

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7686810号
(P7686810)

(45)発行日 令和7年6月2日(2025.6.2)

(24)登録日 令和7年5月23日(2025.5.23)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 2 B	26/10 (2006.01)	G 0 2 B	26/10 1 0 4 Z
G 0 2 B	26/08 (2006.01)	G 0 2 B	26/10 C
B 8 1 B	3/00 (2006.01)	G 0 2 B	26/08 E
B 8 1 C	1/00 (2006.01)	B 8 1 B	3/00
		B 8 1 C	1/00
請求項の数 13 (全27頁)			
(21)出願番号	特願2024-6912(P2024-6912)	(73)特許権者	000236436
(22)出願日	令和6年1月19日(2024.1.19)		浜松ホトニクス株式会社
(62)分割の表示	特願2020-535932(P2020-535932))の分割		静岡県浜松市中央区市野町1 1 2 6 番地 の1
原出願日	令和1年8月9日(2019.8.9)	(74)代理人	100088155
(65)公開番号	特開2024-50649(P2024-50649A)		弁理士 長谷川 芳樹
(43)公開日	令和6年4月10日(2024.4.10)	(74)代理人	100113435
審査請求日	令和6年1月19日(2024.1.19)		弁理士 黒木 義樹
(31)優先権主張番号	特願2018-151230(P2018-151230)	(74)代理人	100140442
(32)優先日	平成30年8月10日(2018.8.10)		弁理士 柴山 健一
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100177910
前置審査			弁理士 木津 正晴
		(72)発明者	鈴木 大幾
			静岡県浜松市中央区市野町1 1 2 6 番地 の1 浜松ホトニクス株式会社内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アクチュエータ装置、及びアクチュエータ装置の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】
支持部と、
第1可動部と、
前記第1可動部を囲む枠状の第2可動部と、
第1軸線周りに前記第1可動部が揺動可能となるように、前記第1可動部と前記第2可動部とを互いに連結する第1連結部と、
前記第2可動部を振動させることによって前記第1軸線周りに前記第1可動部が揺動可能となるように、前記第2可動部と前記支持部とを互いに連結する第2連結部と、
前記第2可動部に駆動力を作用させる駆動部と、を備え、
前記第2連結部は、前記第1軸線と交差する第2軸線周りに前記第2可動部が揺動可能となるように、前記第2可動部と前記支持部とを互いに連結しており、
前記第2連結部は、蛇行して延在しており、
前記第1軸線周りの前記第1可動部及び前記第2可動部の振動についての2つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 （ただし $\omega_1 < \omega_2$ ）は、以下の第1式（1）及び第2式（2）の一方を満たし、他方を満たしていない、アクチュエータ装置。

【数1】

$$0 < 1 - \left(\frac{\omega_1}{\omega_{ii}} \right)^2 \leq 0.2 \quad \cdots (1)$$

【数 2】

$$0 < \left(\frac{\omega_2}{\omega_{ii}} \right)^2 - 1 \leq 0.2 \quad \cdots (2)$$

上記式において、 $\omega_{ii} = (k_i / j_i)^{1/2}$ であり、 k_i は、前記第 1 軸線周りの前記第 1 連結部の振りばね定数であり、 j_i は、前記第 1 軸線周りの前記第 1 可動部の慣性モーメントである。

【請求項 2】

支持部と、

第 1 可動部と、

前記第 1 可動部を囲む枠状の第 2 可動部と、

第 1 軸線周りに前記第 1 可動部が揺動可能となるように、前記第 1 可動部と前記第 2 可動部とを互いに連結する第 1 連結部と、

前記第 2 可動部と前記支持部とを互いに連結する第 2 連結部と、

前記第 1 可動部及び前記第 1 連結部の少なくとも一方に設けられ、前記第 1 可動部に駆動力を作用させる駆動部と、を備え、

前記第 2 連結部は、前記第 1 軸線と交差する第 2 軸線周りに前記第 2 可動部が揺動可能となるように、前記第 2 可動部と前記支持部とを互いに連結しており、

前記第 2 連結部は、蛇行して延在しており、

前記第 1 軸線周りの前記第 1 可動部及び前記第 2 可動部の振動についての 2 つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 (ただし $\omega_1 < \omega_2$) は、以下の第 1 式 (3) 及び第 2 式 (4) の一方を満たし、他方を満たしていない、アクチュエータ装置。

【数 3】

$$0 < \frac{4\omega_{io}^2}{\omega_{oo}^2 - \omega_1^2} \leq 1 \quad \cdots (3)$$

【数 4】

$$\frac{\omega_{oo}^2 - \omega_2^2}{\omega_{io}^2} \leq -6 \quad \cdots (4)$$

上記式において、 $\omega_{io} = (k_i / j_o)^{1/2}$ であり、 $\omega_{oo} = (k_o / j_o)^{1/2}$ であり、 k_i は、前記第 1 軸線周りの前記第 1 連結部の振りばね定数であり、 k_o は、前記第 1 軸線周りの前記第 2 連結部の振りばね定数であり、 j_o は、前記第 1 軸線周りの前記第 2 可動部の慣性モーメントである。

【請求項 3】

前記 2 つの固有角振動数は、前記第 1 式を満たし、前記第 2 式を満たしておらず、

前記第 1 軸線周りの前記第 2 連結部の振りばね定数は、前記第 1 軸線周りの前記第 1 連結部の振りばね定数よりも大きい、請求項 1 又は 2 に記載のアクチュエータ装置。

【請求項 4】

前記 2 つの固有角振動数は、前記第 2 式を満たし、前記第 1 式を満たしておらず、

前記第 1 軸線周りの前記第 2 連結部の振りばね定数は、前記第 1 軸線周りの前記第 1 連結部の振りばね定数よりも小さい、請求項 1 又は 2 に記載のアクチュエータ装置。

【請求項 5】

前記第 2 連結部の全長は、前記第 1 連結部の全長よりも短い、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載のアクチュエータ装置。

【請求項 6】

前記第 2 連結部の全長は、前記第 1 連結部の全長よりも長い、請求項 1 ～ 4 のいずれか

10

20

30

40

50

一項に記載のアクチュエータ装置。

【請求項 7】

前記支持部、前記第 1 可動部、前記第 2 可動部、前記第 1 連結部及び前記第 2 連結部は、半導体基板によって構成されている、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載のアクチュエータ装置。

【請求項 8】

前記第 1 可動部は、光学面が設けられた本体部と、前記本体部を囲む枠部と、を有しており、

前記第 1 連結部は、前記枠部に接続されている、請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載のアクチュエータ装置。

10

【請求項 9】

前記第 2 可動部から前記第 2 連結部を介して前記支持部に延在する配線と、

前記第 2 連結部上に設けられ、前記配線を覆う絶縁層と、を更に備える、請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載のアクチュエータ装置。

【請求項 10】

前記第 1 可動部及び前記第 2 可動部には、磁石が設けられていない、請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載のアクチュエータ装置。

【請求項 11】

前記第 1 連結部は、前記支持部、前記第 1 可動部及び前記第 2 可動部が配置される平面に垂直な方向から見た場合に、前記第 2 可動部に近づくほど幅が広がった拡幅部を有し、前記拡幅部において前記第 2 可動部に接続されている、請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載のアクチュエータ装置。

20

【請求項 12】

支持部と、

第 1 可動部と、

前記第 1 可動部を囲む枠状の第 2 可動部と、

第 1 軸線周りに前記第 1 可動部が揺動可能となるように、前記第 1 可動部と前記第 2 可動部とを互いに連結する第 1 連結部と、

前記第 2 可動部を振動させることによって前記第 1 軸線周りに前記第 1 可動部が揺動可能となるように、前記第 2 可動部と前記支持部とを互いに連結する第 2 連結部と、

30

前記第 2 可動部に駆動力を作用させる駆動部と、を備え、

前記第 2 連結部は、前記第 1 軸線と交差する第 2 軸線周りに前記第 2 可動部が揺動可能となるように、前記第 2 可動部と前記支持部とを互いに連結しており、

前記第 2 連結部は、蛇行して延在している、アクチュエータ装置の製造方法であって、

前記第 1 軸線周りの前記第 1 可動部及び前記第 2 可動部の振動についての 2 つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 （ただし $\omega_1 < \omega_2$ ）が、以下の式（5）及び式（6）の一方を満たし、他方を満たさないように、前記アクチュエータ装置を製造する、アクチュエータ装置の製造方法。

【数 5】

$$0 < 1 - \left(\frac{\omega_1}{\omega_{ii}} \right)^2 \leq 0.2 \quad \dots (5)$$

40

【数 6】

$$0 < \left(\frac{\omega_2}{\omega_{ii}} \right)^2 - 1 \leq 0.2 \quad \dots (6)$$

上記式において、 $\omega_{ii} = (k_i / j_i)^{1/2}$ であり、 k_i は、前記第 1 軸線周りの前記第 1 連結部の振りばね定数であり、 j_i は、前記第 1 軸線周りの前記第 1 可動部の慣性

50

モーメントである。

【請求項 13】

支持部と、

第 1 可動部と、

前記第 1 可動部を囲む枠状の第 2 可動部と、

第 1 軸線周りに前記第 1 可動部が揺動可能となるように、前記第 1 可動部と前記第 2 可動部とを互いに連結する第 1 連結部と、

前記第 2 可動部と前記支持部とを互いに連結する第 2 連結部と、

前記第 1 可動部及び前記第 1 連結部の少なくとも一方に設けられ、前記第 1 可動部に駆動力を作用させる駆動部と、を備え、

前記第 2 連結部は、前記第 1 軸線と交差する第 2 軸線周りに前記第 2 可動部が揺動可能となるように、前記第 2 可動部と前記支持部とを互いに連結しており、

前記第 2 連結部は、蛇行して延在している、アクチュエータ装置の製造方法であって、

前記第 1 軸線周りの前記第 1 可動部及び前記第 2 可動部の振動についての 2 つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 （ただし $\omega_1 < \omega_2$ ）が、以下の式（7）及び式（8）の一方を満たし、他方を満たさないように、前記アクチュエータ装置を製造する、アクチュエータ装置の製造方法。

【数 7】

$$0 < \frac{4\omega_{io}^2}{\omega_{oo}^2 - \omega_1^2} \leq 1 \quad \dots (7)$$

【数 8】

$$\frac{\omega_{oo}^2 - \omega_2^2}{\omega_{io}^2} \leq -6 \quad \dots (8)$$

上記式において、 $\omega_{io} = (k_i / j_o)^{1/2}$ であり、 $\omega_{oo} = (k_o / j_o)^{1/2}$ であり、 k_i は、前記第 1 軸線周りの前記第 1 連結部の振りばね定数であり、 k_o は、前記第 1 軸線周りの前記第 2 連結部の振りばね定数であり、 j_o は、前記第 1 軸線周りの前記第 2 可動部の慣性モーメントである。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の一側面は、アクチュエータ装置、及びアクチュエータ装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスとして、支持部と、第 1 可動部と、第 1 可動部を囲む第 2 可動部と、第 1 軸線上において第 1 可動部と第 2 可動部とを互いに連結する一対の第 1 連結部と、第 1 軸線上において第 2 可動部と支持部とを互いに連結する一対の第 2 連結部と、を備えるアクチュエータ装置が知られている（例えば特許文献 1 参照）。特許文献 1 に記載のアクチュエータ装置では、第 1 可動部に光反射部が設けられており、交流電圧の印加によって第 2 可動部が第 1 軸線周りに回転し、それに伴って第 1 可動部が第 1 軸線周りに回転する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2005-99760 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述したようなアクチュエータ装置では、高効率化の観点から、第2可動部の振れ角に対する第1可動部の振れ角の比が大きいことが好ましい。また、上述したようなアクチュエータ装置には、安定的な動作が求められる。

