

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 12 月 27 日(27.12.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/176492 A1

- (51) 国際特許分類:
H02N 2/00 (2006.01) G02B 26/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/053854
- (22) 国際出願日: 2012 年 2 月 17 日(17.02.2012)
- (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 2011-137529 2011 年 6 月 21 日(21.06.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): コニカミノルタアドバンスレイヤー株式会社 (Konica Minolta Advanced Layers, Inc.) [JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中垣 保孝 (NAKAGAKI Yasutaka) [JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 コニカミノルタオプト株式会社内 Tokyo (JP). 吉田 龍一 (YOSHIDA Ry-uichi) [JP/JP]; 〒1918511 東京都日野市さくら町 1 番地 コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内 Tokyo (JP). 野田 哲也 (NODA Tetsuya)

[JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 コニカミノルタオプト株式会社内 Tokyo (JP). 松尾 隆 (MATSUO Takashi) [JP/JP]; 〒1918511 東京都日野市さくら町 1 番地 コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内 Tokyo (JP). 久保 直樹 (KUBO Naoki) [JP/JP]; 〒1918511 東京都日野市さくら町 1 番地 コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 佐野 静夫 (SANO Shizuo); 〒5400032 大阪府大阪市中央区天満橋京町 2 - 6 天満橋八千代ビル別館 Osaka (JP).

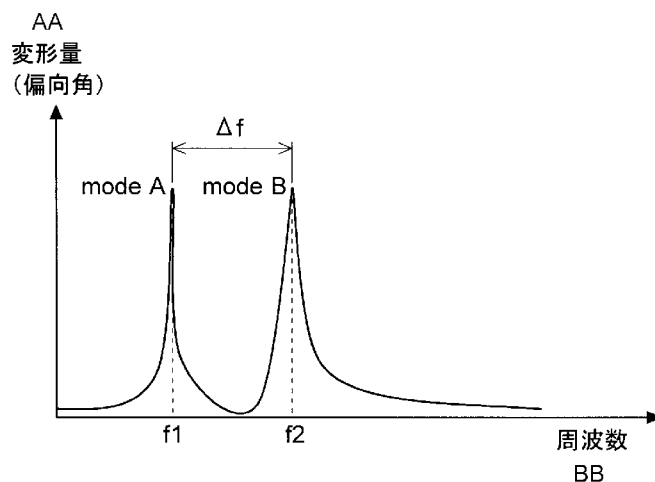
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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.

[続葉有]

(54) Title: RESONANCE DRIVE ACTUATOR, MICROSCANNER, AND OPTICAL APPARATUS

(54) 発明の名称: 共振駆動アクチュエーター、マイクロスキャナおよび光学機器

[図4]



AA Amount of deformation (angle of deflection)
BB Frequency

(57) Abstract: In the present invention, an optical scanner (10) is provided with a mirror (11) that is driven by resonance, and has at least two resonance motors that can be utilized in the driving of the mirror (11). Also, the mirror (11) is subjected to resonance driving by the frequency of the resonance motors that are functioning. As a result, it is possible to stably drive the mirror (11) even if there are assembly variations.

(57) 要約: 光スキャナ (10) は、共振により駆動されるミラー部 (11) を備えるとともに、ミラー部 (11) の駆動に活用可能な共振モードを2つ以上有している。そして、このミラー部 (11) が、機能している共振モードの周波数により共振駆動される。これにより、組立バラツキが発生した場合でも、ミラー部 (11) を安定して駆動することができる。



WO 2012/176492 A1



(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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

共振駆動アクチュエーター、マイクロスキャナおよび光学機器

技術分野

[0001] 本発明は、共振駆動アクチュエーター、マイクロスキャナおよび光学機器に関する。

背景技術

[0002] 従来、揺動可能に保持された駆動体を備え、この駆動体を共振駆動させる共振駆動アクチュエーターが知られている。また、近年、共振駆動アクチュエーターは、シリコンやガラスなどを微細加工するマイクロマシニング技術を用いてミラーや弾性梁等の構成部品が一体成形されたMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスに活用されつつある。

[0003] 共振駆動アクチュエーターを含むMEMSデバイスとしては、レーザー光等の光線を偏光・走査する光スキャナ（マイクロスキャナ）が知られており、画像投影装置等の光学機器に利用されている。

[0004] また、このような光スキャナの一例として、従来、水平走査および垂直走査が可能な2次元走査の光スキャナが知られている（たとえば、特許文献1参照）。

[0005] 上記特許文献1には、光を反射させるミラー部（駆動体）を備え、このミラー部が揺動可能に保持された光スキャナが記載されている。この光スキャナでは、上記ミラー部がミラー軸部を介して可動枠部に保持されている。また、可動枠部には、ミラー軸部と直交する方向に延びる枠軸部が接続されている。このため、上記ミラー部は、ミラー軸部および枠軸部のそれぞれを基準に揺動される。これにより、レーザー光等の光線を2次元走査することが可能となる。また、特許文献1に記載の光スキャナは、枠軸部につながることによって可動枠部を保持する保持部と、ミラー部を加振（揺動）させるた

めの加振源（駆動体）とを有している。加振源は、圧電素子を含んだユニモルフ構造からなり、保持部の面上に圧電素子が貼り付けられることによって構成されている。このため、圧電素子に電圧が印加されると、圧電素子が伸縮し、保持部が変形する。そして、保持部の変形によって、ミラー部が揺動（駆動）される。

[0006] また、ミラー軸部を基準としたミラー部の揺動（駆動）は、大きな変位を得るために共振によりなされる。そして、特許文献1では、加振源（保持部）の変形が大きくなる加振源の共振周波数と、ミラー部の共振周波数とが一致するように構成されている。これにより、ミラー部の変位をより大きくすることが可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：国際公開WO2009/087883

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、上記した光スキャナは、圧電素子が保持部に貼り付けられることによって作製（加振源が構成）されるため、製品化（量産）する際の組立誤差により加振源にばらつきが発生する場合がある。加振源にばらつきが発生すると、加振源の共振周波数がミラー部（駆動体）の共振周波数を中心に略対称になることがある。すなわち、加振源の共振周波数が駆動体の共振周波数をまたいだ（挟んだ）周波数特性になることがある。この場合、加振源の位相が反転してしまい、駆動体（ミラー部）が駆動（揺動）しなくなる（駆動体の駆動量を十分に確保することができなくなる）という問題点がある。なお、この場合、駆動体（ミラー部）を駆動させる共振モード（駆動体の共振モード）は機能していない状態となっている。

[0009] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つの目的は、組立バラツキが発生した場合でも、駆動体を安定し

て駆動させることが可能な共振駆動アクチュエーター、マイクロスキャナおよび光学機器を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0010] 上記目的を達成するために、本願発明者らが鋭意検討した結果、駆動体に2つ以上の共振モードを発生させ、これらの共振モードを活用することで駆動体の安定性を格段に向上させることが可能となることを見出した。
- [0011] すなわち、この発明の第1の局面による共振駆動アクチュエーターは、共振により駆動される駆動体を備えるとともに、駆動体の駆動に活用可能な共振モードを2つ以上有している。そして、上記駆動体が、機能している共振モードの周波数により共振駆動される。なお、活用可能な共振モードとは、共振駆動アクチュエーターにおいて、たとえば、所望の速度で駆動体を駆動させることが可能な共振モードを意味する。
- [0012] この第1の局面による共振駆動アクチュエーターでは、上記のように、駆動体の駆動に活用可能な共振モードを2つ以上有することによって、たとえば、組立バラツキにより一部の共振モードが機能しなくなった場合でも、他の共振モードは機能している状態とすることができる。このため、機能している共振モードを用いることによって、組立バラツキが発生した場合でも駆動体を駆動させることができる（駆動体の駆動量を十分に確保することができる）。これにより、駆動体の安定性を格段に向上させることができる。
- [0013] なお、生産技術を高めて高精度組立を行えば、駆動体の安定性を高めることは可能である。しかしながら、上記のように、駆動体の駆動に活用可能な共振モードを2つ以上有する構成とすることで、安易でラフな組立を行った場合でも組立バラツキにより駆動体が駆動しなくなるという問題を解決することができる。このため、コストダウンおよび生産性の向上等を図ることができる。
- [0014] 上記第1の局面による共振駆動アクチュエーターにおいては、駆動体を加振する加振源を備えているのが好ましい。この場合、共振モードの少なくとも1つは、加振源の共振周波数より小さい周波数を有しているのが好ましい

。このように構成すれば、組立バラツキが生じた際に、加振源の共振周波数によってまたがれない（挟まれない）共振モード（駆動体の共振周波数）を発生させることができる。このため、容易に、機能している共振モードを発生させることができるので、効果的に駆動体を安定して駆動させることができる。

[0015] この場合において、上記共振モードを、加振源の共振周波数より小さい周波数を有する第1共振モードと、加振源の共振周波数より大きい周波数を有する第2共振モードとを含むように構成することもできる。このように構成した場合でも、効果的に駆動体を安定して駆動させることができる。

[0016] また、上記加振源を備えた構成において、2つ以上の共振モードの少なくとも1つは、加振源の共振周波数と近似または一致する周波数を有しているのが好ましい。そして、このような共振モードで駆動体を駆動すれば、駆動体の変位（駆動量）を容易に大きくすることができる。

[0017] この発明の第2の局面によるマイクロスキャナは、上記第1の局面による共振駆動アクチュエーターを含んだマイクロスキャナである。このように構成すれば、容易に、駆動体の安定性を格段に向上させることが可能なマイクロスキャナを得ることができる。

[0018] 上記第2の局面によるマイクロスキャナにおいて、駆動体が光を反射するミラー部からなるとともに、ミラー部を囲むミラー枠をさらに備えた構成とすることもできる。この場合、共振モードが、ミラー部とミラー枠とを異なる方向に振動させる第3共振モードおよびミラー部とミラー枠とを同じ方向に振動させる第4共振モードを含むように構成されているのが好ましい。このように構成すれば、容易に、駆動体の共振モードを2つ以上発生させることができる。

[0019] また、上記第4共振モードにおいて、ミラー部の偏向角は、ミラー枠の偏向角とは異なる大きさであるのが好ましい。このように構成すれば、各共振モード（駆動体の共振周波数）の周波数が互いに近づくように構成することができる。そのため、容易に、2つ以上発生させた駆動体の共振モードを、

駆動体の駆動に活用可能な共振モードとすることができる。すなわち、上記のように構成すれば、所定の周波数（たとえば設計値）に対して、各共振モードの周波数が離れすぎるのを抑制することができる。なお、所定の共振周波数に対して、大きく離れた周波数を有する共振モードは、駆動体（ミラー部）を駆動させるための共振モードとして活用することはできない。

[0020] また、上記したマイクロスキャナは、互いに異なる方向である第1方向および第2方向の2つの走査で2次元走査を行うマイクロスキャナとすることもできる。この場合、たとえば、第1方向に共振モードを2つ以上有する構成とすることができる。

[0021] また、上記第2の局面によるマイクロスキャナにおいて、互いに隣り合う2つの共振モードの周波数をそれぞれ f_1 および f_2 とした場合に、 f_1 および f_2 が以下の式を満たすように構成されているのが好ましい。

$$f_1 < f_2$$

$$f_1 + 0.2 \times f_1 \geq f_2$$

このように構成すれば、各共振モードの周波数を互いに十分に近づけることができるので、容易に、これらの共振モードを駆動体の駆動に活用可能な共振モードとすることができる。

[0022] この発明の第3の局面による光学機器は、上記第2の局面によるマイクロスキャナと、このマイクロスキャナを駆動制御する駆動回路部とを備えた光学機器である。このように構成すれば、駆動体の安定性が格段に向上された光学機器を得ることができる。

発明の効果

[0023] 以上のように、本発明によれば、組立バラツキが発生した場合でも、駆動体を安定して駆動させることが可能な共振駆動アクチュエーター、マイクロスキャナ、および光学機器を容易に得ることができる。

[0024] また、本発明によれば、組立バラツキが発生した場合でも、駆動体の駆動量が確保されるため、安定した製品供給が可能となる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]光スキャナの加振源（圧電素子）に印加する駆動信号を示す概略図である。

[図2] 2次元走査の光スキャナにより走査投影している様子を示した模式図である。

[図3]本発明の第1実施形態による光スキャナと光源との位置関係を示した模式図である。

[図4]本発明の第1実施形態による光スキャナにおけるミラー部の共振モードの一例を模式的に示した図である。

[図5]本発明の第1実施形態による光スキャナの要部構成を概略的に示した平面図である。

[図6]図5に示した光スキャナの一部を拡大して示した断面図である。

[図7]光スキャナの共振モード（駆動体（ミラー部）の共振モード）での駆動状態を示した斜視図である。

[図8]光スキャナの共振モード（加振源の共振モード）での駆動状態を示した斜視図である。

[図9]一般的（典型的）な光スキャナにおける加振源の変形量（ユニモルフ変位）およびミラー部の回転角（ミラー偏向角）の一例を示した図（組立誤差（組立バラツキ）が生じていない場合のミラー部および加振源の周波数特性を示した図）である。

