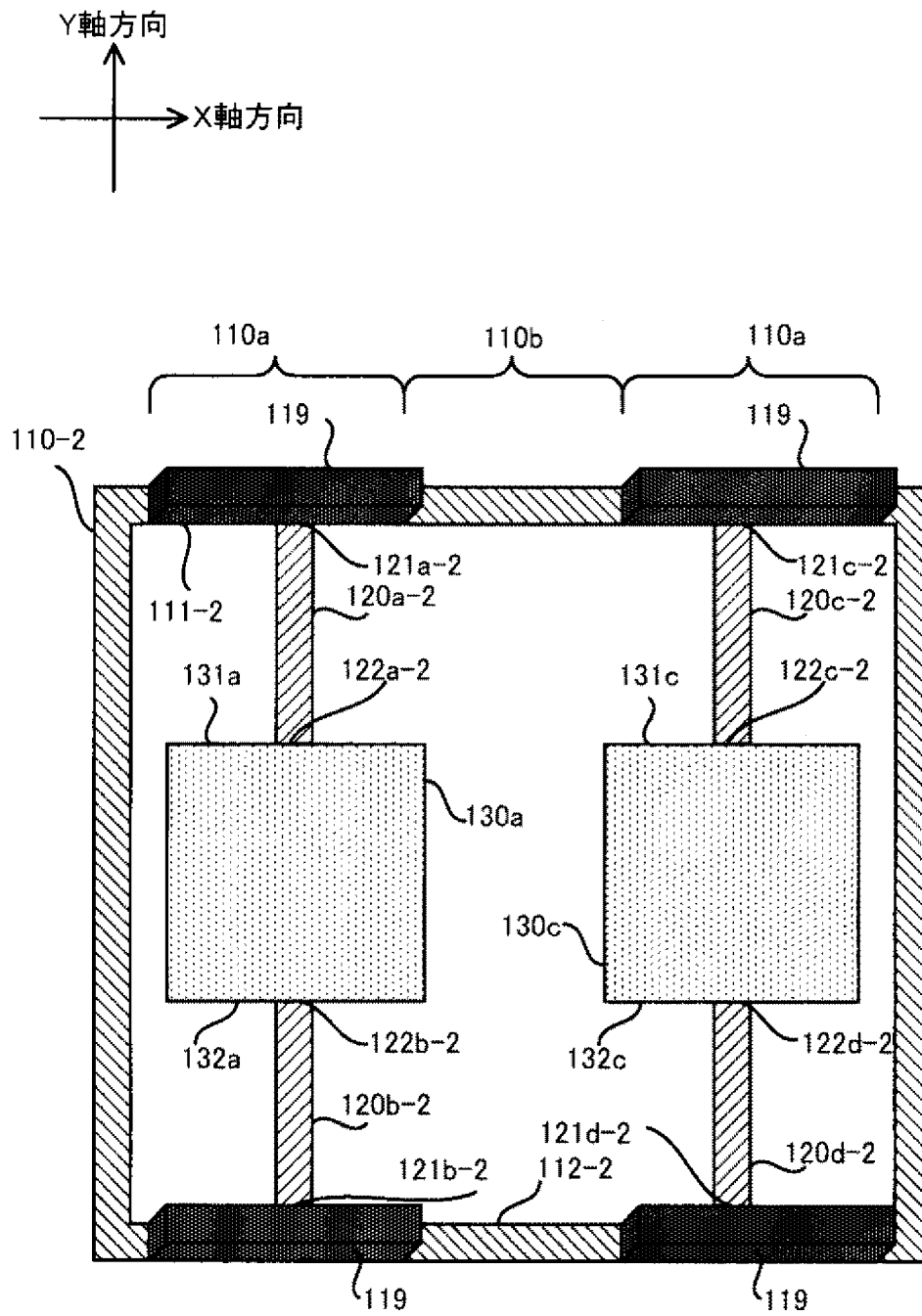
[図6]



