

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-14753

(P2015-14753A)

(43) 公開日 平成27年1月22日(2015.1.22)

(51) Int.Cl.

G 0 2 B 26/10 (2006.01)

F 1

G 0 2 B 26/10 1 0 4 Z

テーマコード (参考)

2 H 0 4 5

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2013-142652 (P2013-142652)  
 (22) 出願日 平成25年7月8日 (2013.7.8)

(71) 出願人 000005016  
 パイオニア株式会社  
 神奈川県川崎市幸区新小倉1番1号  
 (71) 出願人 503213291  
 パイオニア・マイクロ・テクノロジー株式  
 会社  
 山梨県甲府市大里町465番地  
 (74) 代理人 100104765  
 弁理士 江上 達夫  
 (74) 代理人 100107331  
 弁理士 中村 聡延  
 (72) 発明者 藤本 健二郎  
 神奈川県川崎市幸区新小倉1番1号 パイ  
 オニア株式会社内

最終頁に続く

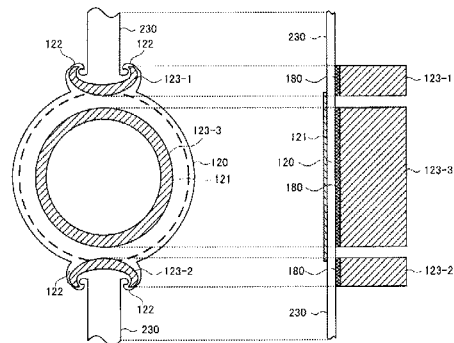
(54) 【発明の名称】 アクチュエータ

## (57) 【要約】

【課題】アクチュエータにおいて、リブと可動板との接続部分に加わる応力を緩和する。

【解決手段】アクチュエータ(1)は、平面状の可動部(120)と、可動部を支持するための支持部(210)と、長手方向に沿った回転軸を中心として可動部が揺動可能なように、長手方向に沿って可動部と支持部とを接続するトーションバー(230)と、を備える。可動部の一の表面には、反射部(121)が形成されており、可動部の該一の表面とは反対側の他の表面には、当該可動部の平坦性を維持する一又は複数のリブ(123)が形成されている。一又は複数のリブに含まれる第1リブは、他の表面上の、反射部の外縁とトーションバーとの間の領域に対応する領域に形成されている。第1リブのトーションバー側の側面は、他の表面上で平面的に見て、反射部側に凸となるように湾曲している。

【選択図】図4



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

平面状の可動部と、  
当該可動部を支持するための支持部と、  
長手方向に沿った回転軸を中心として前記可動部が揺動可能なように、前記長手方向に沿って前記可動部と前記支持部とを接続するトーションバーと、  
を備え、  
前記可動部の一の表面には、反射部が形成されており、  
前記可動部の前記一の表面とは反対側の他の表面には、当該可動部の平坦性を維持する一又は複数のリブが形成されており、  
前記一又は複数のリブに含まれる第 1 リブは、前記他の表面上の、前記反射部の外縁と前記トーションバーとの間の領域に対応する領域に形成されており、  
前記第 1 リブの前記トーションバー側の側面は、前記他の表面上で平面的に見て、前記反射部側に凸となるように湾曲している  
ことを特徴とするアクチュエータ。

10

**【請求項 2】**

前記他の表面上で平面的に見て、前記第 1 リブの前記トーションバー側の側面は、前記回転軸から離れた部分において凹であることを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータ。

**【請求項 3】**

前記他の表面上で平面的に見て、前記第 1 リブの前記トーションバー側の側面は、前記回転軸近傍において前記トーションバー側に向かって凸であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のアクチュエータ。

20

**【請求項 4】**

前記可動部は、前記トーションバーと前記可動部との接続部分の近傍において、周辺部分と比較して、前記他の表面に沿って、当該可動部の外部に向かって突き出す突出部分を有し、

前記第 1 リブの一部は、前記突出部分上に延伸するように前記他の表面上に形成されている

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のアクチュエータ。

30

**【請求項 5】**

前記他の表面上の、前記一の表面上の前記反射部が形成された領域に対応する領域に、前記一又は複数のリブに含まれる第 2 リブが形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載のアクチュエータ。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、例えばミラー等が設けられた可動部を駆動する MEMS (Micro Electro Mechanical System) スキャナ等のアクチュエータの技術分野に関する。

40

**【背景技術】****【0002】**

例えばディスプレイ、プリンティング装置、精密測定、精密加工、情報記録再生等の様々な技術分野において、半導体プロセス技術によって製造される MEMS デバイスについての研究が活発にすすめられている。このような MEMS デバイスとして、レーザ光のスキャニングに用いられる MEMS スキャナは、可動板と、該可動板を取り囲む枠状の支持枠と、可動板を支持枠に対して揺動可能に軸支するトーションバーとを備えている。

**【0003】**

このような MEMS スキャナでは、可動板を揺動させるために、トーションバーに応力 (例えば、トーションバーをねじる応力) が加えられることが多い。ところが、トーショ

50

ンバーにねじれの応力が加わる際には、当該応力は、トーションバーのみならず、可動板の一部又は全部にも加わることが多い。このような可動板に加わる応力は、可動板の変形につながる。

【0004】

しかしながら、可動板の変形は、当該可動板上に形成されるミラー等の変形にもつながる。このようなミラー等の変形は、レーザ光のスキャニングの精度の悪化につながるため、好ましいとは言い難い。そこで、このような可動板の変形を抑える（つまり、可動部の平坦性を維持する）ために、可動部の表面（典型的には、ミラーが形成される面とは反対側の面）に、凸状のリブを形成する技術が提案されている（例えば特許文献1乃至3参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2003-172897号公報

