

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5759494号
(P5759494)

(45) 発行日 平成27年8月5日(2015.8.5)

(24) 登録日 平成27年6月12日(2015.6.12)

(51) Int.Cl.	F I
G O 2 B 26/08 (2006.01)	G O 2 B 26/08 E
G O 2 B 26/02 (2006.01)	G O 2 B 26/02 E
B 8 1 B 3/00 (2006.01)	B 8 1 B 3/00

請求項の数 18 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2013-11317 (P2013-11317)	(73) 特許権者	509180153
(22) 出願日	平成25年1月24日(2013.1.24)		ティエンシェン・ジョウ
(62) 分割の表示	特願2009-543541 (P2009-543541) の分割	(74) 代理人	100077573 弁理士 細井 勇
原出願日	平成19年12月19日(2007.12.19)		カナダ国 アルバータ州 T6R 3B2 エドモントン リンカーン クレセント 1118
(65) 公開番号	特開2013-127633 (P2013-127633A)	(74) 代理人	100126413 弁理士 佐藤 太亮
(43) 公開日	平成25年6月27日(2013.6.27)	(72) 発明者	ティエンシェン・ジョウ
審査請求日	平成25年1月24日(2013.1.24)		カナダ国 アルバータ州 T6R 3B2 エドモントン リンカーン クレセント 1118
(31) 優先権主張番号	60/877,037	審査官	山本 貴一
(32) 優先日	平成18年12月26日(2006.12.26)		最終頁に続く
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 高フィルファクターアレイ用の微小電気機械システムマイクロミラーおよびこの方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

静止本体と、

アクチュエータ部分及びアクチュエータ部分に隣接するミラー部分を有する可動本体であって、

前記アクチュエータ部分は第1のスプリング接続によって前記静止本体に接続され、前記第1のスプリング接続は、前記可動本体が前記静止本体に対して、第1の軸を中心に回転することを可能とし、

ミラー部分は、第2のスプリング接続によって、前記アクチュエータ部分にカンチレバーの態様で接続され、前記第2のスプリング接続は、前記ミラー部分が前記アクチュエータ部分に対して、第2の軸を中心に回転することを可能とする可動本体、

第1のアクチュエータに印加される電位差に応答して、前記可動本体を前記第1の軸を中心に回転させる第1のアクチュエータ、及び

第2のアクチュエータに印加される電位差に応答して、前記ミラー部分を前記第2の軸を中心に回転させる第2のアクチュエータとから成り、

前記第1の軸は前記第2の軸に対して垂直であり、

前記静止本体はキャリアウェハに取り付けられており、前記静止本体は前記第1のスプリング接続を前記キャリアウェハに取り付けるためのアンカーを含み、

前記第1のアクチュエータは、前記静止本体に取り付けられた第1の部分(A)及び前記可動本体の前記アクチュエータ部分に取り付けられた第2の部分(A)とを含み、前記

第2のアクチュエータは、前記可動本体の前記アクチュエータ部分に取り付けられた第1の部分(B)及び前記可動本体の前記ミラー部分に取り付けられた第2の部分(B)とを含み、

前記第2のアクチュエータは垂直コムドライブアクチュエータであり、前記第1の部分(B)は第1のコムドライブ部分(B)であり、前記第2の部分(B)は第2のコムドライブ部分(B)であり、前記第2のコムドライブ部分(B)の少なくとも一部は、前記第1のコムドライブ部分(B)と互いに嵌合されており、前記第2のアクチュエータの前記第1の部分(B)及び前記第2の部分(B)は、誘電材料を充填したトレンチにより電氣的に絶縁されている、高フィルファクターアレイで使用する微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

10

【請求項2】

前記第1のアクチュエータは垂直コムドライブアクチュエータであり、前記第1の部分(A)は第1のコムドライブ部分(A)であり、前記第2の部分(A)は第2のコムドライブ部分(A)であり、前記第2のコムドライブ部分(A)の少なくとも一部は、前記第1のコムドライブ部分(A)と互いに嵌合されている、請求項1記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

【請求項3】

前記第1のコムドライブ部分(A)及び前記第2のコムドライブ部分(A)並びに前記第1のコムドライブ部分(B)及び前記第2のコムドライブ部分(B)は上縁部、下縁部及びコムフィンガを有し、前記第1のコムドライブ部分(A)及び前記第2のコムドライブ部分(A)並びに前記第1のコムドライブ部分(B)及び前記第2のコムドライブ部分(B)の少なくとも一つの前記コムフィンガは、前記上縁部に向かって配置されているか、前記下縁部に向かって配置されているか、前記上縁部と前記下縁部との間に延長されているかのいずれかである、請求項1又は2記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

