

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4027359号
(P4027359)

(45) 発行日 平成19年12月26日(2007.12.26)

(24) 登録日 平成19年10月19日(2007.10.19)

(51) Int. Cl.	F I
B 8 1 B 3/00 (2006.01)	B 8 1 B 3/00
G O 2 B 26/08 (2006.01)	G O 2 B 26/08 E
G O 2 B 26/10 (2006.01)	G O 2 B 26/10 1 O 4 Z

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2004-323758 (P2004-323758)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成16年11月8日(2004.11.8)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2005-208578 (P2005-208578A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成17年8月4日(2005.8.4)	(74) 代理人	100090538
審査請求日	平成17年11月28日(2005.11.28)		弁理士 西山 恵三
(31) 優先権主張番号	特願2003-430425 (P2003-430425)	(74) 代理人	100096965
(32) 優先日	平成15年12月25日(2003.12.25)		弁理士 内尾 裕一
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	安田 進
早期審査対象出願			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ ノン株式会社内
		(72) 発明者	島田 康弘
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ ノン株式会社内
		審査官	塩澤 正和
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロ揺動体、光偏向器、画像形成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

支持部と、

第1の可動子、該第1の可動子を前記支持部に対して揺動可能に支持する第1のねじりバネ、第2の可動子、及び該第2の可動子を前記第1の可動子に対して、前記第1の可動子の揺動軸と同一の軸周りに揺動可能に支持する第2のねじりバネを少なくとも有する可動系と、

前記第1及び第2の可動子を前記揺動軸を中心に揺動させる駆動手段と、

前記駆動手段を制御する駆動制御手段と、

を有するマイクロ揺動体において、

前記可動系は、基準周波数の固有振動モードである基準振動モードと、 n を1以上の整数としたときに、前記基準周波数の $1.98n$ 倍以上で $2.02n$ 倍以下の周波数の固有振動モードである偶数倍振動モードとを有し、前記駆動制御手段は、前記可動系が前記基準振動モードと前記偶数倍振動モードで同時に揺動するように前記駆動手段を制御することを特徴とするマイクロ揺動体。

【請求項 2】

前記第1及び第2の可動子と、前記第1及び第2のねじりバネとが一枚の板から一体に形成されている請求項1に記載のマイクロ揺動体。

【請求項 3】

前記一枚の板が単結晶シリコンウエハから成る請求項2に記載のマイクロ揺動体。

10

20

【請求項 4】

前記可動系の駆動時に、前記第 1 及び第 2 の可動子の少なくとも一方の変位角が増加している時間の長さ、と、前記変位角が減少している時間の長さ、とが異なる請求項 1 に記載のマイクロ揺動体。

【請求項 5】

前記偶数倍振動モードの周波数は、前記基準振動モードの周波数の 1.98 倍以上で 2.02 倍以下の周波数であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載のマイクロ揺動体。

【請求項 6】

前記可動系が更に、第 3 の可動子と、該第 3 の可動子を前記第 2 の可動子に対して、前記第 1 及び第 2 の可動子の揺動軸と同一の軸周りに揺動可能に支持する第 3 のねじりバネと、を有し、

10

前記可動系は、基準周波数の固有振動モードである基準振動モードと、前記基準周波数の 2 倍の周波数の固有振動モードである 2 倍振動モードと、前記基準周波数の 3 倍の周波数の固有振動モードである 3 倍振動モードと、を有し、

前記駆動制御手段は、前記可動系が前記基準振動モードと前記 2 倍振動モードと前記 3 倍振動モードで同時に揺動するように前記駆動手段を制御することを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロ揺動体。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載のマイクロ揺動体と、前記第 1 及び第 2 の可動子の少なくとも一方に設けられた光反射部とから成る光偏向器。

20

【請求項 8】

レーザー光を出射する光源と、該光源から出射したレーザー光を偏向する請求項 7 に記載の光偏向器と、該光偏向器で偏向されたレーザー光を感光体上に結像する結像光学系とを有する画像形成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロ構造体の技術分野に関連する技術であり、より詳しくは光偏向器に好適なものである。また、この光偏向器を使用した走査型ディスプレイやレーザービームプリンタやデジタル複写機等の画像形成装置に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

従来、ミラーが共振駆動される光偏向器が色々と提案されている。共振型光偏向器は、ポリゴンミラー等の回転多面鏡を使用した光走査光学系に比べて、光偏向器を大幅に小型化することが可能であること、消費電力が少ないこと、面倒れが理論的に存在しないこと、特に半導体プロセスによって製造される Si 単結晶からなる光偏向器は理論上金属疲労が無く耐久性にも優れていること等の特徴がある（特許文献 1）。

【0003】

一方、共振型偏向器においては、原理的にミラーの走査角が正弦的に変化するため、角速度が一定でないという問題点がある。この特性を補正するために、いくつかの手法が提案されている。

40

【0004】

例えば、特許文献 2、特許文献 3、特許文献 4、特許文献 5 においては、結像光学系（結像レンズ）として \arcsin レンズを用いることで、被走査面上で等速走査を実現している。

【0005】

また、特許文献 6 においては、2 枚の偏向反射面を互いに異なる振動周期の正弦振動で駆動することで、正弦波を合成し走査範囲内で略等角速度駆動を実現している。

【0006】

50

また、特許文献 7 においては、基本周波数とその 3 倍の周波数の振動モードを有する共振型偏向器を用いることで、略三角波駆動を実現している。

【特許文献 1】特開昭 57 - 8520 号公報
 【特許文献 2】特開平 9 - 230276 号公報
 【特許文献 3】特開平 9 - 230277 号公報
 【特許文献 4】特開平 9 - 230278 号公報
 【特許文献 5】特開平 9 - 230279 号公報
 【特許文献 6】特開 2003 - 279879 号公報
 【特許文献 7】米国特許 4,859,846 号公報
 【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】
 【0007】

