

(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2005-321663

(P2005-321663A)

(43) 公開日 平成17年11月17日(2005.11.17)

(51) Int.Cl.⁷

G02B 26/08

B81B 3/00

F I

G02B 26/08

B81B 3/00

テーマコード (参考)

2H041

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2004-140525 (P2004-140525)

(22) 出願日 平成16年5月11日(2004.5.11)

(71) 出願人 504157024

国立大学法人東北大学

宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号

(74) 代理人 100066924

弁理士 小沢 信助

(72) 発明者 佐々木実

宮城県仙台市青葉区貝ヶ森6丁目3番3号

(72) 発明者 羽根一博

宮城県仙台市青葉区中山9丁目21番5号

(72) 発明者 結城慎也

宮城県若林区大和町5-11-32 303

Fターム(参考) 2H041 AA13 AB14 AC06 AZ08

(54) 【発明の名称】 トーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイス

(57) 【要約】

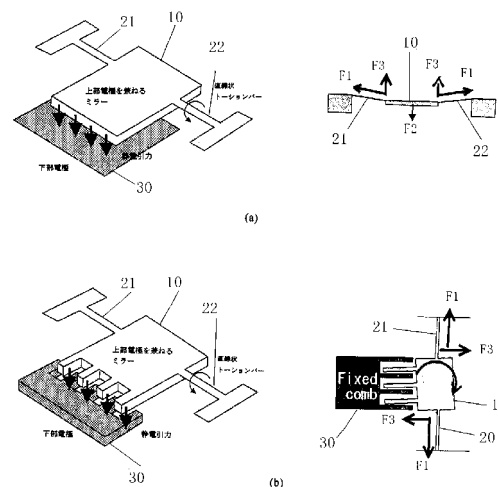
【課題】

MEMSによって製作されるマイクロミラーデバイスは、低電圧駆動で、大きな回転角を得ることを求められるので、ミラーを支えるトーションバーを柔らかくするようにしているが、ミラー回転以外の変位も発生し易くなる。この変位は、デバイスの動作範囲を制限するため、大きなミラー回転角を得ることが困難であった。

【解決手段】 本発明はトーションバーに張力を加えることによって、回転方向に比較して上下左右方向の剛性を高めることで、問題を解決したものである。引っ張り応力を加える方法は、引張応力の入ったシリコン窒化膜の薄膜でトーションバーを形成する方法、トーションバーに応力が加わっていない状態で微細加工を施し、イオンやラジカルを照射することでトーションバーに応力を発生させ、合力としてトーションバーに沿った張力を発生させる方法、等の各種の手法を適用することが出来る

【選択図】

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロミラーと一体に形成され該マイクロミラーを回転可能に支持するトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスにおいて、
前記トーションバーに張力を持たせてミラーを支持させることにより、回転方向に柔らかく上下左右方向には剛性を高くして、安定にミラーの回転動作が得られるようにしたことを特徴とするトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイス。

【請求項 2】

マイクロミラーと一体に形成され該マイクロミラーを回転可能に支持するトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスにおいて、
前記トーションバーに引っ張り応力を利用することで張力を持たせてミラーを支持させることにより、回転方向に柔らかく上下左右方向には剛性を高くして、安定にミラーの回転動作が得られるようにしたことを特徴とするトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイス。

10

【請求項 3】

マイクロミラーと一体に形成され該マイクロミラーを回転可能に支持するトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスにおいて、
前記トーションバーに引っ張り応力を持つよう成膜条件を制御した薄膜を利用することで張力を持たせてミラーを支持させることにより、回転方向に柔らかく上下左右方向には剛性を高くして、安定にミラーの回転動作が得られるようにしたことを特徴とするトーシ

20

【請求項 4】

マイクロミラーと一体に形成され該マイクロミラーを回転可能に支持するトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスにおいて、
前記トーションバーに応力が加わっていない状態で微細加工を施した後、トーションバーの部分に張力を持った膜を蒸着することにより張力を持たせてミラーを支持させることにより、回転方向に柔らかく上下左右方向には剛性を高くして、安定にミラーの回転動作が得られるようにしたことを特徴とするトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイス。