20

【請求項4】

前記第1のアクチュエータの前記第1の部分(A)及び前記第2の部分(A)、並びに前記第2のアクチュエータの前記第1の部分(B)及び前記第2の部分(B)は、電氣的に絶縁されている、請求項1～3のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

30

【請求項5】

前記トレンチはインターロック形状を有する、請求項1～4のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

【請求項6】

前記静止本体はキャリアウエハに取り付けられ、前記キャリアウエハは2つ以上の電極を有し、前記第1のアクチュエータの前記第1の部分(A)及び前記第2の部分(A)、並びに前記第2のアクチュエータの前記第1の部分(B)及び前記第2の部分(B)の各々は、前記キャリアウエハ上の異なる電極に接続されている、請求項1～5のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

40

【請求項7】

前記キャリアウエハの前記電極はサポート構造の上部に形成され、前記サポート構造は前記可動本体及び前記静止本体をサポートする、請求項6に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

【請求項8】

前記キャリアウエハは、パイレックスガラスウエハ又はシリコンウエハである、請求項1～7のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

【請求項9】

前記キャリアウエハはエッチングされ、前記可動本体の少なくとも一部の下にキャビティ又はスルーホールを形成する、請求項1～8のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

50

【請求項 10】

前記第1のアクチュエータは前記キャリアウェハに取り付けられた第1の部分(A)及び前記可動本体の前記第1のアクチュエータ部分に取り付けられた第2の部分(A)とを含み、且つ前記第2のアクチュエータは前記キャリアウェハに取り付けられた第1の部分(B)及び前記可動本体の前記ミラー部分に取り付けられた第2の部分(B)とを含む、請求項1～9のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

【請求項 11】

前記第1のアクチュエータ及び前記第2のアクチュエータの少なくとも一つは平行板静電アクチュエータである、請求項10に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

10

【請求項 12】

前記マイクロミラー装置は単一のシリコンウェハからエッチングされ、前記第1のアクチュエータは、前記第2のアクチュエータから電氣的に絶縁されている、請求項1～11のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

【請求項 13】

前記第1のスプリング接続及び前記第2のスプリング接続の少なくとも一つはV字形、楔形、又は弾性材料の平行バンドの一つである、請求項1～12のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

【請求項 14】

前記第2のアクチュエータは、前記第1の軸の周囲にある前記可動本体の位置の位置検出器として作用するように、前記第1のアクチュエータに隣接すると共に前記第1のアクチュエータと電氣的に絶縁された垂直コムドライブアクチュエータである、請求項1～13のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

20

【請求項 15】

電氣的に絶縁された前記第1のアクチュエータのキャパシタンスは前記第1の軸の周囲にある前記可動本体の位置に関連している、請求項14に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置。

【請求項 16】

前記微小電気機械システムのマイクロミラー装置は、平行に間隔をおいた関係に配置されている、請求項1～15のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置のアレイ。

30

【請求項 17】

平行に間隔をおいた関係に配置された微小電気機械システムのマイクロミラー装置の第1及び第2アレイを含み、前記第1のアレイの前記ミラー部分は前記第2のアレイの前記ミラー部分と隣接している、請求項16に記載のアレイ。

【請求項 18】

前記微小電気機械システムのマイクロミラー装置は逆平行に間隔をおいた関係に配置されている、請求項1～17のいずれか一項に記載の微小電気機械システムのマイクロミラー装置のアレイ。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、1次元または2次元回転の微小電気機械システム(即ちMEMS)のマイクロミラーと、高フィルファクターのマイクロミラーアレイとを目的としている。

【背景技術】

【0002】

微小電気機械システムのミラーとミラーアレイは、光プロセスと、光クロスコネクストスイッチ、減衰器、波長ブロッカー、動的利得等化器、構成可能な格子および同調フィルタなどの光ファイバネットワークにおいて幅広い用途がある。高フィルファクターおよび2つの回転軸を有する微小電気機械システムのミラーアレイは、波長分割多重化システムに

50

において特に重要である。フィルファクターは概して、アレイの全エリアに対するアクティブエリアの比として定義される。高フィルファクターは光チャネルの形状を改良し、システムにおける光学的損失を削減する。2つの回転軸を有するマイクロミラーは、チャネル間の光ビームの切り替えを提供することができる一方で、切り替え時の望ましくない光学的過渡クロストークを回避し、かつ可変的な光減衰を達成する。

