

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5587912号
(P5587912)

(45) 発行日 平成26年9月10日(2014.9.10)

(24) 登録日 平成26年8月1日(2014.8.1)

(51) Int.Cl.		F I	
B 8 1 B	3/00	(2006.01)	B 8 1 B 3/00
G 0 2 B	26/10	(2006.01)	G 0 2 B 26/10 I O 4 Z
B 4 1 J	2/44	(2006.01)	B 4 1 J 3/00 D
H 0 4 N	3/08	(2006.01)	H 0 4 N 3/08

請求項の数 23 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2011-545982 (P2011-545982)	(73) 特許権者	000104652
(86) (22) 出願日	平成22年12月15日(2010.12.15)		キヤノン電子株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/007277		埼玉県秩父市下影森1248番地
(87) 国際公開番号	W02011/074256	(74) 代理人	100076428
(87) 国際公開日	平成23年6月23日(2011.6.23)		弁理士 大塚 康德
審査請求日	平成24年5月8日(2012.5.8)	(74) 代理人	100112508
(31) 優先権主張番号	特願2009-284738 (P2009-284738)		弁理士 高柳 司郎
(32) 優先日	平成21年12月16日(2009.12.16)	(74) 代理人	100115071
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動素子、光走査装置、アクチュエータ装置、映像投影装置及び画像形成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施された梁部を有する振動部を備え、

前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、

前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動されることを特徴とする振動素子。

【請求項2】

前記梁部は、ヤング率を低下させる加工硬化処理が施された素材に対して所定の形状に加工する成形加工処理が施された後に前記加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理が施されたものであることを特徴とする請求項1に記載の振動素子。

【請求項3】

前記梁部は、引張り加工が施されたものであることを特徴とする請求項1又は2に記載の振動素子。

【請求項4】

前記梁部は、前記引張り加工に加えてしごき加工が施されたものであることを特徴とする請求項3に記載の振動素子。

【請求項 5】

前記梁部は、線状に引張りながらしごくことで形成されたものであることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の振動素子。

【請求項 6】

前記梁部の外周面には、前記引張り加工による加工痕が形成されていることを特徴とする請求項 3 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 7】

前記梁部は、前記振動部のベースから梁状に設けられ、当該梁部の幅 w として厚みを t としたときの断面アスペクト比 t/w が 0.3 より大きいことを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

10

【請求項 8】

前記梁部は、前記振動部のベースから梁状に設けられ、前記振動部には、光学ミラー部が設けられており、前記光学ミラー部の慣性モーメントは、前記梁部の慣性モーメントの 2 倍以上であることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 9】

ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施された梁部を有する振動部を備え、

前記梁部は、長尺梁状に設けられて光学ミラー部が取り付けられない第 1 領域及び第 2 領域と前記光学ミラー部が取り付けられる第 3 領域とを含み、前記第 2 領域は前記振動部の長手方向において前記第 1 領域と前記第 3 領域とによって挟まれ、

20

前記時効硬化処理は、前記第 1 領域及び前記第 2 領域と前記第 3 領域とで互いに異なる温度条件の下で行われる、ことを特徴とする振動素子。

【請求項 10】

前記振動部は、前記共振特性曲線のピーク形状が線対称から非線対称に変化する共振周波数特性の変化に伴う共振周波数の変化率が前記振動部を形成する材料の振動減衰率を上回る振動振幅以下の範囲で駆動されることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 11】

前記梁部は、許容歪み振幅が 3×10^{-3} より大きいことを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

30

【請求項 12】

前記梁部は、振動のし易さを示す Q 値が 1000 以上であることを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 13】

前記梁部は、加工硬化及び時効硬化型 $Co-Ni$ 基合金からなることを特徴とする請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 14】

前記梁部は、加工硬化及び時効硬化処理が施された $Co-Ni$ 基合金からなることを特徴とする請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 15】

前記振動部の少なくとも一部が配置される減圧空間を形成する減圧空間形成部をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

40

【請求項 16】

前記振動部に設けられる光学ミラー部をさらに備え、

前記光学ミラー部は、前記振動部の上に設けられると共に、前記振動部の幅寸法より大きい外形形状であり且つ前記振動部に対向する部分から外側に突出した部分が先端ほど漸小する形状を有することを特徴とする請求項 1 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 17】

前記梁部は、その組成が重量比で Co 31.0 ~ 37.3%、 Ni 31.4 ~ 33.4%、 Cr 19.5 ~ 20.5%、 Mo 9.5 ~ 10.5% である請求項 1 ~ 16 のいずれ

50

か 1 項に記載の振動素子。

【請求項 18】

前記梁部は、非磁性を示すことを特徴とする請求項 1 ~ 17 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 19】

前記梁部は、両持ち梁状又は片持ち梁状に設けられている請求項 1 ~ 18 のいずれか 1 項に記載の振動素子。

【請求項 20】

ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施された梁部を有する振動部と、

前記振動部に設けられる光学ミラー部と、

前記振動部を振動させる駆動部と、

前記光学ミラー部のミラー面に光を照射する光源と、

を備え、

前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、

前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動され、

前記振動部による前記光学ミラー部の振動に基づいて光走査させることを特徴とする光走査装置。

【請求項 21】

ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施された梁部を有する振動部と、

前記振動部を振動させる駆動部と、

を備え、

前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、

前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動されることを特徴とするアクチュエータ装置。

【請求項 22】

ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施された梁部を有する振動部と、

前記振動部に設けられる光学ミラー部と、

前記振動部を振動させる駆動部と、

前記光学ミラー部のミラー面に光を照射する光源と、

を備え、

前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、

前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動され、

前記振動部による前記光学ミラー部の振動に基づいて光走査して映像を投影することを特徴とする映像投影装置。

【請求項 23】

ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施された梁部を有する振動部と、

前記振動部に設けられる光学ミラー部と、

前記振動部を振動させる駆動部と、

前記光学ミラー部のミラー面に光を照射する光源と、

を備え、

10

20

30

40

50

前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、

前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動され、

前記振動部による前記光学ミラー部の振動に基づいて光走査して画像を形成することを特徴とする画像形成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、振動素子、光走査装置、アクチュエータ装置、映像投影装置及び画像形成装置に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来から、振動素子を備えた装置として、例えば、光スキャナ等の光走査装置が知られている（例えば、特許文献1参照）。この特許文献1記載の光走査装置においては、基板にステンレスからなる捻れ梁部を設け、圧電体等により基板に板波を誘起し、捻れ梁部に支持された光学ミラー部を揺動させるようになっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2006-293116号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述した特許文献1記載の光走査装置においては、捻れ梁部がステンレスで形成されているために、装置の小型化が困難であるという問題がある。

【0005】

詳細には、光走査装置を小型化するためには、振動素子の小型化と振動を制御する駆動部の小型化が必要であり、それには光走査装置の振動特性の確保と駆動の効率化が求められる。例えば、共振周波数と捻り角とを維持しながら振動素子を小型化する場合、捻れ梁部を短くすると捻れ梁部に加わる応力が増大してしまう。このため、ステンレスからなる捻れ梁部を短くしたい場合、疲労特性が低下すると共に、振動減衰率の増加に伴う駆動効率の低下の問題が生じてしまう。一方、振動減衰率の低減と疲労特性改善のために、捻れ梁部に析出硬化系ステンレス鋼等を用いることも考えられるが、小型化に対応するには更なる振動特性の向上が求められる。

30

【0006】

また、振動素子を小型化するにあたり、捻れ梁部を短くすると、捻れ梁部の応力の増加に伴ってばねの非線形性が強く現れ、周波数特性の非対称性が大きくなり、共振周波数近傍の振動が不安定になるという問題が発生する。この場合、共振周波数近傍を避けて使用することも可能であるが、結局、駆動効率が低下するために、振動素子の小型化は難しくなる。この周波数特性に現れる非対称性は、振動減衰率の影響を大きく受け、ばねの非線形性が同じで振動減衰率だけを低減した場合には、非対称性は大きくなる方向に変化する。このため、共振周波数近傍の振動が不安定になる現象を避けて振動素子の小型化を実現するには、ばねの非線形性と振動減衰率の低減とを併せて行う必要がある。

40

【0007】

さらに、振動減衰率は、捻れ梁部を形成する材料の制振性（内部摩擦）や光学ミラー部の空気抵抗の大きさ等に依存する。ジッタの低減のために光学ミラー部の形状を工夫したり、減圧したりして空気抵抗を低減する場合は、振動減衰率だけを低減したことになるため、共振周波数近傍の振動が不安定になりやすく、振動素子の小型化はより難しくなる。

【0008】

50

いずれにしても、従来の光走査装置等に搭載される振動素子においては、上記の色々な問題が生じるため、現状では、所望の疲労特性及び振動特性を確保しつつ振動素子を小型化する有効な手法は提案されていない。

【0009】

なお、上述した問題は、振動素子を備えた各種光学機器、例えば、光走査装置、アクチュエータ装置、映像投影装置、画像形成装置等を小型化する際においても同様である。

【0010】

本発明は、上述した事情に鑑み、所望の疲労特性及び振動特性を確保しつつ小型化を図ることができる振動素子、光走査装置、アクチュエータ装置、映像投影装置及び画像形成装置を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の振動素子は、ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施されてなる振動部を備え、前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動される。

【0012】

また、上記目的を達成する本発明の光学走査装置は、ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施されてなる振動部と、前記振動部に設けられる光学ミラー部と、前記振動部を振動させる駆動部と、前記光学ミラー部のミラー面に光を照射する光源とを備え、前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動され、前記振動部による前記光学ミラー部の振動に基づいて光走査させる。

【0013】

上記目的を達成する本発明のアクチュエータ装置は、ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施されてなる振動部と、前記振動部を振動させる駆動部とを備え、前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動される。

【0014】

さらに、上記目的を達成する本発明の映像投影装置は、ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施されてなる振動部と、前記振動部に設けられる光学ミラー部と、前記振動部を振動させる駆動部と、前記光学ミラー部のミラー面に光を照射する光源とを備え、前記振動部は、前記梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動され、前記振動部による前記光学ミラー部の振動に基づいて光走査して映像を投影する。

【0015】

また、上記目的を達成する本発明の画像形成装置は、ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施されてなる振動部と、前記振動部に設けられる光学ミラー部と、前記振動部を振動させる駆動部と、前記光学ミラー部のミラー面に光を照射する光源とを備え、前記振動部は、前記

10

20

30

40

50

梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動するものであり、駆動周波数と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が歪み振幅の増加に伴って線対称から非線対称に変化する特性を有し、前記振動部は、前記線対称の特性を示す範囲を用いて駆動され、前記振動部による前記光学ミラー部の振動に基づいて光走査して画像を形成する。

【発明の効果】

【0016】

本発明は、所望の疲労特性及び振動特性を確保しつつ小型化するのに有利な振動素子、光走査装置、アクチュエータ装置、映像投影装置及び画像形成装置を実現することができるという効果を奏する。