【請求項 5】

マイクロミラーと一体に形成され該マイクロミラーを回転可能に支持するトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスにおいて、
前記トーションバーに応力が加わっていない状態で微細加工を施し、熱処理によってトーションバーを変形させ、変形後に室温でトーションバーに沿った張力を発生させることにより、張力を持たせてミラーを支持させることにより、回転方向に柔らかく上下左右方向には剛性を高くして、安定にミラーの回転動作が得られるようにしたことを特徴とするトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイス。

30

【請求項 6】

マイクロミラーと一体に形成され該マイクロミラーを回転可能に支持するトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスにおいて、
前記トーションバーに応力が加わっていない状態で微細加工を施し、イオンやラジカルを照射することでトーションバーに応力を発生させ、合力としてトーションバーに沿った張力を発生させることにより、張力を持たせてミラーを支持させることにより、回転方向に柔らかく上下左右方向には剛性を高くして、安定にミラーの回転動作が得られるようにしたことを特徴とするトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイス。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、MEMS (Micro Electro Mechanical Syste

50

m s) により製作するトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスに関するものである。

本発明のトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスは、従来のポリゴンミラーなどの大きな体積を持った光走査デバイス等に置き換わるものである。

【背景技術】

【0002】

M E M Sを用いて製作されるマイクロミラーを回転走査するようにしたデバイスは、従来の大きな体積を持つポリゴンミラーなどの光走査デバイスに置き換わることが出来るため幅広い分野で利用される可能性がある。

従来M E M Sを用いて製作されていた光走査デバイスにはトーションバーによりマイクロミラーを支持して静電駆動によりミラーを回転走査させるようにしたものがある。 10

図8はM E M Sを用いて製作された従来の静電駆動型マイクロミラーの概略図で、(a)は平板電極の例を示し、(b)は櫛歯電極の例を示す。

図8において、10はマイクロミラー、21, 22はマイクロミラー10を支持するトーションバーである。

このような構成の静電駆動型マイクロミラーにおいては、マイクロミラー10を駆動するために、マイクロミラー10と下部電極30の間に電圧を加えると、マイクロミラー10と下部電極30との間に引力が働く。

M E M Sを用いて製作された従来の静電駆動型マイクロミラーは通常、低消費電力、既設設備の電源(5Vもしくは12V)で駆動できることが求められるため、ミラーの駆動方式 20
として静電アクチュエータが採用されており、マイクロミラー10に大きな回転角を得るために、トーションバーの材料を柔らかいものに替えたり、図10に示すようにトーションバー21, 22の形状に何度も曲がりくねりを入れたミリングリング状トーションバーを使用して回転に対する剛性を下げるようにしていた。

このような構成の静電駆動型マイクロミラーでは、ミラー10はトーションバー21, 22から見て、回転トルクのみならず、図中の下部電極30の方向の下向きの力を受けることになるので、ミラー10には上下方向変位が発生する。

また、静電引力はマイクロミラー10と下部電極30の間のわずかな距離の差であっても、生じる引力に大きな違いを生むため、幾何学的なマイクロミラー10の配置を回転に対して対称として上下方向の力のバランスを取ろうとしても実際にはアンバランスが残るため、上下方向変位を除去することは困難である。 30

図8の(b)の櫛歯電極型電極を使用した静電駆動型マイクロミラーでは、櫛歯電極30は櫛歯周りの静電引力が面内方向ではバランスして打ち消しあうために、正味上下方向だけの力が残るように構成されているが、実際には面内方向間隔に僅かな誤差があるため、駆動電圧を上げた際にアンバランスに対してトーションバーが面内のミラーの回転を抑えきれないことが生じる。