レーザービームプリンタ等の電子写真においては、レーザー光を感光体上で走査することで画像を形成する。その際レーザー光の走査スピードは、感光体上で等速度であることが望ましい。そこで、電子写真に用いる光走査手段においては、光偏向器で走査した後に光学的な補正を行なうことが一般的に行なわれている。

【0008】

例えば、回転多面鏡を使用した光走査光学系では、偏向反射面によって等角速度で反射偏向された光束を感光体上で等速走査に変換する為に f レンズという結像レンズが使用されている。

20

【0009】

また、正弦振動を行なう光偏向器を使用する光走査光学系においては、正弦的に角速度が変化する光束を感光体上において等速走査に変換する為に \arcsin レンズという結像レンズが用いられている。

【0010】

ところが、 \arcsin レンズには、光学的な走査補正の際に感光体面上におけるレーザー光のビームスポットの大きさが変化するという問題点がある。一般に画像形成装置においては、その必要とされる画質に応じて、許容できるビームスポットの大きさに上限値と下限値が存在する。そのため、光偏向器から射出されるレーザー光の角速度には、角速度変動の幅に許容値が存在する。ここで、角速度の上限と下限を、それぞれ ω_{max} 、 ω_{min} とする。

30

【0011】

さて、正弦振動を行なう光偏向器において、変位角 θ_0 と角速度 ω は、以下で表すことができる。

【0012】

$$\theta = \theta_0 \sin(\omega t) \quad (\text{数式 1})$$

$$\omega = \omega_0 \cos(\omega t) \quad (\text{数式 2})$$

ただし、 θ_0 : 最大変位角、 ω_0 : 角振動数である。このとき、

$$\omega_{max} = \omega_0 \quad (\text{数式 3})$$

$$\omega_{min} = \omega_0 \cos(\theta_0) \quad (\text{数式 4})$$

40

の関係が成立する。この様子を説明するのが図 17 である。図 17 において、 $t = 0$ の前後で上式を満たす時間範囲は、

$$-\cos^{-1}(\omega_{min} / \omega_0) \leq \omega t \leq \cos^{-1}(\omega_{min} / \omega_0) \quad (\text{数式 5})$$

の範囲であり、この条件を満たす使用可能最大振れ角 θ_{eff} と、一周期のうち使用できる時間ある有効時間 t_{eff} は、

$$\theta_{eff} = \theta_0 \sin(\cos^{-1}(\omega_{min} / \omega_{max})) \quad (\text{数式 6})$$

$$t_{eff} = 2 \cos^{-1}(\omega_{min} / \omega_{max}) / \omega_0 \quad (\text{数式 7}) \text{ となる。}$$

【0013】

例えば、 ω が基準の角速度に対して $\pm 20\%$ まで許容できるとする。このとき、

50

$\dot{\theta}_{min} : \dot{\theta}_{max} = 0.8 : 1.2$ (数式 8)

となるので、使用可能最大振れ角 θ_{eff} と有効時間 t_{eff} は、

$$\theta_{eff} = \sin(\cos^{-1}(0.8/1.2)) = 0.7454 \text{ rad} \quad (\text{数式 9})$$

$t_{eff} = 2 \cos^{-1}(0.8/1.2) / \omega = 1.6821 / \omega$ (数式 10)

となる。このように、従来の共振型光偏向器は、この使用可能最大振れ角 θ_{eff} と有効時間 t_{eff} を十分に大きく取ることができないという問題点がある。

【0014】

また、共振型偏向器は往路と復路の角速度が同じであるため、片側走査を行なうと、走査に有効に利用できる時間が短いという問題点がある。 10

【0015】

また、これらの問題点を補正するために複数の偏向器を用いると構造が複雑になるという問題点がある。

【0016】

また、ミラーは駆動時においても所望の平面度を保たなければならないため、ミラーの変形を押さえるために剛性を高くしなければならないという問題点がある。数式 1 のような正弦振動を行なう光偏向器において、ミラーの角速度 $\dot{\theta}$ は、以下で与えられる。

【0017】

$$\dot{\theta} = -\omega_0^2 \sin(\omega_0 t) \quad (\text{数式 11}) \quad 20$$

上記の例では、角加速度の最大値になるのは、走査の両端であり、

$$\dot{\theta}_{max} = \omega_0^2 \sin(\cos^{-1}(0.8/1.2)) = 0.7454 \omega_0^2 \quad (\text{数式 12})$$

となる。

【0018】

また、可動子とねじりバネを組み立てるときに、手間がかかり、また組み立て誤差が生じやすくなるという問題点がある。

【0019】

また、可動子の慣性モーメントを大きくしようとすると、小型化が難しいという問題点がある。2 つ以上の振動子を有する共振型光偏向器においては、光偏向素子が配置されている可動子の慣性モーメントが最も小さいのが望ましい。しかし、一枚の板を加工して振動子とねじりバネを作成しようとすると、慣性モーメントを大きくするために大きな面積の板が必要になる。これは小型化の障壁になる。また、半導体プロセスで作成する場合にはフットプリントの大型化は、コストアップの要因となる。 30

【0020】

また、可動子をねじりバネで直列に連結すると、ねじれだけでなく、たわみの振動モードが生じやすくなるという問題点がある。

【0021】

図 18 は、たわみの振動モードを説明するためのモデルである。可動子 1601 と 1602 がねじりバネ 1611 で連結され、可動子 1602 と支持部 1621 はねじりバネ 1612 で連結されている。このような系は、一般に 2 つのたわみ振動モードを有する。このときの振動モード形状を図 19 に示す。(a) は、周波数が低いほうの同相たわみモード、(b) は、周波数が高いほうの逆相振動モードである。これらの振動モードはできるだけ抑制するのが望ましい。 40