10

【0017】

本発明のその他の特徴及び利点は、添付図面を参照とした以下の説明により明らかになるであろう。なお、添付図面においては、同じ若しくは同様の構成には、同じ参照番号を付す。

【図面の簡単な説明】

【0018】

添付図面は明細書に含まれ、その一部を構成し、本発明の実施の形態を示し、その記述と共に本発明の原理を説明するために用いられる。

【図1】実施形態1の振動素子を備えたアクチュエータ装置の一例を示す概略図。

【図2】実施形態1のアクチュエータ装置に接続される駆動部の一例を示す概略図。

20

【図3】共振周波数の変化量と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線を示す図。

【図4】振動減衰率の捻り振幅依存性を示す図。

【図5】材料の振動減衰率とばね特性の非線形性とが振動素子の周波数特性に及ぼす影響を示す図。

【図6】振動素子の振動減衰率と非線形性を併せて示した図。

【図7】許容歪み振幅の変化率と梁部の長さの変化率との関係を示す図。

【図8】光学ミラー部の形状変形例を示す概略平面図。

【図9】振動素子の特性データを示す図。

【図10】梁の形状を同一にして、ミラー部の慣性モーメントを変化させた場合の梁部の各位置での捻り角を示したグラフ。

30

【図11】梁の形状を同一にして、ミラー部の慣性モーメントを変化させた場合の梁部の各位置でのせん断応力の分布を示した図。

【図12】慣性モーメントの比率に対する梁部の固定位置側における応力最大値を示したグラフ。

【図13】梁部の断面アスペクト比による撓み剛性及び慣性モーメントの変化を示したグラフ。

【図14】実施形態2の振動素子を備えたアクチュエータ装置の一例を示す概略断面図。

【図15】実施形態3に係る振動素子を備えたアクチュエータ装置の一例を示す概略図。

【図16】実施形態4に係る振動素子を備えたアクチュエータ装置の一例を示す概略図。

【図17】実施形態5に係る振動素子を備えた画像形成装置の概略図。

40

【図18】実施形態6に係る振動素子を備えた映像投影装置の概略図。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下に本発明を実施の形態に基づいて詳細に説明する。

【0020】

本発明の振動素子は、ヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理後のヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施された振動部を備えたものからなる。

【0021】

具体的には、加工硬化処理により母材（加工対象物）のヤング率を一時的に低下させ、その後の時効硬化処理によりその母材のヤング率が回復、または、上昇するような材料を

50

用いて振動部を形成する。より詳細には、振動部を形成する材料は、例えば、室温で強加工を施すことにより加工硬化がなされ、その後、歪み時効熱処理により時効硬化がなされた材料であり、加工硬化の際に、塑性加工によりヤング率が低下する程度まで高密度に転位を導入され、その後の時効硬化によって、ヤング率が回復、または、上昇する程度まで転位の運動を阻害させられた材料である。なお、本発明において「時効硬化処理によりヤング率を回復又は上昇させる」とは、例えば、加工硬化処理前のヤング率から上昇、あるいは加工硬化処理前のヤング率と同程度又はそれ以上に上昇させること含むものとする。また、本発明において「加工硬化処理によりヤング率を低下させる」とは、例えば、その後の時効硬化処理によってヤング率を回復又は上昇させることができる程度に低下させることを含むものとする。

10

【0022】

ここで、振動部を形成する材料としては、例えば、加工硬化及び時効硬化型のCo-Ni基合金、Co-Cr基合金等の金属材料を好適に用いることができる。「加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金(又はCo-Cr基合金)」とは、例えば、加工硬化処理と時効硬化処理とがそれぞれ有効に施されたCo-Ni基合金(又はCo-Cr基合金)を含むものである。振動部は、例えば、加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金となる素材(出発原料)に加工硬化処理を施して歪みを形成した後に、時効硬化処理を施すことで形成される。

【0023】

具体的には、振動部を形成するための出発原料は、溶製後に熱間鍛造、均質化熱処理等の工程を経て得られた、置換型の溶質元素を含有する、少なくともCo及びNiを含むマトリクスである。前記出発原料に対し冷間圧延により加工硬化処理を施し、次いで、プレス加工、レーザー加工、ワイヤーカット等の成形加工処理を施して所定形状、例えば長尺梁形状に加工する。その後、真空中、または、還元雰囲気中で時効硬化熱処理を行うことにより、高強度、且つ、減衰能が低く、弾性限界が高い等、良好な振動特性が有効に発現した振動部を得ることができる。

20

【0024】

原料物質を振動部としての所定形状に加工する成形加工処理を加工硬化処理の前に行うと、成形加工処理の対象が硬化前の出発原料であるため、成形加工処理を容易に実行できる。しかし、成形加工処理後の加工硬化処理に伴って振動部の形状が変化するので、振動部を所定形状とするために、成形加工処理を再度行うことが必要となる。一方、成形加工処理を時効硬化処理の後に行うとすると、振動部を所定形状に加工する成形加工処理は1回だけでよい。しかし、加工硬化、時効硬化と2段階の硬化を経た原料物質は、硬さが非常に増大しているため、所定形状に成形加工することが困難である。そこで、本発明では、原料物質が、加工硬化処理によって硬さが増大しているものの、なお形状加工が比較的容易に行う状態にある、加工硬化処理と時効硬化処理との間に、原料物質を振動部としての所定形状に加工する成形加工処理を実行する。

30

【0025】

ここで、このような振動部を形成する材料としては、時効硬化のための熱処理温度の変化に応じて機械的特性(引張り強さ、硬さ、伸び率等の各特性)が変化する材料であることが好ましい。例えば、常温環境下から熱処理を行うことによって機械的特性が揃って高まる材料であることが好ましい。あるいは、熱処理条件がある所定の温度又は温度域を過ぎると、所望の引張り強さや硬さの特性が得られ、伸び率も高まるような材料であることが好ましい。即ち、熱処理の条件によって振動部に持たせる機械的特性を成分・組成等の変更によって適宜調整できるようなパネ材料であることが望ましい。特に、振動部がベースから梁状(長細形状)に設けられる梁部を有し、且つこの梁部の長手方向軸線に対して交差する方向に捻り振動する場合等、即ち、高い振動特性(超高弾性で機械的強度が強く、耐久性にも優れた特性)が要求される場合に、上記のような振動部を形成する材料が有効である。

40

【0026】

50

ここで、振動部を形成する素材は、積層欠陥エネルギーの低い面心立方格子構造を持つ材料とし、積層欠陥に溶質元素が偏析して拡張転位を固着する「鈴木効果」を有効に利用できるものとする事ができる。これにより、拡張転位の幅が拡がり、加工硬化、及び、時効硬化時に、鈴木効果を促進して拡張転位を強固に固着することが可能になる。この鈴木効果は、高温でも有効に働く固着機構であり、時効熱処理時に特に有効である。また、これ以外にも、転位心に偏析するコットレル効果や微細な変態双晶形成による転位すべりの阻害機構を併せて利用しても良い。

【 0 0 2 7 】

このような素材では、強加工で高密度の転位を導入することが可能であり、加工硬化により強度と耐久性が大幅に向上するが、この段階では未だ転位の張り出しがあるために、ヤング率は低下する。逆に言えば、ヤング率が低下する程度まで歪みを導入するように加工硬化を行う。その後、時効熱処理により転位を強固に固着することで、強度と耐久性がさらに向上すると共に、ヤング率を上昇あるいは回復、または、加工硬化前よりもさらに上昇させることができる。このようにヤング率を上昇あるいは回復、または、加工硬化前よりも上昇する程度に転位を強固に固着した状態では、転位線の振動による内部摩擦が低減して振動素子のQ値が大幅に向上し、さらに、強度向上による降伏点の上昇と内部摩擦の低減により弾性限界が向上し、応力 - 歪み線図上の線型弾性域が拡大する、即ち、バネ特性の線形性が向上する。

【 0 0 2 8 】

また、面心立方格子構造をもつ材料では、ヤング率は原子間距離に依存して、 $\langle 110 \rangle$ 方位が最大、 $\langle 111 \rangle$ 方位が最小となり、 $\langle 100 \rangle$ 方位はその中間となる。冷間圧延により結晶を配向させると、ヤング率は、異方性を持ち、 $\langle 110 \rangle$ 集合組織の形成される方向で最大となる。特に限定されるわけではないが、撓みに対する強度を考慮すると、振動部にヤング率の大きい $\langle 110 \rangle$ 集合組織が形成される方向の材料を用いるのが好ましく、時効硬化処理もこの方向のヤング率が回復、または、上昇するように施されることが好ましい。

【 0 0 2 9 】

また、冷間線引により加工硬化を施した線材を用いて振動部に形成しても良い。さらに、冷間線引した線材に冷間圧延を施して、集合組織の形成を制御した材料を用いても同様に良い。

【 0 0 3 0 】

ここで、成形加工処理としては、超塑性加工を用いてもよい。また、時効硬化処理としては、有効に時効硬化が進むような温度条件、例えば、加工硬化処理の加工条件に応じて適宜調整される温度条件に基づいて行うのが好ましい。加工条件にもよるが、時効硬化処理は、再結晶化温度以下、例えば、 $400 \sim 700$ 程度の温度条件下で数十分から数時間熱処理することで行うことができる。また、このような熱処理においては、例えば、 1T 以上の強磁場環境下で行うことにより鈴木効果を促進して、処理時間の短縮化を図ってもよい。

【 0 0 3 1 】

振動部は、長尺梁として構成され、その長さ方向に沿って光学ミラー部が取り付けられない第1領域及び第2領域と光学ミラー部が取り付けられる第3領域とを含む場合、第3領域は振動部の長手方向において第1領域と第2領域とによって挟まれ、時効硬化処理は、第1領域と第3領域とで互いに異なる温度条件の下で行うようにしてもよい。この場合には、熱処理の条件によって振動部に持たせる機械的特性を成分・組成等の変更によって適宜調整できるようなバネ材料であることが望ましい。例えば、光学ミラー部が取り付けられない第1領域及び第2領域と光学ミラー部が取り付けられる第3領域とを機械的特性がそれぞれ異なった部分として機能分離するために、個別に加熱条件を変えて熱処理を施すようにしてもよい。ここでいう機械的特性とは、例えば、引っ張り、曲げ、圧縮、せん断、硬さ、衝撃、疲労等の外部から加わる力（外力）に対する性質をいうが、特に、光学ミラー部が取り付けられる第3領域における機械的特性としては高硬度とし、光学ミラー

10

20

30

40

50

部が取り付けられない第1及び第2領域における機械的特性は引張り方向の特性が強く・高疲労特性とするのが好ましい。

【0032】

そして、本発明によれば、上述したようにヤング率を低下させる加工硬化処理と当該加工硬化処理で低下されたヤング率を回復又は上昇させる時効硬化処理とが施される振動部を形成することで、疲労特性及び機械特性等を高めることができる。また、本発明によれば、振動減衰率が非常に低く、特に、振動減衰率の低さに対して不安定性を生じないほどにバネの非線形性が小さくなり、振動減衰率の歪み振幅依存性も非常に小さくなる。このため、所望の疲労特性及び振動特性を有する振動素子及びこの振動素子を備えたアクチュエータ装置等の小型化を図ることができると共に、消費電力を低減することができる。