【0003】

【特許文献1】特開2002-233997号公報,

【特許文献2】特開2003-75741号公報,

【特許文献3】特開2003-43383号公報,

【特許文献4】特開2003-43384号公報

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

M E M Sを用いて製作された従来の静電駆動型マイクロミラーは、一般にできるだけ低電圧駆動で、大きな回転角を得ることを求められている。

このため従来のM E M Sを用いて製作された静電駆動型マイクロミラーにおいては、回転角を大きくするためにトーションバー材料を柔らかいものに替えたり、トーションバー形状に何度も曲がりくねりを入れたりして小さな力でも大きな回転角が得られるようにしているが、回転に対する剛性が下がるため上下方向のばね定数も小さくなり、ミラーの上下 50

左右方向の剛性も落ちてしまうために、静電アクチュエータの駆動電圧が高くなると P P u l l - i n が生じ、ミラーが下方へ引き込まれ、幾何学的に回転が許されず、ダイナミックレンジが取れないため、ミラーの回転角が大きく取れない問題がある。

大きなミラー回転角を安定に得るには、静電駆動型マイクロミラーのミラーを支えるトーションバーの剛性を高め堅牢な構成にすることが必要であるが、トーションバーを堅牢な構成にすると、消費電力の少ない静電駆動デバイスにおいては駆動電圧が高くなってしまいうことが技術的な課題として存在しており、決定的な解決策は未だ得られていない。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本発明は、静電駆動型マイクロミラーのトーションバーに張力を加えることによって、トーションバーのねじりこわさを小さく保ちながら、駆動電圧を印加した時に生じる下方への引き込みを抑制することにより、回転方向に比較して上下左右方向の剛性を高めることで回転方向以外の構成を堅牢にして、大きなミラー回転角を安定に得ることが出来るようにして問題点を解決したものである。

トーションバーに張力を加える方法としては、トーションバーに引張応力の入ったシリコン窒化膜の薄膜でトーションバーを形成する方法、トーションバーに応力が加わっていない状態で微細加工を施し、熱的な変形や、イオンやラジカルを照射することでトーションバーに応力を発生させ、合力としてトーションバーに沿った張力を発生させる方法、等の各種の手法を適用することが出来る。

【発明の効果】

【 0 0 0 6 】

静電駆動型マイクロミラーのトーションバーに張力を加えることによって、トーションバーのねじりこわさを小さく保ちながら、駆動電圧を印加した時に生じる下方への引き込みを抑制することが出来る。このため、トーションバーを柔らかくして低電圧駆動で、大きなミラー回転角を安定に得ることが出来る静電駆動型マイクロミラーを実現することが出来るので、従来のポリゴンミラーなどの大きな体積を持った光走査デバイス等の各種の光学機器に置き換えることが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 0 7 】

以下、本発明のトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスの実施形態について説明する。

図 1 は、本発明のトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスの動作を説明する概略図で、(a) は平板電極の例を示し、(b) は櫛歯電極の例を示したものである。

図 1 において、1 0 はマイクロミラー、2 1 , 2 2 はマイクロミラー 1 0 を支持するトーションバーである。マイクロミラー 1 0 とトーションバー 2 1 , 2 2 は M E M S を用いて一体に形成される。

3 0 はマイクロミラー 1 0 を駆動する駆動電極である。駆動電極 3 0 はマイクロミラー 1 0 と対向した位置に配置されるが、レイアウトの制限から、ミラーの一方にのみ駆動電極を用意することが多い。

マイクロミラー 1 0 と駆動電極 3 0 との間に駆動電圧を加えると、静電吸引力が働きトーションバー 2 1 , 2 2 に支持されたマイクロミラー 1 0 が回転する。

マイクロミラー 1 0 の回転角は、駆動電圧が一定であれば、トーションバー 2 1 , 2 2 のねじりこわさにより決まり、ねじりこわさが小さいほど回転角は大きくなる。

【 0 0 0 8 】

トーションバー 2 1 , 2 2 のねじりこわさは、トーションバーの横弾性係数を G、長辺を a、短辺を b とすると、次のような関係式でしめされる。

$$\text{ねじりこわさ} = k G a b^3 \quad \dots (1)$$

k は、長辺 a と短辺 b との比により計算される係数である。

式 (1) より、ねじりこわさを小さくするためには、3乗で作用している短辺 b を小さく

することが有利であることがわかる。

トーションバーの短辺 b を小さくするとねじりこわさを小さくすることができるが、上下方向のばね定数が低下するため、本発明は、静電駆動型マイクロミラーを引張応力を持った状態のトーションバーでミラーを支持することによりミラーの上下方向の運動を抑制するようにしたものである。引張応力の存在によりトーションバーは上下方向のばね定数は、3桁増加し、ミラーが下方へ引き込まれる量は抑えられる。

