

(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
2018年12月20日(20.12.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/230065 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 26/10 (2006.01) *G02B 26/08* (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/010401
- (22) 国際出願日: 2018年3月16日(16.03.2018)
- (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 2017-115812 2017年6月13日(13.06.2017) JP
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東

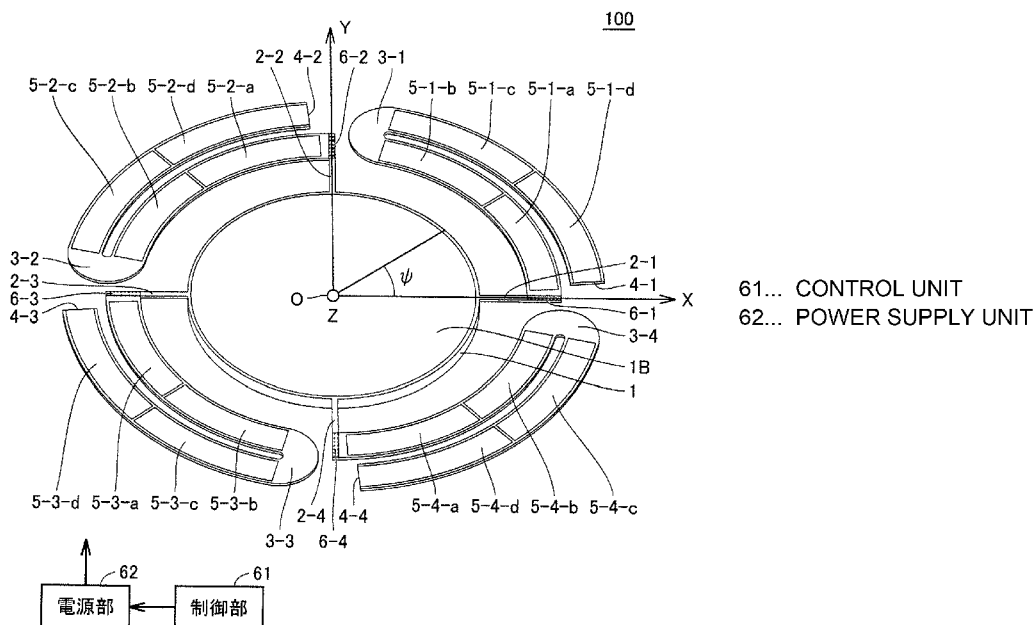
京 都 千 代 田 区 丸 の 内 二 丁 目 7 番
3号 Tokyo (JP).

- (72) 発明者: 平 田 善 明 (HIRATA, Yoshiaki);
〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番
3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 紺野
伸顕(KONNO, Nobuaki); 〒1008310 東京都千
代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式
会社内 Tokyo (JP). 伊藤 恭彦(ITO, Takahiko);
〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番
3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 石田 晃
三(ISHIDA, Kozo); 〒1008310 東京都千代田区
丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
Tokyo (JP). 梶山 佳敬(KAJIYAMA, Yoshitaka);

(54) Title: OPTICAL SCANNING DEVICE AND METHOD FOR ADJUSTING OPTICAL SCANNING DEVICE

(54) 発明の名称: 光走査装置および光走査装置の調整方法

[図1]



(57) **Abstract:** An optical scanning device (10) is provided with: a mirror part (1) having a mirror surface (1B) for reflecting light; N support beams (2-1) to (2-4) that swingably support the mirror part (1); N drive beams (3-1) to (3-4); and a plurality of piezoelectric elements (5-i-a to d (i=1 to 4)) for driving that are fastened onto the N drive beams. The mirror part (1) performs precessional motion with the frequencies of alternating-current voltage to be applied to the plurality of piezoelectric elements (5-i-a, b, c, d) set to a designated common value, and the phases of alternating-current voltage to



〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番
3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI
PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大
阪市北区中之島三丁目 2 番 4 号 中之島フェス
ティバルタワー・ウエスト 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, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, 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).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

be applied to the plurality of piezoelectric elements (5-i-a, b, c, d) set to designated values corresponding to the positions of the respective piezoelectric elements.

(57) 要約: 光走査装置 (100) は、光を反射するミラー面 (1B) を有するミラー部 (1) と、ミラー部 (1) を揺動可能に支持するN個の支持梁 (2-1) ~ (2-4) と、N個の駆動梁 (3-1) ~ (3-4) と、N個の駆動梁上に固着された駆動用の複数個の圧電素子 (5-i-a ~ d (i = 1 ~ 4)) とを備える。複数個の圧電素子 (5-i-a, b, c, d) の各々に与えられる交流電圧の周波数を決められた共通の値とし、複数個の圧電素子 (5-i-a, b, c, d) の各々に与えられる交流電圧の位相を各圧電素子の位置に応じた決められた値とすることによって、ミラー部 (1) が歳差運動する。

明 細 書

発明の名称：光走査装置および光走査装置の調整方法

技術分野

[0001] 本発明は、光走査装置及びその調整方法に関し、特に、レーザ距離センサまたは光スキャナなどに利用可能な光走査装置及びその調整方法に関する。

背景技術

[0002] レーザ距離センサまたは光スキャナなどに用いられる光走査装置として、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)ミラーが知られている。MEMSミラーのミラー部は、静電力、電磁力、または圧電力を用いて駆動される。

[0003] 静電力を用いる場合には、発生駆動力が小さく十分な偏向角がとれないという問題がある。電磁力を用いる場合には、外部に永久磁石を配置する必要があるため、デバイスの構成が複雑になり小型化が困難であるという問題がある。

[0004] 圧電力を用いる場合には、微小変形する圧電素子を梁状の弾性部材上に形成して圧電力による面内方向の歪を反りに変換することによって、大きな変形が得られる。特許文献1に記載のMEMSミラーでは、直線状の梁上に圧電素子が配置され、直線梁軸上のミラーが1軸もしくは2軸方向にネジレ振動する(特許文献1の[0099]～[00102]、図40)。

[0005] 特許文献2に記載のMEMSミラーは、四角形ミラーの対角部分に形成されたミラー支持部と、ミラー部の周囲を取り囲んで配置された第1アクチュエータおよび第2アクチュエータとを備える。第1アクチュエータおよび第2アクチュエータのそれぞれは、長手方向が第1軸の方向に向いた複数の第1圧電カンチレバーと、長手方向が第2軸の方向に向いた複数の第2圧電カンチレバーとが折り畳まれるように連結された構造を有する。各アクチュエータの一方の端部はミラー支持部を介してミラー部に接続され、他方の端部はミラー支持部の近傍で固定部に接続される。各アクチュエータは、X軸周

り、およびY軸周りの2軸に回転振動する（特許文献2の[0029]～[0067]、図1～図12）。

[0006] 特許文献3に記載のMEMSミラーは、環状の弾性体のフレームを備える。このフレームの表面には、4つに分割され、中心に対して対称であり、かつ同じ面積を有する電極を具えた圧電体が設けられる。このMEMSミラーは、環状のフレームの径方向に伸びる複数のトーションバーと、トーションバーに接続されるミラーパネルを備える。MEMSミラーは、ミラー光軸の偏向角を保ちながら面内に回転振動し、2次元走査される（特許文献3の[0009]～[0012]、図1）。

[0007] 特許文献1～3のいずれのMEMSミラーにおいても、圧電力の微小変形を大きな変形に変換するため、MEMSミラーの共振周波数で圧電素子を駆動する。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2010-197994号公報

特許文献2：特開2013-167681号公報

特許文献3：特開2007-206480号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] レーザ距離センサなどに用いるMEMSミラーは、広い面内走査角度が求められる。MEMSミラーが全周回転変位できれば面内360度全周囲の情報収集が可能となる。

[0010] しかしながら、特許文献1～3に記載の従来のMEMSミラーは、ミラー部をシリコンの梁で支持して梁を捻って走査するため、シリコンの破壊応力限界により面内走査範囲が制限されるという問題がある。

[0011] 本発明は、上記問題に鑑み、広い面内走査角度を有する光走査装置およびその調整方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明のある局面の光走査装置は、光を反射するミラー面を有するミラー部と、ミラー部を揺動可能に支持する N 個 ($N \geq 3$) の支持梁と、 N 個の支持梁とそれぞれ接続される N 個の駆動梁とを備える。 N 個の駆動梁は、ミラー部の周囲を取り囲むように配置される。 N 個の駆動梁の各々の両端のうち支持梁と接続していない方の端は固定される。 N 個の駆動梁の各々は1回以上折り曲げられた形状を有する。光走査装置は、さらに、 N 個の駆動梁上に固着された駆動用の複数個の圧電素子と、複数個の圧電素子に、交流電圧を印加する電源部とを備える。複数個の圧電素子の各々に与えられる交流電圧の周波数を決められた共通の値とし、複数個の圧電素子の各々に与えられる交流電圧の位相を各圧電素子の位置に応じた決められた値とすることによって、ミラー部が歳差運動する。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、ミラー部が歳差運動するので、ミラー部の面内走査範囲が広がる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]実施の形態1の光走査装置の構成および主要部の表面を表わす図である。

[図2]実施の形態1の光走査装置の主要部の裏面を表わす図である。

[図3]駆動梁の反り変形の例を表わす図である。

[図4]固有振動モード1におけるミラー部1の変位を表わす図である。

[図5]固有振動モード2におけるミラー部1の変位を表わす図である。

[図6]固有振動モード3におけるミラー部1の変位を表わす図である。

[図7]ミラー部の偏向角を表わす図である。

[図8]実施の形態2における駆動梁上の圧電素子に印加する交流電圧を説明するための図である。

[図9]一部の圧電素子に式(1)の交流電圧を印加し、かつ残りの圧電素子に式(2)の交流電圧を印加したときのミラー部の変位の時間変化を表わす図

である。

[図10]第1の電圧印加方式Aを説明するための図である。

[図11]第2の電圧印加方式Bを説明するための図である。

[図12]第3の電圧印加方式Cを説明するための図である。

[図13]第1の電圧印加方式A、第2の電圧印加方式B、第3の電圧印加方式Cにおけるミラ一部の駆動特性を表わす図である。

[図14]光走査装置を用いたレーザ距離センサの概略図である。

[図15](a)～(i)は、製造工程における光走査装置の断面図である。

[図16]実施の形態3における駆動梁上の圧電素子に印加する交流電圧を説明するための図である。

[図17]実施の形態4の光走査装置の主要部の表面を表わす図である。

[図18]実施の形態5の光走査装置の主要部の表面を表わす図である。

[図19]実施の形態6の光走査装置の主要部の表面を表わす図である。

[図20]実施の形態7の光走査装置の主要部の表面を表わす図である。

[図21]3つのパターンの変位における印加電圧位相 ϕ の変化に対するミラー最大変位円周角 ϕ_m の変化を表わす図である。

[図22]図21のプロット線Bと、プロット線Bの近似直線を表わす図である。

[図23]プロット線Bの回転線形性誤差を表わす図である。

[図24]実施の形態8の光走査装置における圧電素子を駆動する電圧を説明するための図である。

[図25]固有振動モード2の共振周波数 F_2 の交流電圧を印加したときの印加電圧位相 ϕ の変化に対するミラー最大変位円周角 ϕ_m の変化を表わす図である。

[図26]固有振動モード3の共振周波数 F_3 の交流電圧を印加したときの印可電圧位相 ϕ とミラー最大変位円周角 ϕ_m との関係を表わす図である。

[図27]固有振動モード2の共振周波数 F_2 と固有振動モード3の共振周波数 F_3 の中間周波数の交流電圧を印加したときの印可電圧位相 ϕ とミラー最大

変位円周角 ϕ_m との関係を表わす図である。

[図28]駆動電圧の周波数と回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[図29]実施の形態8の光走査装置における、固有振動モード2と固有振動モード3の中間周波数 F_m でミラー部を全周回転変位させるための駆動電源の電圧の調整手順を表わすフローチャートである。

[図30](a)～(d)は、初期位相 Φ_1 、 Φ_2 、 Φ_3 、 Φ_4 と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。(e)～(h)は、振幅 V_{s1} 、 V_{s2} 、 V_{s3} 、 V_{s4} と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[図31]駆動電源の出力電圧の振幅および初期位相の調整後において、印加電圧位相 Φ と、測定されたミラー最大変位円周角 ϕ_m を表わす図である。

[図32]実施の形態9の光走査装置における、固有振動モード2と固有振動モード3の中間周波数 F_m でミラー部を全周回転変位させるための駆動電源の出力電圧の調整手順を表わすフローチャートである。

[図33]実施の形態10の光走査装置における圧電素子を駆動する電圧を説明するための図である。

[図34]実施の形態10の光走査装置における、固有振動モード2と固有振動モード3の中間周波数 F_m でミラー部を全周回転変位させるための駆動電源の電圧の調整手順を表わすフローチャートである。

[図35](a)は、初期位相 Φ_1 と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。(b)は、振幅 V_{s1} と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[図36]実施の形態11の光走査装置のミラー部を表わす図である。

[図37]ミラー部のトリミングパターンの拡大図である。

[図38]トリミング前の駆動周波数とミラー最大変位との関係を表わす図である。

[図39]トリミング後の駆動周波数とミラー最大変位との関係を表わす図である。

[図40]実施の形態 1 1 の光走査装置の調整手順を表わすフローチャートである。

[図41]実施の形態 1 2 の光走査装置の調整手順を表わすフローチャートである。

[図42]実施の形態 1 3 の一例の光走査装置の表わす図である。

[図43]実施の形態 1 3 の別の例の光走査装置を表わす図である。

[図44]実施の形態 1 3 の光走査装置の調整手順を表わすフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 の光走査装置 1 0 0 の構成、および光走査装置 1 0 0 の主要部の表面を表わす図である。図 2 は、実施の形態 1 の光走査装置 1 0 0 の主要部の裏面を表わす図である。

[0016] 図 1 および図 2 を参照して、光走査装置 1 0 0 は、ミラー部 1 と、駆動梁 3-1, 3-2, 3-3, 3-4 と、支持梁 2-1, 2-2, 2-3, 2-4 と、圧電素子 5-1-a, b, c, d と、圧電素子 5-2-a, b, c, d と、圧電素子 5-3-a, b, c, d と、圧電素子 5-4-a, b, c, d と、検出用圧電素子 6-1, 6-2, 6-3, 6-4 とを備える。

[0017] ミラー部 1 は、MEMSミラーである。ミラー部 1 は、ミラー面 1 B と、シリコンミラー部 1 C とを備える。ミラー面 1 B は、光源からの光を受けて、光を反射する。ミラー部 1 の表面（ミラー面 1 B）および裏面は、円形である。ミラー面 1 B は、反射率の高い金属薄膜などからなる。シリコンミラー部 1 C は、シリコン基板を加工することによって得られる。

[0018] ミラー部 1 が静止時に、ミラー部 1 の法線方向を Z 軸とする。このときには、ミラー部 1 の中心軸が Z 軸に一致する。ミラー部 1 が静止時にミラー部 1 の面（その一つがミラー面 1 B）に平行な 2 つの直交する軸を X 軸、および Y 軸とする。X 軸の方向は、ミラー部 1 の中心 O から支持梁 2-1 への方

向とする。Y軸の方向は、ミラー部1の中心Oから支持梁2-2への方角とする。Z軸は、ミラー部1の静止時の中心軸および光軸でもある。

[0019] ミラー部1の円周上のある点のミラー円周角 ψ を、その点とミラー部1の中心Oとを結ぶ線がX軸と成す角であるとする。

[0020] 支持梁2-1~2-4は、シリコンミラー部1Cを揺動可能に支持する。支持梁2-1~2-4は、同一の形状および大きさを有する。支持梁2-1~2-4は、ミラー部1の中心軸（Z軸）に対して90°回転対称に配置される。

[0021] 駆動梁3-1~3-4は、ミラー部1の周囲を取り囲むように配置される。駆動梁3-1~3-4の形状および大きさは、同一である。駆動梁3-i（ $i=1\sim4$ ）の一端は、支持梁2-iと接続し、駆動梁3-iの他端は固定部4-iに接続されている。駆動梁3-1~3-4は、ミラー部1の中心軸に対して90°回転対称に配置される。駆動梁3-1~3-4は、1回だけ180°で折り曲げられた形状を有する。駆動梁3-1~3-4は、ミラー部1の周方向と同一方向に延在する2つの周方向部分と、折り曲げ部分を有する。言い換えると、駆動梁3-1~3-4は、U字形状を有する。ただし、U字形状の長手方向の部分は、ミラー部1の円周方向と同方向に湾曲している。

[0022] 支持梁2-1~2-4は、反時計周りに順序が付けられている。支持梁2-iは、第i番目の支持梁とする。駆動梁3-1~3-4は、反時計周りに順序が付けられている。駆動梁3-iは、第i番目の駆動梁とする。あるいは、これに代えて、支持梁2-1~2-4、および駆動梁3-1~3-4は、時計周りに順序が付けられているものとしてもよい。すなわち、支持梁2-1、2-2、2-3、2-4を、第1番目、第4番目、第3番目、第2番目の支持梁としてもよい。駆動梁3-1、3-2、3-3、3-4を、第1番目、第4番目、第3番目、第2番目の駆動梁としてもよい。

[0023] 圧電素子5-i-a, b, c, d（ $i=1\sim4$ ）は、駆動梁3-iの上に固着される。16個の圧電素子5-i-a, b, c, dは、同一の形状およ

び大きさを有する。

[0024] 駆動梁 $3-i$ ($i=1\sim 4$) を構成する部分のうち、ミラ一部 1 の周方向と同一方向に延在する 2 つの周方向部分のうちの第 1 の部分に圧電素子 $5-i-a, b$ が配置され、第 2 の部分に圧電素子 $5-i-c, d$ が配置される。第 1 の部分は、第 2 の部分よりもミラ一部 1 に近い位置にある。圧電素子 $5-i-a$ と圧電素子 $5-i-b$ とは間隔を空けて配置される。圧電素子 $5-i-c$ と圧電素子 $5-i-d$ とは間隔を空けて配置される。圧電素子 $5-i-b$ と圧電素子 $5-i-c$ とは、駆動梁 $3-i$ の折り曲げ部分を介して隣接する。圧電素子 $5-i-a$ が、支持梁 $2-i$ と接続される駆動梁 $3-i$ の一端に最も近い位置に配置される。圧電素子 $5-i-d$ が、固定部 $4-i$ と接続される駆動梁 $3-i$ の他端に最も近い位置に配置される。

[0025] 圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ ($i=1\sim 4$) には、図示しないが、駆動電圧を印加するために上側電極、および下側電極が接続される。本実施の形態では、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ の下側電極を接地し、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ の上側電極に駆動電圧を印加することによって、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ の誘電分極方向をすべて同一となるようにする。あるいは、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ の上側電極を接地し、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ の下側電極に電圧を印加することによって、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ の誘電分極方向をすべて同一となるようにしてもよい。

[0026] 電源部 62 は、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ に交流電圧を印加する。制御部 61 は、電源部 62 の出力電圧を制御する。

[0027] 電源部 62 によって、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ ($i=1\sim 4$) に駆動電圧を印加すると、圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ が、XY 平面に平行な平面上で伸縮することによって、駆動梁 $3-i$ 全体が反り変形する。図 3 は、駆動梁 $3-i$ の反り変形の例を表わす図である。駆動梁 $3-2\sim 3-4$ も、同様に変形する。駆動梁 $3-i$ の反り変形によって、駆動梁 $3-i$ と支持梁 $2-i$ の接続部分は、Z 軸方向に駆動されることになり、ミラ一部 1

が駆動される。

[0028] 複数の圧電素子 5-i-a, b, c, d の各々に与えられる交流電圧の周波数を決められた共通の値とし、複数の圧電素子 5-i-a, b, c, d の各々に与えられる交流電圧の位相を各圧電素子の位置に応じた決められた値とすることによって、ミラー部 1 が歳差運動する。

[0029] つまり、このような交流電圧を複数の圧電素子に与えることによって、ミラー部 1 の外周部の面外方向が最大変位となるミラー円周角 ψ が時間とともに等間隔で変わるので、ミラー部 1 が歳差運動することができる。

[0030] シリコンミラー部 1 C は、SOI (Silicon On Insulator) 基板の支持層、および活性層で形成される。支持梁 2-1 ~ 2-4 および駆動梁 3-1 ~ 3-4 は、SOI 基板の支持層で形成される。

[0031] 以上のように、実施の形態 1 によれば、ミラー部 1 が歳差運動するので、ミラー部 1 の面内走査範囲が広がる。

[0032] (付記)

実施の形態 1 の光走査装置 100 は、以下の特徴を備える。

[0033] (1) 光走査装置 100 は、光を反射するミラー面 (1B) を有するミラー部 (1) と、ミラー部 (1) を揺動可能に支持する N 個 ($N \geq 3$) の支持梁 (2-1 ~ 2-4) と、各々が、N 個の支持梁 (2-1 ~ 2-4) とそれぞれ接続される N 個の駆動梁 (3-1 ~ 3-4) とを備える。N 個の駆動梁 (3-1 ~ 3-4) は、ミラー部 1 の周囲を取り囲むように配置される。N 個の駆動梁 (3-1 ~ 3-4) の各々の両端のうち支持梁 (2-1 ~ 2-4) と接続していない方の端は固定される。N 個の駆動梁 (3-1 ~ 3-4) の各々は 1 回以上折り曲げられた形状を有する。光走査装置 100 は、さらに、N 個の駆動梁 (3-1 ~ 3-4) 上に固着された駆動用の複数の圧電素子 (5-1-a ~ d、5-2-a ~ d、5-3-a ~ d、5-4-a ~ d) と、複数の圧電素子 (5-1-a ~ d、5-2-a ~ d、5-3-a ~ d、5-4-a ~ d) に、交流電圧を印加する電源部 (62) とを備える。複数の圧電素子 (5-1-a ~ d、5-2-a ~ d、5-3-a ~ d、5

－ 4 － a ～ d) の各々に与えられる交流電圧の周波数を決められた共通の値とし、複数個の圧電素子 5 － 1 － a ～ d、5 － 2 － a ～ d、5 － 3 － a ～ d、5 － 4 － a ～ d) の各々に与えられる交流電圧の位相を各圧電素子の位置に応じた決められた値とすることによって、ミラー部 (1) が歳差運動する。

[0034] このような構成によって、ミラー部が歳差運動するので、ミラー部の走査範囲を広くすることができる。

[0035] 実施の形態 2.

ミラー部 1 のモーダル解析の結果を説明する。

[0036] 図 4 は、固有振動モード 1 におけるミラー部 1 の変位を表わす図である。

図 5 は、固有振動モード 2 におけるミラー部 1 の変位を表わす図である。図 6 は、固有振動モード 3 におけるミラー部 1 の変位を表わす図である。

[0037] 図 4 ～ 図 6 を参照して、固有振動モード 1 では、ミラー部 1 は、Z 軸方向に並進変位する。固有振動モード 2 では、ミラー部 1 は、第 1 軸周りに回転変位する。固有振動モード 3 では、ミラー部 1 は、第 2 軸周りに回転変位する。

[0038] 第 1 軸は、ミラー面 1 B に平行であり、第 1 軸の方向は、ミラー部 1 の中心と、ミラー部 1 と支持梁 2 － 1 との接続箇所とを結ぶ直線の方である。第 2 軸は、ミラー面 1 B に平行である。第 2 軸の方向は、ミラー部 1 の中心と、ミラー部 1 と支持梁 2 － 2 との接続箇所とを結ぶ直線の方である。図 4 において、第 1 軸は X 軸であり、第 2 軸は Y 軸である。

[0039] 光走査装置が、ミラー部 1 の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置された N 個の支持梁を備えるときには、以下ようになる。

[0040] 第 1 軸は、ミラー面 1 B に平行である。第 1 軸の方向は、ミラー部 1 の中心と、ミラー部 1 と N 個の支持梁のうちの 1 つとの接続箇所とを結ぶ直線の方である。第 2 軸は、ミラー面 1 B に平行であり、第 1 軸と直交する。

[0041] ミラー部 1 の形状が X Y 平面で 90 度回転対称形状の場合、固有振動モード 2 の共振周波数と固有振動モード 3 の共振周波数とが一致する。ミラー部

1の形状がXY平面で90度回転対称形状の場合の固有振動モード2および固有振動モード3の共振周波数をF0とする。

[0042] 電源部62が、圧電素子5-i-a, b, c, d (i=1~4)に共振周波数F0を周波数とする交流電圧を印加することによって、圧電素子5-i-a, b, c, dの小さな歪によって、駆動梁3-i (i=1~4)を大きく変位させることができる。これによって、ミラー部1をZ軸方向に偏向させることができる。

[0043] 図7は、ミラー部1の偏向角θを表わす図である。

図7に示すように、ミラー部1の偏向角θは、ミラー部1とXY平面とのなす角度である。

[0044] 図8は、実施の形態2における駆動梁3-i (i=1~4)上の圧電素子5-i-a~dに印加する交流電圧を説明するための図である。

[0045] 電源部62は、駆動梁3-i (i=1~4)上の圧電素子5-i-a、5-i-cに式(1)の交流電圧を印加する。i=1~4である。

[0046]
$$V_i(1) = V_s \times \sin(\omega t + 90^\circ \times (i-1)) \dots (1)$$

ここで、 $\omega = 2\pi \times F0$ である。F0は、固有振動モード2の共振周波数および固有振動モード3の共振周波数である。tは時間である。

[0047] 電源部62は、駆動梁3-i (i=1~4)上の圧電素子5-i-b、5-i-dに式(2)の交流電圧を印加する。i=1~4である。

[0048]
$$V_i(2) = -V_i(1) = -V_s \times \sin(\omega t + 90^\circ \times (i-1)) \dots (2)$$

式(1)の $V_i(1)$ と式(2)の $V_i(2)$ は符号が反転しているので、式(1)の $V_i(1)$ の位相と式(2)の $V_i(2)$ の位相は、180°相違する。

[0049] 図9は、圧電素子5-i-a, c (i=1~4)に式(1)の交流電圧を印加し、かつ圧電素子5-i-b, dに式(2)の交流電圧を印加したときのミラー部1の変位の時間変化を表わす図である。図9に示すように、時刻の進行($t_1 \rightarrow t_2 \rightarrow t_3 \rightarrow t_4$)とともに、ミラー部1のZ軸方向に偏向

する部分がZ軸を中心に回転する。このような変位をミラー部1の全周回転変位という。言い換えると、ミラー部1の全周回転変位とは、ミラー部1の偏向角 θ を一定に維持しつつ、ミラー部1の中心軸が一回転するようなミラー部1の変位である。

[0050] 再び、図1を参照して、検出用圧電素子6-iは、支持梁2-iと駆動梁3-iの連結部に配置される。連結部に配置したのは、連結部は、応力が高いためである。検出用圧電素子6-iには、図示しないが、上側電極、および下側電極が接続される。検出用圧電素子6-iは、ミラー部1の偏向角 θ に比例した電荷を発生する。

[0051] 制御部61は、検出用圧電素子6-iに発生する電荷をモニタすることによって、ミラー部1の偏向角 θ を計測する。制御部61は、式(1)および(2)の振幅 V_s の値を調整することによって偏向角 θ を制御することできる。

[0052] 次に、上述した本実施の形態における第1の電圧印加方式Aと、その他の第2、第3の電圧印加方式B、Cによるミラー部1の駆動特性の相違について説明する。

[0053] 図10は、第1の電圧印加方式Aを説明するための図である。第1の電圧印加方式Aでは、圧電素子5-i-aと圧電素子5-i-cに式(1)の電圧が与えられ、圧電素子5-i-bと圧電素子5-i-dに式(2)の電圧が与えられる。

[0054] 図11は、第2の電圧印加方式Bを説明するための図である。第2の電圧印加方式Bでは、圧電素子5-i-aと圧電素子5-i-bに式(1)の電圧が与えられ、圧電素子5-i-cと圧電素子5-i-dに式(2)の電圧が与えられる。

[0055] 図12は、第3の電圧印加方式Cを説明するための図である。第3の電圧印加方式Cでは、圧電素子5-i-aと圧電素子5-i-dに式(1)の電圧が与えられ、圧電素子5-i-bと圧電素子5-i-cに式(2)の電圧が与えられる。

[0056] 図13は、第1の電圧印加方式A、第2の電圧印加方式B、第3の電圧印加方式Cにおけるミラー部1の駆動特性を表わす図である。

[0057] 図13の縦軸は、ミラー部1の偏向角 θ である。図13に示すように、第1の電圧印加方式Aにおいて、偏向角 θ が最も大きくなる。

[0058] 図14は、光走査装置100を用いたレーザ距離センサの概略図である。

レーザ距離センサは、センシング部99と、光学系91と、光走査装置100とを備える。センシング部99は、距離情報算出器93と、駆動回路96と、レーザダイオードLDと、フォトダイオードPDと、受信回路95とを備える。

[0059] 距離情報算出器93は、対象物92までの距離を算出するために、駆動回路96に射出光の出力を指示する。

[0060] 駆動回路96がレーザダイオードLDを駆動する。レーザダイオードLDで射出した送信光は光学系91が集光されて、ミラー部1に照射される。ミラー部1で反射された光は、光学系91で反射して、対象物92に送られる。

[0061] 対象物92で散乱された光は、再びミラー部1へ向かう。ミラー部1で反射された光は、光学系91で集光されてフォトダイオードPDへ送られる。フォトダイオードPDは、検出した受信光を電圧に変換して、受信回路95に送る。受信回路95は、フォトダイオードPDからの電圧の変化に基づいて、受信光が入力されたことを距離情報算出器93に通知する。