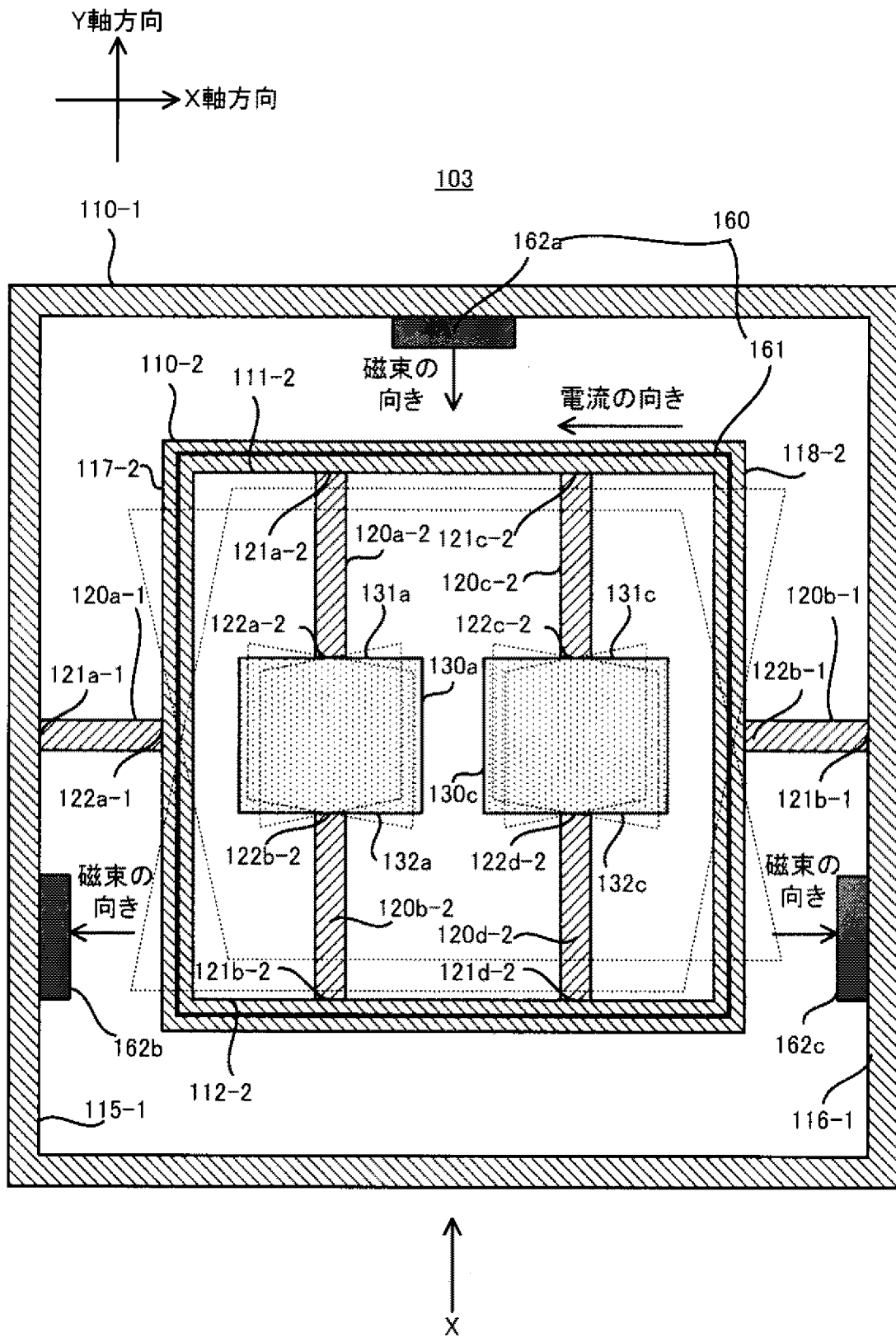
[図8]