【特許文献2】特開2007-310342号公報

【特許文献3】特開2005-308820号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、リブが可動板に形成されることで可動板の変形を抑えることができるものの、リブと可動板との接続部分（言い換えれば、リブの付け根）に加わる応力が大きくなってしまいかねないという技術的問題点が生じる。言い換えれば、リブと可動板との接続部分に応力が集中してしまいかねないという技術的問題点が生じる。その結果、このような応力の増加がリブや可動板の破壊（或いは、可動板からのリブの剥離）を引き起こしかねないという技術的問題点が生じる。

【0007】

他方で、トーションバーにねじれの応力が加わる際に可動板にも加わる応力は、当該応力が加わる領域部分がトーションバーに近いほど大きくなる傾向にある。このため、リブと可動板との接続部分への応力の集中を避けるための一つの対応策として、トーションバーからできるだけ離れた領域部分にリブを形成する（例えば、可動部の中央付近にリブを形成する）と、可動板の変形を抑えることが困難になってしまいかねない。

【0008】

そこで、リブと可動板との接続部分への応力の集中を避けつつも可動板の変形を抑えるという観点から見れば、応力が集中しやすいトーションバーと可動板との接続部分を選避しながら、可動板の回転軸方向に沿って伸長するリブを形成する対応策が考えられる。しかしながら、このような対応策を採用したとしても、リブの端部付近において、リブと可動板との接続部分への応力の集中が生じることは避けにくい。

【0009】

本発明は、例えば上記問題願に鑑みてなされたものであり、リブと可動板との接続部分に加わる応力を緩和することができるアクチュエータを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明のアクチュエータは、上記課題を解決するために、平面状の可動部と、当該可動部を支持するための支持部と、長手方向に沿った回転軸を中心として前記可動部が揺動可能なように、前記長手方向に沿って前記可動部と前記支持部とを接続するトーションバーと、を備え、前記可動部の一の表面には、反射部が形成されており、前記可動部の前記一の表面とは反対側の他の表面には、当該可動部の平坦性を維持する一又は複数のリブが形成されており、前記一又は複数のリブに含まれる第1リブは、前記他の表面上の、前記反射部の外縁と前記トーションバーとの間の領域に対応する領域に形成されており、前記第1リブの前記トーションバー側の側面は、前記他の表面上で平面的に見て、前記反射部側

10

20

30

40

50

に凸となるように湾曲している。

【 0 0 1 1 】

本発明の作用及び他の利得は次に説明する実施するための形態から明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】上面側から観察した実施例に係るアクチュエータの構成の一例を示す平面図である。

【図 2】下面側から観察した実施例に係るアクチュエータの構成の一例を示す平面図である。

【図 3】リブが形成されていない場合に可動部に加わる応力の応力分布の一例を示す概念図である。

【図 4】実施例に係る可動部近傍を拡大して示す拡大平面図及び拡大側面図である。

【図 5】実施例に係るリブの一部を拡大して示す拡大図である。

【図 6】リブの形状と該リブに加わる応力との一例を示す概念図である。

【図 7】図 6 に示したリブが形成された可動部に加わる応力のシミュレーション結果の一例である。

【図 8】リブの形状と該リブに加わる応力との他の例を示す概念図である。

【図 9】図 8 に示したリブが形成された可動部に加わる応力のシミュレーション結果の一例である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

本発明のアクチュエータに係る実施形態について説明する。

【 0 0 1 4 】

実施形態に係るアクチュエータは、平面状の可動部と、該可動部を支持するための支持部と、長手方向に沿った回転軸を中心として可動部が揺動可能なように、長手方向に沿って可動部と支持部とを接続するトーションバーと、を備える。可動部の一の表面には、反射部が形成されており、可動部の該一の表面とは反対側の他の表面には、当該可動部の平坦性を維持する一又は複数のリブが形成されている。一又は複数のリブに含まれる第 1 リブは、反射部の外縁とトーションバーとの間の領域に対応する他の表面上の領域に形成されている。該第 1 リブは、他の表面上で平面的に見て、反射部側に凸となるように湾曲している。

【 0 0 1 5 】

当該アクチュエータでは、トーションバーによって懸架された可動部が揺動する。該可動部は、例えばトーションバーが伸長する方向（即ち、トーションバーの長手方向）に沿った軸を回転軸として回転するように揺動されてもよい。

【 0 0 1 6 】

このような可動部の回転を実現するために、トーションバーは、該トーションバーの長手方向に沿って可動部と支持部とを接続する。このとき、トーションバーは、可動部と支持部とを直接的に接続してもよい。或いは、トーションバーは、可動部と支持部とを間接的に（言い換えれば、間に任意の部材を介在させた上で）接続してもよい。

【 0 0 1 7 】

可動部の一の表面には、例えばレーザ光を反射可能なミラー等である反射部が形成されている。可動部の他の表面には、一又は複数のリブが形成されている。リブは、主として、可動部の平坦性を維持する（言い換えれば、可動部の変形を抑制する又は可動部の剛性を維持する）目的で形成される。このような目的を達成するために、リブは、可動部の他の表面に対して凸状の形状を有している（言い換えれば、可動部の法線方向に向かって突き出す形状を有している）ことが望ましい。