[0062] 距離情報算出器93は、射出光を出力した時刻と、受信光が入力された時刻との差に基づいて、対象物92までの距離を算出する。

[0063] 次に、光走査装置100の製造法を説明する。

図15(a)～(i)は、製造工程における光走査装置100の断面図である。

[0064] ミラー部1などは、半導体基板の一種であるSOI基板の結晶面(100)を利用して形成される。

[0065] 図15(a)において、単結晶シリコン支持層101と単結晶シリコン活

性層 102 がシリコン酸化膜 103 を挟む SOI 基板 10 を使用する。SOI 基板の結晶面 (100) の機械物性は 4 回対称である。

[0066] 図 15 (b) において、SOI 基板 10 の表面および裏面に熱酸化等により絶縁膜 11 を形成する。

[0067] 図 15 (c) において、SOI 基板 10 の表面側に Ti/Pt 等の下層電極 12 をスパッタ等で形成し、その上にチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) 等の圧電薄膜 13 をスパッタもしくはゾルゲル法等で形成後、その上に Ti/Pt 等の上層電極 14 をスパッタ等で形成する。

[0068] 図 15 (d) において、下層電極 12、圧電薄膜 13、および上層電極 14 をパターンニングする。圧電薄膜 13 は、ミラー部 1 の駆動用の圧電素子 5-i-a~d (i=1~4) 及び検出用圧電素子 6-i となる。下層電極 12 は圧電薄膜 13 の下層電極だけでなく、配線用途にも用いる。図 15 (d) の左側の下層電極 12 は配線電極である。

[0069] 図 15 (e) において、酸化膜等の絶縁膜 15 を形成し、パターンニングする。絶縁膜 15 は圧電薄膜 13 の保護及び電極間短絡防止膜であり、電極取り出しのため下層電極 12 及び上層電極 14 とのコンタクトホールを形成する。

[0070] 図 15 (f) において、配線電極 16 及びミラー面 1B を形成する。配線電極 16 は Ti/Pd/Au 等の低抵抗金属であり、ミラー面 1B の表面が Au 等の高反射率材料である。配線電極 16 とミラー面 1B は同一材料でも構わない。また、ミラー面 1B は高反射率誘電体多層膜などを表面に形成してもよい。

[0071] 図 15 (g) において、シリコン活性層 102 を酸化膜 103 をエッチングストップ層としてディープエッチング (Deep Reactive Ion Etching : DRIE) で加工する。このエッチングで駆動梁 3-1~3-4、支持梁 2-1~2-4 等の光走査装置 100 の主要構成部が形成される。

[0072] 図 15 (h) において、シリコン支持層 101 を裏面より DRIE で加工し、シリコン酸化膜 103 の不要部を除去する。この加工でミラー部 1 などが形成され、光走査装置のウエハプロセスは完了する。

[0073] 図15(i)において、チップを分離後、パッケージ17にダイボンディングし、ワイヤボンディングなどにより外部との電気接続を行う。なお、パッケージ17は必要に応じて偏向角 θ を大きくできるように減圧雰囲気で封止するようにしてもよい。本実施の形態の光走査装置の製造法は特殊な工程を含まないため、通常のシリコンMEMS製造設備と圧電素子製造設備によって実施可能である。

[0074] 以上のように、実施の形態2では、支持梁周りの回転変位共振周波数によって、4本の駆動梁を90度の位相差で駆動することによって、ミラー部1は大きな偏向角（傾斜角）で全周回転変位することができる。

[0075] また、駆動梁を外周に沿った構造とすることで、駆動梁の専有面積を小さくすることができる。駆動梁をU字型に折り曲げた形状とすることで、折り曲げ構造の無い駆動梁と比較して、ミラー部1の変位量が同じであれば、駆動梁にかかる応力および駆動源となる圧電素子にかかる応力を小さくできる。その結果、偏向角を大きくできる。さらに、駆動梁をU字形状とすることによって、ミラー面内方向の駆動梁バネ定数を小さくできるため、温度変化などで駆動梁の固定部の位置がずれてもミラー面の位置ずれおよび偏向角の変化を小さくできる。

[0076] なお、偏向角 θ は空気の粘性の影響を受けるため、必要な偏向角 θ に応じて光走査装置全体を減圧雰囲気で密封パッケージすればよい。

[0077] 従来の光走査装置では、面内走査範囲の制限により、光走査装置の周辺の一部のみが計測対象となるが、本実施の形態の光走査装置では全周回転変位と偏向角の走査を組み合わせることによって、Z軸を中心として360度の全周囲の距離情報の収集が可能となる。たとえば、偏向角 θ を 10 ± 5 度で走査することによって、Z軸回り360度全周の偏向角 θ が 10 ± 5 度のミラー面1Bに入射する光を受光できる。

[0078] （付記）

実施の形態2の光走査装置100は、以下の特徴を備える。

[0079] （2）光走査装置100は、光を反射するミラー面（1B）を有するミラ

一部（１）と、ミラー部（１）を揺動可能に支持する N 個（ $N \geq 3$ ）の支持梁（２－１～２－４）と、各々が、 N 個の支持梁（２－１～２－４）とそれぞれ接続される N 個の駆動梁（３－１～３－４）とを備える。 N 個の駆動梁（３－１～３－４）は、ミラー部１の周囲を取り囲むように配置される。 N 個の駆動梁（３－１～３－４）の各々の両端のうち支持梁（２－１～２－４）と接続していない方の端は固定される。 N 個の駆動梁（３－１～３－４）の各々は１回以上折り曲げられた形状を有する。光走査装置１００は、さらに、 N 個の駆動梁（３－１～３－４）上に固着された駆動用の複数個の圧電素子（５－１－ $a \sim d$ 、５－２－ $a \sim d$ 、５－３－ $a \sim d$ 、５－４－ $a \sim d$ ）と、複数個の圧電素子（５－１－ $a \sim d$ 、５－２－ $a \sim d$ 、５－３－ $a \sim d$ 、５－４－ $a \sim d$ ）に、交流電圧を印加する電源部（６２）とを備える。 N 個の支持梁（２－１～２－４）は、ミラー部（１）の中心軸に対して、（ $360^\circ / N$ ）回転対称に配置される。ミラー部（１）は、第１軸（ X 軸）周りに回転変位する第１の固有振動モード（固有振動モード２）と、第２軸（ Y 軸）周りに回転変位する第２の固有振動モード（固有振動モード３）とを有する。第１軸（ X 軸）および第２軸（ Y 軸）は、ミラー面（１Ｂ）に平行である。第１軸（ X 軸）の方向は、ミラー部（１）の中心と、ミラー部（１）と N 個の支持梁（２－１～２－４）のうちの１つとの接続箇所とを結ぶ直線の方向である。第２軸（ Y 軸）は、第１軸（ X 軸）と直交する。第１の固有振動モード（固有振動モード２）の共振周波数と第２の固有振動モード（固有振動モード３）の共振周波数とがともに第１の周波数（ F_0 ）である。電源部（６２）は、第１の周波数（ F_0 ）の交流電圧を印加する。

[0080] このような構成によって、ミラー部（１）を大きな偏向角で全周回転変位させることができる。

[0081] （３） N 個の駆動梁の各々（３－ i ）を構成する部分のうち、ミラー部（１）の周方向と同一方向に延在する複数の周方向部分のそれぞれの上に２つの圧電素子（５－ i － a と５－ i － b 、または５－ i － c と５－ i － d ）が配置される。

[0082] これによって、複数の圧電素子の個数を最低限とすることができ、隣接する圧電素子の間に設けられる間隔の個数も最小限にすることができる。その結果、駆動梁の上に固着できる圧電素子の面積を大きくすることができるので、ミラー部（１）の駆動力を大きくすることができる。

[0083] （４） N 個の駆動梁の各々（３－ i ）の上に配置される複数の圧電素子（５－ i － $a \sim d$ ）の誘電分極方向は、同一である。電源部（６２）は、複数の周方向部分のそれぞれの上に配置される２つの圧電素子（５－ i － a と５－ i － b 、および５－ i － c と５－ i － d ）に逆位相の電圧を印加し、折り曲げ部分を介して隣接する２つの圧電素子（５－ i － b と５－ i － c ）に互いに逆位相の交流電圧を印加する。

[0084] このような構成によって、ミラー部（１）が全周回転変位するように、複数の圧電素子（５－ i － $a \sim d$ ）へ交流電圧を供給することができる。

[0085] （５）制御部（６１）は、電源部（６２）から出力される交流電圧の振幅を制御することによって、ミラー部（１）の偏向角（ θ ）を走査する。

[0086] このような構成によって、対象物の３次元情報を取得することができる。

（６）ミラー部（１）は、半導体基板の結晶面（１００）を利用して形成されたものである。 N は、 $4 \times n$ （ n は自然数）である。ミラー面（１Ｂ）の形状は、円形である。

[0087] このような構成によって、複数の駆動梁の機械特性を揃えることができる。

実施の形態３．

図１６は、実施の形態３における光走査装置２００の駆動梁３－ i （ $i = 1 \sim 4$ ）上の圧電素子５－ i － $a \sim d$ に印加する交流電圧を説明するための図である。

[0088] 実施の形態３の光走査装置２００が、実施の形態２の光走査装置１００と相違する点は、以下である。

[0089] 実施の形態２では、圧電素子５－ i － a, b, c, d （ $i = 1 \sim 4$ ）の下側電極を接地し、圧電素子５－ i － a, b, c, d の上側電極に電圧を印加

することによって、16個の圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ の誘電分極方向は、すべて同一となるようにした。

[0090] これに対して、本実施の形態では、圧電素子 $5-i-a, c$ ($i=1\sim 4$)の下側電極を接地し、圧電素子 $5-i-a, c$ の上側電極に電圧を印加することによって、8個の圧電素子 $5-i-a, c$ の誘電分極方向を第1の方向とし、圧電素子 $5-i-b, d$ の上側電極を接地し、圧電素子 $5-i-b, d$ の下側電極に電圧を印加することによって、8個の圧電素子 $5-i-b, d$ の誘電分極方向を第1の方向と逆の第2の方向とする。

[0091] 実施の形態2では、電源部62は、駆動梁 $3-i$ ($i=1\sim 4$)上の8個の圧電素子 $5-i-a, 5-i-c$ に、式(1)の交流電圧を印加し、駆動梁 $3-i$ 上の8個の圧電素子 $5-i-b, 5-i-d$ に、式(2)の交流電圧を印加した。

[0092] これに対して、実施の形態3では、電源部62は、駆動梁 $3-i$ ($i=1\sim 4$)上の16個の圧電素子 $5-i-a, 5-i-b, 5-i-c, 5-i-c$ に、式(1)の交流電圧を印加する。

[0093] 実施の形態3でも、実施の形態1と同様の効果が得られる。

(付記)

実施の形態3の光走査装置200は、以下の特徴を備える。

[0094] (7) 複数の周方向部分のそれぞれの上に配置される2つの圧電素子($5-i-a$ と $5-i-b$ 、および $5-i-c$ と $5-i-d$)の誘電分極方向は、逆である。折り曲げ部分を介して隣接する2つの圧電素子($5-i-b$ と $5-i-c$)の誘電分極方向は、逆である。電源部(62)は、N個の駆動梁の各々($3-i$)の上に配置される複数の圧電素子($5-i-a\sim d$)に同一位相の交流電圧を印加する。

[0095] このような構成によって、隣接する圧電素子の誘電分極方向が逆方向であっても、ミラー部(1)が全周回転変位するように、複数の圧電素子($5-i-a\sim d$)を駆動することができる。

[0096] 実施の形態4.

図 1 7 は、実施の形態 4 の光走査装置 3 0 0 の主要部の表面を表わす図である。

[0097] 実施の形態 4 の光走査装置 4 0 0 が、実施の形態 2 の光走査装置 1 0 0 と相違する点は、以下である。

[0098] 図 1 7 を参照して、駆動梁 3 - 1 ~ 3 - 4 は、ミラ一部 1 の周囲を取り囲むように配置される。駆動梁 3 - 1 ~ 3 - 4 の形状および大きさは、同一である。駆動梁 3 - 1 ~ 3 - 4 は、ミラ一部 1 の中心軸に対して 9 0 ° 回転対称に配置される。

[0099] 駆動梁 3 - i (i = 1 ~ 4) の一端は、支持梁 2 - i と接続し、駆動梁 3 - i の他端は、固定部 4 - i に接続されている。駆動梁 3 - i は、2 回だけ 1 8 0 ° で折り曲げられた形状を有する。

[0100] 駆動梁 3 - i (i = 1 ~ 4) は、ミラ一部 1 の周方向と同一方向に延在する 3 つの周方向部分と、折り曲げ部分とを有する。言い換えると、駆動梁 3 - 1 ~ 3 - 4 は、U 字部が交互に反対方向を向くように蛇行して形成されている連続 U 字形状を有する。ただし、U 字形状の長手方向の部分は、ミラ一部 1 の円周方向と同方向に湾曲している。

[0101] 圧電素子 5 - i - a , b , c , d , e , f (i = 1 ~ 4) は、駆動梁 3 - i の上に固着される。圧電素子 5 - i - a , b , c , d , e , f は、同一の形状および大きさを有する。

[0102] 駆動梁 3 - i (i = 1 ~ 4) を構成する部分のうち、ミラ一部 1 の周方向と同一方向に延在する 3 つの周方向部分のうちの第 1 の部分に圧電素子 5 - i - a , b が配置され、第 2 の部分に圧電素子 5 - i - c , d が配置され、第 3 の部分に圧電素子 5 - i - e , f が配置される。第 1 の部分がミラ一部 1 に最も近い位置にあり、第 3 の部分がミラ一部 1 に最も遠い位置にある。

[0103] 圧電素子 5 - i - a (i = 1 ~ 4) と圧電素子 5 - i - b とは間隔を空けて配置される。圧電素子 5 - i - c と圧電素子 5 - i - d とは間隔を空けて配置される。圧電素子 5 - i - e と圧電素子 5 - i - f とは間隔を空けて配置される。圧電素子 5 - i - b と圧電素子 5 - i - c とは、駆動梁 3 - i の

第1の折り曲げ部分を介して隣接する。圧電素子5-i-dと圧電素子5-i-eとは、駆動梁3-iの第2の折り曲げ部分を介して隣接する。圧電素子5-i-aが、支持梁2-iと接続される駆動梁3-iの一端に最も近い位置に配置される。圧電素子5-i-fが、固定部4-iと接続される駆動梁3-iの他端に最も近い位置に配置される。

[0104] 圧電素子5-i-a, b, c, d, e, f ($i = 1 \sim 4$) には、駆動電圧を印加するために図示しない上側電極、および下側電極が接続される。圧電素子5-i-a, b, c, d, e, fの誘電分極方向は、同一である。

[0105] 電源部62は、駆動梁3-i ($i = 1 \sim 4$) 上の圧電素子5-i-a、5-i-c、5-i-eに式(1)の交流電圧を印加し、駆動梁3-i上の圧電素子5-i-b、5-i-d、5-i-fに式(2)の交流電圧を印加する。

[0106] 以上のように、本実施の形態では、駆動梁3-iの折り曲げ回数を2回とすることによって、駆動梁3-iによる駆動力が大きくなり、その結果、ミラー部1の偏向角 θ が大きくなる。

[0107] なお、上記実施の形態では、駆動梁3-i ($i = 1 \sim 4$) は、2回だけ 180° で折り曲げられた形状を有するものとしたが、3回以上 180° で折り曲げられた形状を有するものとしてもよい。駆動梁3-iの折り曲げ回数が多くすると、駆動梁3-iによる駆動力が大きくなり、その結果、ミラー部1の偏向角が大きくなるが、共振周波数が小さくなる。したがって、必要な共振周波数と必要な偏向角に応じて、駆動梁3-iの折り曲げ回数を調整すればよい。

[0108] 実施の形態5.

図18は、実施の形態5の光走査装置400の主要部の表面を表わす図である。

[0109] 実施の形態5の光走査装置400が、実施の形態2の光走査装置100と相違する点は、以下である。

[0110] 図18を参照して、ミラー部1は、半導体基板の一種であるSOI基板の

結晶面（ $1\ 1\ 1$ ）を利用して形成されたものである。SOI基板の結晶面（ $1\ 1\ 1$ ）の機械物性は、3回対称である。

- [0111] 支持梁2-1～2-3は、シリコンミラー部1Cを揺動可能に支持する。支持梁2-1～2-3は、同一の形状および大きさを有する。支持梁2-1～2-3は、ミラー部1の中心軸（Z軸）に対して 120° 回転対称に配置される。
- [0112] 駆動梁3-1～3-3は、ミラー部1の周囲を取り囲むように配置される。駆動梁3-1～3-3の形状および大きさは、同一である。駆動梁3-1～3-3は、ミラー部1の中心軸に対して 120° 回転対称に配置される。
- [0113] 駆動梁3-i（ $i=1\sim3$ ）の一端は、支持梁2-iと接続し、駆動梁3-iの他端は、固定部4-iに接続されている。駆動梁3-iは、1回だけ 180° で折り曲げられた形状を有する。駆動梁3-iは、ミラー部1の周方向と同一方向に延在する2つの周方向部分と、折り曲げ部分とを有する。
- [0114] 圧電素子5-i-a, b, c, d（ $i=1\sim3$ ）は、駆動梁3-iの上に固着される。圧電素子5-i-a, b, c, dは、同一の形状および大きさを有する。
- [0115] 駆動梁3-i（ $i=1\sim3$ ）を構成する部分のうち、ミラー部1の周方向と同一方向に延在する2つの周方向部分のうちの第1の部分に圧電素子5-i-a, bが配置され、第2の部分に圧電素子5-i-c, dが配置される。圧電素子5-i-aと圧電素子5-i-bとは間隔を空けて配置される。圧電素子5-i-cと圧電素子5-i-dとは間隔を空けて配置される。圧電素子5-i-bと圧電素子5-i-cとは、駆動梁3-iの折り曲げ部分を介して隣接する。圧電素子5-i-aが、支持梁2-iと接続される駆動梁3-iの一端に最も近い位置に配置される。圧電素子5-i-dが、固定部4-iと接続される駆動梁3-iの他端に最も近い位置に配置される。
- [0116] 圧電素子5-i-a, b, c, d（ $i=1\sim3$ ）には、駆動電圧を印加するために上側電極、および下側電極が接続される。圧電素子5-i-a, b, c, dの誘電分極方向は、同一である。

[0117] 固有振動モード2の回転軸である第1軸は、ミラー面1Bに平行である。第1軸の方向は、ミラー部1の中心と、ミラー部1と支持梁2-1との接続箇所とを結ぶ直線の方向である。固有振動モード3の回転軸である第2軸は、ミラー面1Bに平行であり、第1軸に直交する。図18において、第1軸はX軸であり、第2軸はY軸である。

[0118] 電源部62は、駆動梁3-i上の圧電素子5-i-a、5-i-cに式(3)の交流電圧を印加する。i=1~3である。

$$[0119] \quad V_i(1) = V_s \times \sin(\omega t + 120^\circ \times (i-1)) \cdots (3)$$

ここで、 $\omega = 2\pi \times F_0$ である。F0は、固有振動モード2の共振周波数および固有振動モード3の共振周波数である。tは時間である。

[0120] 電源部62は、駆動梁3-i上の圧電素子5-i-b、5-i-dに式(4)の交流電圧を印加する。i=1~3である。

$$[0121] \quad V_i(2) = -V_i(1) = -V_s \times \sin(\omega t + 120^\circ \times (i-1)) \cdots (4)$$

式(3)の $V_i(1)$ と式(4)の $V_i(2)$ は符号が反転しているので、式(3)の $V_i(1)$ の位相と式(4)の $V_i(2)$ の位相は、 180° 相違する。

[0122] 本実施の形態の光走査装置では、駆動梁の数が実施の形態2よりも少ないため、電源部62において生成する駆動電圧の数を減らすことができる。その結果、電源部62の構成を簡易化できる。またミラー部1を変位させる支持点を少なくなるので、偏向角を容易に大きくすることができる。

[0123] 本実施の形態では、駆動梁の個数は3個としたが、これに限定するものではなく、N個であってもよい。また、3個の駆動梁3-1~3-3が反時計周りに順序が付けられているものとしたが、これに限定するものではなく、時計周りに順序が付けられているものとしてもよい。すなわち、N個の駆動梁が時計周り、または半時計周りに順序が付けられているものとしてもよい。

[0124] 駆動梁の個数がN個の場合、電源部62は、駆動梁3-i上の圧電素子5

— i — a 、5 — i — c に式 (3 A) の交流電圧を印加する。 $i = 1 \sim N$ である。

[0125] $V_i(1) = V_s \times \sin(\omega t + (360^\circ / N) \times (i - 1)) \dots (3 A)$

ここで、 $\omega = 2\pi \times F_0$ である。 F_0 は、固有振動モード 2 の共振周波数および固有振動モード 3 の共振周波数である。 t は時間である。

[0126] 電源部 62 は、駆動梁 3 — i 上の圧電素子 5 — i — b 、5 — i — d に式 (4 A) の交流電圧を印加する。 $i = 1 \sim N$ である。

[0127] $V_i(2) = -V_i(1) = -V_s \times \sin(\omega t + (360^\circ / N) \times (i - 1)) \dots (4 A)$

式 (3 A) の $V_i(1)$ と式 (4 A) の $V_i(2)$ は符号が反転しているので、式 (3 A) の $V_i(1)$ の位相と式 (4 A) の $V_i(2)$ の位相は、 180° 相違する。

[0128] したがって、この場合、第 i 番目の駆動梁 (3 — i) の第 1 の圧電素子 (5 — i — a 、 b 、 c または d) に与える交流電圧の位相は、第 ($i - 1$) 番目の駆動梁 (3 — ($i - 1$)) の第 2 の圧電素子 (5 — ($i - 1$) — a 、 b 、 c 、または d) に与える電圧の位相よりも、 $360^\circ / N$ だけ大きくなる。

[0129] なお、本実施の形態では、 $N = 3 \times 1$ とし、ミラー部 1 の表面 (ミラー面 1 B) の形状を円形としたが、これに限定するものではない。 $N = 3 \times n$ (n は自然数) として、ミラー部 1 の表面 (ミラー面 1 B) の形状を円形としてもよい。

[0130] (付記)

実施の形態 5 の光走査装置 400 は、以下の特徴を備える。

[0131] (8) N 個の駆動梁 (3 — 1 ~ 3 — 3) は、時計回りにまたは反時計回りに、順序が付けられている。電源部 (62) が第 i 番目の駆動梁 (たとえば 3 — 2) の第 1 の圧電素子 (5 — 2 — a 、 b 、 c または d) に与える交流電圧の位相は、第 ($i - 1$) 番目の駆動梁 (たとえば 3 — 1) の第 2 の圧電素子 (5 — 1 — a 、 b 、 c 、または d) に与える電圧の位相よりも、 $(360^\circ / N)$

° / N) だけ大きい。第 (i - 1) 番目の駆動梁 (3 - 1) 内の第 2 の圧電素子 (5 - 1 - a、b、c または d) の位置は、第 i 番目の駆動梁 (3 - 2) 内の第 1 の圧電素子 (5 - 2 - a、b、c または d) の位置と同じである。

[0132] このような構成によって、ミラー部 1 が滑らかに全周回転変位できるように、N 個の駆動梁の複数の圧電素子に交流電圧を供給することができる。

[0133] (9) ミラー部 (1) は、半導体基板の結晶面 (1 1 1) を利用して形成されたものである。N は、 $3 \times n$ (n は自然数) である。ミラー面 (1 B) の形状は、円形である。

[0134] このような構成によって、機械特性が揃った駆動梁を有する光走査装置を実現できる。

実施の形態 6.

図 19 は、実施の形態 6 の光走査装置 500 の主要部の表面を表わす図である。

[0135] 実施の形態 6 の光走査装置 500 が、実施の形態 2 の光走査装置 100 と相違する点は、以下である。

[0136] 図 19 を参照して、ミラー部 501 は、実施の形態 2 と同様に、半導体基板の一種である SOI 基板の結晶面 (1 0 0) を利用して形成されたものである。

[0137] ミラー部 501 の表面 (ミラー面 501 B) および裏面は、正方形である。

支持梁 2 - 1 ~ 2 - 4 は、シリコンミラー部 501 C を揺動可能に支持する。支持梁 2 - 1 ~ 2 - 4 は、同一の形状および大きさを有する。支持梁 2 - 1 ~ 2 - 4 は、ミラー部 501 の中心軸 (Z 軸) に対して 90° 回転対称に配置される。

[0138] 駆動梁 3 - 1 ~ 3 - 4 は、ミラー部 501 の周囲を取り囲むように配置される。駆動梁 3 - 1 ~ 3 - 4 の形状および大きさは、同一である。駆動梁 3 - 1 ~ 3 - 4 は、ミラー部 501 の中心軸に対して 90° 回転対称に配置さ

れる。

[0139] 駆動梁 3-i ($i = 1 \sim 4$) の一端は、支持梁 2-i と接続し、駆動梁 3-i の他端は、固定部 4-i に接続されている。駆動梁 3-i は、1 回だけ 180° で折り曲げられた形状を有する。駆動梁 3-i は、ミラ一部 501 の周方向と同一方向に延在する 2 つの周方向部分と、折り曲げ部分とを有する。

[0140] 圧電素子 5-i-a, b, c, d ($i = 1 \sim 4$) は、駆動梁 3-i の上に固着される。圧電素子 5-i-a, b, c, d は、同一の形状および大きさを有する。

[0141] 駆動梁 3-i ($i = 1 \sim 4$) を構成する部分のうち、ミラ一部 501 の周方向と同一方向に延在する 2 つの周方向部分のうちの第 1 の部分に圧電素子 5-i-a, b が配置され、第 2 の部分に圧電素子 5-i-c, d が配置される。圧電素子 5-i-a と圧電素子 5-i-b とは間隔を空けて配置される。圧電素子 5-i-c と圧電素子 5-i-d とは間隔を空けて配置される。圧電素子 5-i-b と圧電素子 5-i-c とは、駆動梁 3-i の折り曲げ部分を介して隣接する。圧電素子 5-i-a が、支持梁 2-i と接続される駆動梁 3-i の一端に最も近い位置に配置される。圧電素子 5-i-d が、固定部 4-i と接続される駆動梁 3-i の他端に最も近い位置に配置される。

[0142] 圧電素子 5-i-a, b, c, d ($i = 1 \sim 4$) には、駆動電圧を印加するために上側電極、および下側電極が接続される。圧電素子 5-i-a, b, c, d の誘電分極方向は、同一である。

[0143] 固有振動モード 2 の回転軸である第 1 軸は、ミラ一面 501B に平行である。第 1 軸の方向は、ミラ一部 501 の中心と、ミラ一部 501 と支持梁 502-1 との接続箇所とを結ぶ直線の方向である。固有振動モード 3 の回転軸である第 2 軸は、ミラ一面 501B に平行であり、第 1 軸に直交する。図 19 において、第 1 軸は X 軸であり、第 2 軸は Y 軸である。

[0144] 電源部 62 は、駆動梁 3-i 上の圧電素子 5-i-a、5-i-c に式 (

5) の交流電圧を印加する。 $i = 1 \sim 4$ である。

$$[0145] \quad V_i(1) = V_s \times \sin(\omega t + 90^\circ \times (i - 1)) \cdots (5)$$

ここで、 $\omega = 2\pi \times F_0$ である。 F_0 は、固有振動モード 2 の共振周波数および固有振動モード 3 の共振周波数である。 t は時間である。

[0146] 電源部 62 は、駆動梁 3-i 上の圧電素子 5-i-b、5-i-d に式 (6) の交流電圧を印加する。 $i = 1 \sim 4$ である。

$$[0147] \quad V_i(2) = -V_i(1) = -V_s \times \sin(\omega t + 90^\circ \times (i - 1)) \cdots (6)$$

式 (5) の $V_i(1)$ と式 (6) の $V_i(2)$ は符号が反転しているので、式 (5) の $V_i(1)$ の位相と式 (6) の $V_i(2)$ の位相は、 180° 相違する。

[0148] なお、本実施の形態では、 $N = 4 \times 1$ とし、ミラー部 501 の表面（ミラー面 501B）の形状を正（ 4×1 ）角形としたが、これに限定するものではない。 $N = 4 \times n$ （ n は自然数）として、ミラー部 501 の表面（ミラー面 501B）の形状を正（ $4 \times n$ ）形としてもよい。

[0149] （付記）

実施の形態 6 の光走査装置 500 は、以下の特徴を備える。

[0150] (10) ミラー部 (1) は、半導体基板の結晶面 (100) を利用して形成されたものである。 N は、 $4 \times n$ （ n は自然数）である。ミラー面 (501B) の形状は、正（ $4 \times n$ ）角形である。

[0151] このような構成によって、複数の駆動梁の機械特性を揃えることができる。

実施の形態 7.