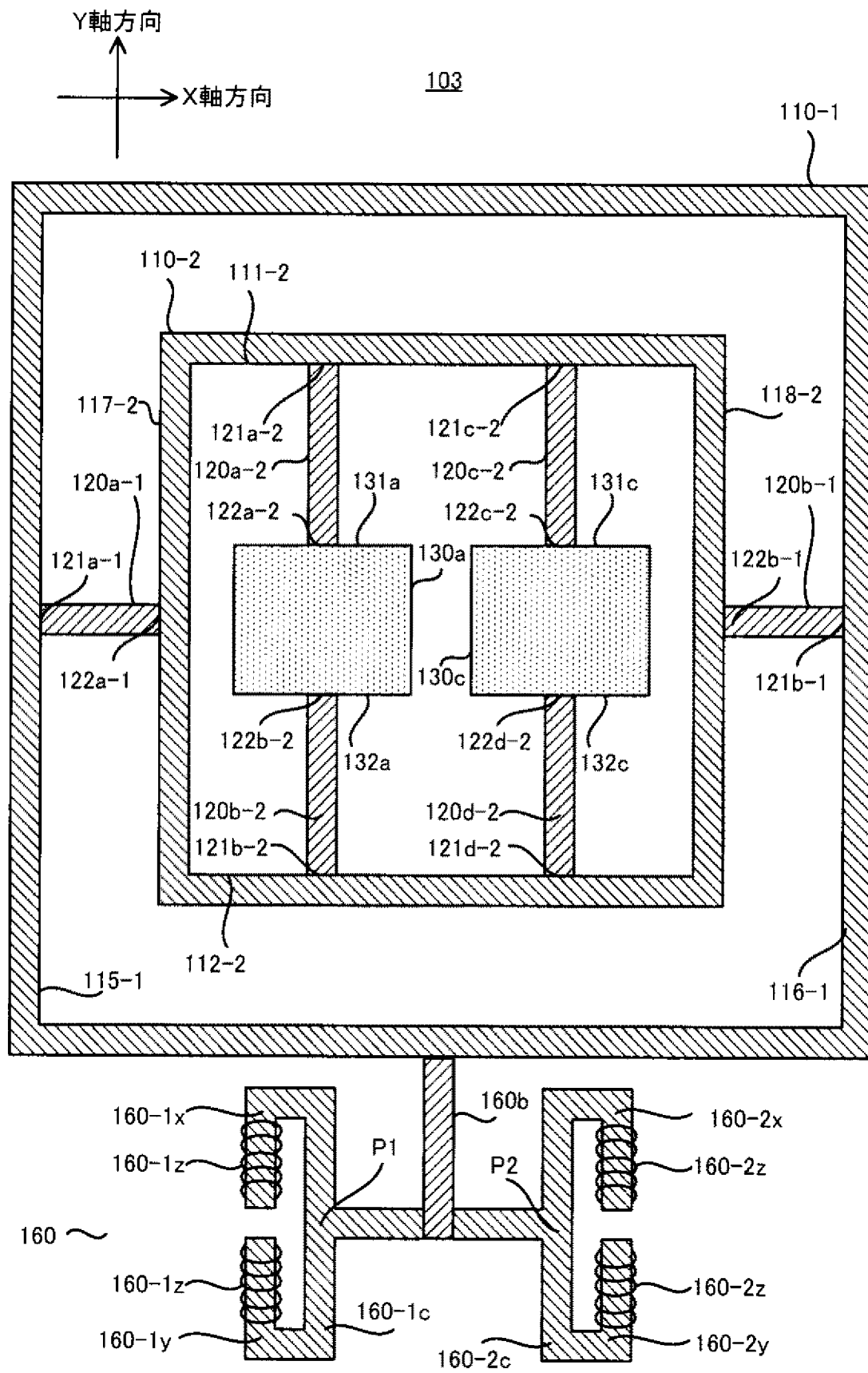
[図10]