【課題を解決するための手段】

【0022】

上記問題点を解決するための本発明は、

支持部と、第 1 の可動子、該第 1 の可動子を前記支持部に対して揺動可能に支持する第 1 のねじりバネ、第 2 の可動子、及び該第 2 の可動子を前記第 1 の可動子に対し、前記第 1 の可動子の揺動軸と同一の軸周りに揺動可能に支持する第 2 のねじりバネを少なくとも 50

有する可動系と、前記第 1 及び第 2 の可動子の少なくとも一方にトルクを印加する駆動手段と、前記駆動手段を制御する駆動制御手段と、を有するマイクロ揺動体において、

前記可動系は、基準周波数の固有振動モードである基準振動モードと、 n を 1 以上の整数としたときに、前記基準周波数の $1.98n$ 倍以上で $2.02n$ 倍以下の周波数の固有振動モードである偶数倍振動モードとを有し、前記駆動制御手段は、前記基準振動モードと前記偶数倍振動モードを同時に励振するように前記駆動手段を制御することを特徴とする。

【0023】

また、本発明は、前記第 1 及び第 2 の可動子と、前記第 1 及び第 2 のねじりバネとが一枚の板から一体に形成されていることを特徴とする上記のマイクロ揺動体である。

10

【0024】

また、本発明は、前記 1 枚の板が単結晶シリコンウエハから成ることを特徴とする上記のマイクロ揺動体である。

【0029】

また、本発明は、前記可動系の駆動時に、前記第 2 の可動子の変位角が増加している時間の長さ、前記変位角が減少している時間の長さとは異なることを特徴とする上記のマイクロ揺動体である。

【0030】

また、本発明は、上記のマイクロ揺動体と、前記第 2 の可動子に設けられた光反射部とから成る光偏向器である。

20

【0031】

また、本発明は、レーザー光を出射する光源と、該光源から出射したレーザー光を偏向する上記の光偏向器と、該光偏向器で偏向されたレーザー光を感光体上に結像する結像光学系とから成る画像形成装置である。

【発明の効果】

【0032】

本発明を用いることで、共振型のマイクロ揺動体において、角速度の変動を押さえることが可能になる。特に、本発明の光偏向器は、レーザービームプリンタやデジタル複写機等の画像形成装置に好適である。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0033】

図 7 は、本発明のマイクロ揺動体の原理を説明する図である。図 7 において、1001 ~ 1003 は n 個の可動子、1011 ~ 1013 は n 個のねじりバネ、1021 は支持部を模式化している。ねじりバネ 1011 ~ 1013 は一直線状に配置されており、可動子 1001 ~ 1003 は、ねじりバネ 1011 ~ 1013 のねじれの軸回りに揺動できるようになっている。この系の自由振動の方程式は以下で与えられる。

【0034】

【数 1】

$$\mathbf{M}\ddot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{K}\boldsymbol{\theta} = \mathbf{0}$$

40

$$\boldsymbol{\theta} = \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{pmatrix}, \mathbf{M} = \begin{pmatrix} I_1 & & \\ & I_2 & \\ & & \ddots \\ & & & I_n \end{pmatrix}, \mathbf{K} = \begin{pmatrix} k_1 & -k_1 & & \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & \\ & & \ddots & \\ & & & -k_{n-1} & k_{n-1} + k_n \end{pmatrix}$$

(数式 13)

ただし、 I_k : 可動子の慣性モーメント、 k_k : ねじりバネのバネ定数、 θ_k : 可動子のねじれ角である ($k = 1 \cdots n$)。この系の $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K}$ の固有値を ω_k^2 とすると ($k = 1 \sim n$)、固有モードの角振動数 ω_k は、

50

$$k = (k) \quad (\text{数式 14})$$

で与えられる。本発明のマイクロ揺動体の特徴は、これら k の中に基準周波数とその略偶数倍の周波数があることである。なおここでの略偶数倍とは、基準周波数の $1.98n \sim 2.02n$ 倍程度 (n は任意の整数) の数値範囲に含まれることが望ましい。

【0035】

例として、図8に示すような可動子の数が2つの共振型光偏向器について考える。1101、1102は可動子、1111、1112はねじりバネ、1121は支持部、1131は1101上に配置された光反射素子、1141は駆動手段、1151は駆動制御手段である。ここで、 $I_1 = 1.3951 \text{ E} - 11 [\text{kg m}^2]$ 、 $I_2 = 1.7143 \text{ E} - 10 [\text{kg m}^2]$ 、 $k_1 = 7.91914 \text{ E} - 03 [\text{N/m}]$ 、 $k_2 = 3.0123 \text{ E} - 02 [\text{N/m}]$ とする。このとき、 $M^{-1}K$ の固有値は、 $\omega_1 = 1.5790 \text{ E} 08$ 、 $\omega_2 = 6.3166 \text{ E} 08$ となるので、対応する固有振動数は、 $f_1 = 2 \times 2000 [\text{Hz}]$ 、 $f_2 = 2 \times 4000 [\text{Hz}]$ となる。つまり、 $f_2 = 2 f_1$ となっている。これらの振動モードを以下モード1、モード2と称する。

【0036】

さらに、本発明においては、複数の可動子とねじりバネが構成する系が、基準周波数およびその偶数倍の周波数で同時に振動するように駆動制御手段1151が駆動手段1141を制御する。その際に、基準周波数およびその偶数倍の周波数の可動子の振幅と位相を様々に変化させることで、色々な駆動を行なうことができる。