図 20 は、実施の形態 7 の光走査装置 600 の主要部の表面を表わす図である。

[0152] ミラー部 601 は、半導体基板の一種である SOI 基板の結晶面 (111) を利用して形成されたものである。SOI 基板の結晶面 (111) の機械物性は、3 回対称である。

[0153] ミラー部601の表面（ミラー面601B）および裏面は、正三角形である。

支持梁2-1～2-3は、シリコンミラー部601Cを揺動可能に支持する。支持梁2-1～2-3は、同一の形状および大きさを有する。支持梁2-1～2-3は、ミラー部601の中心軸（Z軸）に対して120°回転対称に配置される。

[0154] 駆動梁3-1～3-3は、ミラー部601の周囲を取り囲むように配置される。駆動梁3-1～3-3の形状および大きさは、同一である。駆動梁3-1～3-3は、ミラー部601の中心軸に対して120°回転対称に配置される。

[0155] 駆動梁3-i（i=1～3）の一端は、支持梁2-iと接続し、駆動梁3-iの他端は、固定部4-iに接続されている。駆動梁3-iは、1回だけ180°で折り曲げられた形状を有する。駆動梁3-iは、ミラー部601の周方向と同一方向に延在する2つの周方向部分と、折り曲げ部分とを有する。

[0156] 圧電素子5-i-a, b, c, d（i=1～3）は、駆動梁3-iの上に固着される。圧電素子5-i-a, b, c, dは、同一の形状および大きさを有する。駆動梁3-iを構成する部分のうち、ミラー部601の周方向と同一方向に延在する2つの周方向部分のうちの第1の部分に圧電素子5-i-a, bが配置され、第2の部分に圧電素子5-i-c, dが配置される。圧電素子5-i-aと圧電素子5-i-bとは間隔を空けて配置される。圧電素子5-i-cと圧電素子5-i-dとは間隔を空けて配置される。圧電素子5-i-bと圧電素子5-i-cとは、駆動梁3-iの折り曲げ部分を介して隣接する。圧電素子5-i-aが、支持梁2-iと接続している駆動梁3-iの一端に最も近い位置に配置される。圧電素子5-i-dが、固定部4-iと接続している駆動梁3-iの他端に最も近い位置に配置される。

[0157] 圧電素子5-i-a, b, c, d（i=1～3）には、駆動電圧を印加するために上側電極、および下側電極が接続される。圧電素子5-i-a, b

， c ， d の誘電分極方向は、同一である。

[0158] 固有振動モード2の回転軸である第1軸は、ミラー面601Bに平行である。第1軸の方向は、ミラー部601の中心と、ミラー部601と支持梁602-2との接続箇所とを結ぶ直線の方向である。固有振動モード3の回転軸である第2軸は、ミラー面601Bに平行であり、第1軸に直交する。図20において、第1軸はY軸であり、第2軸はX軸である。

[0159] 電源部62は、駆動梁3-i上の圧電素子5-i-a、5-i-cに式(7)の正弦波電圧を印加する。i=1~3である。

[0160]
$$V_i(1) = V_s \times \sin(\omega t + 120^\circ \times (i-1)) \dots (7)$$

ここで、 $\omega = 2\pi \times F_0$ である。ただし、 F_0 は、固有振動モード2の共振周波数および固有振動モード3の共振周波数である。tは時間である。

[0161] 電源部62は、駆動梁3-i上の圧電素子5-i-b、5-i-dに式(8)の正弦波電圧を印加する。i=1~3である。

[0162]
$$V_i(2) = -V_i(1) = -V_s \times \sin(\omega t + 120^\circ \times (i-1)) \dots (8)$$

式(7)の $V_i(1)$ と式(8)の $V_i(2)$ は符号が反転しているので、式(7)の $V_i(1)$ の位相と式(8)の $V_i(2)$ の位相は、 180° 相違する。

[0163] 本実施の形態では、 $N = 3 \times 1$ とし、ミラー部601の表面（ミラー面601B）の形状を正（ 3×1 ）角形としたが、これに限定するものではない。 $N = 3 \times n$ （nは自然数）として、ミラー部601の表面（ミラー面601B）の形状を正（ $3 \times n$ ）形としてもよい。

[0164] 本実施の形態では、3個の支持梁2-1~2-3は、ミラー部601の中心軸に対して、 $(360^\circ / 3)$ 回転対称に配置され、3個の駆動梁3-1~3-3は、ミラー部601の中心軸に対して、 $(360^\circ / 3)$ 回転対称に配置され、ミラー部601の形状は、ミラー部601の中心軸に対して、 $(360^\circ / 3)$ 回転対称としたが、これに限定されるものではない。N個の支持梁は、ミラー部601の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称

に配置され、 N 個の駆動梁は、ミラー部601の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置され、ミラー部601の形状は、ミラー部601の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称としてもよい。

[0165] (付記)

実施の形態7の光走査装置600は、以下の特徴を備える。

[0166] (11) ミラー部(601)は、半導体基板の結晶面(111)を利用して形成されたものである。 N は、 $3 \times n$ (n は自然数)である。ミラー面(601B)の形状は、正($3 \times n$)角形である。

[0167] このような構成によって、機械特性が揃った駆動梁を有する光走査装置を実現できる。

(12) N 個の支持梁(2-1~2-3)は、ミラー部(601)の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置される。 N 個の駆動梁(3-1~3-3)は、ミラー部(601)の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置される。ミラー部(601)の形状は、ミラー部(601)の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称である。

[0168] このような構成によって、第1の固有振動モード(固有振動モード2)の共振周波数と第2の固有振動モード(固有振動モード3)の共振周波数とを一致させることができる。その結果、ミラー部(1)を滑らかに全周回転変位させることができる。

[0169] 実施の形態8.

全周回転可能なMEMSミラーにおいて、回転変位が歪んで線形性が悪い場合に、取得した距離情報に誤差が発生するため、線形性の高い回転変位が必要となる。特許文献1-3に記載の装置は、ミラー変位の線形性を制御する機構を備えない。本実施の形態の光走査装置は、ミラー変位の線形性を制御する。

[0170] まず、全周回転変位の線形性について説明する。

ミラー部1の円周において、 Z 軸方向に最大変位した点の円周角 ϕ をミラー最大変位円周角 ϕ_m とする。圧電素子5-i-a, b, c, dに印加する

交流電圧の位相を印加電圧位相 Φ とする。

[0171] 図21は、3つのパターンの変位における印加電圧位相 Φ の変化に対するミラー最大変位円周角 ϕ_m の変化を表わす図である。

[0172] 図21において、横軸は印加電圧位相 Φ ($0^\circ \sim 360^\circ$ (1周期))を表わす。縦軸は、ミラー最大変位円周角 ϕ_m を表わす。印加電圧の角速度を ω とすると、 $\Phi = \omega t$ (t : 時間)となる。

[0173] プロット線Aは、実施の形態2のような全周回転変位する場合に測定されたサンプルデータをプロットした点を結ぶ線である。プロット線Aは、右下がりの直線となる。すなわち、印加電圧位相 Φ の増加とともにミラー最大変位円周角 ϕ_m が線形で減少する。線形性が高いため、ミラー部1が滑らかに回転変位していることを示している。これは、時間と共にミラー部1の円周上の最大変位する位置が等間隔で変わるためである。右下がりとは反時計方向に回転変位することを表わす。

[0174] プロット線Bは、蛇行した回転変位する場合に測定されたサンプルデータをプロットした点を結ぶ線である。プロット線Bは、直線から外れている。

[0175] プロット線Cは、回転変位ではなく、1軸周りの振動変位する場合に測定されたサンプルデータをプロットした点を結ぶ線である。プロット線Cは、右下がりとはならない。プロット線Cは、ミラー最大変位円周角 ϕ_m が $180^\circ \sim 360^\circ$ の範囲で変化するような変位を示している。

[0176] 図22は、図21のプロット線Bと、プロット線Bの近似直線を表わす図である。

ミラー部(1)の全周回転変位の線形性からのプロット線Bのずれを表わす量であるとして、回線線形性誤差を用いる。近似直線を式(9)で表わす。近似直線は、最小二乗法によって求めることができる。

[0177] $\Psi_b(\Phi) = a \times \Phi + b \cdots (9)$

$\Psi_m(\Phi)$ を実測値とする。ずれ量 $\Delta(\Phi)$ は、式(10)で表される。

[0178] $\Delta(\Phi) = a b s((\Psi_m(\Phi) - \Psi_b(\Phi)) / (360 \times a)) \cdots (10)$

ここで、 $a b s(s)$ は、 s の絶対値を表わす。

- [0179] つまり、ずれ量 $\Delta(\Phi)$ は、実測値と近似直線の差をミラー最大円周角 Ψ_m の1周期フルスケール($360 \times a$)で規格化したものである。図23は、プロット線Bの回転線形性誤差を表わす図である。
- [0180] ずれ量 $\Delta(\Phi)$ の最大値を回転線形性誤差と定義する。図23では、0以上、1以下の値であるずれ量 $\Delta(\Phi)$ を%に変換した値が示されている。図23の例では、回転線形性誤差は、8%(0.08)である。回転線形性誤差が0に近づくほど線形性が高く、滑らかな全周回転変位となる。なお、ずれ量 $\Delta(\Phi)$ の最大値を回転線形性誤差とする代わりに、ずれ量 $\Delta(\Phi)$ の平均値、二乗平均値などを回転線形性誤差としてもよい。
- [0181] 実施の形態2で示したように、本実施の形態の光走査装置は、小さな電圧で大きな変位を得るため、2つの固有振動モードにおける一致する共振周波数 F_0 の交流電圧を圧電素子 $5-i-a \sim d$ ($i=1 \sim 4$)に印加して、ミラー部1を全周回転変位させる。しかしながら、製造誤差などにより2つの固有振動モードの共振周波数に差が発生した場合、プロット線Bまたはプロット線Cのような変位となる。その結果、線形性の良い滑らかな全周回転変位ができなくなるという問題がある。
- [0182] 実施の形態8では、この問題を解決するために、出力電圧の振幅および初期位相をそれぞれ独立して調整できる複数の駆動電源を用いる。
- [0183] 図24は、実施の形態8の光走査装置700における圧電素子 $5-i-a \sim d$ ($i=1 \sim 4$)を駆動する電圧を説明するための図である。電源部62は、駆動梁 $3-i$ ($i=1 \sim 4$)の圧電素子 $5-i-a, b, c, d$ の駆動用に駆動電源 $20-i$ を備える。
- [0184] 駆動電源 $20-i$ ($i=1 \sim 4$)は、駆動梁 $3-i$ 上の4つの圧電素子 $5-i-a \sim d$ での中の $5-i-a, c$ に交流電圧を印加し、 $5-i-b, d$ に符号が反転した交流電圧を印加する。駆動電源 $20-i$ の交流電圧の位相及び振幅は、他の駆動電源と独立に制御可能である。駆動電源 $20-1 \sim 20-4$ の交流電圧の周波数は、同一であるが、共振周波数に応じた値に設定可能である。

[0185] 次に、固有振動モード2の共振周波数と、固有振動モード3の共振周波数とが一致しないときのミラー部1の変位について説明する。ミラー部1の対称性が崩れるなどの原因によって、固有振動モード2の共振周波数と固有振動モード3の共振周波数とが一致しない状態で、式(1)及び式(2)に示す交流電圧が印加されたとする。

[0186] 図25は、固有振動モード2の共振周波数 F_2 の交流電圧を印加したときの印加電圧位相 ϕ の変化に対するミラー最大変位円周角 ϕ_m の変化を表わす図である。図26は、固有振動モード3の共振周波数 F_3 の交流電圧を印加したときの印加電圧位相 ϕ とミラー最大変位円周角 ϕ_m との関係を表わす図である。図27は、固有振動モード2の共振周波数 F_2 と固有振動モード3の共振周波数 F_3 の中間周波数の交流電圧を印加したときの印加電圧位相 ϕ とミラー最大変位円周角 ϕ_m との関係を表わす図である。

[0187] 図25および図26に示すように、固有振動モード2の共振周波数 F_2 、固有振動モード3の共振周波数 F_3 では、印加電圧位相 ϕ とミラー最大変位円周角 ϕ_m の各プロットを結ぶ線(プロット線)は、右下がりの特性を有する。このプロット線は、直線にはならない。これは、蛇行した回転変位することを示している。

[0188] 図27に示すように、固有振動モード2の共振周波数 F_2 と固有振動モード3の共振周波数 F_3 の中間周波数 $(F_2 + F_3) / 2$ (以下、固有振動モード2と固有振動モード3の中間周波数 F_m)では、印加電圧位相 ϕ とミラー最大変位円周角 ϕ_m の各プロットを結ぶ線(プロット線)は、右上がりの特性を有する。このプロット線は、逆方向に回転変位することを示している。

[0189] 図28は、駆動電圧の周波数と回転線形性誤差との関係を表わす図である。

図28に示すように、固有振動モード2と固有振動モード3の中間周波数 F_m では、回転線形性誤差が非常に大きい。

[0190] 本実施の形態では、印加する交流電圧の周波数を固有振動モード2と固有

振動モード3の中間周波数 F_m とし、印加する交流電圧の初期位相および振幅を調整することによって、回転線形性誤差を減少させる。印加する交流電圧の周波数を固有振動モード2の共振周波数 F_2 、または固有振動モード3の共振周波数 F_3 として、印加する交流電圧の初期位相および振幅を調整することによって、回転線形性誤差を減少させることも可能であるが、ミラー部1の偏向角 θ を大きくすることができないという問題がある。

[0191] 固有振動モード2の共振周波数 F_2 を用いて、交流電圧の初期位相および振幅を調整して回転線形性誤差を減少させた場合、偏向角 θ は、固有振動モード3の変位で決まる。固有振動モード3のZ軸方向の変位は小さいため、偏向角 θ は小さくなる。固有振動モード3の共振周波数 F_3 を用いて、交流電圧の初期位相および振幅を調整して回転線形性誤差を減少させた場合は、偏向角 θ は、固有振動モード2の変位で決まる。固有振動モード2のZ軸方向の変位は小さいため、偏向角 θ は小さくなる。したがって、本実施の形態では、回転線形性誤差を小さくして、かつ偏向角 θ を最大とするために、固有振動モード2の共振周波数と固有振動モード3の共振周波数の中間周波数 F_m を用いる。

[0192] 駆動電源20-i ($i = 1 \sim 4$) は、以下の交流電圧 $V_i(1)$ 、 $V_i(2)$ を出力する。

$$\begin{aligned}
 [0193] \quad & V_1(1) = V_{s1} \times \sin(\omega t + \phi_1) \cdots (11) \\
 & V_1(2) = -V_{s1} \times \sin(\omega t + \phi_1) \cdots (12) \\
 & V_2(1) = V_{s2} \times \sin(\omega t + 90^\circ + \phi_2) \cdots (13) \\
 & V_2(2) = -V_{s2} \times \sin(\omega t + 90^\circ + \phi_2) \cdots (14) \\
 & V_3(1) = V_{s3} \times \sin(\omega t + 180^\circ + \phi_3) \cdots (15) \\
 & V_3(2) = -V_{s3} \times \sin(\omega t + 180^\circ + \phi_3) \cdots (16) \\
 & V_4(1) = V_{s4} \times \sin(\omega t + 270^\circ + \phi_4) \cdots (17) \\
 & V_4(2) = -V_{s4} \times \sin(\omega t + 270^\circ + \phi_4) \cdots (18)
 \end{aligned}$$

ここで、 $\omega = 2\pi \times (F_2 + F_3) / 2$ である。 F_2 は、固有振動モード2の共振周波数、 F_3 は、固有振動モード3の共振周波数である。 t は時間で

ある。

[0194] 図29は、実施の形態8の光走査装置700における、固有振動モード2と固有振動モード3の中間周波数 F_m でミラー部1を全周回転変位させるための駆動電源20-1～20-4の電圧の調整手順を表わすフローチャートである。

[0195] ステップS101において、制御部61は、駆動電源20-1～20-4の電圧の振幅 $V_{s1} \sim V_{s4}$ を一定値 V_0 に固定する。

[0196] ステップS102において、制御部61は、駆動電源20-2～20-4の電圧の初期位相 ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 を一定値($=0$)に固定し、駆動電源20-1の電圧初期位相 ϕ_1 を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図30(a)は、ステップS102における、初期位相 ϕ_1 と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[0197] ステップS103において、制御部61は、回転線形性誤差が最小となる ϕ_1 を ϕ_{1d} に設定する。

[0198] ステップS104において、制御部61は、駆動電源20-1の電圧の初期位相 ϕ_1 を ϕ_{1d} に固定するとともに、駆動電源20-3、20-4の電圧の初期位相 ϕ_3 、 ϕ_4 を一定値($=0$)に固定し、駆動電源20-2の電圧の初期位相 ϕ_2 を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図30(b)は、ステップS104における、初期位相 ϕ_2 と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[0199] ステップS105において、制御部61は、回転線形性誤差が最小となる ϕ_1 を ϕ_{2d} に設定する。

[0200] ステップS106において、制御部61は、駆動電源20-1、20-2の電圧の初期位相 ϕ_1 、 ϕ_2 を ϕ_{1d} 、 ϕ_{2d} に固定するとともに、駆動電源20-4の電圧の初期位相 ϕ_4 を一定値($=0$)に固定し、駆動電源20-3の電圧の初期位相 ϕ_3 を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図30(c)は、ステップS106における、初期位相 ϕ_3 と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

- [0201] ステップS 1 0 7において、制御部6 1は、回転線形性誤差が最小となる $\Phi 3$ を $\Phi 3 d$ に設定する。
- [0202] ステップS 1 0 8において、制御部6 1は、駆動電源2 0 - 1、2 0 - 2、2 0 - 3の電圧の初期位相 $\Phi 1$ 、 $\Phi 2$ 、 $\Phi 3$ を $\Phi 1 d$ 、 $\Phi 2 d$ 、 $\Phi 3 d$ に固定し、駆動電源2 0 - 4の電圧の初期位相 $\Phi 4$ を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図3 0 (d)は、ステップS 1 0 8における、初期位相 $\Phi 4$ と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。
- [0203] ステップS 1 0 9において、制御部6 1は、回転線形性誤差が最小となる $\Phi 4$ を $\Phi 4 d$ に設定する。
- [0204] ステップS 1 1 0において、制御部6 1は、駆動電源2 0 - 1 ~ 2 0 - 4の電圧の初期位相 $\Phi 1$ 、 $\Phi 2$ 、 $\Phi 3$ 、 $\Phi 4$ を $\Phi 1 d$ 、 $\Phi 2 d$ 、 $\Phi 3 d$ 、 $\Phi 4 d$ に固定する。
- [0205] ステップS 1 1 1において、制御部6 1は、駆動電源2 0 - 2、2 0 - 3、2 0 - 4の電圧の振幅 $V s 2$ 、 $V s 3$ 、 $V s 4$ を一定値 $V 0$ に固定し、駆動電源2 0 - 1の電圧の振幅 $V s 1$ を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図3 0 (e)は、ステップS 1 1 1における、振幅 $V s 1$ と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。
- [0206] ステップS 1 1 2において、制御部6 1は、回転線形性誤差が最小となる $V s 1$ を $V s 1 d$ に設定する。
- [0207] ステップS 1 1 3において、制御部6 1は、駆動電源2 0 - 3、2 0 - 4の電圧の振幅 $V s 3$ 、 $V s 4$ を一定値 $V 0$ に固定するとともに、駆動電源2 0 - 1の電圧の振幅 $V s 1$ を $V s 1 d$ に固定し、駆動電源2 0 - 2の電圧の振幅 $V s 2$ を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図3 0 (f)は、ステップS 1 1 3における、振幅 $V s 2$ と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。
- [0208] ステップS 1 1 4において、制御部6 1は、回転線形性誤差が最小となる $V s 2$ を $V s 2 d$ に設定する。
- [0209] ステップS 1 1 5において、制御部6 1は、駆動電源2 0 - 4の電圧の振

幅 V_{s4} を一定値 V_0 に固定するとともに、駆動電源 20-1、20-2 の電圧の振幅 V_{s1} 、 V_{s2} を V_{s1d} 、 V_{s2d} に固定し、駆動電源 20-3 の電圧の振幅 V_{s3} を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図 30 (g) は、ステップ S 115 における、振幅 V_{s3} と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[0210] ステップ S 116 において、制御部 61 は、回転線形性誤差が最小となる V_{s3} を V_{s3d} に設定する。

[0211] ステップ S 117 において、制御部 61 は、駆動電源 20-1、20-2、20-3 の電圧の振幅 V_{s1} 、 V_{s2} 、 V_{s3} を V_{s1d} 、 V_{s2d} 、 V_{s3d} に固定し、駆動電源 20-4 の電圧の振幅 V_{s4} を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図 30 (h) は、ステップ S 117 における、振幅 V_{s4} と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[0212] ステップ S 118 において、制御部 61 は、回転線形性誤差が最小となる V_{s4} を V_{s4d} に設定する。

[0213] 上述の調整後において、制御部 61 は、式 (11) ~ (18) の初期位相 $\phi_1 \sim \phi_4$ を $\phi_{1d} \sim \phi_{4d}$ に設定し、振幅 $V_{s1} \sim V_{s4}$ を $V_{s1d} \sim V_{s4d}$ に設定することによって、ミラー部 1 を駆動する。

[0214] 図 31 は、駆動電源 20-i ($i = 1 \sim 4$) の出力電圧の振幅および初期位相の調整後において、印加電圧位相 ϕ と、測定されたミラー最大変位円周角 ϕ_m を表わす図である。

[0215] 駆動電源 20-1 ~ 20-4 の初期位相および振幅を制御することによって、調整前では逆方向に歪んだ回転していたミラー部 1 が滑らかに線形性良く回転していることが判る。

[0216] また、制御部 61 は、駆動電源 20-1、20-2、20-3、20-4 の電圧の初期位相を ϕ_{1d} 、 ϕ_{2d} 、 ϕ_{3d} 、 ϕ_{4d} に固定し、振幅を $k \times V_{s1d}$ 、 $k \times V_{s2d}$ 、 $k \times V_{s3d}$ 、 $k \times V_{s4d}$ とし、 k を変化させることによって、ミラー部 1 の偏向角 θ を制御することもできる。

[0217] (付記)

実施の形態8の光走査装置700は、以下の特徴を備える。

[0218] (13) 光走査装置(700)は、光を反射するミラー面(1B)を有するミラー部(1)と、ミラー部(1)を揺動可能に支持するN個($N \geq 3$)の支持梁(2-1~2-4)と、N個の支持梁(2-1~2-4)とそれぞれ接続されるN個の駆動梁(3-1~3-4)とを備える。N個の駆動梁(3-1~3-4)は、ミラー部1の周囲を取り囲むように配置される。N個の駆動梁(3-1~3-4)の各々の両端のうち支持梁(2-1~2-4)と接続していない方の端は固定される。N個の駆動梁(3-1~3-4)の各々は1回以上 180° で折り曲げられた形状を有する。光走査装置(700)は、さらに、N個の駆動梁(3-1~3-4)上に固着された駆動用の複数個の圧電素子(5-1-a~d、5-2-a~d、5-3-a~d、5-4-a~d)と、複数個の圧電素子(5-1-a~d、5-2-a~d、5-3-a~d、5-4-a~d)に、交流電圧を印加する電源部(62)とを備える。N個の支持梁(2-1~2-4)は、ミラー部(1)の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置される。ミラー部(1)は、第1軸(X軸)周りに回転変位する第1の固有振動モード(固有振動モード2)と、第2軸(Y軸)周りに回転変位する第2の固有振動モード(固有振動モード3)とを有する。第1軸(X軸)および第2軸(Y軸)は、ミラー面(1B)に平行である。第1軸(X軸)の方向は、ミラー部(1)の中心と、ミラー部(1)とN個の支持梁(2-1~2-4)のうちの1つとの接続箇所とを結ぶ直線の方向である。第2軸(Y軸)は、第1軸(X軸)と直交する。電源部(62)は、第1の固有振動モード(固有振動モード2)の共振周波数 F_2 と第2の固有振動モード(固有振動モード3)の共振周波数 F_3 の中間周波数(F_m)の交流電圧を印加する。交流電圧の振幅および初期位相は調整可能である。

[0219] したがって、第1の固有振動モード(固有振動モード2)の共振周波数 F_2 と第2の固有振動モード(固有振動モード3)の共振周波数 F_3 とが相違する場合でも、複数の圧電素子への交流電圧の周波数が $(F_2 + F_3) / 2$

であり、交流電圧の振幅および初期位相が調整可能であるので、ミラー部（１）を滑らかに全周回転変位させることができる。

[0220] （１４）電源部（６２）は、各々が、対応する駆動梁（３－ｉ）の複数の圧電素子（５－ｉ－ａ～ｄ）へ交流電圧を印加するＮ個の駆動電源（２０－ｉ）を備える（ $i = 1 \sim 4$ ）。

[0221] したがって、Ｎ個の駆動電源の出力電圧を個別に調整することによって、複数個の圧電素子へ印加する交流電圧の振幅および初期位相を調整することができる。

[0222] （１５）制御部（６１）は、交流電圧の初期位相の調整において、Ｎ個の駆動梁（３－１～３－４）の中から１つの駆動梁（たとえば３－２）を選択し、選択された駆動梁以外の１以上の駆動梁（３－１、３－３、３－４）の複数の圧電素子（５－１－ａ～ｄ、５－３－ａ～ｄ、５－４－ａ～ｄ）に与える交流電圧の振幅および初期位相を固定し、かつ選択された駆動梁（３－２）の複数の圧電素子（５－２－ａ～ｄ）に与える交流電圧の振幅（ V_{s2} ）を固定するとともに、初期位相（ Φ_2 ）を変化させ、回転線形性誤差が最小となるときの初期位相（ Φ_2 ）を選択された駆動梁（３－２）の複数の圧電素子（５－２－ａ～ｄ）に与える交流電圧の初期位相の調整値（ Φ_{2d} ）として決定する。回転線形性誤差は、ミラー部（１）の全周回転変位の線形性からのずれを表わす量である。ミラー部１の全周回転変位は、ミラー部（１）の偏向角（ θ ）を一定に維持しつつ、ミラー部（１）の中心軸が一回転するようなミラー部（１）の変位である。

[0223] したがって、第１の固有振動モード（固有振動モード２）の共振周波数 F_2 と第２の固有振動モード（固有振動モード３）の共振周波数 F_3 とが相違する場合でも、複数の圧電素子への交流電圧の周波数を $(F_2 + F_3) / 2$ とするとともに、回転線形線誤差が小さくなるように初期位相を調整することによって、ミラー部（１）を滑らかに全周回転変位させることができる。

[0224] （１６）制御部（６１）は、交流電圧の振幅の調整において、Ｎ個の駆動梁（３－１～３－４）の中から１つの駆動梁（たとえば３－２）を選択し、

選択された駆動梁以外の 1 以上の駆動梁（3-1、3-3、3-4）の複数の圧電素子（5-1-a～d、5-3-a～d、5-4-a～d）に与える交流電圧の振幅および初期位相を固定し、かつ選択された駆動梁（3-2）の複数の圧電素子（5-2-a～d）に与える交流電圧の初期位相（ $\Phi 2$ ）を固定するとともに、振幅（ $V s 2$ ）を変化させ、回転線形性誤差が最小となるときの振幅（ $V s 2$ ）を選択された駆動梁（3-2）の複数の圧電素子（5-2-a～d）に与える交流電圧の振幅の調整値（ $V s 2 d$ ）として決定する。

[0225] したがって、第 1 の固有振動モード（固有振動モード 2）の共振周波数 $F 2$ と第 2 の固有振動モード（固有振動モード 3）の共振周波数 $F 3$ とが相違する場合でも、複数の圧電素子への交流電圧の周波数を $(F 2 + F 3) / 2$ とするとともに、回転線形性誤差が小さくなるように振幅を調整することによって、ミラー部（1）を滑らかに全周回転変位させることができる。

[0226] 実施の形態 9.

実施の形態 9 では、実施の形態 8 と同様に、圧電素子に印加する交流電圧の周波数を固有振動モード 2 と固有振動モード 3 の中間周波数 $F m$ とし、印加する交流電圧の初期位相および振幅を調整することによって、回転線形性誤差を減少させる。

[0227] 実施の形態 9 では、制御部 6 1 は、駆動電源 2 0-4 の初期位相 $\Phi 4$ を一定値（= 0）に固定し、振幅 $V s 4$ を一定値 $V 0$ に固定する。駆動電源 2 0-1～2 0-3 の出力電圧の初期位相および振幅を調整して固定した後に、駆動電源 2 0-4 の出力電圧の初期位相および振幅を調整しないようにしたのは、調整すると、回転線形性誤差がかえって増大する場合があるからである。

[0228] 図 3 2 は、実施の形態 9 の光走査装置 8 0 0 における、固有振動モード 2 と固有振動モード 3 の中間周波数 $F m$ でミラー部 1 を全周回転変位させるための駆動電源 2 0-1～2 0-4 の出力電圧の調整手順を表わすフローチャートである。

[0229] このフローチャートが、図29のフローチャートと相違するところは、ステップS108、S117を含まず、ステップS109の代わりに、ステップS209を備え、ステップS118の代わりに、ステップS218を備える点である。

[0230] ステップS209において、制御部61は、 $\Phi 4d$ を一定値(=0)に設定する。

ステップS218において、制御部61は、 $Vs4d$ を一定値 $V0$ に設定する。

[0231] 以上のように、本実施の形態によって、駆動電源20-4の出力電圧の初期位相および振幅を調整しないことによって回転線形性誤差が増大するのを防止することができる。

[0232] 実施の形態10.