10

【0033】

具体的には、振動素子の歪み変形部を構成する振動部を、例えば、上述した加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金で形成する。そうすると、振動部は、高強度で、線型弾性域が広く、且つ、内部摩擦の小さい部位となる。例えば、共振周波数の変化量と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が尖鋭で、且つ、線対称となるような特性、すなわち、Q値が高く、且つ、ばね特性の非線形性が非常に小さな特性が得られる。このような振動部は、振動変形による最大歪み振幅が 3×10^{-3} 程度まで大きくなっても不安定性を生じることがなく、消費電力が少ない。一方、振動部は、振動のし易さを示すQ値が1000以上となり、振動減衰率が非常に小さく、ばね特性の非線形性も小さくなるため、このような振動部により光走査装置等の光学機器を製作することにより、振動特性を向上しつつ消費電力を大幅に低減することができる。したがって、本発明は、所望の疲労特性及び振動特性を確保しつつ小型化するのに有利な振動素子及び光走査装置並びに映像投影装置を実現することができる。

20

【0034】

「Co-Ni基合金」とは、コバルト[Co]及びニッケル[Ni]を含有する合金である。「Co-Ni基合金」は、好ましくは、積層欠陥エネルギーを低下させるクロム[Cr]と、マトリクス of 固溶強化、偏析により転位を固着して時効、及び、加工硬化能の向上に寄与する溶質元素としてモリブデン[Mo]、鉄[Fe]等を含む。「Co-Ni基合金」は、例えば、Co-Ni-Cr-Mo合金、Co-Ni-Fe-Cr合金等である。また、これらの合金は、溶質元素として同様の働きをするニオブ[Nb]や、面心立方格子相を安定化させ、積層欠陥エネルギーを低下させるマンガン[Mn]、マトリクスの強化と積層欠陥エネルギーの低下に寄与するタングステン[W]、鑄塊組織の微細化や強度向上に寄与するチタン[Ti]、熱間加工性を改善するボロン[B]、マグネシウム[Mg]等を、マトリクスに固溶し、Cr、Mo、Nb等と炭化物を形成して粒界を強化する炭素[C]などを含有しても良い。

30

【0035】

Co-Ni-Cr-Mo合金は、その主要組成が重量比でCo20.0~50.0%、Ni20.0~45.0%、Cr+Mo20.0~40.0%(Cr:18~26%、Mo:3~11%)であることが好ましく、特に、Co31.0~37.3%、Ni31.4~33.4%、Cr19.5~20.5%、Mo9.5~10.5%であることがさらに好ましい。このような組成のCo-Ni-Cr-Mo合金から振動部を形成することにより、振動素子等の小型化に非常に有利となる。このような合金では、圧延方向に<100>集合組織が形成され、圧延方向と直交する方向に<110>集合組織が形成されるため、振動部には圧延方向と直交する方向の材料を用いるのが好ましい。また、このような合金での時効熱処理は、500~600の温度で2時間程度行うのが最適である。

40

【0036】

なお、本発明においては、上記組成のCo-Ni-Cr-Mo合金のように、非磁性を示す加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金から振動部を形成することが好ましい。これは、振動部を振動させる駆動部として、例えば、磁界発生部を採用した場合に、安定した電磁駆動を実現することができるからである。なお、駆動部は、磁界発生部に限定され

50

ず、例えば、圧電素子等を採用してもよく、この場合には材料の磁性は問わない。

【0037】

また、本発明では、加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金から振動素子の少なくとも一部を、減圧空間を形成する減圧空間形成部（封止構造体）内に配置することが好ましい。これは、常圧下と比べて、振動特性を更に高めることができるからである。特に、振動部に各種機能部、具体的には光学ミラー等を設けて高機能デバイスとする場合においては、上述した振動部の少なくとも一部である機能部等を減圧空間形成部内に配置することが更に好ましい。これにより、機能部等にかかる空気抵抗の影響を低減することができ、振動特性を更に高めることができる。本発明では、減圧空間形成部によって振動部や機能部等の構造体の全体を覆うようにしてもよい。

10

【0038】

なお、本発明は、上述したように加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金を用いて振動部を形成することが好ましい。しかし、特にこれに限定されず、例えば、加工硬化処理によりヤング率が低下すると共に、その後の時効硬化処理によりヤング率が上昇、あるいは加工硬化処理後と同等まで回復、または、加工硬化処理後よりも上昇するような材料であれば好適に用いることができる。

【0039】

以下、図面を参照しながら、以下の実施形態に基づいて、本発明の振動素子を有するアクチュエータ装置、光走査装置、画像形成装置、映像投影装置の具体例について詳細に説明する。

20

【0040】

（実施形態1）

図1は、本発明の実施形態1に係る振動素子を備えたアクチュエータ装置の一例を示す概略図であり、図1の1aは概略上面図、1bはA-A'断面図である。また、図2は、図1のアクチュエータ装置に接続される駆動部の一例を示す概略図である。

【0041】

図1の1a及び1bに示すように、実施形態1に係るアクチュエータ装置1は、振動鏡装置であり、基板10と、この基板10が実装される保持部材20と、振動素子30とを備えている。保持部材20は、実施形態1では、図1の1a及び1bに示すように、基板10の周縁部に沿って環状のフランジ部21が設けられており、その中央部は凹部22を構成している。そして、実施形態1では、振動素子30が、凹部22内に実装されており、基板10及び保持部材20とカバー部材40とで構成（区画）される減圧空間50内に配置されている。

30

【0042】

また、振動素子30は、実施形態1では、保持部材20との接合部となるフレーム（外枠部）60と、このフレーム60の対向する両端部を保持部材20の凹部（開口）22を跨ぐように架橋する1本の梁部31と、梁部31の長手方向中央部、すなわち、保持部材20の開口中心に対応する部分に設けられる質量体（機能部）32とを有する。また、基板10上には、質量体32に対向する部分に磁界発生部70が設けられている。

【0043】

ここで、このような振動素子30の変形部を構成する梁部31は、加工硬化処理によりヤング率が低下し、且つその後の時効硬化処理によりヤング率が上昇するような材料、例えば、本実施形態では、非磁性を示す加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金から形成されている。このような非磁性を示す加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金としては、例えば、SPRON510（セイコーインスツル株式会社製商品名：SPRON〔登録商標〕）のCo-Ni-Cr-Mo合金等を用いることができる。なお、このようなSPRON510等の素材を、例えば、圧延等の強加工により強度を上昇させた後に熱処理を施して梁部31を形成することにより、低減衰能の特性等の高振動特性を有する振動素子30を得ることができる。

40

【0044】

50

また、梁部31は、プレス加工やレーザー加工、ワイヤーカット等で所定の形状、例えば長尺梁形状に成形加工することができる。ここで、成形加工方法としては、例えば、超塑性加工を用いてもよい。なお、梁部31としては、非磁性の加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金の線材を用い、フレーム60に接合することで形成してもよい。このようにして形作られる梁部31は、上述した加工硬化処理の後、振動特性を高めるための時効硬化処理として、例えば、熱処理を施すことで得られる。ここでの梁部31への熱処理は、400～700の温度で、数十分から数時間行うのがよいが、処理時間を短縮するには、例えば、強磁場中での熱処理を用いることも可能である。

【0045】

ここで、本発明では、引張り加工を施した梁部、あるいは、線状材料を引張りながらしごく、しごき加工を施した梁部、もしくは引張り加工後にしごき加工を施した梁部によって振動部を構成することが好ましい。これにより、真直度を向上させた梁部を実現することができ、振動部として繰り返される捩れ変形の安定化を図ることができる。詳細には、梁部は、上述したように、加工硬化処理の後、振動特性を高めるために、時効硬化処理として、例えば、熱処理を施すことで得られる。しかしながら、線状に加工される梁部には、反りが発生して真直度が低くなることがある。梁部にこのような反りがあると、梁部に設けられる光学ミラー等の揺動体の円滑な揺動運動を損ない、結果として、投入エネルギーに対して光反射面の振れ角が小さくなるように作用することが懸念される。ここでいう「振れ角」とは、例えば、梁部の長手方向軸線を中心として上記揺動体が揺動する場合に、揺動体の揺動方向が切り替わる2つの揺動端のなす角を意味する。そして、揺動体が、上述したような反りのある梁部に固定されていると、梁部の長手方向軸線が理想となる揺動軸線（反りがない場合の梁部の軸線）に一致せず、揺動体は、振動状態が不安定になり易くなる。この結果、揺動体の光反射面を所望の振れ角で揺動させるために、例えば、より多くの電気エネルギーを振動部に与えること等を検討しなければならない。したがって、梁部の反り量を低減させる、すなわち、真直度を向上させるため、ダイス加工時に、引張り加工、または線状材料にしごき加工を施す、すなわち、テンション（引張り）をかけながらしごくこと、あるいは引張り加工後にしごき加工を施すことが、振動特性向上の面で特に有効である。なお、梁部の外周面には、このような引張り加工による加工痕が形成されることがある。

【0046】

また、成形加工後、または、熱処理後に梁部にエッチング処理を施してもよい。上述の熱処理温度や処理時間は、材料組成や強加工の加工率等によって最適に設定されるが、成形加工時に加わる応力や熱により梁断面の外周と内部で歪や熱履歴が異なる場合には、外周部が熱処理不足、または、熱処理過剰となり、ヤング率や硬度が低く材料非線形性が大きい変質層となる。この変質層は、梁の振動を吸収する制振材として機能してQ値の低下を招く原因となる。また、この変質層は、捻り振動時に大きな応力が加わる断面外周部にあるため、その材料特性がばね特性に大きな影響を及ぼし、非線形性を増加させて振動の不安定性の原因ともなる。この変質層の影響は、素子を小型化するために梁部を細く成形した場合に特に大きく、変質層を除去することは、本発明の効果を得るのに有効である。Co-Ni基合金は耐食性に優れるためエッチングされにくい材料であるが、硝酸セリウムアンモニウムと過塩素酸の混合液などのエッチング液を用い、必要に応じて50～70程度の温度を掛けることで、数分から数時間の処理で表面を数十μm程度除去することが可能であり、変質層の除去には有効である。

【0047】

例えば、本実施形態では、加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金となる素材（出発原料）を用いて、圧延等による加工硬化処理を行って板状部材（図示しない）を作製し、この板状部材を所定の形状に成形加工処理後に時効硬化処理を施すことで、梁部31を形成した。ここで、板状部材を作製する際の加工硬化処理及び時効硬化処理においては、<100>結晶方位が圧延方向となるように結晶配向させると共に、<110>結晶方位が板状部材面内で圧延方向と直交する方向となるように結晶配向させ、且つ圧延方向と直交