【 0 0 1 8 】

本実施形態では特に、一又は複数のリブに含まれる第 1 リブは、他の表面上における、反射部の外縁とトーションバーとの間の領域に対応する領域（言い換えれば、トーション

10

20

30

40

50

バーと可動部との接続部分)に形成されている。そして、該第1リブは、他の表面上で平面的に見て、反射部側に凸となるように湾曲している。

【0019】

このように、トーションバーと可動部との接続部分に第1リブを設けることにより、当該アクチュエータの駆動時における反射部の撓みを抑えることができる。特に、トーションバーが比較的大きく歪んだ場合であっても、第1リブにより反射面の歪みを大幅に抑制することができる。加えて、第1リブが、可動部の他の表面上で平面的に見て、反射部側に凸となるように湾曲していることにより、当該第1リブと可動部との接続部に加わる応力を抑制し、該第1リブが破壊されることを抑制することができる。

【0020】

実施形態に係るアクチュエータの一態様では、可動部の他の表面上で平面的に見て、第1リブのトーションバー側の側面は、回転軸から離れた部分において凹である。尚、第1リブの回転軸から離れた部分の曲率(凹の程度)は、典型的には、該第1リブにおける回転軸近傍の部分の曲率よりも大きい。

【0021】

第1リブの曲率が大きい程、第1リブと可動部との接続部に応力が加わりにくくなる。上記のように、第1リブのトーションバー側の側面を回転軸から離れた部分において凹とする(つまり、第1リブにおける回転軸から離れた部分の曲率を比較的大きくすることにより、第1リブの端部近傍への応力を低減することができる。この結果、第1リブが応力により破壊されることを好適に抑制することができる。

【0022】

実施形態に係るアクチュエータの他の態様では、可動部の他の表面上で平面的に見て、第1リブのトーションバー側の側面は、回転軸近傍においてトーションバー側に向かって凸である。

【0023】

本願発明者の研究によれば、可動部上で平面的に見て、該可動部の回転軸上から回転半径方向へ少し離れた部分に応力が加わりやすいことが判明している。このため、上記のように、第1リブの回転軸近傍のトーションバー側の側面を、トーションバー側に向かって凸とすることにより、第1リブの応力が加わりやすい部分の曲率を比較的大きくすることができる。この結果、第1リブに加わる応力を低減することができ、実用上非常に有利である。

【0024】

実施形態に係るアクチュエータの他の態様では、可動部は、トーションバーと該可動部との接続部分の近傍において、周辺部分と比較して、可動部の他の表面に沿って、当該可動部の外部に向かって突き出す突出部分を有し、第1リブの一部は、突出部分上に延伸するように他の表面上に形成されている。

【0025】

このように構成すれば、突出部分に第1リブの一部が延伸しているため、可動部の揺動に伴って、第1リブと可動部との接続部に加わる応力を緩和することができる。言い換えれば、可動部の揺動に伴う第1リブと可動部との接続部における応力の集中を緩和することができる。

【0026】

実施形態に係るアクチュエータの他の態様では、可動部の他の表面上の、一の表面上の反射部が形成された領域に対応する領域に、一又は複数のリブに含まれる第2リブが形成されている。

【0027】

このように構成すれば可動部の変形を抑制することができ、実用上非常に有利である。尚、第1リブ及び第2リブは互いに接続されていてよい。

【実施例】

【0028】

10

20

30

40

50

本発明のアクチュエータに係る実施例を、図面を参照して説明する。

【0029】

(アクチュエータの全体構成)

実施例に係るアクチュエータの全体構成について、図1及び図2を参照して説明する。図1は、上面側から観察した実施例に係るアクチュエータの構成の一例を示す平面図である。図2は、下面側から観察した実施例に係るアクチュエータの構成の一例を示す平面図である。尚、図1及び図2では、X軸、Y軸及びZ軸によって規定される仮想的な3次元空間を用いながら実施例に係るアクチュエータの説明を進める。

【0030】

図1及び図2において、アクチュエータ1は、例えばレーザ光のスキャニングに用いられるプレーナ型電磁駆動アクチュエータ(即ち、MEMSスキャナ)である。アクチュエータ1は、外側支持体110と、一对のトーシヨンバー130と、内側支持体210と、一对のトーシヨンバー230と、可動部120と、駆動コイル140と、一对の永久磁石160と、一对の電源端子170とを備えて構成されている。

【0031】

また、図1に示すように、可動部120の上面又は表側の面(本発明に係る“一の表面”に相当)には、ミラー121が形成されている。図2に示すように、可動部120の下面又は裏側の面(本発明に係る“他の表面”に相当)には、リブ123が形成されている。

【0032】

外側支持体110、一对のトーシヨンバー130、内側支持体210、一对のトーシヨンバー230、可動部120及びリブ123は、例えばシリコン基板等の非磁性基板から一体的に形成されている。即ち、外側支持体110、一对のトーシヨンバー130、内側支持体210、一对のトーシヨンバー230及び可動部120は、例えばシリコン基板等の非磁性基板の一部が除去されることにより間隙が形成されることで形成されている。この時の形成プロセスとして、MEMSプロセスが用いられることが望ましい。

【0033】

尚、シリコン基板に代えて、任意の弾性材料から、外側支持体110、一对のトーシヨンバー130、内側支持体210、一对のトーシヨンバー230、可動部120及びリブ123が一体的に形成されてもよい。

【0034】

外側支持体110は、内側支持体210を取り囲むような枠形状を有している。外側支持体110は、内側支持体210の両側に位置する(言い換えれば、内側支持体210の両側から当該内側支持体210を挟み込む)一对のトーシヨンバー130によって内側支持体210と接続されている。