【0037】

一例として、駆動制御手段1141が、駆動手段1151を制御して、モード1における可動子1101の振動振幅が $1.6a$ となり、モード2における可動子1101の振動振幅が $0.4a$ となるようにし、それぞれの位相が 180 度異なるようにしたとする。ここで、 a は任意の定数である。モード1、2に対応する固有ベクトルは、 $v_1 = [1, 0.72174]^T$ 、 $v_2 = [1, -0.11275]^T$ であるので、可動子1101、1102の振動振幅 x_1 、 x_2 は、

$$x_1 = a \{ 1.6 \sin(\omega_1 t) - 0.4 \sin(2 \omega_1 t) \} \quad (\text{数式 15})$$

$$x_2 = a \{ 1.6 (0.72174) \sin(\omega_1 t) - 0.4 (-0.11275) \sin(2 \omega_1 t) \} \quad (\text{数式 16})$$

で与えられることになる。可動子1101には、光反射素子1131が配置されているので、光反射素子の動きは x_1 で与えられる。また可動子1101の角速度 \dot{x}_1 と、角加速度 \ddot{x}_1 は、以下で表せられる。

【0038】

$$\dot{x}_1 = a \omega_1 \{ 1.6 \cos(\omega_1 t) - 2 \times 0.4 \cos(2 \omega_1 t) \} \quad (\text{数式 17})$$

$$\ddot{x}_1 = a \omega_1^2 \{ -1.6 \sin(\omega_1 t) + 4 \times 0.4 \sin(2 \omega_1 t) \} \quad (\text{数式 18})$$

図9と図10に、 x_1 および \dot{x}_1 をそれぞれ図示する。

【0039】

次に本発明の効果について説明する。図11は、数式2の \dot{x}_1 (1202) および数式16の \dot{x}_1 (1201) を最大値が等しくなるように規格化してプロットしたグラフである。このグラフにおいて、角速度が $\dot{x}_{1 \text{ max}}$ (1211) と $\dot{x}_{1 \text{ min}}$ (1212) の範囲にある時間を有効時間とすると、本発明の角速度 \dot{x}_1 (1201) の有効時間は1221であり、正弦波 \dot{x}_1 (1202) の有効時間は1222である。図11より明らかのように、本発明のマイクロ揺動体は、正弦波駆動に比較して有効時間が長い。具体的には、 $\dot{x}_{1 \text{ max}} = 1.2 \times a \omega_1$ 、 $\dot{x}_{1 \text{ min}} = 0.8 \times a \omega_1$ であるので、

$$\dot{x}_1 = a \omega_1 \{ 1.6 \cos(\omega_1 t) - 2 \times 0.4 \cos(2 \omega_1 t) \} \quad (\text{数式 19})$$

$$0.8 = 1.6 \cos(\omega_1 t) - 2 \times 0.4 \cos(2 \omega_1 t) \quad (\text{数式 20})$$

より、 $t = 0, \pm 1 / (2 \omega_1 / \text{rad})$ となる。ゆえに有効時間 t_{eff} は、

10

20

30

40

50

$t_{1\text{eff}} = \{1 / (2 - 1 / \dots) - (-1 / (2 - 1 / \dots))\} = \dots$ (数式 2 1)

となる。

【0040】

また、図 1 2 から、変位角 1 が増加している時間（グラフが右上がりになっている区間）が、変位角 1 が減少している時間（グラフが右下がりになっている区間）よりも長いことがわかる。つまり、本発明を用いることで、正弦波駆動の光偏向器と異なり、往路と復路で走査速度を変えることができる。これは、光が一定方向に走査しているときのみ画像形成を行なう画像形成装置において有利な特性である。

【0041】

図 1 2 は、図 1 1 と同様の条件で、数式 1 5 の 1 (1 2 3 1) および数式 1 の (1 2 3 2) をプロットしたグラフである。角速度が $\omega_{\text{max}} (1 2 1 1)$ と $\omega_{\text{min}} (1 2 1 2)$ の範囲にある変位角を有効変位角とすると、このグラフにおいて、1 (1 2 3 1) および (1 2 3 2) それぞれの有効時間は、1 2 1 1 および 1 2 1 2 であるので、本発明と正弦波の最大有効変位角はそれぞれ、 $1_{\text{eff}} 1 2 4 1$ と $1_{\text{eff}} 1 2 4 2$ となる。図より明らかなように、本発明の $1_{\text{eff}} 1 2 4 1$ は、 $1_{\text{eff}} 1 2 4 2$ よりも大きい。このときの 1_{eff} は、以下で表される。

【0042】

$1_{\text{eff}} = a \{ 1.6 \sin(\dots / 2) - 0.4 \sin(\dots) \} = 1.6 a$ (数式 2 2)

図 1 3 は、図 1 1 と同様の条件で、数式 1 5 の 1' (1 2 5 1) および、数式 1 の 1' (1 2 5 2) をプロットしたグラフである。図より、角加速度低減区間 1 2 6 1 においては、1' (1 2 5 2) に比べて 1' (1 2 5 1) の絶対値が小さいことが読み取れる。光走査器として使用する場合、ミラーの動たわみは、角加速度に比例するため、本発明によれば、同じミラーを使用した場合動たわみが小さくなる。また、同等の動たわみが許容できる場合には、より剛性の低いミラーを使用することができる。一般に剛性の低いミラーは、軽量に作ることができるので、慣性モーメントを低減することができる、消費電力を押さえることができる。

【0043】

また、本発明においては、ねじりバネと可動子を一体に形成することで、組み立ての手間をなくし、組み立て精度によるバラツキをなくすことができる。

【0044】

また、本発明においては、ねじりバネと可動子を一体に形成する際に、シリコンウェハを材料とすることで、共振の鋭さの指標である Q 値を高くすることができ、消費エネルギーを少なくすることができる。