10

20

30

40

50

する方向においてヤング率を上昇させるように処理を行った。

【0048】

なお、梁部31の略中央部には、後述する光学ミラー部322をその上に設置するためのミラー設置部311が梁部31よりも幅広に設けられている。このミラー設置部311は、本実施形態では、梁部31と一体的に設けられ、梁部31の形状に成形加工する際に同時に形成している。

【0049】

また、このような梁部31に設けられる質量体32は、図1の1bに示すように、ミラー設置部311に設置される光学ミラー部322と、ミラー設置部311の裏面、すなわち、光学ミラー部322とは反対側の面に設けられる磁石323とから構成されている。

10

【0050】

ここで、光学ミラー部322及びミラー設置部311は、梁部31の幅寸法より大きい外形形状からなり、例えば、本実施形態では、光学ミラー部322及びミラー設置部311は板状で且つ外形形状が長方形である。また、磁石323は、ミラー設置部311の長手方向に亘って両端部に達するように設けられている。さらに、磁石323は、本実施形態では、NS方向が水平方向、すなわち、基板10の面方向と平行となるように設けられている。一方、基板10上の磁界発生部70は、コイル状の金属パターンからなり、質量体に対向する領域に設けられている。

【0051】

また、光学ミラー部322は、例えば、蒸着等によって形成されたAlやAu、Ag等の反射膜であってもよいし、シリコンウエハ等、鏡面形成された部材を接合、または、接着して配置したものでよく、特に限定されるものではない。

20

【0052】

しかし、Co-Ni基合金は耐オゾン性に課題があり、オゾンガスなどに曝されるとCoやCrの不動態膜が反応して表面にピットが形成されるため、画像形成装置等で使用する場合には光学ミラー部には耐オゾン性部材を用いるのがよい。このオゾンによるピット形成は、梁の機械特性に及ぼす影響よりも、光学ミラー部表面の平坦性や、接合部に及ぼす影響が大きく、反射率の低下や接合強度の低下を引き起こす。反射膜を形成する場合にはSiO₂やTiO₂などの保護膜を形成するのがよい。また、鏡面形成部材を接合する場合には、接合部や部材端面に耐オゾン性樹脂等を設けるのがよい。

30

【0053】

一方、磁石323の種類としては、できるだけ小型で振動素子30の重量への寄与が小さく、且つ、十分な磁力を有することが要求されるため、Nd-Fe-B系磁石やSm-Co系磁石等を好適に用いることができる。また、磁石323の形態は、例えば、焼結磁石やボンド磁石の他、スパッタ法等で形成した薄膜磁石であってもよく、特に限定されるものではない。

【0054】

そして、このような磁石323に磁界を作用させる磁界発生部70は、振動素子30に捻り振動を励起できるトルクが磁石に加わるものであれば、特に限定されず、例えば、図1の1aのようなシートコイルの他、ヨークとなる軟磁性体を内包(内在)するコイル等であってもよい。また、光学ミラー部322を隠さない範囲で、振動素子30を挟むように両側に磁界発生部70を設けるようにしてもよい。

40

【0055】

なお、磁界発生部70は、駆動部の一部を構成する図2に示すように駆動回路75が接続されて、振動素子30の共振周波数近傍の周波数を含む信号を出力できるものであれば特に限定されず、例えば、正弦波以外に、三角波やパルス出力等であってもよい。

【0056】

このような構造からなる本実施形態に係るアクチュエータ装置1においては、駆動回路75で駆動される磁界発生部70からの磁界により磁石323が回転力を受け、質量体32と梁部31からなる振動素子30に、捻り振動を励起する。具体的には、磁界発生部7

50

0により磁界を生じさせると、磁石323がその磁界の作用を受けることにより質量体32に回転力が付与され、これに連動して梁部31が捻れ変形する。そして、駆動回路75の制御により、このような梁部31の捻れ変形を繰り返し動作させることにより、光学ミラー部322が一次的に動作する振動ミラー（機能部）となる。

【0057】

ここで、振動素子の共振周波数 f は、梁部のばね定数 k 、梁部の捻り中心軸回りの慣性モーメント I_t 、及び、磁石を含むミラー部全体の慣性モーメント I_m によって

$$f = (1/2\pi) \{ k / (I_m + I_t) \}^{1/2}$$

で表され、所望の特性が得られるように梁部、及び、ミラー部の形状を設定すればよい。しかし、特に素子の共振周波数を上げて高速化するためにミラー部の慣性モーメントを下げ、梁部を太くしてばね定数を上げる場合などに、非線形性が発現して振動が不安定になるという課題がある。この現象は、空気抵抗低減のためにミラー部の形状を工夫した場合に特に顕著であり、 Q 値の向上とミラー部の慣性モーメントの低下による非線形性の発現により不安定性が生じる。

10

【0058】

図10は、梁部の形状を同一にして、ミラー部の慣性モーメントを変化させた場合の梁の捻り角を示したグラフである。横軸は梁部の捻り軸方向の位置を示し、位置 x を梁部の長さ L で規格化した x/L で示す。 $x=0$ は梁部の固定位置であり、 $x=L$ はミラー部との接続位置である。縦軸は各位置 x/L の捻り角 θ であり、ミラー部との接続位置の最大捻り角 θ_0 で規格化した値で示す。ミラー部の慣性モーメント I_m を変化させると、梁部の慣性モーメント I_t に対する比率 I_m/I_t が小さくなるに従って、捻り角は一様でなくなり、固定位置側で大きく捻れるようになる。

20

【0059】

図11は、このときの各位置でのせん断応力の分布を示した図であり、横軸は規格化した位置 x/L 、縦軸は捻り角が一様なときのせん断応力を基準にしたせん断応力を示す。慣性モーメントの比率 I_m/I_t が小さくなるに従って、固定位置側での応力が増大している。この応力の増大により、固定位置側では材料の非線形性が発現しやすくなり、捻り角が一様な場合に比べて振動の不安定性が生じやすくなる。図12は、慣性モーメントの比率 I_m/I_t に対して、図11の固定位置側の応力最大値を示したグラフである。比率 I_m/I_t が2以下で急激に応力が増加することから、不安定性を生じさせないためには、ミラー部全体の慣性モーメントが、梁部の慣性モーメントの2倍以上であるのがよく、5倍以上であればさらによい。

30

【0060】

また、本発明の振動素子は Q 値が高いために、外部からの衝撃などで生じる撓み振動が減衰しにくいという課題がある。撓み振動の抑制、または、速やかに減衰させるには梁部の撓み剛性をできるだけ向上させ、撓み振動モードの共振周波数をできるだけ高くする必要がある。図13は、梁部の幅に対する厚み、即ち、断面アスペクト比による梁部の撓み剛性の変化、及び、梁部の慣性モーメントの変化を示したグラフである。各グラフは、断面アスペクト比が1のときの値で夫々規格化してある。梁部の長さを固定して、同じばね定数が得られるように梁部の幅 w と厚み t を設定したときの断面アスペクト比 t/w による変化である。これにより、撓み剛性 EI は断面アスペクト比が1に近いほどよい。また、上述したように、ミラー部と梁部の慣性モーメント比 I_m/I_t はできるだけ大きいほうがよく、そのためには梁部の慣性モーメントはできるだけ小さいほうがよい。図13から、梁部の慣性モーメントはアスペクト比0.3以下で急激に増加する。このため、振動の不安定性を生じさせず、且つ、撓み剛性を向上させて捻り振動以外の振動を抑制するには、梁断面のアスペクト比 t/w は0.3以上であればよく、0.5以上であればさらによい。

40

【0061】

本実施形態では、上述したように、捻れ変形させる梁部31が加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金から構成されるので、例えば、ステンレスで形成した場合と比べて、疲

50

劣特性及び機械特性等を格段に高めることができる。また、振動減衰率が非常に低い振動素子 30 となり、特に、振動減衰率の低さに対して不安定性を生じないほどにバネの非線形性が小さく、振動減衰率の歪み振幅依存性も非常に小さい振動素子 30 となる。

【0062】

このため、本実施形態によれば、所望の疲労特性及び振動特性を確保しつつ梁部 31 を短くすることで振動素子 30 の小型化を図ることができる。また、このように小型化された振動素子 30 を MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) ミラーや光スイッチ等のようなデバイス構造に適用することにより、駆動に関わる部品と共に縮小が可能であり、デバイス構造全体の小型化にも寄与できる他、所望の振動特性が得られるため、消費電力の低い高機能デバイスを実現することができる。特に、本実施形態では、上述した加工硬化及び時効硬化型 Co-Ni 基合金からなる振動素子 30 を減圧空間 50 に配置することにより、常圧下と比べて、振動特性を更に高めることができる。また、機能部等にかかる空気抵抗の影響を低減することができ、機能性の向上にも寄与する。

10

【0063】

ここで、本実施形態のアクチュエータ装置 1 に適用される振動素子 30 においては、振動部の主要部を構成する梁部 31 を加工硬化及び時効硬化型 Co-Ni 基合金から構成することで、共振周波数の変化量と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線のピーク形状が線対称となるような特性、すなわち、ばね特性の非線形性が非常に小さな振動特性が得られる。

20

【0064】

図 3 には、上述した実施形態 1 にかかる振動素子 30 の構造 (図 1) に基づいて作製した実施例 1 の振動素子及び比較例 1 ~ 3 の各振動素子について、共振周波数の変化量と歪み振幅の大きさとの関係を示す共振特性曲線 (周波数特性) を示す。横軸は規格化した角周波数 ω / ω_0 であり、縦軸は捻り振幅の大きさ (deg) である。 ω_0 の値には、捻り振幅がゼロのときの角周波数 (外挿) 値を用いている。

【0065】

[実施例 1]

加工硬化及び時効硬化型 Co-Ni 基合金として、35% Co、32% Ni、20% Cr、10% Mo の組成を有する SPRON 510 の圧延材を用い、時効処理として 550 で 2 時間の熱処理を施して形成した振動部を有するものを実施例 1 の振動素子とした。なお、実施例 1 の振動素子の共振周波数は約 2 kHz とした。

30

【0066】

[比較例 1]

SUS 304 と同じオーステナイト系ステンレス鋼の中で、機械特性のよい SUS 301 からなる振動部とした以外は実施例 1 と同様の構造を有するものを作製し、これを比較例 1 の振動素子とした。

【0067】

[比較例 2]

析出硬化系ステンレス鋼の SUS 631 からなる振動部とした以外は実施例 1 と同様の構造を有するものを作製し、これを比較例 2 の振動素子とした。

40

【0068】

[比較例 3]

加工硬化のみを施した以外は実施例 1 と同様の構造を有するものを比較例 3 の振動素子とした。

【0069】

図 3 に示すように、実施例 1 の振動素子と比較例 1 ~ 3 の振動素子との共振周波数特性を比較すると、比較例 1 ~ 3 の SUS 301、SUS 631、及び加工硬化のみの Co-Ni 基合金からなる振動素子は、振動の Q 値が低い、すなわち、振動減衰率が大きく、また、共振特性が非対称であり、ばね特性の非線形性が現れている。