【0003】

米国特許第6,760,145B1号明細書に開示されている電磁起動、米国特許第7,091,057B2号明細書に開示されている熱起動、および米国特許第7,095,546B2号明細書に開示されている静電起動などの、多数の微小電気機械システムのマイクロミラーアレイ起動方法がある。静電起動は、この低消費電力と、比較的単純な構成と省スペースゆえに好ましい。

10

【0004】

静電起動による既存のマイクロミラーは、垂直コムドライブタイプマイクロミラーと平行板タイプマイクロミラーの2つのカテゴリに入る。従来の垂直コムドライブタイプマイクロミラーの欠点は、この一般的なジンバルおよびフレーム構造ゆえに高フィルファクターアレイを形成することができないことである。隣接するマイクロミラー間のギャップを縮小することは困難であるため、高フィルファクターのミラーアレイの形成は難しい。この種の微小電気機械システムのマイクロミラーの1つが米国特許第6,822,776B2号明細書に開示されていた。

【0005】

平行板タイプのアクチュエータに基づいて高フィルファクターのミラーアレイを形成することはかなり容易である。大多数の既存の高フィルファクターマイクロミラーアレイの設計は、米国特許第7,095,546号、第6,934,439号、第6,694,073号、第6,781,744号、第6,778,728号、第7,209,274号および第7,053,981号に教示されているような平行板タイプ静電アクチュエータを使用している。平行板静電アクチュエータを使用することの利点は、この設計には通常のジンバル構成やフレームは必要ないということである。したがって、ミラー間のギャップは、高フィルファクターのミラーアレイを形成するには非常に小さい可能性がある。しかしながら、平行板静電アクチュエータを使用するマイクロミラーアレイには複数の欠点がある。

20

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

第1に、マイクロミラーの平行板タイプ静電アクチュエータのプルイン効果は、一定の起動電圧未満で、コントロール可能な傾斜角度を制限する。起動電圧が固定電極と可動ヒンジミラーとの間に印加されると、得られる静電引力はミラーを固定電極に引き付け、ヒンジミラーの傾斜を形成する。まず、変形ヒンジからの復元力は静電力のバランスをとって、ミラーをコントロール可能な位置に保つ。しかし起動電圧がさらに上げられ、かつヒンジミラーの傾斜が、固定電極とミラーとの間の初期ギャップの3分の1を超える場合、電極とミラーとの間の静電力はヒンジの機械的復元力を抑制するため、ヒンジミラーが折れて、固定電極に物理的に接触する。したがって、ミラーの使用可能かつコントロール可能な傾斜範囲は、ミラーと固定電極との間のギャップのわずか3分の1に制限される。さらに、狭いコントロール可能な傾斜範囲内でも、平行板静電アクチュエータは線形起動を提供しない。言い換えると、ミラーの傾斜角度は起動電圧に対して線形ではない。

40

【0007】

第2に、高起動電圧は、帯電、傾斜角度のドリフト、および隣接ミラー間のクロストークに関する問題をもたらす。ミラーのコントロール可能な傾斜角度を大きくするために、固定電極とミラーとの間のギャップは大きくされなければならない。このギャップの増大はより高い起動電圧をもたらす。しばしば、数度のミラー傾斜を得るためには数百ボルトが使用されなければならない。このような高い駆動電圧はミラーデバイスの誘電材料に帯

50

電をもたらし、このことは、ミラーの望ましくない傾斜角度のドリフトを招く。また、ミラー起動電極から電界を遮断して、隣接ミラーの性能に干渉することは極めて困難である。

【0008】

第3に、マイクロミラーの2つの回転軸間に機械的結合がある。米国特許第7,095,546号明細書、第6,934,439号明細書、第6,694,073号明細書、第6,781,744号明細書、第6,778,728号明細書、第7,209,274号明細書および第7,053,981号明細書に開示されているマイクロミラーにおいて、一方の回転軸を中心とする起動は、もう一方を中心とするミラーの運動をもたらす。この2つの回転軸の結合は、デバイスの動作コントロールを複雑かつ不確実なものとする。