一方、トーションバーが引張応力を持つと、ねじりこわさが増加するが、その増加する割合は3割程度であり、引張応力により得られる利点の方がはるかに大きく、引張応力を持つトーションバーは低電圧駆動で、大きなミラー回転角を得るために有効であることがわかる。

10

【0009】

図1の(a)の右側の図は平板電極のミラーが上下方向に引き寄せられた際の断面の模式図である。図に示すように、中心に支えられているミラー10は、厚みが薄く幅方の細い、柔らかなねじり剛性を有するトーションバー21, 22で支えていおり、トーションバー21, 22には引っ張り応力から合成される張力 F_1 が加えられている。

マイクロミラー10を回転駆動させるために、マイクロミラー10と駆動電極30に電圧を加えると、マイクロミラー10と駆動電極30との間に静電引力が働く。

この場合に、ミラー10に加わる力はトーションバー21, 22から見て、回転トルクのみならず、図中の下向きの力 F_2 を受けることになり、ミラー10の上下方向変位は不可避となる。下方向の変位は、ミラー回転を許す幾何学的なスペースを減少させてしまうこと

20

もあり、得られる回転角を減らしてしまう。また、静電引力はマイクロミラー10と駆動電極30の間のわずかな距離の差であっても、生じる引力に大きな違いを生むため、例え幾何学的な配置を回転に対して対称として上下方向の力のバランスを取ろうとしても現実にはアンバランスが残るので、上下方向変位は不可避である。

トーションバー21, 22には張力 F_1 が加えられているので、下向きの力 F_2 を受けると上向きの力 F_3 が合成される。これがミラーを上下方向に支える力になり、上下方向変位が抑制される。

【0010】

図1の(b)の右側の図は櫛歯電極型アクチュエータのミラーが上下方向に引き寄せられた際の断面の模式図である。

30

櫛歯電極は櫛歯周りの静電引力が面内方向ではバランスして打ち消しあうために、正味上下方向だけの力が残る。しかし、現実には面内方向間隔に僅かな誤差があるため、駆動電圧を上げた際にアンバランスに対してトーションバーが面内のミラー回転を抑えきれないことが生じる。

静電引力がちょっとしたアンバランスをもつと、ミラー部が面内で回転し、事実上、回転角の上限を決める原因となる。この場合にも、トーションバーが変形した際に、引っ張り力 F_1 がミラーを元の配置に戻すように、力 F_3 が合成され櫛歯同士のスティッキングやショート等が抑制される。

静電駆動型マイクロミラーデバイスのトーションバーに張力を持たせる方法は、現在使用されている各種の方法により実施することが可能である。

40

以下に張力を持つトーションバーの具体的な製作方法の各種の実施例について説明する。

【実施例1】

【0011】

第一の実施例は、一般的に引張応力をもつことが知られているシリコン窒化膜でトーションバーを形成する方法である。

具体的には、CVD成膜の際に、膜応力が引っ張り条件になるようにしておいて、トーションバー状にパターニングした上で下地のシリコンを取り除くことにより形成する。

例えば、幅 $4\mu\text{m}$ 、厚さ $0.3\mu\text{m}$ 、長さ $200\mu\text{m}$ のシリコン窒化膜からなるトーションバーに 600Mpa ほどの引っ張り応力を入れることが可能である。これにより上下方

50

向のバネ定数を3桁増加できる。ねじれ方向のバネ定数は3割程度の増加である。

【0012】

図2は、SOI (silicon on insulator) ウェハを使用して、シリコン窒化膜で形成する張力を持つトーションバーを製作するプロセスシーケンスを示したものである。