50

【 0 0 7 0 】

これに対し、実施例 1 の振動素子においては、大気圧環境下及び減圧環境下のいずれの場合においても、共振特性曲線のピーク形状が線対称となるような特性、すなわち、ばね特性の非線形性が非常に小さな振動特性が現れている。特に、実施例 1 の振動素子は、減圧環境下において、非常に尖鋭な特性であるにも関わらず非線形性は殆ど見られず、振動特性が高い。

【 0 0 7 1 】

このように実施例 1 の振動素子は、ばね特性の非線形性が非常に小さな振動特性を発揮し、高い振動特性が得られるため、所望の振動特性を確保しつつ設計の自由度を持たせることができる。すなわち、実施例 1 の振動素子は、例えば、比較例 1 (S U S 3 0 1) 及び比較例 2 (S U S 6 3 1) の材料を振動部の素材に用いた場合と比べて、格段に振動特性を向上することができる。このため、例えば、光走査装置等の電子デバイスに実施例 1 の振動素子を実装する際において、振動素子の小型化を図ったり、あるいは素子構造を見直したり寸法等を変更したりする設計の自由度を格段に向上することができる。したがって、実施例 1 の振動素子によれば、デバイス性能を維持しつつ様々な小型の電子デバイスを実現可能である。

【 0 0 7 2 】

図 4 には、実施例 1 の振動素子に用いた、加工硬化及び時効硬化処理が施された C o - N i 基合金と、比較例 1、2 の振動素子に用いた S U S 3 0 1、S U S 6 3 1 についての振動減衰率の捻り振幅依存性を示す。なお、捻り振幅依存性は、梁部 3 1 の断面形状や長さによって変わるため、形状に依らない材料の特性として、捻り振幅を梁部 3 1 に加わる最大せん断応力に対応する最大歪み振幅に変換して示してある。また、図 4 は、空気抵抗が無視できる減圧下での測定結果であり、材料自体の振動減衰率 (Q^{-1})、すなわち、制振特性を示すものである。

【 0 0 7 3 】

S U S 3 0 1、及び、S U S 6 3 1 は歪み振幅の増加によって振動減衰率が大きく増加する。このため、S U S 3 0 1 や S U S 6 3 1 を用いた振動素子 (比較例 1 及び 2) を歪み振幅の大きい領域で使用する場合には、駆動力を得るために磁界発生部に大きなヨークを用いたり、電源回路やバッテリーの容量を増加させたりする必要があり、駆動部の小型化が難しくなる。また、S U S 6 3 1 は、S U S 3 0 1 よりも振動減衰率の大きさにおいて良好な特性を示すが、歪み振幅が大きい領域ではまだ不十分である。これに対し、実施例 1 に用いる加工硬化及び時効硬化処理が施された C o - N i 基合金を用いた振動素子においては、材料の振動減衰率に歪み振幅依存性は無く、歪み振幅の大きい領域で使用する場合にも大きな駆動力を必要としない。

【 0 0 7 4 】

図 5 は、材料の振動減衰率とばね特性の非線形性が振動素子の周波数特性に及ぼす影響を示したものである。横軸は規格化された周波数であり、縦軸は捻り振幅である。ばね特性に非線形性がある場合には、振動振幅の増加に伴って最大振幅が得られる共振周波数が変化する。図 5 では共振周波数が低下し、それと共に低周波側の特性が急峻になり、さらに振動振幅が増加するとヒステリシスが現れる。周波数特性が急峻になると共振周波数付近は制御が難しい不安定な状態となる。このような特性の振動素子を用いる場合には、共振周波数を避けて使用する必要があるため、所望の振動振幅を得るには強制振動により大きい駆動力が必要となる。これは駆動部の小型化の妨げとなる。周波数特性が急峻になり、ヒステリシスが発生しはじめるのは、共振周波数の変化量 ($\Delta \omega / \omega_r$) が振動の減衰率 $Q^{-1} = (\Delta \omega / \omega_r)$ を上回る振動振幅 A_r のときであり、共振周波数で安定して駆動できるのは振動振幅が A_r 以下の範囲である。

【 0 0 7 5 】

図 6 は、振動素子の振動減衰率と非線形性を併せて示した図である。横軸は歪み振幅の大きさであり、縦軸は振動減衰率 Q^{-1} 、及び、非線形性の大きさを表す共振周波数の変化量 ($\Delta \omega / \omega_r$) である。図 6 の 6 a は大気圧下での測定結果であり、6 b は減圧下で

10

20

30

40

50

のそれである。図6の6bの特性は空気抵抗を殆ど無視できる状態のものであり、空気抵抗の大きさに応じて図6の6aと6bの中間の特性になる。振動減衰率と共振周波数変化量のグラフの交点が、図5で説明したように、共振周波数で安定して駆動できる限界の許容歪み振幅であり、それ以下の歪み振幅で使用する必要がある。6aの大気圧下での振動減衰率のグラフは、ミラーの空気抵抗の影響を含んでいるため、ミラーの大きさ、及び、形状によって異なる。図6の6aのグラフは、 $2 \times 3 \text{ mm}^2$ の矩形ミラーを用いた場合のものである。図6の6aのグラフ内で、Co-Ni基合金の振動素子の特性に交点は無く、許容歪み振幅の値が非常に大きいことが分かる。外挿値では、交点の歪み振幅はSUS301、及び、SUS631の3～4倍になる。

【0076】

10

図7に、許容歪み振幅の変化率と捻り梁部31の長さLの変化率との関係を示す。このグラフは、梁部31の断面を円形、または、アスペクト比が一定の矩形として、同じミラー形状で、同じ共振周波数と同じ捻り振幅を得るのに必要な長さを求めたものである。つまり、ある材料を用いた振動部で許容歪み振幅が θ_0 、梁部31の長さが L_0 であるとき、許容歪み振幅が θ の材料を用いると同じ仕様の振動部を作製するのにどのくらいの長さLが必要かを、比率で表したものである。このグラフから、許容歪み振幅が3～4倍になれば、梁部31の長さを1/4以下にでき、振動鏡を大幅に小型化することができることが分かる。

【0077】

図6の6aのグラフにおいて、SUS301とSUS631の許容歪み振幅は同程度の大きさである。これは、SUS631を用いた振動素子が、SUS301の振動素子に対して振動減衰率が低い分だけ駆動効率を向上させることはできるが、振動素子の小型化はできないことを示している。SUS631の非線形性は、SUS301よりは少ないが許容歪み振幅を向上させる程には少なくないことが原因であり、アクチュエータ装置（振動鏡装置等）を小型化するには、振動減衰率と非線形性との両方が最適な特性を持つことが重要であることを示している。

20

【0078】

なお、図6の6bの減圧下の特性では、6aの大気圧下の特性と比較して、SUS301、及び、SUS631の許容歪み振幅が低下している。これは、空気抵抗を減らした場合、共振周波数で安定に動作させるために、梁部31の長さを長くする必要があることを示している。つまり、減圧空間への配置や図8の8a～8cに示すような光学ミラー部322の梁部31に対向する部分から外側に突出する部分が先端ほど漸小する形状の工夫でジッタの低減を行った場合、小型化がより難しくなることを示している。なお、図8の8a～8cに示される梁部31は両持ち梁状に設けられている。

30

【0079】

これに対し、加工硬化及び時効硬化処理が施されたCo-Ni基合金を用いた場合の振動素子の許容歪み振幅も低下しているが、SUS301、及び、SUS631に対しては40%以上高い値を維持している。図7のグラフから、梁部31の長さとしてSUS301、及び、SUS631の60%程度に小型化できる。高精度なビーム走査を要求されるレーザービームプリンターやレーザープロジェクター等の用途ではジッタ対策は必須であり、これらの用途において本発明による小型化の効果は非常に大きい。

40

【0080】

図9には、実施例1及び比較例1、2の各振動素子の特性データを示す。許容歪み振幅には、実際の捻り角も併せて記載している。Q値は振動減衰率の逆数であり、捻り振幅が 25° のときの値を記載している。消費電力も同様に捻り振幅が 25° のときの値を記載している。捻り振幅の 25° という値は、比較例1、2の減圧下でのおおよその許容値であり、共振周波数近傍の振動が不安定にならない範囲で、同じ条件で各振動素子の特性を比較している。

【0081】

実施例1及び比較例2の各振動素子を消費電力で比べると、大気圧下で1/5以下、減

50

圧下では 1 / 30 となっており、また比較例 2 と比べても、実施例 1 の方が消費電力を大幅に低減できていることが分かる。このため、実施例 1 の振動素子は、大幅に駆動効率が向上しており、実施例 1 の振動素子を用いると、アクチュエータ装置の小型化が可能である。

【 0 0 8 2 】

また、実施例 1 及び比較例 3 の振動素子の許容歪み振幅は、 3×10^{-3} より大きくなっており、比較例 1 及び 2 の振動素子の許容歪み振幅よりも優れている。なお、比較例 3 の振動素子については、振動部が加工硬化処理のみで形成されているため、実施例 1 の振動素子と比べて、Q 値が小さく消費電力が大きい、すなわち、振動減衰率が非常に高く駆動効率が低いため、小型化には不利である。

10

【 0 0 8 3 】

振動素子の小型化に際して、梁部 31 の長さを最小にするには、要求される捻り振幅に対して、歪み振幅が許容値限界まで大きくなるようにすれば良い。図 9 に示された比較例 1, 2 の減圧下における Q 値の値は、ほぼ許容値限界の歪み振幅で動作させたときの値であり、ミラー形状や捻り振幅に依らず、最小の振動素子を作製した場合にはこの値となる。大気圧下では空気抵抗が加わるため、この値よりも低下する。つまり、振動が不安定にならない範囲で最小の振動素子を作製した場合、比較例 1, 2 の材料での Q 値は 550、ないし、740 程度であり、1000 を越える Q 値は得られない。

【 0 0 8 4 】

これに対して、実施例 1 の振動素子が減圧下では、比較例 1, 2 と同サイズで、1000 を超える Q 値、具体的には 4000 を越える Q 値が得られている。また、上述したように歪み振幅の許容値が大きいため、振動素子を小型化することができるが、図 6 の 6b に示されているように実施例 1 の振動減衰率は減圧下で歪み振幅依存性が殆どなく、小型化により歪み振幅を増大させても Q 値は変わらない。つまり、振動素子の Q 値向上と小型化を同時に実現することができる。

20

【 0 0 8 5 】

また、実施例 1 の振動素子が大気圧下では、小型化が可能であることは上述の通りであるが、Q 値はミラー形状や捻り振幅などに応じた空気抵抗の影響を受けて低下する。しかし、比較例 1, 2 と同サイズで図 9 に示したように 1400 を越える値が得られ、このことは、本発明に依れば比較例 1, 2 の材料では得られない 1000 を越える Q 値を実現することが可能であることを示している。

30

【 0 0 8 6 】

なお、実施例 1 の振動素子について、共振周波数の 2 kHz で捻り振幅 40°、SUS301、及び、SUS631 の許容歪み振幅を越える値で、耐久性試験を行ったところ、 4×10^{10} 回以上 (5000 時間以上) の耐久性が得られることが分かった。