10

【0009】

第4に、傾斜時の可動ミラーと固定電極との間の圧縮空気は、隣接ミラー間の干渉につながる。可動ミラーと固定電極との間の空間は非常に小さく、かつ隣接ミラー間のギャップもまた、高フィルファクターを得るには小さいため、ミラーの高速傾斜/切り替えによって、ミラーと固定電極との間の空気膜が圧縮または圧縮解除される。したがって、空気流が形成されることになる。ミラーの切り替えに起因する空気流はしたがって隣接ミラーと干渉し、これらを傾斜させる。さらに、圧縮空気膜からの空気ダンピングは、ミラーの切り替え速度を効果的に低下させる。

【0010】

最後に、マイクロ加工プロセスは、特に2次元回転ミラーの複雑な起動電極および電気配線を形成するのにコストがかかり、かつ複雑である。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

少なくとも1つの静止本体と可動本体とを含む、高フィルファクターアレイで使用するための微小電気機械システムのマイクロミラーが提供される。可動本体は対向する端部を有し、弾性主軸ピボットによって対向する端部の各々で静止本体に固定されている。ミラーサポートが、可動本体によってサポートされ、かつこれによって移動可能である。ミラーサポートは第1の自由側面と第2の自由側面とを有する。静止本体に接続された固定部分と、可動本体に接続された可動部分とを含む主軸アクチュエータが提供される。可動部分は、固定部分と可動部分との間の電位差にตอบสนองして固定部分から離れるように適合されるため、可動本体は弾性主軸ピボットを中心に回転する。ミラーはミラーサポートによってサポートされる。

30

【0012】

これらおよび他の特徴は、添付の図面を参照した以下の説明からより明らかになり、この図面は図示目的にすぎず、制限的意図はないものとする。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】従来の平行板タイプ静電アクチュエータを使用する従来のマイクロミラーの斜視図である。

