

(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
2015 年 10 月 1 日(01.10.2015)



(10) 国際公開番号

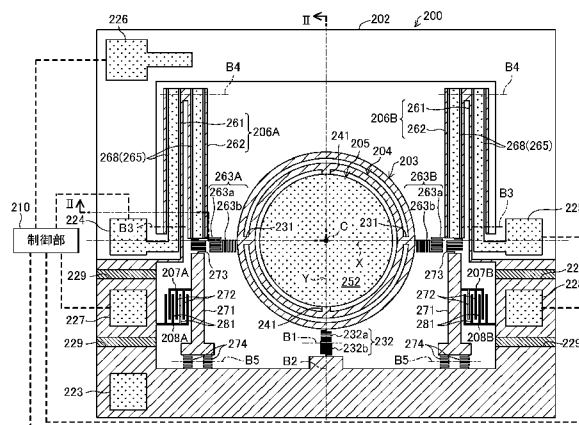
WO 2015/146145 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 26/08 (2006.01) *G02B 26/10* (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/001651
- (22) 国際出願日: 2015 年 3 月 24 日(24.03.2015)
- (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:
特願 2014-068601 2014 年 3 月 28 日(28.03.2014) JP
- (71) 出願人: 住友精密工業株式会社(SUMITOMO PRECISION PRODUCTS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 1 0 号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 内納 亮平(UCHINO, Ryohei); 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 1 0 号 住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP). 寅屋 敷 治(TORAY-ASHIKI, Osamu); 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 1 0 号 住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP). 麦島 昭夫(MUGISHIMA, Akio); 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 1 0 号 住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人前田特許事務所(MAEDA & PARTNERS); 〒5410053 大阪府大阪市中央区本町 2 丁目 5 番 7 号 大阪丸紅ビル 5 階 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: DRIVE APPARATUS

(54) 発明の名称: 駆動装置



210 Control unit

(57) Abstract: The purpose of this invention is to determine the displacement of a moving part with high precision on the basis of the capacitances between movable comb electrodes and fixed comb electrodes. This mirror device (200) has a base (202), a moving part consisting of a mirror (205), actuators (206), fixed comb electrodes (208), and movable comb electrodes (207). Each movable comb electrode (207) is provided with a beam section (271), a hinge (273) that connects the beam section (271) to an actuator (206) and is less rigid than the beam section (271), a hinge (274) that connects the beam section (271) to the base (202) and is less rigid than the beam section (271), and a plurality of electrode fingers (272) that are provided on the beam section (271) and face a plurality of electrode fingers (281) on a fixed comb electrode (208). Each movable comb electrode (207) is designed so as to tilt about a tilt axis (B5) that passes through the latter hinge (274) of said movable comb electrode (207).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2015/146145 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本発明は、可動櫛歯電極及び固定櫛歯電極の静電容量に基づいて移動部の変位を精度良く求めることを目的とする。本発明のミラーデバイス(200)は、ベース部(202)と、移動部としてのミラー(205)と、アクチュエータ(206)と、固定櫛歯電極(208)と、可動櫛歯電極(207)とを備えている。可動櫛歯電極(207)は、ビーム部(271)と、ビーム部(271)をアクチュエータ(206)と連結し、ビーム部(271)よりも剛性が低いヒンジ(273)と、ビーム部(271)をベース部202に連結し、ビーム部(271)よりも剛性が低いヒンジ(274)と、ビーム部(271)に設けられ、固定櫛歯電極(208)の複数の電極指(281)と対向する複数の電極指(272)とを有し、ヒンジ(274)を通る傾動軸B5回りに傾動するように構成されている。

明 細 書

発明の名称： 駆動装置

技術分野

[0001] ここに開示された技術は、駆動装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来より、様々な駆動装置が知られている。特許文献1に開示されたミラーデバイスは、移動部としてのミラーをアクチュエータによって所定の軸回りに傾動させ、そのときのミラーの変位を櫛歯電極によって検出している。櫛歯電極は、ミラーに連結された可動櫛歯電極と、フレームに設けられ、可動櫛歯電極と対向する固定櫛歯電極とを有している。これら可動櫛歯電極と固定櫛歯電極との間の静電容量の変化に基づいてミラーの変位が検出される。詳しくは、可動櫛歯電極の電極指と固定櫛歯電極の電極指とは、所定の配列方向に交互に配列され、互いに接近し且つ非接触な状態となっている。そして、ミラーが変位すると、可動櫛歯電極の電極指が配列方向と直交する方向に変位し、可動櫛歯電極と固定櫛歯電極との間の静電容量が変化する。この静電容量の変化に基づいてミラーの変位が検出される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2013-160953号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、可動櫛歯電極の電極指が配列方向と直交する方向以外の方向に変位すると、静電容量の変化に基づいてミラーの変位を求めることが難しくなる。例えば、可動櫛歯電極の電極指が配列方向に変位すると、電極指の間隔が変化し、このことによっても静電容量は変化する。そのため、静電容量が変化したとしても、それがミラーの想定する方向への変位に起因するものかどうか判別することが難しい。さらに、可動櫛歯電極と固定櫛歯電極

とが接触してしまった場合には、静電容量の検出そのものができなくなる。

[0005] ここに開示された技術は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、可動櫛歯電極及び固定櫛歯電極の静電容量に基づいて移動部の変位を精度良く求めることにある。

課題を解決するための手段

[0006] ここに開示された技術は、駆動装置であって、ベース部と、移動部と、前記移動部に連結され、傾動することによって該移動部を傾動させるアクチュエータと、前記ベース部に設けられ、電極指を有する固定櫛歯電極と、前記固定櫛歯電極に対向して配置された可動櫛歯電極とを備え、前記可動櫛歯電極は、ビーム部と、該ビーム部を前記移動部又は前記アクチュエータと連結し、該ビーム部よりも剛性が低く、弾性変形する入力側接続部と、該ビーム部を前記ベース部に連結し、該ビーム部よりも剛性が低く、弾性変形する支持側接続部と、該ビーム部に設けられ、前記固定櫛歯電極の電極指と対向する電極指とを有し、該支持側接続部を通る傾動軸回りに傾動するように構成されている。

[0007] この構成によれば、アクチュエータが傾動することによって、移動部が傾動させられる。可動櫛歯電極のビーム部は、入力側接続部を介してアクチュエータ又は移動部に連結されているので、アクチュエータ又は移動部が傾動する際に、ビーム部は、その傾動に従って変位する。ビーム部は、支持側接続部を介してベース部に連結されているので、支持側接続部を通る傾動軸回りに傾動する。すると、可動櫛歯電極及び固定櫛歯電極の対向している部分の面積が変化し、可動櫛歯電極と固定櫛歯電極との間の静電容量が変化する。この静電容量の変化によって、ビーム部のうち入力側接続部が設けられた部分の変位が求められる。入力側接続部は、アクチュエータ又は移動部に連結されているので、ビーム部のうち入力側接続部が設けられた部分の変位がわかれば、アクチュエータ又は移動部の変位を求めることができる。アクチュエータは、移動部に連結されているので、アクチュエータの変位がわかれば、移動部の変位を求めることができる。こうして、静電容量の変化によっ

て移動部の変位を求めることができる。

[0008] このような構成において、可動櫛歯電極のビーム部は、弾性変形する入力側接続部を介してアクチュエータ又は移動部に連結されている。入力側接続部は、アクチュエータ又は移動部が変位すると、それに応じて変形するため、アクチュエータ又は移動部の変位は、その一部が入力側接続部に吸収されて、ビーム部に伝わる。そのため、アクチュエータ又は移動部の変位のうち微小なものは入力側接続部に吸収され、ビーム部への伝達が低減され、アクチュエータ又は移動部の変位のうち支配的なものが主としてビーム部へ伝わる。つまり、ビーム部を、アクチュエータ又は移動部の変位のうち支配的なものに対応する方向に主として変位させることができ、アクチュエータ又は移動部の変位のうち微小なものに対応する方向へのビーム部の変位を低減することができる。その結果、可動櫛歯電極の電極指と固定櫛歯電極の電極指との間隔を維持したまま、可動櫛歯電極を傾動させることができる。

発明の効果

[0009] 前記駆動装置によれば、可動櫛歯電極及び固定櫛歯電極の静電容量に基づいて移動部の変位を精度良く求めることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、実施形態1に係るミラーデバイスの平面図である。

[図2]図2は、ミラーデバイスの、図1のII-II線における断面図である。

[図3]図3は、第2アクチュエータを動作させたときのミラー、第2アクチュエータ及び第2可動櫛歯電極の変位を示す、X軸方向を向いて見たときの側面図である。

[図4]図4は、X軸方向を向いて見たときのミラーデバイスの動作説明図であり、(A)は、ミラーの傾動前の状態を、(B)は、ミラーの傾動時の状態を示す。

[図5]図5は、Y軸方向を向いて見たときのミラーデバイスの動作説明図であり、(A)は、ミラーの傾動前の状態を、(B)は、ミラーの傾動時の状態を示す。

[図6]図6は、第2アクチュエータのみを動作させたときのミラー、第1及び第2アクチュエータ及び第1及び第2可動櫛歯電極の変位を示す斜視図である。

[図7]図7は、図6の状態のミラー、第2アクチュエータ及び第2可動櫛歯電極の平面図である。

[図8]図8は、ミラーアレイの平面図である。

[図9]図9は、ミラーアレイの、図8のIX-IX線における断面図である。

[図10]図10は、ミラーが傾動する際の可動櫛歯電極の変位を説明する概略説明図であり、(A)はミラーデバイスであり、(B)は比較のためにミラーデバイスの一部を変更したものである。

[図11]図11は、その他の実施形態に係るミラーアレイの平面図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、例示的な実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。

[0012] 《実施形態1》

図1は、ミラーデバイス200の平面図を、図2は、ミラーデバイス200の、図1のII-II線における断面図を示す。

[0013] ミラーデバイス200は、SOI (Silicon on Insulator) 基板201を用いて製造されている(図2参照)。SOI基板201は、単結晶シリコンで形成された第1シリコン層201aと、 SiO_2 で形成された酸化膜層201bと、単結晶シリコンで形成された第2シリコン層201cとがこの順で積層されて構成されている。

[0014] ミラーデバイス200は、ベース部202と、ベース部202に連結された第1傾動部203と、第1傾動部203に連結された第2傾動部204と、第2傾動部204に連結されたミラー205と、第1傾動部203に連結され、第1傾動部203及び第2傾動部204を介してミラー205を傾動させる2つのアクチュエータ206、206と、2つのアクチュエータ206、206に設けられた2つの可動櫛歯電極207、207と、ベース部202に設けられた2つの固定櫛歯電極208、208と、制御部210とを

有している。ミラーデバイス200は、駆動装置の一例である。

[0015] 尚、2つのアクチュエータ206、206を区別するときには、それぞれ第1アクチュエータ206A、第2アクチュエータ206Bと称する。同様に、2つの可動櫛歯電極207、207を区別するときには、第1アクチュエータ206Aに対応する可動櫛歯電極207を第1可動櫛歯電極207Aと称し、第2アクチュエータ206Bに対応する可動櫛歯電極207を第2可動櫛歯電極207Bと称する。また、2つの固定櫛歯電極208、208を区別するときには、第1アクチュエータ206Aに対応する固定櫛歯電極208を第1固定櫛歯電極208Aと称し、第2アクチュエータ206Bに対応する固定櫛歯電極208を第2固定櫛歯電極208Bと称する。

[0016] ベース部202は、概略長方形の枠状に形成されている。ベース部202は、第1シリコン層201a、酸化膜層201b及び第2シリコン層201cで形成されている。

[0017] ミラー205は、円盤状に形成されている。ミラー205は、ミラー本体251と、ミラー本体251の表面に積層された鏡面層252とを有している。ミラー本体251は、第1シリコン層201aで形成され、鏡面層252は、Au/Ti膜で形成されている。尚、ミラー本体251の裏面にも、鏡面層252と同様の鏡面層253が積層されている。鏡面層253は、ミラー本体251の表面において生じる、鏡面層252に起因する膜応力を相殺させる機能を有する。これにより、ミラー本体251、ひいては、鏡面層252の平面度を向上させることができる。ミラー205は、移動部の一例である。

[0018] ここで、ベース部202の表面（SOI基板201の表面）に沿って延び、非動作時のミラー205の中心Cにおいて直交するX軸及びY軸を規定する。また、非動作時のミラー205の中心Cを通り、X軸及びY軸の両方に直交する軸をZ軸とする。

[0019] 第2傾動部204は、ミラー205の外側に配置され、ミラー205を覆う円環状に形成されている。第2傾動部204は、2つの第2接続部241

、241を介してミラー205に連結されている。第2傾動部204及び第2接続部241、241は、第1シリコン層201aで形成されている。

[0020] 2つの第2接続部241、241は、ミラー205の中心Cを挟んで対向する位置に設けられている。具体的には、2つの第2接続部241、241は、Y軸上に配置されている。

[0021] 第1傾動部203は、第2傾動部204の外側に配置され、第2傾動部204を覆う円環状に形成されている。第1傾動部203は、2つの第1接続部231、231を介して第2傾動部204に連結されている。また、第1傾動部203は、ヒンジ232を介してベース部202に連結されている。第1傾動部203、第1接続部231、231及びヒンジ232は、第1シリコン層201aで形成されている。

[0022] 2つの第1接続部231、231は、ミラー205の中心Cを挟んで対向する位置に設けられている。具体的には、2つの第1接続部231、231は、X軸上に配置されている。すなわち、第1接続部231は、ミラー205の中心C回りにおいて第2接続部241と90度ずれた位置に配置されている。