[図10]図9に示したユニモルフ（加振源）における周波数と位相との関係を示した図である。

[図11]一般的（典型的）な光スキャナにおける加振源の変形量（ユニモルフ変位）およびミラー部の回転角（ミラー偏向角）の一例を示した図（組立誤差（組立バラツキ）が生じている場合のミラー部および加振源の周波数特性を示した図）である。

[図12]図11に示したユニモルフ（加振源）における周波数と位相との関係を示した図である。

[図13]本発明の第1実施形態による光スキャナのミラー部の周波数特性の一

例を模式的に示した図（加振源に特性バラツキが生じていない場合のミラー部および加振源の周波数特性の一例を示した図）である。

[図14]本発明の第1実施形態による光スキャナのミラー部の周波数特性の一例を模式的に示した図（加振源に特性バラツキが生じている場合のミラー部および加振源の周波数特性の一例を示した図）である。

[図15]本発明の第1実施形態による光スキャナのミラー部の周波数特性の一例を示した図である。

[図16]本発明の第1実施形態による光スキャナの駆動状態の一例を示した斜視図（図15の低周波側の共振モード（mode A）での駆動状態を示した図）である。

[図17]本発明の第1実施形態による光スキャナの駆動状態の一例を示した斜視図（図15の高周波側の共振モード（mode B）での駆動状態を示した図）である。

[図18]本発明の第1実施形態による光スキャナの一例を示した平面図（光スキャナの一部を示した図）である。

[図19]図18の一部（破線Rで囲んだ部分）を拡大して示した平面図である。

[図20]1つの共振モードを有する光スキャナ（比較例）の周波数特性を示した図である。

[図21]図20における共振モードでのミラー部の駆動状態を示した光スキャナの斜視図である。

[図22]本発明の第2実施形態による光スキャナの共振モードを説明するための図（加振源に特性バラツキが生じていない場合のミラー部および加振源の周波数特性の一例を示した図）である。

[図23]本発明の第3実施形態による画像投影装置の構成を示したブロック図である。

発明を実施するための形態

[0026] 以下、本発明を具体化した実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。な

お、以下の実施形態では、マイクロスキャナの一例である光スキャナに本発明を適用した例について説明する。

[0027] (第1実施形態)

図1は、光スキャナの加振源（圧電素子）に印加する駆動信号を示す概略図である。図2は、2次元走査の光スキャナにより走査投影している様子を示した模式図である。図3は、本発明の第1実施形態による光スキャナと光源との位置関係を示した模式図である。図4は、本発明の第1実施形態による光スキャナにおけるミラー部の共振モードの一例を模式的に示した図である。図5～図21は、本発明の第1実施形態による光スキャナを説明するための図である。まず、図1～図21を参照して、本発明の第1実施形態による光スキャナ10について説明する。

[0028] 第1実施形態による光スキャナ10は、図1に示すように、光源30（図2および図3参照）からの光線LTを反射させるミラー部11を有している。このミラー部11は、図3に示すように、X軸に平行な第1軸（水平トーションバー）と、Y軸に平行で第1軸と略直角に交差する第2軸（垂直トーションバー）とを中心とした回動（揺動）が可能に構成されている。そして、ミラー部11が第1軸および第2軸において2次元的に回動（揺動）することにより、ミラー部11で反射された光源30からの光線LTがラスタ走査される。すなわち、第1実施形態による光スキャナ10は、ミラー部11を変動（揺動）させることでスキャン動作を行う。なお、ミラー部11は、本発明の「駆動体」の一例である。

[0029] また、光スキャナ10のミラー部11は、後述するように、共振により駆動される。そのため、第1実施形態による光スキャナ10は、駆動体であるミラー部11を共振駆動させる共振駆動アクチュエーターを含んだ構成とされている。すなわち、上記光スキャナ10は、共振駆動アクチュエーターを活用した構成とされている。

[0030] ここで、第1実施形態では、上記光スキャナ10（共振駆動アクチュエーター）は、ミラー部11（駆動体）を共振駆動させる共振モードを2つ以上

有している。すなわち、光スキャナ 10 は、図 4 に示すように、ミラー部 11 の偏向角が大きくなる周波数（共振周波数）を有する共振モードを 2 つ以上有している。なお、図 4 では一例として共振モードを 2 つ有する場合を示している。

[0031] これらの共振モードはいずれもミラー部 11 の駆動に活用可能な共振モードとなっている。すなわち、上記光スキャナ 10（共振駆動アクチュエーター）は 2 つ以上の共振モードのいずれをも活用する（使う）。活用可能な共振モードとは、光スキャナ 10（共振駆動アクチュエーター）の駆動において、所望の動作（たとえば、所望の速度でのミラー部 11 の揺動動作）をさせることが可能な共振モードを意味する。すなわち、活用可能な共振モードとは、本来的に活用することができる共振モードであり、後述するように、加振源に特性バラツキが生じていなければミラー部 11 の駆動に用いることが可能な共振モードである。

[0032] 具体的には、第 1 実施形態による光スキャナ 10 は、たとえば、2 つ以上有する共振モードのうちの 1 つの共振モードでミラー部 11 が共振駆動される場合、その共振モード以外の他の共振モードでも同様にミラー部 11 を共振駆動させることが可能な構成となっている。そのため、上記共振モードのいずれもが、所定の周波数（たとえば設計値）と同じ若しくは近い周波数を有している。このため、各共振モードの共振周波数は互いに近づくように調整されている。詳説すると、互いに隣り合う 2 つの共振モードの周波数の差である Δf （図 4 参照）が小さくなるように調整されており、両方の共振モードが活用可能となっている。

[0033] なお、この Δf が大きすぎると、一方の共振モードが所定の周波数（たとえば設計値）と同じ若しくは近い周波数を有している場合、他方の共振モードは所定の周波数（たとえば設計値）から大きく離れる。このため、一方の共振モードでミラー部 11 を共振駆動させることができたとしても、他方の共振モードでミラー部 11 を共振駆動させることができなくなる。そのため、この場合には、両方の共振モードを活用することができなくなる。

[0034] また、第1実施形態による光スキャナ10は、基体となる変形可能なシリコン基板に対してエッチング処理などを施すことで得られる構造体（MEMS構造体）からなる。この光スキャナ10は、図5に示すように、上記したミラー部11に加えて、固定枠12、加振源（駆動部）13、ミラー枠（可動枠部）14、垂直トーションバー（枠軸部）15、水平トーションバー（ミラー軸部）16を含んで構成されている。なお、以下の説明では、ミラー部11の中心を図5の縦方向に横切る軸（映像（画像）をX方向（左右方向）に走査する軸）をX軸とし、ミラー部11の中心を図5の横方向に横切る軸（映像（画像）をY方向（上下方向）に走査する軸）をY軸とする。言い換えると、X軸とY軸とが直交する点をミラー部11の中心とする。

[0035] 固定枠12は、光スキャナ10の外縁に相当する部分であって、他の部分（ミラー部11、加振源13およびミラー枠14など）を取り囲んでいる。

[0036] 加振源13は、X軸方向において固定枠12と連結され、Y軸方向において固定枠12と分離されている。さらに、加振源13は4つのユニモルフ構造を含んでいるとともに、その4つのユニモルフ構造がX軸およびY軸のそれぞれを対称軸として対称となり、かつ、互いに離間した状態となるように配置されている。また、加振源13としてのユニモルフ構造は、図6に示すように、圧電体13a（たとえば、PZTなどを原料とした焼結体を分極処理したもの）を一对の電極13bで挟持した圧電素子13cをシリコン基板の加振源13となる領域（保持部19）上に貼り付けることによって形成されている。なお、加振源13を構成する保持部19は、垂直トーションバー15を保持する（垂直トーションバー15につながる）ことによってミラー枠14を保持している。

[0037] このような加振源13では、一对の電極13bに、分極反転（分極外れ）を起こさない範囲で±の電圧（交流電圧）が印加されると、一对の電極13bに挟持された圧電体13aが伸長または収縮する。そして、それに応じて、シリコン基板の加振源13となる領域（保持部19）が変形（撓み変形／曲げ変形）する。すなわち、加振源13は、電力が供給されることで駆動す

る。

[0038] 図5に示すように、ミラー枠14は、加振源13の内側に位置する略ひし形形状の枠である。また、ミラー枠14と固定枠12との間には、Y軸方向に沿って延びる一対の上記垂直トーションバー15が設けられている。この一対の垂直トーションバー15は、Y軸と重なり、かつ、X軸に対して対称となるように配置されている。さらに、一対の垂直トーションバー15のそれぞれの一方端は、固定枠12のY軸上の端部に連結されている。そして、ミラー枠14は、一対の垂直トーションバー15の他方端の間に配置されており、その他方端（一対の垂直トーションバー15）によって支持（挟持）されている。このため、ミラー枠14は、垂直トーションバー15を回動軸（中心軸）としてY軸周りに回動可能とされている。

[0039] ミラー枠14は、ミラー部11を囲む枠であり、その内側には、ミラー部11に加えて、X軸方向に沿って延びる一対の水平トーションバー16が設けられている。この一対の水平トーションバー16は、X軸と重なり、かつ、Y軸に対して対称となるように配置されている。さらに、一対の水平トーションバー16のそれぞれの一方端は、ミラー枠14のX軸上の端部に連結されている。そして、ミラー部11は、一対の水平トーションバー16の他方端の間に配置されており、その他方端（一対の水平トーションバー16）によって支持（挟持）されている。このため、ミラー部11は、ミラー枠14とともにY軸周りに回動され、水平トーションバー16を回動軸（中心軸）としてX軸周りにも回動される。

[0040] また、上記ミラー部11は、たとえば略円形状に形成されており、金やアルミニウムなどからなる反射膜をシリコン基板のミラー部11となる領域上に貼り付けることで得ている。なお、これ以外に、たとえば、シリコン基板の一部に金やアルミニウム等の反射膜を蒸着やスパッタ法にて形成することで得ることもできる。また、金やアルミニウムの上に誘電体多層膜を形成して反射率を向上させることも可能である。

[0041] また、4つの加振源13は、その一部が連結部17によって垂直トーショ

ンバー 15 と連結されている。この連結部 17 は、シリコン基板の加振源 13 となる領域（保持部 19）および垂直トーションバー 15 と一体的に形成されている。

[0042] さらに、垂直トーションバー 15 の近傍には、この垂直トーションバー 15 の振れ角度を検出するための歪みセンサー 18 a（18）が設けられている。同様に、水平トーションバー 16 の近傍には、この水平トーションバー 16 の振れ角度を検出するための歪みセンサー 18 b（18）が設けられている。歪みセンサー 18 a および 18 b は、それぞれ、piezo 抵抗素子 20 を有しており、垂直トーションバー 15 および水平トーションバー 16 の変形時に生じるせん断応力を抵抗値で検出する。この piezo 抵抗素子 20（歪みセンサー 18 a、18 b）は、シリコン基板に対して、ボロンやヒ素などの不純物を部分的にドーピングすることで生成されている。そして、歪みセンサー 18 a からの出力に基づいて、垂直トーションバー 15 による Y 軸周りのミラー部 11（ミラー枠 14）の角度（振れ角）を検出するとともに、歪みセンサー 18 b からの出力に基づいて、水平トーションバー 16 による X 軸周りのミラー部 11 の角度（振れ角）を検出する。

[0043] また、歪みセンサー 18 a は、垂直トーションバー 15 の軸上（Y 軸上）（垂直トーションバー 15 の根元部分）に配置されており、歪みセンサー 18 b は、水平トーションバー 16 の軸上（X 軸上）（水平トーションバー 16 の根元部分）に配置されている。なお、軸上とは、垂直トーションバー 15 上および水平トーションバー 16 上のみならず、垂直トーションバー 15 の延長線上および水平トーションバー 16 の延長線上をも含む。

[0044] 光スキャナ 10 の走査動作（駆動制御）は、4 つの加振源 13 を駆動（伸縮）させるタイミングを調整し、ミラー部 11 を X 軸周りおよび Y 軸周りに振動させることによって行われる。たとえば、Y 軸周りに振動させるときの周波数は 60 Hz に設定され、X 軸周りに振動させるときの周波数は 30 kHz に設定される。すなわち、垂直方向 V には 60 Hz（設計値）で駆動され、水平方向 H には 30 kHz（設計値）で駆動される。また、垂直方向は

DC駆動され、水平方向は共振駆動される。なお、垂直方向、水平方向ともに、ミラー部11の動きは上記歪みセンサー18によって検出される。また、水平方向Hは、本発明の「第1方向」の一例であり、垂直方向Vは、本発明の「第2方向」の一例である。