デバイス層シリコン：10 μm 、埋め込み酸化膜：2 μm 、ハンドリング層シリコン200 μm のSOIウェハを1100 で8時間ウェット酸化し、ウェハの表面に酸化膜を形成したものを素材として使用し、次の(a)から(j)の工程により製作が行われる。成膜された酸化膜は平均1.7 μm である。

(a) このSOIウェハの酸化膜をパターニングすることにより引張応力の入ったシリコン窒化膜を減圧CVDで500nm成膜する。 10

(b) 裏面のハンドリング層シリコンを埋め込み酸化膜までKOHでエッチングして、表面の窒化膜に電極用コンタクトホールをエッチングする。

これは、トーションバーが窒化膜で絶縁物であるため、電気的な接続が取れないのに対して、後から成膜するAu/Cr膜を介した接続を可能とするためである。

(c) その後トーションバー付近のシリコン窒化膜を200nmエッチングを施しレジストを剥離する。

【0013】

(d) KOHエッチングにより形成されたキャビティの側壁がミラー下部、櫛歯部分に陰を作るような角度から裏面にAu/Crを蒸着する。 20

(e) Au/Crをマスクとし緩衝フッ酸により2 μm のSiO₂を1 μm に薄くする。これは、後に述べるように犠牲層エッチングを行う際に、ミラー部が先にリリースされることを狙ったものである。

(g) その後、Au/Crをエッチングにより除去し、櫛歯および全体の形状を決めるレイヤのパターニングを行う。

(h) ICP-RIEでシリコン窒化膜をエッチングしトーションバー付近のシリコンのみを露出させる。この時点では、櫛歯付近のシリコン窒化膜は厚さ200nm弱残っている。その後、ICP-RIEによりSF₆ガスのみを用いた等方性の条件でトーションバー下部のシリコンがなくなるようにサイドエッチングを入れ、シリコン窒化膜のみの中空構造にする。これが、トーションバーとなる。 30

櫛歯付近にはシリコン窒化膜が残っているため、エッチングが行われず、トーションバー付近のみを等方性の条件でエッチングすることが可能となっている。

シリコンとシリコン窒化膜のエッチング選択比は140以上であり、シリコンとシリコン窒化膜を選択的にエッチングすることが可能であった。

(i) 次に、残っていた窒化膜を再びエッチングし櫛歯付近などのシリコン部分を露出させ、Deep RIEにより垂直にエッチングし、櫛歯を形成する。

(j) 電極用のAu/Crを斜めから蒸着させる。最後にフッ酸蒸気を用い、埋め込み酸化膜をドライエッチングしリリースとなる。

上記の(e)の工程で埋め込み酸化膜に膜厚差を設けることにより、リリースの工程(j)において、埋め込み酸化膜の薄いミラー、櫛歯部分を早くリリースさせ、固定櫛歯が反ることからミラー部を切り離し、ミラーを安全にリリースさせることが出来る。 40

【0014】

図3は、減圧CVD成膜によって得られたシリコン窒化膜に生じる膜応力を成膜条件の変化とともに示したもので、縦軸に残留応力(Kgf/mm²)を、横軸にSiH₂Cl₂/NH₃比を示したものである。

図3に示すように、温度850 で、SiH₂Cl₂ガス/NH₃ガスの混合比を0.5にすると引っ張り応力60Kgf/mm²=600MPaが得られる。混合比を5.3にすると応力をほぼ0にすることもできる。従って、シリコン窒化膜を利用して張力の含まれたトーションバーも、張力0のトーションバーも製作することができる。

【実施例2】

【 0 0 1 5 】

図 4 は、シリコン構造体により製作された張力持っていないトーションバーに張力を持たせる方法の実施例を説明した図である。

図 4 において、10 はマイクロミラー、21, 22 はマイクロミラー 10 を支持するトーションバーである。40 はトーションバー 21, 22 の表面にスパッタ蒸着したクロム膜である。