[0023] ヒンジ232は、弾性的に変形可能に構成されている。具体的には、ヒンジ232は、複数の直線部と、隣り合う直線部の端部同士を連結する折り返し部とを有し、全体として蛇行した形状をしている。ヒンジ232は、直線部がX軸方向に延びる第1ヒンジ232aと、直線部がY軸方向に延びる第2ヒンジ232bとを有している。第1ヒンジ232aは、X軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。一方、第2ヒンジ232bは、Y軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。第1ヒンジ232aは、第1傾動部203に連結され、第2ヒンジ232bは、ベース部202に連結されている。ここで、～軸方向とは、～軸と平行な方向を意味する。

[0024] アクチュエータ206は、一端部がベース部202に連結され、Y軸方向に延びる第1直線部261と、一端部が第1直線部261の他端部に連結され、第1直線部261に対して折り返すようにY軸方向に延びる第2直線部

262とを有している。第2直線部262のうち、第1直線部261に連結された端部とは反対側の端部（以下、「先端部」という）には、ヒンジ263を介して第1傾動部203が連結されている。

[0025] 第1直線部261及び第2直線部262は、図2に示すように、アクチュエータ本体264と、アクチュエータ本体264の表面に積層された圧電素子265とを有している。

[0026] アクチュエータ本体264は、平面視長方形の板状に形成されている。アクチュエータ本体264は、第1シリコン層201aで形成されている。

[0027] 圧電素子265は、アクチュエータ本体264の表側（ミラー205の鏡面層252と同じ側）に設けられている。アクチュエータ本体264の表面には SiO_2 層269が積層されており、圧電素子265は、 SiO_2 層269上に積層されている。圧電素子265は、アクチュエータ本体264と同様に、平面視長方形の板状に形成されている。圧電素子265は、下部電極266と、上部電極268と、これらに挟持された圧電体層267とを有する。下部電極266、圧電体層267、上部電極268は、 SiO_2 層269上にこの順で積層されている。圧電素子265は、SOI基板201とは別の部材で形成されている。詳しくは、下部電極266は、Pt/Ti膜で形成されている。圧電体層267は、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）で形成されている。上部電極268は、Au/Ti膜で形成されている。

[0028] ベース部202には、第1アクチュエータ206Aの第1直線部261の上部電極268と電氣的に接続された第1上部端子224と、第2アクチュエータ206Bの第1直線部261の上部電極268と電氣的に接続された第2上部端子225と、第1アクチュエータ206Aの第1直線部261の下部電極266及び第2アクチュエータ206Bの第1直線部261の下部電極266の両方に電氣的に接続された下部端子226とが設けられている。第1上部端子224と下部端子226を介して第1アクチュエータ206Aの第1直線部261の圧電素子265に電圧が印加される。第2上部端子225と下部端子226を介して第2アクチュエータ206Bの第1直線部

261の圧電素子265に電圧が印加される。各アクチュエータ206は、圧電素子265に電圧が印加されると、アクチュエータ本体264のうち圧電素子265が積層された表面が伸縮し、アクチュエータ本体264の先端がZ軸方向へ変位する。

[0029] 尚、第1直線部261の上部電極268と第2直線部262の上部電極268とは、電氣的に絶縁されている。また、第1直線部261の下部電極266と第2直線部262の下部電極266とも、電氣的に絶縁されている。

[0030] ヒンジ263は、弾性的に変形可能に構成されている。具体的には、ヒンジ263は、複数の直線部と、隣り合う直線部の端部同士を連結する折り返し部とを有し、全体として蛇行した形状をしている。ヒンジ263は、直線部がX軸方向に延びる第1ヒンジ263aと、直線部がY軸方向に延びる第2ヒンジ263bとを有している。第1ヒンジ263aは、X軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。一方、第2ヒンジ263bは、Y軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。第1ヒンジ263aは、アクチュエータ206に連結され、第2ヒンジ263bは、第1傾動部203に連結されている。尚、2つのヒンジ263、263を区別するときには、第1アクチュエータ206Aに連結されたヒンジ263をヒンジ263Aと称し、第2アクチュエータ206Bに連結されたヒンジ263をヒンジ263Bと称する。

[0031] 可動櫛歯電極207は、Y軸方向に延びるビーム部271と、ビーム部271に設けられた3つの電極指272、272、…とを有している。ビーム部271の一端部は、ヒンジ273を介してアクチュエータ206に連結されている。ビーム部271の他端部は、L字状に屈曲し、2つのヒンジ274、274を介してベース部202に連結されている。3つの電極指272、272、…は、互いに平行にY軸方向に延び、櫛歯状に形成されている。尚、電極指272の個数は、3つに限られるものではない。

[0032] ヒンジ273、274は、弾性的に変形可能に構成されている。具体的には、ヒンジ273、274は、複数の直線部と、隣り合う直線部の端部同士

を連結する折り返し部とを有し、全体として蛇行した形状をしている。ヒンジ273, 274は、直線部がX軸方向に延びており、X軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。2つのヒンジ274, 274は、X軸方向に並んで配置されている。ビーム部271は、ヒンジ274, 274を介してベース部202に支持されており、ヒンジ274, 274を通り且つX軸に平行な軸回りに傾動するように構成されている。このヒンジ274, 274を通り且つX軸に平行な軸を傾動軸B5と称する。ヒンジ273は、入力側接続部の一例であり、ヒンジ274は、支持側接続部の一例である。

[0033] ビーム部271、電極指272, 272, …、ヒンジ273及びヒンジ274は、第1シリコン層201aで形成されている。

[0034] 固定櫛歯電極208は、ベース部202の内周縁に設けられている。固定櫛歯電極208は、4つの電極指281, 281, …を有している。4つの電極指281, 281, …は、互いに平行にY軸方向に延び、櫛歯状に構成されている。4つの電極指281, 281, …の間には、可動櫛歯電極207の3つの電極指272, 272, …が入り込んでいる。こうして、可動櫛歯電極207の電極指272, 272, …と固定櫛歯電極208の電極指281, 281, …とは、X軸方向において交互に配列され、互いに接触しない状態で対向している。尚、電極指281の個数は、4つに限られるものではない。

[0035] ベース部202には、第1検出端子227と、第2検出端子228と、共通検出端子223とが設けられている。第1検出端子227及び共通検出端子223を用いて、第1可動櫛歯電極207Aと第1固定櫛歯電極208Aとの静電容量が検出される。第2検出端子228及び共通検出端子223を用いて、第2可動櫛歯電極207Bと第2固定櫛歯電極208Bとの静電容量が検出される。

[0036] 第1検出端子227は、ベース部202の第1シリコン層201aのうち第1固定櫛歯電極208Aと電氣的に導通している部分の表面に設けられている。第2検出端子228は、ベース部202の第1シリコン層201aの

うち第2固定櫛歯電極208Bと電氣的に導通している部分の表面に設けられている。共通検出端子223は、ベース部202の第1シリコン層201aのうち第1可動櫛歯電極207A及び第2可動櫛歯電極207Bと電氣的に導通している部分の表面に設けられている。第1シリコン層201aのうち、第1検出端子227、第2検出端子228及び共通検出端子223が設けられた部分はそれぞれ、絶縁溝229、229、…によって第1シリコン層201aのその他の部分と絶縁されている。絶縁溝229、229、…は、第2シリコン層201cまで達している。

[0037] ミラーデバイスの動作—

次に、このように構成されたミラーデバイス200の動作について説明する。

[0038] 制御部210は、所望のミラーデバイス200に駆動電圧を印加して、ミラー205の傾動を制御する。制御部210が第1上部端子224と下部端子226とに駆動電圧を印加すると、駆動電圧に応じて第1アクチュエータ206Aが傾動する。制御部210が第2上部端子225と下部端子226とに駆動電圧を印加すると、駆動電圧に応じて第2アクチュエータ206Bが傾動する。制御部210は、第1アクチュエータ206Aの駆動電圧と第2アクチュエータ206Bの駆動電圧とを独立に出力している。つまり、制御部210は、第1アクチュエータ206Aの傾動量と第2アクチュエータ206Bの傾動量とを独立に制御している。

[0039] ミラー205を傾動させる原理は、第1アクチュエータ206Aと第2アクチュエータ206Bとで共通なので、以下では第2アクチュエータ206Bによるミラー205の傾動について図3を参照しながら説明する。図3は、第2アクチュエータ206Bを動作させたときのミラー205、第2アクチュエータ206B及び第2可動櫛歯電極207Bの変位を示す、X軸方向を向いて見たときの側面図である。

[0040] 図3に示すように、第2アクチュエータ206Bに駆動電圧を印加すると、第1直線部261が傾動（詳しくは、湾曲）し、第1直線部261の先端

部がZ軸方向（図3では上方）へ変位する。第1直線部261の先端部から折り返している第2直線部262は、第1直線部261の先端部の接線方向に延びる。その結果、第2直線部262の先端部は、Z軸方向において、第1直線部261の先端部とは反対向きに変位する。このように、アクチュエータ206は、基本的には、第1直線部261の基端部を通り且つX軸と平行な軸B3回りと、第1直線部261の先端部を通り且つX軸と平行な軸B4回りとに傾動する。ただし、この傾動量は微小なので、第2直線部262の先端部の変位は、Z軸方向への変位とみなすことができる。

[0041] 第2直線部262の先端部には、ヒンジ263Bを介して第1傾動部203が連結されている（図1参照）。第1傾動部203は、ヒンジ232を介してベース部202に支持されている。そのため、第2直線部262の先端部がZ軸方向へ変位すると、第1傾動部203は、ヒンジ232を支点として傾動する。

[0042] 詳しくは、第1傾動部203は、ヒンジ232を通り且つX軸に平行な主軸B1回りに傾動すると共に、ヒンジ232及びミラー205の中心Cを通る副軸B2回りに傾動する。副軸B2は、ミラー205の非動作時においてはY軸と一致している。

[0043] 例えば、第1アクチュエータ206Aの傾動量と第2アクチュエータ206Bの傾動量とが同じであれば、第1傾動部203のうちヒンジ263Aが連結された部分とヒンジ263Bが連結された部分のZ軸方向への変位量は同じになる。その結果、第1傾動部203は、主軸B1回りに傾動することになる。

[0044] 一方、第1アクチュエータ206Aの傾動量と第2アクチュエータ206Bの傾動量とが異なれば、第1傾動部203のうちヒンジ263Aが連結された部分とヒンジ263Bが連結された部分のZ軸方向への変位量は異なるようになる。その結果、第1傾動部203は、副軸B2回りに傾動することになる。

[0045] こうして、第1傾動部203が傾動すると、それに応じて第2傾動部20

4 及びミラー 205 も傾動する。制御部 210 は、第 1 アクチュエータ 206 A の傾動量と第 2 アクチュエータ 206 B の傾動量とを調整することによって、ミラー 205 の主軸 B1 回りの傾動とミラー 205 の副軸 B2 回りの傾動とを組み合わせ、ミラー 205 を任意の方向へ傾動させる。

[0046] さらに、第 2 直線部 262 の先端部には、ヒンジ 273 を介して可動櫛歯電極 207 が連結されている。可動櫛歯電極 207 は、ヒンジ 274, 274 を介してベース部 202 に支持されている。そのため、第 2 直線部 262 の先端部が Z 軸方向へ変位すると、可動櫛歯電極 207 は、ヒンジ 274, 274 を支点として傾動する。その結果、可動櫛歯電極 207 の電極指 272, 272, …と固定櫛歯電極 208 の電極指 281, 281, …との対向している部分の面積が変化し、可動櫛歯電極 207 と固定櫛歯電極 208 との間の静電容量が変化する。このように、可動櫛歯電極 207 は、アクチュエータ 206 の傾動及びミラー 205 の傾動に対応して傾動し、固定櫛歯電極 208 との間の静電容量が変化する。

[0047] 制御部 210 は、ミラー 205 を傾動させる際に、可動櫛歯電極 207 と固定櫛歯電極 208 との間の静電容量に基づいてミラー 205 の傾動量を検出している。

[0048] 第 1 可動櫛歯電極 207 A は、ヒンジ 273 を介して第 1 アクチュエータ 206 A の先端部に連結されているので、第 1 可動櫛歯電極 207 A 及び第 1 固定櫛歯電極 208 A の静電容量に基づいて、第 1 アクチュエータ 206 A の先端部の Z 軸方向への変位を検出することができる。第 1 アクチュエータ 206 A の先端部には、ヒンジ 263 A を介して第 1 傾動部 203 が連結されているので、第 1 アクチュエータ 206 A の先端部の Z 軸方向への変位は、実質的に第 1 傾動部 203 のうちヒンジ 263 A が連結された部分の Z 軸方向への変位とみなすことができる。

[0049] 同様に、第 2 可動櫛歯電極 207 B は、ヒンジ 273 を介して第 2 アクチュエータ 206 B の先端部に連結されているので、第 2 可動櫛歯電極 207 B 及び第 2 固定櫛歯電極 208 B の静電容量に基づいて、第 2 アクチュエー

タ 206 B の先端部の Z 軸方向への変位を検出することができる。第 2 アクチュエータ 206 B の先端部には、ヒンジ 263 B を介して第 1 傾動部 203 が連結されているので、第 2 アクチュエータ 206 B の先端部の Z 軸方向への変位は、実質的に第 1 傾動部 203 のうちヒンジ 263 B が連結された部分の Z 軸方向への変位とみなすことができる。

[0050] 制御部 210 は、第 1 可動櫛歯電極 207 A 及び第 1 固定櫛歯電極 208 A の静電容量を第 1 検出端子 227 と共通検出端子 223 とを介して検出している。また、制御部 210 は、第 2 可動櫛歯電極 207 B 及び第 2 固定櫛歯電極 208 B の静電容量を第 2 検出端子 228 と共通検出端子 223 とを介して検出している。制御部 210 は、第 1 アクチュエータ 206 A への印加電圧及び第 2 アクチュエータ 206 B への印加電圧を第 1 可動櫛歯電極 207 A と第 1 固定櫛歯電極 208 A の静電容量、及び第 2 可動櫛歯電極 207 B と第 2 固定櫛歯電極 208 B の静電容量に基づいて調整し、ミラー 205 の傾動量を制御する。