【図2】静電垂直コムドライブアクチュエータを使用するマイクロミラーの斜視図である

40

【図3】静電垂直コムドライブアクチュエータの設計例の斜視図である。

【図4】静電垂直コムドライブアクチュエータの別の設計例の斜視図である。

【図5】シリコン・オン・インシュレータ(SOI)ウェハの斜視図である。

【図6】高深度反応性イオンエッチング(DRIE)によってトレンチされた後の図5のSOIウェハの斜視図である。

【図7a】トレンチ再充填後のSOIウェハの斜視図である。

【図7b】図7aに示されているトレンチ再充填の詳細Aの拡大斜視図である。

【図8】部分的DRIEシリコンエッチング後のSOIウェハの斜視図である。

【図9】キャリアウェハの斜視図である。

50

【図10】サポート構造を形成するための高深度キャビティシリコンエッチングおよび浅型シリコンエッチング後のシリコンキャリアウェハの斜視図である。

【図11】サポート構造を形成するためのスルーホールシリコンエッチングおよび浅型シリコンエッチング後のシリコンキャリアウェハの斜視図である。

【図12】サポート構造を形成するためのスルーホール加工および浅型ガラスエッチング後のガラスキャリアウェハの斜視図である。

【図13a】サポート上部への浅型ガラスエッチングと金属電気相互接続ワイヤ形成後のガラスキャリアウェハの斜視図である。

【図13b】図13aに示されているガラスサポートの上部の金属コンタクトタブの詳細Bの拡大斜視図である。

10

【図14】キャリアウェハと結合された図8のSOIウェハの斜視図である。

【図15】SOIウェハのエッチング済みハンドルウェハの斜視図である。

【図16a】部分的にエッチングされたSOIウェハの埋め込み酸化物層の斜視図である。

【図16b】図16aに示されている部分的にエッチングされた埋め込み酸化物層の詳細Cの拡大斜視図である。

【図17a】SOIウェハの埋め込み酸化物層の完全エッチングパターンの斜視図である。

【図17b】図17aに示されているパターニング済み埋め込み酸化物の詳細Dの拡大斜視図である。

20

【図18a】スルーデバイスシリコン層のDRIEシリコンエッチング後のSOIウェハの斜視図である。

【図18b】図18aに示されているスルーデバイス層のDRIEエッチング後のコムフィンガの詳細Eの拡大斜視図である。

【図19a】下部コムフィンガを形成するためのDRIEシリコンエッチング後の図18のSOIウェハの斜視図である。

【図19b】図19aに示されたコムフィンガの詳細Fの拡大斜視図である。

【図19c】図19aに示されたコムフィンガの詳細Gの拡大斜視図である。

【図19d】図19aに示されたコムフィンガの詳細Hの拡大斜視図である。

【図20a】マイクロミラーと、垂直コムドライブアクチュエータと、金属相互接続ワイヤ付きキャリアガラスウェハの分解図である。

30

【図20b】マイクロミラーと、垂直コムドライブアクチュエータと、金属相互接続ワイヤ付きキャリアガラスウェハの分解裏面図である。

【図21】単列マイクロミラーアレイ構成の斜視図である。

【図22】別の単列マイクロミラーアレイ構成の斜視図である。

【図23】複列マイクロミラーアレイ構成の斜視図である。

【図24a】主(即ち一次)回転用の傾斜検出部材を備えるマイクロミラーの斜視図である。

【図24b】図24aの主回転用の傾斜検出部材の詳細Iの拡大斜視図である。

【図25】副(即ち二次)回転にキャリアウェハ上の金属電極を使用する2次元回転ミラーの斜視図である。

40

【図26】低電圧駆動の1次元回転マイクロミラーの斜視図である。

【図27】低電圧駆動の1次元回転マイクロミラーアレイの斜視図である。

【図28a】先細り状ヒンジの斜視図である。

【図28b】ダブルビーム状ヒンジの斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

下記のデバイスは多数の異なる形態の実施形態が可能であるが、好ましい実施形態が図示され、かつ詳細に後述されており、本開示はこのデバイスの原理の例示とみなされ、かつデバイスの広範な態様を図示されている実施形態に制限する意図はない点が理解される

50

。図面は必ずしも等縮尺で描かれておらず、構造における種々の要素の相対的サイズは実際のデバイスと異なることもある。

【 0 0 1 5 】

当分野で既知の平行板静電アクチュエータを備えるマイクロミラーが図 1 に示されている。ミラー 1 3 は金属膜などの反射性材料で被覆されており、アンカー 1 0 および 1 1 に接続されている 2 つのヒンジ 1 2 および 1 6 によってサポートされている。2 つの固定起動電極 1 4 および 1 5 はミラー 1 3 の下にある。ミラー 1 3 と、ヒンジ 1 2 および 1 6 と、アンカー 1 0 および 1 1 はドーブ導電性シリコンから形成可能である。起動電圧がミラー 1 3 と電極 1 4 との間に印加されると、得られる静電力はミラー 1 3 を電極 1 4 に引き付け、ヒンジ 1 2 および 1 6 の変形をもたらす。静電力が変形ヒンジの機械的復元力とバ
10
ランスが保たれる場合、ミラー 1 3 はある傾斜角度で安定する。プルイン効果、傾斜角度のドリフト、隣接ミラー間のクロストーク、圧縮空気のダンピングなどの平行板静電アクチュエータの欠点は、高フィルファクターマイクロミラーおよびマイクロミラーアレイの性能不良、ならびに非常に複雑で、生産歩留まりが低く、かつ高価な製造方法を招く。

【 0 0 1 6 】

これらの問題を克服し、かつ高フィルファクターのマイクロミラーおよびマイクロミラーアレイを得るために、垂直静電コムドライブアクチュエータ設計が使用されてもよい。このような垂直静電コムドライブの一例が図 2 に示されている。平行板静電アクチュエータに対する垂直コムドライブの利点は、高い起動力密度、良好な起動線形性、および非プルイン効果を含む。後述のマイクロミラー設計およびマイクロミラーアレイ製造方法は、
20
傾斜角度のドリフトおよび隣接ミラー間のクロストーク、ならびに圧縮空気のダンピングの効果を削減する。ミラー 2 1 はヒンジ 2 6 および 2 7 によってアンカー 1 7 および 1 8 に固定される。固定電極 1 9 および 2 0 は、複数セットの上部コムフィンガ 2 2 および 2 4 を有する。下部コムフィンガ 2 3 および 2 5 の複数の可動セットがミラー 2 1 の外縁部にある。起動電圧が可動下部フィンガ 2 3 と固定上部コムフィンガ 2 4 間にのみ印加されると、得られる静電力はミラー 2 1 をヒンジ 2 6 および 2 7 の周辺に反時計回りに引き付け、ヒンジ 2 6 および 2 7 を変形させる。静電力が、変形ヒンジ 2 6 および 2 7 の得られる機械的復元力とバ
30
ランスが保たれると、ミラー 2 1 は安定位置に達する。起動電圧が固定上部コムフィンガ 2 2 と可動下部コムフィンガ 2 5 との間にのみ印加されると、ミラー 2 1 はヒンジ 2 6 および 2 7 周辺に時計回りに回転する。示されているマイクロミラーは、ミラー回転の方向コントロールを達成するために、異なる上部および下部のフィンガ設計を使用する。この垂直コムドライブ設計は、ミラー 2 1 が電気接地されると、2 つの固定電極 1 9 および 2 0 のいずれかに印加された電圧はミラーを個別に回転させて、これを、2 つの異なる方向、時計回りまたは反時計回りに傾斜させるものである。