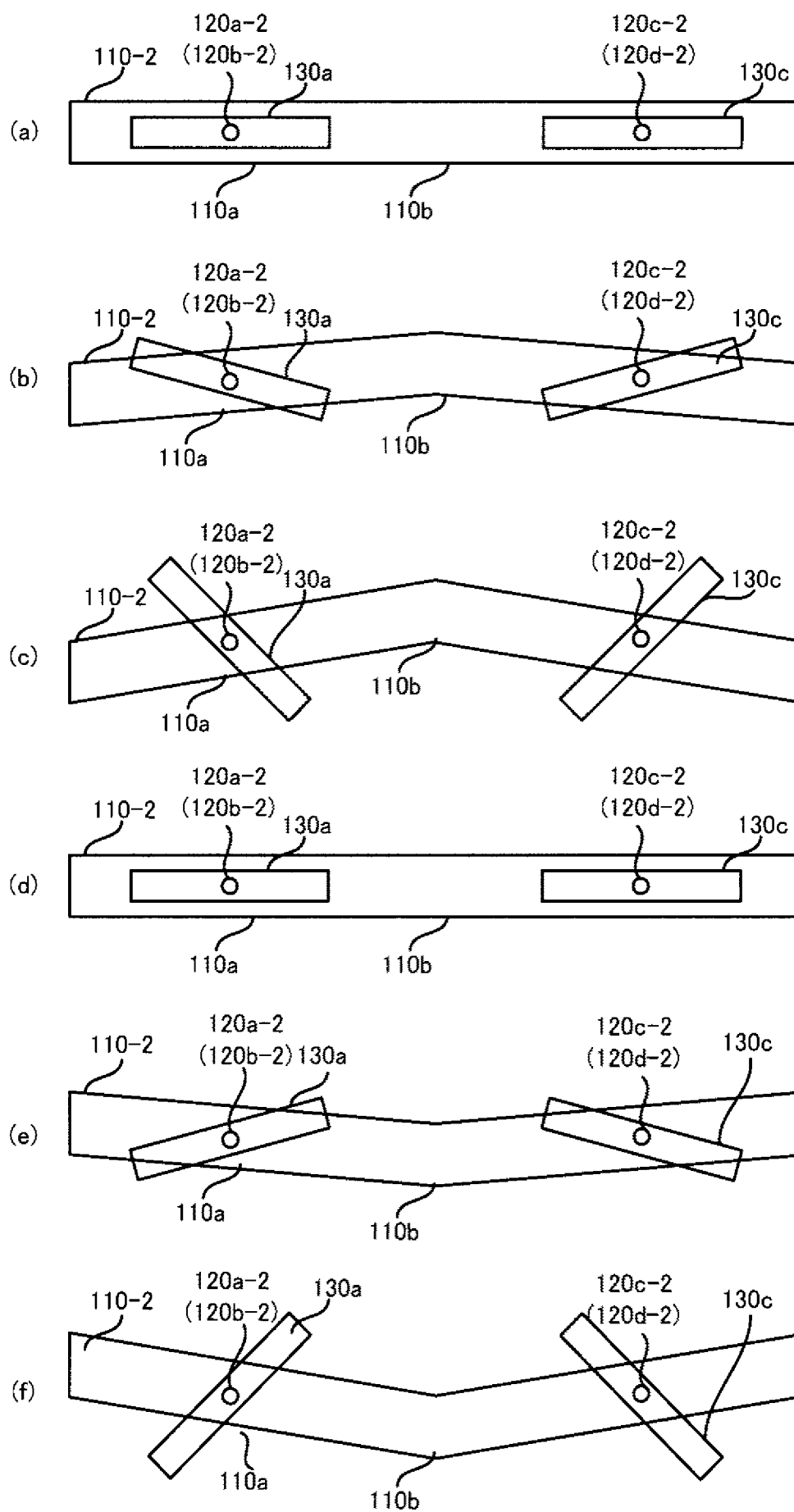
[図11]