[0051] こうして、制御部 210 は、可動櫛歯電極 207 及び固定櫛歯電極 208 の静電容量に基づいてミラー 205 の傾動量を検出しながら、アクチュエータ 206 への駆動電圧を調整して、ミラー 205 を所望の方向へ傾動させている。

[0052] このように構成されたミラーデバイス 200 においては、第 1 傾動部 203 は、弾性変形可能なヒンジ 232, 263 を介してベース部 202 及びアクチュエータ 206 A, 206 B に連結されているものの、該ヒンジ 232, 263 により多少は拘束されるため、第 1 傾動部 203 は、傾動時に湾曲してしまう。この点について、図 4, 5 を参照しながら説明する。図 4 は、X 軸方向を向いて見たときのミラーデバイスの動作説明図であり、(A) は、ミラーの傾動前の状態を、(B) は、ミラーの傾動時の状態を示す。図 5 は、Y 軸方向を向いて見たときのミラーデバイスの動作説明図であり、(A) は、ミラーの傾動前の状態を、(B) は、ミラーの傾動時の状態を示す。尚、図 4, 5 では、説明の便宜上、ミラー 205、第 1 傾動部 203 及び第

2 傾動部 204 の厚みを大きく異ならせていると共に、第 1 傾動部 203 及び第 2 傾動部 204 の変形を誇張して図示している。

[0053] まず、主軸 B1 回りに傾動する際の第 1 傾動部 203 の湾曲について説明する。図 4 (A) に示すように、初期状態においては、第 1 傾動部 203 は、ミラー 205 と同様に平坦な形状をしている。この状態から、第 1 傾動部 203 のうちヒンジ 263 A, 263 B が連結された部分が、第 1 アクチュエータ 206 A 及び第 2 アクチュエータ 206 B によって Z 軸方向へ変位させられると、図 4 (B) に示すように、第 1 傾動部 203 は、概略的にはヒンジ 232 を支点として主軸 B1 回りに傾動する。このとき、第 1 傾動部 203 のうちヒンジ 263, 263 (図では第 1 接続部 231) とヒンジ 232 との間の部分は厳密には湾曲している。

[0054] それに対し、第 2 傾動部 204 及びミラー 205 は、第 1 接続部 231 を介して第 1 傾動部 203 の一部だけに連結されている。第 1 傾動部 203 のうち第 1 接続部 231 が連結されている部分だけを見れば、湾曲は無視できるほど小さいので、該部分の実質的に傾動だけが第 1 接続部 231 を介して第 2 傾動部 204 及びミラー 205 に伝達される。その結果、ミラー 205 及び第 2 傾動部 204 は、第 1 傾動部 203 のうち第 1 接続部 231 が連結された部分の傾動に応じて傾動し、このときのミラー 205 及び第 2 傾動部 204 の湾曲は抑制されている。こうして、傾動時のミラー 205 の平面度を向上させることができる。

[0055] 一方、副軸 B2 回りに傾動する際においても、初期状態においては、図 5 (A) に示すように、第 1 傾動部 203 は、ミラー 205 と同様に平坦な形状をしている。この状態から、第 1 傾動部 203 のうちヒンジ 263 A, 263 B が連結された部分が、第 1 アクチュエータ 206 A 及び第 2 アクチュエータ 206 B によって Z 軸方向へ変位させられると、図 5 (B) に示すように、第 1 傾動部 203 は、概略的にはヒンジ 232 を支点として副軸 B2 回りに傾動する。このとき、第 1 傾動部 203 は、厳密には湾曲している。

[0056] それに対し、ミラー 205 は、第 2 接続部 241 を介して第 2 傾動部 20

4の一部だけに連結されている。第2傾動部204のうち第2接続部241が連結されている部分だけを見れば、湾曲は無視できるほど小さいので、該部分の実質的に傾動だけが第2接続部241を介してミラー205に伝達される。その結果、ミラー205は、第2傾動部204のうち第2接続部241が連結された部分の傾動に応じて傾動し、このときのミラー205の湾曲は抑制される。こうして、傾動時のミラー205の平面度を向上させることができる。

[0057] また、ミラーデバイス200は、可動櫛歯電極207をヒンジ273, 274を介してアクチュエータ206及びベース部202に連結することによって、可動櫛歯電極207と固定櫛歯電極208の静電容量に基づいてミラー205の変位を精度良く検出できるように構成されている。この点について、図6, 7を参照して説明する。図6は、第2アクチュエータ206Bのみを動作させたときのミラー205、第1及び第2アクチュエータ206A, 206B及び第1及び第2可動櫛歯電極207A, 207Bの変位を示す斜視図である。図7は、図6の状態のミラー205、第2アクチュエータ206B及び第2可動櫛歯電極207Bの平面図である。尚、図6, 7では、第1傾動部203、第2傾動部204及びミラー205を簡略化して、1つのミラー205として図示している。また、可動櫛歯電極207においては、電極指272, 272, …を簡略化して平板状に図示している。図6, 7においては、Z軸方向の位置に関する等高線を図示しており、Z軸方向の位置が同程度の領域を等高線によって区画している。

[0058] 例えば、図6に示すように、第2アクチュエータ206Bのみを傾動させた場合、ミラー205は、主軸B1回りに傾動すると共に、副軸B2回りにも傾動する。その結果、図6, 7の等高線で示すように、ミラー205は、ヒンジ232及びヒンジ263Aが連結された部分から、中心Cを挟んで反対側の部分に向かって傾斜するように傾動する。

[0059] このとき、第2アクチュエータ206Bには、X軸に平行な軸回りの傾動だけでなく、それ以外の軸回りの傾動も生じる。詳しくは、図7に示すよう

に、第1直線部261においては、その長手方向に複数の等高線が並んでおり、各等高線は、X軸と略平行になっている。つまり、第1直線部261は、実質的にX軸に平行な軸回りに傾動している。一方、第2直線部262においては、その長手方向に複数の等高線が並び、各等高線は概ねX軸方向に延びているものの、厳密には、X軸と平行ではない。つまり、第2直線部262は、X軸に平行な軸回りの傾動が支配的ではあるものの、X軸に平行な軸以外の軸回りの傾動、例えば、Y軸に平行な軸回りにも少し傾動している。これは、ミラー205が前述の如く、主軸B1回りだけでなく副軸B2回りにも傾動すること、及び、ヒンジ263Bが連結された、第2直線部262の先端部は、第2アクチュエータ206Bのうちベース部202に連結された部分（第1直線部261の基端部）からX軸方向に離れているため、第2直線部262の先端部には、第1直線部261の基端部を中心とするY軸と平行な軸回りのモーメントが作用することが原因と考えられる。

[0060] こうして、第2直線部262の先端部は、Z軸方向への変位が支配的であるものの、Y軸に平行な軸回りの傾動（回転）も生じている。

[0061] そして、このように変位する第2直線部262の先端部には、ヒンジ273を介して可動櫛歯電極207が連結されている。第2直線部262の先端部の変位の一部は、ヒンジ273が変形することによって吸収され、残りの変位が可動櫛歯電極207に伝わる。そのため、第2直線部262の先端部の支配的な変位である、Z軸方向への変位も、Y軸に平行な軸回りの傾動もヒンジ273によって吸収される。このZ軸方向への変位は相対的に大きいので、その一部がヒンジ273に吸収されたとしても、可動櫛歯電極207に十分に伝達する。一方、Y軸に平行な軸回りの傾動は微小であるので、ヒンジ273に吸収され、可動櫛歯電極207にはほとんど伝達しない。その結果、可動櫛歯電極207の先端部は、実質的にZ軸方向にのみ変位し、それにより、可動櫛歯電極207は、実質的に傾動軸B5回りにのみ傾動する。詳しくは、図7に示すように、可動櫛歯電極207においては、その長手方向に複数の等高線が並んでおり、各等高線は、X軸と略平行になっている。

。

[0062] このように、アクチュエータ 206 が X 軸と平行でない軸回りに傾動する場合であっても、ヒンジ 273 を介して可動櫛歯電極 207 をアクチュエータ 206 に連結することによって、アクチュエータ 206 の先端部の支配的な変位、即ち、Z 軸方向への変位を主として可動櫛歯電極 207 に伝えることができ、アクチュエータ 206 の先端部の支配的な方向以外への変位が可動櫛歯電極 207 に伝わることを抑制することができる。

[0063] その結果、可動櫛歯電極 207 をできる限り、傾動軸 B5 回り、即ち、Y-Z 平面内で傾動させることができ、可動櫛歯電極 207 が傾動する際に可動櫛歯電極 207 の電極指 272, 272, …と固定櫛歯電極 208 の電極指 281, 281, …との間隔が変動することを抑制できる。また、可動櫛歯電極 207 が傾動する際に、電極指 272, 272, …と電極指 281, 281, …とが接触することも防止することができる。これにより、電極指 272, 272, …と電極指 281, 281, …との間隔の変動に起因する静電容量の変動を低減することができる。静電容量の変化は、実質的に、可動櫛歯電極 207 の傾動軸 B5 回りの傾動に起因するものだけとなる。その結果、可動櫛歯電極 207 がヒンジ 273 を介して連結された部分の Z 軸方向の変位を静電容量の変動に基づいて精度良く求めることができる。ひいては、ミラー 205 の傾動を精度良く求めることができる。

[0064] 以上のように、ミラーデバイス 200 は、ベース部 202 と、ミラー 205 と、前記ミラー 205 に連結され、傾動することによって該ミラー 205 を傾動させるアクチュエータ 206 と、前記ベース部 202 に設けられ、電極指 281, 281, …を有する固定櫛歯電極 208 と、前記固定櫛歯電極 208 に対向して配置された可動櫛歯電極 207 とを備え、前記可動櫛歯電極 207 は、ビーム部 271 と、該ビーム部 271 を前記アクチュエータ 206 と連結し、該ビーム部 271 よりも剛性が低く、弾性変形するヒンジ 273 と、該ビーム部 271 を前記ベース部 202 に連結し、該ビーム部 271 よりも剛性が低く、弾性変形するヒンジ 274 と、該ビーム部 271 に設

けられ、前記固定櫛歯電極 208 の電極指 281, 281, …と対向する電極指 272, 272, …とを有し、該ヒンジ 274 を通る傾動軸 B5 回りに傾動するように構成されている。

[0065] この構成によれば、アクチュエータ 206 が傾動することによって、ミラー 205 が傾動させられる。可動櫛歯電極 207 のビーム部 271 は、ヒンジ 273 を介してアクチュエータ 206 に連結されているので、アクチュエータ 206 が傾動する際に、ビーム部 271 は、アクチュエータ 206 の傾動に従って変位する。ビーム部 271 は、ヒンジ 274, 274 を介してベース部 202 に連結されているので、ヒンジ 274, 274 を通る傾動軸 B5 回りに傾動する。すると、可動櫛歯電極 207 の電極指 272, 272, …及び固定櫛歯電極 208 の電極指 281, 281, …の対向している部分の面積が変化し、可動櫛歯電極 207 と固定櫛歯電極 208 との間の静電容量が変化する。この静電容量の変化によって、ビーム部 271 のうちヒンジ 273 が設けられた部分の変位が求められる。ヒンジ 273 は、アクチュエータ 206 に連結されているので、ビーム部 271 のうちヒンジ 273 が設けられた部分の変位がわかれば、アクチュエータ 206 の変位を求めることができる。アクチュエータ 206 は、ミラー 205 に連結されているので、アクチュエータ 206 の変位がわかれば、ミラー 205 の変位を求めることができる。こうして、静電容量の変化によってミラー 205 の変位を求めることができる。

[0066] このような構成において、可動櫛歯電極 207 のビーム部 271 は、弾性変形するヒンジ 273 を介してアクチュエータ 206 に連結されている。ヒンジ 273 は、アクチュエータ 206 が変位すると、それに応じて変形するため、アクチュエータ 206 の変位は、その一部がヒンジ 273 に吸収されて、ビーム部 271 に伝わる。そのため、アクチュエータ 206 の変位のうち微小なものはヒンジ 273 に吸収され、ビーム部 271 への伝達が低減され、アクチュエータ 206 の変位のうち支配的なものが主としてビーム部 271 へ伝わる。つまり、ビーム部 271 を、アクチュエータ 206 の変位の

うち支配的なものに対応する方向に主として変位させることができ、アクチュエータ 206 の変位のうち微小なものに対応する方向へのビーム部 271 の変位を低減することができる。その結果、可動櫛歯電極 207 の電極指 272, 272, …と固定櫛歯電極 208 の電極指 281, 281, …との間隔を維持したまま、可動櫛歯電極 207 を傾動させることができる。それにより、可動櫛歯電極 207 及び固定櫛歯電極 208 の静電容量の変化は、実質的に、アクチュエータ 206 の支配的な変位に基づくものだけとなる。その結果、静電容量の変化に基づいて、アクチュエータ 206 の変位、ひいては、ミラー 205 の変位を精度よく検出することができる。

[0067] また、前記アクチュエータ 206 は、2つ設けられており、前記可動櫛歯電極 207 は、2つ設けられており、前記ミラー 205 は、2つの前記アクチュエータ 206 の駆動量を調整することによって 2 軸回りに傾動するように構成されている。

[0068] この構成によれば、ミラー 205 が 2 軸回りに傾動するので、アクチュエータ 206 は、ミラー 205 からの反力を受けて、ミラー 205 を傾動させるための本来の傾動方向以外の方向に傾動する可能性がある。このような構成であっても、前述の如く、可動櫛歯電極 207 をアクチュエータ 206 にヒンジ 273 を介して連結することによって、アクチュエータ 206 の本来の傾動方向に対応する変位だけを可動櫛歯電極 207 に伝えることができる。

[0069] また、前記ビーム部 271 は、前記ヒンジ 274 によって、前記傾動軸 B5 に直交する軸回りに比べて該傾動軸 B5 回りに傾動しやすい状態で前記ベース部 202 に連結されている。