【0005】

本開示の一側面は、高効率かつ安定的な動作を実現することができるアクチュエータ装置、及びそのようなアクチュエータ装置の製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の一側面に係るアクチュエータ装置は、支持部と、第1可動部と、第1可動部を囲む枠状の第2可動部と、第1軸線周りに第1可動部が揺動可能となるように、第1可動部と第2可動部とを互いに連結する第1連結部と、第2可動部を振動させることによって第1軸線周りに第1可動部が揺動可能となるように、第2可動部と支持部とを互いに連結する第2連結部と、第2可動部に駆動力を作用させる駆動部と、を備え、第1軸線周りの第1可動部及び第2可動部の振動についての2つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 （ただし $\omega_1 < \omega_2$ ）は、以下の第1式（1）及び第2式（2）の一方を満たし、他方を満たしていない。

【数1】

$$0 < 1 - \left(\frac{\omega_1}{\omega_{ii}} \right)^2 \leq 0.2 \quad \cdots (1)$$

【数2】

$$0 < \left(\frac{\omega_2}{\omega_{ii}} \right)^2 - 1 \leq 0.2 \quad \cdots (2)$$

上記式において、 $\omega_{ii} = (k_i / j_i)^{1/2}$ であり、 k_i は、第1軸線周りの第1連結部の振りばね定数であり、 j_i は、第1軸線周りの第1可動部の慣性モーメントである。

【0007】

本開示の一側面に係るアクチュエータ装置は、支持部と、第1可動部と、第1可動部を囲む枠状の第2可動部と、第1軸線周りに第1可動部が揺動可能となるように、第1可動部と第2可動部とを互いに連結する第1連結部と、第2可動部と支持部とを互いに連結する第2連結部と、第1可動部及び第1連結部の少なくとも一方に設けられ、第1可動部に駆動力を作用させる駆動部と、を備え、第1軸線周りの第1可動部及び第2可動部の振動についての2つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 （ただし $\omega_1 < \omega_2$ ）は、以下の第1式（3）及び第2式（4）の一方を満たし、他方を満たしていない。

【数3】

$$0 < \frac{4\omega_{io}^2}{\omega_{oo}^2 - \omega_1^2} \leq 1 \quad \cdots (3)$$

【数4】

$$\frac{\omega_{oo}^2 - \omega_2^2}{\omega_{io}^2} \leq -6 \quad \cdots (4)$$

上記式において、 $\omega_{io} = (k_i / j_o)^{1/2}$ であり、 $\omega_{oo} = (k_o / j_o)^{1/2}$ であり、 k_i は、第1軸線周りの第1連結部の振りばね定数であり、 k_o は、第1軸線周りの第2連結部の振りばね定数であり、 j_o は、第1軸線周りの第2可動部の慣性モーメントである。

【0008】

これらのアクチュエータ装置では、2つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 が第1式を満たし、

第2式を満たしていない場合、固有角振動数 ω_1 で第1可動部及び第2可動部を揺動させることにより、第2可動部の振れ角に対する第1可動部の振れ角の比（以下、「振幅比」という）を5以上とすることができる。一方、2つの固有角振動数 ω_1 ， ω_2 が第2式を満たし、第1式を満たしていない場合、固有角振動数 ω_2 で第1可動部及び第2可動部を揺動させることにより、振幅比を5以上とすることができる。したがって、いずれの場合にも、振幅比を大きく確保することができ、動作を高効率化することができる。更に、第1式及び第2式の一方のみが満たされており、他方は満たされていないことにより、固有角振動数 ω_1 ， ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。よって、これらのアクチュエータ装置によれば、高効率かつ安定的な動作を実現することができる。

10

【0009】

第2連結部は、第1軸線と交差する第2軸線周りに第2可動部が揺動可能となるように、第2可動部と支持部とを互いに連結していてもよい。この場合、第2可動部を第1可動部と共に第2軸線周りに揺動させることができる。

【0010】

2つの固有角振動数は、第1式を満たし、第2式を満たしておらず、第1軸線周りの第2連結部の振りばね定数は、第1軸線周りの第1連結部の振りばね定数よりも大きくてもよい。この場合、振幅比を一層大きく確保することができる。

【0011】

第2連結部の全長は、第1連結部の全長よりも短くてもよい。この場合、第2連結部の振りばね定数を第1連結部の振りばね定数よりも好適に大きくすることができる。更に、第2連結部の断面積を大きくするのではなく、長さを短くすることによって第2連結部の振りばね定数を大きくすることにより、アクチュエータ装置の小型化を図りつつ、振幅比を大きく確保することができる。

20

【0012】

第2連結部は、それぞれが第2可動部と支持部とを互いに連結する複数の部材を有し、複数の部材は、第1軸線と交差する方向に沿って並んで配置されていてもよい。この場合、第2連結部の振りばね定数を第1連結部の振りばね定数よりも一層好適に大きくすることができる。

【0013】

複数の部材は、第1軸線上に配置された第1部材と、互いの間に第1部材を挟むように配置された一対の第2部材と、を含んでもよい。この場合、第2連結部の振りばね定数を第1連結部の振りばね定数よりも一層好適に大きくすることができる。

30

【0014】

本開示の一側面に係るアクチュエータ装置は、第2可動部から第2連結部を介して支持部に延在する配線を更に備え、配線は、第1部材を通るように配置されていてもよい。この場合、第2部材と比べて第2可動部の振動時に作用する応力が小さい第1部材を通るように配線が配置されているため、第2連結部における配線の劣化を抑制することができる。

【0015】

2つの固有角振動数は、第2式を満たし、第1式を満たしておらず、第1軸線周りの第2連結部の振りばね定数は、第1軸線周りの第1連結部の振りばね定数よりも小さくてもよい。この場合、振幅比を一層大きく確保することができる。

40

【0016】

第2連結部の全長は、第1連結部の全長よりも長くてもよい。この場合、第2連結部の振りばね定数を第1連結部の振りばね定数よりも好適に小さくすることができる。

【0017】

第2連結部は、蛇行して延在していてもよい。この場合、第2連結部の振りばね定数を第1連結部の振りばね定数よりも一層好適に小さくすることができる。更に、第2連結部が蛇行して延在していることにより、例えば第2連結部が直線状に延在している場合と比べて、耐衝撃性を向上することができる。

50

【0018】

支持部、第1可動部、第2可動部、第1連結部及び第2連結部は、半導体基板によって構成されていてもよい。このように構成されたアクチュエータ装置においても、高効率かつ安定的な動作を実現することができる。

【0019】

本開示の一側面に係るアクチュエータ装置は、第1可動部に設けられたセンシング用コイルと、センシング用コイルに接続され、第1連結部を介して第2可動部に延在する配線と、を更に備え、第1連結部は、半導体材料によって構成されており、配線のうち第1連結部上に位置する部分は、半導体材料に不純物が拡散された拡散領域によって構成されていてもよい。この場合、配線のうち第1連結部上に位置する部分には第1可動部の揺動時に比較的大きな応力が作用するが、当該部分が拡散領域によって構成されているため、第1連結部における配線の劣化を抑制することができる。

10

【0020】

拡散領域は、第1連結部から第1可動部及び第2可動部に延在しており、第1可動部及び第2可動部における拡散領域の幅は、第1連結部における拡散領域の幅よりも広くてもよい。この場合、配線を低抵抗化することができる。

【0021】

配線のうち、第1可動部上に位置する部分及び第2可動部上に位置する部分は、金属材料によって構成されており、拡散領域と、第1可動部上に位置する部分及び第2可動部上に位置する部分の各々との接触部分の幅は、第1連結部の幅よりも広くてもよい。この場合、配線を一層低抵抗化することができる。また、製造時等に位置ずれが生じたとしても、拡散領域と、第1可動部上に位置する部分及び第2可動部上に位置する部分の各々を確実に電氣的に接続することができる。

20

【0022】

本開示の一側面に係るアクチュエータ装置の製造方法は、支持部と、第1可動部と、第1可動部を囲む枠状の第2可動部と、第1軸線周りに第1可動部が揺動可能となるように、第1可動部と第2可動部とを互いに連結する第1連結部と、第2可動部を振動させることによって第1軸線周りに第1可動部が揺動可能となるように、第2可動部と支持部とを互いに連結する第2連結部と、第2可動部に駆動力を作用させる駆動部と、を備えるアクチュエータ装置の製造方法であって、第1軸線周りの第1可動部及び第2可動部の振動についての2つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 （ただし $\omega_1 < \omega_2$ ）が、以下の式（5）及び式（6）の一方を満たし、他方を満たさないように、アクチュエータ装置を製造する。

30

【数5】

$$0 < 1 - \left(\frac{\omega_1}{\omega_{ii}} \right)^2 \leq 0.2 \quad \dots (5)$$

【数6】

$$0 < \left(\frac{\omega_2}{\omega_{ii}} \right)^2 - 1 \leq 0.2 \quad \dots (6)$$

40

上記式において、 $\omega_{ii} = (k_i / j_i)^{1/2}$ であり、 k_i は、第1軸線周りの第1連結部の振りばね定数であり、 j_i は、第1軸線周りの第1可動部の慣性モーメントである。

【0023】

本開示の一側面に係るアクチュエータ装置の製造方法は、支持部と、第1可動部と、第1可動部を囲む枠状の第2可動部と、第1軸線周りに第1可動部が揺動可能となるように、第1可動部と第2可動部とを互いに連結する第1連結部と、第2可動部と支持部とを互いに連結する第2連結部と、第1可動部及び第1連結部の少なくとも一方に設けられ、第1可動部に駆動力を作用させる駆動部と、を備えるアクチュエータ装置の製造方法であって、第1軸線周りの第1可動部及び第2可動部の振動についての2つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 （ただし $\omega_1 < \omega_2$ ）が、以下の式（7）及び式（8）の一方を満たし、他方を満た

50

さないように、アクチュエータ装置を製造する。

【数 7】

$$0 < \frac{4\omega_{io}^2}{\omega_{oo}^2 - \omega_1^2} \leq 1 \quad \dots (7)$$

【数 8】

$$\frac{\omega_{oo}^2 - \omega_2^2}{\omega_{io}^2} \leq -6 \quad \dots (8)$$

10

上記式において、 $\omega_{io} = (k_i / j_o)^{1/2}$ であり、 $\omega_{oo} = (k_o / j_o)^{1/2}$ であり、 k_i は、第 1 軸線周りの第 1 連結部の振りばね定数であり、 k_o は、第 1 軸線周りの第 2 連結部の振りばね定数であり、 j_o は、第 1 軸線周りの第 2 可動部の慣性モーメントである。

【0024】

これらの製造方法により製造されるアクチュエータ装置によれば、上述した理由により、高効率かつ安定的な動作を実現することができる。

【発明の効果】

【0025】

20

本開示の一側面によれば、高効率かつ安定的な動作を実現することができるアクチュエータ装置、及びそのようなアクチュエータ装置の製造方法を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図 1】第 1 実施形態に係るミラー装置の平面図である。