【 0 0 8 7 】

なお、図 9 に示した実施例 1 の振動素子の特性データは、あくまでも比較例 1 ~ 3 との比較のために、比較例 1 ~ 3 と同形状の各振動素子を作製して得たものであり、本発明の特性を限定するものではない。

【 0 0 8 8 】

(実施形態 2)

図 14 は、本発明の実施形態 2 に係る振動素子を備えたアクチュエータ装置の一例を示す概略断面図である。

40

【 0 0 8 9 】

図 14 に示すように、本実施形態のアクチュエータ装置 1A は、振動素子 30 を封止するカバー部材を設けず、振動素子 30 を大気開放した構造とした以外は上述した実施形態 1 と同様である。なお、本実施形態では、上述した実施形態 1 で説明した同一の構成部分については同一の符号を付して重複する説明は省略する。

【 0 0 9 0 】

具体的には、本実施形態のアクチュエータ装置 1A は、振動部を構成する梁部 31 が大

50

気開放されており、常圧状態で使用される。また、保持部材 20A は、その周縁部を残して中央に貫通穴 21A が設けられている。このような空気抵抗の影響がある使用環境においても、梁部 31 を加工硬化及び時効硬化処理が施された Co - Ni 基合金で形成しているため、所望の疲労特性及び振動特性を確保しつつ小型化するのにも有利なデバイスとなる。なお、本実施形態では、梁部 31 を含む振動部が大気開放されているため、空気抵抗の影響を低減するためにも、捻り振動の回転中心から遠く移動速度の大きい箇所を面積を低減した、例えば、図 8 の 8d ~ 8f に示すような光学ミラー部 322 及び梁部 31B の形状を採用することが好ましい。

【0091】

(実施形態 3)

図 15 は、本発明の実施形態 3 に係る振動素子を備えたアクチュエータ装置の一例を示す概略図であり、図 15 の 15a は上面図、15b は B - B' 断面図、15c はカバー装着構造例である。

【0092】

図 15 の 15a 及び 15b に示すように、本実施形態のアクチュエータ装置 1B は、梁部 31B を片持ち状に設けて振動素子 30B を構成した以外は上述した実施形態 1 と同様である。なお、本実施形態では、上述した実施形態 2 で説明した同一の構成部分については同一の符号を付して重複する説明は省略する。

【0093】

図 15 の 15a 及び 15b に示すように、梁部 31B は、フレーム 60 に対して片側だけ、すなわち、片持ち梁状に設けられている。また、質量体 32B は、梁部 31B の自由端側である先端部に設けられている。このような構造を採用することにより、質量体 32B の重心が梁部 31B の延長線上に位置し、片側で支持された構成でも安定した振動が可能となる。

【0094】

この構成では、特に、自重による撓みを防止するために、梁部の長さ方向のヤング率が大きいほうが望ましく、 $\langle 110 \rangle$ 集合組織が形成された方向に梁部を形成するのが好ましい。

【0095】

また、図 15 の 15c に示すように、アクチュエータ装置 1B の構造を採用しつつ、上述した実施形態 1 のようにカバー部材 40 を設けて、減圧空間 50 内に振動素子 30B を配設することにより、空気抵抗を低減して、より安定した振動特性を得ることができる。

【0096】

(実施形態 4)

図 16 は、本発明の実施形態 4 に係る振動素子を備えたアクチュエータ装置の一例を示す概略図であり、図 16 の 16a は上面図、16b は C - C' 断面図、16c は D - D' 断面図である。

【0097】

図 16 に示すように、本実施形態のアクチュエータ装置 1C は、フレーム 70C から梁状に架橋された一対の第 1 梁部 31a と、この一対の第 1 梁部 31a を架橋した第 2 梁部 31b とを設ける。また、アクチュエータ装置 1C は、第 1 梁部 31a に外部から電圧を印加可能な複数の圧電素子 100 を設け、第 2 梁部 31b に質量体 32C を設けて振動素子 30C を構成した。それ以外は上述した実施形態 1 と同様である。なお、本実施形態では、上述した実施形態 1 で説明した同一の構成部分については同一の符号を付して重複する説明は省略する。

【0098】

具体的には、フレーム 70C を略平行に架橋する一対の第 1 梁部 31a には、第 2 梁部 31b との連結部分の両側に圧電素子 100 がそれぞれ設けられている。なお、圧電素子 100 は、チタン酸ジルコン酸鉛やチタン酸バリウム、チタン酸鉛、ニオブ酸鉛等の圧電体膜、上電極(図示なし)を積層して形成される。そして、図示しないが、駆動回路から

10

20

30

40

50

、フレーム70Cと上電極とを介して各圧電素子100に電圧を印加し、圧電素子100に互いに逆方向の撓み振動を生じさせることにより、第1梁部31aに捻りトルクを与えることができる。これにより、振動素子30Cに捻り振動が励起される。光学ミラー部322Cはミラー設置部311Cの両面に配置されている。このような構造を採用することにより、反射膜を成膜する場合には膜応力のバランスをとって光学ミラー部322Cの変形を防止し、鏡面が形成された部材を接合する場合には、重心のバランスをとる役割を果たす。

【0099】

フレーム70Cと一体に形成された質量体32C及び第1梁部31a及び第2梁部31bは、上述した実施形態1と同様に、加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金から形成されている。圧電素子100の圧電体膜に、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)等、熱処理により金属材料と鉛の反応が問題になる圧電膜を用いる場合には、金属材料と圧電膜の間に鉛の拡散を防止する中間層を形成するのが圧電特性を向上させる点で好ましい。なお、圧電素子100の形成には、エアロゾルディポジション法(AD法)が好適に用いられる。

10

【0100】

圧電素子100が形成された第1梁部31aは、圧電素子100と共に熱処理され、圧電素子100の特性向上とCo-Ni基合金の時効硬化が同時に行われる。これにより、製造プロセスを簡略化することができる。熱処理条件は、500~700で1~3時間、還元雰囲気で行われるのが望ましい。ここで、時効硬化後のCo-Ni基合金は耐熱性に優れているため、時効硬化後のCo-Ni基合金に圧電素子100を形成して、圧電膜の熱処理を行うことも可能である。

20

【0101】

振動素子30Cの特性は、上述した実施形態1と同様であり、振動素子30Cの小型化も同様に可能である。また、本実施形態では、接着等で圧電素子100を配置した場合に比べて、圧電素子100の駆動電圧を大幅に低減することができるため、電源回路等の駆動部の小型化が可能になる。

【0102】

なお、本実施形態では、アクチュエータ装置1Cの構造変形例を示したものであり、第1梁部31a及び第2梁部31bに、加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金を用いた

30

【0103】

(実施形態5)

図17は、本発明の実施形態5に係る振動素子を備えた画像形成装置の概略図である。

【0104】

図17に示すように、本実施形態の画像形成装置200は、上述した実施形態1~4で説明した振動素子30等(図17では振動素子30と図示する)を適用することができる。画像形成装置200は、レーザービームプリンター(LBP)等であり、レーザーの光201から射出された光が、射出光学系202を通り振動素子30の光学ミラー部で反射され、結像光学系203を通過して感光体204に走査される。走査されたレーザー光は、BDセンサ205で検出され、その検出信号を基に走査角の制御信号が制御回路206から出力され、振動素子30の駆動回路207にフィードバックされる。本実施形態の画像形成装置200は、加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金からなる振動部(梁部)を備えた振動素子30を有しているため、小型化に有利であり、ジッタ等の不安定性を低減させて安定したレーザー光走査が可能であり、走査角の高精度な制御が可能である。

40

【0105】

(実施形態6)

図18は、本発明の実施形態6に係る振動素子を備えた映像投影装置の概略図である。

【0106】

図18に示すように、本実施形態の映像投影装置300は、上述した実施形態1~4で

50

説明した振動素子30等(図1814では振動素子30と図示する)を適用することができる。RGB3原色を含む光源301から射出された光は、振動素子30に設けられたミラー面に照射され、垂直走査装置302により2次元走査され、スクリーン303に映像として投射される。

【0107】

また、垂直走査装置302の走査速度は振動素子30よりも遅い。垂直走査装置302には、非共振駆動で高精度な位置決めができるガルバノミラーを用いている。振動素子30は、制御回路304から出力される制御信号に基づいて駆動回路305によって走査角が制御される。また、垂直走査装置302も同様に、制御回路304からの出力に基づいて走査角が制御される。制御回路304は、入力部306及び距離測定器307による投射画角や投射サイズの設定と、映像のサイズや縦横比に基づいて、振動素子30と垂直走査装置302の走査角を変更する。映像の投射サイズは、走査角を変更しなくても、光源301のON/OFF制御で可能であるが、走査角を変更することにより光源301のOFF時間を減らし、光を有効に利用することができる。

10

【0108】

本実施形態の映像投影装置300は、加工硬化及び時効硬化型Co-Ni基合金からなる振動部を構成する梁部を備えた振動素子30を有しているため、小型化に有利でありながら、ジッタ等の不安定性を低減させることができ、走査角を変更しても安定した動作が可能である。また、振動減衰率の歪み振幅依存性が小さいために、走査角を大きくしたときの急激な消費電力増加もない。さらに、光の有効利用により光源301の駆動電力を低減することができる。これらにより、小型化と併せて、駆動部やバッテリーの容積を低減させることができ、小型で高性能な映像投影装置300を実現することができる。