[0070] この構成によれば、ビーム部 271 は、傾動軸 B5 回りには傾動しやすく、それ以外の軸回りには傾動しにくくなっている。つまり、ヒンジ 273 によってアクチュエータ 206 の変位の一部を吸収することに加えて、ビーム部 271 のベース部 202 への支持構造が傾動軸 B5 以外の軸回りに傾動しにくい構成となっている。これにより、可動櫛歯電極 207 の傾動軸 B5 以

外の軸回りの傾動を抑制し、可動櫛歯電極 207 を実質的に傾動軸 B 5 回りにのみ傾動させることができる。その結果、傾動軸 B 5 回りの可動櫛歯電極 207 の傾動に起因する可動櫛歯電極 207 と固定櫛歯電極 208 との間の静電容量の変化を精度良く検出することができる。

[0071] 具体的には、前記ヒンジ 274 は、前記傾動軸 B 5 に直交する軸回りに比べて該傾動軸 B 5 と平行な軸回りに湾曲しやすい形状をしている。より詳しくは、ヒンジ 274 は、X 軸方向（即ち、傾動軸 B 5 方向）に延びる複数の直線部と、隣り合う直線部の端部同士を連結する折り返し部を有し、全体として蛇行した形状をしている。

[0072] このように蛇行した形状のヒンジは、直線部回りに捻じれやすく、全体として直線部に平行な軸回りに湾曲しやすくなっている。

[0073] さらに、前記ヒンジ 274 は、前記傾動軸 B 5 の方向に並んで複数設けられている。

[0074] このように、ビーム部 271 を、傾動軸 B 5 の方向に並設された複数のヒンジ 274、274 によってベース部 202 に連結することによって、ビーム部 271 の傾動軸 B 5 以外の軸回りの傾動が抑制される。

[0075] また、前記アクチュエータ 206 は、前記傾動軸 B 5 と平行な軸 B 3、B 4 回りに傾動することによって、前記ミラー 205 を傾動させる。

[0076] この構成によれば、アクチュエータ 206 がミラー 205 を傾動させるために傾動する際の軸と、可動櫛歯電極 207 が静電容量の変化を検出するために傾動する傾動軸 B 5 とが平行となる。つまり、アクチュエータ 206 本来の傾動、即ち、支配的な傾動に伴って可動櫛歯電極 207 が傾動すると、可動櫛歯電極 207 は、傾動軸 B 5 回りに傾動することになる。

[0077] 前記アクチュエータ 206 は、弾性変形するヒンジ 263 を介して前記ミラー 205 に接続されている。

[0078] この構成によれば、ミラー 205 の変位の一部がヒンジ 263 に吸収されるので、ミラー 205 の変位に伴ってアクチュエータ 206 に発生する不要な傾動を低減することができる。

[0079] 《実施形態2》

次に、実施形態2に係るミラーアレイ3000について説明する。図8は、ミラーアレイ3000の平面図を、図9は、ミラーアレイ3000の、図8のIX-IX線における断面図を示す。

[0080] 実施形態1に係るミラーデバイス200では、可動櫛歯電極207がアクチュエータ206に連結されていたのに対し、実施形態2に係るミラーデバイス300は、可動櫛歯電極307がミラー305に連結されている点で異なる。尚、ミラーデバイス200の各構成には、200番台の符号を付しているのに対し、ミラーデバイス300の各構成には、300番台の符号を付している。ミラーデバイス200の構成とミラーデバイス300の構成とで、十の位及び一の位の数字が共通するものは、基本的には同じ機能を有している。

[0081] ミラーアレイ3000は、複数のミラーデバイス300、300、…が一列に配列されている。ミラーアレイ3000は、SOI (Silicon on Insulator) 基板301を用いて製造されている。

[0082] ミラーデバイス300は、ベース部302と、ベース部302に連結された2つのアクチュエータ306、306と、2つのアクチュエータ306、306に連結されたミラー305と、ミラー305をベース部302に連結する延長部304と、ミラー305に連結された2つの可動櫛歯電極307、307と、ベース部302に設けられ、可動櫛歯電極307、307と対向する2つの固定櫛歯電極308、308と、制御部310とを有している。尚、2つのアクチュエータ306、306を区別するときには、それぞれ第1アクチュエータ306A、第2アクチュエータ306Bと称する。

[0083] ベース部302は、概略長方形の枠状に形成されている。ベース部302は、第1シリコン層301a、酸化膜層301b及び第2シリコン層301cで形成されている。

[0084] ミラー305は、平面視方形状に形成されている。ミラー305は、ミラー本体351と、ミラー本体351の表面に積層された鏡面層352とを有

している。ミラー本体351は、第1シリコン層301aで形成され、鏡面層352は、Au/Ti膜で形成されている。尚、ミラー本体351の裏面にも、鏡面層352と同様の鏡面層353が積層されている。鏡面層353は、ミラー本体351の表面において生じる、鏡面層352に起因する膜応力を相殺させる機能を有する。これにより、ミラー本体351、ひいては、鏡面層352の平面度を向上させることができる。

[0085] ここで、ミラー305の中心Cを通り、ミラー305の表面に沿って、ミラーデバイス300, 300, …の配列方向に延びる軸をX軸とする。そして、ミラー305の中心CにおいてX軸に直交し、ミラー305の表面に沿って延びる軸をY軸とする。また、ミラー305の中心Cを通り、X軸及びY軸の両方に直交する軸をZ軸とする。すなわち、X軸は、全てのミラーデバイス300で共通であり、Y軸及びZ軸は、ミラーデバイス300ごとに規定される。

[0086] アクチュエータ306は、アクチュエータ本体364と、アクチュエータ本体364の表面に積層された圧電素子365とを有している。

[0087] アクチュエータ本体364は、平面視長方形の板状に形成されている。アクチュエータ本体364は、一端部がベース部302に連結され、Y軸方向に延びている。アクチュエータ本体364は、第1シリコン層301aで形成されている。

[0088] 圧電素子365は、アクチュエータ本体364の表側（ミラー305の鏡面層352と同じ側）に設けられている。図2に示すように、アクチュエータ本体364の表面にはSiO₂層369が積層されており、圧電素子365は、SiO₂層369上に積層されている。圧電素子365は、アクチュエータ本体364と同様に、平面視長方形の板状に形成されている。圧電素子365は、下部電極366と、上部電極368と、これらに挟持された圧電体層367とを有する。下部電極366、圧電体層367、上部電極368は、SiO₂層369上にこの順で積層されている。圧電素子365は、SOI基板301とは別の部材で形成されている。詳しくは、下部電極366は、

Pt/Ti膜で形成されている。圧電体層367は、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)で形成されている。上部電極368は、Au/Ti膜で形成されている。

[0089] ベース部302には、第1アクチュエータ306Aの上部電極368に電氣的に接続された第1上部端子322と、第2アクチュエータ306Bの上部電極368に電氣的に接続された第2上部端子323と、アクチュエータ306Aの下部電極366及び第2アクチュエータ306Bの下部電極366の両方に電氣的に接続された下部端子324とが設けられている。つまり、第1上部端子322は、1つの第1アクチュエータ306Aにつき1つ設けられている。第2上部端子323は、1つの第2アクチュエータ306Bにつき1つ設けられている。下部端子324は、全ての下部電極366にとって共通の検出端子である。

[0090] 第1上部端子322と下部端子324を介して第1アクチュエータ306Aの圧電素子365に電圧が印加される。第2上部端子323と下部端子324を介して第2アクチュエータ306Bの圧電素子365に電圧が印加される。各アクチュエータ306は、圧電素子365に電圧が印加されると、アクチュエータ本体364のうち圧電素子365が積層された表面が伸縮し、アクチュエータ本体364の先端がZ軸方向へ変位する。

[0091] アクチュエータ306の先端は、ヒンジ303を介してミラー305に連結されている。2つのアクチュエータ306、306は、ミラー305のうちX軸に平行な短辺305aに連結されている。第1アクチュエータ306Aは、短辺305aの一端部に連結され、第2アクチュエータ306Bは、短辺305aの他端部に連結されている。

[0092] ヒンジ303は、弾性的に変形可能に構成されている。具体的には、ヒンジ303は、複数の直線部と、隣り合う直線部の端部同士を連結する折り返し部とを有し、全体として蛇行した形状をしている。ヒンジ303は、直線部がX軸方向に延びる第1ヒンジ303aと、直線部がY軸方向に延びる第2ヒンジ303bとを有している。第1ヒンジ303aは、X軸方向に延び

る軸回りに湾曲しやすくなっている。一方、第2ヒンジ303bは、Y軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。第1ヒンジ303aは、アクチュエータ306に連結され、第2ヒンジ303bは、ミラー305に連結されている。

[0093] 延長部304は、ミラー305のうち、ヒンジ303、303が連結された短辺305aと対向する短辺305bに設けられている。延長部304は、短辺305bの略中央からY軸方向に延びている。延長部304は、ミラー305に固定的に連結されている。詳しくは、延長部304は、ミラー本体351と同じ第1シリコン層301aで形成されている。

[0094] 延長部304は、ヒンジ341を介してベース部302に連結されている。ヒンジ341は、延長部304よりも剛性が低く、弾性的に変形可能に構成されている。具体的には、ヒンジ341は、複数の直線部と、隣り合う直線部の端部同士を連結する折り返し部とを有し、全体として蛇行した形状をしている。ヒンジ341は、直線部がX軸方向に延びる第1ヒンジ341aと、直線部がY軸方向に延びる第2ヒンジ341bとを有している。第1ヒンジ341aは、X軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。一方、第2ヒンジ341bは、Y軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。第1ヒンジ341aは、延長部304に連結され、第2ヒンジ341bは、ベース部302に連結されている。ヒンジ341は、延長側接続部の一例である。

[0095] また、ミラー305の短辺305bには、2つの可動櫛歯電極307、307が連結されている。可動櫛歯電極307は、Y軸方向に延びるビーム部371と、ビーム部371に設けられた3つの電極指372、372、…とを有している。ビーム部371は、ミラー305においてX軸に対して延長部304と同じ側、即ち、アクチュエータ306と反対側に設けられている。ビーム部371は、延長部304に沿ってY軸方向に延びている。ビーム部371の一端部は、ヒンジ373を介してミラー305に連結されている。一方の可動櫛歯電極307のビーム部371は、ミラー305の短辺30

5 bの一端部に連結され、他方の可動櫛歯電極307のビーム部371は、ミラー305の短辺305 bの他端部に連結されている。ビーム部371の他端部は、L字状に屈曲し、2つのヒンジ374、374を介してベース部302に連結されている。こうして、2本のビーム部371、371とその間に挟まれた延長部304とが、ミラー305の短辺305 bからY軸方向へ平行に延びている。

[0096] 3つの電極指372、372、…は、ビーム部371において延長部304とは反対側に設けられている。電極指372、372、…は、互いに平行にY軸方向に延び、櫛歯状に形成されている。尚、電極指372の個数は、3つに限られるものではない。

[0097] ヒンジ373は、ヒンジ303と同様の構成をしている。すなわち、ヒンジ373は、弾性的に変形可能に構成されている。具体的には、ヒンジ373は、複数の直線部と、隣り合う直線部の端部同士を連結する折り返し部とを有し、全体として蛇行した形状をしている。ヒンジ373は、直線部がX軸方向に延びる第1ヒンジ373 aと、直線部がY軸方向に延びる第2ヒンジ373 bとを有している。第1ヒンジ373 aは、X軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。一方、第2ヒンジ373 bは、Y軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。第1ヒンジ373 aは、ミラー305に連結され、第2ヒンジ373 bは、ビーム部371に連結されている。ヒンジ373は、入力側接続部の一例であり、第1ヒンジ373 aは、第1接続部の一例であり、第2ヒンジ373 bは、第2接続部の一例である。

[0098] ヒンジ374は、第1ヒンジ373 aと同様の構成をしている。すなわち、ヒンジ374は、弾性的に変形可能に構成されている。具体的には、ヒンジ374は、X軸方向に延びる複数の直線部と、隣り合う直線部の端部同士を連結する折り返し部とを有し、全体として蛇行した形状をしている。ヒンジ374は、X軸方向に延びる軸回りに湾曲しやすくなっている。2つのヒンジ374、374は、X軸方向に並んで配置されている。ビーム部371は、ヒンジ374、374を介してベース部302に支持されており、ヒンジ

374, 374を通り且つX軸に平行な軸周りに傾動するように構成されている。このヒンジ374, 374を通り且つX軸に平行な軸を傾動軸C4と称する。ヒンジ374は、支持側接続部の一例である。

[0099] 尚、2つの可動櫛歯電極307, 307を区別するときには、ミラー305の短辺305bにおいて第1アクチュエータ306Aと対向する端部に連結された可動櫛歯電極307を第1可動櫛歯電極307Aと称し、短辺305bにおいて第2アクチュエータ306Bと対向する端部に連結された可動櫛歯電極307を第2可動櫛歯電極307Bと称する。

[0100] 固定櫛歯電極308は、Y軸方向に延びるビーム部381と、ビーム部381に設けられた4つの電極指382, 382, …とを有している。ビーム部381は、ベース部302の内周縁からY軸方向に延びている。

[0101] 4つの電極指382, 382, …は、互いに平行にY軸方向に延び、櫛歯状に形成されている。電極指382, 382, …の間に、可動櫛歯電極307の電極指372, 372, …が入り込んでいる。つまり、可動櫛歯電極307の電極指372, 372, …と固定櫛歯電極308の電極指382, 382, …とは、X軸方向において交互に配列され、互いに接触しない状態に対向している。尚、電極指382の個数は、4つに限られるものではない。

[0102] 尚、2つの固定櫛歯電極308, 308を区別するときには、第1可動櫛歯電極307Aに対応する固定櫛歯電極308を第1固定櫛歯電極308Aと称し、第2可動櫛歯電極307Bに対応する固定櫛歯電極308を第2固定櫛歯電極308Bと称する。