【図 2】第 2 実施形態に係るミラー装置の平面図である。

【図 3】図 2 の一部拡大図である。

【図 4】図 3 の IV-IV 線に沿っての断面図である。

【図 5】図 5 (a) 及び図 5 (b) は、入力角振動数と振れ角との関係の例を示す図である。

30

【図 6】図 6 (a) は、図 5 (a) の共振点 A における第 1 可動部及び第 2 可動部の振れ角の関係の例を示す模式図であり、図 6 (b) は、図 5 (a) の共振点 B における第 1 可動部及び第 2 可動部の振れ角の関係の例を示す模式図である。

【図 7】図 7 (a) は、例示的なミラー装置の模式平面図であり、図 7 (b) は、図 7 (a) のミラー装置の振動モデルを示す図である。

【図 8】図 8 (a) 及び図 8 (b) は、外側駆動の場合の数値間の関係を示すグラフである。

【図 9】図 9 (a) 及び図 9 (b) は、外側駆動の場合の数値間の関係を示すグラフである。

【図 10】図 10 (a) 及び図 10 (b) は、内側駆動の場合の数値間の関係を示すグラフである。

40

【図 11】第 1 変形例に係るミラー装置の平面図である。

【図 12】第 2 変形例に係るミラー装置の平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本開示の一実施形態について、図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、以下の説明において、同一又は相当要素には同一符号を用い、重複する説明を省略する。

【第 1 実施形態】

【0028】

図 1 に示されるように、第 1 実施形態のミラー装置 1 A は、支持部 2 と、第 1 可動部 3

50

と、第2可動部4と、一对の第1連結部5, 6と、一对の第2連結部7, 8と、磁界発生部9と、を備えている。支持部2、第1可動部3、第2可動部4、第1連結部5, 6及び第2連結部7, 8は、例えば、SOI (Silicon on Insulator) 基板等の半導体基板によって一体的に形成されている。つまり、ミラー装置1Aは、MEMSデバイスとして構成されている。

【0029】

ミラー装置1Aでは、互いに直交するX軸（第1軸線）及びY軸（第1軸線に垂直な第2軸線）の各々の周りに、ミラー面（光学面）10を有する第1可動部3が揺動させられる。ミラー装置1Aは、例えば、光通信用光スイッチ、光スキャナ等に用いられ得る。磁界発生部9は、例えば、ハルバッハ配列がとられた永久磁石等によって構成されている。

10

【0030】

支持部2は、例えば、平面視において四角形状の外形を有し、枠状に形成されている。支持部2は、磁界発生部9に対してX軸及びY軸に垂直な方向における一方側に配置されている。第1可動部3は、磁界発生部9から離間した状態で、支持部2の内側に配置されている。なお、「平面視」とは、X軸及びY軸に垂直な方向から見た場合を意味し、換言すれば、支持部2、第1可動部3及び第2可動部4等が配置される平面に垂直な方向から見た場合を意味する。

【0031】

第1可動部3は、本体部3aと、本体部3aを囲む枠部3bと、を有している。本体部3aは、例えば、平面視において楕円形状に形成されている。本体部3aにおける磁界発生部9とは反対側の表面には、例えば、円形状のミラー面10が設けられている。ミラー面10は、例えば、アルミニウム、アルミニウム系合金、銀、銀系合金、金、誘電体多層膜等からなる反射膜によって構成されている。枠部3bは、例えば、平面視において四角形状の外形を有し、枠状に形成されている。本体部3aは、Y軸上における両側において枠部3bに接続されている。

20

【0032】

第2可動部4は、例えば、平面視において八角形状の外形を有し、枠状に形成されている。第2可動部4は、磁界発生部9から離間した状態で、第1可動部3を囲むように支持部2の内側に配置されている。

【0033】

第1連結部5, 6は、X軸上における第1可動部3の両側に配置されている。各第1連結部5, 6は、第1可動部3がX軸周りに（X軸を中心線として）揺動可能となるように、X軸上において第1可動部3と第2可動部4とを互いに連結している。各第1連結部5, 6は、第1可動部3がX軸周りに揺動する際に、X軸周りに捩れ変形する。各第1連結部5, 6は、例えば、X軸に沿って直線状に延在している。各第1連結部5, 6は、例えば、X軸及びY軸に垂直な平面に沿って延在する板状に形成されている。

30

【0034】

第1連結部5は、X軸に沿って延在すると共に一定の幅を有する直線状部5aと、直線状部5aの両端に接続された一对の拡幅部5bと、を有している。平面視において、一方の拡幅部5bの幅は、第1可動部3に近づくほど広がっており、他方の拡幅部5bの幅は、第2可動部4に近づくほど広がっている。各拡幅部5bの一对の縁は、互いに向けて凸となるように湾曲している。

40

【0035】

第1連結部6は、X軸に沿って延在すると共に一定の幅を有する直線状部6aと、直線状部6aの両端に接続された一对の拡幅部6bと、を有している。平面視において、一方の拡幅部6bの幅は、第1可動部3に近づくほど広がっており、他方の拡幅部6bの幅は、第2可動部4に近づくほど広がっている。各拡幅部6bの一对の縁は、互いに向けて凸となるように湾曲している。

【0036】

第2連結部7, 8は、Y軸上における第2可動部4の両側に配置されている。各第2連

50

結部 7, 8 は、第 2 可動部 4 が Y 軸周りに (Y 軸を中心線として) 揺動可能となるように、Y 軸上において第 2 可動部 4 と支持部 2 とを互いに連結している。各第 2 連結部 7, 8 は、第 2 可動部 4 が Y 軸周りに揺動する際に、Y 軸周りに捩れ変形する。各第 2 連結部 7, 8 は、平面視において蛇行して延在している。各第 2 連結部 7, 8 は、複数の直線状部 11a と、複数の折り返し部 11b と、を有している。複数の直線状部 11a は、それぞれ Y 軸方向に沿って延在し、X 軸方向に並んで配置されている。複数の折り返し部 11b は、隣り合う直線状部 11a の両端を交互に連結している。

【0037】

X 軸周りの各第 2 連結部 7, 8 の振りばね定数は、X 軸周りの各第 1 連結部 5, 6 の振りばね定数よりも小さい。X 軸周りの各第 1 連結部 5, 6 の振りばね定数とは、X 軸周りの各第 1 連結部 5, 6 の捩れ角度に対する、各第 1 連結部 5, 6 に作用する X 軸周りの振りモーメントの比である。X 軸周りの各第 2 連結部 7, 8 の振りばね定数とは、X 軸周りの各第 2 連結部 7, 8 の捩れ角度に対する、各第 2 連結部 7, 8 に作用する X 軸周りの振りモーメントの比である。

【0038】

各第 2 連結部 7, 8 の全長は、各第 1 連結部 5, 6 の全長よりも長い。各第 1 連結部 5, 6 の全長とは、各第 1 連結部 5, 6 の延在方向 (この例では、X 軸に沿った方向) に沿っての全長である。第 2 連結部 7 の全長とは、第 2 連結部 7 の延在方向に沿っての全長であり、この例では、各直線状部 11a 及び各折り返し部 11b を含む各部分の長さを足し合わせた総長さである。この点は、第 2 連結部 8 の全長についても同様である。

【0039】

ミラー装置 1A は、コイル (駆動用コイル) 21, 22 と、複数の配線 12, 13, 14, 15 と、複数の電極パッド 31, 32, 33, 34 と、を更に備えている。コイル 21 は、例えば、第 1 可動部 3 の枠部 3b に埋め込まれており、平面視において渦巻き状に延在している。コイル 22 は、例えば、第 2 可動部 4 に埋め込まれており、平面視において渦巻き状に延在している。各コイル 21, 22 は、例えば銅等の金属材料によって構成されている。図 1 では、コイル 21, 22 の配置領域がハッチングで示されている。

【0040】

複数の電極パッド 31, 32, 33, 34 は、支持部 2 に設けられ、絶縁層 23 から外部に露出している。絶縁層 23 は、支持部 2、第 1 可動部 3、第 2 可動部 4、第 1 連結部 5, 6 及び第 2 連結部 7, 8 の表面 (磁界発生部 9 とは反対側の表面) を覆うように一体的に形成されている。絶縁層 23 は、例えば、二酸化シリコン、窒化シリコン等によって構成されている。

【0041】

配線 12 は、コイル 21 の一端と電極パッド 31 とを電氣的に接続している。配線 12 は、コイル 21 の一端から第 1 連結部 5、第 2 可動部 4 及び第 2 連結部 7 を介して電極パッド 31 に延在している。配線 13 は、コイル 21 の他端と電極パッド 32 とを電氣的に接続している。配線 13 は、コイル 21 の他端から第 1 連結部 6、第 2 可動部 4 及び第 2 連結部 8 を介して電極パッド 32 に延在している。配線 12, 13 のうち、第 1 連結部 5, 6 を通る部分 12a, 13a は、例えば、タングステン等の金属材料によって構成されている。配線 12, 13 の他の部分は、例えば、アルミニウム、アルミニウム系合金、銅等の金属材料によって構成されている。図 1 では、部分 12a, 13a がハッチングで示されている。

【0042】

配線 14 は、コイル 22 の一端と電極パッド 33 とを電氣的に接続している。配線 14 は、コイル 22 の一端から第 2 連結部 7 を介して電極パッド 33 に延在している。配線 15 は、コイル 22 の他端と電極パッド 34 とを電氣的に接続している。配線 15 は、コイル 22 の他端から第 2 連結部 8 を介して電極パッド 34 に延在している。

【0043】

以上のように構成されたミラー装置 1A では、電極パッド 33, 34 及び配線 14, 1

10

20

30

40

50

5を介してコイル22にリニア動作用の駆動信号が入力されると、磁界発生部9が発生する磁界との相互作用によってコイル22にローレンツ力が作用する。当該ローレンツ力と第2連結部7, 8の弾性力とのつり合いを利用することで、Y軸周りにミラー面10（第1可動部3）を第2可動部4と共にリニア動作させることができる。

【0044】

一方、電極パッド31, 32及び配線12, 13を介してコイル21に共振動作用の駆動信号が入力されると、磁界発生部9が発生する磁界との相互作用によってコイル21にローレンツ力が作用する。当該ローレンツ力に加え、共振周波数での第1可動部3の共振を利用することで、X軸周りにミラー面10（第1可動部3）を共振動作させることができる。すなわち、ミラー装置1Aでは、コイル21と磁界発生部9とによって、第1可動部3に直接的に駆動力（ローレンツ力）を作用させる駆動部が構成されており、コイル22と磁界発生部9とによって、第2可動部4に直接的に駆動力（ローレンツ力）を作用させる駆動部が構成されている。

【第2実施形態】

【0045】

第1実施形態のミラー装置1Aでは、X軸及びY軸の各々の周りに第1可動部3が揺動させられたが、図2に示される第2実施形態のミラー装置1Bでは、X軸周りのみに第1可動部3が揺動させられる。ミラー装置1Bでは、第1可動部3の本体部3aは、平面視において円形状に形成されている。本体部3aは、X軸上における両側及びY軸上における両側において、枠部3bに接続されている。第2可動部4は、平面視において四角形状の外形を有している。

【0046】

第2連結部7, 8は、X軸上における第2可動部4の両側に配置されている。第2連結部7, 8は、第2可動部4を振動させることによってX軸周りに第1可動部3が揺動可能となるように、X軸上において第2可動部4と支持部2とを互いに連結している。各第2連結部7, 8は、第2可動部4が振動する際に、X軸周りに捩れ変形する。