【0035】

尚、本実施例では、外側支持体110の形状が枠形状となる例を示しているが、外側支持体110の形状が枠形状に限定されないことは言うまでもない。外側支持体110の形状は、例えば、その一部が開口している枠形状であってもよい。

【0036】

内側支持体210は、可動部120を取り囲むような枠形状を有している。内側支持体210は、一对のトーシヨンバー130が伸長する方向(つまり、一对のトーシヨンバー130の長手方向であり、図1及び図2中X軸の方向)に沿った回転軸を中心に揺動可能なよう一对のトーシヨンバー130によって外側支持体110に軸支されている。

【0037】

内側支持体210は、更に、可動部120の両側に位置する(言い換えれば、可動部120の両側から当該可動部120を挟み込む)一对のトーシヨンバー130によって可動部120と接続されている。

【0038】

内側支持体210の上面には、図1に示すように、駆動コイル140が形成されている

10

20

30

40

50

。但し、駆動コイル 140 は、内側支持体 210 の内部又は下面に形成されてもよい。

【0039】

尚、本実施例にでは、内側支持体 210 の形状が枠形状となる例を示しているが、内側支持体 210 の形状が枠形状に限定されないことは言うまでもない。内側支持体 210 の形状は、例えば、その一部が開口している枠形状であってもよい。

【0040】

可動部 120 は、一对のトーションバー 230 が伸長する方向（つまり、一对のトーションバー 230 の長手方向であって、図 1 及び図 2 中 Y 軸の方向）に沿った回転軸を中心に揺動可能のように一对のトーションバー 230 によって内側支持体 210 に軸支されている。

10

【0041】

可動部 120 は、一又は複数の突出部分（図 1 及び図 2 では、4 つの突出部分）122 を有している。突出部分 122 は、当該突出部分 122 の周囲の領域部分（言い換えれば、突出部分 122 に隣接する領域部分）と比較して突き出している領域部分である。より具体的には、突出部分 122 は、可動部 120 の表面に沿った方向（つまり、XY 平面に沿った方向）に向かって且つ可動部 120 の外部に向かって突き出している。

【0042】

突出部分 122 は、可動部 120 と一体化されている（言い換えれば、同一の構造物から一体的に形成されている）ことが望ましい。但し、突出部分 122 は、可動部 120 に対して事後的に付加された（言い換えれば、接続された又は取り付けられた）構造を有していてもよい。また、突出部分 122 は、可動部 120 と同一平面上に位置することが好ましい。突出部分 122 の厚さと可動部 120 の厚さとが同一となることが好ましい。

20

【0043】

尚、図 1 及び図 2 に示す例では、突出部分 122 は、可動部 120 の回転軸（つまり、Y 軸）に沿った方向に向かって突き出している。これは、回転軸周りの可動部 120 の慣性モーメントの増大を抑制するためである。

【0044】

また、突出部分 122 と当該突出部分 122 の周囲の領域部分との境界は、角が丸めこまれるフィレット加工（或いは、面取り加工、湾曲加工、丸め加工等）が施されることが望ましい。

30

【0045】

可動部 120 の上面には、上述の如く、レーザ光を反射するミラー 121 が形成されている。ここで、可動部 120 は、例えば板状（言い換えれば、平面状）の部材であることが望ましい。

【0046】

また、ミラー 121 がレーザ光を好適に反射するためには、ミラー 121 の平坦性が維持されていることが好ましい。ミラー 121 の平坦性が維持されるためには、可動部 120 の平坦性が維持されていることが必要である。このため、本実施例では、可動部 120 の平坦性を維持するために、該可動部 120 の下面（つまり、ミラー 121 が形成された面とは反対側の面）にリブ 123 が形成されている。

40

【0047】

リブ 123 は、可動部 120 の平坦性を確保することができる所望の態様で可動部 120 の下面に形成されている。本実施例では、リブ 123 は、可動部 120 とトーションバー 230 との接続部近傍において、X 軸方向に延びる第 1 リブ部分 123 - 1 及び第 2 リブ部分 123 - 2 と、ミラー 121 の形状（ここでは円形）に対応する形状を有する第 3 リブ部分 123 - 3 と、を含んでいる。

【0048】

このようなリブ 123 の態様は、X 軸及び Y 軸各々に沿った方向における可動部 120 の剛性を極力確保する観点から決定されている。尚、図 2 に示すリブ 123 の態様が一例であることは言うまでもない。

50

## 【 0 0 4 9 】

一对のトーションバー 1 3 0 は、内側支持体 2 1 0 が外側支持体 1 1 0 に対して揺動可能なように、内側支持体 2 1 0 と外側支持体 1 1 0 とを接続する。一对のトーションバー 1 3 の弾性によって、内側支持体 2 1 0 は、一对のトーションバー 1 3 0 が伸長する方向に沿った軸を回転軸として回転するように揺動する。つまり、内側支持体 2 1 0 は、図 1 及び図 2 における X 軸を回転軸として、当該回転軸の周りで回転するように揺動する。

## 【 0 0 5 0 】

ここで、可動部 1 2 0 は、一致のトーションバー 2 3 0 を介して内側支持体 2 1 0 に接続されている。従って、内側支持体 2 1 0 の揺動に伴って可動部 1 2 0 は、実質的には、図 1 及び図 2 における X 軸を回転軸として、当該回転軸の周りで回転するように揺動する。