[0045] 4つの加振源13のそれぞれに13-1～13-4の符号を付して具体的に説明する。ミラー部11をY軸周りに振動させる際には、加振源13-1および13-3を一方の組とするとともに、加振源13-2および13-4を他方の組とし、一方の組および他方の組のそれぞれに印加する電圧の正負を反転させる。この場合、一方の組である加振源13-1および13-3が伸長する方向に変形すると、他方の組である加振源13-2および13-4が収縮する方向に変形する。また、一方の組である加振源13-1および13-3が収縮する方向に変形すると、他方の組である加振源13-2および13-4が伸長する方向に変形する。これにより、ミラー部11がミラー枠14とともにY軸周りに振動し、ミラー部11の傾き（角度）がY軸周りに変動する。

[0046] また、ミラー部11をX軸周りに振動させる際には、加振源13-1および13-2を一方の組とするとともに、加振源13-3および13-4を他方の組とし、一方の組および他方の組のそれぞれに印加する電圧の正負を反転させる。この場合、一方の組である加振源13-1および13-2が伸長する方向に変形すると、他方の組である加振源13-3および13-4が収縮する方向に変形する。また、一方の組である加振源13-1および13-2が収縮する方向に変形すると、他方の組である加振源13-3および13-4が伸長する方向に変形する。これにより、ミラー部11がミラー枠14とともにX軸周りに振動し、ミラー部11の傾き（角度）がX軸周りに変動する。

[0047] このとき、加振源13を変形させることのみでミラー部11をX軸周りに回転させようとする、ミラー部11のX軸周りの傾き（角度）の変動は小さくなってしまふ。このため、実際に走査動作を行う際には、加振源13に

印加される電圧の周波数によってミラー部 11 が共振するように、加振源 13 への印加電圧の周波数が設定される。

[0048] 上記のようにミラー部 11 を動作させることで、互いに直交している 2 軸周りにミラー部 11 を回動させることができ、1 つのミラー部 11 で二次元走査することが可能となる。

[0049] ここで、図 1 に示すように、水平走査駆動信号と垂直走査駆動信号とを重畳した電圧を 4 つの加振源 13（圧電素子 13c）に加えることによって、上記のように水平トーションバー 16 を支点にした水平方向の共振駆動と、ミラー枠 14 全体を駆動させる垂直方向の駆動（DC 駆動）とが実現される。なお、垂直駆動信号はたとえば 60 Hz の三角波であり、水平駆動信号はたとえば正弦波である。また、水平駆動信号の周波数はミラー部 11 の水平方向の共振周波数である。

[0050] このように、加振源 13 によってミラー部 11 に加えられる振動の周波数が、ミラー部 11 の共振周波数と一致する場合、図 7 に示すように、ある程度大きな傾き角（ミラー偏向角（回転角））でミラー部 11 を駆動（揺動）させることが可能となる。一方、加振源 13 に印加される電圧の周波数が加振源 13 の共振周波数と一致する場合、図 8 に示すように、加振源 13（保持部 19）の変形が大きくなる。そのため、ミラー部 11 の共振周波数が加振源 13 の共振周波数と一致または近似するように調整することによって、ミラー部 11 の変位（ミラー偏向角）をより大きくすることが可能となる。

[0051] 図 9 に、一般的（典型的）な光スキャナにおける加振源の変形量（ユニモルフ変位）およびミラー部の回転角（ミラー偏向角）の一例を示す。なお、図 9 では、第 1 実施形態の構成とは異なり、ミラー部の共振モードが 1 つの場合を示している。また、縦軸のユニモルフ変位（ μm ）は、変形によって加振源が撓んだ際の加振源の撓み方向（突出方向（高さ方向））の変位量を示している。ミラー偏向角（ $^{\circ}$ ）は、ミラー部が加振されていない状態から加振によってミラー部が駆動（揺動）した際の偏向角（回転角）を示している。また、図 9 において、破線 J がミラー部の偏向角を示しており、実線 K

がユニモルフ（加振源）の変位を示している。

[0052] 図9では、ミラー偏向角が大きくなる周波数であるミラー部の共振周波数は、ユニモルフ変位が大きくなる周波数である加振源の共振周波数より小さくなっているが、ミラー部の共振周波数を加振源の共振周波数に近づけることにより、ミラー部の変位（ミラー偏向角）をより大きくすることが可能となる。

[0053] なお、図9では一般的（典型的）な光スキャナの周波数特性を示している。すなわち、図9は、光スキャナに組立誤差（組立バラツキ）などが生じていない場合の周波数特性を示している。このため、4つの加振源はいずれも同じ変位（周波数特性）を示しているため、4つの加振源の変位（ユニモルフ変位）は重なる。このため、4つの加振源の変位（ユニモルフ変位）を実線Kで示している。

[0054] 図10は、図9に示したユニモルフ（加振源）における周波数と位相との関係を示したグラフである。上記のように、光スキャナに組立誤差（組立バラツキ）などが生じていない場合には、4つの加振源の変位（ユニモルフ変位）も同じになる。そのため、図10に示すように、4つの加振源（ユニモルフ）の位相も同じになる。なお、図10中の一点鎖線eは、図9に示したミラー部の共振周波数を示している。

[0055] 一方、図5および図6に示したように、光スキャナ10の加振源13は、上述した従来構造と同様、保持部19上に圧電素子13cが貼り付けられることによって構成されている。このため、圧電素子13cの貼り付け誤差（たとえば位置ズレなど）等によって、加振源13に特性バラツキが発生し易い。

[0056] ここで、組立誤差により加振源にバラツキが発生した場合について、図11および図12を参照して説明する。図11は、光スキャナに組立誤差（組立バラツキ）が生じた場合の加振源の変形量（ユニモルフ変位）およびミラー部の回転角（ミラー偏向角）の一例を示したグラフである。図12は、図11に示したユニモルフ（加振源）における周波数と位相との関係を示した

グラフである。なお、図 11 は、図 9 に対応したグラフを示している。すなわち、図 9 は、加振源（ユニモルフ）の周波数特性にバラツキがない場合を示しており、図 11 は、加振源（ユニモルフ）の周波数特性にバラツキがある場合を示している。そのため、図 11 においても、ミラー部の共振モードが 1 つの場合を示している。

[0057] 図 11 に示すように、組立誤差により加振源（ユニモルフ）にバラツキが発生すると、X 軸に対して右側の加振源（右ユニモルフ（実線 K 1））と左側の加振源（左ユニモルフ（実線 K 2））とが互いに異なる共振周波数となる。すなわち、右ユニモルフ K 1 と左ユニモルフ K 2 とで異なる周波数特性となる。そうすると、加振源の共振周波数がミラー部の共振周波数をまたいだ（挟んだ）周波数特性になることがある（加振源（ユニモルフ）の 2 つの共振周波数の間（ ΔP 間）にミラー部の共振周波数が位置することがある）。たとえば、加振源（ユニモルフ）の 2 つの共振周波数がミラー部の共振周波数を中心に略対称になることがある。

[0058] この場合、図 12 に示すように、右ユニモルフ K 1 と左ユニモルフ K 2 との位相差 K 3 がミラー部の共振周波数（一点鎖線 e）において、 100° 以上となる。そのため、たとえば、図 8 に示した光スキャナ 10 において、右ユニモルフ（加振源 13-3 および 13-4）と左ユニモルフ（加振源 13-1 および 13-2）とが同じ方向に撓む（変形する）。これにより、ミラー部 11 の駆動量（ミラー偏向角）が非常に小さくなる。また、図 12 における位相差 K 3 が 180° となった場合は、加振源（ユニモルフ）の位相が完全に反転してしまう。この場合、右ユニモルフ（加振源 13-3 および 13-4）と左ユニモルフ（加振源 13-1 および 13-2）とが同じ方向に同じタイミングで撓む（変形する）ため、ミラー部 11 は水平方向に駆動（X 軸周りに回動）しなくなる。なお、図 8 は、加振源（ユニモルフ）の周波数特性にバラツキがない場合を示している。そのため、右ユニモルフ（加振源 13-3 および 13-4）と左ユニモルフ（加振源 13-1 および 13-2）とで位相差がないので、右ユニモルフ（加振源 13-3 および 13-4

）と左ユニモルフ（加振源 1 3 - 1 および 1 3 - 2 ）とが互いに逆方向に撓んでいる（変形している）。

[0059] このように、組立誤差により加振源（ユニモルフ）にバラツキが発生すると、ミラー部 1 1 の共振（共振モード）が機能しなくなる。

[0060] そのため、第 1 実施形態では、上述したように、ミラー部 1 1 に 2 つ以上の共振モードを発生させている。すなわち、ミラー部 1 1 を共振駆動させる共振モード（水平方向の共振モード）を 2 つ以上有する構成としている。これにより、加振源 1 3 に特性バラツキが発生することによってある共振モードが機能しなくなった場合でも、残りの共振モードの 1 つを用いて所定の駆動量（ミラー偏向角）でミラー部 1 1 を水平方向に駆動（X 軸周りに回動）させることが可能となる。

[0061] この点について図 1 3 および図 1 4 を参照しながらより詳細に説明する。なお、以下では第 1 実施形態の一例として共振モードを 2 つ有する場合について説明する。また、図 1 3 および図 1 4 では、共振モードを 1 つ有する従来構造を比較例として示している。図 1 3 および図 1 4 において、共振モードを 2 つ有する第 1 実施形態の一例による周波数特性を実線 D で示しており、比較例による周波数特性を一点鎖線 E で示しており、加振源（ユニモルフ）の周波数特性を破線 F で示している。さらに、2 つの共振モードのうち低周波側の共振モードを mode A とし、高周波側の共振モードを mode B としている。比較例による 1 つの共振モードは mode G としている。

[0062] 図 1 3 に示すように、加振源に特性バラツキが発生していない場合、4 つの加振源はいずれも同じ特性であるため、加振源の共振周波数はミラー部の共振周波数をまたいだ（挟んだ）周波数特性とはならない。そのため、比較例の共振モード（mode G）および第 1 実施形態の 2 つの共振モード（mode A、mode B）はいずれも機能した状態となっている。すなわち、いずれの共振モードを用いても、所定の駆動量（ミラー偏向角）でミラー部を水平方向に駆動（X 軸周りに回動）させることが可能（ミラー部の駆動に活用可能）となっている。

[0063] 一方、加振源に特性バラツキが発生した場合、図14に示すように、加振源の周波数特性は右ユニモルフ1（X軸に対して右側の加振源）と左ユニモルフ2（X軸に対して左側の加振源）とで異なる周波数特性となる。このため、加振源の共振周波数が比較例による共振モード（mode G）および第1実施形態による一方の共振モード（mode B）をまたいだ（挟んだ）周波数特性となる。これにより、比較例による共振モード（mode G）および第1実施形態による一方の共振モード（mode B）は機能しなくなる。

[0064] しかしながら、第1実施形態では、比較例とは異なり、共振モードを2つ以上（図13および図14では2つ）有している。そのため、一方の共振モード（mode B）が機能しなくなった場合でも、残りのもう一方の共振モード（mode A）は機能した状態となっている。そして、この共振モード（mode A）は、上記したように、ミラー部11の駆動に活用可能な共振モードである。そのため、第1実施形態では、加振源に特性バラツキが発生した場合でも、もう一方の共振モード（mode A）（機能している共振モード）を用いることによって、所定の駆動量（ミラー偏向角）でミラー部11を水平方向に駆動（X軸周りに回動）させることができる。

[0065] したがって、第1実施形態では、ミラー部11の安定性を格段に向上させることが可能となる。

[0066] なお、上記「機能しなくなる」とは、加振源に特性バラツキなどが発生することによって、活用可能な共振モードがミラー部11の駆動に用いることが困難になった状態である。また、「機能している共振モード」とは、活用可能な共振モードのうち組立バラツキの影響によってミラー部11を偏向させる駆動機能に阻害を与えない共振モードである。

[0067] 水平方向（第1方向）に共振モードを2つ以上有する構成とするためには、たとえば、水平トーションバー16（図5、図7および図8参照）に加えて、ミラー枠14（図5、図7および図8参照）も水平方向（水平走査方向）に振れるように構成すればよい。これにより、少なくとも、水平トーショ

ンバー 16 を基準としてなされる振動による共振モードと、ミラー枠 14 を基準としてなされる振動による共振モードとの 2 つの共振モードが得られる。この場合、これらの共振モードが、図 17 に示すように、ミラー部 11 とミラー枠 14 とを異なる方向に振動（揺動）させる共振モード（第 3 共振モード）、および、図 16 に示すように、ミラー部 11 とミラー枠 14 とを同じ方向に振動（揺動）させる共振モード（第 4 共振モード）を含むように構成されているのが好ましい。なお、図 16 に示す共振モード（ミラー部 11 とミラー枠 14 とを同じ方向に振動（揺動）させる共振モード）は、図 15 における低周波側の共振モード（たとえば mode A）に対応しており、図 17 に示す共振モード（ミラー部 11 とミラー枠 14 とを異なる方向に振動（揺動）させる共振モード）は、図 15 における高周波側の共振モード（たとえば mode B）に対応している。また、図 15 において、ミラー部 11 の周波数特性が実線 D で示されており、4 つの加振源の周波数特性が破線 F で示されている。なお、mode A と mode B とは入れ替え可能である。