図33は、実施の形態10の光走査装置900における圧電素子5-i-a~d($i=1\sim 4$)を駆動する電圧を説明するための図である。電源部62は、駆動電源20-1と、駆動電源20-2とを備える。

[0233] 駆動電源20-1は、駆動梁3-1、3-3の圧電素子5-1-a~d、5-3-a~dに交流電圧を供給する。駆動電源20-2は、駆動梁3-2、3-4の圧電素子5-2-a~d、5-4-a~dに交流電圧を供給する。

[0234] 駆動電源20-iの交流電圧の位相及び振幅は、他の駆動電源と独立に制御可能である。駆動電源20-1、20-2の交流電圧の周波数は、同一であるが、共振周波数に応じた値に設定可能である。

[0235] 本実施の形態でも、実施の形態8、9と同様に、固有振動モード2の共振周波数 $F2$ と固有振動モード3の共振周波数 $F3$ が一致しない場合に、駆動電源20-iの交流電圧の位相および振幅を調整する。

[0236] 駆動電源20-1は、以下の交流電圧 $V_i(1)$ 、 $V_i(2)$ を出力する。

$$V1(1) = Vs1 \times \sin(\omega t + \Phi 1) \cdots (19)$$

$$V_1(2) = -V_{s1} \times \sin(\omega t + \Phi_1) \cdots (20)$$

ここで、 $\omega = 2\pi \times (F_2 + F_3) / 2$ である。 F_2 は、固有振動モード2の共振周波数、 F_3 は、固有振動モード3の共振周波数である。 t は時間である。

[0237] 駆動電源20-2は、以下の交流電圧 $V_2(1)$ 、 $V_2(2)$ を出力する。

$$V_2(1) = V_{s2} \times \sin(\omega t + 90^\circ + \Phi_2) \cdots (21)$$

$$V_2(2) = -V_{s2} \times \sin(\omega t + 90^\circ + \Phi_2) \cdots (22)$$

$V_1(1)$ は、第1番目の駆動梁3-1上の圧電素子5-1-a、5-1-cに供給されるとともに、第3番目の駆動梁3-3上の圧電素子5-3-b、5-3-dに供給される。

[0238] $V_1(2)$ は、第1番目の駆動梁3-1上の圧電素子5-1-b、5-1-dに供給されるとともに、第3番目の駆動梁3-3上の圧電素子5-3-a、5-3-cに供給される。

[0239] $V_2(1)$ は、第2番目の駆動梁3-2上の圧電素子5-2-a、5-2-cに供給されるとともに、第4番目の駆動梁3-4上の圧電素子5-4-b、5-4-dに供給される。

[0240] $V_2(2)$ は、第2番目の駆動梁3-2上の圧電素子5-2-b、5-2-dに供給されるとともに、第4番目の駆動梁3-4上の圧電素子5-4-a、5-4-cに供給される。

[0241] 図34は、実施の形態10の光走査装置900における、固有振動モード2と固有振動モード3の中間周波数 F_m でミラ一部1を全周回転変位させるための駆動電源20-1、20-2の電圧の調整手順を表わすフローチャートである。

[0242] ステップS301において、制御部61は、駆動電源20-1、20-2の電圧の振幅 V_{s1} 、 V_{s2} を一定値 V_0 に固定する。

[0243] ステップS302において、制御部61は、駆動電源20-2の電圧の初期位相 Φ_2 を一定値(=0)に固定し、駆動電源20-1の電圧の初期位相

$\phi 1$ を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図 35 (a) は、ステップ S 302 における、初期位相 $\phi 1$ と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[0244] ステップ S 303 において、制御部 61 は、回転線形性誤差が最小となる $\phi 1$ を $\phi 1d$ に設定する。

[0245] ステップ S 304 において、制御部 61 は、 $\phi 2d$ を一定値 ($= 0$) に設定する。

ステップ S 305 において、制御部 61 は、駆動電源 20-1、20-2 の電圧の初期位相 $\phi 1$ 、 $\phi 2$ を $\phi 1d$ 、 $\phi 2d$ に固定する。

[0246] ステップ S 306 において、制御部 61 は、駆動電源 20-2 の電圧の振幅 $Vs2$ を一定値 $V0$ に固定し、駆動電源 20-1 の電圧の振幅 $Vs1$ を変化させながら、回転線形性誤差を測定する。図 35 (b) は、ステップ S 306 における、振幅 $Vs1$ と測定された回転線形性誤差との関係を表わす図である。

[0247] ステップ S 307 において、制御部 61 は、回転線形性誤差が最小となる $Vs1$ を $Vs1d$ に設定する。

[0248] ステップ S 218 において、制御部 61 は、 $Vs4d$ を一定値 $V0$ に設定する。

上述の調整後において、制御部 61 は、式 (19) ~ (22) の初期位相 $\phi 1$ 、 $\phi 2$ を $\phi 1d$ 、 $\phi 2d$ に設定し、振幅 $Vs1$ 、 $Vs2$ を $Vs1d$ 、 $Vs2d$ に設定することによって、ミラー部 1 を駆動する。

[0249] 以上のように、駆動電源 20-1 の出力電圧の初期位相および振幅を調整して固定した後に、駆動電源 20-2 の出力電圧の初期位相および振幅を調整しなくてもよいのは、固有振動モード 2 と固有振動モード 3 の相対的な振幅および初期位相を調整することによって、回転線形性を調整することができるからである。固有振動モード 2 は、X 軸周りの回転振動であり、固有振動モード 3 は、Y 軸周りの回転振動である。駆動電源 20-1 の出力電圧を調整することによって固有振動モード 2 の振動特性を調整できる。駆動電源

20-2の出力電圧を調整することによって固有振動モード3の振動特性を調整できる。駆動電源20-2の出力電圧の振幅および初期位相を初めから固定しておき、Y軸周りの回転振動特性を固定しておけば、駆動電源20-1の出力電圧の振幅および位相の調整によって、Y軸周りとX軸周りの相対的な駆動特性を調整することができる。

[0250] 制御部61は、駆動電源20-1、20-2の電圧の初期位相を $\Phi 1d$ 、 $\Phi 2d$ に固定し、振幅を $k \times V_{s1d}$ 、 $k \times V_{s2d}$ とし、 k を変化させることによって、ミラー部1の偏向角 θ を制御することができる。

[0251] 本実施の形態に示す光走査装置は、駆動電源を簡略化できると共に回転変位の調整も簡略化できる利点がある。

[0252] 本実施の形態では、4個の駆動梁3-1~3-4が反時計周りに順序が付けられているものとしたが、これに限定するものではなく、時計周りに順序が付けられているものとしてもよい。

[0253] (付記)

実施の形態10の光走査装置900は、以下の特徴を備える。

[0254] (17) $N=4$ であり、4個の駆動梁は、時計回りまたは反時計周りに、順序が付けられている。4個の支持梁(2-1~2-4)は、ミラー部(1)の中心軸に対して、 90° 回転対称に配置されている。4個の駆動梁(3-1~3-4)は、ミラー部(1)の中心軸に対して、 90° 回転対称に配置されている。4個の駆動梁(3-1~3-4)の各々(3-i)を構成する部分のうち、ミラー部(1)の周方向と同一方向に延在する複数の周方向部分のそれぞれの上に2つの圧電素子(5-i-aと5-i-b、5-i-cと5-i-d)が配置される。電源部(61)は、第1の初期位相($\Phi 1$)および第1の振幅(V_{s1})を有する第1の交流電圧($V1(1)$)と、第1の交流電圧($V1(1)$)と位相が 180 度相違する第2の交流電圧($V1(2)$)を出力する第1の駆動電源(20-1)と、第2の初期位相($\Phi 2$)および第2の振幅(V_{s2})を有する第3の交流電圧($V2(1)$)と、第3の交流電圧($V2(1)$)と位相が 180 度相違する第4の交流電

圧（ $V_2(2)$ ）を出力する第2の駆動電源（ $20-2$ ）とを備える。第1の駆動電源（ $20-1$ ）は、第1番目の駆動梁（ $3-1$ ）に配置される複数の圧電素子のうち、支持梁（ $2-1$ ）に近い第1の圧電素子（ $5-1-a$ ）に第1の交流電圧（ $V_1(1)$ ）を印加し、第1番目の駆動梁（ $3-1$ ）に配置される他の圧電素子（ $5-1-b \sim d$ ）には、第1の交流電圧（ $V_1(1)$ ）または第2の交流電圧（ $V_1(2)$ ）を印加する。第1の駆動電源（ $20-1$ ）は、第3番目の駆動梁（ $3-3$ ）に配置される複数の圧電素子のうち、支持梁（ $2-3$ ）に近い第2の圧電素子（ $5-3-a$ ）に第2の交流電圧（ $V_1(2)$ ）を印加し、第3番目の駆動梁（ $3-3$ ）に配置される他の圧電素子（ $5-3-b \sim d$ ）には、第1の交流電圧（ $V_1(1)$ ）または第2の交流電圧（ $V_1(2)$ ）を印加する。第2の駆動電源（ $20-2$ ）は、第2番目の駆動梁（ $3-2$ ）に配置される複数の圧電素子のうち、支持梁（ $2-2$ ）に近い第3の圧電素子（ $5-2-a$ ）に第3の交流電圧（ $V_2(1)$ ）を印加し、第2番目の駆動梁（ $3-2$ ）に配置される他の圧電素子（ $5-2-b \sim d$ ）には、第3の交流電圧（ $V_2(1)$ ）または第4の交流電圧（ $V_2(2)$ ）を印加する。第2の駆動電源（ $20-2$ ）は、第4番目の駆動梁（ $3-4$ ）に配置される複数の圧電素子のうち、支持梁（ $2-4$ ）に近い第4の圧電素子（ $5-4-a$ ）に第4の交流電圧（ $V_2(2)$ ）を印加し、第4番目の駆動梁（ $3-4$ ）に配置される他の圧電素子（ $5-4-b \sim d$ ）には、第3の交流電圧（ $V_2(1)$ ）または第4の交流電圧（ $V_2(2)$ ）を印加する。

[0255] このように、2つの駆動電源（ $20-1$ 、 $20-2$ ）だけで、4つの駆動梁（ $3-1 \sim 3-4$ ）上の圧電素子（ $5-i-a \sim d : i = 1 \sim 4$ ）に交流電圧を供給することができる。

[0256] （18）制御部（61）は、第2の初期位相（ Φ_2 ）および第2の振幅（ V_{s2} ）を固定し、かつ第1の振幅（ V_{s1} ）を固定するとともに、第1の初期位相（ Φ_1 ）を変化させて、回転線形性誤差が最小となるときの第1の初期位相（ Φ_1 ）を第1の初期位相の調整値（ Φ_{1d} ）として決定する。制

御部（61）は、第2の初期位相（ $\Phi 2$ ）および第2の振幅（ $V s 2$ ）を固定し、かつ第1の初期位相（ $\Phi 1$ ）を固定するとともに、第1の振幅（ $V s 1$ ）を変化させて、回転線形性誤差が最小となるときの第1の振幅（ $V s 1$ ）を第1の振幅の調整値（ $V s 1 d$ ）として決定する。回転線形性誤差は、ミラー部（1）の全周回転変位の線形性からのずれを表わす量である。ミラー部（1）の全周回転変位は、ミラー部（1）の偏向角を一定に維持しつつ、ミラー部（1）の中心軸が一回転するようなミラー部（1）の変位である。

[0257] このような構成により、第1の駆動電源（20-2）の交流電圧の第1の初期位相（ $\Phi 1$ ）と、第1の振幅（ $V s 1$ ）とを調整するだけで、回転線形性誤差を小さくすることができる。

[0258] 実施の形態11.

図36は、実施の形態11の光走査装置1000のミラー部1を表わす図である。

[0259] 図36に示すように、ミラー部1は、シリコンミラー部1Cの外周においてトリミングパターン18を備える。トリミングパターン18は、複数の突起からなる。

[0260] 図37は、ミラー部1のトリミングパターンの拡大図である。

固有振動モード2の共振周波数 $F 2$ と固有振動モード3の共振周波数 $F 3$ の差が大きい場合、トリミングパターン18をレーザ等で局所的に破断し、または蒸発させることによってトリミングすることによって、共振周波数 $F 2$ と共振周波数 $F 3$ の差を少なくすることができる。

[0261] 図38は、トリミング前の駆動周波数とミラー最大変位との関係を表わす図である。

ミラー最大変位とは、ミラー部1の円周上の点のZ軸方向への最大変位を表わす。トリミング前では、共振周波数 $F 2$ と共振周波数 $F 3$ の差が大きいため、中間周波数 $F m$ でのミラー最大変位が小さい。

[0262] 図39は、トリミング後の駆動周波数とミラー最大変位との関係を表わす

図である。

トリミング後では、共振周波数 F_2 と共振周波数 F_3 の差が小さいため、中間周波数 F_m でのミラー最大変位が大きい。

[0263] 2つの共振周波数 F_2 、 F_3 の中間周波数 $(F_2 + F_3) / 2$ で、ミラー部 1 を全周回転変位させる場合、実施の形態 8～10 で説明したような駆動電源の初期位相および振幅を制御することによって、線形性の良い回転変位が可能となる。

[0264] しかしながら、図 38 に示すように、トリミング前では、共振による変位増大効果がないため、ミラー部 1 の偏向角を大きくすることができない。駆動電圧の振幅を大きくすれば偏向角は大きくなるが、駆動電圧の振幅を大きくすると、圧電素子 5-i-a～d に耐圧上限を超える圧力がかかる。

[0265] 一方、図 39 に示すように、トリミング後では、2つの共振周波数 F_2 、 F_3 の中間周波数 $(F_2 + F_3) / 2$ の周波数でミラー部 1 を全周回転変位させる場合、圧電素子 5-i-a～d の微小変位を駆動梁 3-i の大きな変位に変換することができ、ミラー部 1 の偏向角を大きくすることができる。

[0266] トリミング工程は、光走査装置 1000 の製造途中のウエハレベルでの検査工程、もしくはパッケージ後の検査工程において、実施される。

[0267] 図 40 は、実施の形態 11 の光走査装置 1000 の調整手順を表わすフローチャートである。

[0268] ステップ S501 において、電源部 62 は、 $\omega = 2\pi \{ (F_2 + F_3) / 2 \}$ として、式 (1)、(2) の電圧を圧電素子 5-i-a, b, c, d ($i = 1 \sim 4$) に印加する。

[0269] ステップ S502 において、検出用圧電素子 6-i ($i = 1 \sim 4$) が、ミラー部 1 の偏向角 θ に比例した電荷を発生する。制御部 61 が、検出用圧電素子 6-i で発生した電荷に基づいて、ミラー部 1 の偏向角を算出して、図示しないモニタに表示する。

[0270] ステップ S503 において、検査者が、モニタに表示されたミラー部 1 の偏向角に応じて、ミラー部 1 の外周上のトリミングパターン 18 の一部また

は全部をレーザなどによって、トリミングする。

[0271] なお、本実施の形態では、トリミングパターンは、複数の微小突起からなるものとしたが、これに限定されるものではなく、トリミングパターンは、その他の形状を有するものでもよい。

[0272] (付記)

実施の形態 11 の光走査装置 1000 は、以下の特徴を備える。

[0273] (19) ミラー部 (1) は、外周においてトリミングパターン (18) を備える。

このような構成によって、第 1 の固有振動モード (固有振動モード 2) の共振周波数 F_2 と第 2 の固有振動モード (固有振動モード 3) の共振周波数 F_3 の差が大きいため、中間周波数 F_m で共振駆動ができない場合でも、ミラー部 (1) の外周にトリミングパターンが設けられているので、これをトリミングすることによって、共振周波数 F_2 と共振周波数 F_3 の差を小さくして、中間周波数 F_m で共振駆動ができるようにすることができる。

[0274] 実施の形態 12.

実施の形態 11 では、ミラー部 1 の外周にトリミングパターンを配置したが、これに限定されるものではない。

[0275] 実施の形態 12 では、光走査装置 1100 のミラー部 1 の一部、駆動梁 3-1 ~ 3-4 の一部、または支持梁 2-1 ~ 2-4 の一部をレーザなどで除去することによって、同等の効果をを得ることができる。

[0276] 図 41 は、実施の形態 12 の光走査装置 1100 の調整手順を表わすフローチャートである。

[0277] ステップ S501 において、電源部 62 は、 $\omega = 2\pi \{ (F_3 + F_3) / 2 \}$ として、式 (1)、(2) の電圧を圧電素子 5-i-a ~ d ($i = 1 \sim 4$) に印加する。

[0278] ステップ S502 において、検出用圧電素子 6-i ($i = 1 \sim 4$) が、ミラー部 1 の偏向角 θ に比例した電荷を発生する。制御部 61 が、検出用圧電素子 6-i で発生した電荷に基づいて、ミラー部 1 の偏向角を算出して、図

示しないモニタに表示する。

[0279] ステップS 6 0 3において、検査者が、モニタに表示されたミラー部1の偏向角に応じて、ミラー部1の一部（トリミングパターンがある場合は、トリミングパターンの一部も含む）、駆動梁3-1～3-4の一部、または支持梁2-1～2-4の一部をレーザなどによってトリミングする。

[0280] なお、トリミングの後、さらに上述の実施形態のように交流電圧の初期位相および振幅を調整するものとしてもよい。

[0281] （付記）

実施の形態12の光走査装置1100は、以下の特徴を備える。

[0282] （20）光走査装置（1100）の調整方法であって、光走査装置（1100）は、光を反射するミラー面（1B）を有するミラー部（1）と、ミラー部（1）を揺動可能に支持するN個（ $N \geq 3$ ）の支持梁（2-1～2-4）と、N個の支持梁（2-1～2-4）とそれぞれ接続されるN個の駆動梁（3-1～3-4）とを備える。N個の駆動梁（3-1～3-4）は、ミラー部1の周囲を取り囲むように配置される。N個の駆動梁（3-1～3-4）の各々の両端のうち支持梁（2-1～2-4）と接続していない方の端は固定される。N個の駆動梁（3-1～3-4）の各々は1回以上180°で折り曲げられた形状を有する。光走査装置（1100）は、さらに、N個の駆動梁（3-1～3-4）上に固着された駆動用の複数個の圧電素子（5-1-a～d、5-2-a～d、5-3-a～d、5-4-a～d）と、電源部（62）とを備える。N個の支持梁（2-1～2-4）は、ミラー部（1）の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置される。ミラー部（1）は、第1軸（X軸）周りに回転変位する第1の固有振動モード（固有振動モード2）と、第2軸（Y軸）周りに回転変位する第2の固有振動モード（固有振動モード3）とを有する。第1軸（X軸）および第2軸（Y軸）は、ミラー面（1B）に平行である。第1軸（X軸）の方向は、ミラー部（1）の中心と、ミラー部（1）とN個の支持梁（2-1～2-4）のうちの1つとの接続箇所とを結ぶ直線方向である。第2軸（Y軸）は、第1軸（X

軸)と直交する。この調整方法は、電源部(62)が、複数の圧電素子(5-i-a~d)に、交流電圧を印加するステップを備える。交流電圧の位相は、圧電素子の位置に応じた値であり、交流電圧の周波数は、第1の固有振動モード(固有振動モード2)の共振周波数 F_2 と第2の固有振動モード(固有振動モード3)の共振周波数 F_3 の中間周波数(F_m)である。この調整方法は、さらに、ミラー部(1)の偏向角を測定するステップと、ミラー部(1)の一部、支持梁(2-1~2-4)の一部、または駆動梁(3-1~3-4)の一部をトリミングするステップとを備える。

[0283] したがって、第1の固有振動モード(固有振動モード2)の共振周波数 F_2 と第2の固有振動モード(固有振動モード3)の共振周波数 F_3 の差が大きいため、中間周波数 F_m で共振駆動ができない場合でも、ミラー部(1)の一部、支持梁(2-1~2-4)の一部、または駆動梁(3-1~3-4)の一部をレーザによってトリミングすることによって、共振周波数 F_2 と共振周波数 F_3 との差を小さくして、中間周波数 F_m で共振駆動ができるようにすることができる。

[0284] 実施の形態13.

図42は、実施の形態13の一例の光走査装置1200の表わす図である。

[0285] 本実施の形態では、図42に示すように、ミラー部1の周囲に周波数調整膜31が形成されている。周波数調整膜31は、レーザCVDなどの局所薄膜成膜法によって、タングステンなどの薄膜を局所成長させることによって、形成することができる。

[0286] 実施の形態12では、固有振動モード2の共振周波数 F_2 と固有振動モード3の共振周波数 F_3 の調整にミラー構造の一部をレーザ等で局所的に破断し、または蒸発させることによって、共振周波数 F_2 と共振周波数 F_3 の差を少なくした。本実施の形態では、ミラー部1の周囲の周波数調整膜31によって、共振周波数差を調整する。

[0287] 図43は、実施の形態13の別の例の光走査装置1300を表わす図であ

る。

図43に示すように、支持梁2-1上に周波数調整膜32が形成されることによって、共振周波数差を調整する。

[0288] なお、周波数調整膜は、ミラー部1の周囲、および支持梁2-1上に形成されることに限定されるものではなく、ミラー部1の一部、駆動梁3-1～3-4の一部、または支持梁2-1～2-4の一部に形成されてもよい。

[0289] 図44は、実施の形態13の光走査装置1200、1300の調整手順を表わすフローチャートである。

[0290] ステップS501において、電源部62は、 $\omega = 2\pi \{ (F_3 + F_3) / 2 \}$ として、式(1)、(2)の電圧を圧電素子5-i-a～d (i=1～4)に印加する。

[0291] ステップS502において、検出用圧電素子6-i (i=1～4)が、ミラー部1の偏向角 θ に比例した電荷を発生する。制御部61が、検出用圧電素子6-iで発生した電荷に基づいて、ミラー部1の偏向角を算出して、図示しないモニタに表示する。

[0292] ステップS603において、検査者が、モニタに表示されたミラー部1の偏向角に応じて、ミラー部1の一部、駆動梁3-1～3-4の一部、または支持梁2-1～2-4の一部に薄膜を形成させる。

[0293] 局所薄膜による周波数調整では、薄膜形成の自由度が高いため、トリミングと比較して調整範囲が広く、かつ微調整が可能であるという利点がある。また、トリミングでは蒸発した構造体が再付着により共振周波数ズレが発生する可能性があるが、局所薄膜では再付着による問題が発生しない利点がある。

[0294] (付記)

実施の形態13の光走査装置1200、1300は、以下の特徴を備える。

[0295] (21) 光走査装置(1200、1300)の調整方法であって、光走査装置(1100)は、光を反射するミラー面(1B)を有するミラー部(1

）と、ミラー部（１）を揺動可能に支持する N 個（ $N \geq 3$ ）の支持梁（２－１～２－４）と、 N 個の支持梁（２－１～２－４）とそれぞれ接続される N 個の駆動梁（３－１～３－４）とを備える。 N 個の駆動梁（３－１～３－４）は、ミラー部１の周囲を取り囲むように配置される。 N 個の駆動梁（３－１～３－４）の各々の両端のうち支持梁（２－１～２－４）と接続していない方の端は固定される。 N 個の駆動梁（３－１～３－４）の各々は１回以上 180° で折り曲げられた形状を有する。光走査装置（１１００）は、さらに、 N 個の駆動梁（３－１～３－４）上に固着された駆動用の複数の圧電素子（５－１－ $a \sim d$ 、５－２－ $a \sim d$ 、５－３－ $a \sim d$ 、５－４－ $a \sim d$ ）と、電源部（６２）とを備える。 N 個の支持梁（２－１～２－４）は、ミラー部（１）の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置される。ミラー部（１）は、第１軸（ X 軸）周りに回転変位する第１の固有振動モード（固有振動モード２）と、第２軸（ Y 軸）周りに回転変位する第２の固有振動モード（固有振動モード３）とを有する。第１軸（ X 軸）および第２軸（ Y 軸）は、ミラー面（１Ｂ）に平行である。第１軸（ X 軸）の方向は、ミラー部（１）の中心と、ミラー部（１）と N 個の支持梁（２－１～２－４）のうちの１つとの接続箇所とを結ぶ直線方向である。第２軸（ Y 軸）は、第１軸（ X 軸）と直交する。この調整方法は、電源部（６２）が、複数の圧電素子（５－ i － $a \sim d$ ）に、交流電圧を印加するステップを備える。交流電圧の位相は、圧電素子の位置に応じた値であり、交流電圧の周波数は、第１の固有振動モード（固有振動モード２）の共振周波数 F_2 と第２の固有振動モード（固有振動モード３）の共振周波数 F_3 の間周波数（ F_m ）である。この調整方法は、さらに、ミラー部（１）の偏向角を測定するステップと、ミラー部（１）の一部、支持梁（２－１～２－４）の一部、または駆動梁（３－１～３－４）の一部に薄膜（３１、３２）を形成するステップとを備える。

[0296] したがって、第１の固有振動モード（固有振動モード２）の共振周波数 F_2 と第２の固有振動モード（固有振動モード３）の共振周波数 F_3 の差が大

きいため、中間周波数 F_m で共振駆動ができない場合でも、ミラー部（１）の一部、支持梁（２－１～２－４）の一部、または駆動梁（３－１～３－４）の一部に薄膜（３１、３２）を形成することによって、共振周波数 F_2 と共振周波数 F_3 との差を小さくして、中間周波数 F_m で共振駆動ができるようにすることができる。

[0297] （変形例）

本発明は、上記の実施形態に限定されるものではなく、たとえば、以下のような変形例も含む。

[0298] （Ａ）ミラー部１の形状

実施の形態２～７では、固有振動モード２の共振周波数と固有振動モード３の共振周波数が一致するように、ミラー部１は、Ｚ軸を中心に $360^\circ / N$ 回転対称形状を有するものとしたが、これに限定されるものではない。ミラー部１は、Ｚ軸を中心に $360^\circ / N$ 回転対称形状を有しなくても、駆動梁、支持梁、ミラー部のメカニカル剛性を調整することによって、固有振動モード２の共振周波数と固有振動モード３の共振周波数が一致することができる。ただし、ミラー部１がＺ軸を中心に $360^\circ / N$ 回転対称形状を有するものとした方が、回転線形性誤差を小さくすることができる。

[0299] （Ｂ）圧電素子の数

実施の形態１～１１では、１つの駆動梁のミラー部１の周方向と同一方向に延在する複数の周方向部分の各々に２つの圧電素子が配置されるものとしたが、これに限定するものではない。たとえば、１つの駆動梁に端から順番にＡ、Ｂ、Ｃ、Ｄ、折り曲げ部分、Ｅ、Ｆ、Ｇ、Ｈの圧電素子が配置されている場合に、Ａ、Ｂ、Ｅ、Ｆに位相 P の交流電圧を与え、Ｃ、Ｄ、Ｇ、Ｈに位相 $(P + 180^\circ)$ の交流電圧を与えるものとしてもよい。これによって、圧電素子に加わるメカニカル応力が減少して、圧電素子の破壊および剥離が軽減される。一方、実施の形態１～１１のように２つの圧電素子が配置されるものとする、圧電素子の配置面積を大きくすることができ、駆動力を大きくすることができる。

[0300] (C) 実施の形態３～７の構成

実施の形態３～７のミラー部、駆動梁、支持梁、および圧電素子の構成は、固有振動モード２の共振周波数と固有振動モード３の共振周波数が一致することを前提としたが、これに限定するものではない。実施の形態３～７のミラー部、駆動梁、支持梁、および圧電素子の構成は、実施の形態８～１２に記載の固有振動モード２の共振周波数と固有振動モード３の共振周波数の中間周波数を利用する場合にも適用できる。

[0301] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0302] １，５０１，６０１ ミラー部、１Ｂ，５０１Ｂ，６０１Ｂ ミラー面、１Ｃ，５０１Ｃ，６０１Ｃ シリコンミラー部、２－１～２－４，５０２－１～５０２－４，６０２－１～６０２－３ 支持梁、３－１～３－４，５０３－１～５０３－４，６０３－１～６０３－３ 駆動梁、４－１～４－４，５０４－１～５０４－４，６０４－１～６０４－３ 固定部、５－１－ａ～ｄ，５－２－ａ～ｄ，５－３－ａ～ｄ，５－４－ａ～ｄ，５０５－１－ａ～ｄ，５０５－２－ａ～ｄ，５０５－３－ａ～ｄ，５０５－４－ａ～ｄ，６０５－１－ａ～ｄ，６０５－２－ａ～ｄ，６０５－３－ａ～ｄ 圧電素子、６－１～６－４ 検出用圧電素子、１０ ＳＯＩ基板、１０１ シリコン支持層、１０２ シリコン活性層、１０３ シリコン酸化膜、１１ 絶縁膜、１２ 下層電極、１３ 圧電薄膜、１４ 上層電極、１５ 絶縁膜、１６ 配線電極、１７ パッケージ、１８ トリミングパターン、２０－１～２０－４ 駆動電源、６１ 制御部、６２ 電源部、９１ 光学系、９２ 対象物、９３ 距離情報算出器、９５ 受信回路、９６ 駆動回路、９９ センシング部、１００，２００，３００，４００，５００，６００，７００，８００，９００，１０００，１１００，１２００，１３００ 光走査装置、３１

， 3 2 周波数調整薄膜、LD レーザダイオード、PD フォトダイオード。

請求の範囲

[請求項1]

光走査装置であって、
光を反射するミラー面を有するミラー部と、
前記ミラー部を揺動可能に支持する N 個 ($N \geq 3$) の支持梁と、
前記 N 個の支持梁とそれぞれ接続される N 個の駆動梁とを備え、
前記 N 個の駆動梁は、前記ミラー部の周囲を取り囲むように配置され、前記 N 個の駆動梁の各々の両端のうち前記支持梁と接続していない方の端は固定され、前記 N 個の駆動梁の各々は1回以上折り曲げられた形状を有し、
前記光走査装置は、さらに、
前記 N 個の駆動梁上に固着された駆動用の複数個の圧電素子と、
前記複数個の圧電素子に、交流電圧を印加する電源部とを備え、
前記複数個の圧電素子の各々に与えられる交流電圧の周波数を決められた共通の値とし、前記複数個の圧電素子の各々に与えられる交流電圧の位相を前記各圧電素子の位置に応じた決められた値とすることによって、前記ミラー部が歳差運動する、光走査装置。

[請求項2]

前記 N 個の支持梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置され、
前記ミラー部は、第1軸周りに回転変位する第1の固有振動モードと、第2軸周りに回転変位する第2の固有振動モードとを有し、前記第1軸および前記第2軸は、前記ミラー面に平行であり、前記第1軸の方向は、前記ミラー部の中心と、前記ミラー部と前記 N 個の支持梁のうちの1つとの接続箇所とを結ぶ直線の方向であり、前記第2軸は前記第1軸に直交し、
前記第1の固有振動モードの共振周波数と前記第2の固有振動モードの共振周波数とがともに第1の周波数であり、
前記電源部は、前記第1の周波数の交流電圧を印加する、請求項1記載の光走査装置。

[請求項3] 前記N個の支持梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置され、

前記ミラー部は、第1軸周りに回転変位する第1の固有振動モードと、第2軸周りに回転変位する第2の固有振動モードとを有し、前記第1軸および前記第2軸は、前記ミラー面に平行であり、前記第1軸の方向は、前記ミラー部の中心と、前記ミラー部と前記N個の支持梁のうちの1つとの接続箇所とを結ぶ直線の方向であり、前記第2軸は前記第1軸に直交し、