10

## 【 0 0 5 1 】

一对のトーションバー 2 3 0 各々は、可動部 1 2 0 が内側支持体 2 1 0 に対して揺動可能なように、可動部 1 2 0 と内側支持体 2 1 0 とを接続する。一对のトーションバー 2 3 0 の弾性によって、可動部 1 2 0 は、一对のトーションバー 2 3 0 が伸長する方向に沿った軸を回転軸として回転するように揺動する。つまり、可動部 1 2 0 は、図 1 及び図 2 における Y 軸を回転軸として、当該回転軸回りで回転するように揺動する。

## 【 0 0 5 2 】

駆動コイル 1 4 0 は、例えば、内側支持体 2 1 0 の上で延伸するコイルである。駆動コイル 1 4 0 は、例えば相対的に導電率の高い材料（例えば、金や銅等）を用いて形成されてもよい。また、駆動コイル 1 4 0 は、めっきプロセスやスパッタリング法等の半導体製造プロセスを用いて形成されてもよい。或いは、駆動コイル 1 4 0 は、外側支持体 1 1 0、一对のトーションバー 1 3 0、内側支持体 2 1 0、一对のトーションバー 2 3 0、可動部 1 2 0 及びリブ 1 2 3 を形成するためのシリコン基板に対してインプラント法を用いて埋め込まれてもよい。

20

## 【 0 0 5 3 】

尚、図 1 では、図面の見やすさを重視して、駆動コイル 1 4 0 の外形を簡略化して記載してあるが、駆動コイル 1 4 0 は、実際には、内側支持体 2 1 0 の表面に形成された一又は複数の巻き線によって構成されている。

## 【 0 0 5 4 】

駆動コイル 1 4 0 には、外側支持体 1 1 0 上に形成されている一对の電源端子 1 7 0 及び当該一对の電源端子 1 7 0 と駆動コイル 1 4 0 とを電氣的に接続するための配線 1 5 0 であって、且つ、一对のトーションバー 1 3 0 上に形成された配線 1 5 0 を介して、電源から制御電流が供給される。

30

## 【 0 0 5 5 】

制御電流は、内側支持体 2 1 0 及び可動部 1 2 0 を揺動させるための制御電流であって、典型的には、内側支持体 2 1 0 が揺動する周波数と同期した周波数の信号成分及び可動部 1 2 0 が揺動する周波数と同期した周波数の信号成分を含む交流電流である。尚、電源は、アクチュエータ 1 自身が備えている電源であってもよいし、アクチュエータ 1 の外部に用意される電源であってもよい。

40

## 【 0 0 5 6 】

一对の永久磁石 1 6 0 は、外側支持体 1 1 0 の外部に取り付けられている。但し、一对の永久磁石 1 6 0 は、駆動コイル 1 4 0 に対して所定の静磁界を印加することができる限りは、どのような箇所に取り付けられてもよい。

## 【 0 0 5 7 】

一对の永久磁石 1 6 0 は、駆動コイル 1 4 0 に対して所定の静磁界を印加できるように、その磁極の向きが適切に設定されていることが好ましい。尚、一对の永久磁石 1 6 0 には、静磁界の強度を高めるために、ヨークが付加されていてもよい。

## 【 0 0 5 8 】

（アクチュエータの動作）

50



上述の如く構成されたアクチュエータ 1 が動作する（具体的には、可動部 120 が遙動する）場合には、先ず、電源から、電源端子 170 及び配線 150 を介して、駆動コイル 140 に対して制御電流が供給される。この時駆動コイル 140 に対して供給される制御電流は、内側支持体 210 を遙動させるための信号（具体的には、内側支持体 210 の遙動の周期に同期した信号）と可動部 120 を遙動させるための信号（具体的には、可動部 120 の遙動の周期に同期した信号）とが重畳された電流であることが好ましい。

【0059】

一方で、駆動コイル 140 には、一对の永久磁石 160 によって静磁界が印加されている。従って、駆動コイル 140 には、一对の永久磁石 160 から印加される静磁界と駆動コイル 140 に供給される制御電流との電磁相互作用に起因した力（つまり、ローレンツ力）が生ずる。

10

【0060】

その結果、駆動コイル 140 が形成されている内側支持体 210 は、一对の永久磁石 160 から印加される静磁界と駆動コイル 140 に供給される制御電流との電磁相互作用に起因したローレンツ力によって遙動する。つまり、内側支持体 210 は、図 1 における X 軸を回転軸として回転するように遙動する。ここで、可動部 120 は、一对のトーションバー 230 を介して内側支持体 210 に接続されている。従って、内側支持体 210 の遙動に伴って、可動部 120 は、実質的には、図 1 における X 軸を回転軸として、当該回転軸の周りで回転するように遙動する。

【0061】

20

加えて、一对の永久磁石 160 から印加される静磁界と駆動コイル 140 に供給される制御電流との電磁相互作用に起因したローレンツ力は、慣性力として可動部 120 に伝達される。その結果、可動部 120 は、図 1 における Y 軸を回転軸として回転するように遙動する。

【0062】

このように、本実施例のアクチュエータ 1 によれば、可動部 120 の 2 軸駆動が行われる。

【0063】

尚、本実施例では、ローレンツ力そのものを用いて内側支持体 210 を遙動させ且つローレンツ力を慣性力として用いて可動部 120 を遙動させることで、可動部 120 の 2 軸駆動が行われている。しかしながら、可動部 120 を遙動させるローレンツ力を発生させるための駆動コイルを、可動部 120 上に形成してもよい。この場合には、一对のトーションバー 230 には（更には、内側支持体 210 や一对のトーションバー 130 や外側支持体 110）には、外側支持体 110 上の電源端子 170 から可動部 120 上の駆動コイルにつながる配線が形成されることが好ましい。