スパッタ蒸着したクロム膜には強い引っ張り応力が含まれることが知られている。予め張力 0 のトーションバーを製作した場合、又は他の方法で製作したトーションバーには張力を持っていない場合には、図 4 に示すような電氣的接続を得るために後で金属蒸着するクロム膜を利用することで引張応力を得ることができる。

10

膜応力にはよらずに、製作したシリコン構造体を変形することで、製作後に張力を加えることもできる。

【 実施例 3 】

【 0 0 1 6 】

図 5 は、製作したシリコン構造体を変形することで、製作後に張力を加える方法の実施例を説明した図である。

図 5 において、10 はマイクロミラー、21, 22 はマイクロミラー 10 を支持するトーションバーである。

図 5 の実施例では、(a) に示すように、トーションバー 21, 22 をシリコンの 2 本の梁で製作しておき、(b) (c) に示すように、製作後に通電過熱によって熱的に変形・接触して一体化した後に、(d) に示すように、室温まで冷すことで、トーションバーに張力を生じさせることができる。トーションバーそのものでなくても、周辺構造を変形させて同等の効果をを得ることが可能である。

20

【 実施例 4 】

【 0 0 1 7 】

図 6 は製作したシリコン構造体にイオンやラジカルを照射することで、合力として張力を発生させる方法の実施例を説明した図である。

図 6 において、10 はマイクロミラー、21, 22 はマイクロミラー 10 を支持するトーションバーである。

図 6 の実施例では、(a) に示すように、トーションバー 21, 22 をシリコンの 2 本の梁で製作しておき、(b) に示すように、外側からイオンやラジカルを照射して、圧縮応力を発生させ、(c) に示すように、合力としてトーションバーに張力応力を生じさせることができる。

30

【 0 0 1 8 】

図 7 は、本発明のトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスの駆動電圧一回転角度の関係を示す特性を示した図で、縦軸にミラー回転角 T i l t i n g A n g l e を、横軸に駆動電圧 D r i v i n g V o l t a g e を示したものである。

図 7 のデータは、繰り返し精度を評価するため、初めに計測した結果と、周波数 2 H z で 1 時間 (7 2 0 0 c y c l e) 駆動した直後に計測したものを示す。

駆動電圧 5 V で 2 . 5 ° の回転角が得られた。その際には下に引き込まれたミラー変位は 1 0 0 n m 以下であることが確認された。面内方向の回転は観察されなかった。

40

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 1 9 】

本発明は M E M S を使用した各種の光学部品製造産業で利用可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 0 】

【 図 1 】 本発明のトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスの動作を説明する概略図である。

【 図 2 】 S O I ウエハを使用して、シリコン窒化膜で形成する張力を持つトーションバーを製作するプロセスシーケンスを示したものである。

50

【図 3】減圧 CVD 成膜によって得られたシリコン窒化膜に生じる膜応力を成膜条件の変化とともに示したものである。

【図 4】シリコン構造体により製作された張力持っていないトーションバーに張力を持たせる方法の実施例を説明した図である。

【図 5】製作したシリコン構造体を変形することで、製作後に張力を加える方法の実施例を説明した図である。

【図 6】製作したシリコン構造体にイオンやラジカルを照射することで、合力として張力を発生させる方法の実施例を説明した図である。。

【図 7】本発明のトーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイスの駆動電圧一回転角度の関係を示す特性を示した図で

【図 8】MEMSを用いて製作された従来の静電駆動型マイクロミラーの概略図である。

10

【符号の説明】

【 0 0 2 1 】

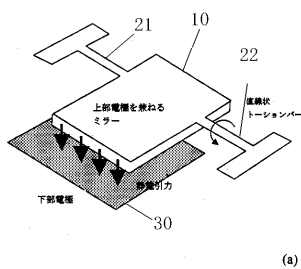
1 0 . . . マイクロミラー ,

2 1 , 2 2 . . . マイクロミラー 1 0 を支持するトーションバー ,

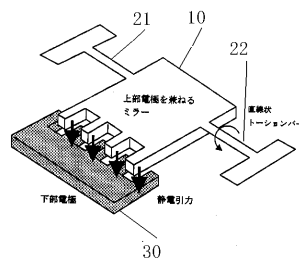
3 0 . . . マイクロミラー 1 0 を駆動する駆動電極 ,

4 0 . . . トーションバー 2 1 , 2 2 の表面にスパッタ蒸着したクロム膜 ,

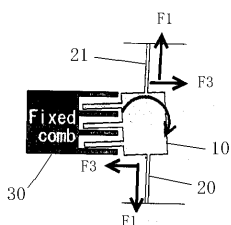
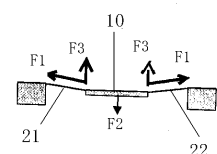
【図 1】