[0103] ベース部302には、可動櫛歯電極307と固定櫛歯電極308との静電容量を検出するための検出端子が設けられている。詳しくは、ベース部302には、可動櫛歯電極307と電氣的に接続された可動端子325と、第1固定櫛歯電極308Aに電氣的に接続された第1固定端子326と、第2固定櫛歯電極308Bに電氣的に接続された第2固定端子327とが設けられている。つまり、可動端子325は、全ての可動櫛歯電極307にとって共通の検出端子である。第1固定端子326は、1つの第1固定櫛歯電極30

8 Aにつき1つ設けられている。第2固定端子327は、1つの第2固定櫛歯電極308Bにつき1つ設けられている。

[0104] 可動端子325は、ベース部302の第1シリコン層301aのうち全ての可動櫛歯電極307、307、…と電氣的に導通している部分の表面に設けられている。第1固定端子326は、ベース部302の第1シリコン層301aのうち各第1固定櫛歯電極308Aと電氣的に導通している部分の表面に設けられている。第2固定端子327は、ベース部302の第1シリコン層301aのうち各第2固定櫛歯電極308Bと電氣的に導通している部分の表面に設けられている。第1シリコン層301aのうち、第1固定端子326及び第2固定端子327が設けられた部分はそれぞれ、第1シリコン層301aのその他の部分と絶縁されている。

[0105] このように構成されたミラーアレイ1は、SOI基板301をエッチングしたり、その表面に成膜することにより製造される。例えば、SOI基板301の表面にSiO₂層369を成膜し、SiO₂層369の上に、Pt/Ti膜（下部電極366）、チタン酸ジルコン酸鉛（圧電体層367）及びAu/Ti膜（上部電極368）を順に成膜して、フォトリソグラフィ及びエッチングにより圧電素子365を形成する。次に、第1シリコン層301aをICP-RIE等の異方性エッチングを行うことによりミラー本体351及びアクチュエータ本体364等を形成する。続いて、ミラー本体351の表面にAu/Ti膜を成膜して、鏡面層352を形成する。その後、圧電素子365に所定の電圧を印加して分極処理を施す。

[0106] ミラーデバイスの動作

次に、このように構成されたミラーデバイス300の動作について説明する。

[0107] 制御部310は、所望のミラーデバイス300に駆動電圧を印加して、ミラー305の傾動を制御する。制御部310が第1上部端子322と下部端子324とに駆動電圧を印加すると、駆動電圧に応じて第1アクチュエータ306Aの圧電素子365が収縮する。第1アクチュエータ306Aは、基

端部がベース部302に連結されているので、第1アクチュエータ306Aは、その基端部を通り且つX軸に平行な軸C3回りに傾動する。それと共に、制御部310が第2上部端子323と下部端子324とに駆動電圧を印加すると、駆動電圧に応じて第2アクチュエータ306Bの圧電素子365が収縮する。第2アクチュエータ306Bも、第1アクチュエータ306Aと同様に、基端部がベース部302に連結されているので、第1アクチュエータ306Aは、その基端部を通り且つX軸に平行な軸C3回りに傾動する。制御部310は、第1アクチュエータ306Aの駆動電圧と第2アクチュエータ306Bの駆動電圧とを独立に出力している。つまり、制御部310は、第1アクチュエータ306Aの傾動量と第2アクチュエータ306Bの傾動量とを独立に制御している。

[0108] 第1アクチュエータ306Aが傾動すると、それに応じて、第1アクチュエータ306Aの先端部が変位し、ミラー305のうちヒンジ303Aが連結された部分に変位する。同様に、第2アクチュエータ306Bが傾動すると、それに応じて、第2アクチュエータ306Bの先端部が変位し、ミラー305のうちヒンジ303Bが連結された部分に変位する。尚、アクチュエータ306の傾動量は微小なので、アクチュエータ306の先端部の変位は、Z軸方向への変位とみなすことができる。

[0109] ミラー305は延長部304及びヒンジ341を介してベース部302に連結されているので、ミラー305は、ヒンジ341を支点として全体的に傾動する。詳しくは、ミラー305は、ヒンジ341を通り且つX軸に平行な主軸C1回りに傾動すると共に、ヒンジ341及びミラー305の中心Cを通る副軸C2回りに傾動する。副軸C2は、ミラー305の非動作時にはY軸と一致している。

[0110] ここで、第1アクチュエータ306Aの傾動量と第2アクチュエータ306Bの傾動量とが同じであれば、ミラー305の短辺305aのうちヒンジ303Aが連結された部分とヒンジ303Bが連結された部分のZ軸方向への変位量は同じになる。その結果、ミラー305は、主軸C1回りに傾動す

ることになる。

[0111] 一方、第1アクチュエータ306Aの傾動量と第2アクチュエータ306Bの傾動量とが異なれば、ミラー305の短辺305aのうちヒンジ303Aが連結された部分とヒンジ303Bが連結された部分のZ軸方向への変位量は異なるようになる。その結果、ミラー305は、副軸C2回りに傾動することになる。

[0112] こうして、制御部310は、第1アクチュエータ306Aの傾動量と第2アクチュエータ306Bの傾動量とを調整することによって、ミラー305の主軸C1回りの傾動とミラー305の副軸C2回りの傾動とを組み合わせ、ミラー305を任意の方向へ傾動させる。

[0113] 制御部310は、ミラー305を傾動させる際に、可動櫛歯電極307と固定櫛歯電極308との間の静電容量に基づいてミラー305の傾動量を検出している。

[0114] 詳しくは、アクチュエータ306を作動させてミラー305が傾動すると、それに伴って可動櫛歯電極307も傾動する。ここで、可動櫛歯電極307のビーム部371の一端部は、ヒンジ373を介してミラー305に連結され、ビーム部371の他端部は、2つのヒンジ374、374を介してベース部302に連結されている。そのため、ミラー305が傾動すると、ビーム部371は、ヒンジ373が連結された部分がミラー305の変位に従って変位し、全体的に2つのヒンジ374、374を支点として傾動軸C4回りに傾動する。その結果、可動櫛歯電極307の電極指372、372、…と固定櫛歯電極308の電極指382、382、…との対向している部分の面積が変化し、可動櫛歯電極307及び固定櫛歯電極308の静電容量が変化する。

[0115] 第1可動櫛歯電極307Aは、ヒンジ373を介してミラー305の短辺305bの一端部に連結されているので、第1可動櫛歯電極307Aと第1固定櫛歯電極308Aとの間の静電容量に基づいて、短辺305bの一端部のZ軸方向への変位を検出することができる。一方、第2可動櫛歯電極30

7 Bは、ヒンジ373を介して短辺305 bの他端部に連結されているので、第2可動櫛歯電極307 Bと第2固定櫛歯電極308 Bとの間の静電容量に基づいて、短辺305 bの他端部のZ軸方向への変位を検出することができる。

[0116] 制御部310は、第1可動櫛歯電極307 A及び第1固定櫛歯電極308 Aの静電容量を可動端子325と第1固定端子326とを介して検出している。また、制御部310は、第2可動櫛歯電極307 B及び第2固定櫛歯電極308 Bの静電容量を可動端子325と第2固定端子327とを介して検出している。制御部310は、第1アクチュエータ306 Aへの印加電圧及び第2アクチュエータ306 Bへの印加電圧を第1可動櫛歯電極307 Aと第1固定櫛歯電極308 Aの静電容量、及び第2可動櫛歯電極307 Bと第2固定櫛歯電極308 Bの静電容量に基づいて調整し、ミラー305の傾動量を制御する。

[0117] ここで、ミラー305は、2軸回りに傾動するため、ミラー305の短辺305 bの両端部は、主軸C1回りだけでなく、副軸C2回りにも傾動する。それに対し、可動櫛歯電極307は、ビーム部371の一端部が弾性変形するヒンジ373を介してミラー305の短辺305 bの端部に連結されているので、ミラー305の変位は、その一部がヒンジ373に吸収されて、可動櫛歯電極307に伝達される。そのため、短辺305 bの端部の変位のうち、より支配的なZ軸方向への変位が可動櫛歯電極307に主に伝達され、副軸C2回りの変位は可動櫛歯電極307へほとんど伝達されない。その結果、可動櫛歯電極307のY軸回りの傾動が抑制され、可動櫛歯電極307は、ビーム部371のうちヒンジ373が連結された部分が実質的にZ軸方向にのみ変位するように傾動する。

[0118] これにより、可動櫛歯電極307と固定櫛歯電極308との間の静電容量を精度良く検出することができる。詳しくは、可動櫛歯電極307の電極指372, 372, …と固定櫛歯電極308の電極指382, 382, …とは、X軸方向において交互に配列され、互いに接触しない状態で対向している

。この状態から、可動櫛歯電極 307 が傾動軸 C4 回りに傾動、即ち、YZ 平面内で変位することによって、電極指 372, 372, …と電極指 382, 382, …との対向する面積が変化し、その結果、可動櫛歯電極 307 と固定櫛歯電極 308 との間の静電容量が変化する。しかし、可動櫛歯電極 307 が傾動軸 C4 の方向に変位したり、Y 軸と平行な軸回りに傾動したりすると、電極指 372, 372, …と電極指 382, 382, …との隙間が変化し、傾動軸 C4 回りの可動櫛歯電極 307 の傾動以外の理由で静電容量が変化してしまう。さらには、電極指 372, 372, …と電極指 382, 382, …とが接触してしまうと、静電容量を検出できなくなってしまう。それに対し、可動櫛歯電極 307 を実質的に Z 軸方向にのみ変位するように傾動させることによって、電極指 372, 372, …と電極指 382, 382, …との隙間の大きさを維持したまま、両者が対向する面積を変化させることができる。これにより、傾動軸 C4 回りの可動櫛歯電極 307 の傾動に起因する可動櫛歯電極 307 と固定櫛歯電極 308 との間の静電容量の変化を精度良く検出することができる。

[0119] また、可動櫛歯電極 307 のビーム部 371 の他端部は、傾動軸 C4 の方向に並ぶ、少なくとも 2 箇所においてベース部 302 に連結されている。具体的には、傾動軸 C4 の方向に並ぶ 2 つのヒンジ 374, 374 を介して、ビーム部 371 がベース部 302 に連結されている。これにより、ビーム部 371 は、傾動軸 C4 回りに相対的に傾動しやすく、傾動軸 C4 以外の軸回りに相対的に傾動しにくくなっている。

[0120] さらに、ヒンジ 374 の直線部は X 軸方向（即ち、傾動軸 C4 方向）に延びているので、ヒンジ 374 は、傾動軸 C4 に直交する軸回りに比べて該傾動軸 C4 と平行な軸回りに湾曲しやすい形状をしている。このことによって、ビーム部 371 は、傾動軸 C4 回りに相対的に傾動しやすく、傾動軸 C4 以外の軸回りに相対的に傾動しにくくなっている。

[0121] それに加えて、ビーム部 371 とミラー 305 とを連結するヒンジ 373 は、Y 軸と平行な軸回りにも傾動しやすく構成されている。そのため、ヒン

ジ 3 7 3 は、ミラー 3 0 5 の変位をビーム部 3 7 1 に伝える際に、Y 軸と平行な軸回りの傾動を吸収することができる。その結果、ミラー 3 0 5 が副軸 C 2 回りに傾動したとしても、可動櫛歯電極 3 0 7 を実質的に、傾動軸 C 4 回りにのみ傾動させることができる。

[0122] これらによって、可動櫛歯電極 3 0 7 を実質的に、傾動軸 C 4 回りにのみ傾動させることができ、傾動軸 C 4 回りの可動櫛歯電極 3 0 7 の傾動に起因する可動櫛歯電極 3 0 7 と固定櫛歯電極 3 0 8 との間の静電容量の変化を精度良く検出することができる。

[0123] このように、可動櫛歯電極 3 0 7 がミラー 3 0 5 にヒンジ 3 7 3 を介して連結される構成においては、ミラー 3 0 5 の変位がヒンジ 3 7 3 に吸収され過ぎると、ミラー 3 0 5 の変位を静電容量の変化に基づいて適切に検出することが難しくなる。それに対し、ミラー 3 0 5 からベース部 3 0 2 に向かって延長部 3 0 4 を延ばし、延長部 3 0 4 のベース部 3 0 2 側の端部をヒンジ 3 4 1 を介してベース部 3 0 2 に連結している。これにより、ミラー 3 0 5 の傾動を可動櫛歯電極 3 0 7 及び固定櫛歯電極 3 0 8 の静電容量の変化に基づいて精度良く検出することができる。この点について、図 1 0 を参照しながら説明する。図 1 0 は、ミラー 3 0 5 が傾動する際の可動櫛歯電極 3 0 7 の変位を説明する概略説明図であり、(A) はミラーデバイス 3 0 0 であり、(B) は比較のためにミラーデバイス 3 0 0 の一部を変更したものである。

[0124] 図 1 0 (B) に示すミラーデバイス 3 0 0' は、延長部 3 0 4' がベース部 3 0 2 に固定的に連結され、延長部 3 0 4' のミラー 3 0 5 側の端部がヒンジ 3 4 1' を介してミラー 3 0 5 に連結されている。この構成においては、ミラー 3 0 5 が傾動する際に、延長部 3 0 4' がベース部 3 0 2 の表面と平行なまま変位しないので、短辺 3 0 5 b は、Z 軸方向に少ししか変位しない。そのため、可動櫛歯電極 3 0 7 も少ししか傾動しない。その結果、ミラー 3 0 5 が傾動しても、可動櫛歯電極 3 0 7 及び固定櫛歯電極 3 0 8 の静電容量の大きな変化が得られず、ミラー 3 0 5 の傾動を静電容量の変化に基づ