[0068] また、ミラー部 11 とミラー枠 14 とを同じ方向に振動（揺動）させる共振モード（第 4 共振モード）では、図 16 に示すように、ミラー部 11 の偏向角（回転角）が、ミラー枠 14 の偏向角（回転角）とは異なる大きさとなるように（たとえば、ミラー枠 14 の偏向角の方が小さくなるように）構成されているのが好ましい。

[0069] このように構成することにより、容易に、ミラー部 11 の駆動に活用可能な共振モードを 2 つ以上発生させることが可能となる。

[0070] なお、2 つ以上の共振モードの少なくとも 1 つは、加振源 13 の共振周波数より小さい周波数を有しているのが好ましい。また、2 つ以上の共振モードの少なくとも 1 つは、加振源 13 の共振周波数と近似または一致する周波数を有しているのが好ましい。

[0071] さらに、2 つ以上の共振モードの各々を、ミラー部 11 の駆動に活用可能な共振モードとするためには、互いに隣り合う 2 つの共振モードの周波数を、それぞれ、 f_1 および f_2 （図 4、図 13 および図 14 参照）とした場合

に、 f_1 および f_2 が、以下の (1) 式および (2) 式を満たすように構成されているのが好ましい。

$$f_1 < f_2 \quad \cdots (1)$$

$$f_1 + 0.2 \times f_1 \geq f_2 \quad \cdots (2)$$

[0072] たとえば、図 13 および図 14 に示した mode A の周波数を f_1 、mode B の周波数を f_2 とすると、 f_1 および f_2 が上記 (1) 式および (2) 式を満たすように、各共振モードが設定されているのが好ましい。

[0073] なお、光スキャナ 10 の共振周波数は、基体（シリコン基板）におけるヤング率、ポアソン比、密度、さらには、ミラー部 11 の形状、固定条件、圧電素子 13c の圧電定数等の条件が明らかになっていれば、市販のシミュレーションソフトによって算出可能である。そのため、シミュレーションによって、ミラー部 11（駆動体）に 2 つ以上の共振モードを発生させることが可能な構成が容易に得られる。

[0074] この場合、たとえば、図 18 および図 19 に示すように、加振源 13 からミラー棒 14 までの距離 L （図 18 参照）を短くするとともに、垂直トーションバー 15 に設けられた変位拡大部 21 の幅 W （図 19 参照）を長くするとよい。なお、変位拡大部 21 は DC 駆動時の変位を拡大する機能を有している。そして、この距離 L と幅 W とを調整することにより、加振源 13 とミラー棒 14 との間の部分の剛性を調整することができる。これにより、容易に、ミラー部 11（駆動体）を共振駆動させる共振モードを 2 つ以上発生させることができ、かつ、2 つの共振モードが近づく（図 4 の Δf が小さくなる）ように調整することができる。なお、上記はこの部分の剛性を変えることで共振モードを調整することが可能となる 1 つの例であり、共振モードを調整するための手法は上記以外であってもよい。

[0075] 上述したように、光スキャナ 10 は X 軸および Y 軸に対して対称であるため、図 18 では光スキャナ 10 の一部分だけを示している。また、図 18 では、保持部 19 および垂直トーションバー 15 に変位拡大部 21 を形成した構成としている。このように構成すれば、保持部 19 の変形（撓み変形等）

をねじれ変形（回転トルク）に変化させて垂直トーションバー（枠軸部）１５に変位を拡大して伝達させることが可能となるため好ましい。そのため、第１実施形態による光スキャナ１０においても、このような構成が適用されているのが好ましい。ただし、このような変位拡大部２１を形成しない構成とすることも可能である。また、上記変位拡大部２１は、保持部１９および垂直トーションバー１５のいずれか一方に形成されていてもよい。

[0076] また、参考として、１つの共振モードを有する光スキャナ（比較例）の周波数特性を図２０に、その共振モードでのミラー部１１の駆動状態を図２１に示している。なお、図２０は、上記した図１５に対応している。また、図２０において、１つの共振モードを有するミラー部１１の周波数特性が実線Ｅで示されており、４つの加振源の周波数特性が破線Ｆで示されている。

[0077] 第１実施形態では、上記のように、ミラー部１１の駆動に活用可能な共振モードを２つ以上有することによって、たとえば、光スキャナ１０の組立バラツキにより一部の共振モードが機能しなくなった場合でも、他の共振モードは機能している状態とすることができる。このため、機能している共振モードを用いることによって、組立バラツキが発生した場合でも、ミラー部１１を駆動させることができる（ミラー部１１の駆動量を十分に確保することができる）。これにより、ミラー部１１の安定性を格段に向上させることができる。

[0078] なお、生産技術を高めて高精度組立を行えば、ミラー部１１の安定性を高めることは可能である。しかしながら、上記のように、ミラー部１１の駆動に活用可能な共振モードを２つ以上有する構成とすることで、安易でラフな組立を行った場合でも、組立バラツキによりミラー部１１が駆動しなくなるという問題を解決することができる。このため、コストダウンおよび生産性の向上等を図ることができる。

[0079] また、２つ以上の共振モードの少なくとも１つが加振源１３の共振周波数より小さい周波数を有するように構成すれば、組立バラツキが生じた際に、加振源１３の共振周波数によってまたがれない（挟まれない）共振モード（

ミラー部 11 の共振周波数) を発生させることができる。このため、容易に、機能している共振モードを発生させることができるので、効果的にミラー部 11 を安定して駆動させることができる。すなわち、ミラー部 11 の安定性を格段に向上させることが容易にできる。

[0080] また、2 つ以上の共振モードの少なくとも 1 つが加振源 13 の共振周波数と近似または一致する周波数を有するように構成すれば、ミラー部 11 の変位（駆動量）を容易に大きくすることができる。

[0081] さらに、第 1 実施形態では、上記共振モードが、ミラー部 11 とミラー枠 14 とを異なる方向に振動させる共振モード、および、ミラー部 11 とミラー枠 14 とを同じ方向に振動させる共振モードを含むように構成することによって、容易に、ミラー部 11 の共振モードを 2 つ以上発生させることができる。

[0082] また、ミラー部 11 とミラー枠 14 とを同じ方向に振動させる共振モードにおいて、ミラー部 11 の偏向角が、ミラー枠 14 の偏向角とは異なる大きさとなるように構成することによって、各共振モード（ミラー部 11 の共振周波数）の周波数が互いに近づくため、容易に、2 つ以上発生させた共振モードを、ミラー部 11 の駆動に活用可能な共振モードとすることができる。すなわち、上記のように構成すれば、所定の周波数（たとえば設計値）に対して、各共振モードの周波数が離れすぎるのを抑制することができる。なお、所定の共振周波数に対して、大きく離れた周波数を有する共振モードは、ミラー部 11 を駆動させるための共振モードとして活用することはできない。

[0083] また、互いに隣り合う 2 つの共振モードの周波数をそれぞれ f_1 および f_2 とした場合に、 f_1 および f_2 が上記（1）式および（2）式を満たすように構成すれば、各共振モードの周波数を互いに十分に近づけることができる。すなわち、図 4 に示した Δf を小さくすることができる。このため、容易に、これらの共振モードをミラー部 11 の駆動に活用可能な共振モードとすることができる。なお、図 18 および図 19 に示したように、距離 L （図

18参照)と幅W(図19参照)とを調整することにより、加振源13とミラー棒14との間の部分の剛性を調整することができ、これにより、容易に、2つの共振モードが近づく(図4の Δf が小さくなる)ように調整することができる。

[0084] (第2実施形態)

図22は、本発明の第2実施形態による光スキャナの共振モードを説明するための図である。次に、図5および図22を参照して、本発明の第2実施形態による光スキャナ10について説明する。なお、図22において、対応する構成要素には同一の符号を付すことにより、重複する説明は適宜省略する。

[0085] この第2実施形態による光スキャナ10は、図5に示した第1実施形態と同様、ミラー部11の駆動に活用可能な共振モードを2つ以上有している。また、第2実施形態では、図22に示すように、共振モードは加振源の共振周波数より小さい周波数を有する共振モード(第1共振モード(mode A))と、加振源の共振周波数より大きい周波数を有する共振モード(第2共振モード(mode B))とを含む。

[0086] なお、図22は、第2実施形態の一例として共振モードを2つ有する場合を示している。また、図22では、上記した図13および図14と同様、共振モードを1つ有する従来構造を比較例として示している。図22において、共振モードを2つ有する第2実施形態の一例による周波数特性を実線Dで示しており、比較例による周波数特性を一点鎖線Eで示しており、加振源(ユニモルフ)の周波数特性を破線Fで示している。さらに、2つの共振モードのうち低周波側の共振モードをmode Aとし、高周波側の共振モードをmode Bとしている。比較例による1つの共振モードはmode Gとしている。また、図22は、加振源に特性バラツキが発生していない状態を示している。

[0087] 第2実施形態のその他の構成は上記第1実施形態と同様である。

[0088] 第2実施形態では、上記のように、共振モードを、加振源の共振周波数よ

り小さい周波数を有する共振モード（第１共振モード）と、加振源の共振周波数より大きい周波数を有する共振モード（第２共振モード）とを含むように構成している。そして、このように構成することによっても、効果的にミラー部１１（駆動体）を安定して駆動させることができる。

[0089] 第２実施形態のその他の効果は上記第１実施形態と同様である。

[0090] （第３実施形態）

図２３は、本発明の第３実施形態による画像投影装置の構成を示したブロック図である。次に、図２、図５および図２３を参照して、本発明の第３実施形態による画像投影装置１００について説明する。なお、画像投影装置１００は、本発明の「光学機器」の一例である。

[0091] 第３実施形態による画像投影装置１００は、図２３に示すように、上記第１または第２実施形態で示した光スキャナ１０を搭載している。光スキャナ１０は、上記画像投影装置１００に搭載されて、光源３０からの光を走査する走査部として機能する。この画像投影装置１００では、図２に示したように、投影面２００に向けて照射される光線のラスタ走査を行うことにより、投影面２００への２次元画像の表示が可能となっている。なお、画像投影装置１００の具体例としては、たとえば、プロジェクター装置などが挙げられる。

[0092] 図２３に示すように、上記光源３０は、光スキャナ１０とともに画像投影装置１００内に設けられており、光スキャナ１０に向けて光線（たとえばレーザー光）ＬＴを発する。

[0093] また、画像投影装置１００は、上記した光スキャナ１０および光源３０に加えて、光スキャナ１０の駆動制御を行う光スキャナ制御部４０と、光源３０を駆動し、光線ＬＴの変調が可能な光源駆動回路７０と、光源駆動回路７０を制御する画像信号制御部８０とを有している。

[0094] 光スキャナ１０は、歪みセンサー１８を有している。この歪みセンサー１８は、ミラー部１１の角度（回動角度（振れ角））を検出する角度検出センサーとしてピエゾ抵抗素子を有している。

- [0095] 光スキャナ制御部40は、光スキャナ10のミラー部11（図5参照）に関するX軸周りの回動、つまり水平方向（H方向）の駆動を制御する水平駆動制御部50と、ミラー部11に関するY軸周りの回動、つまり垂直方向（V方向）の駆動を制御する垂直駆動制御部60とを有している。なお、光スキャナ制御部40（水平駆動制御部50および垂直駆動制御部60）は、本発明の「駆動回路部」の一例である。
- [0096] 画像信号制御部80は、たとえば画像投影装置100の外部から入力された画像信号に基づき光源30を制御するための制御信号を生成する。そして、この制御信号に基づき、光源駆動回路70を介して光源30の制御（たとえば点灯・消灯の制御や発光強度の制御）を行う。なお、上記光スキャナ制御部40には、ミラー部11の駆動のタイミングを画像信号と同期させるための同期信号が入力される。これにより、入力された画像信号に基づく適切な画像表示が投影面200（図2参照）で行われる。
- [0097] このように構成された画像投影装置100では、図2に示すように、垂直方向（V方向）はたとえば60Hzの三角波走査が行われ、水平方向（H方向）は共振周波数でたとえば正弦波走査が行われる。
- [0098] 第3実施形態による画像投影装置100では、上記のように、ミラー部11（駆動体）（図5参照）の駆動に活用可能な共振モードを2つ以上有する上記光スキャナ10を、光源30からの光を走査する走査部として搭載することによって、ミラー部11（駆動体）（図5参照）の安定性が格段に向上された画像投影装置100を得ることができる。
- [0099] なお、今回開示された実施形態は、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、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許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。
- [0100] たとえば、上記第1～第3実施形態では、マイクロスキャナの一例である光スキャナに本発明を適用した例を示したが、本発明はこれに限らず、光スキャナ以外のマイクロスキャナに本発明を適用することもできる。光スキャ