30

【0064】

（リブの詳細な説明）

実施例に係るリブ 123 について、図 3 乃至図 5 を参照して説明を加える。

【0065】

先ず、可動部 120 に加わる応力について、図 3 を参照して説明する。図 3 は、リブが形成されていない場合に可動部に加わる応力の応力分布の一例を示す概念図である。尚、図 3 では、色が濃い程、応力が高いことを示している。

40

【0066】

アクチュエータが、上述の如く動作し、可動部が 2 軸駆動される場合、該可動部にリブが形成されていなければ、該可動部の応力分布は、例えば図 3 のようになる。即ち、可動部の回転軸（図 3 における一点鎖線）から少し離れた領域に応力が加わる。

【0067】

可動部に形成されたミラー（図 1 参照）の平坦性を維持するためには、先ず、図 3 において点線円で示した部分の応力を低減する必要がある。加えて、図 3 に示すように、可動部とトーションバーとの接続部分近傍は、比較的高い応力が加わるので、可動部と、該可

50

動部上に形成されるリブとの接続部に加わる応力を低減する必要がある。

【0068】

そこで、本実施例では、図4に示すように、可動部120の下面（即ち、可動部120の図2に示した側の表面）上の、ミラー121の外縁（図4における破線参照）とトーションバー230との間の領域に対応する領域に、第1リブ部分123-1及び第2リブ部分123-2が形成されている。第1リブ部分123-1及び第2リブ部分123-2は、可動部120上で平面的に見て、ミラー121側に凸となるように湾曲している。

【0069】

このような第1リブ部分123-1及び第2リブ部分123-2を設けることにより、ミラー121に加わる応力（図3において点線円で示した部分に加わる応力）を大幅に抑制することができる。

10

【0070】

ところで、アクチュエータ1（即ち、MEMSスキャナ）は、SOI（Silicon On Insulator）ウェハから製造されることが多い。また、リブ123は、例えばシリコンから構成されることが多い。他方で、可動部120及びトーションバー230（言い換えれば、デバイス層又は活性層）と、リブ123（言い換えれば、ハンドル層又は支持層）と、の間には、ボックス層（言い換えれば、酸化膜層）180が存在している（図4の右側図参照）。

【0071】

このボックス層180は、可動部120やリブ123と比較して脆いため、可動部120の揺動に伴う応力によって破壊されやすい。ボックス層180の破壊は、リブ123の可動部120からの剥離につながりかねない。

20

【0072】

更に、図3において、トーションバーと可動部との接続部分では、幅方向（つまり、トーションバーから可動部に向かう方向と交わる方向：図3における左右方向）の距離が急激に長くなる。従って、可動部の揺動に伴う応力は、トーションバーと可動部との接続部分に集中することとなる。

【0073】

そこで本実施例では、上述の如く、可動部120に突出部分122を設け、該突出部分122上に延伸するように第1リブ部分123-1及び第2リブ部分123-2各々の一部を形成している。突出部分122には、可動部120の揺動に伴う応力が加わりにくい。

30

【0074】

このため、該突出部分122上に形成されている第1リブ部分123-1及び第2リブ部分123-2各々の一部（言い換えれば、第1リブ部分123-1及び第2リブ部分123-2各々の付け根）に、可動部120の揺動に伴う応力が集中することがない。即ち、第1リブ部分123-1及び第2リブ部分123-2各々の付け根に加わる、可動部120の揺動に伴う応力が緩和される。

【0075】

この結果、ボックス層180に加わる、可動部120の揺動に伴う応力も緩和され、リブ123の可動部120からの剥離を抑制することができ、実用上非常に有利な効果が得られる。

40

【0076】

本願発明者の研究によると、以下の事項が判明している。即ち、リブに応力が加わる方向（ここでは、トーションバー230から可動部120に向かう方向）と反対方向に向かってリブが凸であると、応力が集中しやすい。他方、リブに応力が加わる方向に向かってリブが凸であると（言い換えれば、リブに応力が加わる方向と反対方向にリブが凹であると）、リブに応力が加わりにくい。そして、リブにより部分的に囲まれた領域は、該リブの曲率が大きい程、応力により変形しにくくなる。

【0077】

50

そこで本実施例では、図 5 に示すように、第 2 リブ部分 1 2 3 - 2 における比較的応力が集中する部分の曲率を比較的大きくしている（第 1 リブ部分 1 2 3 - 1 も同様）。ここで特に、応力が比較的小さい部分については、第 2 リブ部分 1 2 3 - 2 のトーションバー 2 3 0 側の壁面をトーションバー 2 3 0 側に向かって凸としている。この結果、比較的応力が集中する部分の曲率を可能な限り大きくしつつ、第 2 リブ部分 1 2 3 - 2 を、可動部 1 2 0 とトーションバー 2 3 0 との接続部分の所定位置に形成することができる。

【 0 0 7 8 】

（本発明の効果の検証）

次に、本発明の効果について、図 6 乃至図 9 を参照して説明を加える。図 6 は、リブの形状と該リブに加わる応力との一例を示す概念図である。図 7 は、図 6 に示したリブが形成された可動部に加わる応力のシミュレーション結果の一例である。図 8 は、図 6 と同趣旨の、リブの形状と該リブに加わる応力との他の例を示す概念図である。図 9 は、図 8 に示したリブが形成された可動部に加わる応力のシミュレーション結果の一例である。