前記電源部は、前記第1の固有振動モードの共振周波数と前記第2の固有振動モードの共振周波数の中間周波数の交流電圧を印加し、

前記交流電圧の振幅および初期位相が調整可能である、請求項1記載の光走査装置。

[請求項4] 前記電源部は、

各々が、対応する駆動梁の複数の圧電素子へ交流電圧を印加するN個の駆動電源を備える、請求項3記載の光走査装置。

[請求項5] 前記交流電圧の初期位相の調整において、前記N個の駆動梁の中から1つの駆動梁を選択し、前記選択された駆動梁以外の1以上の駆動梁の複数の圧電素子に与える交流電圧の振幅および初期位相を固定し、かつ選択された駆動梁の複数の圧電素子に与える交流電圧の振幅を固定するとともに、初期位相を変化させ、回転線形性誤差が最小となるときの初期位相を前記選択された駆動梁の複数の圧電素子に与える交流電圧の初期位相の調整値として決定する制御部を備え、

前記回転線形性誤差は、前記ミラー部の全周回転変位の線形性からのずれを表わす量であり、前記ミラー部の全周回転変位は、前記ミラー部の偏向角を一定に維持しつつ、前記ミラー部の中心軸が一回転するような前記ミラー部の変位である、請求項4記載の光走査装置。

[請求項6] 前記交流電圧の振幅の調整において、前記N個の駆動梁の中から1つの駆動梁を選択し、前記選択された駆動梁以外の1以上の駆動梁の

複数の圧電素子に与える交流電圧の振幅および初期位相を固定し、かつ選択された駆動梁の複数の圧電素子に与える交流電圧の初期位相を固定するとともに、振幅を変化させ、回転線形性誤差が最小となるときの振幅を前記選択された駆動梁の複数の圧電素子に与える交流電圧の振幅の調整値として決定する制御部を備え、

前記回転線形性誤差は、前記ミラー部の全周回転変位の線形性からのずれを表わす量であり、前記ミラー部の全周回転変位は、前記ミラー部の偏向角を一定に維持しつつ、前記ミラー部の中心軸が一回転するような前記ミラー部の変位である、請求項4記載の光走査装置。

[請求項7]

N = 4 であり、

4 個の駆動梁は、時計回りまたは反時計周りに、順序が付けられており、

4 個の前記支持梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、 90° 回転対称に配置され、4 個の前記駆動梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、 90° 回転対称に配置され、前記4 個の駆動梁の各々を構成する部分のうち、前記ミラー部の周方向と同一方向に延在する複数の周方向部分のそれぞれの上に2 つの前記圧電素子が配置され、

前記電源部は、

第1 の初期位相および第1 の振幅を有する第1 の交流電圧と、前記第1 の交流電圧と位相が 180 度相違する第2 の交流電圧を出力する第1 の駆動電源と、

第2 の初期位相および第2 の振幅を有する第3 の交流電圧と、前記第3 の交流電圧と位相が 180 度相違する第4 の交流電圧を出力する第2 の駆動電源とを備え、

前記第1 の駆動電源は、前記第1 番目の駆動梁に配置される複数の圧電素子のうち、前記支持梁に近い第1 の圧電素子に前記第1 の交流電圧を印加し、前記第1 番目の駆動梁に配置される他の圧電素子には、前記第1 の交流電圧または前記第2 の交流電圧を印加し、前記第3

番目の駆動梁に配置される複数の圧電素子のうち、前記支持梁に近い第2の圧電素子に前記第2の交流電圧を印加し、前記第3番目の駆動梁に配置される他の圧電素子には、前記第1の交流電圧または前記第2の交流電圧を印加し、

前記第2の駆動電源は、前記第2番目の駆動梁に配置される複数の圧電素子のうち、前記支持梁に近い第3の圧電素子に前記第3の交流電圧を印加し、前記第2番目の駆動梁に配置される他の圧電素子には、前記第3の交流電圧または前記第4の交流電圧を印加し、前記第4番目の駆動梁に配置される複数の圧電素子のうち、前記支持梁に近い第4の圧電素子に前記第4の交流電圧を印加し、前記第4番目の駆動梁に配置される他の圧電素子には、前記第3の交流電圧または前記第4の交流電圧を印加する、請求項3記載の光走査装置。

[請求項8]

前記第2の初期位相および前記第2の振幅を固定し、かつ前記第1の振幅を固定するとともに、前記第1の初期位相を変化させて、回転線形性誤差が最小となる時の前記第1の初期位相を前記第1の初期位相の調整値として決定し、前記第2の初期位相および前記第2の振幅を固定し、かつ前記第1の初期位相を固定するとともに、前記第1の振幅を変化させて、回転線形性誤差が最小となる時の前記第1の振幅を前記第1の振幅の調整値として決定する制御部を備え、

前記回転線形性誤差は、前記ミラー部の全周回転変位の線形性からのずれを表わす量であり、前記ミラー部の全周回転変位は、前記ミラー部の偏向角を一定に維持しつつ、前記ミラー部の中心軸が一回転するような前記ミラー部の変位である、請求項7記載の光走査装置。

[請求項9]

前記ミラー部は、外周においてトリミングパターンを備える、請求項3記載の光走査装置。

[請求項10]

前記N個の駆動梁の各々を構成する部分のうち、前記ミラー部の周方向と同一方向に延在する複数の周方向部分のそれぞれの上に2つの前記圧電素子が配置される、請求項1記載の光走査装置。

[請求項11] 前記N個の駆動梁の各々の上に配置される複数の圧電素子の誘電分極方向は、同一であり、

前記電源部は、前記複数の周方向部分のそれぞれの上に配置される2つの圧電素子に逆位相の電圧を印加し、折り曲げ部分を介して隣接する2つの圧電素子に互いに逆位相の交流電圧を印加する、請求項10記載の光走査装置。

[請求項12] 前記複数の周方向部分のそれぞれの上に配置される2つの圧電素子の誘電分極方向は、逆であり、折り曲げ部分を介して隣接する2つの圧電素子の誘電分極方向は、逆であり、

前記電源部は、前記N個の駆動梁の各々の上に配置される複数の圧電素子に同一位相の交流電圧を印加する、請求項10記載の光走査装置。

[請求項13] 前記N個の駆動梁は、時計回りに、または反時計回りに、順序が付けられており、

前記電源部が第*i*番目の駆動梁の第1の圧電素子に与える交流電圧の位相は、第(*i* - 1)番目の駆動梁の第2の圧電素子に与える電圧の位相よりも、 $(360^\circ / N)$ だけ大きく、

第(*i* - 1)番目の駆動梁内の前記第2の圧電素子の位置は、第*i*番目の駆動梁内の前記第1の圧電素子の位置と同じである、請求項1記載の光走査装置。

[請求項14] 前記電源部から出力される交流電圧の振幅を制御することによって、前記ミラー部の偏向角を走査する制御部を備える、請求項1記載の光走査装置。

[請求項15] 前記N個の支持梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置され、前記N個の駆動梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置され、

前記ミラー部の形状は、前記ミラー部の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称である、請求項1記載の光走査装置。

- [請求項16] 前記ミラー部は、半導体基板の結晶面（100）を利用して形成されたものであり、前記Nは、 $4 \times n$ であり、
- 前記ミラー面の形状は、円形であり、 n は自然数である、請求項15記載の光走査装置。
- [請求項17] 前記ミラー部は、半導体基板の結晶面（100）を利用して形成されたものであり、前記Nは、 $4 \times n$ であり、
- 前記ミラー面の形状は、正（ $4 \times n$ ）角形であり、 n は自然数である、請求項15記載の光走査装置。
- [請求項18] 前記ミラー部は、半導体基板の結晶面（111）を利用して形成されたものであり、
- 前記Nは、 $3 \times n$ であり、
- 前記ミラー面の形状は、円形であり、 n は自然数である、請求項15記載の光走査装置。
- [請求項19] 前記ミラー部は、半導体基板の結晶面（111）を利用して形成されたものであり、前記Nは、 $3 \times n$ であり、
- 前記ミラー面の形状は、正（ $3 \times n$ ）角形であり、 n は自然数である、請求項15記載の光走査装置。
- [請求項20] 光走査装置の調整方法であって、
- 前記光走査装置は、
- 光を反射するミラー面を有するミラー部と、
- 前記ミラー部を揺動可能に支持するN個（ $N \geq 3$ ）の支持梁と、
- 前記N個の支持梁とそれぞれ接続されるN個の駆動梁とを備え、
- 前記N個の支持梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、回転対称に配置され、同一形状であり、
- 前記N個の駆動梁は、前記ミラー部の周囲を取り囲むように配置され、前記N個の駆動梁の各々の両端のうち前記支持梁と接続していない方の端は固定されて、前記N個の駆動梁の各々は1回以上折り曲げられた形状を有し、

前記N個の駆動梁上に固着された駆動用の複数個の圧電素子と、
電源部とを備え、

前記N個の支持梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置され、

前記ミラー部は、第1軸周りに回転変位する第1の固有振動モードと、第2軸周りに回転変位する第2の固有振動モードとを有し、前記第1軸および前記第2軸は、前記ミラー面に平行であり、前記第1軸の方向は、前記ミラー部の中心と、前記ミラー部と前記N個の支持梁のうちの1つとの接続箇所とを結ぶ直線方向であり、前記第2軸は前記第1軸に直交し、

前記電源部は、前記複数個の圧電素子の各々に、交流電圧を印加するステップを備え、前記交流電圧の位相は、前記圧電素子の位置に応じた値であり、前記交流電圧の周波数は、前記第1の固有振動モードの共振周波数と前記第2の固有振動モードの共振周波数の中間周波数であり、

前記ミラー部の偏向角を測定するステップと、

前記ミラー部の一部、前記支持梁の一部、または前記駆動梁の一部をトリミングするステップとを備える、光走査装置の調整方法。

[請求項21]

光走査装置の調整方法であって、

前記光走査装置は、

光を反射するミラー面を有するミラー部と、

前記ミラー部を揺動可能に支持するN個 ($N \geq 3$) の支持梁と、

前記N個の支持梁とそれぞれ接続されるN個の駆動梁とを備え、

前記N個の支持梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、回転対称に配置され、同一形状であり、

前記N個の駆動梁は、前記ミラー部の周囲を取り囲むように配置され、前記N個の駆動梁の各々の両端のうち前記支持梁と接続していない方の端は固定されて、前記N個の駆動梁の各々は1回以上折り曲げ

られた形状を有し、

前記N個の駆動梁上に固着された駆動用の複数個の圧電素子と、
電源部とを備え、

前記N個の支持梁は、前記ミラー部の中心軸に対して、 $(360^\circ / N)$ 回転対称に配置され、

前記ミラー部は、第1軸周りに回転変位する第1の固有振動モードと、第2軸周りに回転変位する第2の固有振動モードとを有し、前記第1軸および前記第2軸は、前記ミラー面に平行であり、前記第1軸の方向は、前記ミラー部の中心と、前記ミラー部と前記N個の支持梁のうちの1つとの接続箇所とを結ぶ直線の方向であり、前記第2軸は前記第1軸に直交し、

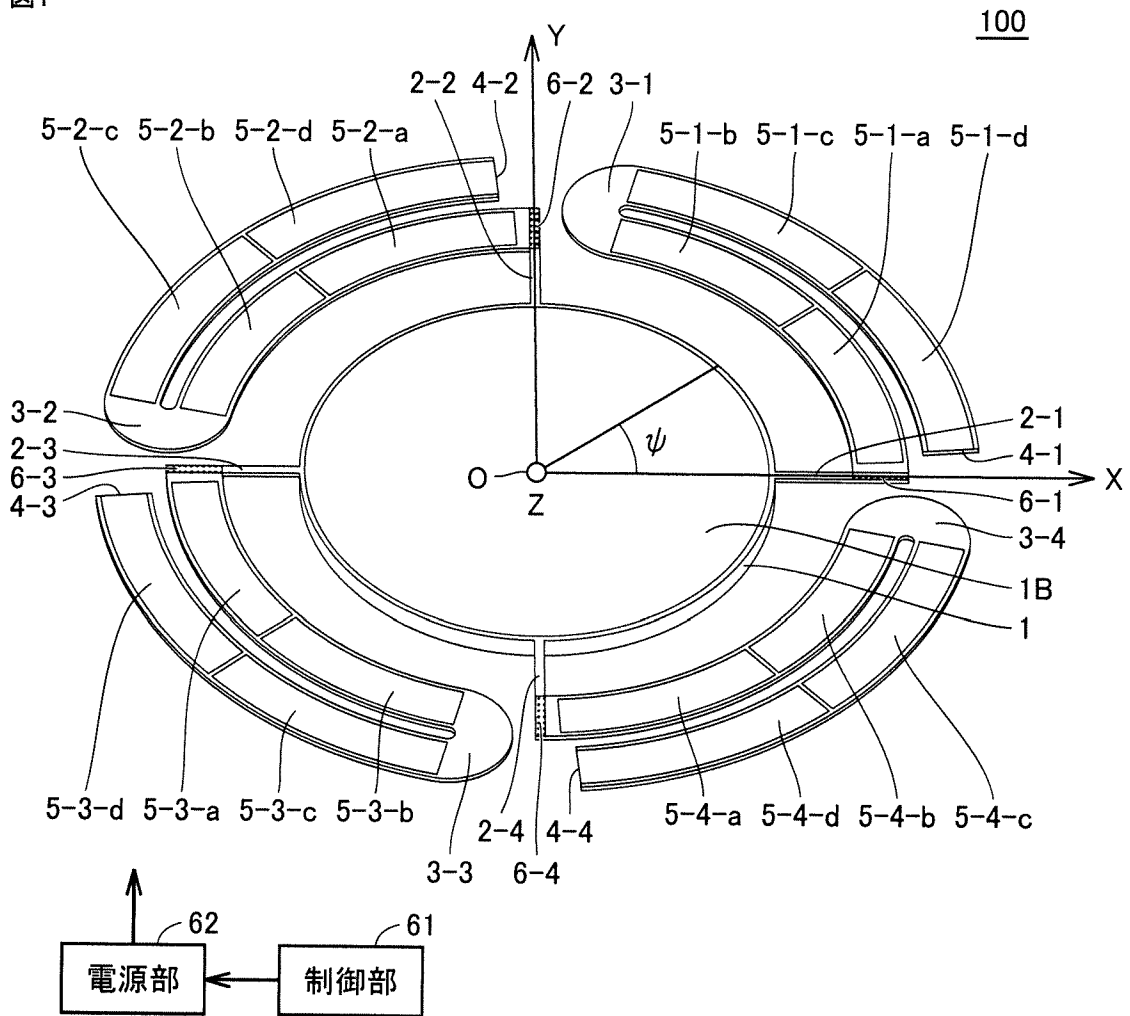
前記電源部は、前記複数個の圧電素子の各々に、交流電圧を印加するステップを備え、前記交流電圧の位相は、前記圧電素子の位置に応じた値であり、前記交流電圧の周波数は、前記第1の固有振動モードの共振周波数と前記第2の固有振動モードの共振周波数の中間周波数であり、

前記ミラー部の偏向角を測定するステップと、

前記ミラー部の一部、前記支持梁の一部、または前記駆動梁の一部に薄膜を形成するステップとを備える、光走査装置の調整方法。

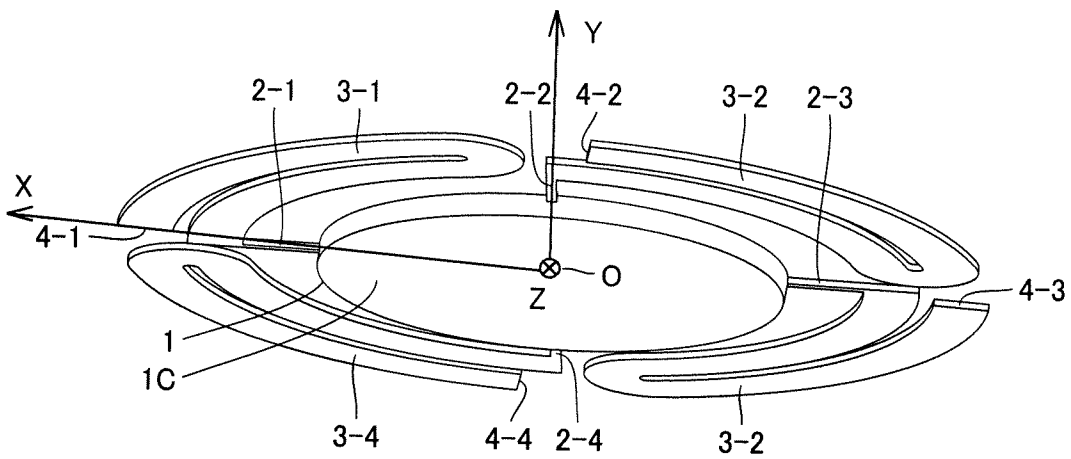
[図1]

図1



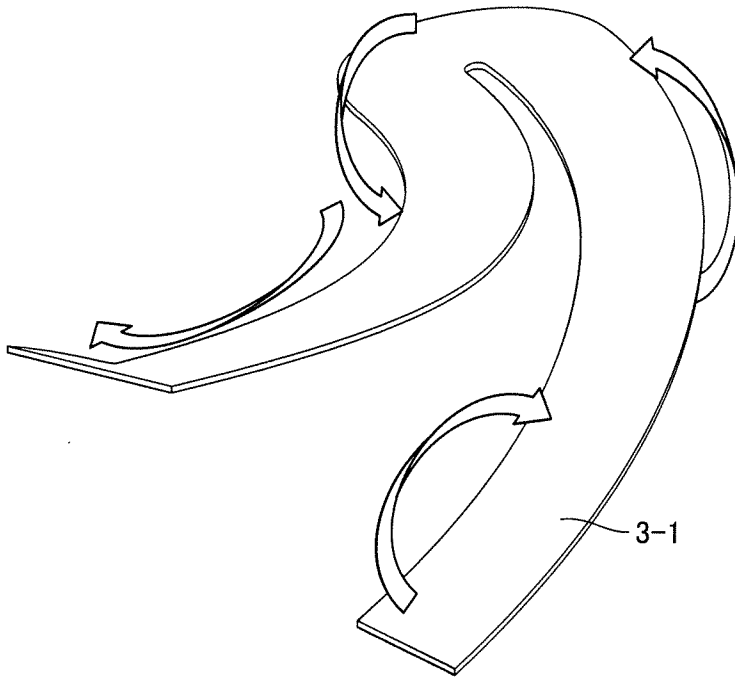
[図2]

図2



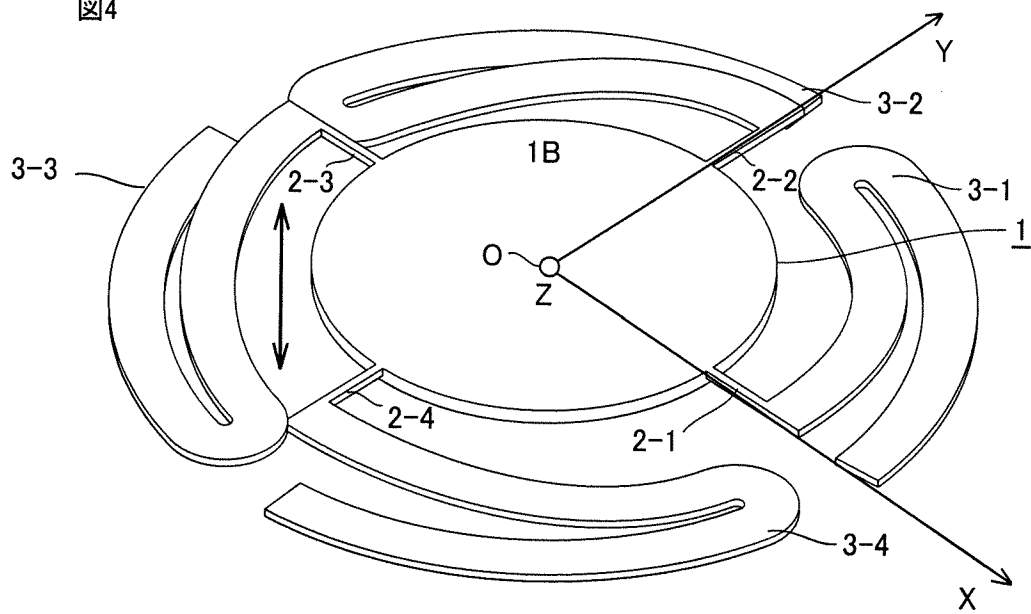
[図3]

図3

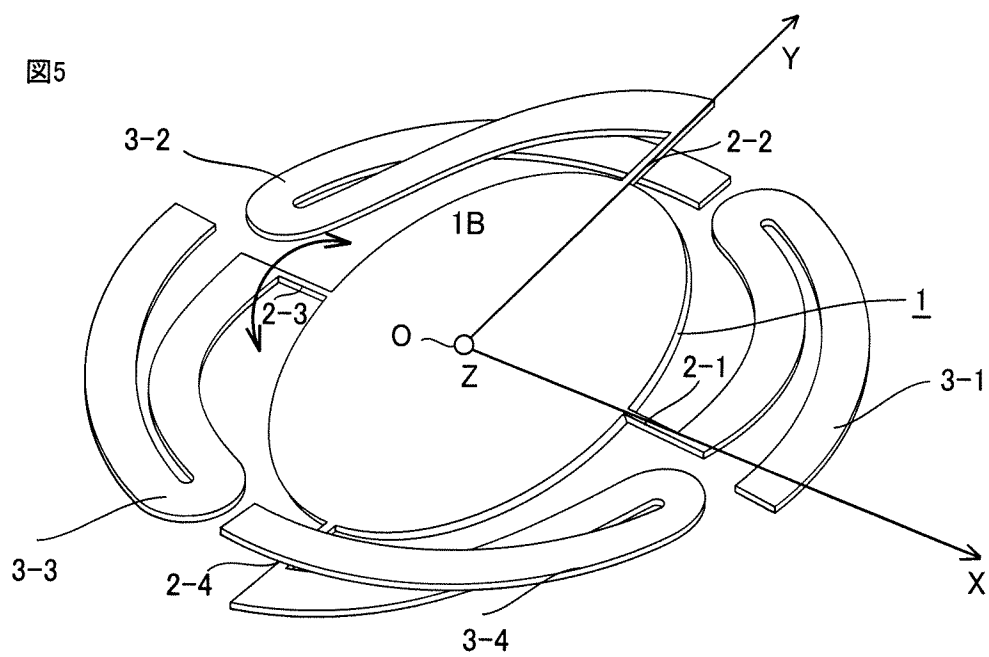


[図4]

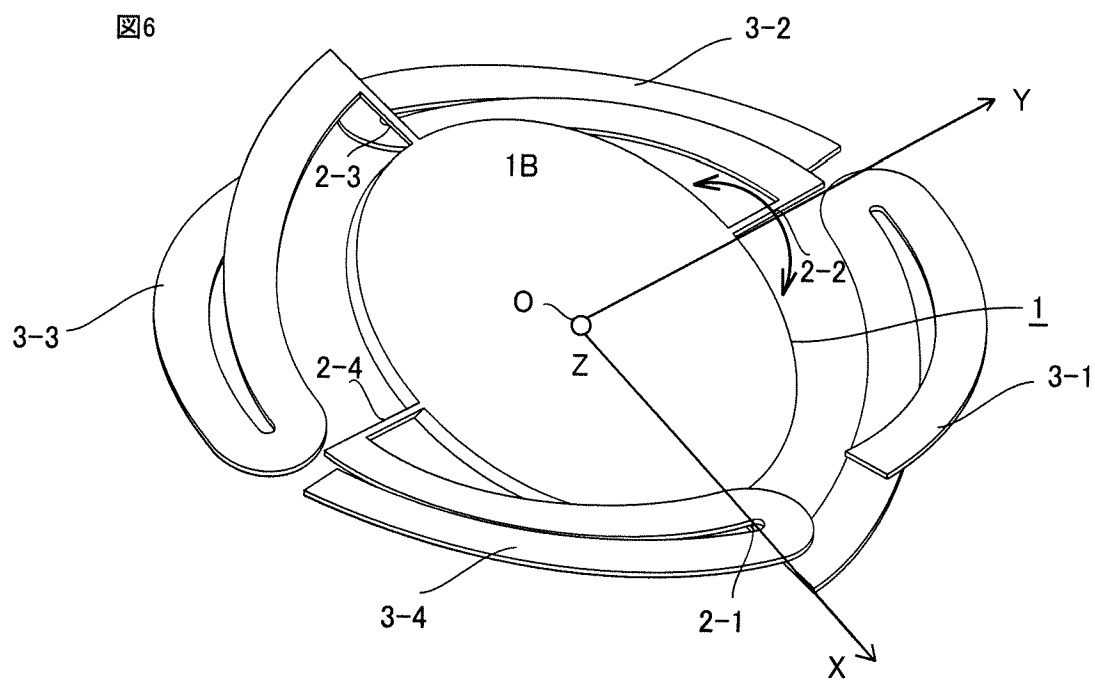
図4



[図5]

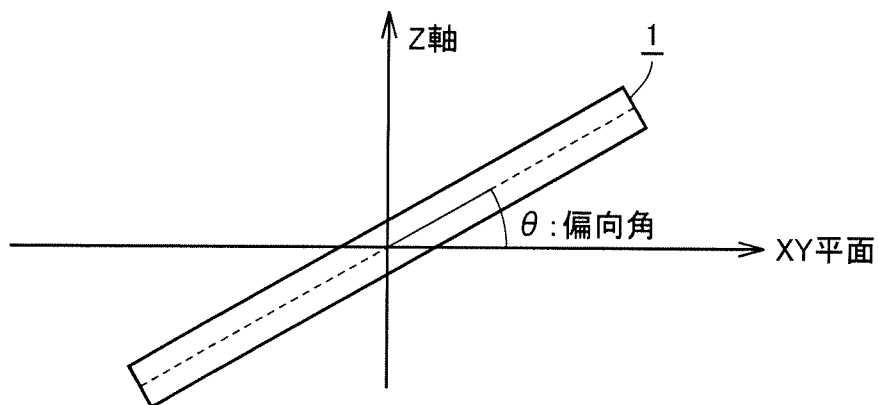


[図6]



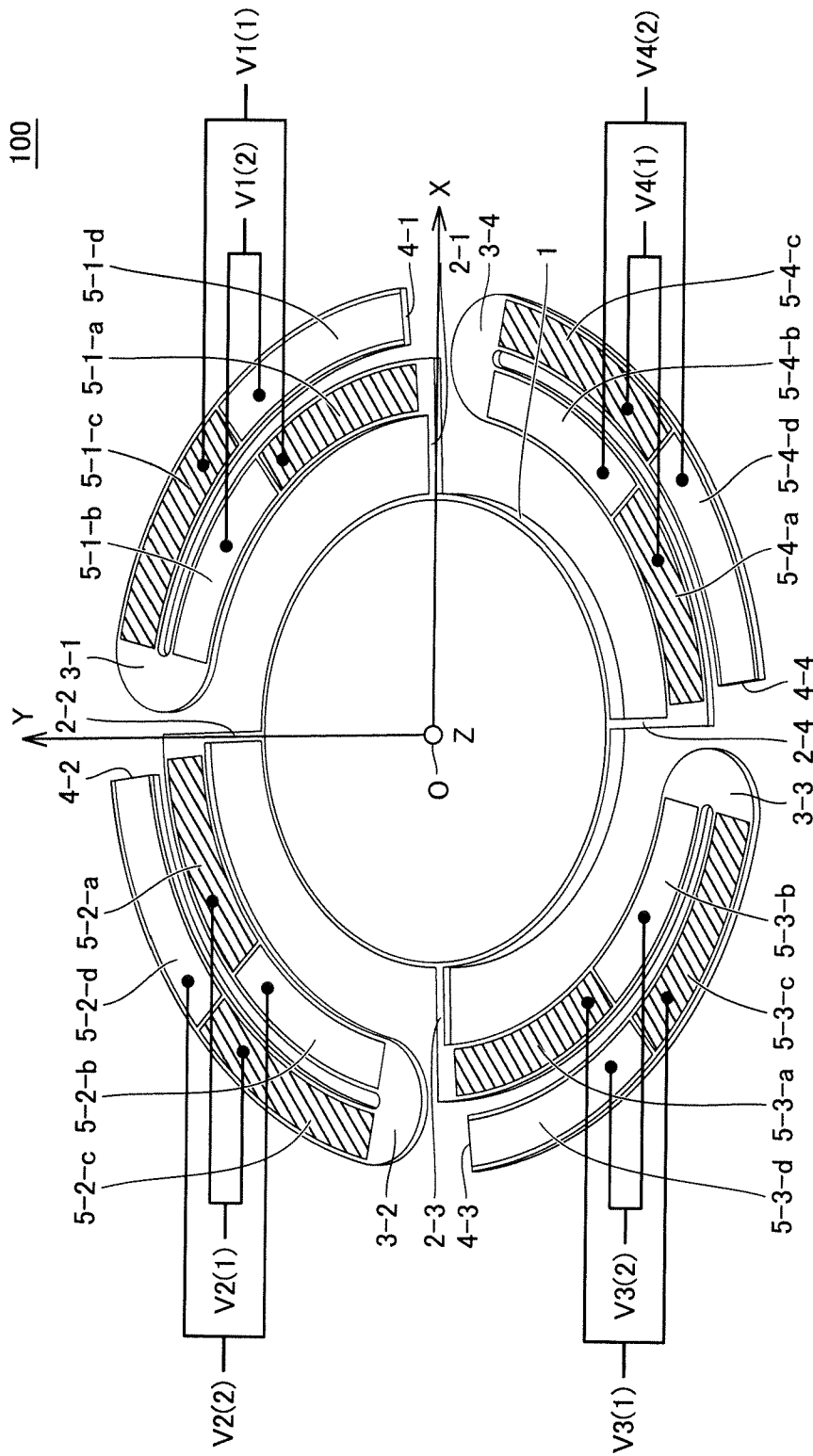
[図7]