【0047】

ミラー装置1Bは、コイル21、配線12, 13及び電極パッド31, 32を備えておらず、コイル22と、コイル（起電力モニタ用コイル、センシング用コイル）24と、複数の配線14, 15, 16, 17と、複数の電極パッド33, 34, 35, 36と、を備えている。コイル24は、例えば、第1可動部3の枠部3bに埋め込まれており、平面視において渦巻き状に延在している。コイル24は、例えば銅等の金属材料によって構成されている。

【0048】

配線16は、コイル24の一端と電極パッド35とを電氣的に接続している。配線17は、コイル24の一端から第1連結部5、第2可動部4及び第2連結部7を介して電極パッド35に延在している。配線17は、コイル24の他端と電極パッド36とを電氣的に接続している。配線17は、コイル24の他端から第1連結部6、第2可動部4及び第2連結部8を介して電極パッド36に延在している。

【0049】

ミラー装置1Bでは、電極パッド33, 34及び配線14, 15を介してコイル22に共振動作用の駆動信号が入力されると、磁界発生部9が発生する磁界との相互作用によってコイル22にローレンツ力が作用する。当該ローレンツ力に加え、共振周波数での第1可動部3の共振を利用することで、X軸周りにミラー面10（第1可動部3）を共振動作させることができる。具体的には、X軸周りの第1可動部3の共振周波数に等しい周波数の駆動信号がコイル22に入力されると、第2可動部4がX軸周りに当該周波数で僅かに振動する。この振動が第1連結部5, 6を介して第1可動部3に伝わることにより、第1可動部3をX軸周りに当該周波数で揺動させることができる。

【0050】

また、ミラー装置1Bでは、第1可動部3の動作中に、磁界発生部9が発生する磁界と

の相互作用によってコイル 2 4 に起電力が発生する。そのため、配線 1 6 , 1 7 を介して電極パッド 3 5 , 3 6 から出力される信号をモニタすることで、第 1 可動部 3 の振れ角、すなわち、ミラー面 1 0 の振れ角を把握することができる。このように、コイル 2 4 は、起電力モニタ用コイルとして機能する。

【 0 0 5 1 】

続いて、図 2 及び図 3 を参照しつつ、ミラー装置 1 B の各部の構成について更に説明する。以下では、第 1 連結部 5 及び第 2 連結部 7 の周辺の構造を説明するが、第 1 連結部 6 及び第 2 連結部 8 についても同様に構成されている。

【 0 0 5 2 】

第 2 連結部 7 は、第 1 部材 7 a と、一対の第 2 部材 7 b と、を有している。第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b は、それぞれ、X 軸に沿って延在し、第 2 可動部 4 と支持部 2 とを互いに連結している。第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b は、例えば、Y 軸に平行な方向に沿って並んで配置されている。第 1 部材 7 a は、X 軸上に配置されており、一対の第 2 部材 7 b は、互いの間に第 1 部材 7 a を挟むように配置されている。第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b は、例えば、互いに近接するように、等間隔に並んで配置されている。第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b は、例えば、互いに同一の形状に形成されている。各第 2 部材 7 b は、X 軸周りの第 2 可動部 4 の振動を抑制する振動抑制部として機能する。

10

【 0 0 5 3 】

支持部 2 には、X 軸上に位置する凹部 2 a が設けられており、第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b は、凹部 2 a において支持部 2 に接続されている。これにより、第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b の長さを確保しつつ、ミラー装置 1 B の小型化を図ることができる。

20

【 0 0 5 4 】

X 軸周りの第 2 連結部 7 の振りばね定数は、X 軸周りの第 1 連結部 5 の振りばね定数よりも小さい。X 軸周りの第 2 連結部 7 の振りばね定数とは、第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b によって構成される第 2 連結部 7 の全体についての X 軸周りの振りばね定数である。第 2 連結部 7 の全長は、第 1 連結部 5 の全長よりも短い。例えば、第 2 連結部 7 の全長は、第 1 連結部 5 の全長の $1/2$ よりも短い。第 2 連結部 7 の全長とは、この例では、第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b の各々の長さを足し合わせた総長さである。この例では、第 1 部材 7 a 及び一対の第 2 部材 7 b の長さは、互いに等しい。

30

【 0 0 5 5 】

配線 1 6 のうち第 1 連結部 5 上に位置する部分は、半導体材料に不純物が拡散された拡散領域 4 1 によって構成されている。拡散領域 4 1 は、例えば、p 型のシリコン基板の表面に n 型の不純物を拡散することによって形成されている。配線 1 6 は、拡散領域 4 1 の一方の端部 4 1 a とコイル 2 4 とを電氣的に接続する内側部分 1 6 a と、拡散領域 4 1 の他方の端部 4 1 b とコイル 2 4 とを電氣的に接続する外側部分 1 6 b と、を更に有している。

【 0 0 5 6 】

拡散領域 4 1 は、第 1 連結部 5 から第 1 可動部 3 に延在しており、第 1 可動部 3 上において内側部分 1 6 a に接続されている。また、拡散領域 4 1 は、第 1 連結部 5 から第 2 可動部 4 に延在しており、第 2 可動部 4 上において外側部分 1 6 b に接続されている。外側部分 1 6 b は、第 2 連結部 7 の第 1 部材 7 a を通るように延在して、電極パッド 3 5 に接続されている。コイル 2 2 から延在する配線 1 4 についても同様に、第 2 連結部 7 の第 1 部材 7 a を通るように延在して、電極パッド 3 3 に接続されている。

40

【 0 0 5 7 】

端部 4 1 a の幅は、コイル 2 4 に近づくほど広がっており、端部 4 1 b の幅は、コイル 2 2 に近づくほど広がっている。端部 4 1 a , 4 1 b は、それぞれ、第 1 連結部 5 の一対の拡幅部 5 b に沿った外形状を有している。端部 4 1 a の幅 W 1 及び端部 4 1 b の幅 W 2 の各々は、第 1 連結部 5 の幅 W 3 よりも広い。すなわち、幅 W 1 , W 2 の各々は、第 1 連

50

結部 5 上の拡散領域 4 1 の幅よりも広い。拡散領域 4 1 の各部の幅とは、平面視における最大幅であり、拡散領域 4 1 の延在方向に垂直な方向（この例では、Y 軸に平行な方向）における幅である。第 1 連結部 5 の幅とは、平面視における最小幅であり、例えば、第 1 連結部 5 の延在方向に垂直な方向（この例では、Y 軸に平行な方向）における直線状部 5 a の幅である。なお、第 1 連結部 5 は、第 1 可動部 3 が X 軸周りに揺動する際に X 軸周りに振り変形する部分であり、ミラー装置 1 B では、第 1 連結部 5 は一对の拡幅部 5 b を含む。

【0058】

図 4 に示されるように、第 1 可動部 3 には、コイル 2 4 に対応する形状を有する溝 4 2 a が設けられており、第 2 可動部 4 には、コイル 2 2 に対応する形状を有する溝 4 2 b が設けられている。溝 4 2 a、4 2 b の内面上には絶縁層 4 3、4 4 が設けられ、絶縁層 4 4 上には絶縁層 4 5、4 6 が設けられている。コイル 2 4 は、絶縁層 4 3、4 4 を介して溝 4 2 内に配置されている。

【0059】

各絶縁層 4 3～4 6 は、例えば、二酸化シリコン、窒化シリコン等によって構成されている。配線 1 6 の内側部分 1 6 a 及び外側部分 1 6 b は、絶縁層 4 5 上に配置されている。内側部分 1 6 a 及び外側部分 1 6 b は、絶縁層 4 3～4 5 を貫通する開口 4 7 に入り込むように形成され、開口 4 7 において拡散領域 4 1 に接続されている。

【0060】

内側部分 1 6 a 及び外側部分 1 6 b は、それぞれ、第 1 層 4 8 と、第 1 層 4 8 上に配置された第 2 層 4 9 と、を有している。第 1 層 4 8 は、拡散領域 4 1 に接触するコンタクト層として機能すると共に、第 2 層 4 9 に含まれる金属元素のシリコン基板への拡散を防止するバリア層としても機能する。第 1 層 4 8 は、例えば、タングステン、窒化チタン、モリブデン、タンタル、窒化タンタル等の金属材料によって構成されている。第 2 層 4 9 は、例えば、アルミニウム合金、銅等の金属材料によって構成されている。

【0061】

拡散領域 4 1 と内側部分 1 6 a との接触部分の幅 W 4、及び拡散領域 4 1 と外側部分 1 6 b との接触部分の幅 W 5 の各々は、第 1 連結部 5 の幅 W 3 よりも広い。これらの接触部分の幅とは、平面視における第 1 連結部 5 の延在方向に垂直な方向（この例では、Y 軸に平行な方向）における幅である。

【ミラー装置の製造方法】

【0062】

続いて、上述したようなミラー装置 1 A、1 B の製造方法（設計方法）について説明する。図 5（a）は、駆動信号の角振動数（角周波数）と、第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 の X 軸周りの振れ角との関係の例を示す図であり、図 5（b）は、当該関係の他の例を示す図である。図 5（a）及び図 5（b）では、第 1 可動部 3 の振れ角が実線で示されており、第 2 可動部 4 の振れ角が破線で示されている。

【0063】

図 5（a）及び図 5（b）に示されるように、ミラー装置 1 A、1 B において支持部 2、第 1 可動部 3、第 2 可動部 4、第 1 連結部 5、6 及び第 2 連結部 7、8 によって構成される 2 自由度振動系は、X 軸周りの振動について、2 つの共振点 A、B を有する。ただし、この 2 自由度振動系では、X 軸周りの振動のみが考慮されており、Y 軸周りの振動については考慮されていない。共振点 A における固有角振動数 ω_1 、及び共振点 B における固有角振動数 ω_2 （ただし $\omega_1 < \omega_2$ ）は、X 軸周りの第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 の振動についての固有角振動数である。共振点 A は、比較的小さな周波数でミラー面 1 0 を動作させる場合に使用され得る。共振点 B は、比較的大きな周波数でミラー面 1 0 を動作させる場合に使用され得る。

【0064】

図 5（a）の共振点 A でミラー面 1 0 を動作させる場合の第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 の振れ角の関係は、図 6（a）のように示すことができ、図 5（a）の共振点 B でミラ

10

20

30

40

50

一面 10 を動作させる場合の第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 の振れ角の関係は、図 6 (b) のように示すことができる。

【0065】

図 6 (a) に示されるように、図 5 (a) の共振点 A でミラー面 10 を動作させると、第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 が同程度回転し、第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 の振れ角の差が小さくなる。すなわち、第 1 連結部 5, 6 が殆ど振れ変形しない。図 6 (b) に示されるように、図 5 (a) の共振点 B でミラー面 10 を動作させると、第 2 可動部 4 が殆ど回転しない一方で第 1 可動部 3 が回転し、第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 の振れ角の差が大きくなる。すなわち、第 1 連結部 5, 6 が効率良く振れ変形する。

【0066】

図 5 (a) の例とは逆に、図 5 (b) の例では、共振点 A でミラー面 10 を動作させた場合に、第 2 可動部 4 が殆ど回転しない一方で第 1 可動部 3 が回転し、共振点 B でミラー面 10 を動作させた場合に、第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 が同程度回転する。高効率化の観点からは、共振点 A, B のいずれでミラー面 10 を動作させる場合にも、第 1 可動部 3 の振れ角が大きい一方で第 2 可動部 4 の振れ角が小さいことが好ましい。すなわち、第 2 可動部 4 の振れ角に対する第 1 可動部 3 の振れ角の比（以下、「振幅比」という）を大きく確保することが好ましい。以下では、振幅比を大きく確保するためのミラー装置 1 A, 1 B の製造方法を説明する。