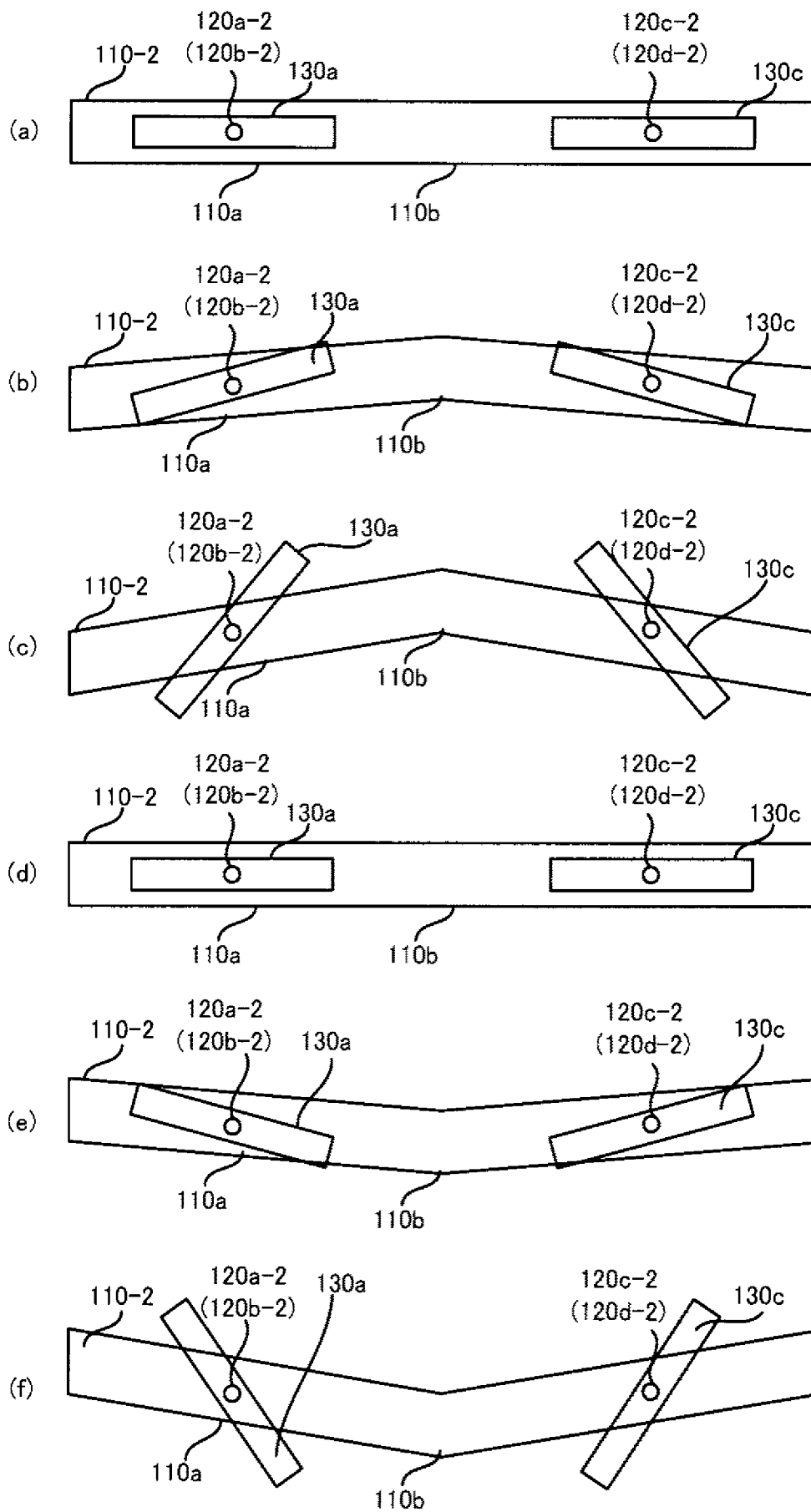
[図12]



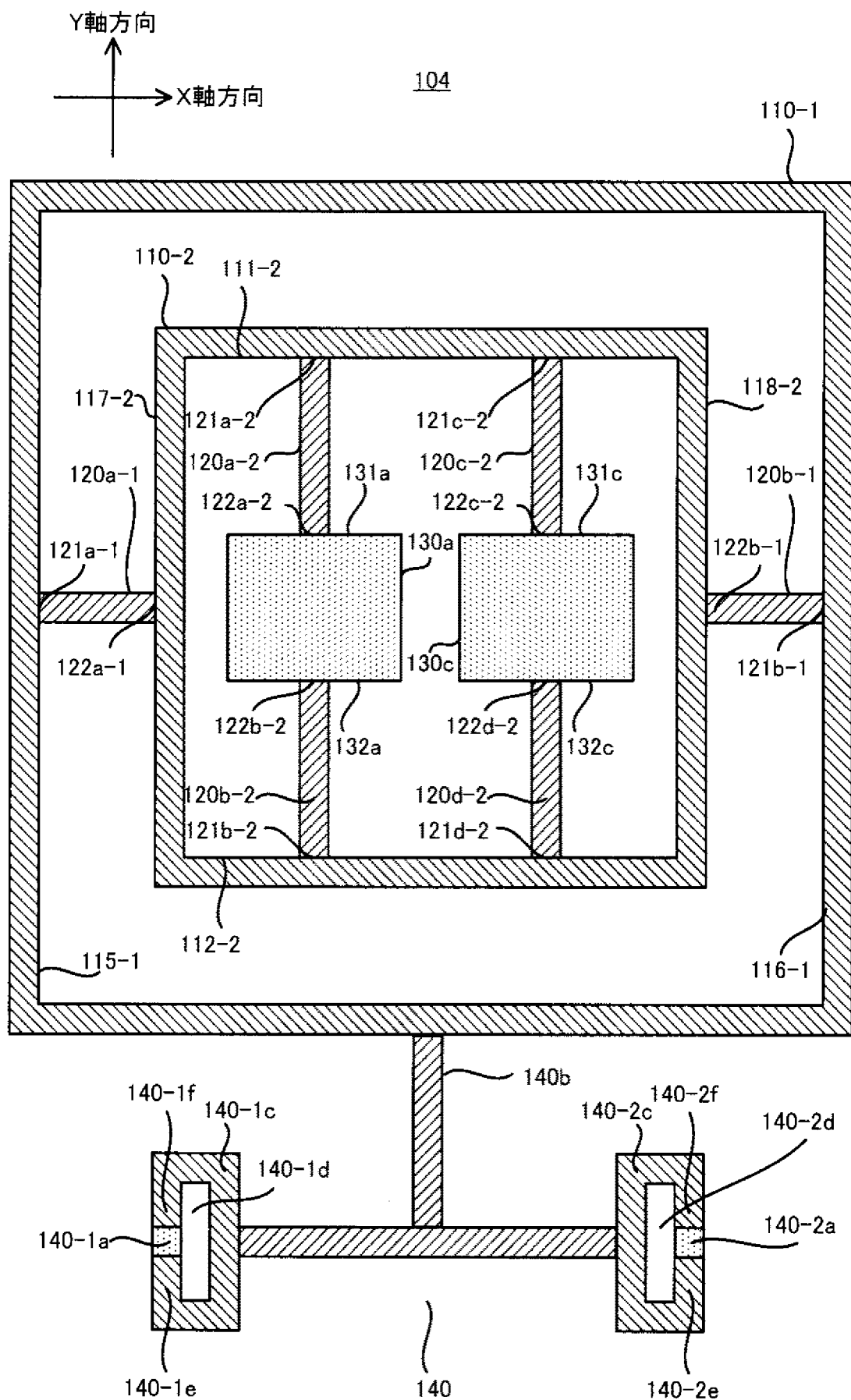
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/063681