いて適切に検出することが難しくなる。

[0125] それに対し、図10(A)に示すように、延長部304は、ミラー305に固定的に連結され、ベース部302側の端部がヒンジ341を介してベース部302に連結されている。この構成においては、ミラー305は、ヒンジ341を通る主軸C1回りに傾動することになる。短辺305bは、ミラー305の傾動軸から離れることになるので、ミラー305が傾動する際に、短辺305bのZ軸方向の変位が図10(B)の構成と比較して大きくなる。これにより、ミラー305が傾動する際の可動櫛歯電極307の傾動も大きくなる。その結果、ミラー305が傾動する際に、可動櫛歯電極307及び固定櫛歯電極308の静電容量の変化が大きくなり、ミラー305の傾動を静電容量の変化に基づいて精度良く検出することができる。

[0126] このように、可動櫛歯電極307の、傾動軸C4回りの変位以外の変位を低減しつつ、可動櫛歯電極307の、傾動軸C4回りの変位を大きくすることができる。その結果、可動櫛歯電極307と固定櫛歯電極308との接触を防止しつつ、可動櫛歯電極307及び固定櫛歯電極308の静電容量の変動幅を大きくでき、ミラー305の傾動を精度良く検出することができる。

[0127] また、ミラーアレイ3000のように、複数のミラーデバイス300, 300, ...を所定の配列方向（この例ではX軸方向）に配列する構成においては、各ミラーデバイス300の配列方向への寸法を小型化する必要がある。そのような場合には、ミラー305に連結されるアクチュエータ306及び可動櫛歯電極307を、ミラー305に対し、配列方向と直交する方向（この例ではY軸方向）に配置することが好ましい。ミラーデバイス300では、ミラー305に対して、配列方向と直交する方向における一方側にアクチュエータ306を配置し、他方側に可動櫛歯電極307を配置している。これにより、ミラーデバイス300の配列方向への寸法を小型にできると共に、ミラー305の、配列方向と直交する方向におけるスペースを有効に活用することができる。

[0128] そして、このような構成において、延長部304を、ミラー305から可

動櫛歯電極 307 と同じ側に延ばし、ヒンジ 341 を介してベース部 302 に連結することによって、前述のように、可動櫛歯電極 307 と固定櫛歯電極 308 との接触の防止と、ミラー 305 の傾動の高精度の検出とを実現することができる。

[0129] 以上のように、ミラーデバイス 300 は、ベース部 302 と、ミラー 305 と、前記ミラー 305 に連結され、傾動することによって該ミラー 305 を傾動させるアクチュエータ 306 と、前記ベース部 302 に設けられ、電極指 382, 382, …を有する固定櫛歯電極 308 と、前記固定櫛歯電極 308 に対向して配置された可動櫛歯電極 307 とを備え、前記可動櫛歯電極 307 は、ビーム部 371 と、該ビーム部 371 を前記ミラー 305 と連結し、該ビーム部 371 よりも剛性が低く、弾性変形するヒンジ 373 と、該ビーム部 371 を前記ベース部 302 に連結し、該ビーム部 371 よりも剛性が低く、弾性変形するヒンジ 374 と、該ビーム部 371 に設けられ、前記固定櫛歯電極 308 の電極指 382, 382, …と対向する電極指 372, 372, …とを有し、該ヒンジ 374 を通る傾動軸 C4 回りに傾動するように構成されている。

[0130] この構成によれば、アクチュエータ 306 が傾動することによって、ミラー 305 が傾動させられる。可動櫛歯電極 307 のビーム部 371 は、ヒンジ 373 を介してミラー 305 に連結されているので、アクチュエータ 306 が傾動する際に、ビーム部 371 は、ミラー 305 の傾動に従って変位する。ビーム部 371 は、ヒンジ 374, 374 を介してベース部 302 に連結されているので、ヒンジ 374, 374 を通る傾動軸 C4 回りに傾動する。すると、可動櫛歯電極 307 の電極指 372, 372, …及び固定櫛歯電極 308 の電極指 382, 382, …の対向している部分の面積が変化し、可動櫛歯電極 307 と固定櫛歯電極 308 との間の静電容量が変化する。この静電容量の変化によって、ビーム部 371 のうちヒンジ 373 が設けられた部分の変位が求められる。ヒンジ 373 は、ミラー 305 に連結されているので、ビーム部 371 のうちヒンジ 373 が設けられた部分の変位がわか

れば、ミラー３０５の変位を求めることができる。こうして、静電容量の変化によってミラー３０５の変位を求めることができる。

[0131] このような構成において、可動櫛歯電極３０７のビーム部３７１は、弾性変形するヒンジ３７３を介してミラー３０５に連結されている。ヒンジ３７３は、ミラー３０５が変位すると、それに応じて変形するため、ミラー３０５の変位は、その一部がヒンジ３７３に吸収されて、ビーム部３７１に伝わる。そのため、ミラー３０５の変位のうち微小なものはヒンジ３７３に吸収され、ビーム部３７１への伝達が低減され、ミラー３０５の変位のうち支配的なものが主としてビーム部３７１へ伝わる。つまり、ビーム部３７１を、ミラー３０５の変位のうち支配的なものに対応する方向に主として変位させることができ、ミラー３０５の変位のうち微小なものに対応する方向へのビーム部３７１の変位を低減することができる。その結果、可動櫛歯電極３０７の電極指３７２，３７２，…と固定櫛歯電極３０８の電極指３８２，３８２，…との間隔を維持したまま、可動櫛歯電極３０７を傾動させることができる。それにより、可動櫛歯電極３０７及び固定櫛歯電極３０８の静電容量の変化は、実質的に、ミラー３０５の支配的な変位に基づくものだけとなる。その結果、静電容量の変化に基づいて、ミラー３０５の変位を精度よく検出することができる。

[0132] 《その他の実施形態》

以上のように、本出願において開示する技術の例示として、前記実施形態を説明した。しかしながら、本開示における技術は、これに限定されず、適宜、変更、置き換え、付加、省略などを行った実施の形態にも適用可能である。また、上記実施形態で説明した各構成要素を組み合わせ、新たな実施の形態とすることも可能である。また、添付図面および詳細な説明に記載された構成要素の中には、課題解決のために必須な構成要素だけでなく、上記技術を例示するために、課題解決のためには必須でない構成要素も含まれ得る。そのため、それらの必須ではない構成要素が添付図面や詳細な説明に記載されていることをもって、直ちに、それらの必須ではない構成要素が必須

であるとの認定をするべきではない。

[0133] 前記実施形態について、以下のような構成としてもよい。

[0134] 実施形態1はミラーデバイスに係るものであり、実施形態2はミラーアレイに係るものであるが、これに限られるものではない。例えば、複数のミラーデバイス200, 200, …によってミラーアレイを構成してもよい。また、1つのミラーデバイス300だけで構成してもよい。

[0135] また、前記実施形態における形状、寸法、材質は、例示に過ぎず、これらに限られるものではない。例えば、ミラー205は、平面視円形でなくてもよく、方形等の多角形であってもよい。ミラー305は、平面視方形でなくてもよく、平面視円形であっても、方形以外の多角形であってもよい。

[0136] また、各ヒンジの構成も、前記実施形態に係る構成に限られるものではない。例えば、各ヒンジは、連結される部材よりも剛性が低く、弾性変形する構成であれば、任意の構成を採用することができる。

[0137] アクチュエータ206, 306は、前記の構成に限られるものではない。また、アクチュエータ206, 306は、圧電素子265, 365を有しているがこれに限られるものではない。例えば、静電引力を用いてミラーを駆動するアクチュエータであってもよい。さらに、圧電素子265, 365は、圧電体層として、PZTの代わりに非鉛圧電材料であるKNN ($(\text{K}, \text{Na})\text{NbO}_3$) 等を用いてもよい。さらに、ミラーデバイス300においては、アクチュエータは1つだけであってもよい。

[0138] また、第1傾動部203及び第2傾動部204は、ベース部202に連結されアクチュエータ206に傾動させられる構成であれば、任意の構成を採用し得る。

[0139] 例えば、第1傾動部203及び第2傾動部204は、環状でなくてもよい。第1傾動部203及び第2傾動部204は、円であってもよく、円弧状でなくてもよい。第1接続部231, 231及び第2接続部241, 241は、それぞれX軸上及びY軸上に配置されていなくてもよい。第1接続部231, 231を通る直線は、第2接続部241, 241を通る直線と直交して

いなくてもよいし、X軸と平行でなくてもよい。第2接続部241, 241を通る直線は、Y軸と平行でなくてもよい。例えば、第2接続部241, 241がX軸上に配置され、第1接続部231, 231がY軸上に配置されてもよい。

[0140] 前記可動櫛歯電極207, 307及び固定櫛歯電極208, 308の構成は、一例であって、それ以外の構成であってもよい。可動櫛歯電極207, 307及び固定櫛歯電極208, 308は、その位置や電極指の延びる方向は、任意に設定することができる。例えば、可動櫛歯電極の電極指及び固定櫛歯電極の電極指は、Y軸方向以外、例えば、X軸方向に延びていてもよい。

[0141] また、ミラーデバイス300において、ミラー305は、延長部304を介してベース部302に連結されているが、これに限られるものではない。例えば、図11に示すように、延長部304及びヒンジ341が省略されてもよい。その場合、ミラー305は、可動櫛歯電極307, 307を介してベース部302に連結されていることになる。延長部304及びヒンジ341を省略し、可動櫛歯電極307を利用してミラー305をベース部302に連結することによって、ミラーデバイス300の配列方向の寸法を小型化することができる。

[0142] また、ミラーデバイス200, 300は、駆動装置の一例である。駆動装置は、ミラーを駆動するものに限られない。例えば、駆動装置は、移動部としてのブレード又はプレートをアクチュエータで駆動するシャッタ装置であってもよい。

産業上の利用可能性

[0143] 以上説明したように、ここに開示された技術は、駆動装置について有用である。

符号の説明

[0144] 200, 300 ミラーデバイス（駆動装置）
202, 302 ベース部

205, 305	ミラー（移動部）
206, 306	アクチュエータ
263	ヒンジ（移動部側接続部）
207, 307	可動櫛歯電極
271, 371	ビーム部
272, 372	電極指
273, 373	ヒンジ（入力側接続部）
274, 374	ヒンジ（支持側接続部）
208, 308	固定櫛歯電極
281, 382	電極指
B5, C4	傾動軸

請求の範囲

- [請求項1] ベース部と、
移動部と、
前記移動部に連結され、傾動することによって該移動部を傾動させるアクチュエータと、
前記ベース部に設けられ、電極指を有する固定櫛歯電極と、
前記固定櫛歯電極に対向して配置された可動櫛歯電極とを備え、
前記可動櫛歯電極は、ビーム部と、該ビーム部を前記移動部又は前記アクチュエータと連結し、該ビーム部よりも剛性が低く、弾性変形する入力側接続部と、該ビーム部を前記ベース部に連結し、該ビーム部よりも剛性が低く、弾性変形する支持側接続部と、該ビーム部に設けられ、前記固定櫛歯電極の電極指と対向する電極指とを有し、該支持側接続部を通る傾動軸回りに傾動するように構成されている駆動装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の駆動装置において、
前記アクチュエータは、少なくとも2つ設けられており、
前記可動櫛歯電極は、少なくとも2つ設けられており、
前記移動部は、少なくとも2つの前記アクチュエータの駆動量を調整することによって2軸回りに傾動するように構成されている駆動装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の駆動装置において、
前記ビーム部は、前記支持側接続部によって、前記傾動軸に直交する軸回りに比べて該傾動軸回りに傾動しやすい状態で前記ベース部に連結されている駆動装置。
- [請求項4] 請求項3に記載の駆動装置において、
前記支持側接続部は、前記傾動軸に直交する軸回りに比べて該傾動軸と平行な回りに湾曲しやすい形状をしている駆動装置。
- [請求項5] 請求項3に記載の駆動装置において、

前記支持側接続部は、前記傾動軸の方向に並んで複数設けられている駆動装置。

[請求項6]