【外側駆動の場合】

【0067】

まず、ミラー装置 1 B のように、第 2 可動部 4 に駆動力を作用させることによって第 1 可動部 3 を共振動作させる場合（外側駆動の場合）について説明する。図 7 (a) は、例示的なミラー装置 1 C の模式平面図であり、図 7 (b) は、ミラー装置 1 C の振動モデルを示す図である。図 7 (b) に示される振動モデルにより、X 軸周りの第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 の振動をモデル化することができる。X 軸周りの第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 の振動についての運動方程式は、以下の式 (9) 及び式 (10) で表される。

【数 9】

$$j_i \frac{d^2 \theta_i}{dt^2} + c_i \frac{d\theta_i}{dt} + k_i (\theta_i - \theta_o) = T_i \cos(\omega t) = 0 \quad \cdots (9)$$

【数 10】

$$j_o \frac{d^2 \theta_o}{dt^2} + c_o \frac{d\theta_o}{dt} + (k_i - k_o) \theta_o - k_i \theta_i = T_o \cos(\omega t) \quad \cdots (10)$$

上記式において、 θ_i は第 1 可動部 3 の振れ角（各第 1 連結部 5, 6 の振れ角）（rad）であり、 j_i は第 1 可動部 3 の慣性モーメント（kgm²）であり、 k_i は第 1 連結部 5, 6 の振りばね定数（Nm/rad）であり、 c_i は第 1 可動部 3 の粘性減衰係数（Ns/m）であり、 T_i は第 1 可動部 3 に作用するトルク（Nm）であり、 θ_o は第 2 可動部 4 の振れ角（各第 2 連結部 7, 8 の振れ角）（rad）であり、 j_o は第 2 可動部 4 の慣性モーメント（kgm²）であり、 k_o は各第 2 連結部 7, 8 の振りばね定数（Nm/rad）であり、 c_o は第 2 可動部 4 の粘性減衰係数（Ns/m）であり、 T_o は第 2 可動部 4 に作用するトルク（Nm）であり、 ω は駆動信号の角振動数（rad/s）であり、 t は時間（s）である。これらの各値は、X 軸周りの振動についての値である。粘性減衰係数 c_i , c_o は、以下の式 (11), (12) で表される。ただし、 ζ_i は第 1 可動部 3 の減衰比であり、 ζ_o は第 2 可動部 4 の減衰比である。

【数 11】

$$c_i = 2\zeta_i \sqrt{j_i k_i} \quad \cdots (11)$$

【数 12】

10

20

30

40

50

$$c_o = 2\zeta_o\sqrt{j_o k_o} \quad \cdots (12)$$

外側駆動の場合、第1可動部3には駆動力が作用しないため（すなわち $T_i = 0$ のため）、式（9）の右辺はゼロとなる。

【0068】

式（9）及び式（10）より、第1可動部3の振れ角 θ_i 、及び第2可動部4の振れ角 θ_o が、以下の式（13）、（14）で表されるとおりに得られる。

【数13】

$$\theta_i = \frac{T_o}{j_o \omega_{oo}^2} \sqrt{\frac{B^2 + C^2}{(\beta_{io}^2 B - \beta_{io}^2 - 1 + \beta_{oo}^2)^2 + (\beta_{io}^2 C + 2\beta_{oo}\zeta_o)^2}} \quad \cdots (13) \quad 10$$

【数14】

$$\theta_o = \frac{T_o}{j_o \omega_{oo}^2} \sqrt{\frac{1}{(\beta_{io}^2 B - \beta_{io}^2 - 1 + \beta_{oo}^2)^2 + (\beta_{io}^2 C + 2\beta_{oo}\zeta_o)^2}} \quad \cdots (14)$$

ただし、

【数15】

$$B = \frac{1 - \beta_{ii}^2}{(1 - \beta_{ii}^2)^2 + 4\beta_{ii}^2 \zeta_i^2} \quad \cdots (15) \quad 20$$

【数16】

$$C = \frac{4\beta_{ii}^2 \zeta_i^2}{(1 - \beta_{ii}^2)^2 + 4\beta_{ii}^2 \zeta_i^2} \quad \cdots (16)$$

【数17】

$$\beta_{ii} = \frac{\omega}{\omega_{ii}} = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{k_i}{j_i}}} \quad \cdots (17) \quad 30$$

【数18】

$$\beta_{oo} = \frac{\omega}{\omega_{oo}} = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{k_o}{j_o}}} \quad \cdots (18)$$

【数19】

$$\beta_{io} = \frac{\omega_{io}}{\omega_{oo}} = \frac{\sqrt{\frac{k_i}{j_o}}}{\sqrt{\frac{k_o}{j_o}}} = \sqrt{\frac{k_i}{k_o}} \quad \cdots (19) \quad 40$$

【0069】

このとき、振幅比 θ_i / θ_o は、以下の式（20）で表される。なお、 ζ_o は、例えば0.01以下であり、1よりも極めて小さい。

【数20】

$$\frac{\theta_i}{\theta_o} = \sqrt{\frac{1}{(1 - \beta_{ii}^2)^2 + 4\beta_{ii}^2 \zeta_i^2}} \doteq \sqrt{\frac{1}{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{ii}}\right)^2\right\}^2}} \quad (\because \zeta_i \ll 1) \quad \cdots (20)$$

【 0 0 7 0 】

したがって、振幅比を 5 以上とするための条件は、以下の式 (2 1) で表される。

【数 2 1】

$$\frac{\theta_i}{\theta_o} \doteq \sqrt{\frac{1}{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{ii}}\right)^2\right\}^2}} \geq 5 \quad \cdots (21)$$

10

【 0 0 7 1 】

共振点 A における固有角振動数 ω_1 でミラー面 1 0 を動作させる場合 (すなわち、 $\omega = \omega_1$ の場合)、 $1 - (\omega_1 / \omega_{ii})^2$ はゼロよりも大きいため、振幅比を 5 以上とするための条件は、以下の式 (2 2) で表される。

【数 2 2】

$$0 < 1 - \left(\frac{\omega_1}{\omega_{ii}}\right)^2 \leq 0.2 \quad \cdots (22)$$

20

【 0 0 7 2 】

共振点 B における固有角振動数 ω_2 でミラー面 1 0 を動作させる場合 (すなわち、 $\omega = \omega_2$ の場合)、 $1 - (\omega_2 / \omega_{ii})^2$ はゼロよりも小さいため、振幅比を 5 以上とするための条件は、以下の式 (2 3) で表される。

【数 2 3】

$$0 < \left(\frac{\omega_2}{\omega_{ii}}\right)^2 - 1 \leq 0.2 \quad \cdots (23)$$

【 0 0 7 3 】

すなわち、固有角振動数 ω_1 でミラー面 1 0 を動作させる場合には、式 (2 2) が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を 5 以上とすることができ、固有角振動数 ω_2 でミラー面 1 0 を動作させる場合には、式 (2 3) が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を 5 以上とすることができる。

30

【 0 0 7 4 】

図 8 (a) 及び図 8 (b) は、外側駆動の場合において固有角振動数 ω_1 でミラー面 1 0 を動作させる場合の数値間の関係を示すグラフである。図 8 (a) では、 $1 - (\omega_1 / \omega_{ii})^2$ と振幅比 θ_i / θ_o との関係が示されており、図 8 (b) では、各第 2 連結部 7 , 8 の振りばね定数 k_o と振幅比 θ_i / θ_o との関係が示されている。図 8 (a) に示されるように、式 (2 2) が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を 5 以上とすることができる。図 8 (b) に示されるように、振りばね定数 k_o が増加するほど、振幅比が増加する。したがって、振りばね定数 k_o を大きくすることで、振幅比を大きく確保することができる。

40

【 0 0 7 5 】

図 9 (a) 及び図 9 (b) は、外側駆動の場合において固有角振動数 ω_2 でミラー面 1 0 を動作させる場合の数値間の関係を示すグラフである。図 9 (a) では、 $(\omega_2 / \omega_{ii})^2 - 1$ と振幅比 θ_i / θ_o との関係が示されており、図 9 (b) では、第 2 連結部 7 , 8 の振りばね定数 k_o と振幅比 θ_i / θ_o との関係が示されている。図 9 (a) に示されるように、式 (2 3) が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を 5 以上とすることができる。図 9 (b) に示されるように、振りばね定数 k_o が増加するほ

50

ど、振幅比が減少する。したがって、振りばね定数 k_o を小さくすることで、振幅比を大きく確保することができる。

【0076】

ここで、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 の値同士が近く、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差が小さいと、式(22)及び式(23)の双方が満たされる。しかし、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差が小さい場合、例えば、固有角振動数 ω_1 でミラー面10を動作させる際に固有角振動数 ω_2 についての共振応答が生じてしまい、ミラー面10の動作が不安定になるおそれがある。そこで、本実施形態のミラー装置の製造方法では、外側駆動の場合、式(22)及び式(23)の一方のみが満たされ、他方は満たされないように、ミラー装置を設計及び製造する。これにより、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。この点は、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 のいずれでミラー面10を動作させる場合にも共通する。

10

【0077】

例えば、上記第2実施形態に係るミラー装置1Bでは、式(22)のみが満たされており、式(23)は満たされていない。したがって、固有角振動数 ω_1 でミラー面10を動作させることにより、振幅比を5以上とすることができる。また、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。

〔内側駆動の場合〕

【0078】

次に、ミラー装置1Aのように、第1可動部3に駆動力を作用させることによって第1可動部3を共振動作させる場合（内側駆動の場合）について説明する。この場合、X軸周りの第1可動部3及び第2可動部4の振動についての運動方程式は、以下の式(24)及び式(25)によって表される。

20

【数24】

$$j_i \frac{d^2 \theta_i}{dt^2} + c_i \frac{d \theta_i}{dt} + k_i (\theta_i - \theta_o) = T_i \cos(\omega t) \quad \cdots (24)$$

【数25】

$$j_o \frac{d^2 \theta_o}{dt^2} + c_o \frac{d \theta_o}{dt} + (k_i - k_o) \theta_o - k_i \theta_i = T_o \cos(\omega t) = 0 \quad \cdots (25)$$

30

内側駆動の場合、第2可動部4には第1可動部3を駆動するための駆動力が作用しないため（すなわち $T_o = 0$ のため）、式(25)の右辺はゼロとなる。

【0079】

式(24)及び式(25)より、第1可動部3の振れ角 θ_i 、及び第2可動部4の振れ角 θ_o が、以下の式(26)、(27)で表されるとおりに得られる。

【数26】

$$\theta_i = \frac{T_i}{j_i \omega_{ii}^2} \sqrt{\frac{1}{(-\beta_{ii}^2 + 1 + B)^2 + (2\beta_{ii}\zeta_i + C)^2}} \quad \cdots (26)$$

40

【数27】

$$\theta_o = \frac{T_i}{j_i \omega_{ii}^2} \sqrt{\frac{B^2 + C^2}{(-\beta_{ii}^2 + 1 + B)^2 + (2\beta_{ii}\zeta_i + C)^2}} \quad \cdots (27)$$

ただし、

【数28】

50

$$B = \frac{\beta_{io}^2(1 - \beta_{oo}^2 + \beta_{io}^2)}{(1 - \beta_{oo}^2 + \beta_{io}^2)^2 + 4\beta_{oo}^2\zeta_o^2} \quad \cdots (28)$$