ナ以外のマイクロスキャナとしては、たとえば、ミラー部に代えてレンズ（屈曲光学系）が搭載されたマイクロスキャナや、光源（発光素子など）が搭載されたマイクロスキャナが挙げられる。

[0101] また、上記第1～第3実施形態では、共振駆動アクチュエーターをMEMSデバイスに用いた例を示したが、本発明の共振駆動アクチュエーターはMEMSデバイス以外のアクチュエーターとすることもできる。

[0102] また、上記第1～第3実施形態では、ユニモルフ構造の加振源を用いた例を示したが、このような圧電方式の加振源は、ユニモルフに限らず、たとえばバイモルフであってもよい。

[0103] さらに、上記第1～第3実施形態では、ミラー部を駆動させる加振源を、圧電素子を含む圧電駆動方式に構成した例を示したが、本発明はこれに限らず、ミラー部を駆動させる加振源は、圧電駆動方式以外であってもよい。たとえば、静電式であってもよいし、電磁式であってもよい。

[0104] また、上記第1～第3実施形態では、光スキャナの一例として2次元走査が可能な光スキャナの例を示したが、本発明はこれに限らず、たとえば1次元光スキャナであってもよい。

[0105] また、上記第2実施形態では、ミラー部の駆動に活用可能な共振モードが、加振源の共振周波数より小さい周波数を有する共振モード（第1共振モード（mode A））と、加振源の共振周波数より大きい周波数を有する共振モード（第2共振モード（mode B））とを含むように構成した例を示した。本発明はこのように構成に限らず、たとえば、上記共振モードの各々が加振源の共振周波数以下の周波数を有するように構成されていてもよいし、加振源の共振周波数以上の周波数を有するように構成されていてもよい。

[0106] また、上記第3実施形態では、光学機器の一例である画像投影装置に本発明を適用した例について説明したが、本発明はこれに限らず、画像投影装置以外の光学機器に本発明を適用することもできる。たとえば、光学機器はプロジェクターなどの画像投影装置以外にたとえばコピー機やプリンタ等の画像形成装置であってもよい。また、その他の走査機器（たとえば光をスキャ

ンする機器)であってもよい。

[0107] なお、以上で説明した共振駆動アクチュエーター（光スキャナ 1 0）は、以下のように表現することもできる。すなわち、上記共振駆動アクチュエーターは、共振により駆動される駆動体（ミラー部 1 0）と、上記駆動体を加振する複数の加振源（加振源 1 3）とを備え、上記駆動体の駆動に活用可能な共振モードを 2 つ以上有しており、少なくとも 1 つの共振モードの周波数は、上記各加振源の共振周波数のうちで最大の共振周波数と最小の共振周波数との間の周波数領域外にあり、上記駆動体は、上記 2 つ以上の共振モードのうちで、上記周波数領域外の周波数を持つ共振モードによって共振駆動される構成である。このとき、2 つ以上の共振モードは、加振源の最小の共振周波数よりも小さい周波数を有する第 1 共振モード、および加振源の最大の共振周波数よりも大きい周波数を有する第 2 共振モードの少なくとも一方を含んでいてもよい。また、2 つ以上の共振モードは、各加振源のいずれかの共振周波数と近似または一致する周波数を有する共振モードを含んでいてもよい。

産業上の利用可能性

[0108] 本発明の共振駆動アクチュエーターは、たとえば 1 次元または 2 次元走査を行うマイクロスキャナ、画像投影装置や画像形成装置などの光学機器に利用可能である。

符号の説明

[0109]	1 0	光スキャナ（マイクロスキャナ）
	1 1	ミラー部（駆動体）
	1 2	固定枠
	1 3	加振源
	1 3 a	圧電体
	1 3 b	電極
	1 3 c	圧電素子
	1 4	ミラー枠

1 5	垂直トーションバー（粹軸部）
1 6	水平トーションバー（ミラー軸部）
1 7	連結部
1 8、1 8 a、1 8 b	歪みセンサー
1 9	保持部
2 0	ピエゾ抵抗素子
2 1	変位拡大部
3 0	光源
4 0	光スキャナ制御部（駆動回路部）
5 0	水平駆動制御部（駆動回路部）
6 0	垂直駆動制御部（駆動回路部）
7 0	光源駆動回路
8 0	画像信号制御部
1 0 0	画像投影装置（光学機器）

請求の範囲

- [請求項1] 共振により駆動される駆動体を備えるとともに、前記駆動体の駆動に活用可能な共振モードを2つ以上有し、
- 前記駆動体が、機能している前記共振モードの周波数により共振駆動されることを特徴とする、共振駆動アクチュエーター。
- [請求項2] 前記駆動体を加振する加振源を備え、
- 前記共振モードの少なくとも1つは、前記加振源の共振周波数より小さい周波数を有することを特徴とする、請求項1に記載の共振駆動アクチュエーター。
- [請求項3] 前記共振モードは、前記加振源の共振周波数より小さい周波数を有する第1共振モードと、前記加振源の共振周波数より大きい周波数を有する第2共振モードとを含むことを特徴とする、請求項2に記載の共振駆動アクチュエーター。
- [請求項4] 2つ以上有する前記共振モードの少なくとも1つは、前記加振源の共振周波数と近似または一致する周波数を有することを特徴とする、請求項2または3に記載の共振駆動アクチュエーター。
- [請求項5] 請求項1～4のいずれか1項に記載の共振駆動アクチュエーターを含むことを特徴とする、マイクロスキャナ。
- [請求項6] 前記駆動体が光を反射するミラー部からなるとともに、前記ミラー部を囲むミラー枠をさらに備え、
- 前記共振モードが、前記ミラー部と前記ミラー枠とを異なる方向に振動させる第3共振モード、および、前記ミラー部と前記ミラー枠とを同じ方向に振動させる第4共振モードを含むことを特徴とする、請求項5に記載のマイクロスキャナ。
- [請求項7] 前記第4共振モードにおいて、
- 前記ミラー部の偏向角は、前記ミラー枠の偏向角とは異なる大きさであることを特徴とする、請求項6に記載のマイクロスキャナ。
- [請求項8] 互いに異なる方向である第1方向および第2方向の2つの走査で2

次元走査を行うマイクロスキャナであって、

前記第 1 方向に、2 つ以上の前記共振モードを有することを特徴とする、請求項 5 ～ 7 のいずれか 1 項に記載のマイクロスキャナ。

[請求項 9] 互いに隣り合う 2 つの前記共振モードの周波数を、それぞれ、 f_1 および f_2 とした場合に、

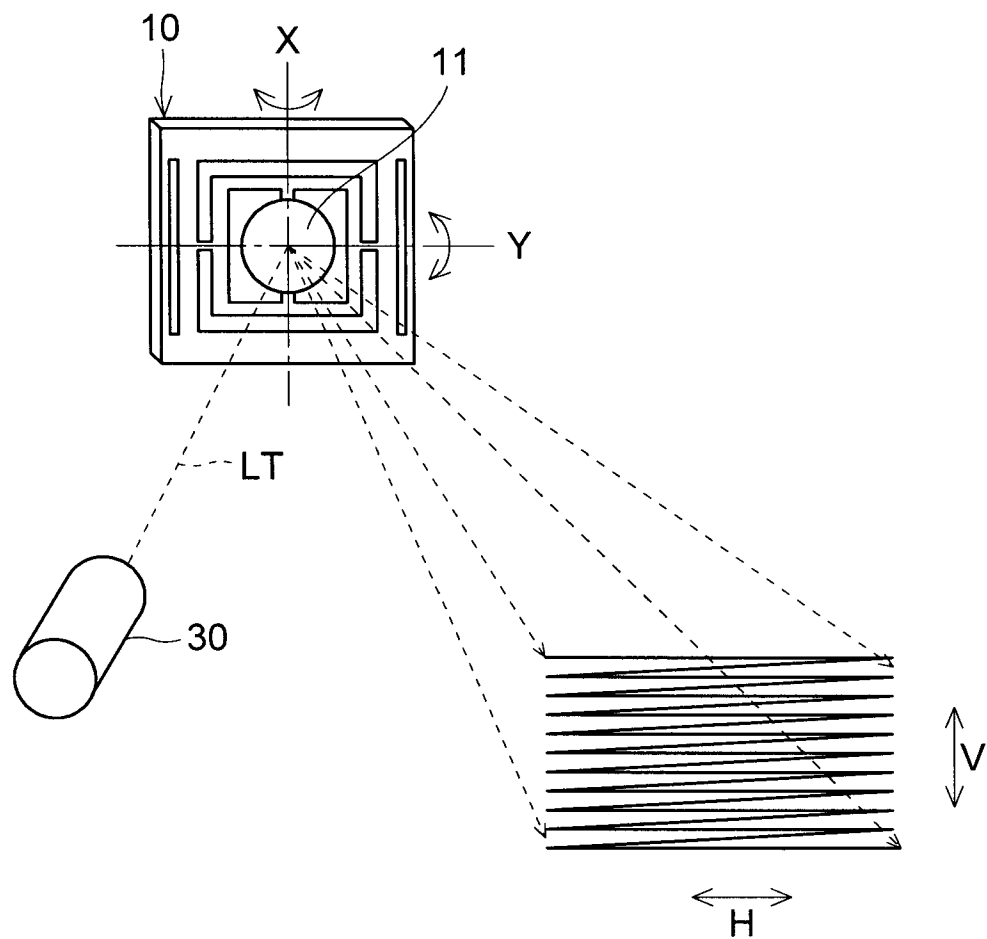
f_1 および f_2 が、以下の式を満たすことを特徴とする、請求項 5 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のマイクロスキャナ。

$$f_1 < f_2$$

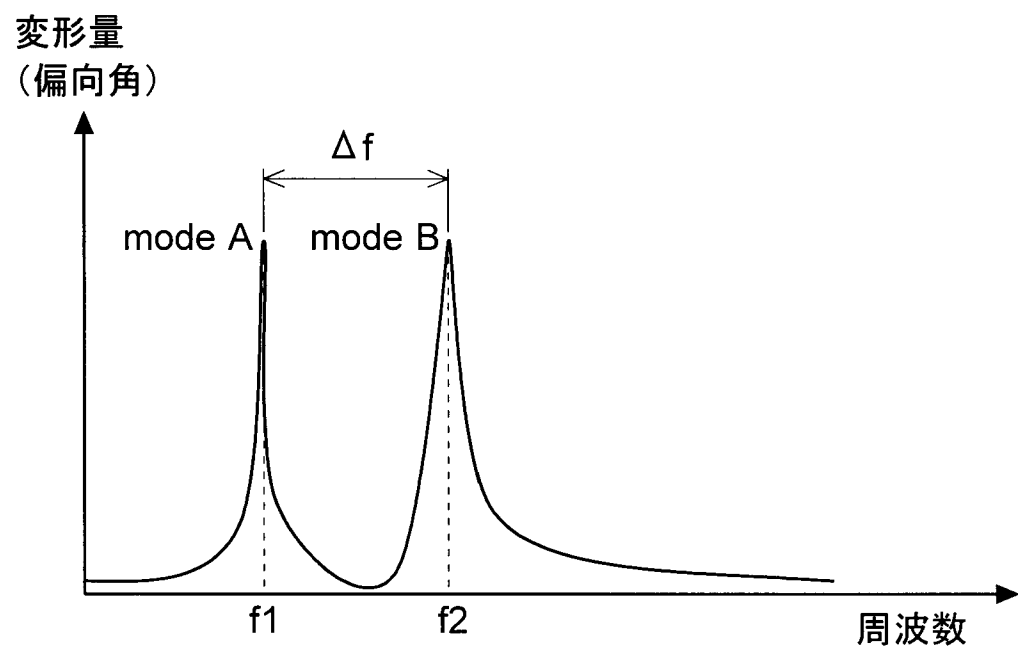
$$f_1 + 0.2 \times f_1 \geq f_2$$

[請求項 10] 請求項 5 ～ 9 のいずれか 1 項に記載のマイクロスキャナと、
前記マイクロスキャナの駆動制御を行う駆動回路部とを備えることを特徴とする、光学機器。