20

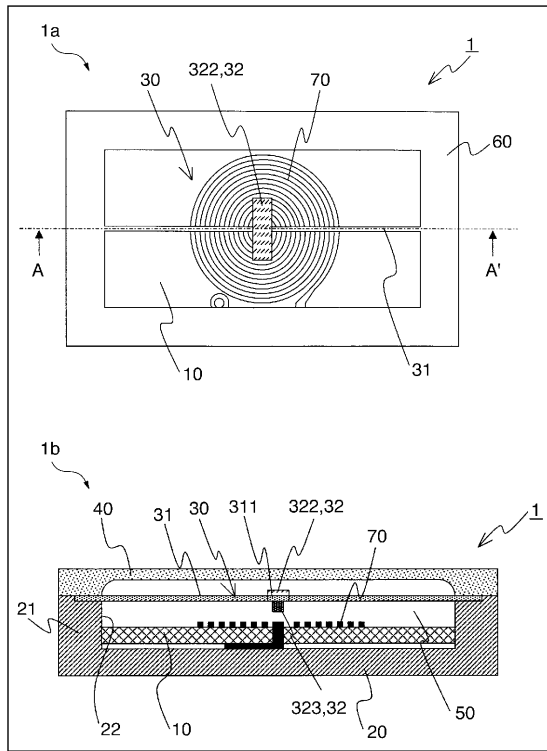
【0109】

本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために、以下の請求項を添付する。

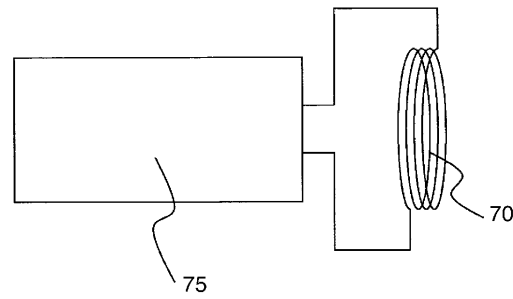
【0110】

本願は、2009年12月16日提出の日本国特許出願特願2009-284738を基礎として優先権を主張するものであり、その記載内容の全てを、ここに援用する。

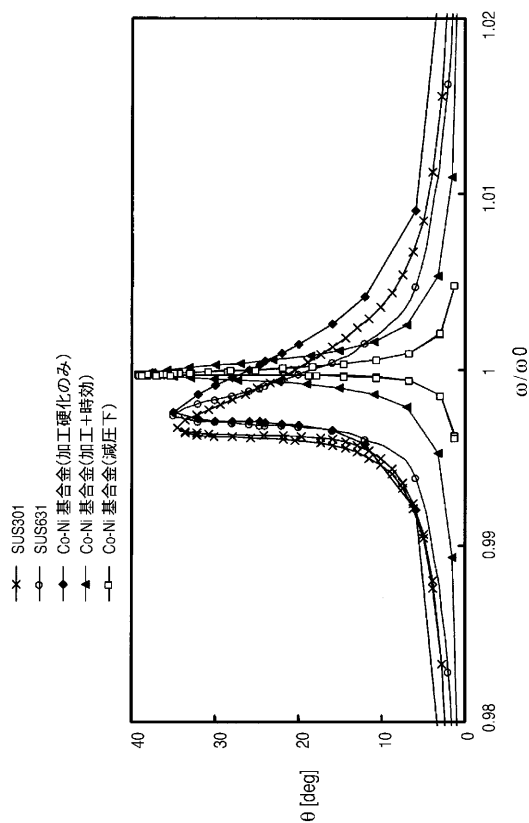
【 図 1 】



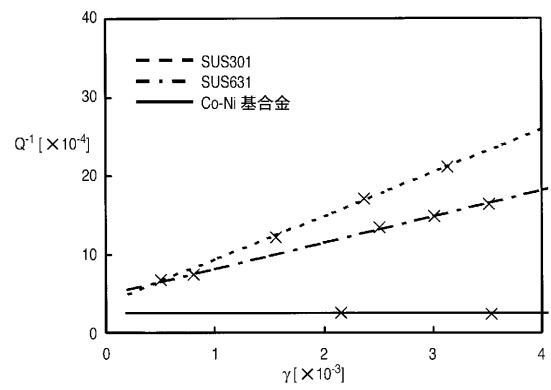
【 図 2 】



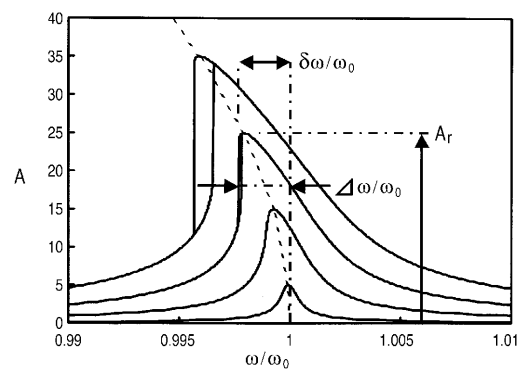
【 図 3 】



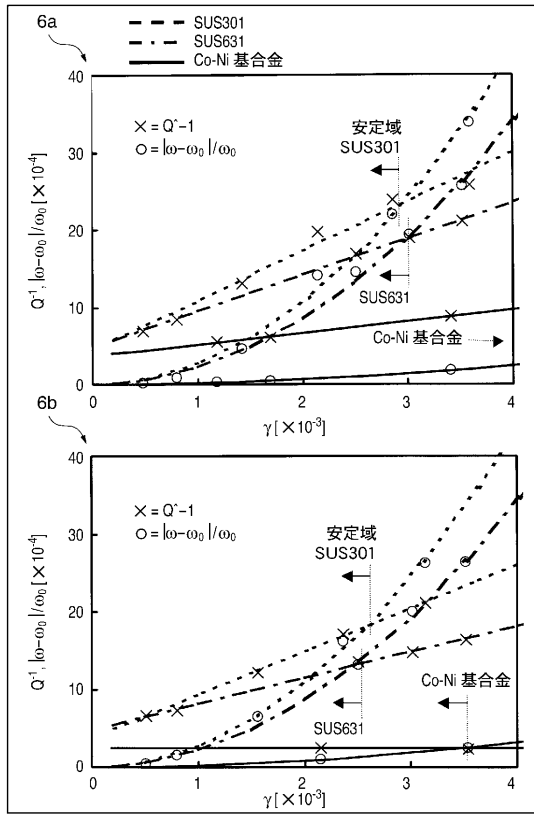
【 図 4 】



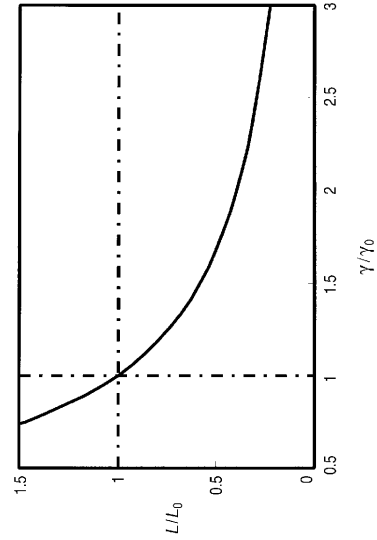
【 図 5 】



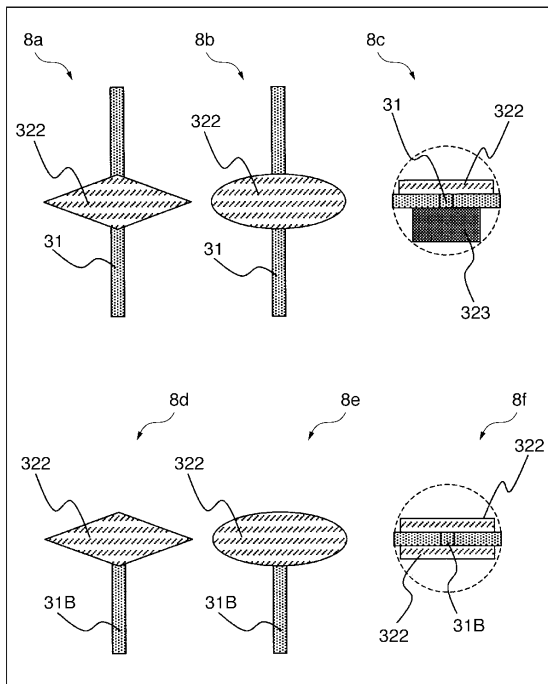
【 図 6 】



【 図 7 】



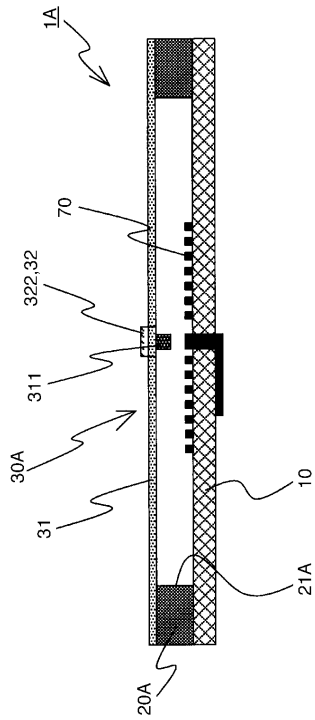
【 図 8 】



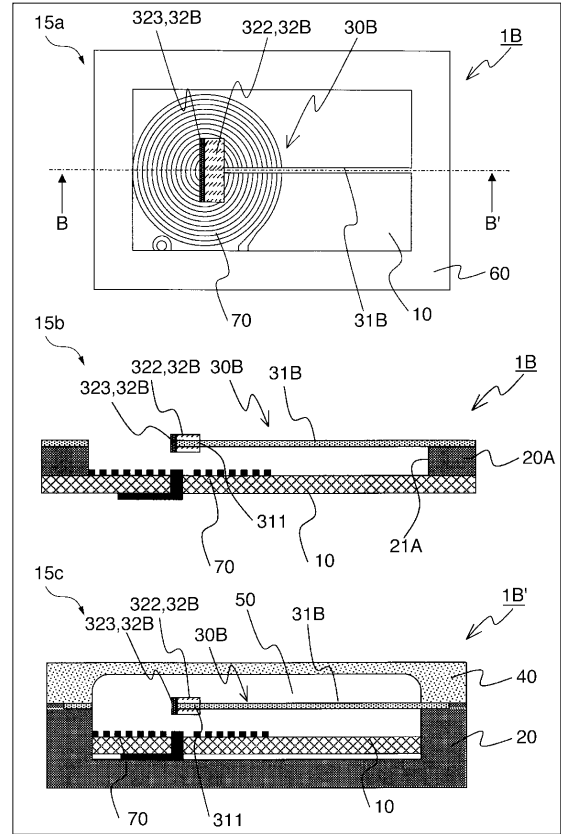
【 図 9 】

実施例	材質	製法	試験環境	許容歪み振幅		Q値 Q θ [deg]	消費電力 P [mW]
				γ [$\times 10^{-3}$]	θ [deg]		
実施例1	Co-Ni 基合金	加工+時効硬化 550°C × 2h	常圧	>10	>50.0	1420	4.1
			減圧下	3.5	38.6	4080	0.5
比較例1	SUS301		常圧	2.9	28.3	470	35.6
			減圧下	2.6	24.9	550	26.2
比較例2	SUS631		常圧	3	29.7	590	22.9
			減圧下	2.5	24.4	740	14.6
比較例3	Co-Ni 基合金	加工硬化のみ	常圧	4.2	46.6	380	53.3
			減圧下	3.7	41.1	440	39.8