【0045】

また、本発明においては、ねじりバネの軸に垂直なある平面をとった場合に、その平面が前記複数の可動子およびねじりバネと交差するような可動子を用いることで、少ない面積内で大きな慣性モーメントを確保することができる。

【0046】

図 1 4 において、可動子 1 3 0 1、1 3 0 2 と、ねじりバネ 1 3 1 1、1 3 1 2 は、一枚の板から一体に形成され、ねじりバネ 1 3 1 2 は、支持部 1 3 2 1 に固定されている。この例において、ねじりバネの軸に垂直な面 1 3 9 1 は、可動子 1 3 0 2 とねじりバネ 1 3 1 2 と交差しており、また、ねじりバネの軸に垂直な面 1 3 9 2 は、可動子 1 3 0 2 とねじりバネ 1 3 1 1 と交差している。このような形状の可動子 1 3 0 2 を用いることで、小さな面積で有効な慣性モーメントを稼ぐことができる。

【0047】

図 1 5 において、可動子 1 4 0 1、1 4 0 2 と、ねじりバネ 1 4 1 1、1 4 1 2 は、一枚の板から一体に形成され、ねじりバネ 1 4 1 2 は、支持部 1 4 2 1 に固定されている。この例において、ねじりバネの軸に垂直な面 1 4 9 1 は、可動子 1 4 0 1 と可動子 1 4 0

10

20

30

40

50

1と交差している。このような形状の可動子1402を用いることで、小さな面積で有効な慣性モーメントを稼ぐことができる。

【0048】

また、本発明においては、複数の振動子をそれぞれ2本のねじりバネで支持することで曲げ剛性を高め、不要なたわみモードの動きを抑制することができる。図16において、可動子1501、1502と、ねじりバネ1511、1512は、一枚の板から一体に形成され、ねじりバネ1511、1512は、それぞれ支持部1521、1522に固定されている。図16から見て取れるように、可動子1501、1502は、どちらも2本のねじりバネで支持されている。このように構成することで、たわみモードの動きを抑制することができる。さらに、ねじりバネの軸に垂直な面1591は、可動子1502とねじりバネ1511と交差しており、ねじりバネの軸に垂直な面1592は、可動子1501と可動子1502と交差している。図14、15と同様に、この形状においても少ない面積で慣性モーメントを稼ぐ効果がある。

【実施例】

【0049】

[実施例1]

図1は、本実施例の光偏向器を説明するための図である。

【0050】

図1(a)は、シリコンウェハをエッチング加工で作成するプレート部材100の上面図である。平板状の可動子101は、図中の上下を2本のねじりバネ111a、bで支持されている。枠形状の可動子102は、その内側にねじりバネ111a、bを支持しており、図中の上下を2本のねじりバネ112a、bで支持されている。枠形状の支持枠121は、その内側においてねじりバネ112a、bを支持している。可動子101、102及びねじりバネ111、112は、2つの振動モードを有するが、それらの周波数がおおよそ2倍になるように調整が施される。例として、可動子101、102の慣性モーメントと I_1 、 I_2 とし、ねじりバネ111a、bのバネ定数を $k_1/2$ 、ねじりバネ112a、bのバネ定数を $k_2/2$ とし、図8の説明で使用したパラメータを用いると、2つの固有角振動数は、 $\omega_1 = 2 \times 2000 \text{ [Hz]}$ 、 $\omega_2 = 2 \times 4000 \text{ [Hz]}$ となる。

【0051】

図1(b)は、光偏向器を説明するための模式図である。図中プレート部材100は、図1(a)の切断線190で切断した断面を図示している。可動子101の上面には、光反射膜131が成膜され、下面には永久磁石141が接着されている。図中プレート部材100は、透磁率の高い材料で作成されたヨーク144に接着されている。ヨーク144の、永久磁石141に相対する部位には、透磁率の高い材料で作成されたコア143が配置され、コア143の周囲にはコイル142が周回されている。永久磁石141、コイル142、コア143、ヨーク144は、電磁アクチュエータ140を構成しており、コイル142に電流を流すと、永久磁石141にトルクが作用し、可動子101を駆動する。

【0052】

コントローラ150において、基準クロック生成器151から生成された周波数 $2nf$ のクロック信号は2つに分岐し、その一方は分周器152に入力され半分の周波数 nf になる。これらの2つの信号はそれぞれカウンタ153と154のインクリメント信号に入力される。カウンタ153と154は、最大値 n に達すると0に戻るデジタルカウンタである。カウンタ153と154の出力は、それぞれ正弦関数器155と156に入力される。正弦関数器155と156は、入力を X とすると $\sin(X/n)$ の出力を返す関数器である。正弦関数器155と156は、それぞれ周波数 $2f$ と f のデジタル正弦信号を生成する。正弦関数器155と156はそれぞれ掛算器157と158でゲイン A 、 B を掛けられ、加算器159で足しあわされる。加算器159の出力はDAコンバータ160でアナログ信号に変換され、パワーアンプ161で増幅され、コイル142に電流を流す。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

図 2 は、コイル 1 4 2 に流す交流電流の周波数を横軸に、可動子 1 0 1 の変位振幅を縦軸に取ったグラフである。この光偏向器には 2 つの固有振動モードが存在し、またそれらの周波数は 1 : 2 の関係にある。これらのモードを以下モード 1、モード 2 と称する。本発明の光偏向器は、これらの 2 つのモードを同時に励起するのが特徴である。