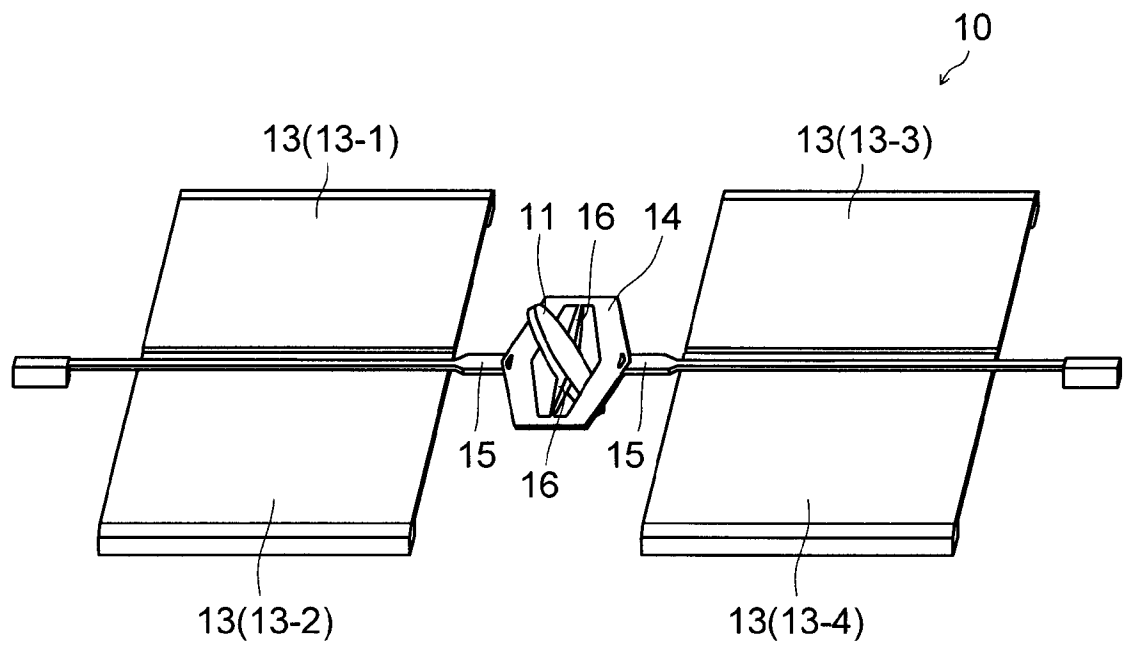
[図3]



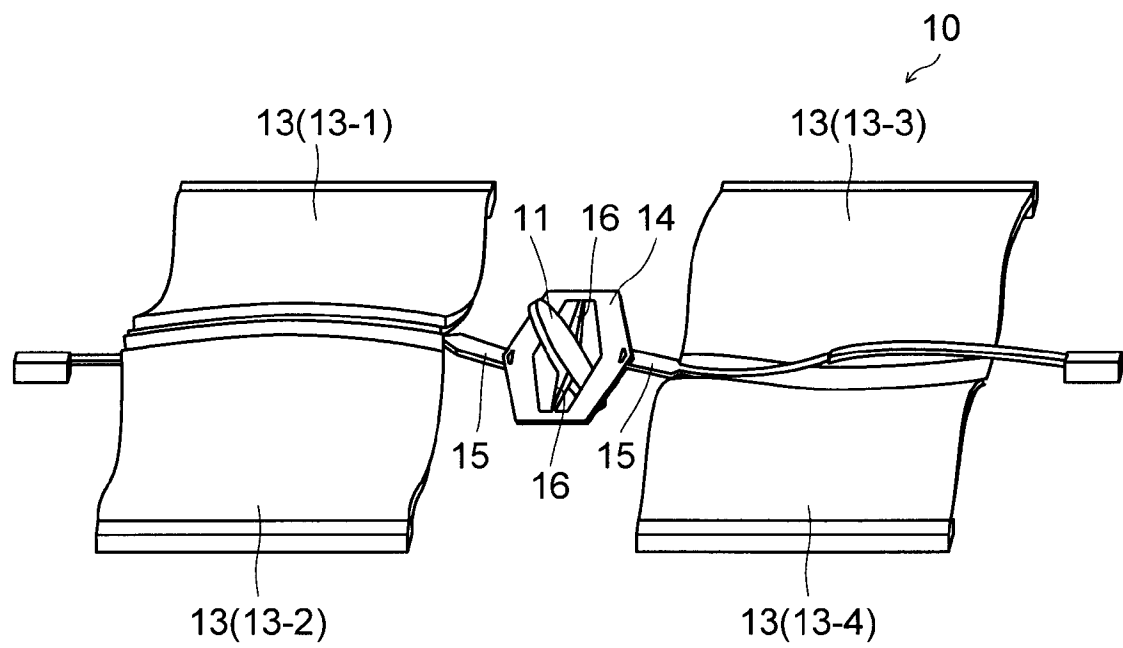
[図4]



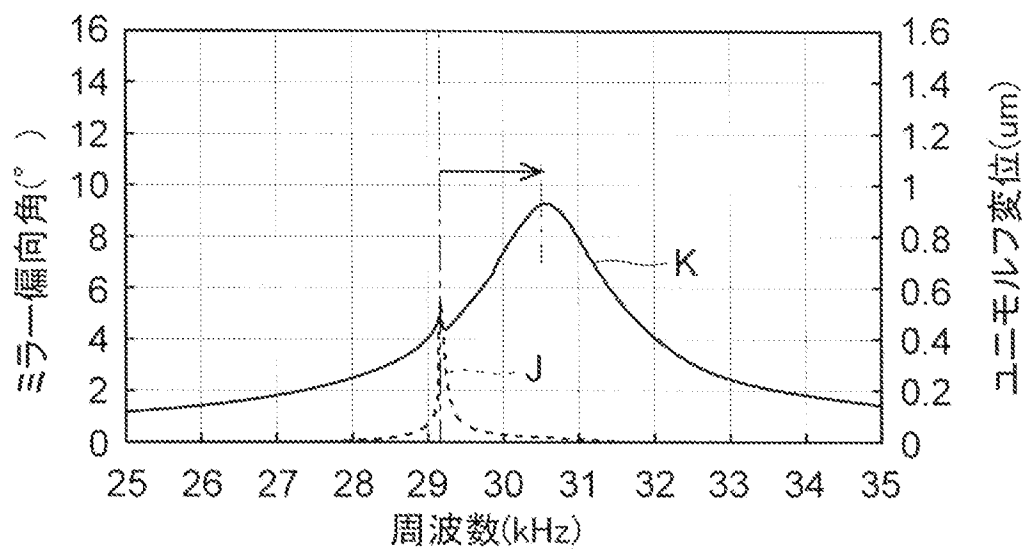
[図7]



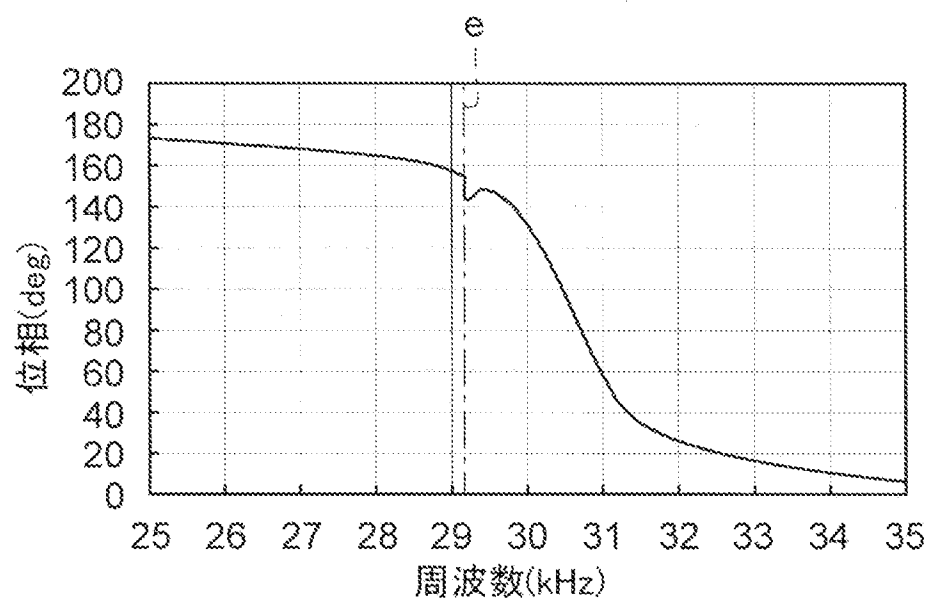
[図8]



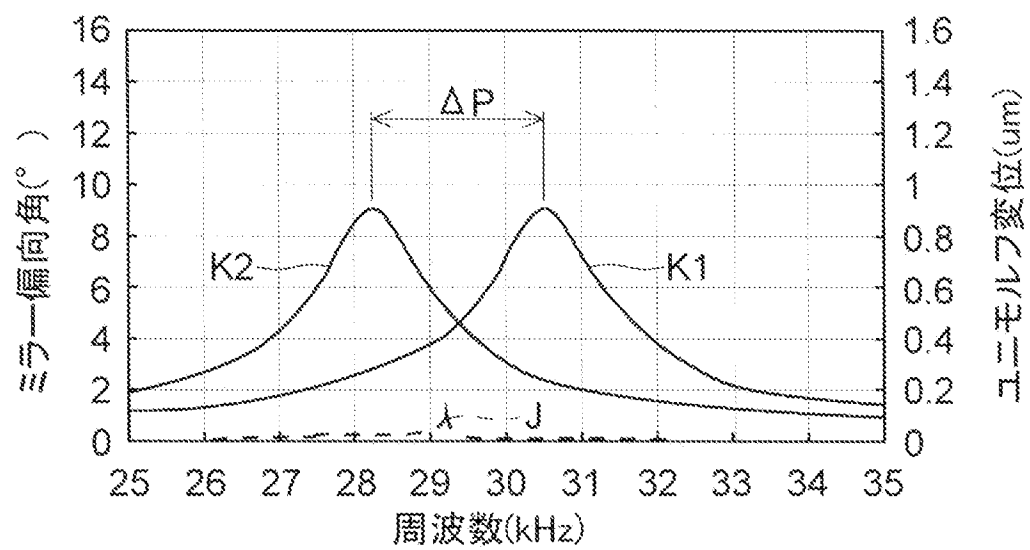
[図9]



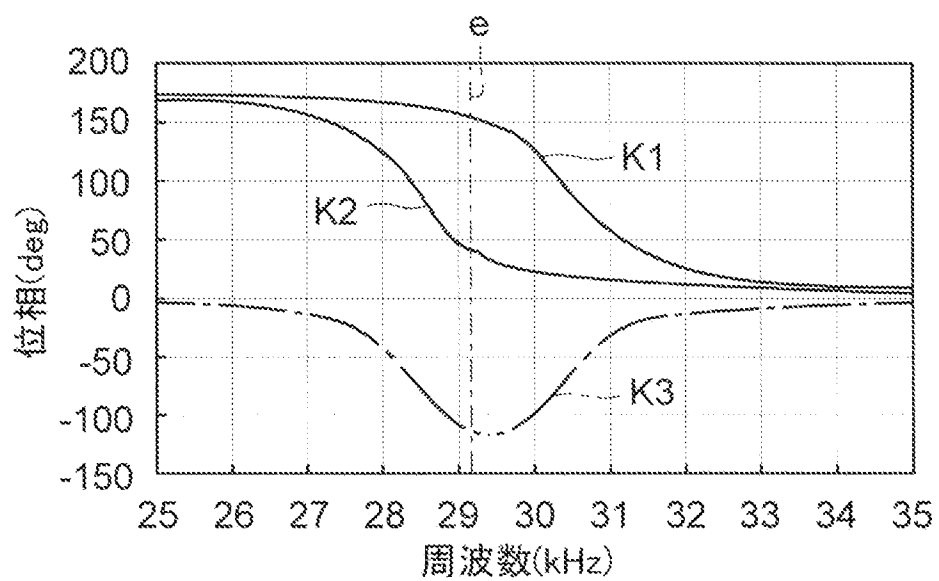
[図10]



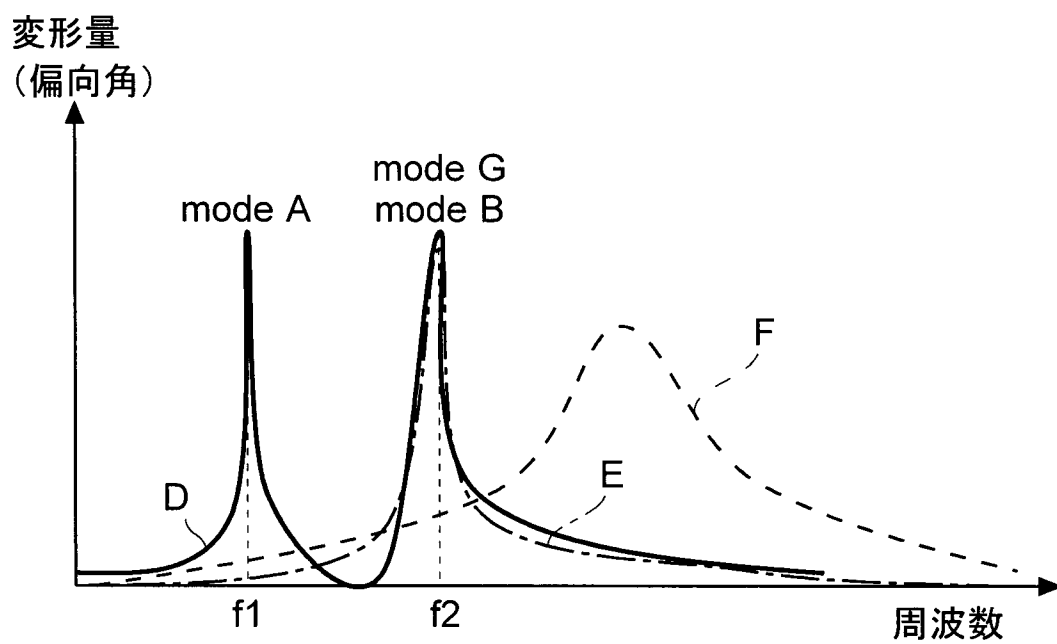
[図11]