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B06B1/02(2006.01)i, B81C3/00(2006.01)i, G02B26/08(2006.01)i, H02N2/00(2006.01)n

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)

B06B1/02, B81C3/00, G02B26/08, H02N2/00

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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 2011/061833 A1 (Pioneer Corp.), 26 May 2011 (26.05.2011), entire text (Family: none)	1-11
A	JP 2010-181834 A (Olympus Corp.), 19 August 2010 (19.08.2010), entire text (Family: none)	1-11
A	JP 2010-172190 A (The Nippon Signal Co., Ltd.), 05 August 2010 (05.08.2010), fig. 1 to 22 & JP 2004-243512 A	1-11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 September, 2011 (02.09.11)Date of mailing of the international search report
13 September, 2011 (13.09.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/063681

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 2011-13401 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 20 January 2011 (20.01.2011), paragraph [0013] & US 2011/0002022 A1	1-11
A	JP 2007-312465 A (Omron Corp.), 29 November 2007 (29.11.2007), paragraph [0073] & US 2007/0269199 A1 & EP 1857855 A2	1-11
A	JP 2009-258210 A (Panasonic Corp.), 05 November 2009 (05.11.2009), fig. 3 (Family: none)	1-11
A	JP 2010-244012 A (Ricoh Co., Ltd.), 28 October 2010 (28.10.2010), entire text & US 2010/0232833 A1	1-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B06B1/02(2006.01)i, B81C3/00(2006.01)i, G02B26/08(2006.01)i, H02N2/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B06B1/02, B81C3/00, G02B26/08, H02N2/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 2011/061833 A1（パイオニア株式会社）2011.05.26, 文献全体（ファミリーなし）	1-11
A	JP 2010-181834 A（オリンパス株式会社）2010.08.19, 文献全体（ファミリーなし）	1-11
A	JP 2010-172190 A（日本信号株式会社）2010.08.05, 図1-22 & JP 2004-243512 A	1-11
A	JP 2011-13401 A（独立行政法人産業技術総合研究所）2011.01.20, 段落【0013】 & US 2011/0002022 A1	1-11

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

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

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

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

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

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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 2 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 3 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

馬場 進吾

3 P

3 7 3 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 6 4

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 2007-312465 A (オムロン株式会社) 2007. 11. 29, 段落【0073】 & US 2007/0269199 A1 & EP 1857855 A2	1-11
A	JP 2009-258210 A (パナソニック株式会社) 2009. 11. 05, 図3など (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2010-244012 A (株式会社リコー) 2010. 10. 28, 文献全体 & US 2010/0232833 A1	1-11