【 0 0 5 4 】

次に、本実施例の光偏向器の使用方法について説明する。調整を行なうために可動子 1 0 1 の変位を計測する変位計測手段を用意する。まず、基準クロック生成器 1 5 1 の発生周波数を調整し、可動子 1 0 1 がモード 1 およびモード 2 で同時に共振する周波数にあわせる。次に、その周波数において、可動子 1 0 1 のモード 1 とモード 2 の振幅が所望の値になるように、掛算器 1 5 7 と 1 5 8 のゲインを調整する。そして、可動子 1 0 1 のモード 1 とモード 2 の位相が所望の位相になるように、カウンタ 1 5 3 のインクリメント/デクリメントを行なう。ここで、ゲインと位相の調整は逆の順番でもかまわない。例えば、モード 1 の振幅とモード 2 の振幅の比が 1 . 6 : 0 . 4 になるようにし、走査中心での位相が逆になるように調整を行なうと、可動子 1 0 1 は、変位角と角速度がそれぞれ図 9、1 3 で表されるように駆動されることになる。

【 0 0 5 5 】

本発明の光偏向器を使用することで、従来の共振型光偏向器よりも角速度の変動が少ない光走査を行なうことができる。

【 0 0 5 6 】

[実施例 2]

図 3 は、シリコンウェハをエッチング加工で作成するプレート部材 2 0 0 の上面図である。平板状の可動子 2 0 1 ~ 2 0 3 とねじりバネ 2 1 1 ~ 2 1 3 は、交互に直列接続されている。ねじりバネ 2 1 1 ~ 2 1 3 の軸は直線状に配置されており、ねじりバネ 2 1 3 の他端は、固定枠 2 2 1 に連結されている。この系は 3 つの振動モードを有するが、それらの周波数は、およそ 1 : 2 : 3 の関係になるように調整が施される。これらのモードを以下モード 1、モード 2、モード 3 と称する。

【 0 0 5 7 】

例として、可動子 2 0 1 ~ 2 0 3 の慣性モーメントとねじりバネ 2 1 1 ~ 2 1 3 のねじりのバネ定数が、 I_1 、 I_2 、 I_3 、 k_1 、 k_2 、 k_3 のときに、 $I_1 = 2 . 0 E - 1 1$ [k g m ²]、 $I_2 = 2 . 0 E - 1 0$ [k g m ²]、 $I_3 = 5 . 0 E - 1 0$ [k g m ²]、 $k_1 = 6 . 1 7 8 5 4 E - 3$ [N m / r a d]、 $k_2 = 2 . 0 3 3 8 8 E - 2$ [N m / r a d]、 $k_3 = 3 . 5 2 5 3 4 E - 2$ [N m / r a d] とすると、

【 0 0 5 8 】

【 数 2 】

$$\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} = \begin{pmatrix} 3.08927 \times 10^8 & -3.08927 \times 10^8 & 0 \\ -3.08927 \times 10^7 & 1.32587 \times 10^8 & -1.01694 \times 10^8 \\ 0 & -4.06776 \times 10^7 & 1.11284 \times 10^8 \end{pmatrix}$$

【 0 0 5 9 】

であるので、数式 1 4 より、モード 1 ~ 3 の固有角振動数は、 $2 \times 1 0 0 0$ [r a d / s]、 $2 \times 2 0 0 0$ [r a d / s]、 $2 \times 3 0 0 0$ [r a d / s] となる。実施例 1 と同様に、これらの固有振動モードを同時に加振することで、モード 1 ~ 3 の組み合わせの駆動を行なうことができる。

【 0 0 6 0 】

図 4、5 は、各モードにおける可動子 2 0 1 の振幅比を 2 4 : - 6 : 1 に設定したときの、可動子 2 0 1 の変位角および角速度を表したグラフである。図 5 と図 1 0 を比較すると、モード 3 を加えることで、角速度の変動の幅が小さくなっている様子が見て取れる。

【 0 0 6 1 】

このように、モードの数を増やしていくことで、より角速度の変動の幅を小さくすることができる。

【0062】

[実施例 3]

図 6 は、本発明の光偏向器を、レーザービームプリンタ等の画像形成装置に適用した例である。光源 302 から出射したレーザー光 311 は、出射光学系 303 で整形され、本発明の光偏向器 301 で走査される。結像光学系 304 は、走査されたレーザー光を感光ドラム 305 上に結像させスポットを形成する。走査されたスポットは、走査軌跡 312 に沿って移動する。

【0063】

本実施例の画像形成装置においては、図 12 に示す有効時間 $1221t_{eff}$ の範囲で画像の描画を行なう。図 11 からわかるように、本発明の光偏向器においては、走査中に走査角速度が $1212'_{min}$ から $1211'_{max}$ の間で変動する。

【0064】

結像光学系 304 に通常の f レンズを用いた場合は、感光ドラム 305 の上での走査速度が変動することになる。この走査速度の変動を打ち消すようにレーザービームの変調クロックを制御することで、感光ドラム上に正しい画像を形成することができる。

【0065】

もしくは、結像光学系 304 にこの速度変動を打ち消す特性を持たせることも可能である。この場合には、スポットの径が変動することになるので、この径の変動幅が許容値を超えないように光偏向器 301 の走査方法を決めればよい。