【数 2 9】

$$C = \frac{2\beta_{oo}\beta_{io}^2}{(1 - \beta_{oo}^2 + \beta_{io}^2)^2 + 4\beta_{oo}^2\zeta_o^2} \quad \cdots (29)$$

【0080】

10

このとき、振幅比 θ_i / θ_o は、以下の式 (30) で表される。

【数 30】

$$\frac{\theta_i}{\theta_o} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\beta_{io}^4}{(1 - \beta_{oo}^2 + \beta_{io}^2)^2 + 4\beta_{oo}^2\zeta_o^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\beta_{io}^4}{(1 - \beta_{oo}^2 + \beta_{io}^2)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\left(\frac{\omega_{io}}{\omega_{oo}}\right)^4}{\left\{1 - \left(\frac{\omega_{io}}{\omega_{oo}}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_{oo}}\right)^2\right\}^2}}} \quad (\because \zeta_o \ll 1) \quad \cdots (30)$$

【0081】

20

したがって、振幅比を 5 以上とするための条件は、以下の式 (31) で表される。

【数 31】

$$\frac{\theta_i}{\theta_o} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\left(\frac{\omega_{io}}{\omega_{oo}}\right)^4}{\left\{1 - \left(\frac{\omega_{io}}{\omega_{oo}}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_{oo}}\right)^2\right\}^2}}} \geq 5 \quad \cdots (31)$$

【0082】

30

共振点 A における固有角振動数 ω_1 でミラー面 10 を動作させる場合（すなわち、 $\omega = \omega_1$ の場合）、 $1 - (\omega_{io} / \omega_{oo})^2 + (\omega_1 / \omega_{oo})^2$ はゼロよりも大きいため、振幅比を 5 以上とするための条件は、以下の式 (32) となる。

【数 32】

$$0 < \frac{4\omega_{io}^2}{\omega_{oo}^2 - \omega_1^2} \leq 1 \quad \cdots (32)$$

【0083】

40

一方、共振点 B における固有角振動数 ω_2 でミラー面 10 を動作させる場合（すなわち、 $\omega = \omega_2$ の場合）、 $1 - (\omega_{io} / \omega_{oo})^2 + (\omega_2 / \omega_{oo})^2$ はゼロよりも小さいため、振幅比を 5 以上とするための条件は、以下の式 (33) となる。

【数 33】

$$\frac{\omega_{oo}^2 - \omega_2^2}{\omega_{io}^2} \leq -6 \quad \cdots (33)$$

【0084】

50

すなわち、固有角振動数 ω_1 でミラー面 10 を動作させる場合には、式 (32) が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を 5 以上とすることができ、固有角振動数 ω_2 でミラー面 10 を動作させる場合には、式 (33) が満たされるように

ミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を5以上とすることができる。式(32)及び式(33)の一方のみが満たされ、他方は満たされないようにミラー装置を設計及び製造することで、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる点は、外側駆動の場合と同様である。

【0085】

図10(a)及び図10(b)は、内側駆動の場合の数値間の関係を示すグラフである。図10(a)では、固有角振動数 ω_1 でミラー面10を動作させる場合の $4\omega_{i0}^2 / (\omega_{o0}^2 - \omega_1^2)$ と振幅比 θ_i / θ_o との関係が示されており、図10(b)では、固有角振動数 ω_2 でミラー面10を動作させる場合の $(\omega_{o0}^2 - \omega_2^2) / \omega_{i0}^2$ と振幅比 θ_i / θ_o との関係が示されている。

10

【0086】

図10(a)に示されるように、式(32)が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を5以上とすることができる。また、内側駆動の場合において固有角振動数 ω_1 でミラー面10を動作させる場合、外側駆動の場合と同様に(図8(b))、振りばね定数 k_o が増加するほど、振幅比が増加する。したがって、振りばね定数 k_o を大きくすることで、振幅比を大きく確保することができる。

【0087】

図10(b)に示されるように、式(33)が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を5以上とすることができる。また、内側駆動の場合において固有角振動数 ω_2 でミラー面10を動作させる場合、外側駆動の場合と同様に(図9(b))、振りばね定数 k_o が増加するほど、振幅比が減少する。したがって、振りばね定数 k_o を小さくすることで、振幅比を大きく確保することができる。

20

【0088】

例えば、上記第1実施形態に係るミラー装置1Aでは、式(33)のみが満たされており、式(32)は満たされていない。したがって、固有角振動数 ω_2 でミラー面10を動作させることにより、振幅比を5以上とすることができる。また、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。

【作用及び効果】

【0089】

以上説明したように、ミラー装置1Aでは、2つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 が式(33)(第1式)のみを満たしており、式(32)(第2式)を満たしていないため、固有角振動数 ω_2 で第1可動部3及び第2可動部4を揺動させることにより、振幅比を5以上とすることができる。したがって、振幅比を大きく確保することができ、動作を高効率化することができる。更に、式(33)のみが満たされており、式(32)は満たされていないことにより、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。よって、ミラー装置1Aによれば、高効率かつ安定的な動作を実現することができる。

30

【0090】

ミラー装置1Bでは、2つの固有角振動数 ω_1 、 ω_2 が式(22)(第1式)のみを満たしており、式(23)(第2式)を満たしていないため、固有角振動数 ω_1 で第1可動部3及び第2可動部4を揺動させることにより、振幅比を5以上とすることができる。したがって、振幅比を大きく確保することができ、動作を高効率化することができる。更に、式(22)のみが満たされており、式(23)は満たされていないことにより、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。よって、ミラー装置1Bによれば、高効率かつ安定的な動作を実現することができる。

40

【0091】

ミラー装置1Aでは、各第2連結部7、8が、Y軸周りに第2可動部4が揺動可能となるように、第2可動部4と支持部2とを互いに連結している。そのため、第2可動部4を

50

第1可動部3と共にY軸周りに揺動させることができる。

【0092】

ミラー装置1Bでは、X軸周りの各第2連結部7、8の振りばね定数が、X軸周りの各第1連結部5、6の振りばね定数よりも大きい。そのため、振幅比を一層大きく確保することができる。

【0093】

ミラー装置1Bでは、各第2連結部7、8の全長が、各第1連結部5、6の全長よりも短い。そのため、第2連結部7、8の振りばね定数を第1連結部5、6の振りばね定数よりも好適に大きくすることができる。更に、第2連結部7、8の断面積を大きくするのではなく、長さを短くすることによって第2連結部7、8の振りばね定数を大きくすることにより、ミラー装置1Bの小型化を図りつつ、振幅比を大きく確保することができる。

10

【0094】

ミラー装置1Bでは、第1部材7a及び一对の第2部材7b（複数の部材）が、Y軸に平行な方向に沿って並んで配置されている。そのため、第2連結部7、8の振りばね定数を第1連結部5、6の振りばね定数よりも一層好適に大きくすることができる。

【0095】

ミラー装置1Bでは、各第2連結部7、8が、X軸上に配置された第1部材7aと、互いの間に第1部材7aを挟むように配置された一对の第2部材7bと、を有している。そのため、第2連結部7、8の振りばね定数を第1連結部5、6の振りばね定数よりも一層好適に大きくすることができる。

20

【0096】

ミラー装置1Bでは、各配線14、16が、第1部材7aを通るように配置されている。第2部材7bと比べて第2可動部4の振動時に作用する応力が小さい第1部材7aを通るように配線14、16が配置されているため、第2連結部7における配線14、16の劣化を抑制することができる。

【0097】

ミラー装置1Aでは、X軸周りの各第2連結部7、8の振りばね定数が、X軸周りの各第1連結部5、6の振りばね定数よりも小さい。そのため、振幅比を一層大きく確保することができる。

【0098】

ミラー装置1Aでは、各第2連結部7、8の全長が、各第1連結部5、6の全長よりも長い。そのため、第2連結部7、8の振りばね定数を第1連結部5、6の振りばね定数よりも好適に小さくすることができる。

30

【0099】

ミラー装置1Aでは、各第2連結部7、8が蛇行して延在している。そのため、第2連結部7、8の振りばね定数を第1連結部5、6の振りばね定数よりも一層好適に小さくすることができる。更に、各第2連結部7、8が蛇行して延在することにより、例えば各第2連結部7、8が直線状に延在している場合と比べて、耐衝撃性を向上することができる。

【0100】

ミラー装置1A、1Bでは、支持部2、第1可動部3、第2可動部4、第1連結部5、6及び第2連結部7、8が、半導体基板によって構成されている。このように構成されたミラー装置1A、1Bにおいても、高効率かつ安定的な動作を実現することができる。

40

【0101】

ミラー装置1Bでは、配線16のうち各第1連結部5、6上に位置する部分が、半導体材料に不純物が拡散された拡散領域41によって構成されている。配線16のうち第1連結部5、6上に位置する部分には第1可動部3の揺動時に比較的大きな応力が作用するが、当該部分が拡散領域41によって構成されているため、第1連結部5、6における配線の劣化を抑制することができる。すなわち、当該部分が拡散領域41によって構成されている場合、例えば当該部分が金属によって構成されている場合と比べて、金属疲労、割れ

50

等を抑制することができ、信頼性を向上することができる。なお、配線 16 は起電力モニタ用のコイル 24 に接続されているため、例えば駆動用のコイルに接続される配線と比べて、配線 16 には比較的小さな電流が流れる。そのため、配線 16 については極端な低抵抗化の必要はない。

【0102】

ミラー装置 1B では、第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 における拡散領域 41 の幅（端部 41a の幅 $W1$ 及び端部 41b の幅 $W2$ ）が、第 1 連結部 5, 6 における拡散領域 41 の幅よりも広い。そのため、配線 16 を低抵抗化することができる。

【0103】

ミラー装置 1B では、配線 16 のうち、第 1 可動部 3 上に位置する内側部分 16a 及び第 2 可動部 4 上に位置する外側部分 16b が、金属材料によって構成されている。そして、拡散領域 41 と内側部分 16a との接触部分の幅 $W4$ 、及び拡散領域 41 と外側部分 16b との接触部分の幅 $W5$ の各々が、各第 1 連結部 5, 6 の幅 $W3$ よりも広い。そのため、配線 16 を一層低抵抗化することができる。また、製造時等に位置ずれが生じたとしても、拡散領域 41 と内側部分 16a 及び外側部分 16b の各々とを確実に電氣的に接続することができる。

【変形例】

【0104】

以上、本開示の実施形態について説明したが、本開示は、上記実施形態に限られない。第 1 実施形態のミラー装置 1A において、第 2 可動部 4 に駆動力を作用させることによって第 1 可動部 3 を共振動作させてもよい。すなわち、ミラー装置 1A の構造が外側駆動に用いられてもよい。この場合、第 1 可動部 3 にはコイル 21 が設けられず、第 2 可動部 4 には、コイル 22 に加えて、第 1 可動部 3 の共振動作用のコイルが設けられてもよい。ミラー装置 1B の場合と同様に、当該共振動作用のコイルと磁界発生部 9 が発生する磁界との相互作用によって発生するローレンツ力に加え、共振周波数での第 1 可動部 3 の共振を利用することで、X 軸周りにミラー面 10 を共振動作させることができる。なお、共振動作用のコイルが設けられず、コイル 22 が、第 2 可動部 4 のリニア動作及び第 1 可動部 3 の共振動作用のコイルとして用いられてもよい。このようなミラー装置は、上記式（23）のみが満たされ、式（22）は満たされないように設計及び製造される。これにより、固有角振動数 ω_2 でミラー面 10 を動作させることで、振幅比を 5 以上とすることができる。また、固有角振動数 ω_1 , ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。