図7



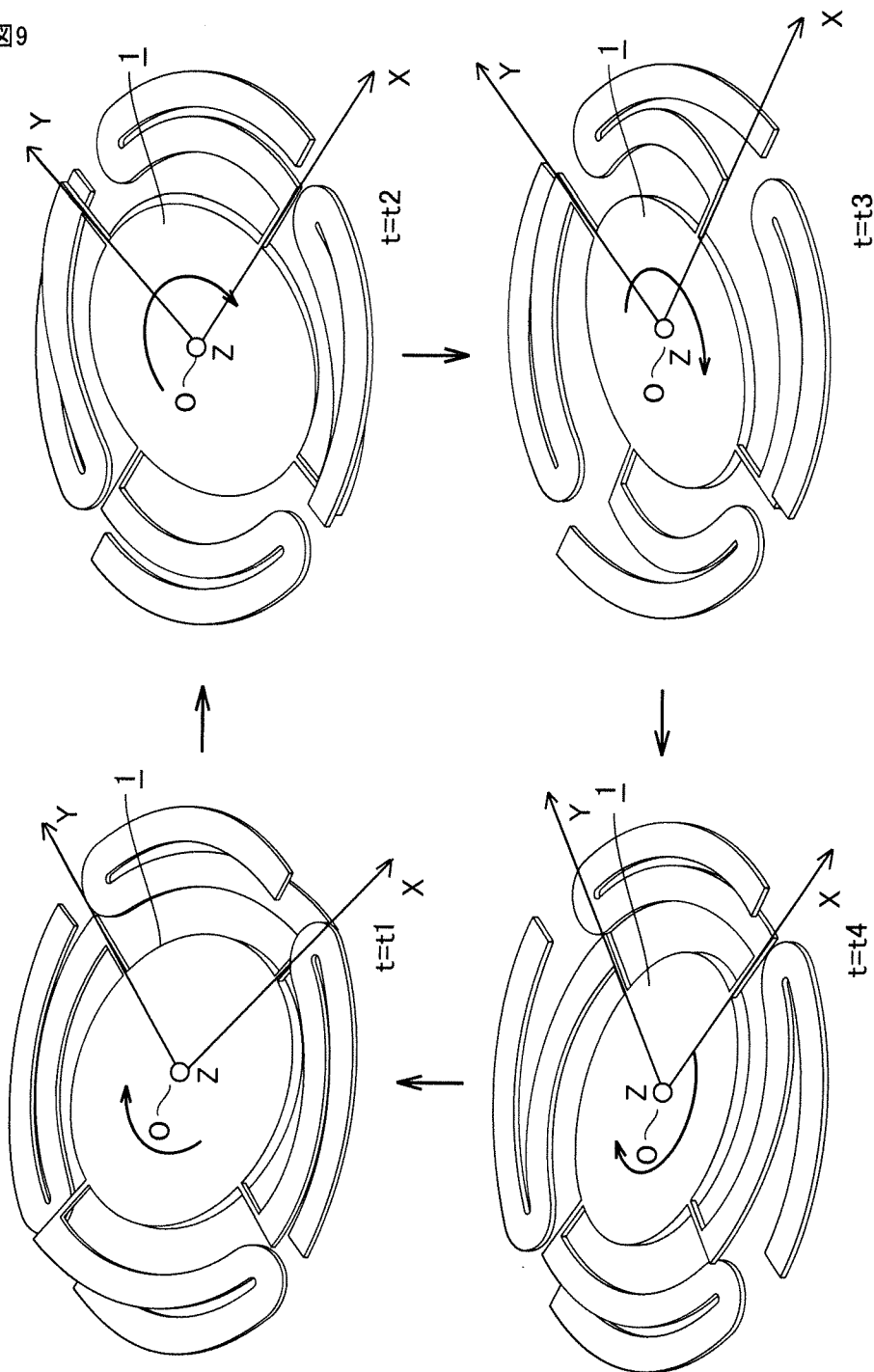
[図8]

図8



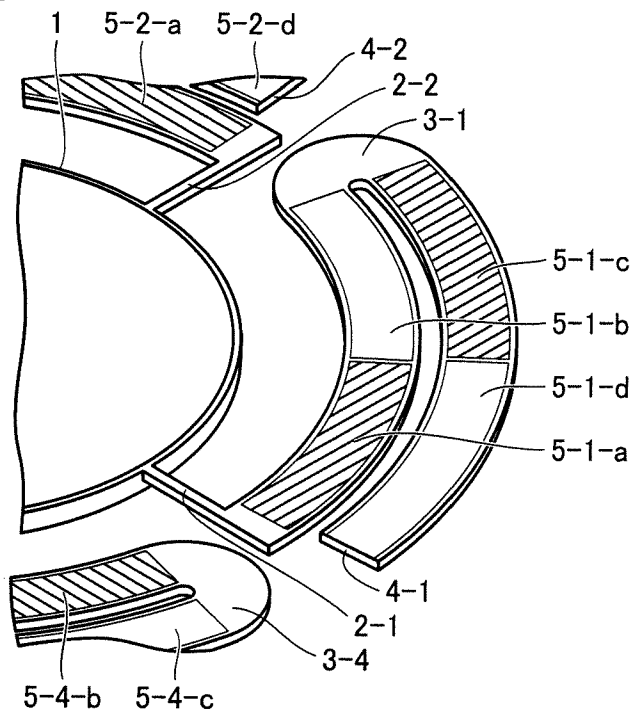
[図9]

図9



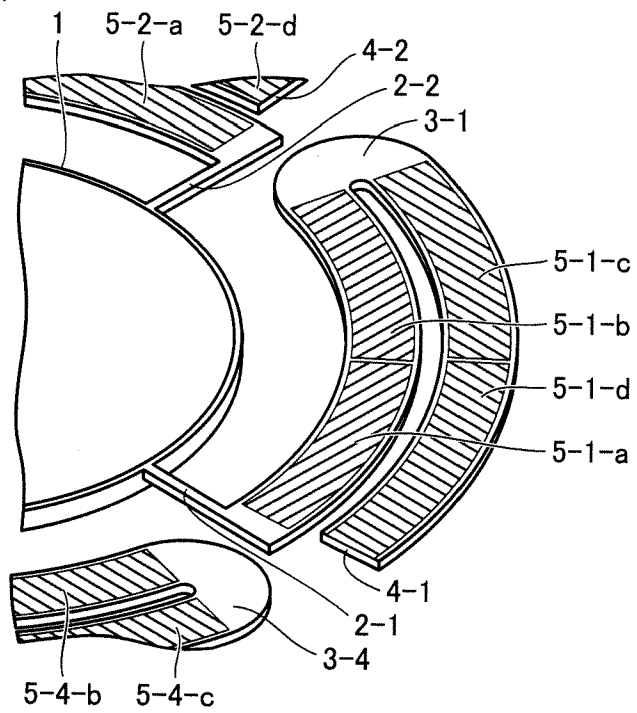
[図10]

図10



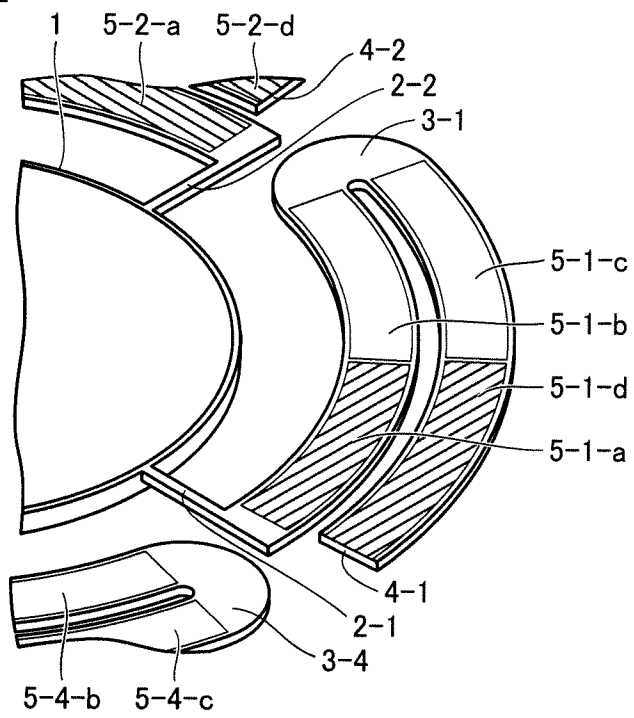
[図11]

図11



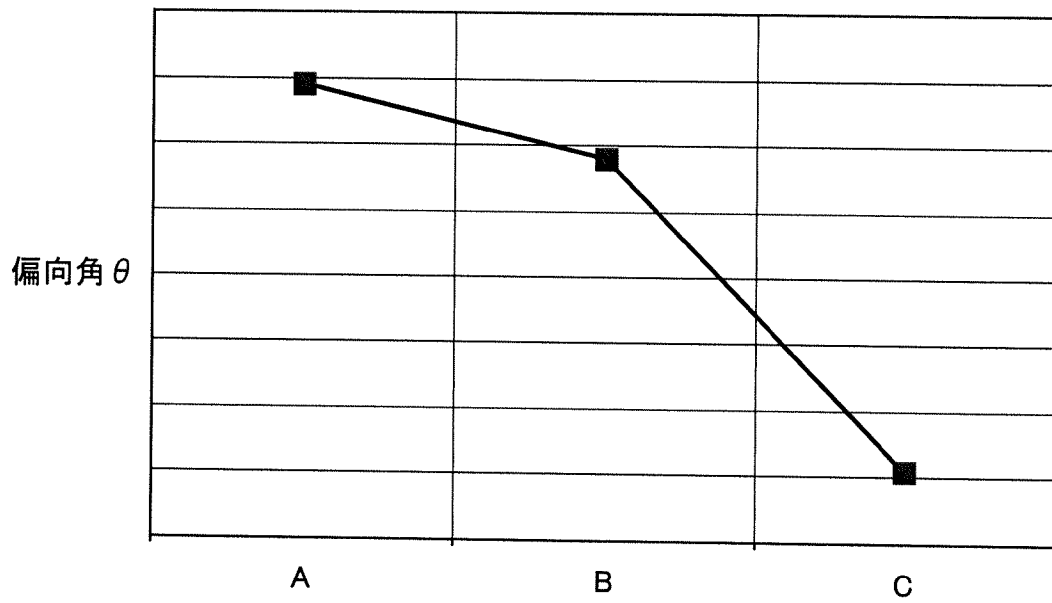
[図12]

図12



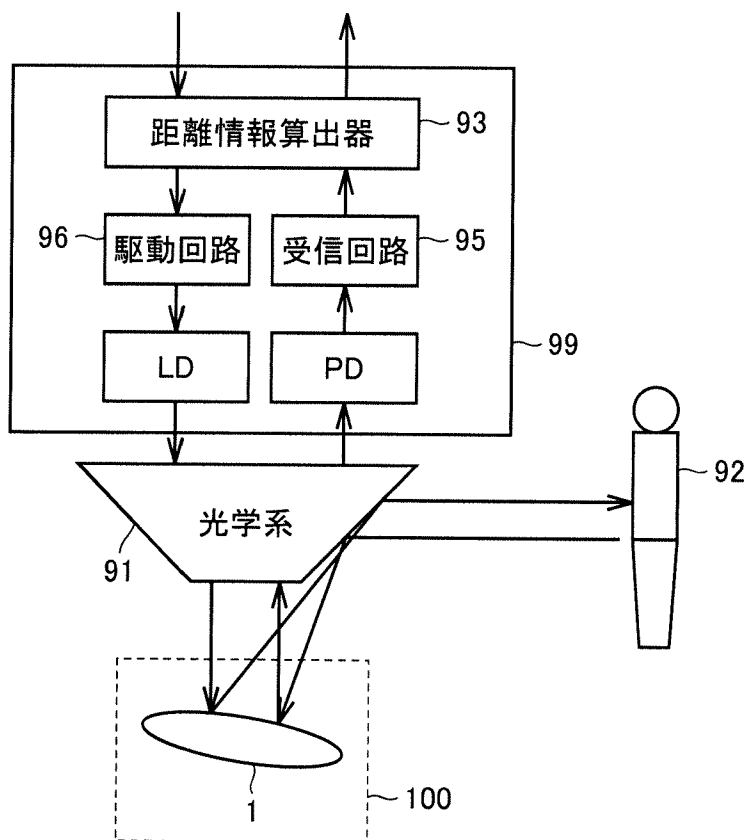
[図13]

図13



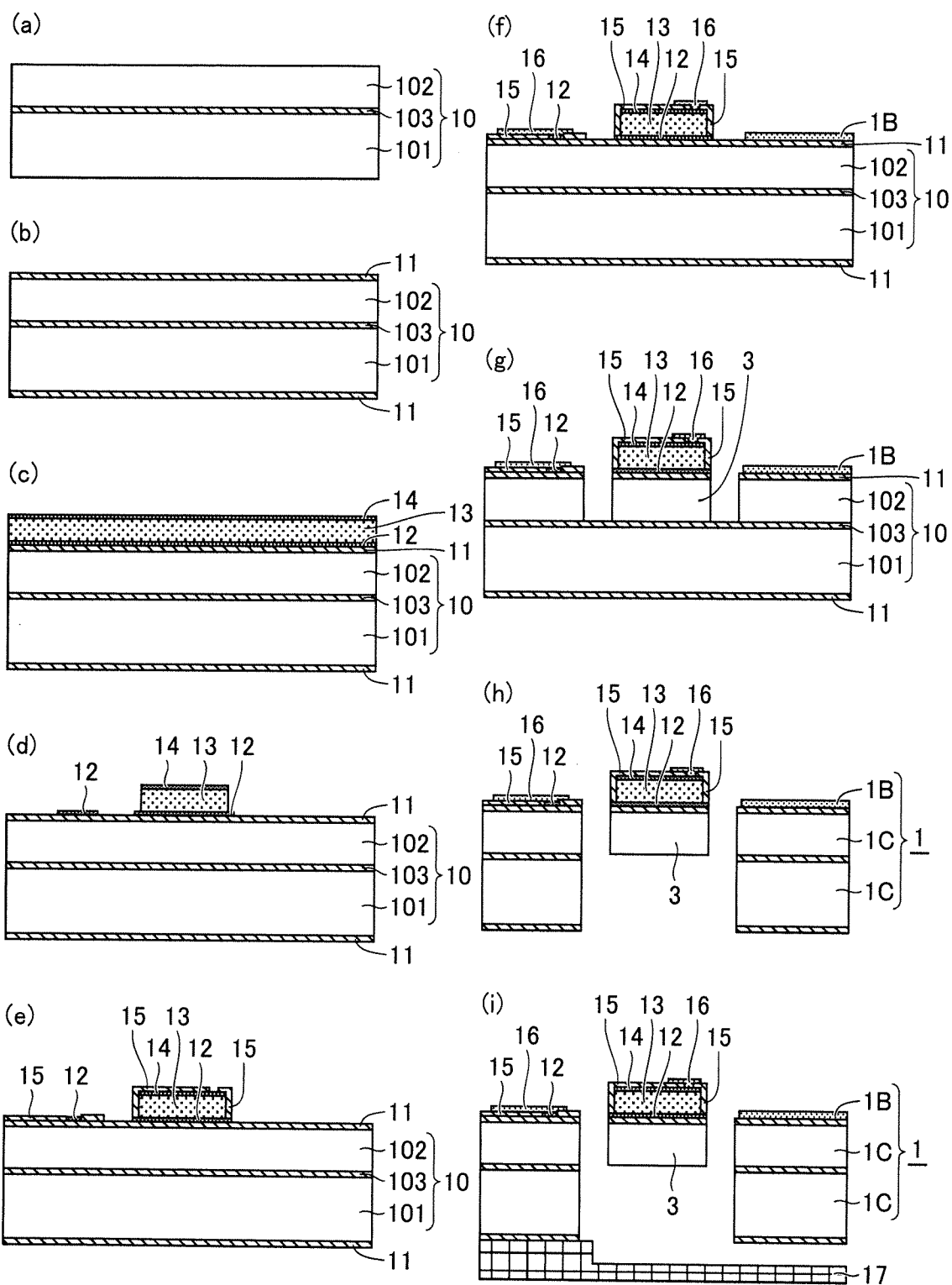
[図14]

図14



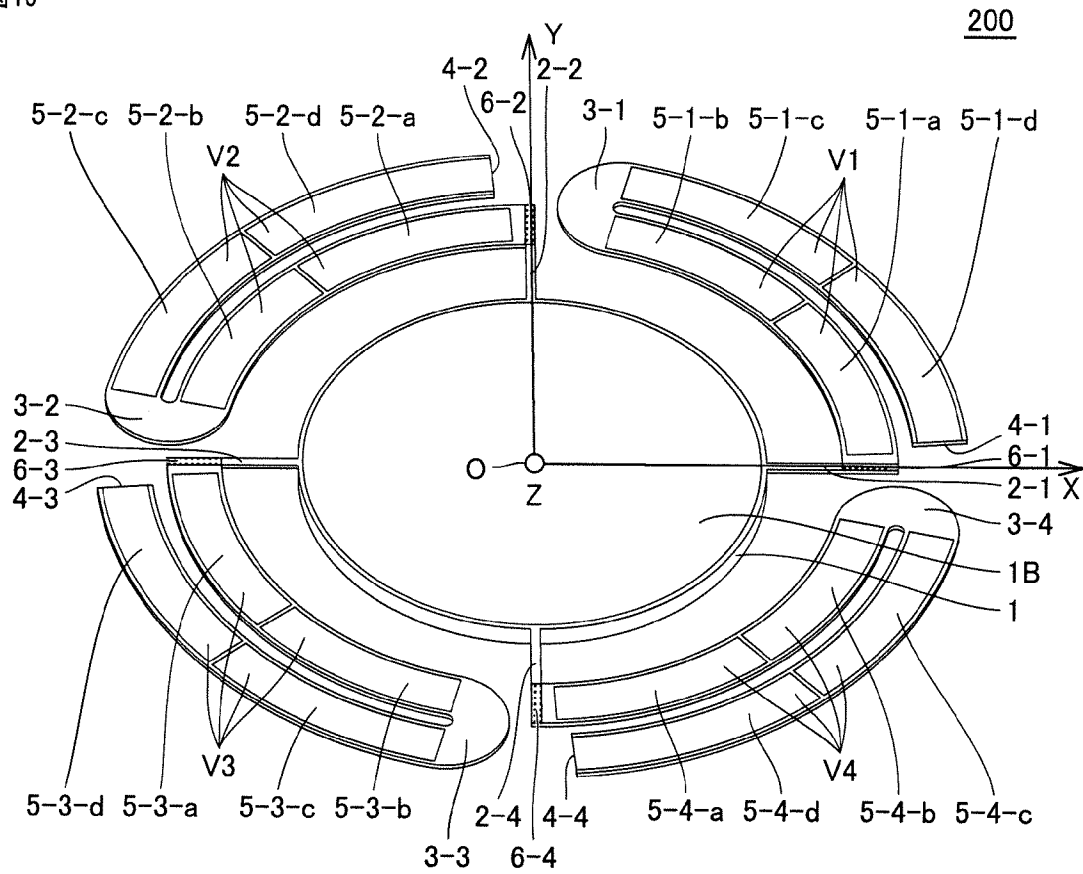
[図15]

図15



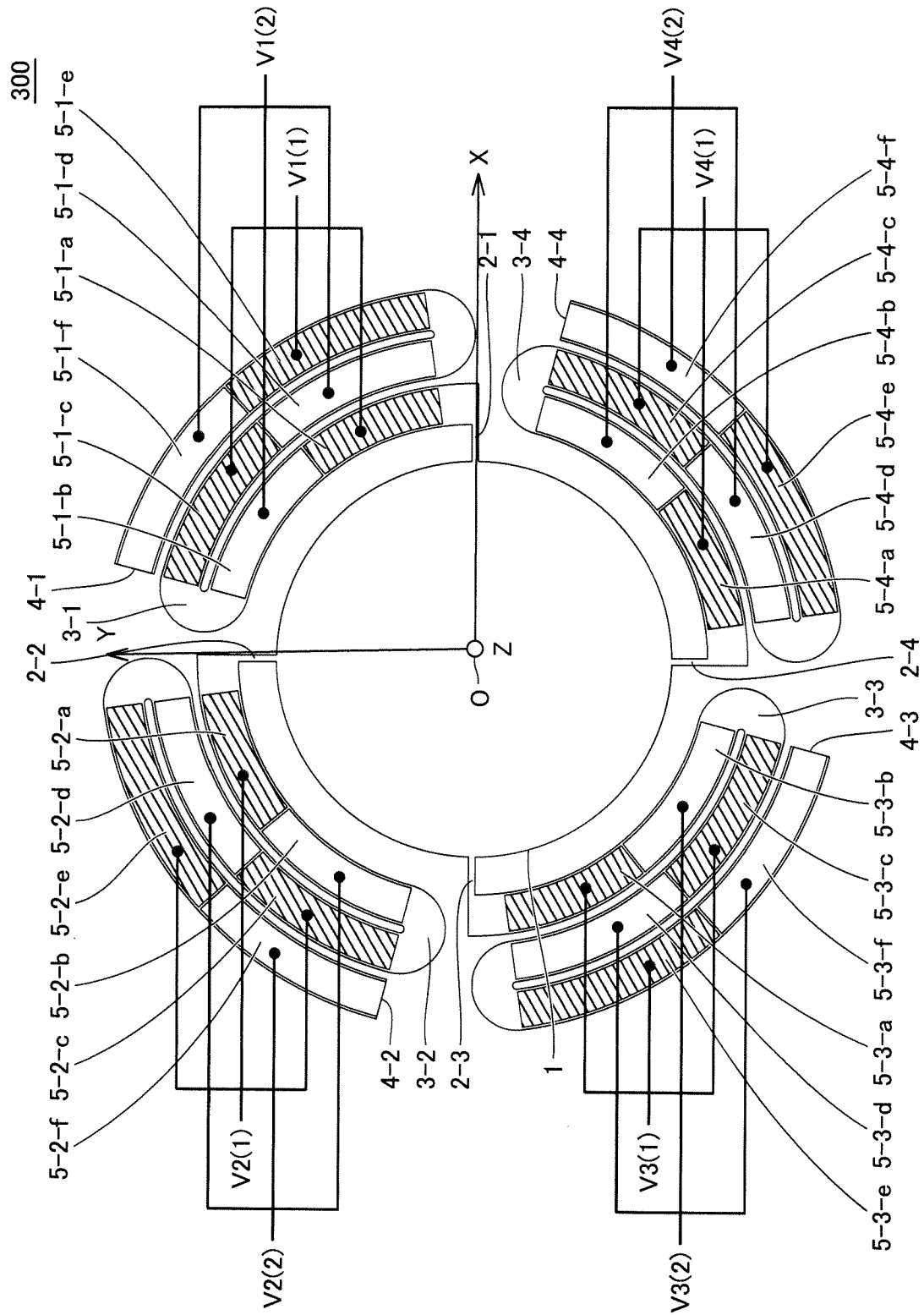
[図16]

図16



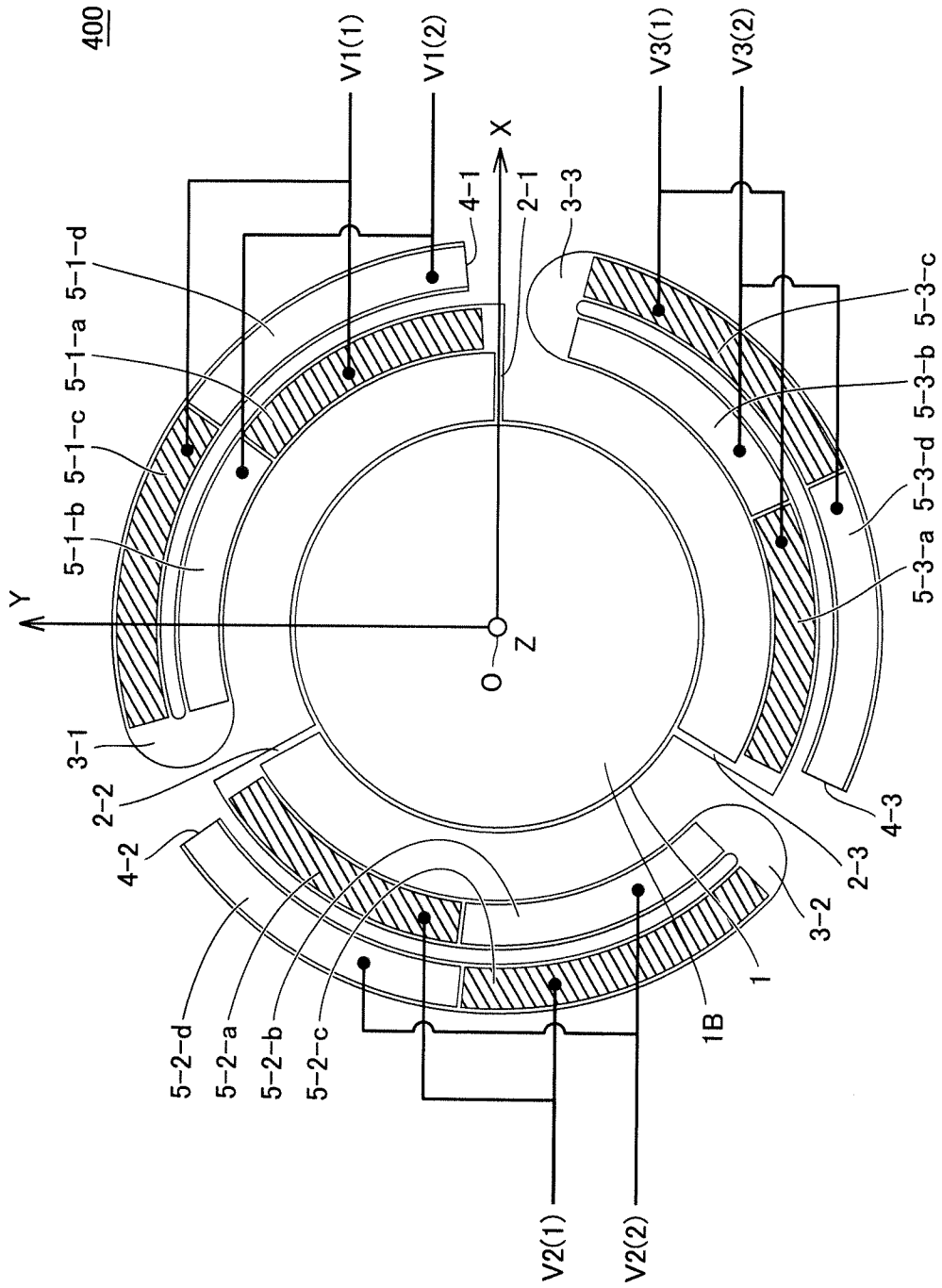
[図17]

図17



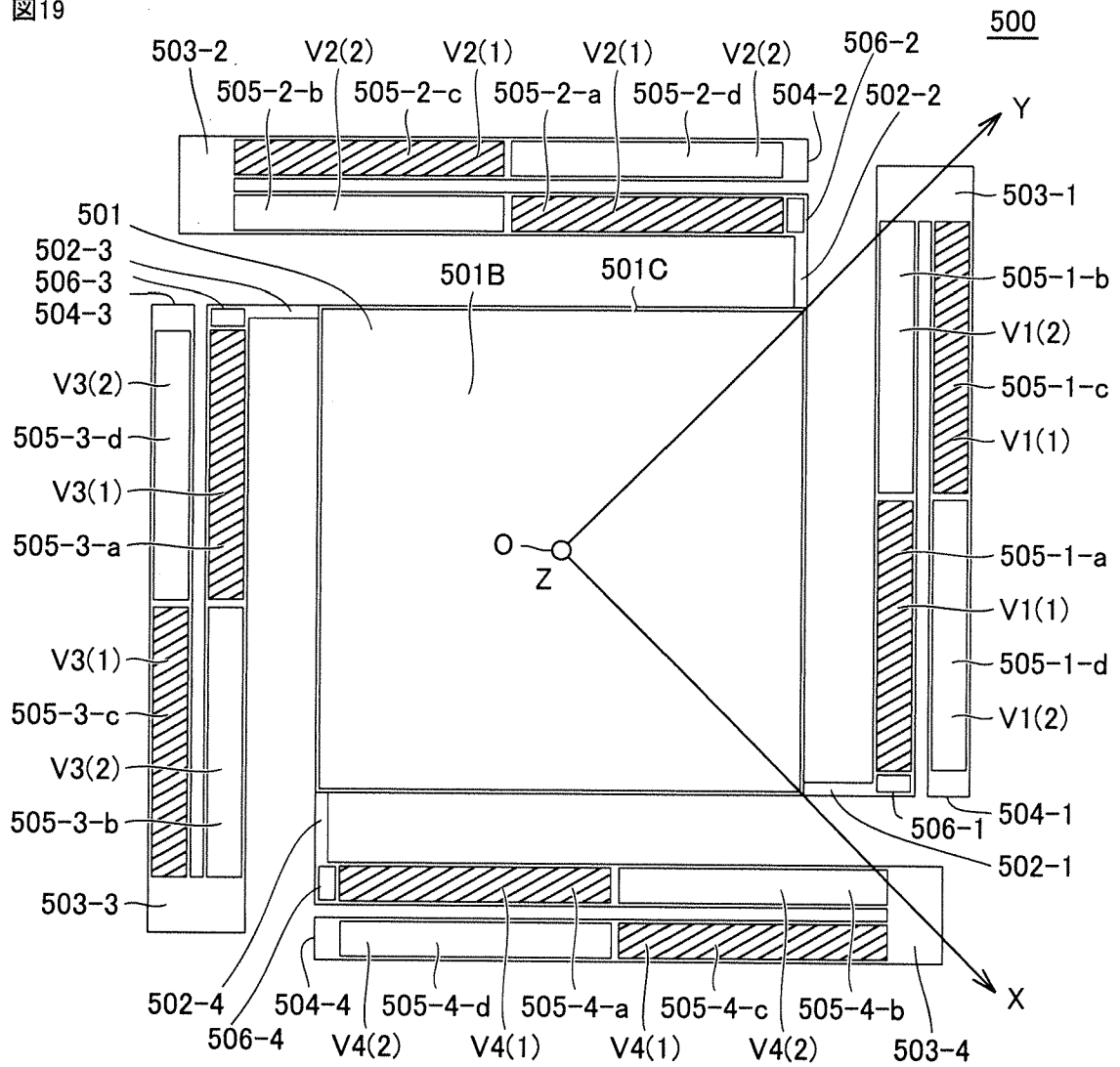
[図18]