【図面の簡単な説明】

【0066】

【図 1】実施例 1 の光偏向器を説明する図である。

【図 2】実施例 1 の光偏向器の共振特性を説明する図である。

【図 3】実施例 2 の光偏向器に用いるプレート部材を説明する図である。

【図 4】実施例 2 の光偏向器の変位角を説明するグラフである。

【図 5】実施例 2 の光偏向器の角速度を説明するグラフである。

【図 6】実施例 3 の画像形成装置を説明するグラフである。

【図 7】本発明のマイクロ揺動体の原理を説明する図である。

【図 8】本発明の光偏向器の原理を説明する図である。

【図 9】本発明のマイクロ揺動体の変位角を説明するグラフである。

【図 10】本発明のマイクロ揺動体の角速度を説明するグラフである。

【図 11】本発明のマイクロ揺動体と正弦波駆動の角速度を比較するグラフである。

【図 12】本発明のマイクロ揺動体と正弦波駆動の変位角を比較するグラフである。

【図 13】本発明のマイクロ揺動体と正弦波駆動の角加速度を比較するグラフである。

【図 14】本発明の効果を説明する図である。

【図 15】本発明の効果を説明する図である。

【図 16】本発明の効果を説明する図である。

【図 17】正弦波駆動の有効時間を説明する図である。

【図 18】複数の振動モードをもつ揺動体のたわみ振動を説明するモデルである。

【図 19】複数の振動モードをもつ揺動体のたわみ振動の振動モードを説明する図である。

【符号の説明】

【0067】

100、200 プレート部材

101、102、201～203、1001～1003、1101、1102、1301、1302、1401、1402、1501、1502、1601、1602 可動子
111a、b、112a、b、211～213、1311、1312、1511、1512、1011～1013、1111、1112、1411、1412、1611 ねじ

10

20

30

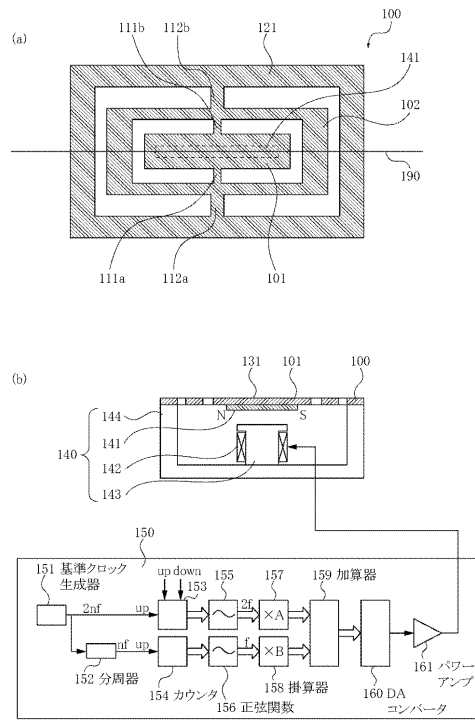
40

50

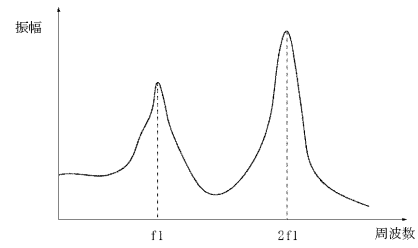
りバネ

1 2 1、2 2 1	支持枠	
1 0 2 1、1 1 2 1、1 3 2 1、1 4 2 1、1 5 2 1、1 5 2 2、1 6 2 1	支持部	
1 3 1	光反射膜	
1 1 3 1	光反射素子	
1 1 4 1	駆動手段	
1 1 5 1	駆動制御手段	
1 3 9 1、1 3 9 2、1 4 9 1	ねじりバネの軸に垂直な面	
1 4 0	電磁アクチュエータ	
1 4 1	永久磁石	10
1 4 2	コイル	
1 4 4	ヨーク	
1 4 3	コア	
1 5 0	コントローラ	
1 9 0	切断線	
1 5 1	基準クロック生成器	
1 5 2	分周器	
1 5 3、1 5 4	カウンタ	
1 5 5、1 5 6	正弦関数器	
1 5 7、1 5 8	掛算器	20
1 5 9	加算器	
1 6 0	D Aコンバータ	
1 6 1	パワーアンプ	
3 0 1	本発明の光偏向器	
3 0 2	光源	
3 0 3	出射光学系	
3 0 4	結像光学系	
3 0 5	感光ドラム	
3 1 1	レーザー光	
3 1 2	走査軌跡	30
1 2 0 1	数式 1 6 の θ	
1 2 0 2	数式 2 の θ	
1 2 1 1	θ_{max}	
1 2 1 2	θ_{min}	
1 2 2 1	角速度 ω の有効時間	
1 2 2 2	正弦波 $\sin \theta$ の有効時間	
1 2 3 1	数式 1 5 の θ	
1 2 3 2	数式 1 の θ	
1 2 4 1	本発明の最大有効変位角	
1 2 4 2	正弦波の最大有効変位角	40
1 2 5 1	数式 1 5 の θ	
1 2 5 2	数式 1 の θ	
1 2 6 1	角加速度低減区間	