【0105】

第 2 実施形態のミラー装置 1B において、第 1 可動部 3 に駆動力を作用させることによって第 1 可動部 3 を共振動作させてもよい。すなわち、ミラー装置 1B の構造が内側駆動に用いられてもよい。この場合、第 2 可動部 4 にはコイル 22 が設けられず、第 1 可動部 3 には、コイル 24 に代えて又は加えて、駆動用のコイルが設けられてもよい。ミラー装置 1A の場合と同様に、当該駆動用のコイルと磁界発生部 9 が発生する磁界との相互作用によって発生するローレンツ力に加え、共振周波数での第 1 可動部 3 の共振を利用することで、X 軸周りにミラー面 10 を共振動作させることができる。このようなミラー装置は、上記式（32）のみが満たされ、式（33）は満たされないように設計及び製造される。これにより、固有角振動数 ω_1 でミラー面 10 を動作させることで、振幅比を 5 以上とすることができる。また、固有角振動数 ω_1 , ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。

【0106】

ミラー装置 1A, 1B では、ミラー面 10 の駆動が電磁力によって行われていたが、ミラー面 10 の駆動は、圧電素子又は静電力によって行われてもよい。この場合、コイルに代えて、圧電膜又は静電 歯等の他の駆動素子が設けられる。ミラー装置 1A において、第 2 連結部 7, 8 は、X 軸に沿って延在し、X 軸上において第 2 可動部 4 と支持部 2 とを互いに連結していてもよい。この場合でも、X 軸及び Y 軸の各々の周りに第 1 可動部 3 を

揺動させることができる。ミラー装置 1 A において、第 2 連結部 7, 8 は、第 1 軸線と交差する第 2 軸線周りに第 2 可動部 4 が揺動可能となるように、第 2 可動部 4 と支持部 2 とを互いに連結していてもよい。すなわち、第 2 軸線は必ずしも第 1 軸線と直交していなくてもよい。ミラー装置 1 B において、第 2 部材 7 b は、X 軸に対して傾斜して延在していてもよい。第 2 部材 7 b は、Y 軸に平行な方向に沿って延在して第 2 可動部 4 と支持部 2 とを互いに連結していてもよい。上述した例では、振幅比の下限値が 5 に設定されていたが、下限値は 10 に設定されてもよい。ミラー装置 1 B において、コイル 2 4 は、温度検出用コイル（センシング用コイル）として用いられてもよい。

【0107】

ミラー装置 1 A では、第 1 可動部 3 に駆動力を作用させるための駆動部（コイル 2 1、駆動素子）が第 1 可動部 3 に設けられていたが、当該駆動部は、第 1 可動部 3 及び／又は第 1 連結部 5, 6 に設けられていればよく、例えば、各第 1 連結部 5, 6 に設けられていてもよい。ミラー装置 1 A, 1 B では、第 2 可動部 4 に駆動力を作用させるための駆動部（コイル 2 2、駆動素子）が第 2 可動部 4 に設けられていたが、当該駆動部は、第 2 可動部 4 及び／又は第 2 連結部 7, 8 に設けられていればよく、例えば、各第 2 連結部 7, 8 に設けられていてもよい。

【0108】

ミラー装置 1 A, 1 B において、第 1 可動部 3 及び／又は第 1 連結部 5, 6 に、第 1 可動部 3 に直接的に駆動力を作用させるための第 1 駆動素子（例えばコイル）が設けられると共に、第 2 可動部 4 及び／又は第 2 連結部 7, 8 に、第 2 可動部 4 に直接的に駆動力を作用させるための第 2 駆動素子（例えばコイル）が設けられてもよい。このような構成においては、第 1 駆動素子により第 1 可動部 3 に直接的に作用する駆動力、及び、第 2 駆動素子により第 2 可動部 4 を振動させることによって第 1 可動部 3 に間接的に作用する駆動力の双方を用いて（双方の協働により）、X 軸周りにミラー面 1 0（第 1 可動部 3）を共振動作させることができる。ミラー装置 1 A において当該構成が採用される場合、例えば、第 1 可動部 3 には、X 軸周りに第 1 可動部 3 を揺動させるためのコイルが設けられ、第 2 可動部 4 には、Y 軸周りに第 2 可動部 4 を揺動させるためのコイルと、第 2 可動部 4 を振動させることによって X 軸周りに第 1 可動部 3 を揺動させるためのコイルと、が設けられる。ミラー装置 1 B において当該構成が採用される場合、例えば、第 1 可動部 3 には、X 軸周りに第 1 可動部 3 を揺動させるためのコイルが設けられ、第 2 可動部 4 には、第 2 可動部 4 を振動させることによって X 軸周りに第 1 可動部 3 を揺動させるためのコイルが設けられる。なお、ミラー装置 1 B において当該構成が採用される場合、第 1 駆動素子により第 1 可動部 3 に直接的に作用する駆動力を用いて X 軸周りにミラー面 1 0（第 1 可動部 3）を共振動作させると共に、第 2 駆動素子により第 2 可動部 4 に直接的に作用する駆動力を用いて X 軸周りに第 2 可動部 4 を動作させることもできる（すなわち、内側駆動に適用することもできる）。

【0109】

各構成の材料及び形状には、上述した材料及び形状に限らず、様々な材料及び形状を採用することができる。第 1 可動部 3 及び第 2 可動部 4 は、平面視において略円形状、略楕円形状、略四角形状又は略菱形形状等の任意の外形を有していてもよい。枠部 3 b が設けられず、第 1 連結部 5, 6 が本体部 3 a に直接に接続されていてもよい。第 1 連結部 5 には、一对の拡幅部 5 b の少なくとも一方が設けられていなくてもよく、第 1 連結部 6 には、一对の拡幅部 6 b の少なくとも一方が設けられていなくてもよい。第 1 可動部 3 は、ミラー面 1 0 以外の光学面を有していてもよく、例えば回折格子面を有していてもよい。すなわち、本開示のアクチュエータ装置は、ミラー面 1 0 以外を駆動するための装置であってもよい。

【0110】

図 1 1 に示される第 1 変形例のミラー装置 1 D では、互いに直交する X 軸及び Y 軸の各々の周りに第 1 可動部 3 が揺動させられる。第 1 可動部 3 は、平面視において楕円形状に形成されている。第 1 連結部 5, 6 は X 軸に沿って直線状に延在している。第 2 連結部 7

10

20

30

40

50

、8はY軸に沿って直線状に延在している。第2可動部4は、第1可動部3を囲む杵状部4aと、杵状部4aに接続された中間部4bと、を有している。

【0111】

杵状部4aは、平面視において四角形状の外形を有している。中間部4bは、例えば、平面視において略四角形状の外形を有し、杵状に形成されている。中間部4bは、一对の第1部分4b1と、一对の第1部分4b1にそれぞれ接続された一对の第2部分4b2と、を有している。一对の第1部分4b1は、X軸に平行な方向に沿って延在し、Y軸方向において互いに向かい合っている。一对の第2部分4b2は、Y軸に平行な方向に沿って延在し、X軸方向において互いに向かい合っている。第1部分4b1の幅（Y軸方向における長さ）は、第2部分4b2の幅（X軸方向における長さ）よりも広い。中間部4bは、杵状部4aの内側に配置され、第1部分4b1において杵状部4aに接続されている。中間部4bは、第2部分4b2において第1連結部5、6に接続されている。

10

【0112】

ミラー装置1Dでは、第1可動部3に駆動力を作用させるための駆動部として、一对の圧電膜51が設けられている。一对の圧電膜51は、それぞれ、中間部4bの一对の第1部分4b1に配置されている。各圧電膜51は、例えば、平面視において、X軸に平行な方向に沿った長辺を有する長形状を呈している。

【0113】

ミラー装置1Dでは、電極パッド及び配線（図示省略）を介して圧電膜51に駆動信号が入力されると、圧電膜51が長手方向に撓み変形する。一对の圧電膜51の変形のタイミングを制御することで、中間部4b（第2可動部4）に駆動力を作用させることができる。例えば、一对の圧電膜51は、交互に撓み変形させられる。中間部4bの剛性は、杵状部4aの剛性よりも小さく、中間部4bは、杵状部4aよりも柔らかい。

20

【0114】

ミラー装置1Dにおける第1可動部3の駆動は、第2可動部4に駆動力を作用させることによって第1可動部3を共振動作させる外側駆動である。ミラー装置1Dにおいても、ミラー装置1Bと同様に、第1固有角振動数 ω_1 でミラー面10を動作させる場合には、式(22)が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を5以上とすることができ、固有角振動数 ω_2 でミラー面10を動作させる場合には、式(23)が満たされるようにミラー装置を設計及び製造することで、振幅比を5以上とすることができる。また、式(22)及び式(23)の一方のみが満たされ、他方は満たされないようにミラー装置を設計及び製造することで、固有角振動数 ω_1 、 ω_2 間の差を大きく確保することができ、不要な共振応答を抑制して動作を安定化することができる。ミラー装置1Dによっても、ミラー装置1Bと同様に、高効率かつ安定的な動作を実現することができる。

30

【0115】

図12に示される第2変形例のミラー装置1Eは、中間部4bの第2部分4b2に圧電膜51が配置されている点でミラー装置1Dと相違している。具体的には、一对の第2部分4b2の各々に、一对の圧電膜51がY軸に平行な方向に並んで配置されている。ミラー装置1Eにおいても、各圧電膜51の変形のタイミングを制御することで、中間部4b（第2可動部4）に駆動力を作用させることができる。ミラー装置1Eによっても、ミラー装置1Bと同様に、高効率かつ安定的な動作を実現することができる。

40

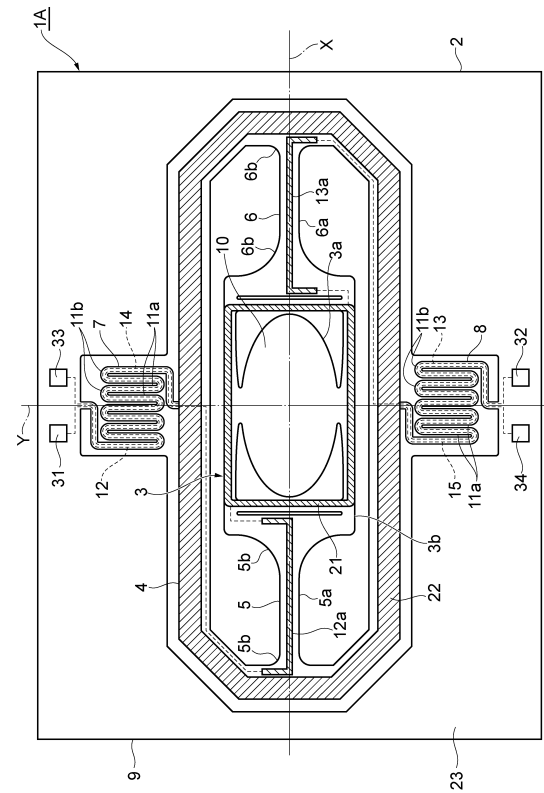
【符号の説明】

【0116】

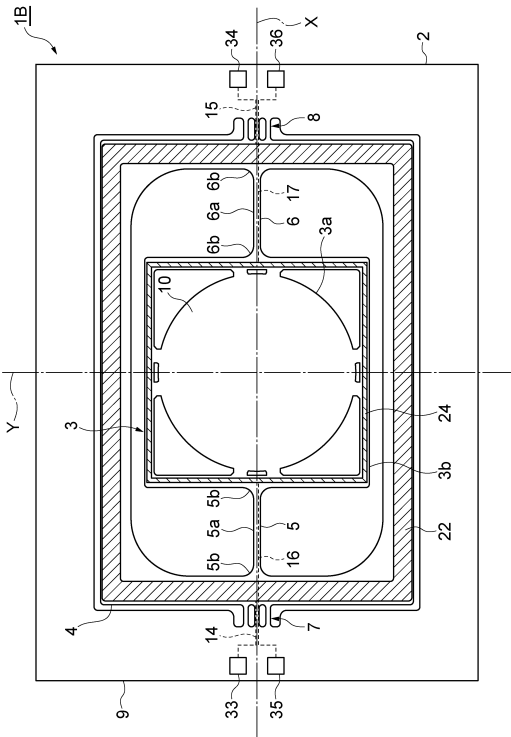
1A、1B、1C…ミラー装置（アクチュエータ装置）、2…支持部、3…第1可動部、4…第2可動部、5、6…第1連結部、7、8…第2連結部、7a…第1部材、7b…第2部材、9…磁界発生部（駆動部）、14、15、16、17…配線、16a…内側部分、16b…外側部分、41…拡散領域、21…コイル（駆動部）、22…コイル（駆動部）、24…コイル（起電力モニタ用コイル、センシング用コイル）。