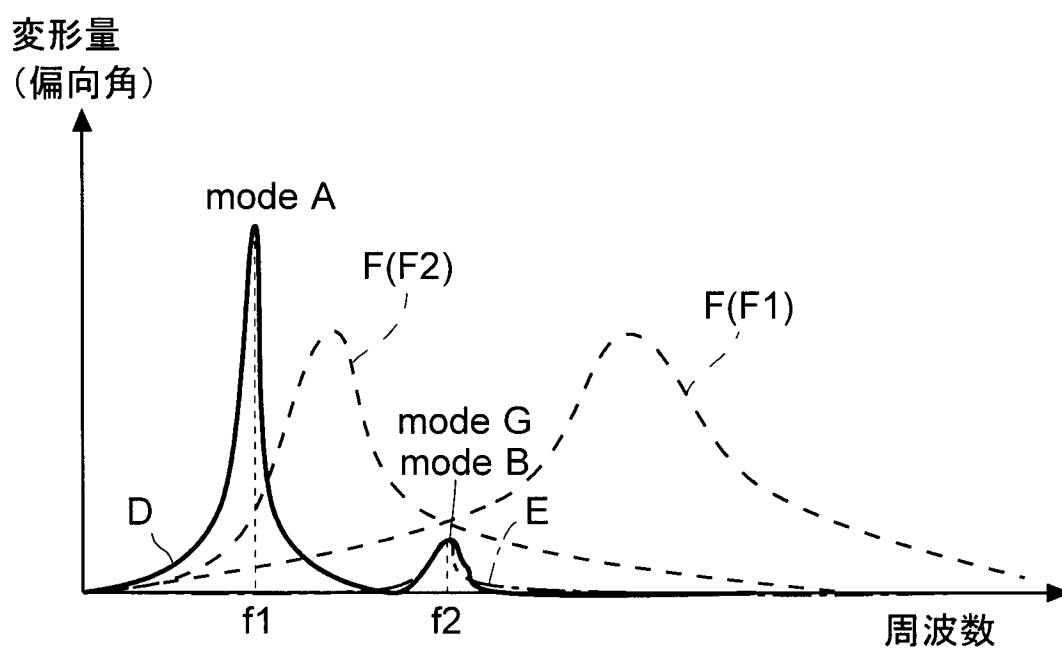
[図12]



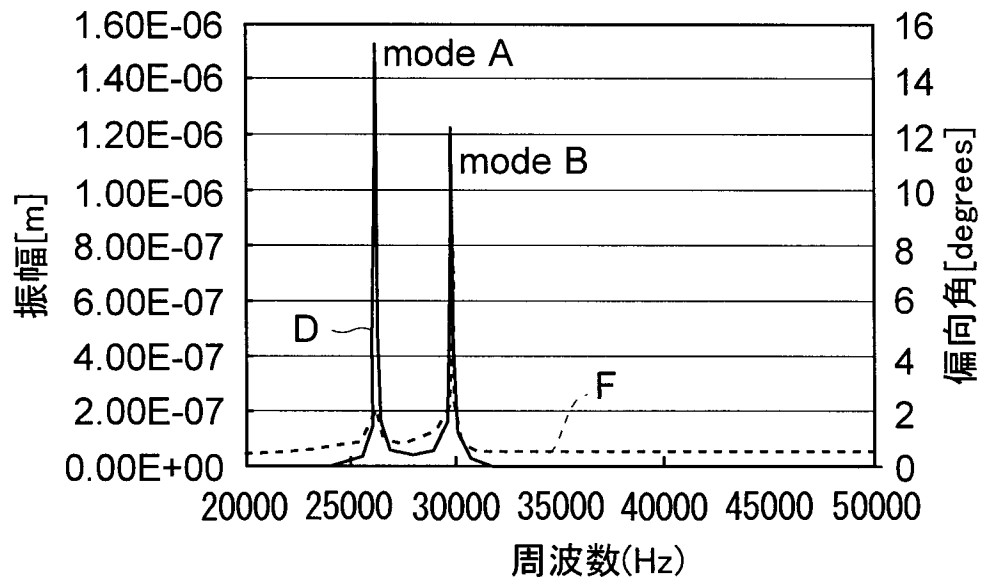
[図13]



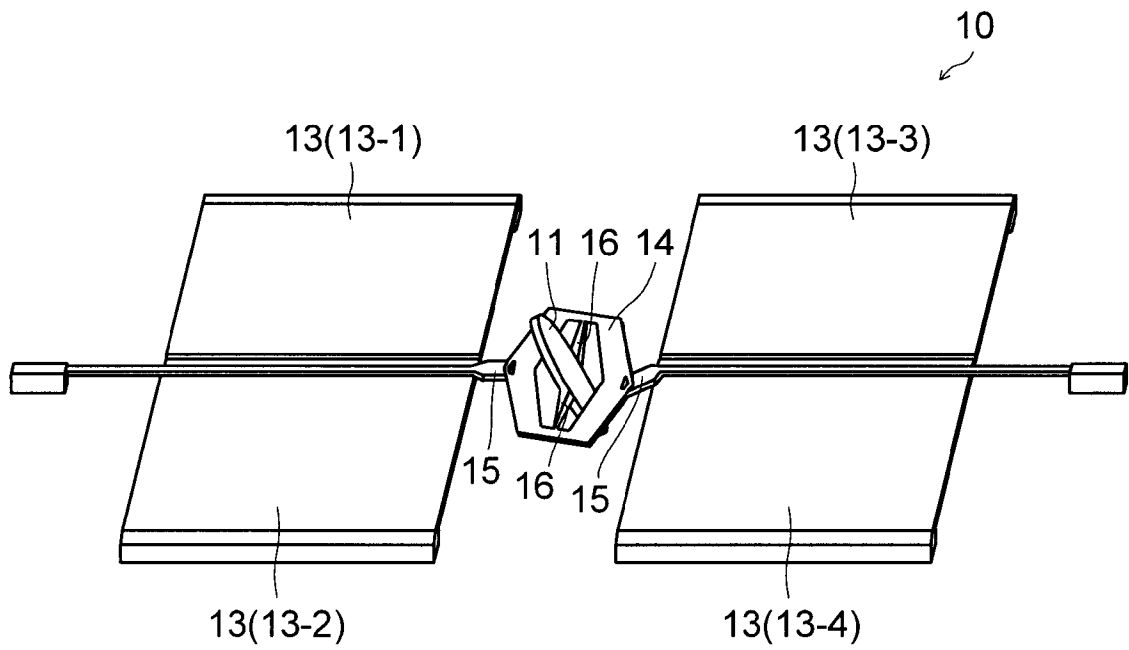
[図14]



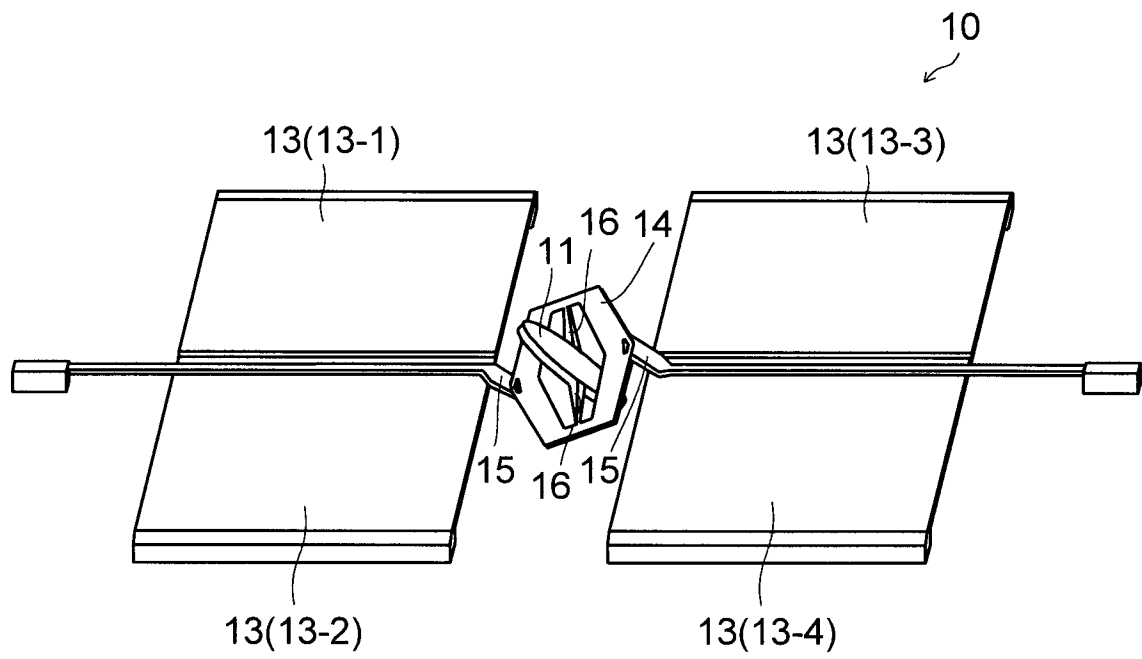
[図15]



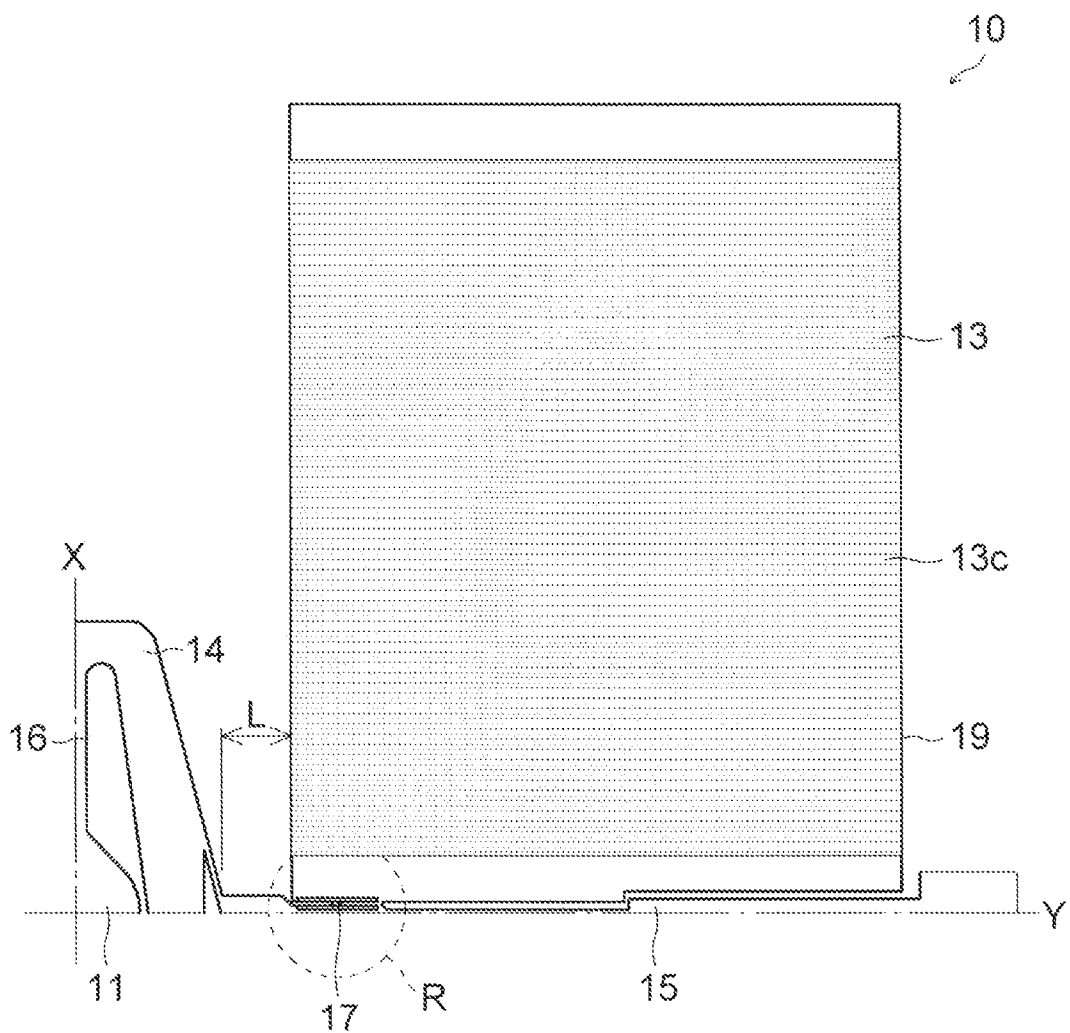
[図16]