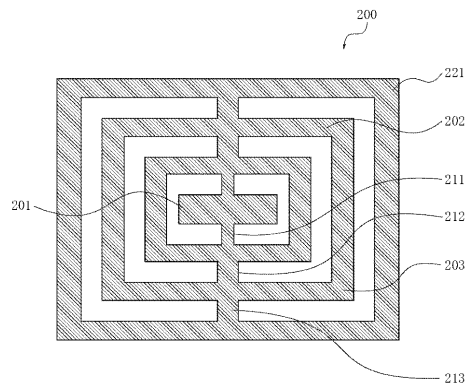
【図 1】



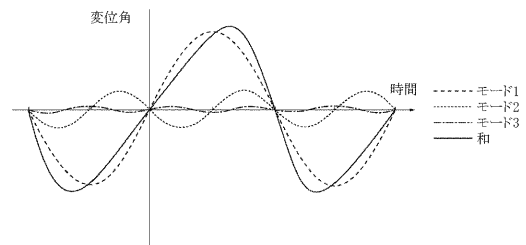
【図 2】



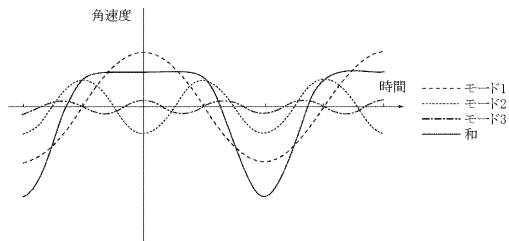
【図 3】



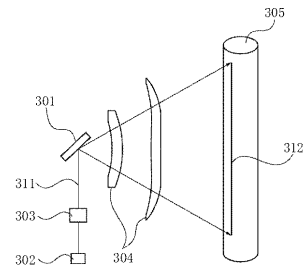
【図 4】



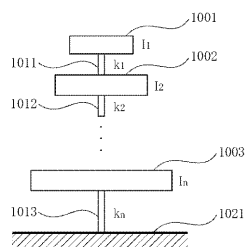
【図 5】



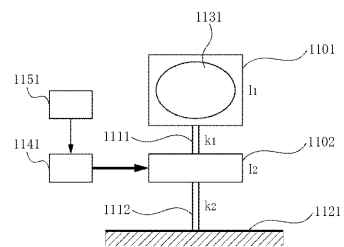
【図 6】



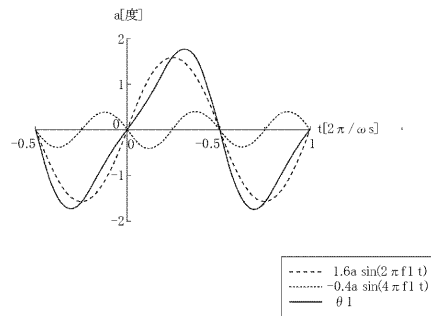
【図 7】



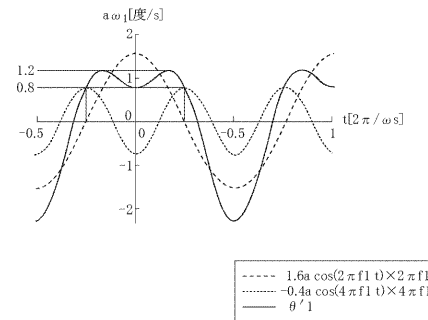
【図 8】



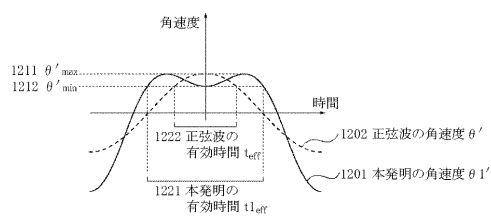
【図 9】



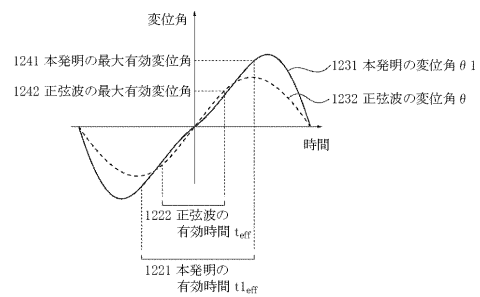
【図 10】



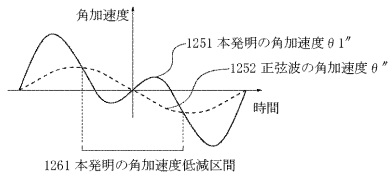
【図 11】



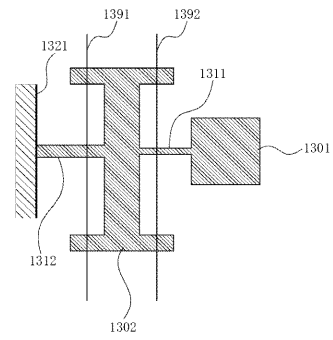
【図 12】



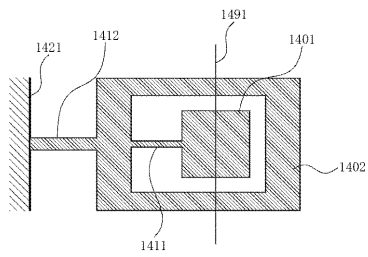
【図 13】



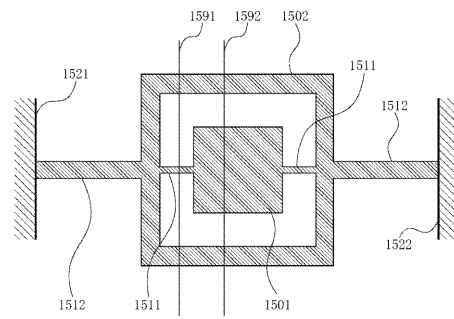
【図 14】



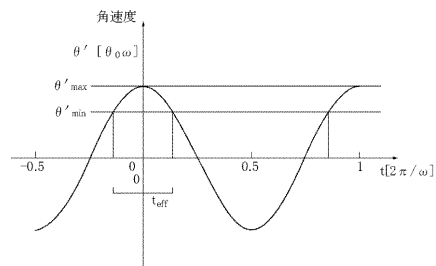
【図 15】



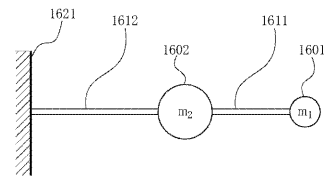
【図 16】



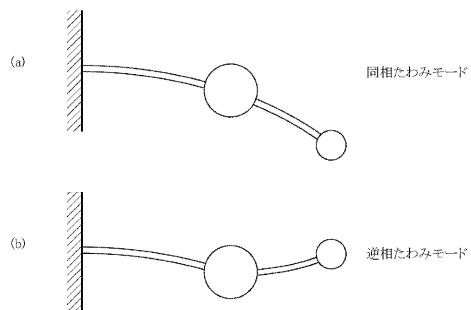
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平06-175060(JP,A)
特開平07-027989(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 26/08
B81B 3/00
G02B 26/10