【 0 0 7 9 】

図 6 に示すように、突出部分 1 2 2 上に延伸するようにリブ（図 6 における斜線部分）の一部を形成することにより、該リブの一部に加わる応力が低減されることがわかる。ここで特に、可動部 1 2 0 のフィレット加工された部分に応力が集中されるように、図 6 において点線円 C 1 及び C 2 で囲われたリブの部分の曲率は可能な限り大きいことが望ましい。

【 0 0 8 0 】

他方で、リブの、トーションバー 2 3 0 の幅方向（即ち、図 6 の左右方向）に延伸する部分については、点線円 C 3 及び C 4 で囲われた部分に、比較的応力が加わってしまう。この点については、シミュレーションによっても同様の結果が得られている（図 7 における破線円参照）。

【 0 0 8 1 】

そこで、リブの、図 6 において点線円 C 3 及び C 4 で囲われた部分へ加わる応力を低減するために、図 8 に示すように、リブのトーションバー 2 3 0 側の側面のうち、加わる応力が比較的少ない部分を、トーションバー 2 3 0 側に向かって凸とする（図 8 における点線円 C 5、C 6 及び C 7 参照）。

【 0 0 8 2 】

この結果、リブの、図 6 において点線円 C 3 及び C 4 で囲われた部分の曲率が比較的大きくなり、該部分へ加わる応力を低減することができる。この点については、シミュレーションによっても同様の結果が得られている（図 9 参照）。

【 0 0 8 3 】

ここで特に、図 9 に示したシミュレーション結果では、リブのトーションバー 2 3 0 側の側面に加わる応力が概ね均一となっていることがわかる。従って、可動部 1 2 0 の揺動に伴う応力によって、リブ 1 2 3 が可動部 1 2 0 から剥離することを好適に抑制することができる。

【 0 0 8 4 】

尚、本実施例に係る「第 1 リブ部分 1 2 3 - 1」及び「第 2 リブ部分 1 2 3 - 2」は、本発明に係る「第 1 リブ」の一例である。本実施例に係る「内側支持体 2 1 0」、「トーションバー 2 3 0」、「ミラー 1 2 1」及び「第 3 リブ部分 1 2 3 - 3」は、夫々、本発明に係る「支持部」、「トーションバー」、「反射部」及び「第 2 リブ」の一例である。

【 0 0 8 5 】

本発明は、上述した実施形態に限られるものではなく、特許請求の範囲及び明細書全体から読み取れる発明の要旨或いは思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴うアクチュエータもまた本発明の技術的範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

【 0 0 8 6 】

1 ... アクチュエータ、 1 1 0 ... 外側支持体、 1 2 0 ... 可動部、 1 2 1 ... ミラー、 1 2 2

10

20

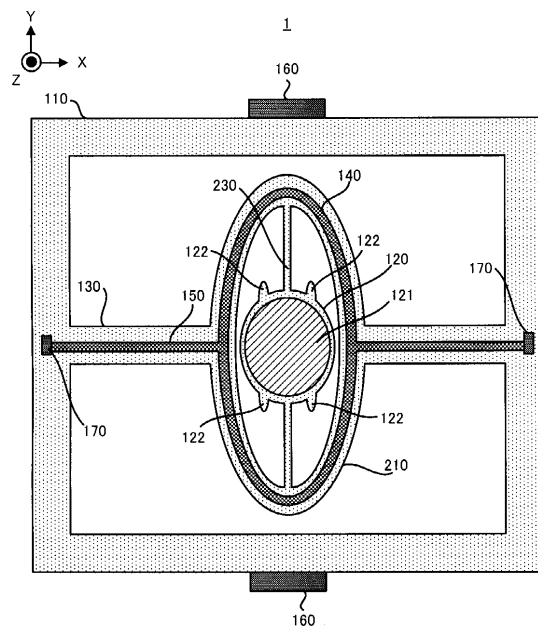
30

40

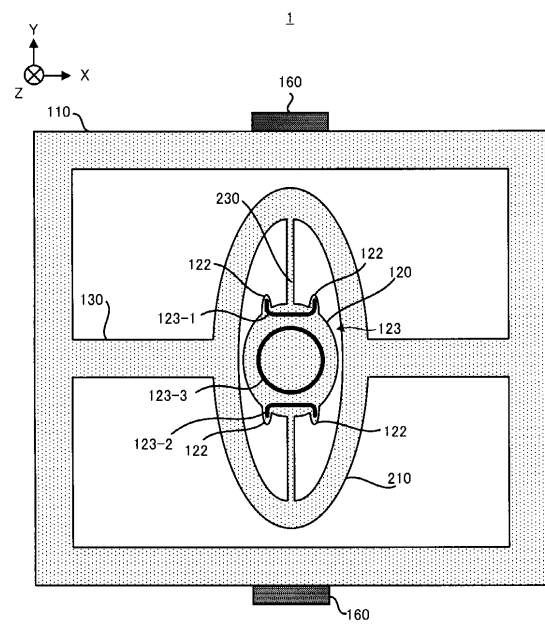
50

... 突出部分、 1 2 3 ... リブ、 1 3 0、 2 3 0 ... トーションバー、 1 4 0 ... 駆動コイル、 1 5 0 ... 配線、 1 6 0 ... 永久磁石、 2 1 0 ... 内側支持体