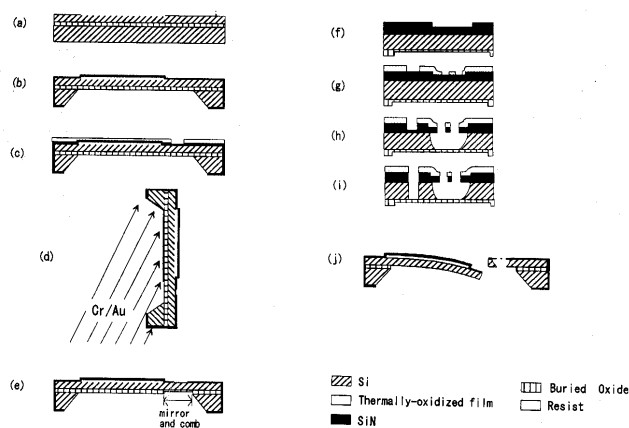
(a)



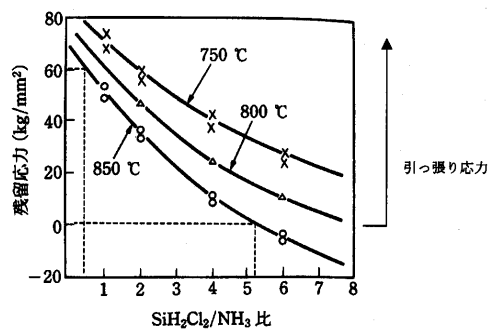
(b)



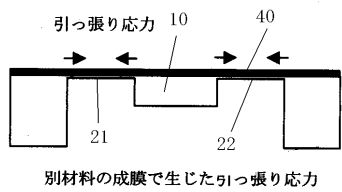
【図 2】



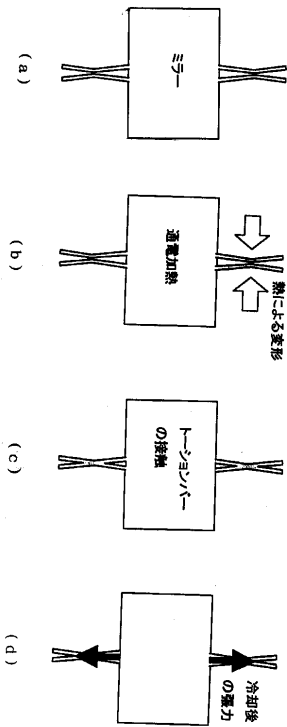
【図 3】



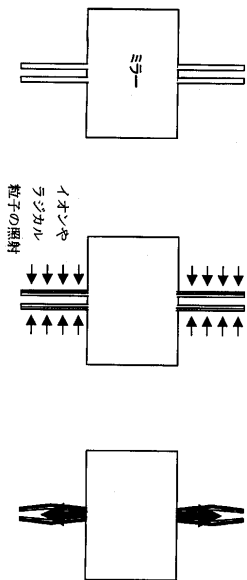
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

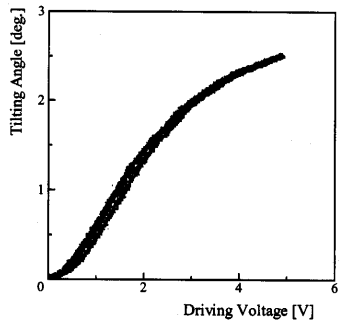


図 5 : 駆動電圧とミラー回転角の関係

【図 8】