図18



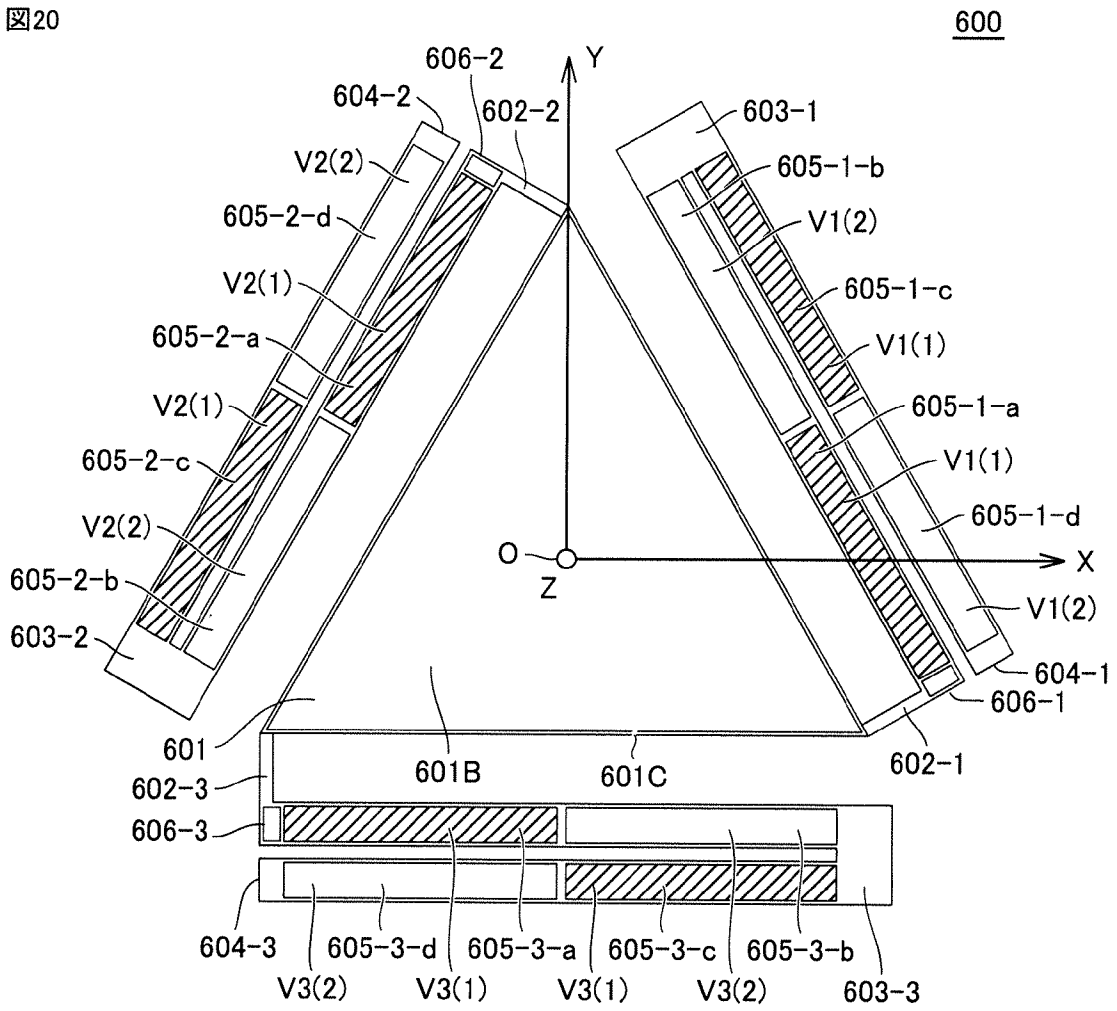
[図19]

図19



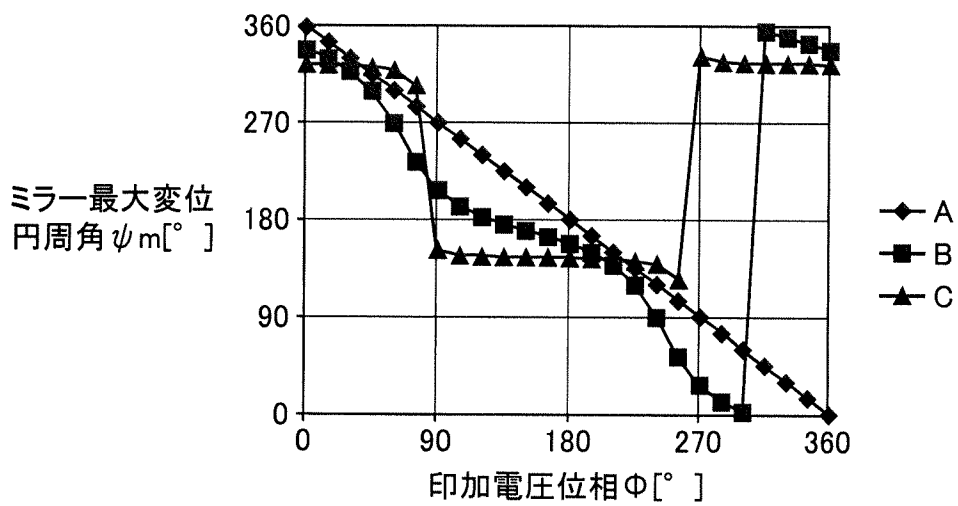
[図20]

図20



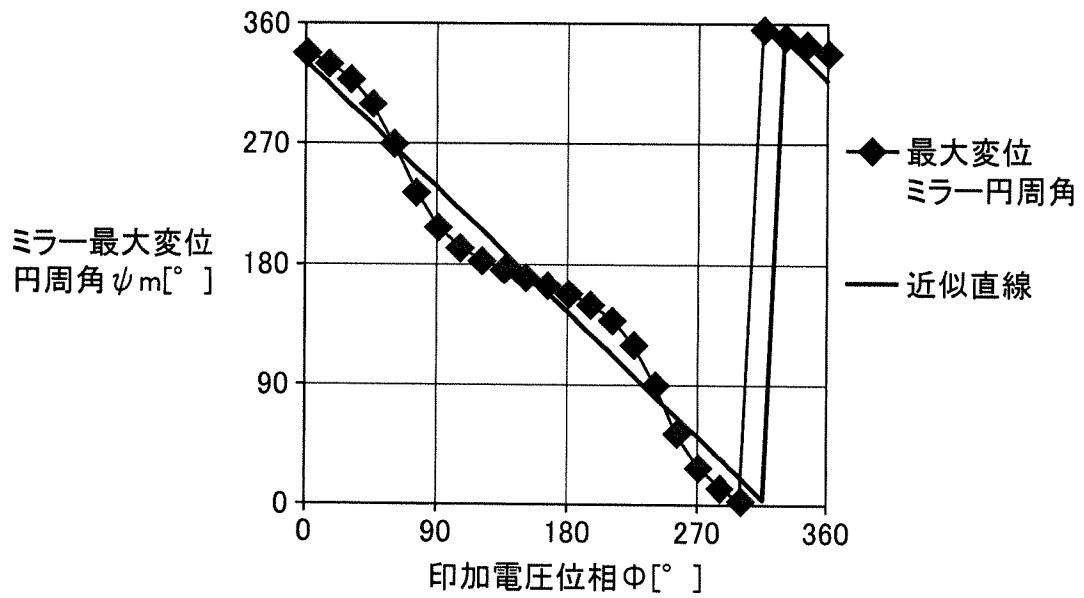
[図21]

図21



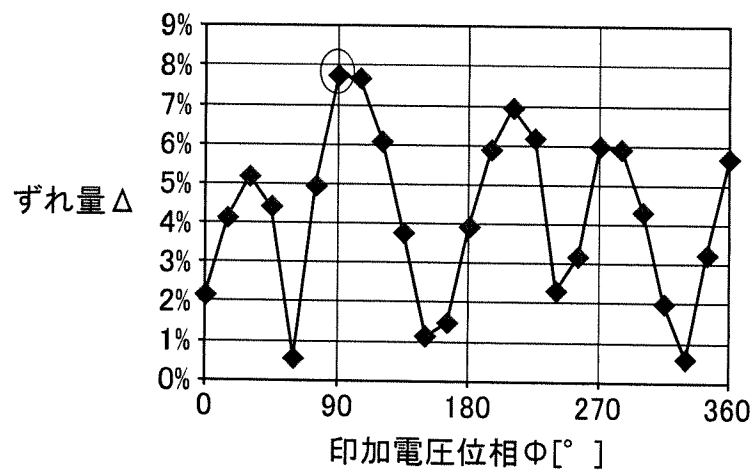
[図22]

図22



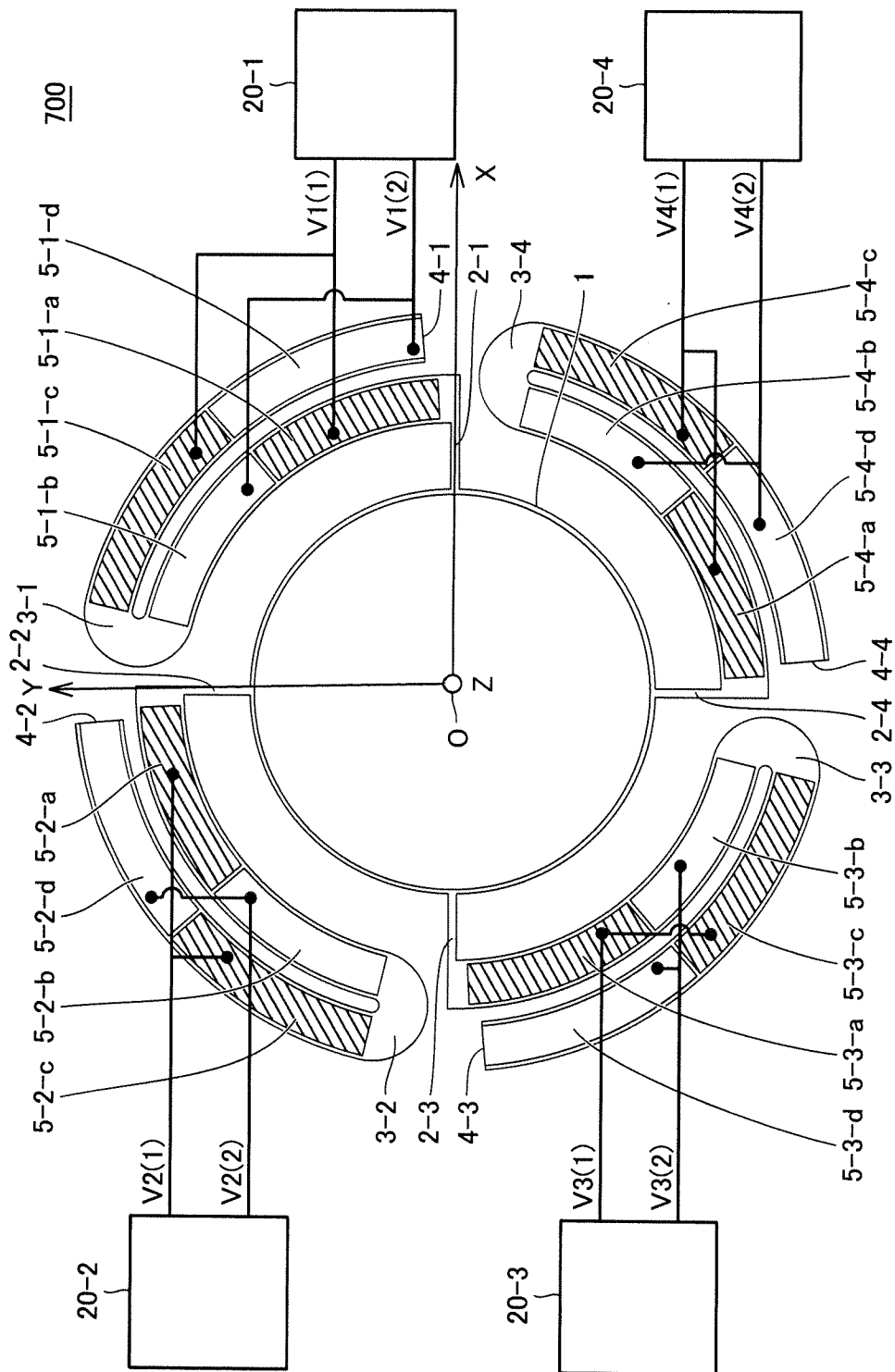
[図23]

図23



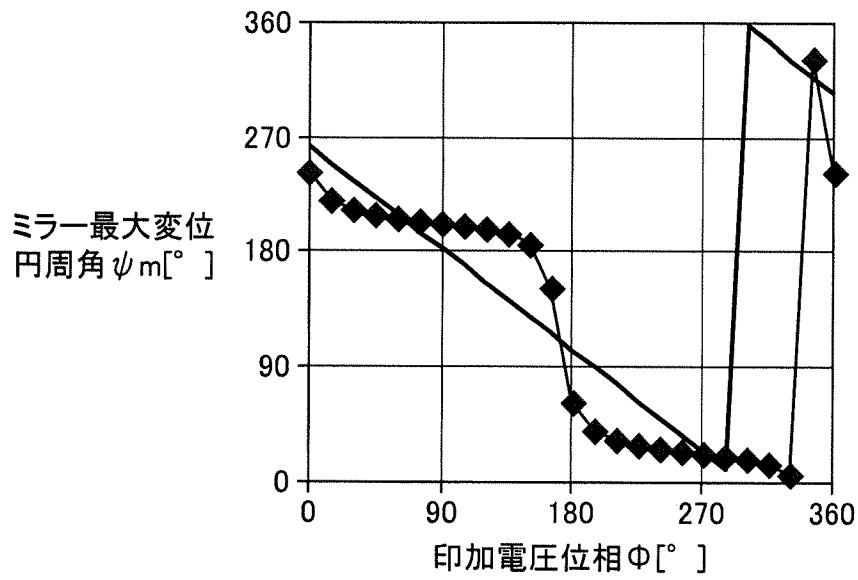
[図24]

図24



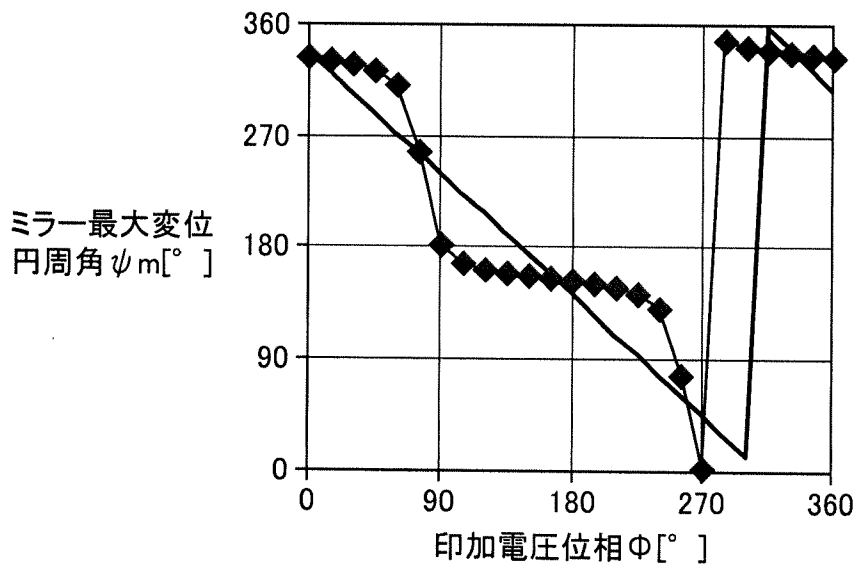
[図25]

図25



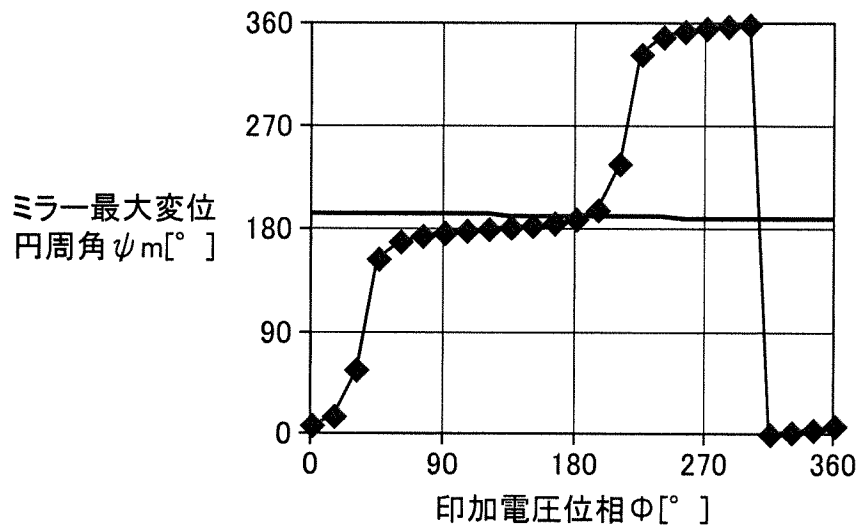
[図26]

図26



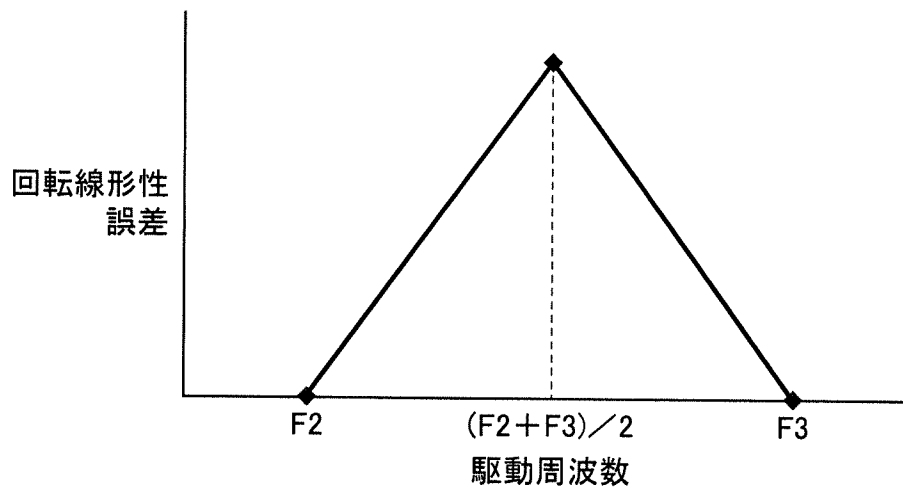
[図27]

図27



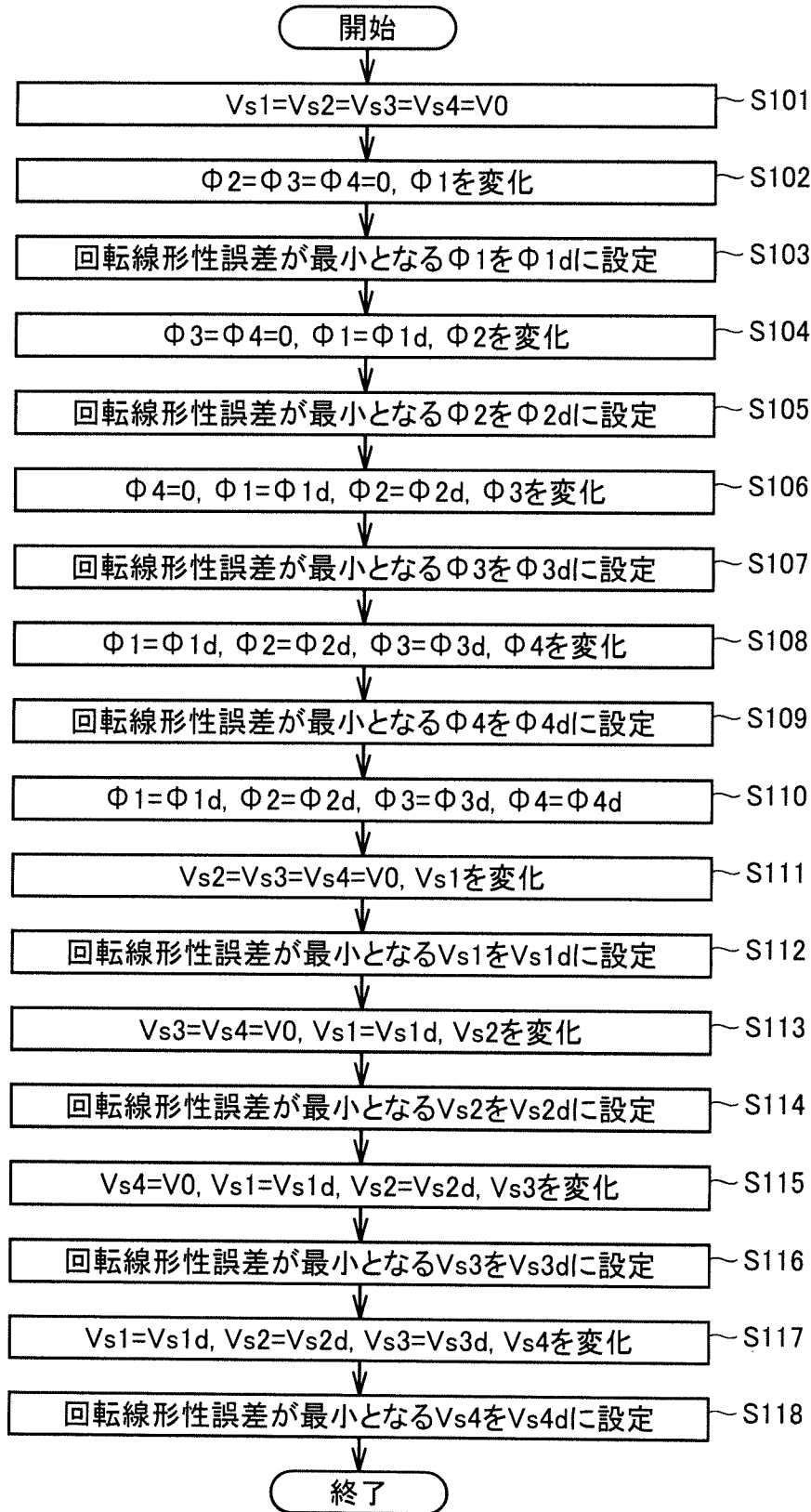
[図28]

図28



[図29]

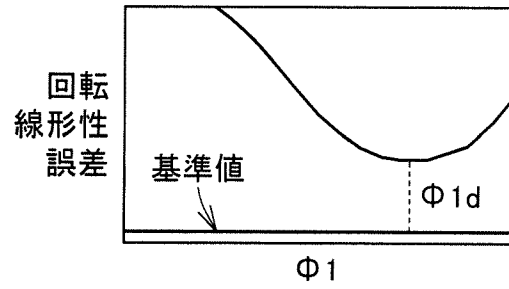
図29



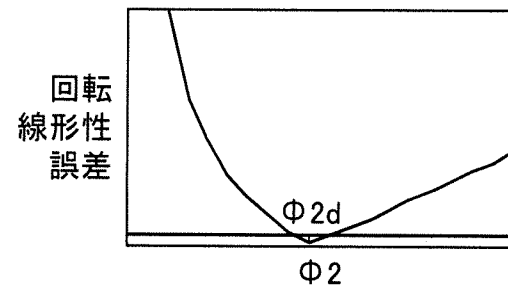
[図30]

図30

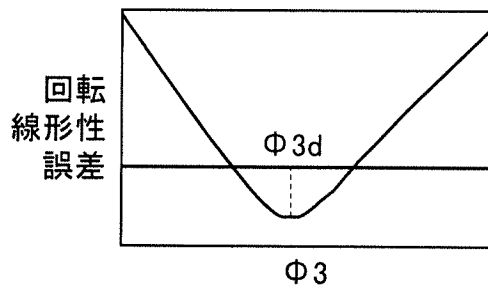
(a)



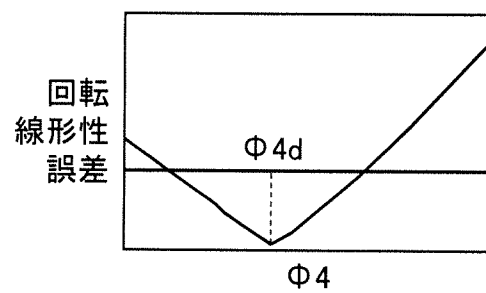
(b)



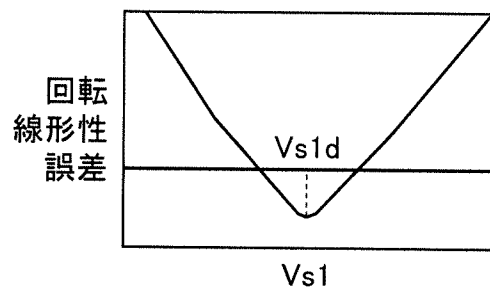
(c)



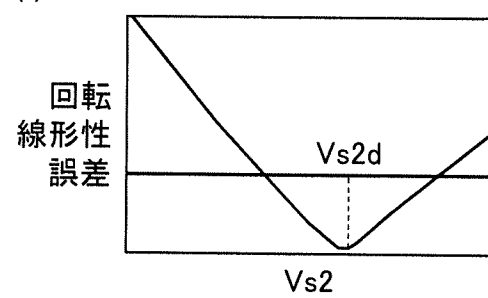
(d)



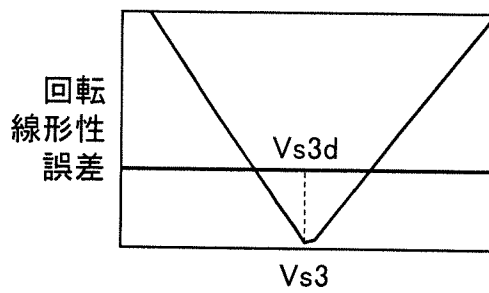
(e)



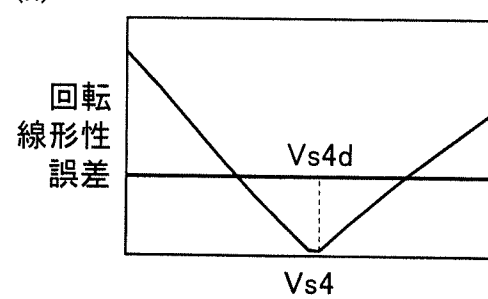
(f)



(g)

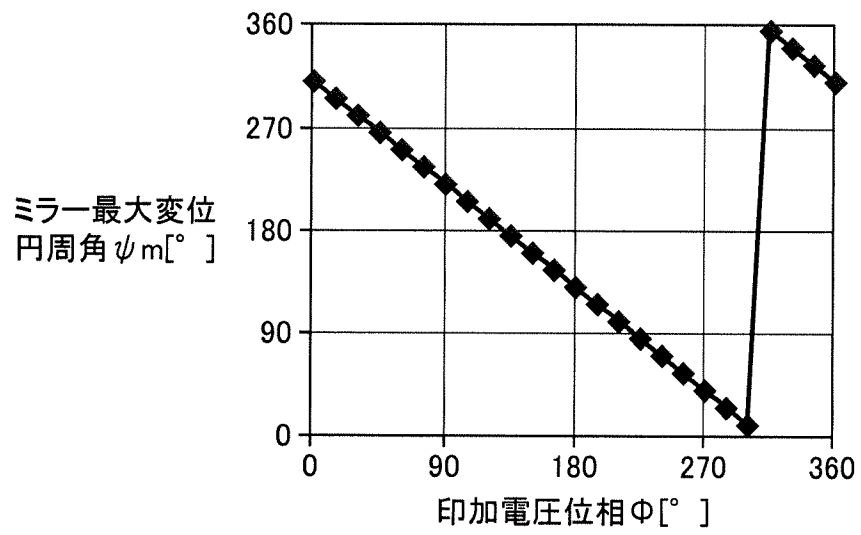


(h)