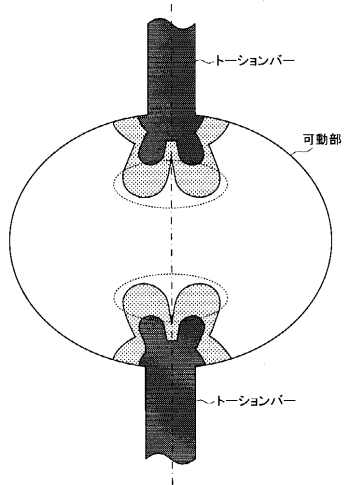
【 図 1 】



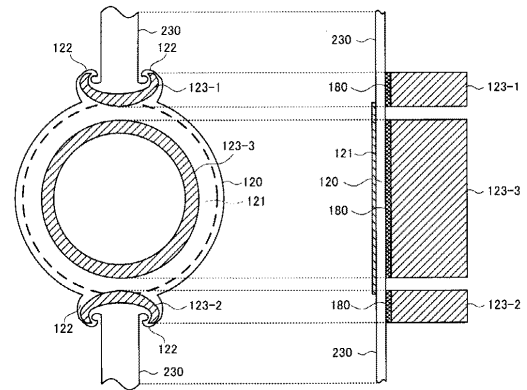
【 図 2 】



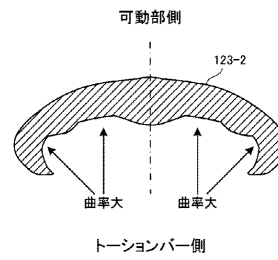
【図 3】



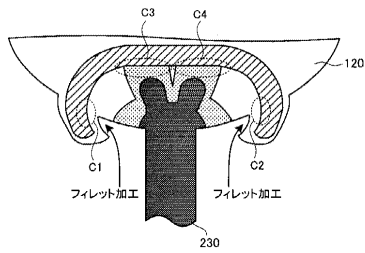
【図 4】



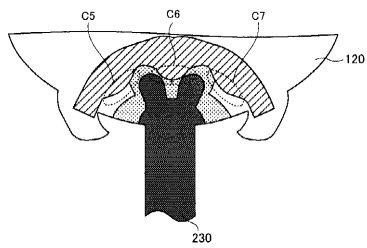
【図 5】



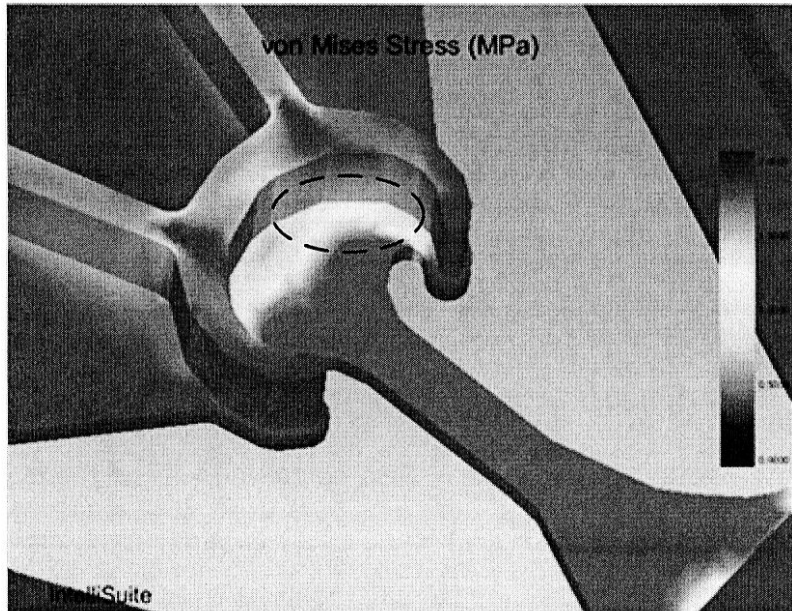
【図 6】



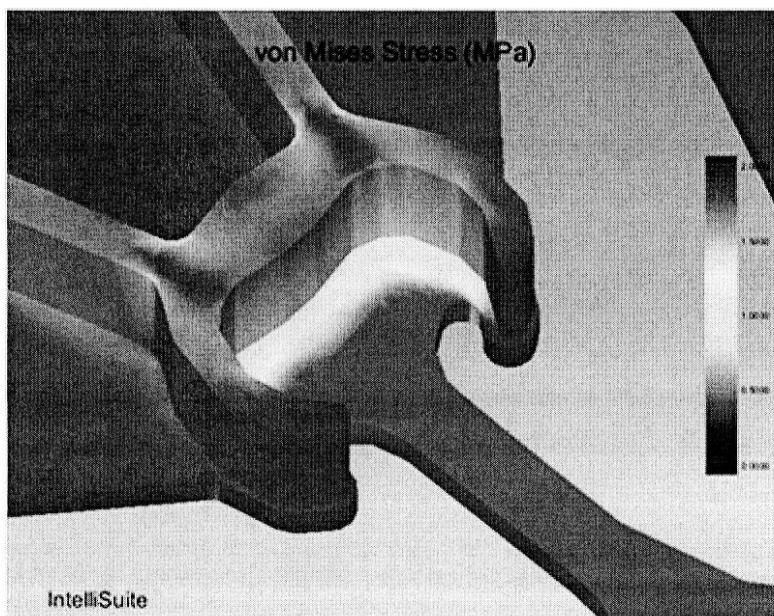
【図 8】



【 図 7 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 山村 雄一

山梨県甲府市大里町4 6 5 パイオニア・マイクロ・テクノロジー株式会社内

Fターム(参考) 2H045 AB02 AB03 AB13