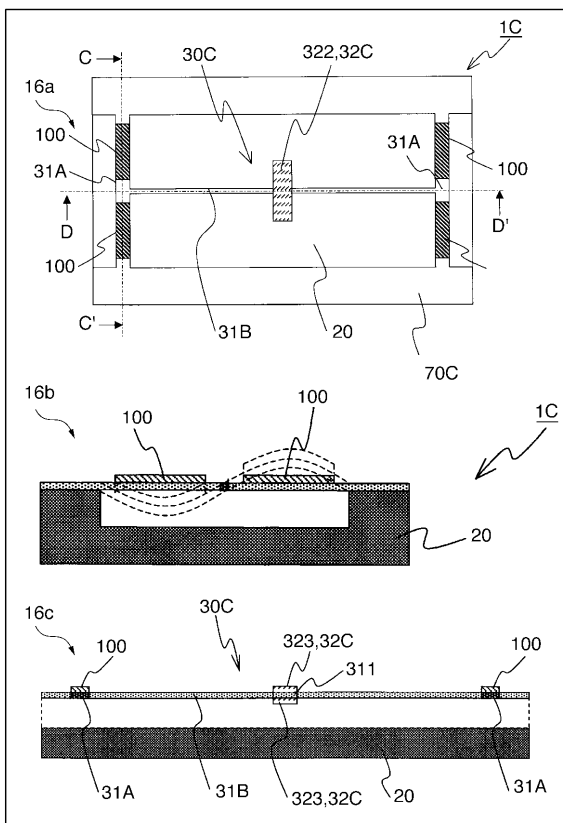
【 図 1 4 】



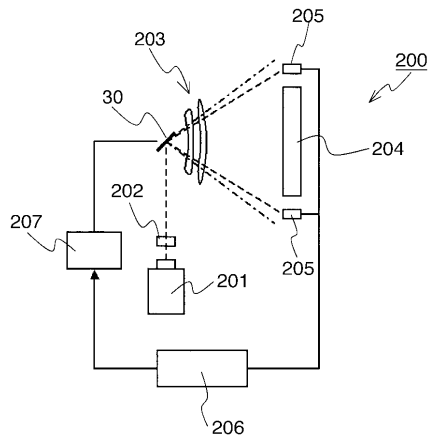
【 図 1 5 】



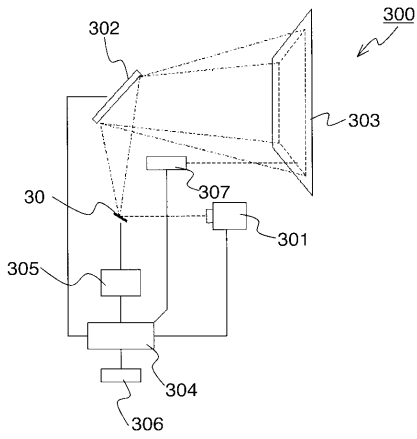
【 図 1 6 】



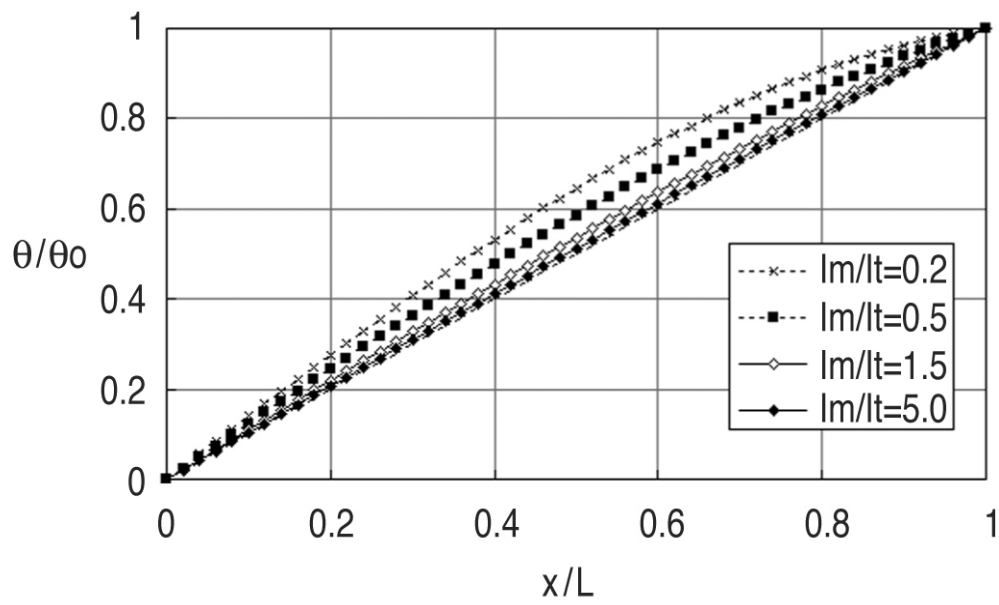
【 図 1 7 】



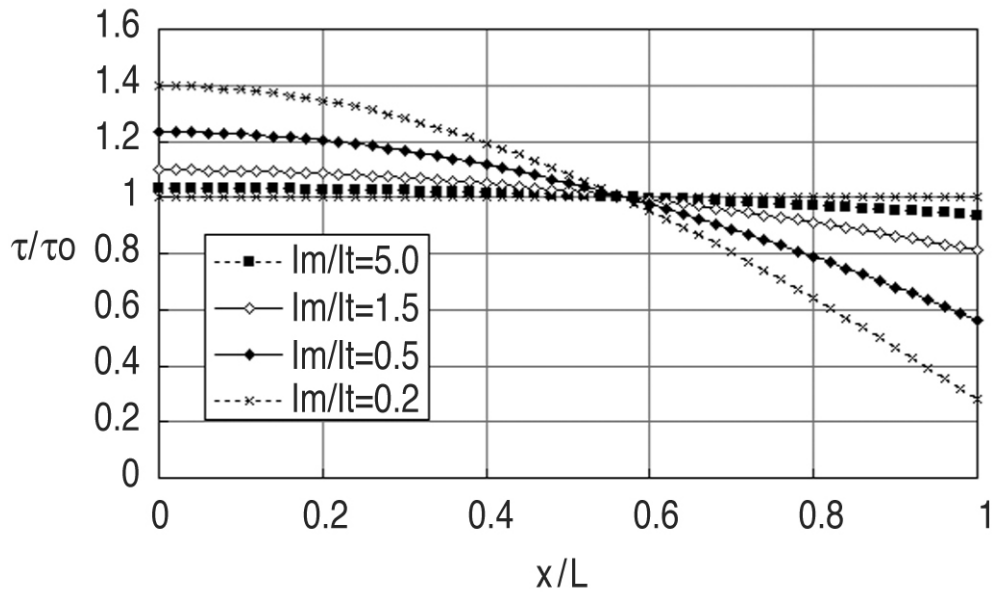
【 図 18 】



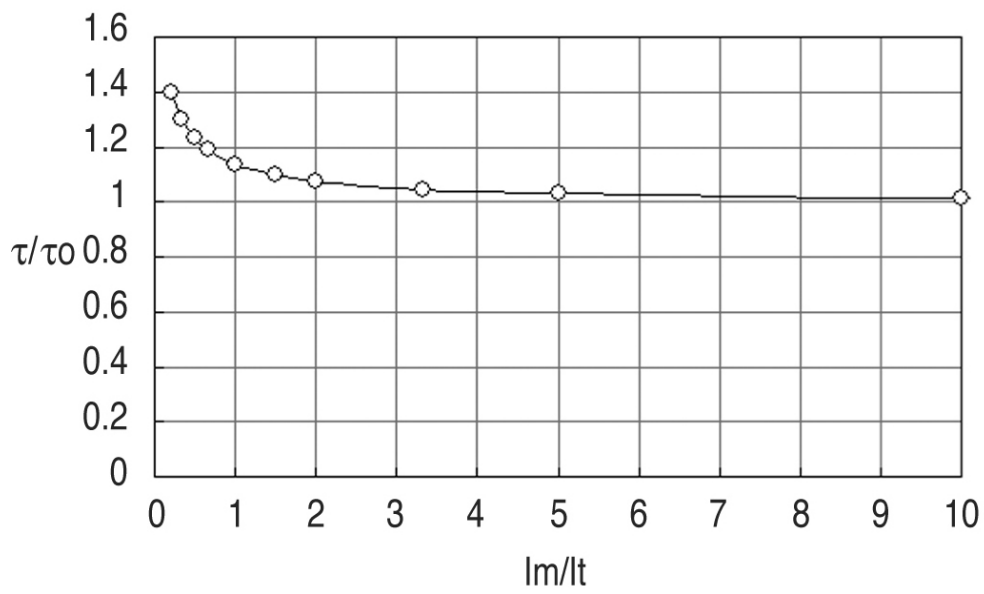
【 図 10 】



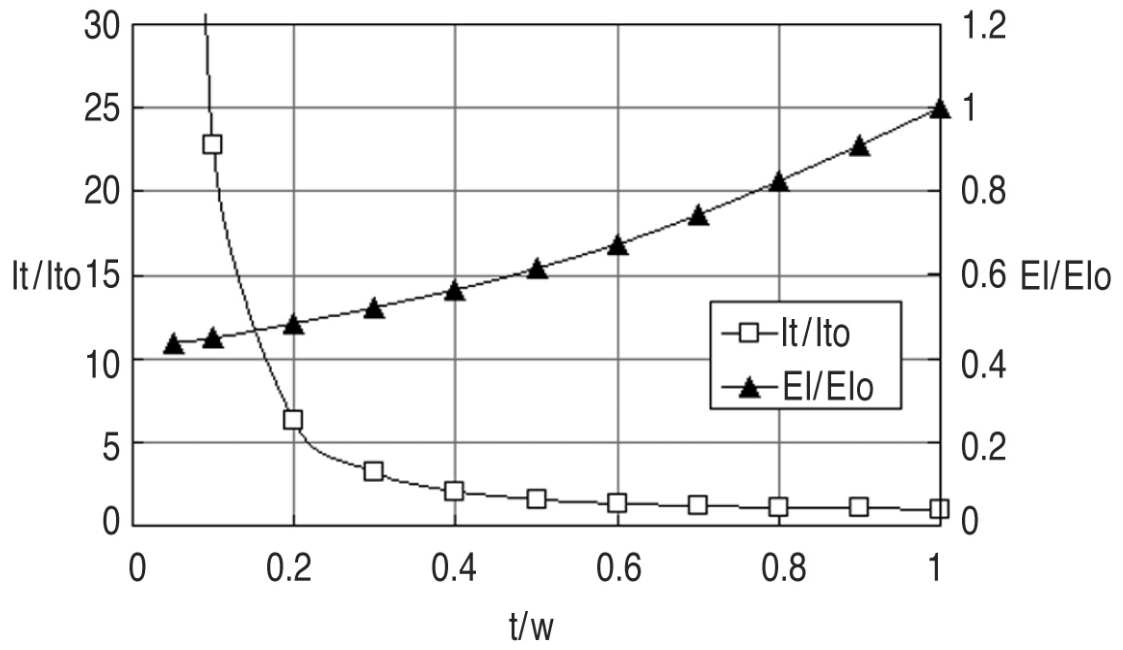
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 13 】



フロントページの続き

- (72)発明者 鈴木 成己
埼玉県秩父市下影森1248番地 キヤノン電子株式会社内
- (72)発明者 新井 克美
埼玉県秩父市下影森1248番地 キヤノン電子株式会社内
- (72)発明者 若林 孝幸
埼玉県秩父市下影森1248番地 キヤノン電子株式会社内

審査官 大光 太朗

- (56)参考文献 特開2009-074104(JP,A)
特開平09-031577(JP,A)
特開平10-176232(JP,A)
特開平08-283893(JP,A)
特開平09-117721(JP,A)
国際公開第2008/038649(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 8 1 B	3 / 0 0
B 4 1 J	2 / 4 4
G 0 2 B	2 6 / 1 0
H 0 4 N	3 / 0 8