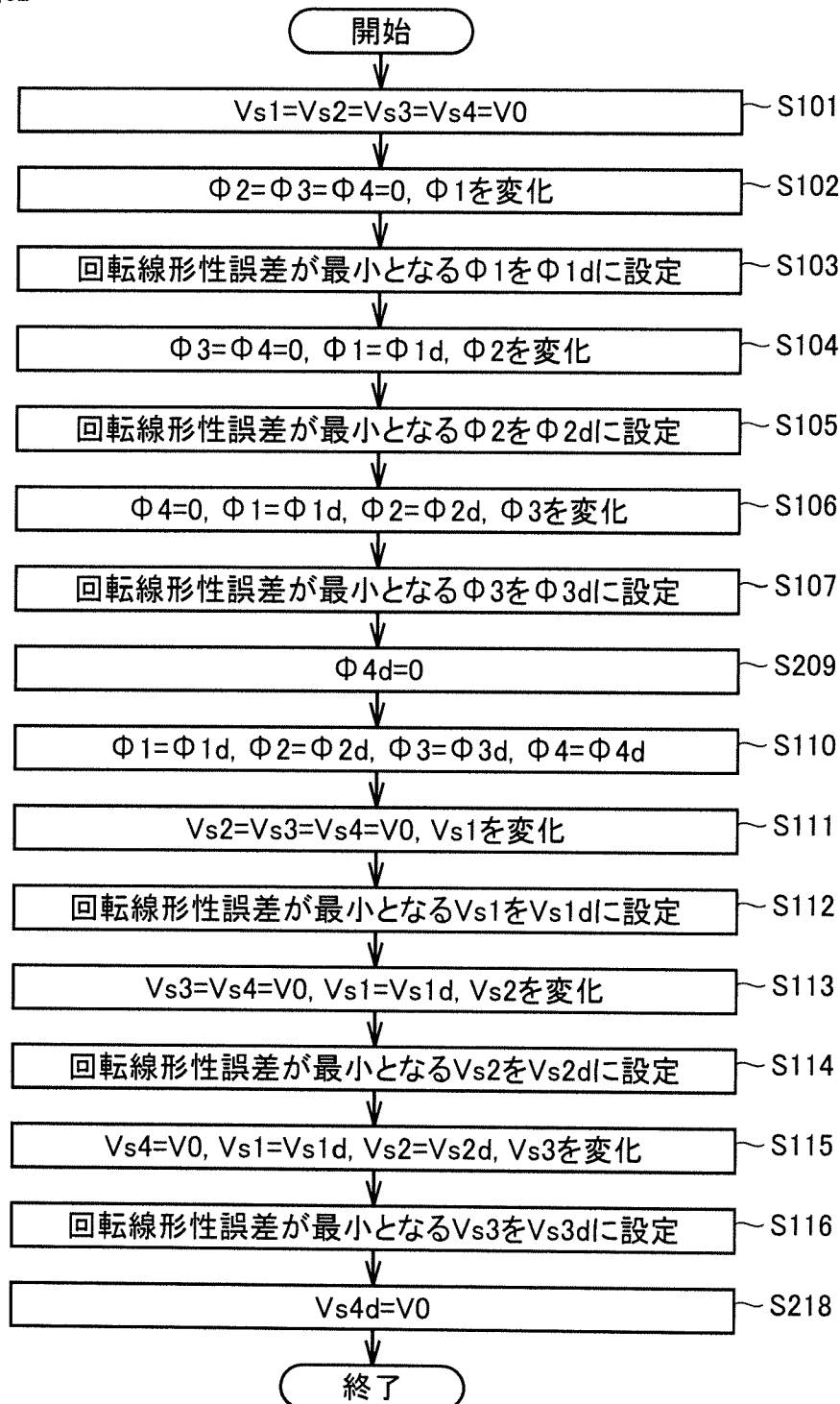
[図31]

図31



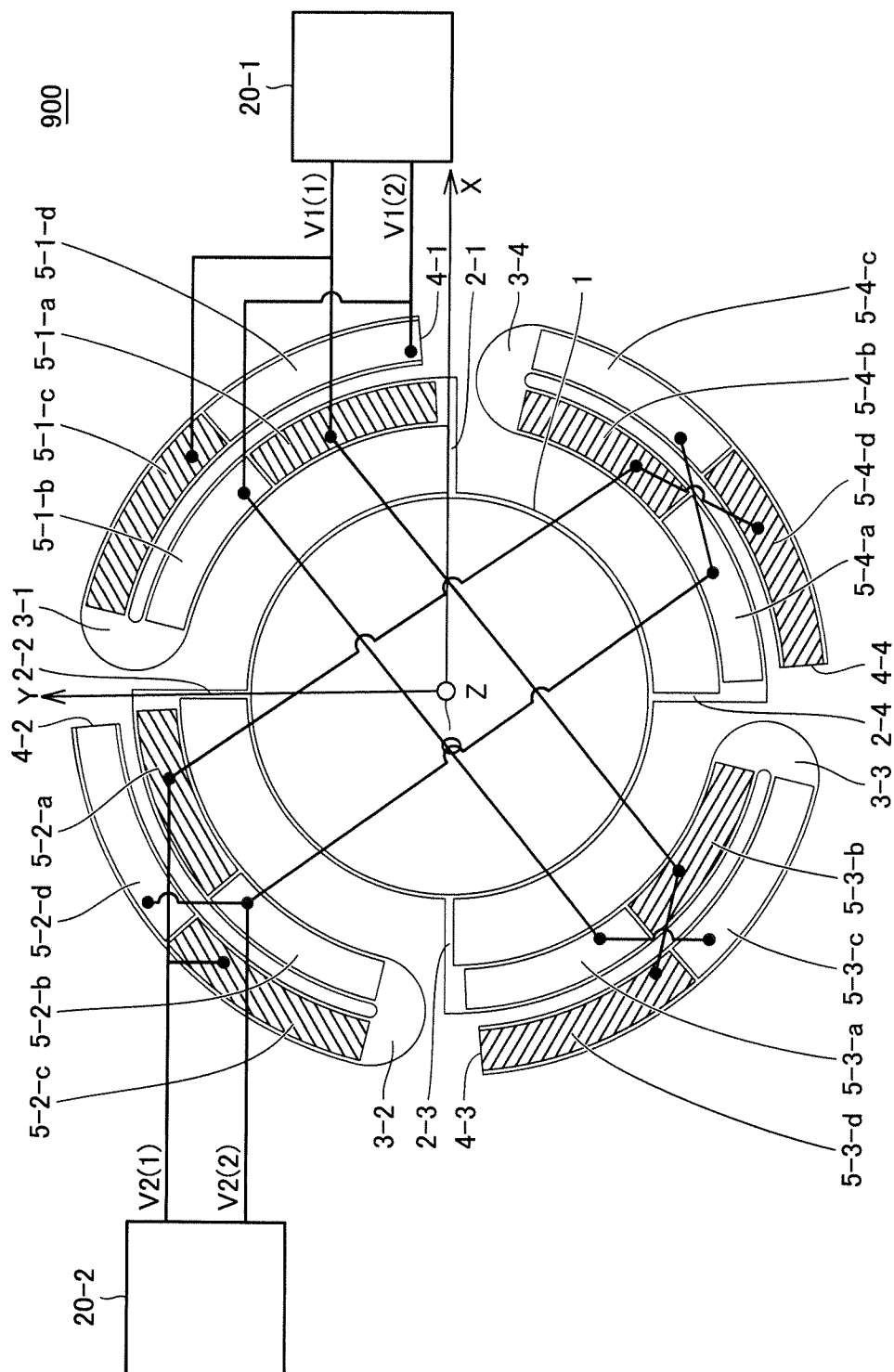
[図32]

図32



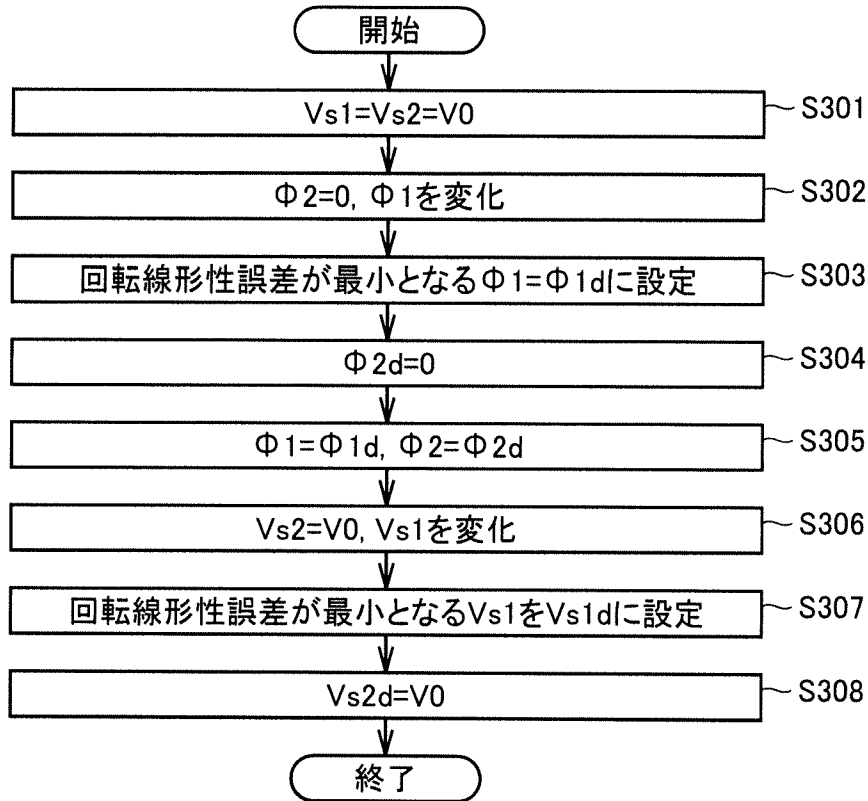
[図33]

图 33



[図34]

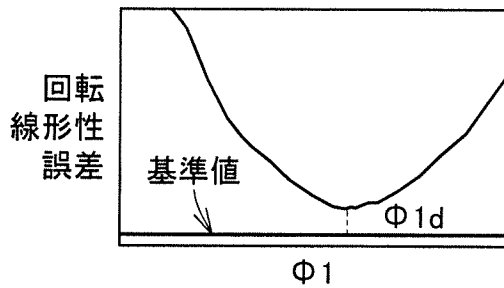
図34



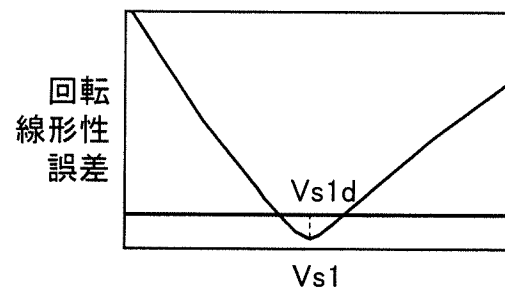
[図35]

図35

(a)

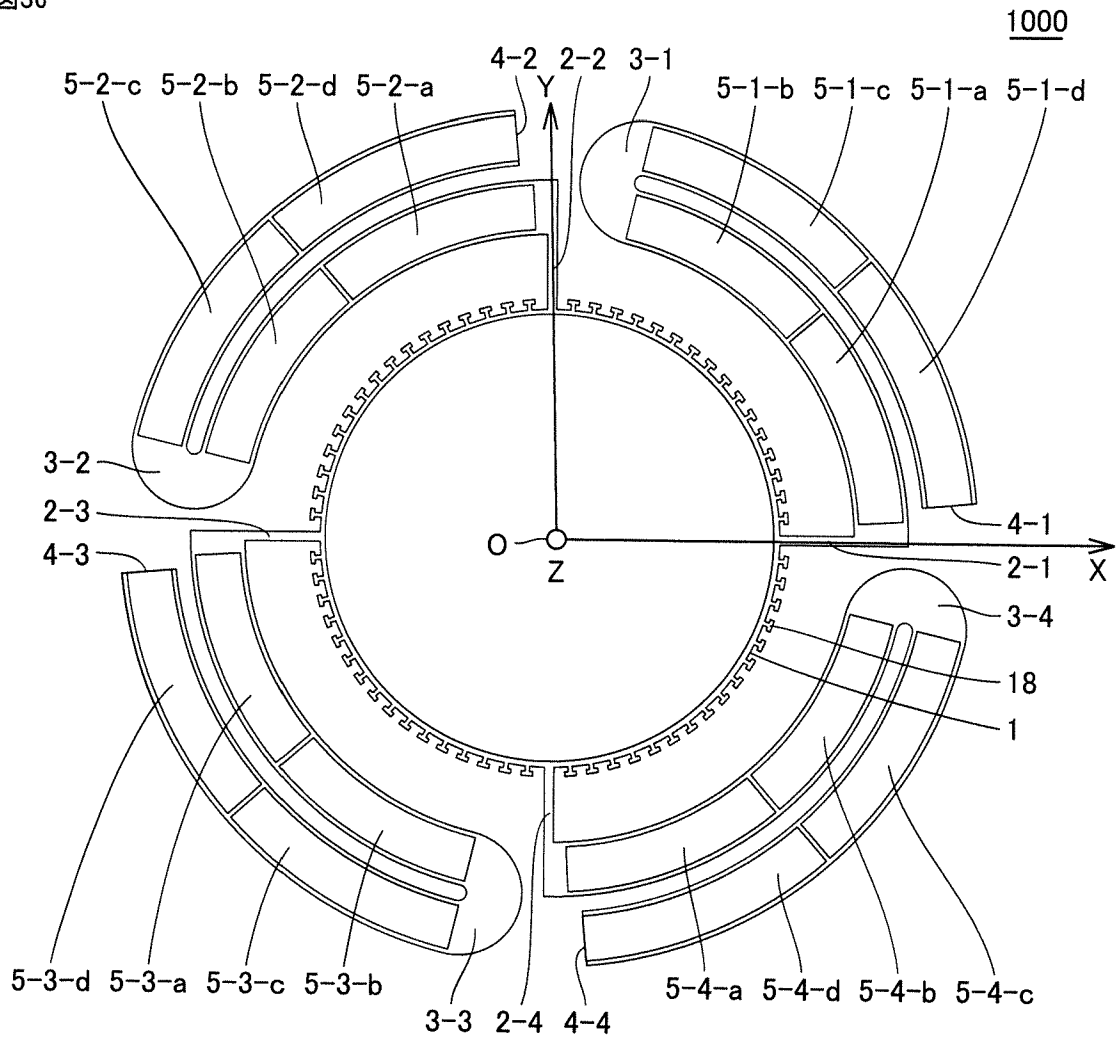


(b)



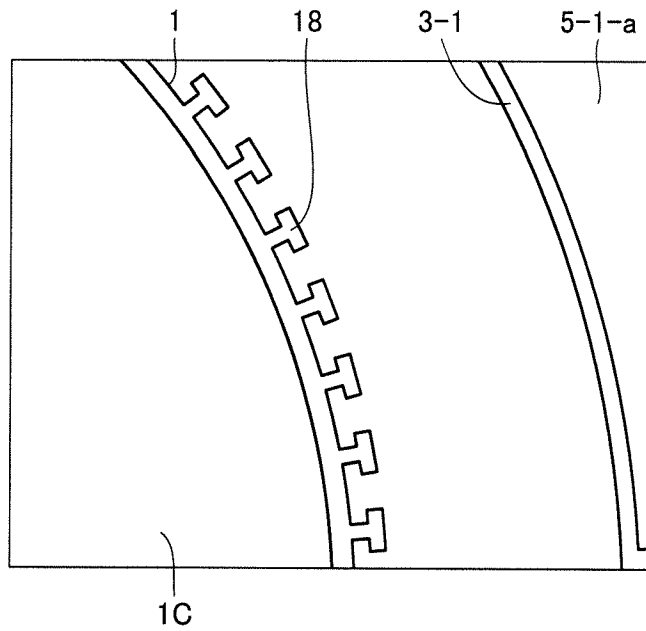
[図36]

図36



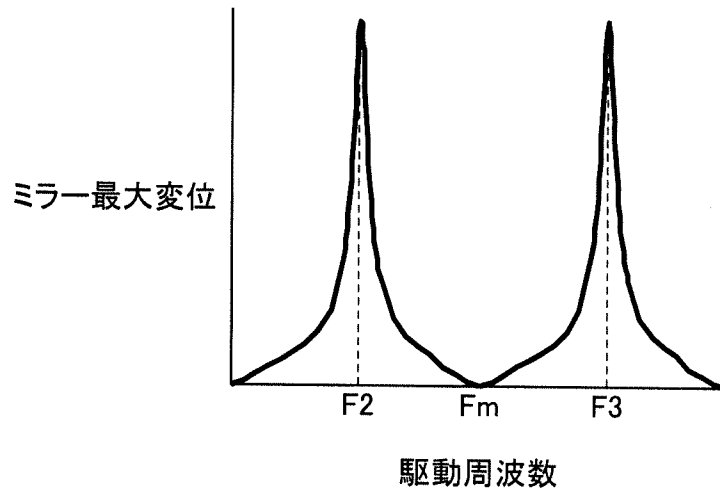
[図37]

図37



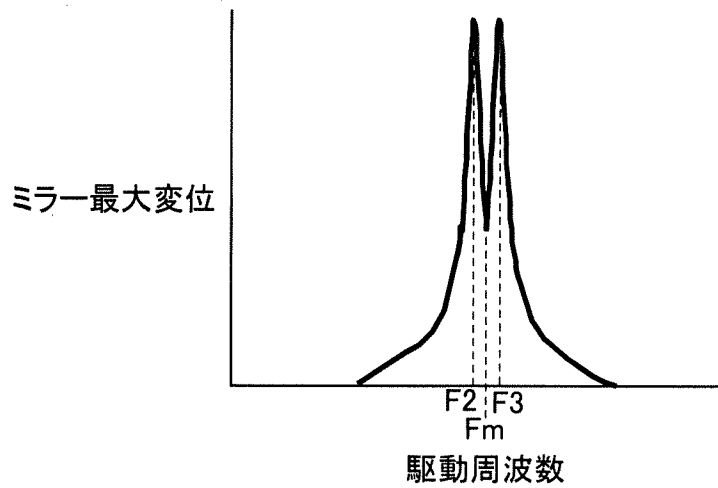
[図38]

図38



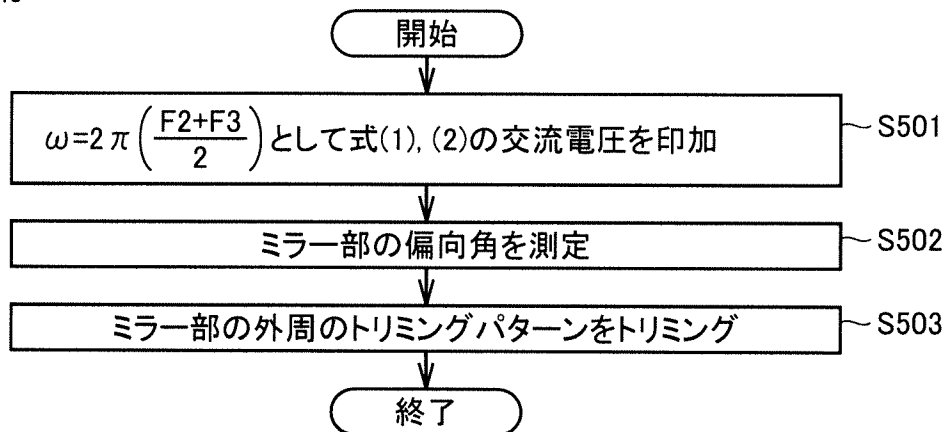
[図39]

図39



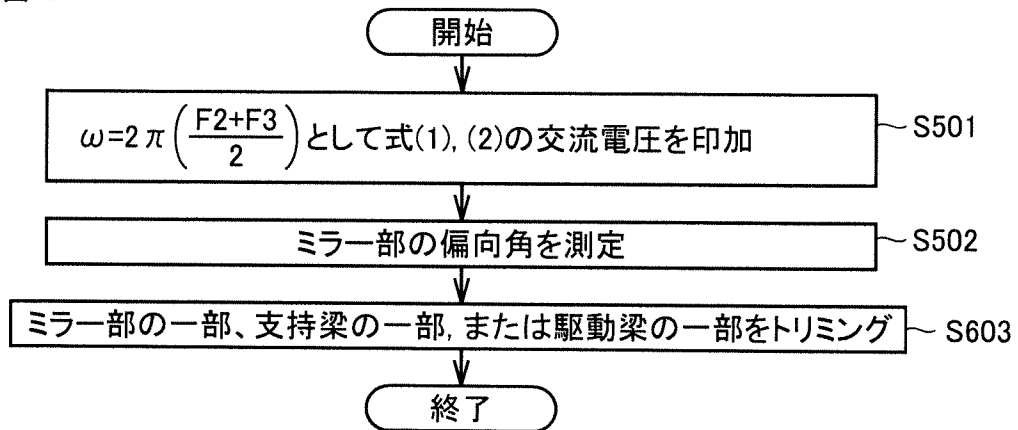
[図40]

図40



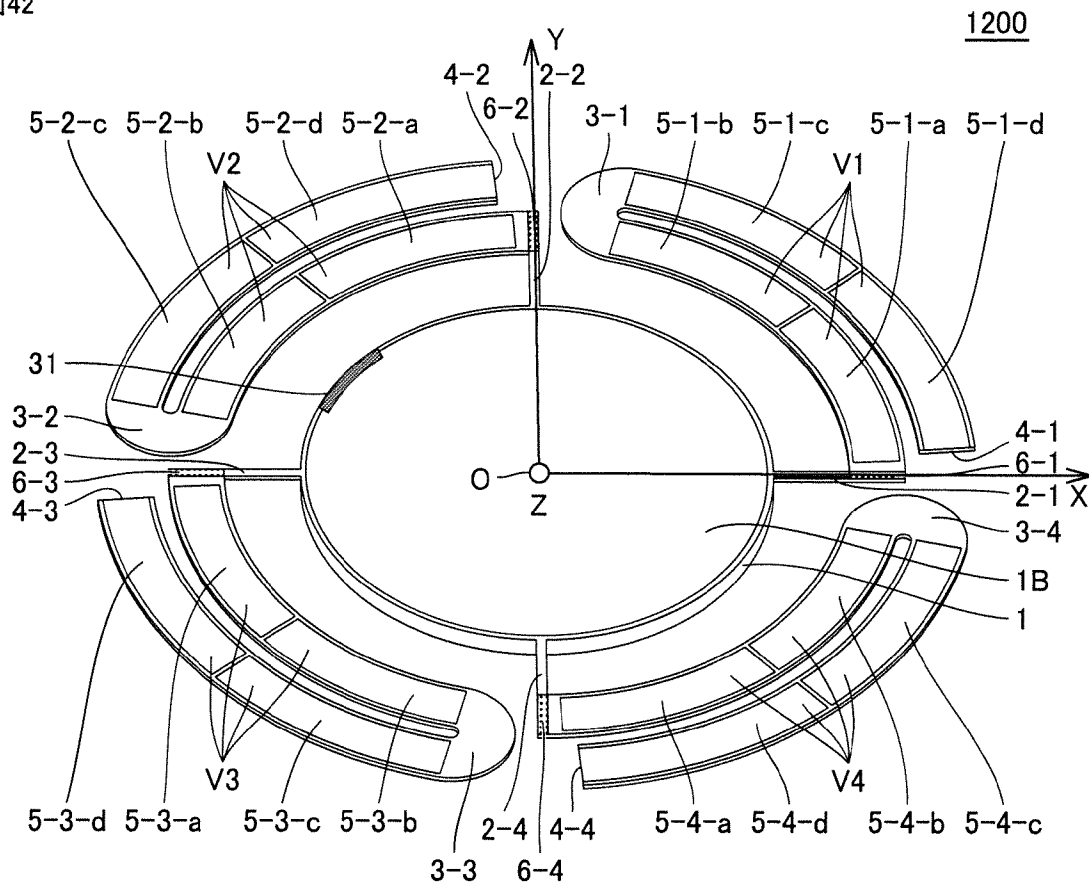
[図41]

図41



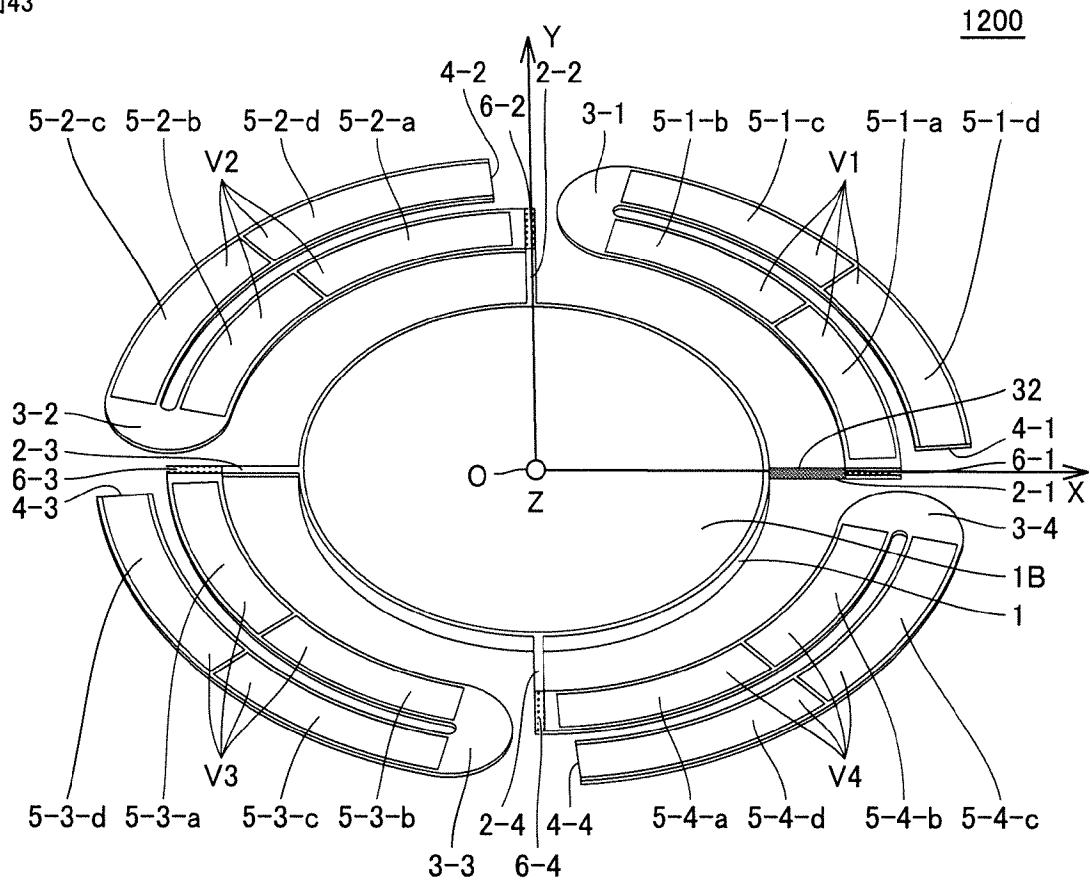
[図42]

図42



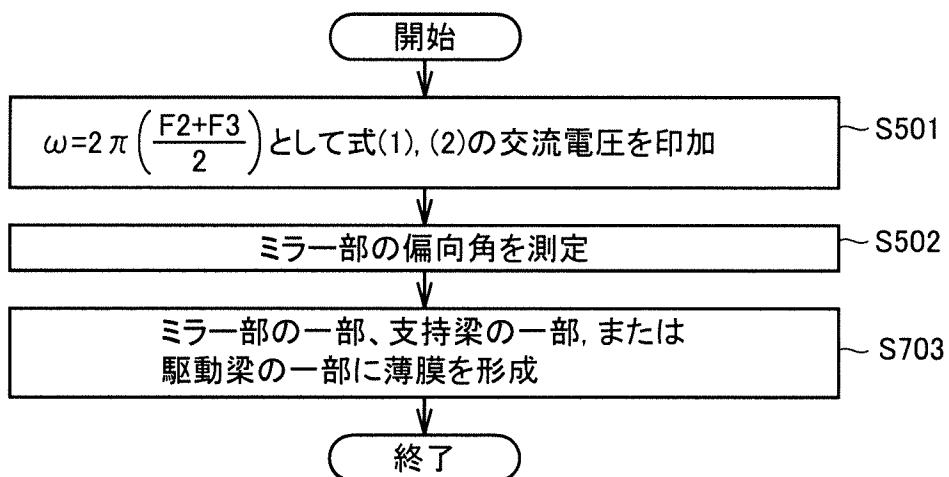
[図43]

図43



[図44]

図44



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/010401

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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

Int.Cl. G02B26/10, B8183/00, G02B26/08

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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.
Y	JP 2017-3717 A (TRI-FORCE MANAGEMENT CORPORATION) 05 January 2017, claims, paragraphs [0007]-[0224] (in particular, paragraphs [0151]-[0164]), fig. 1- 25 (in particular, fig. 11-12) & WO 2016/199780 A1 & CN 107615131 A	1-21
Y	JP 2014-92630 A (DENSO CORP.) 19 May 2014, claims, paragraphs [0108]-[0120], fig. 19 (Family: none)	1-21



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
08 June 2018 (08.06.2018)

Date of mailing of the international search report
19 June 2018 (19.06.2018)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/010401

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-100103 A (VICTOR COMPANY OF JAPAN, LTD.) 19 May 2011, claims, paragraphs [0031]-[0272], fig. 1-39 (Family: none)	1-21
A	JP 2010-237492 A (STANLEY ELECTRIC CO., LTD.) 21 October 2010, claims, entire text, all drawings & US 2010/0245966 A1, all claims, paragraphs and figures	1-21
A	JP 2013-167681 A (FUJIFILM CORPORATION) 29 August 2013, claims, entire text, all drawings & US 2013/0208330 A1, all claims, paragraphs and figures & CN 103246059 A	1-21

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

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

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

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

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
Y	JP 2017-3717 A（株式会社トライフォース・マネジメント） 2017.01.05, 特許請求の範囲、段落【0007】-【0224】（特に【0151】 -【0164】）、第1図-第25図（特に第11-12図） & WO 2016/199780 A1 & CN 107615131 A	1-21
Y	JP 2014-92630 A（株式会社デンソー）2014.05.19, 特許請求の範囲、 段落【0108】-【0120】、第19図（ファミリーなし）	1-21

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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

08.06.2018

国際調査報告の発送日

19.06.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

越河 勉

2 L

9313

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

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
Y	JP 2011-100103 A (日本ビクター株式会社) 2011.05.19, 特許請求の範囲、段落【0031】-【0272】、第1図-第39図 (ファミリーなし)	1-21
A	JP 2010-237492 A (スタンレー株式会社) 2010.10.21, 特許請求の範囲、全文、全図 & US 2010/0245966 A1, all claims. paragraphs and figures	1-21
A	JP 2013-167681 A (富士フイルム株式会社) 2013.08.29, 特許請求の範囲、全文、全図 & US 2013/0208330 A1, all claims. paragraphs and figures & CN 103246059 A	1-21