請求項 1 乃至 5 の何れか 1 つに記載の駆動装置において、

前記アクチュエータは、前記傾動軸と平行な軸回りに傾動することによって、前記移動部を傾動させ、

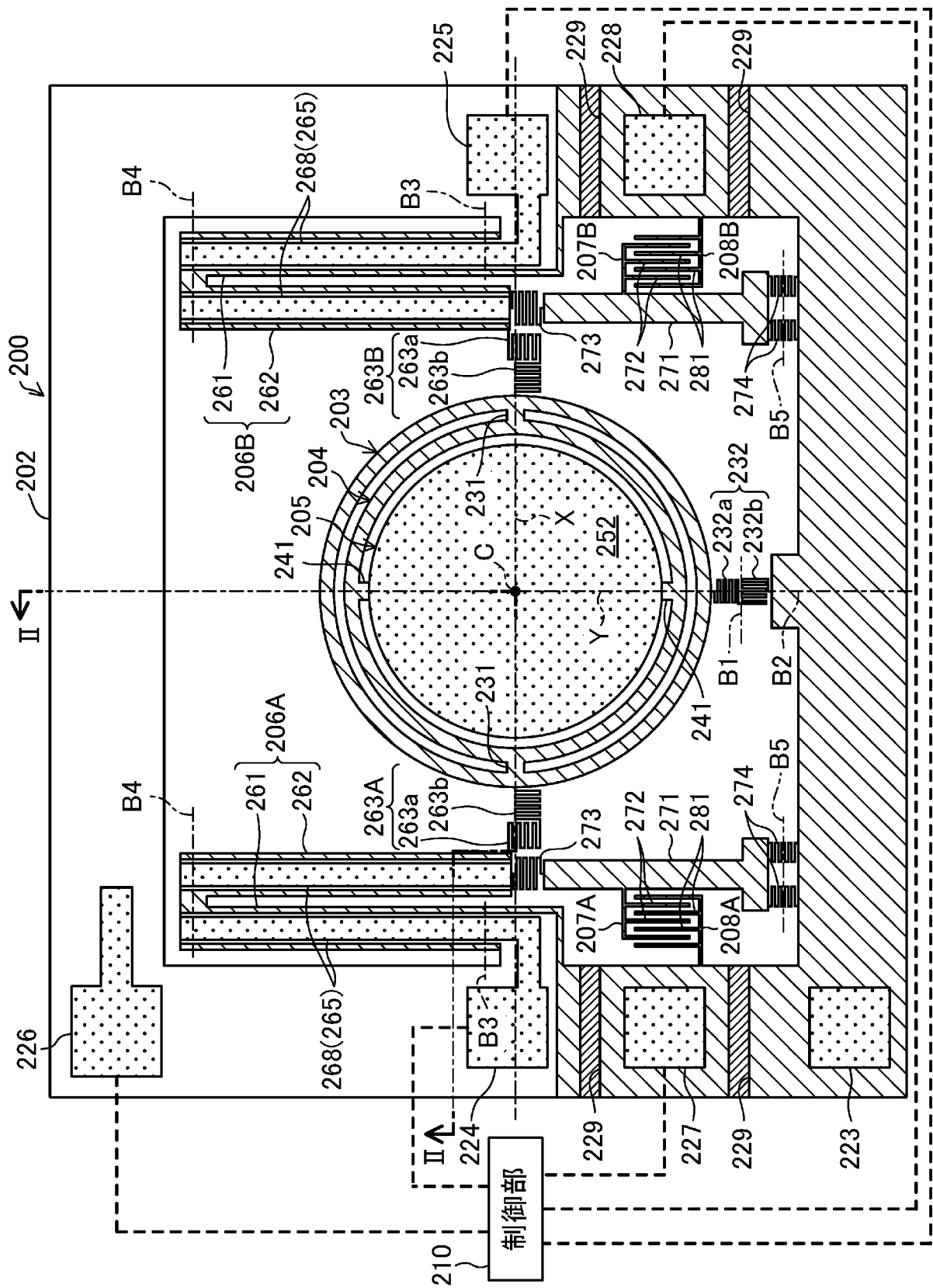
前記可動櫛歯電極は、前記入力側接続部を介して前記アクチュエータに連結されている駆動装置。

[請求項7]

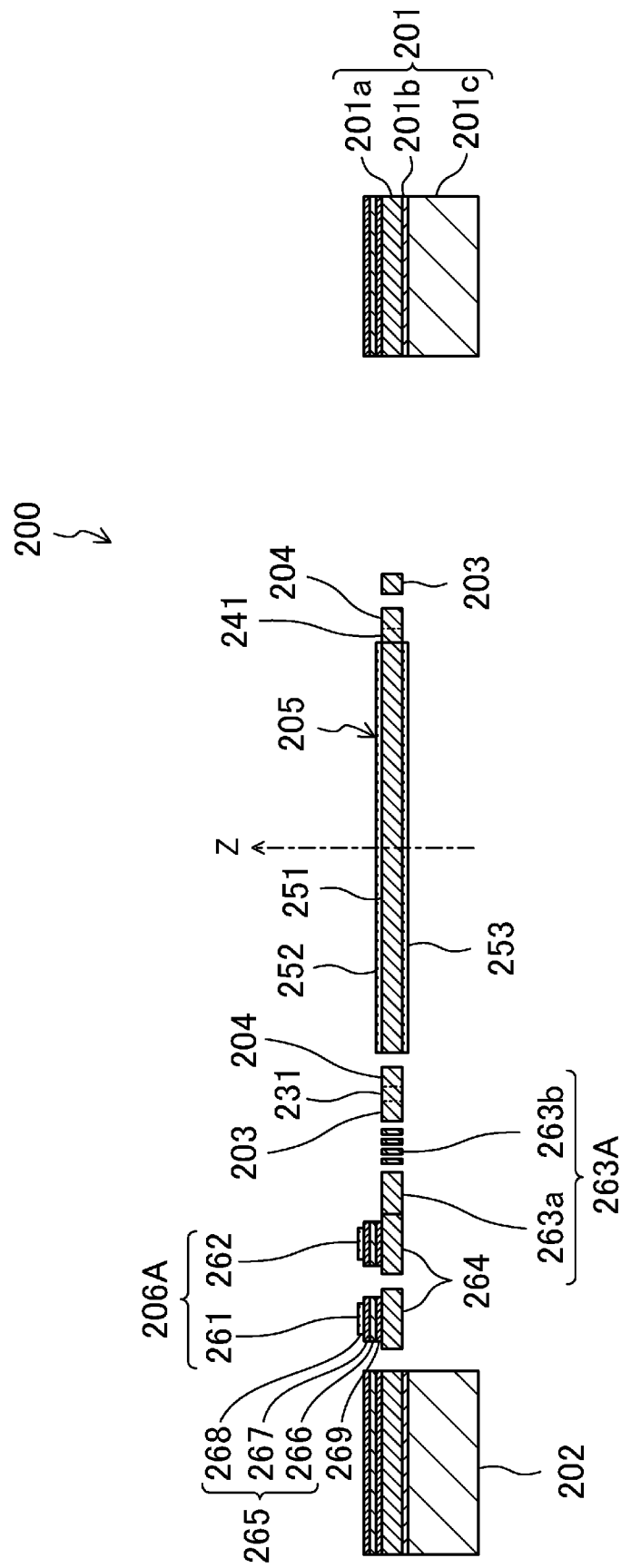
請求項 6 に記載の駆動装置において、

前記アクチュエータは、弾性変形する移動部側接続部を介して前記移動部に接続されている駆動装置。

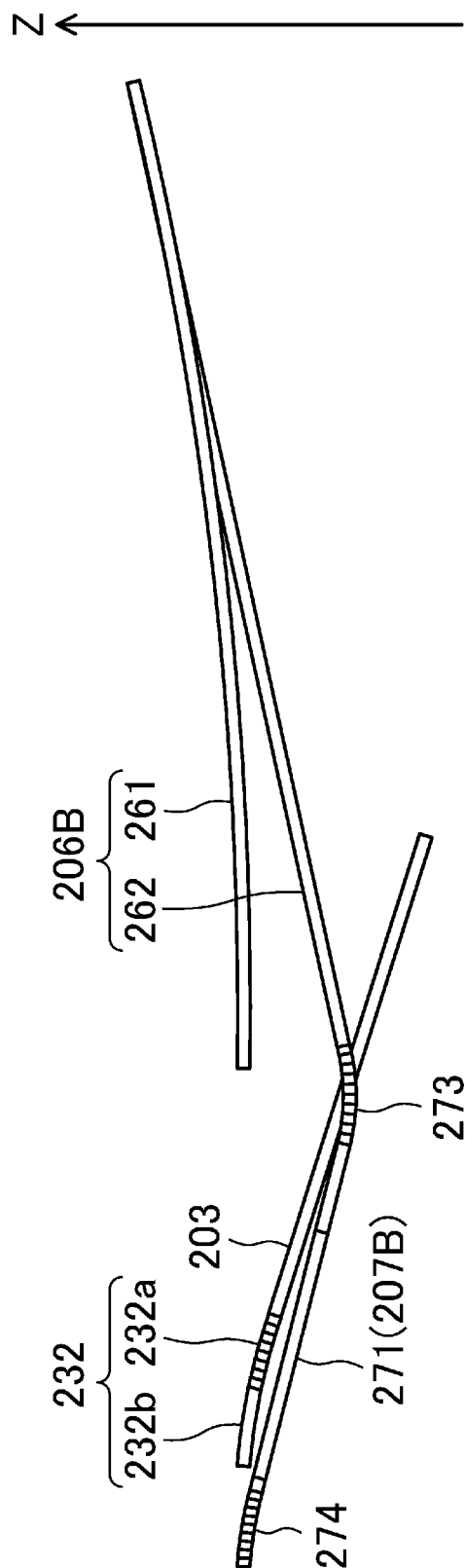
[図1]



[図2]

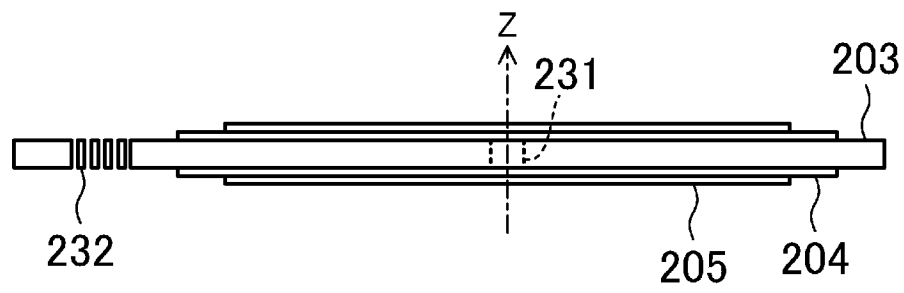


[図3]

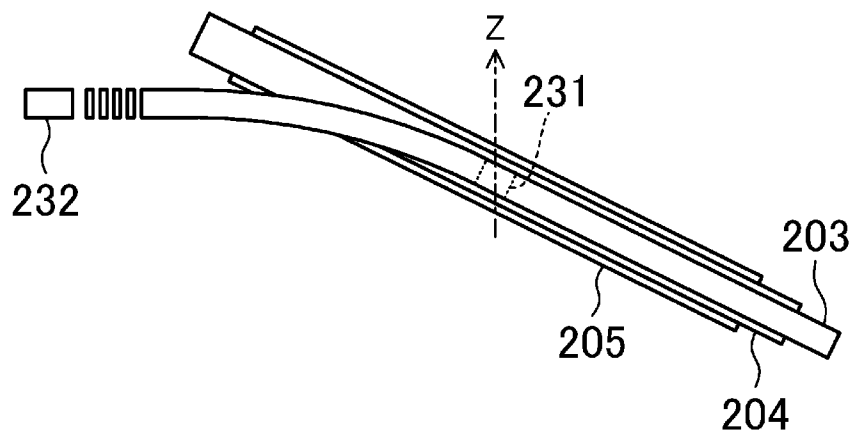


[図4]

(A)

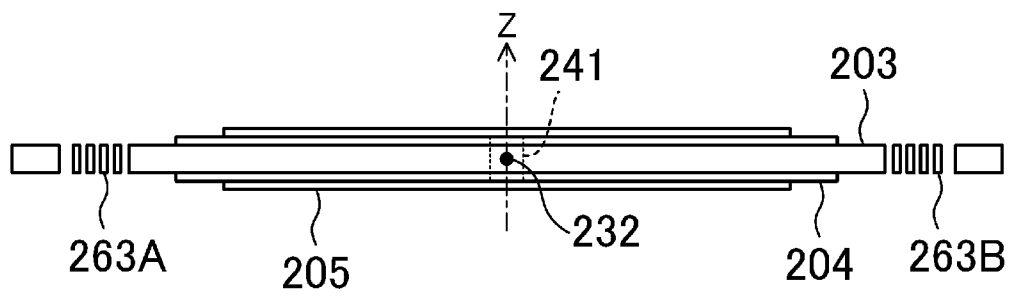


(B)

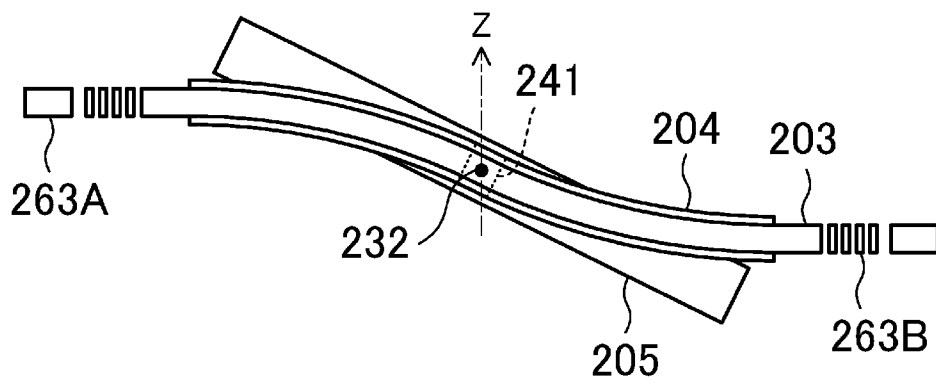


[図5]