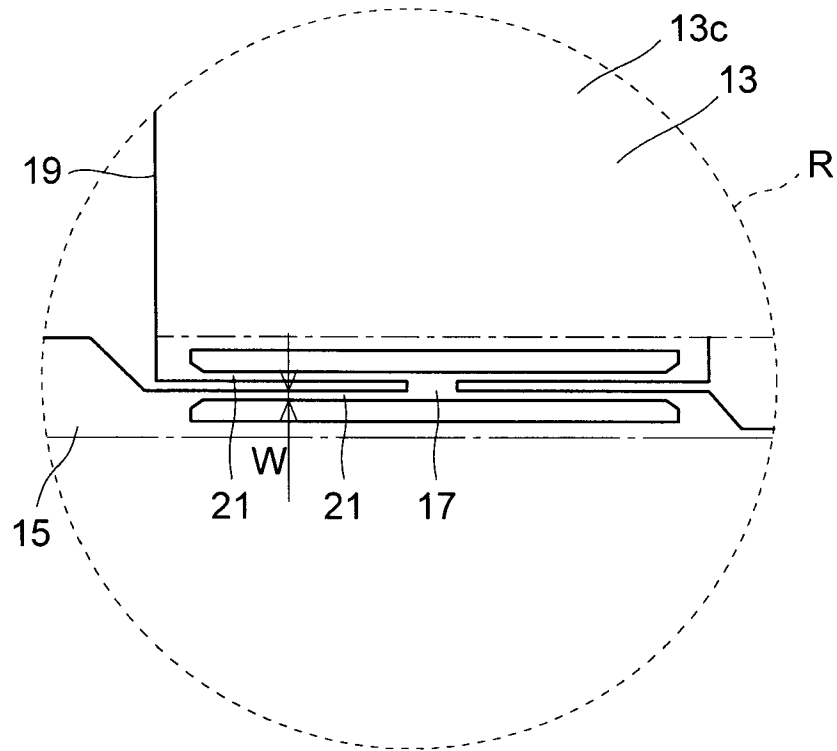
[図17]



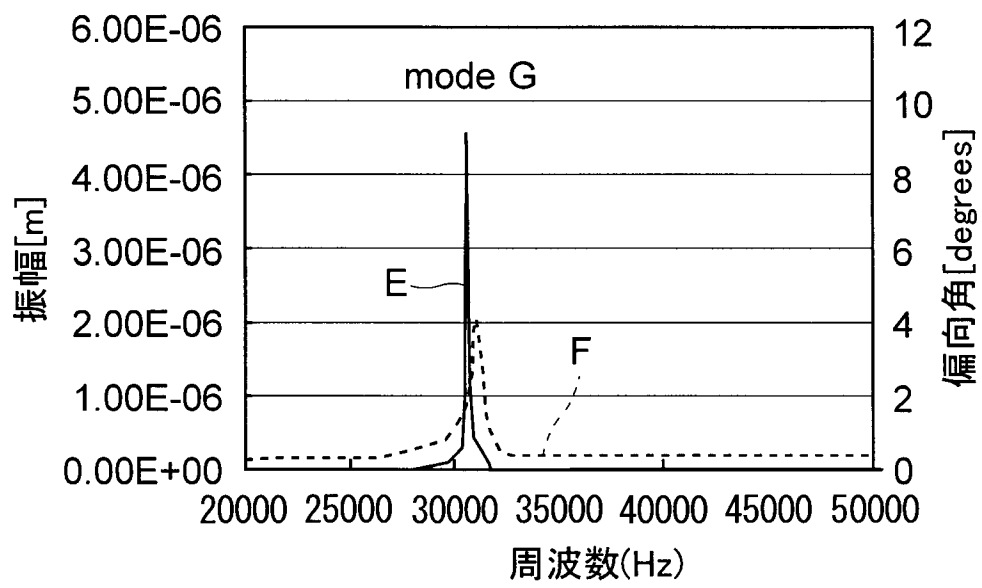
[図18]



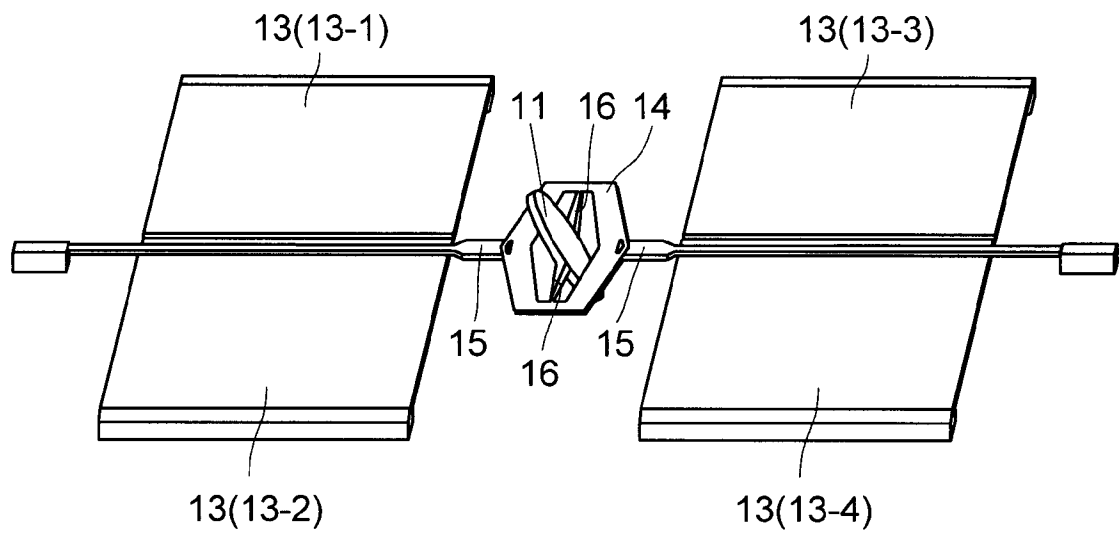
[図19]



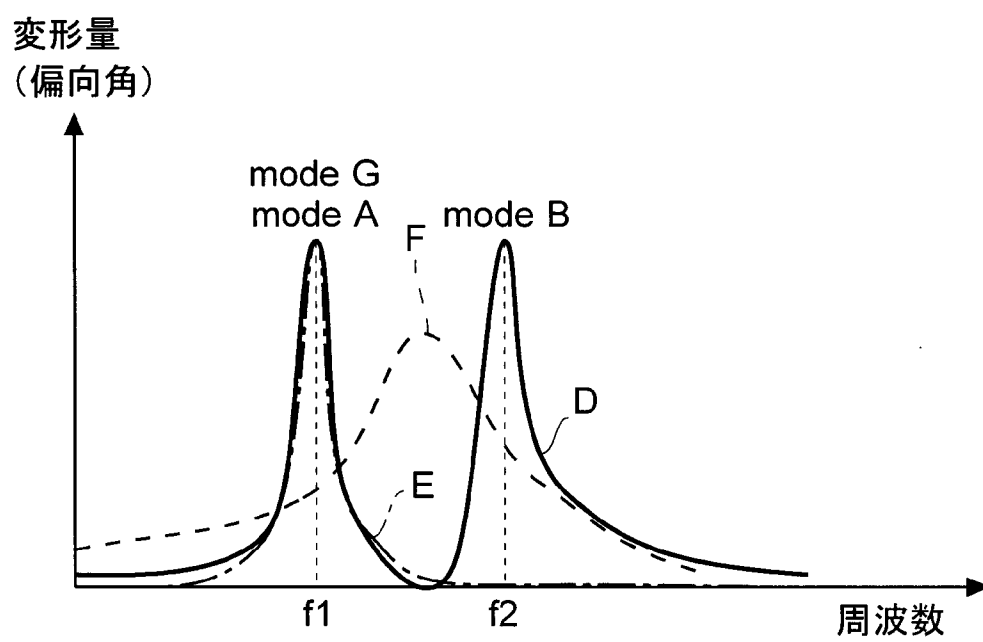
[図20]



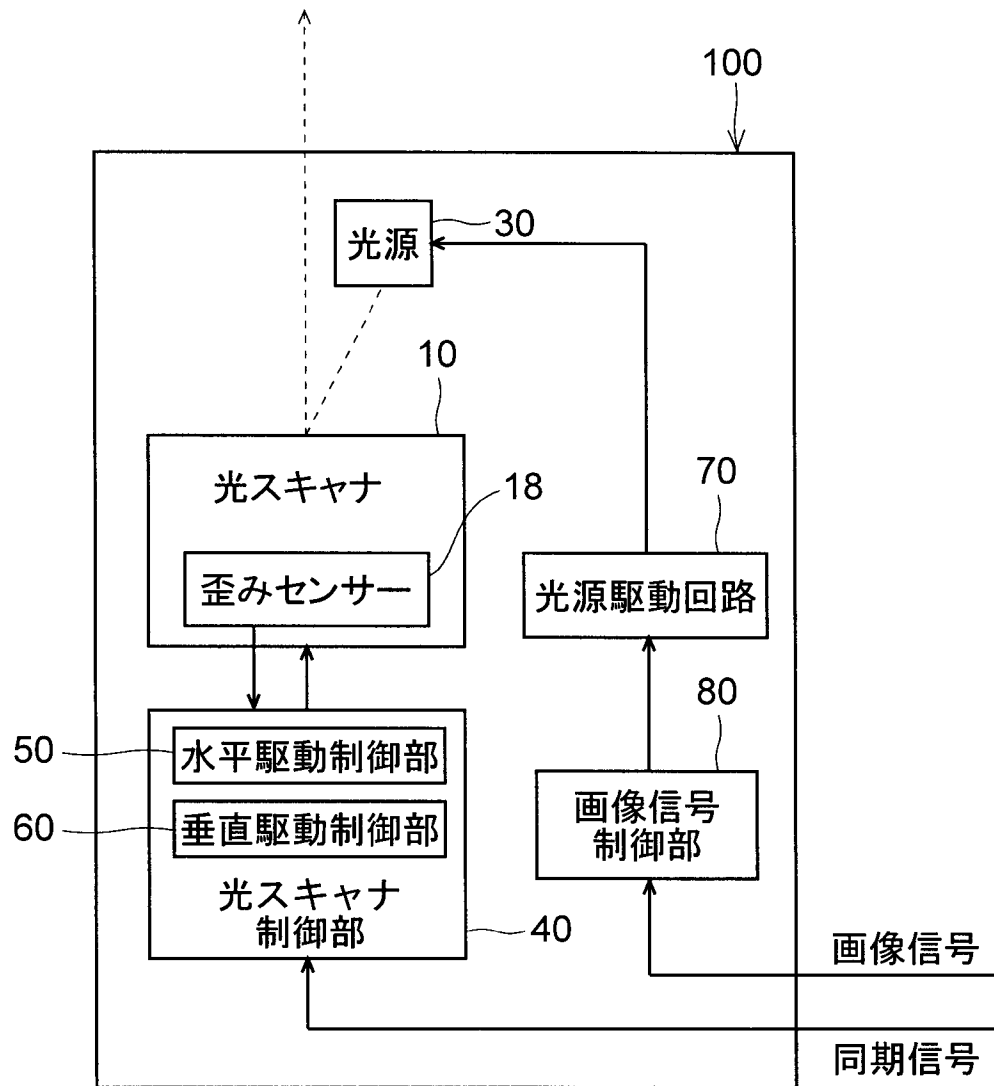
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/053854

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N2/00(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)

H02N2/00, 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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2005-181394 A (Canon Inc.), 07 July 2005 (07.07.2005), paragraphs [0001], [0020] to [0041], [0055]; fig. 1 to 4, 7 & US 2005/0128552 A1	1-7 8-10
Y	WO 2009/087883 A1 (Konica Minolta Opto, Inc.), 16 July 2009 (16.07.2009), paragraphs [0023] to [0066], [0096] to [0108]; fig. 1 to 4, 10 & US 2010/0277783 A1 & EP 2233961 A1	8-10

☐

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
15 May, 2012 (15.05.12)

Date of mailing of the international search report
22 May, 2012 (22.05.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

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. H02N2/00(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. H02N2/00, 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 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2005-181394 A (キヤノン株式会社) 2005.07.07, 段落【0001】, 【0020】 - 【0041】, 【0055】, 図1 - 4, 7 & US 2005/0128552 A1	1-7 8-10
Y	WO 2009/087883 A1 (コニカミノルタオプト株式会社) 2009.07.16, 段落 [0023] - [0066], [0096] - [0108], 図1 - 4, 10 & US 2010/0277783 A1 & EP 2233961 A1	8-10

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

1 5 . 0 5 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 2 . 0 5 . 2 0 1 2

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)

安池 一貴

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

3 V

9 1 5 0