50

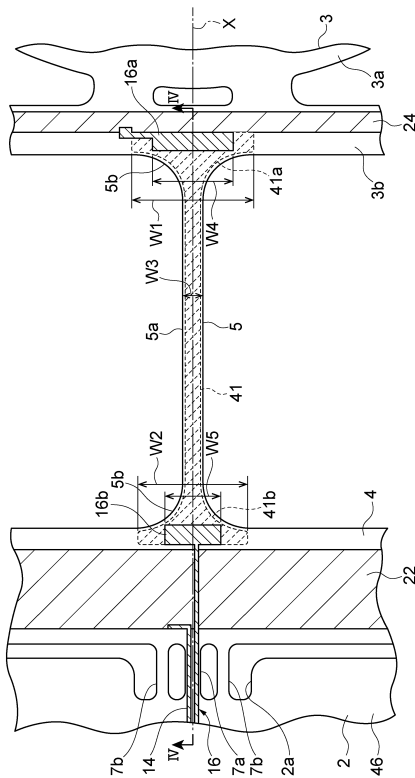
【図面】
【図 1】



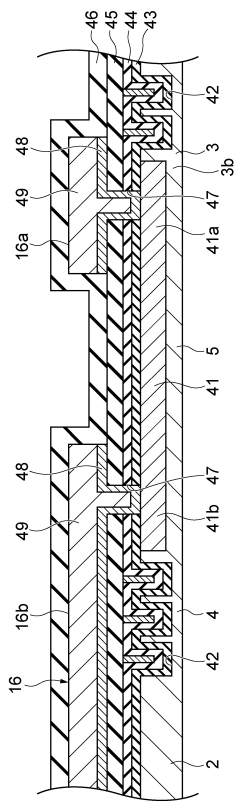
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

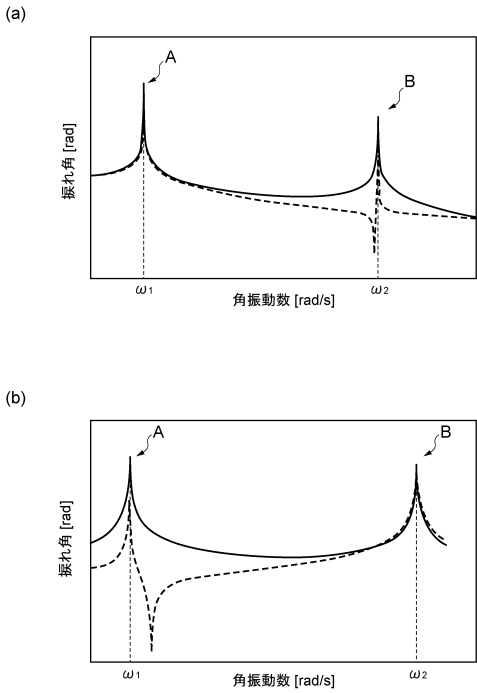
20

30

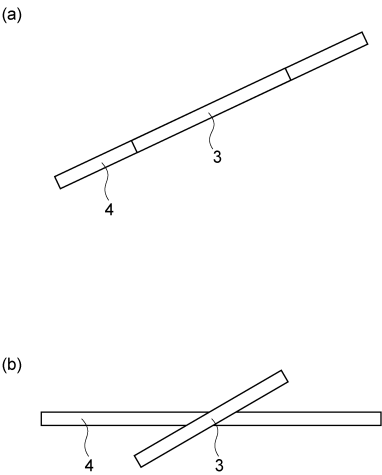
40

50

【図 5】



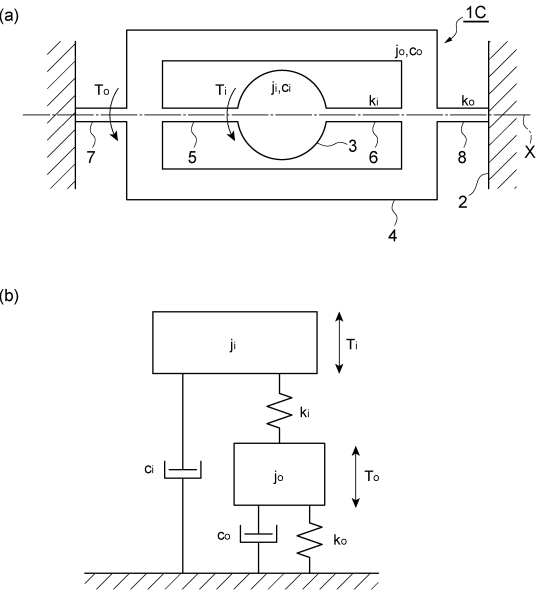
【図 6】



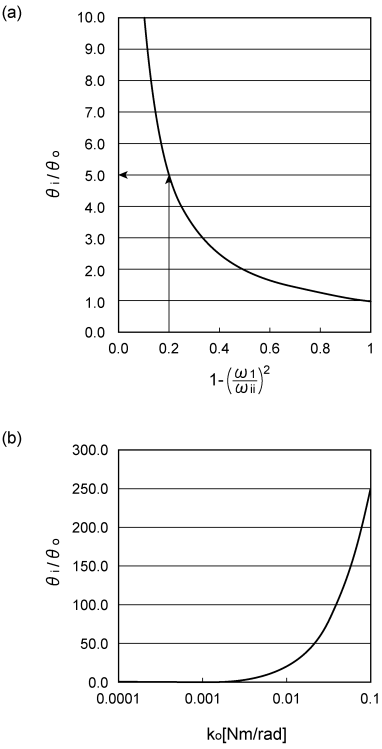
10

20

【図 7】



【図 8】

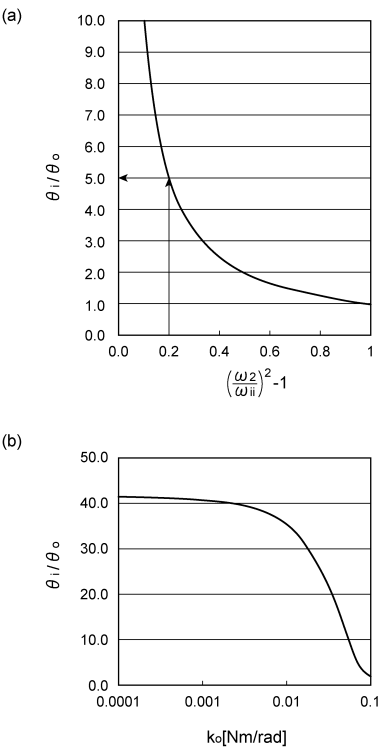


30

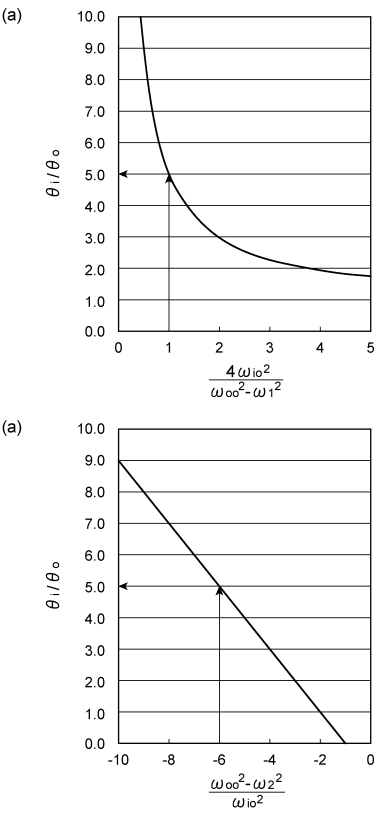
40

50

【図 9】



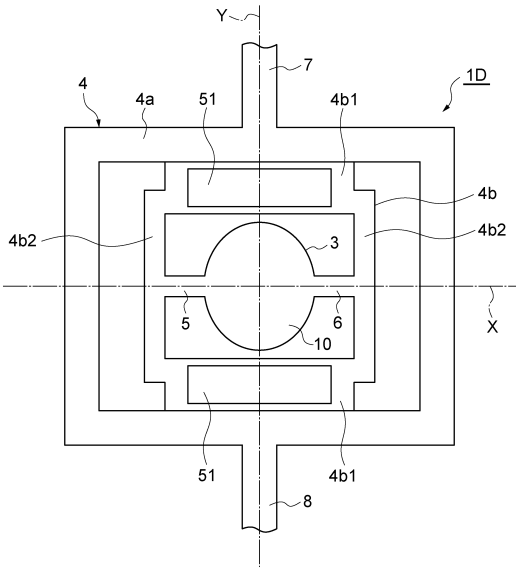
【図 10】



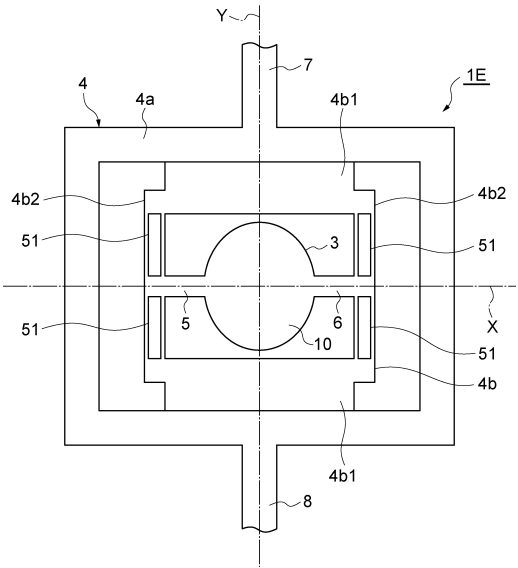
10

20

【図 11】



【図 12】



30

40

50

フロントページの続き

審査官 堀部 修平

- (56)参考文献 特開2016-012042 (JP, A)
特開2005-208578 (JP, A)
特開2013-092744 (JP, A)
特開2010-288435 (JP, A)
特開2009-222900 (JP, A)
特開2017-090638 (JP, A)
特開2015-060105 (JP, A)
国際公開第2017/126290 (WO, A1)
米国特許出願公開第2007/0008401 (US, A1)
特開2008-040460 (JP, A)
特開2008-076570 (JP, A)
特開2012-115981 (JP, A)
特開2008-310295 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 26/08 - 26/10
B81B 3/00
B81C 1/00