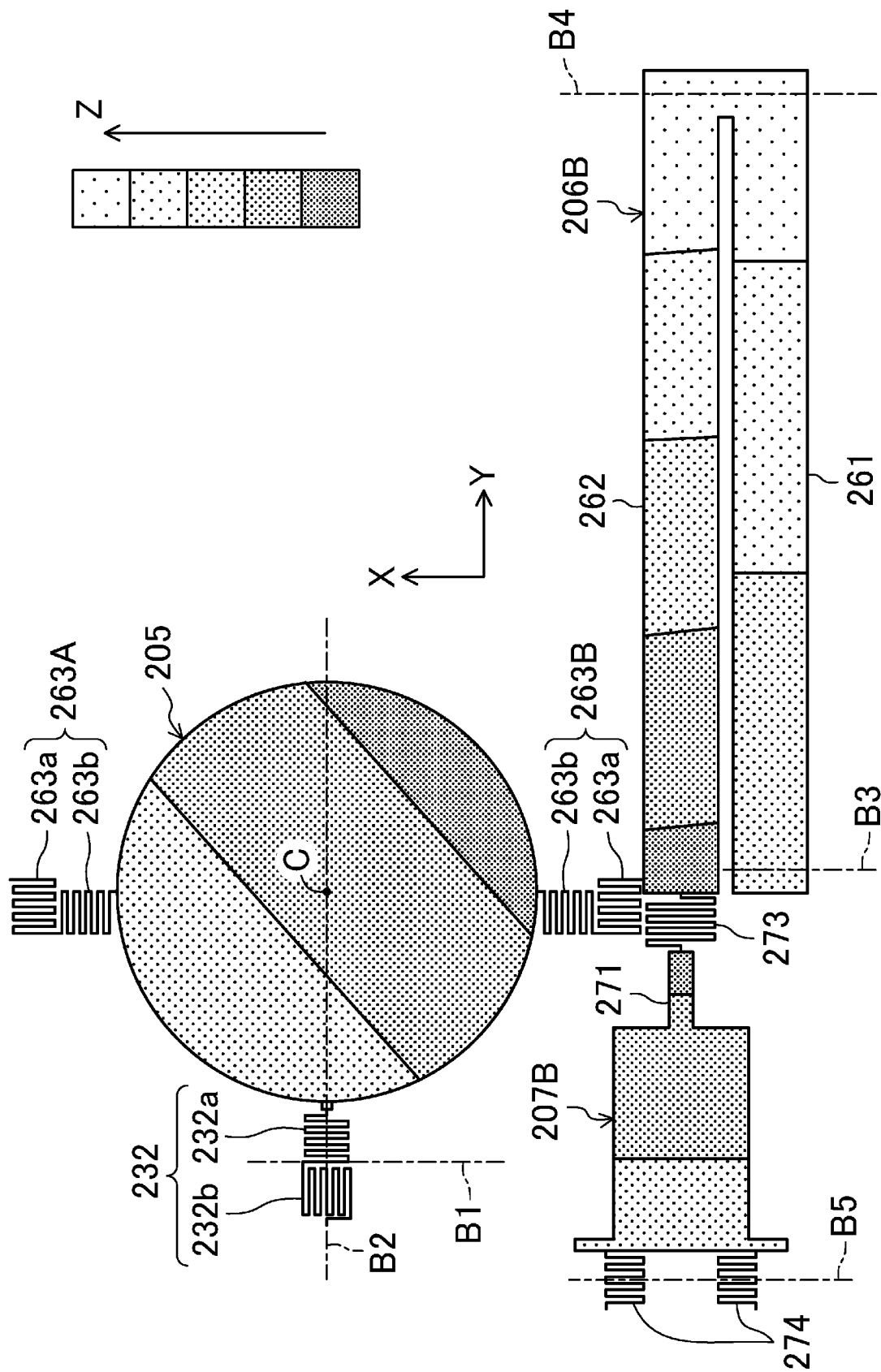
(A)



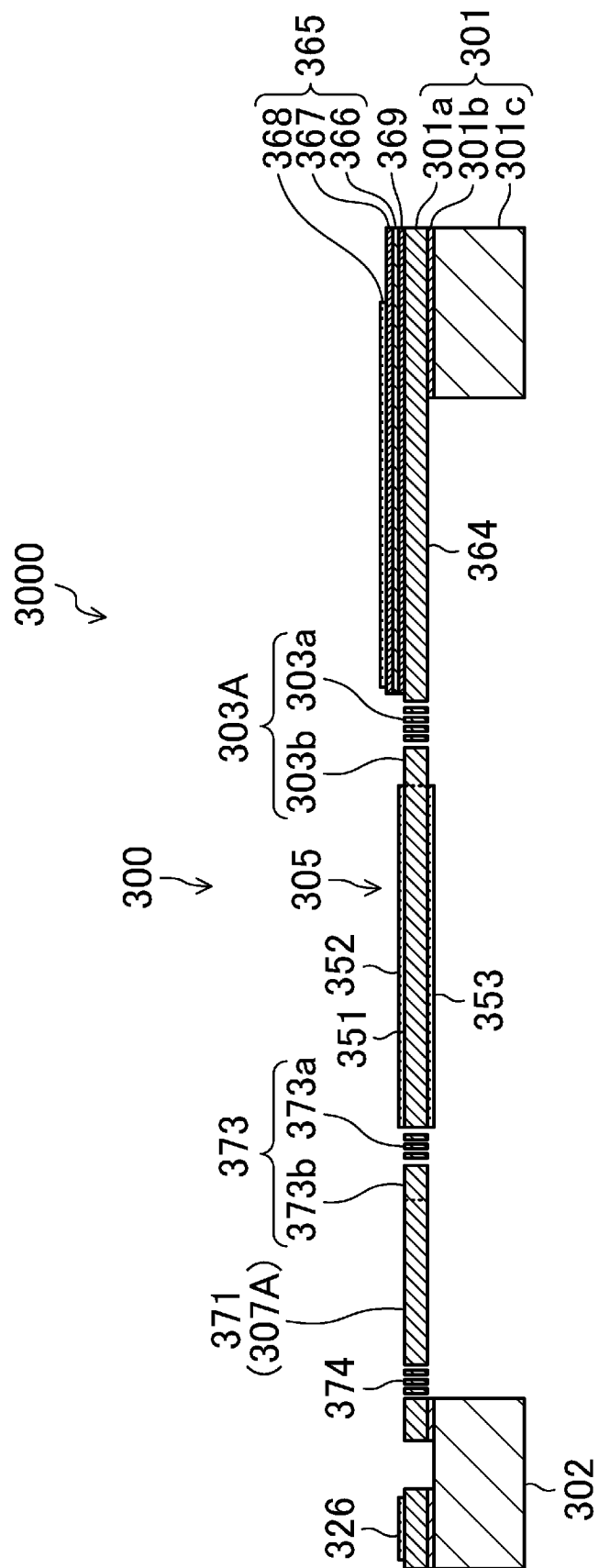
(B)



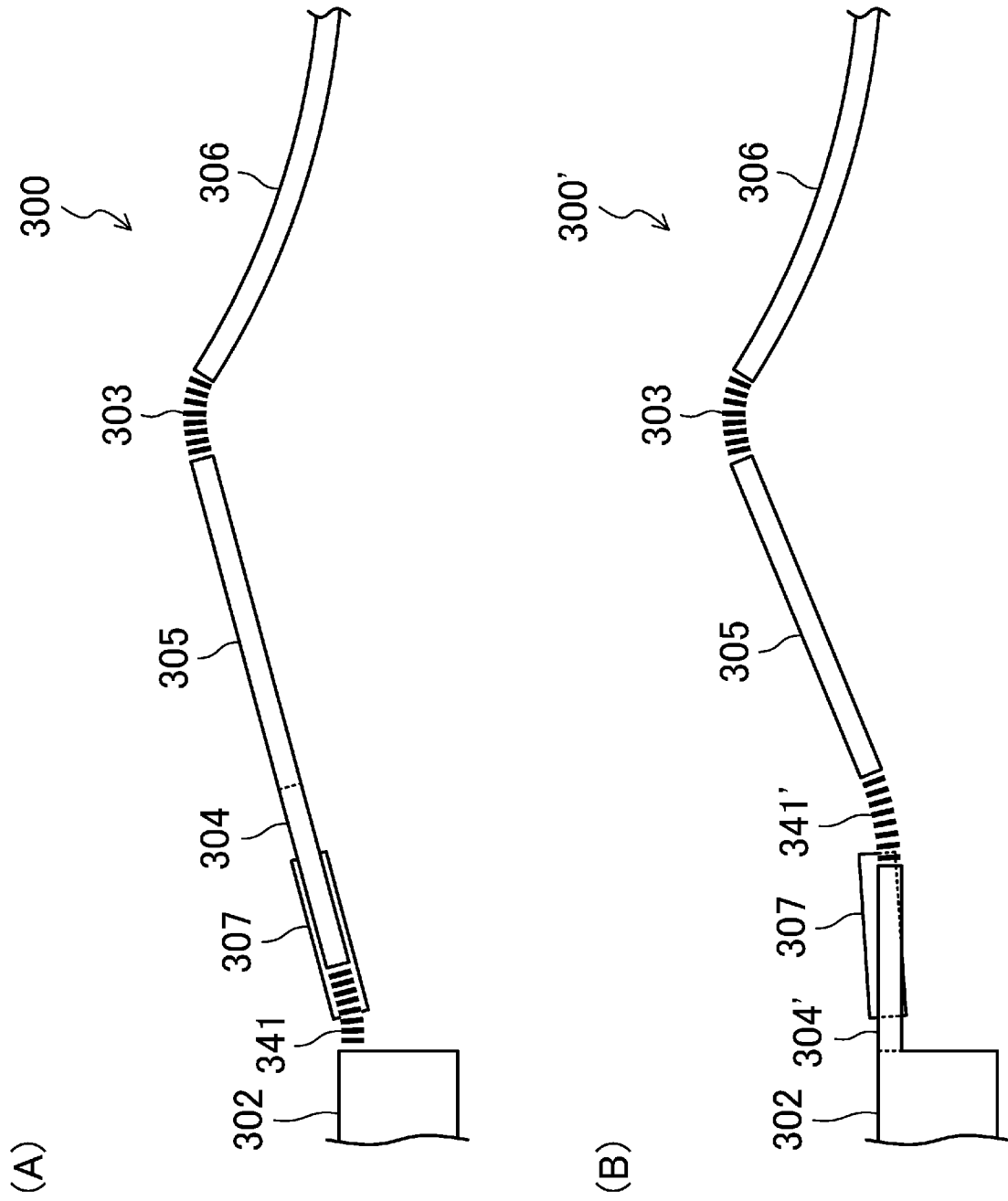
[図7]



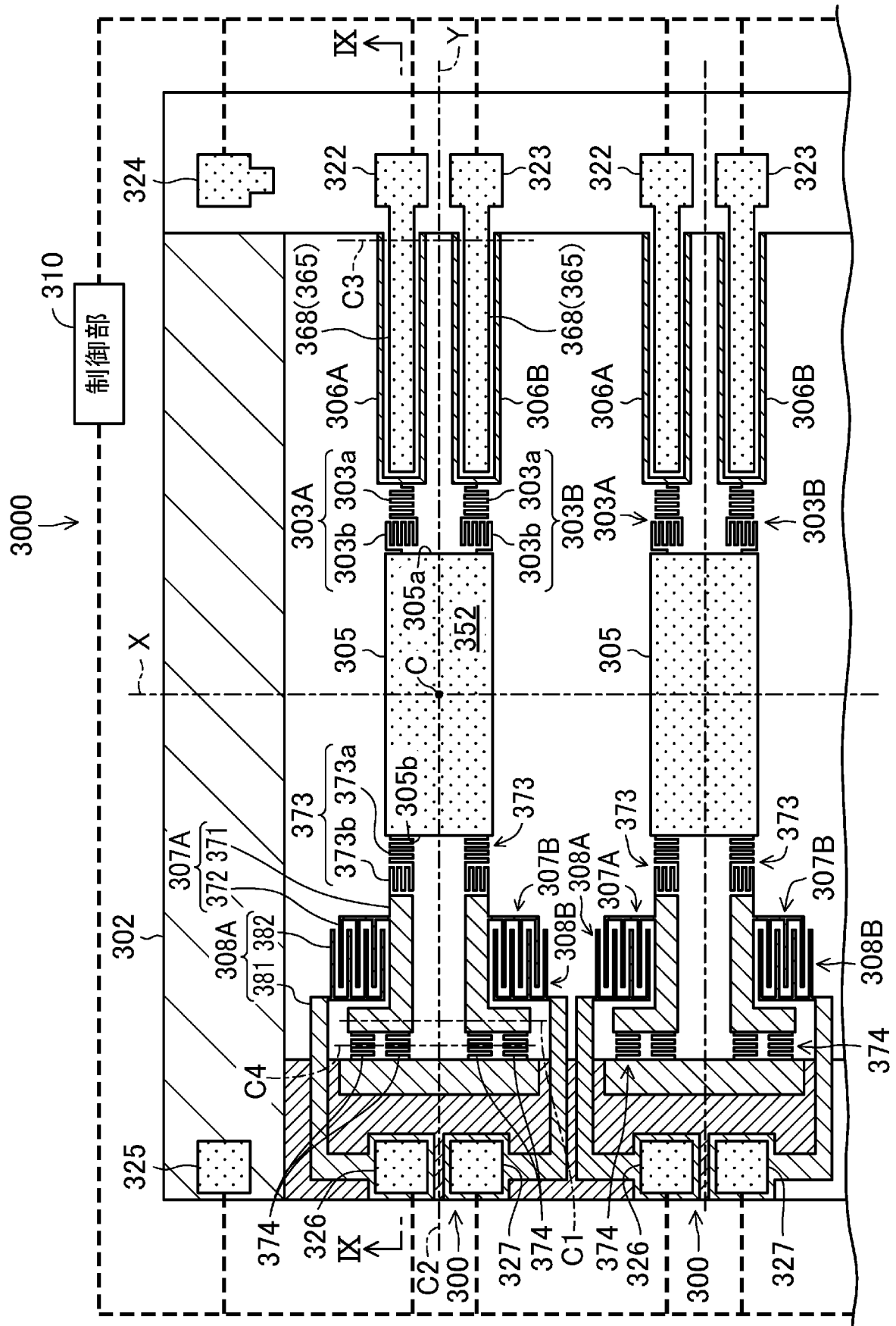
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/001651

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B26/08(2006.01)i, B81B3/00(2006.01)i, G02B26/10(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)

G02B26/08, B81B3/00, G02B26/10

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	JP 2008-242245 A (Denso Corp.), 09 October 2008 (09.10.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 9-159939 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 20 June 1997 (20.06.1997), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
P, A	WO 2014/156060 A1 (Sumitomo Precision Products Co., Ltd.), 02 October 2014 (02.10.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

☐ 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
25 May 2015 (25.05.15)

Date of mailing of the international search report
02 June 2015 (02.06.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B26/08(2006.01)i, B81B3/00(2006.01)i, G02B26/10(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B26/08, B81B3/00, G02B26/10

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 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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	JP 2008-242245 A（株式会社デンソー）2008.10.09, 全文, 全図 （ファミリーなし）	1-7
A	JP 9-159939 A（日本電信電話株式会社）1997.06.20, 全文, 全図 （ファミリーなし）	1-7
P, A	WO 2014/156060 A1（住友精密工業株式会社）2014.10.02, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7

☐ 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

2 5 . 0 5 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 6 . 2 0 1 5

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

堀部 修平

2 L

9 2 1 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5