【 0 0 1 7 】

図 3 を参照すると、示されている垂直コムドライブ設計は、異なる上部および下部のコムフィンガ配列を有する。ミラー 2 1 は上部コムフィンガ 2 9 および下部フィンガ 2 3 を外縁部に有する。固定電極 1 9 は固定下部コムフィンガ 2 8 を有するのに対して、固定電極 2 0 は上部コムフィンガ 2 4 を有する。ミラー 2 1 と対応する上部フィンガ 2 9 および下部フィンガ 2 3 とが電気接地される場合に、電位が固定電極 1 9 および 2 0 の両方に印
40
加されると、ミラーは反時計回りに回転する。ミラー 2 1 の両側のコムドライブはしたがって共働して、ミラーを同一方向に起動させる。このような設計の利点は、一定のミラーの傾斜角度に対して起動電圧を低下させることと、ヒンジに対して得られるアンバランスな力が排除されることであり、これは、所望のミラー回転だけではなくミラーの上下ピストン変換運動をもたらすことができる。

【 0 0 1 8 】

図 2 および図 3 に示されている垂直コムドライブ設計は複数の上部コムフィンガを有し、これらは、材料をこの下部から除去することによって形成される。もう 1 つのコムフィンガの配列オプションが図 4 に示されており、この場合材料がフィンガの下部に保持されている。この設計は製造プロセスを簡略化するが、駆動電圧を増大させて、図 2 および図
50

3に示されているコムフィンガ設計と比較して同じミラー傾斜角度を達成する。

【0019】

マイクロミラーやマイクロミラーアレイは、この垂直コムドライブアクチュエータについて図2、図3および図4で示された3つのコムフィンガ配列のいずれかを使用してよい点が理解される。マイクロミラーおよびマイクロミラーアレイのマイクロ加工方法に関する以下の説明において、図2および図3に示されているコムフィンガ設計のみが含まれるが、図4に示されているコムフィンガ設計は、図2および図3に示されている垂直コムドライブアクチュエータを形成するプロセスにおける全ステップを必要としていないからである。さらに、以下のプロセスについての説明は、マイクロミラーおよび高フィルファクターマイクロミラーアレイについて設計されたマイクロ加工方法の一例である。当業者は、他の代替的マイクロ加工方法があり、下記の説明はマイクロミラーおよびマイクロミラーアレイの代表的製造方法である点を認識する。さらに、ミラーおよびマイクロミラーアレイを製造する主要プロセスステップのみを説明する。

10

【0020】

マイクロミラーおよびマイクロミラーアレイと対応する垂直コムドライブアクチュエータは、図5に示されているシリコン・オン・インシュレータ(SOI)ウェハの単結晶シリコンデバイス層から形成される。より薄い単結晶シリコンデバイス層32が、埋め込み酸化物(BOX)層33によってハンドルシリコンウェハ34に結合される。SOIウェハはSOIウェハ販売者から購入可能であり、あるいは、熔融結合およびエッチングバックプロセスなどの既知の方法を使用して形成可能である。単結晶デバイスシリコンは、良好な導電性を有するように重ドーブされるべきである。

20

【0021】

一部の用途では、各マイクロミラーが2次元回転するようにコントロールされる必要があり、かつ主(即ち一次)および副(即ち二次)回転用のアクチュエータが同一の導電性単結晶デバイス層に形成されるため、主(即ち一次)アクチュエータは、独立起動を有するように、副(即ち二次)アクチュエータと電氣的に絶縁されなければならない。トレンチ加工および誘電材料再充填方法が、後述のマイクロ加工方法で使用される。

【0022】

図5に示されているSOIウェハは、低圧化学気相成長法(LPCVD)を使用して上部および底部両方に成長された薄い窒化膜を有することがある。次いでリソグラフィが、SOIウェハのシリコンデバイス層上のトレンチの具体的な形状を定義するために使用される。トレンチの形状を設計する場合に強力な機械的強度を維持しつつ良好な電氣的絶縁性を有することが極めて重要である。図6に示されているような窒化シリコン層35の反応性イオンエッチング(RIE)およびシリコンデバイス層32の高深度反応性イオンエッチング(DRIE)の後、数ミクロン幅のくぼんだトレンチ36が単結晶デバイス層32に形成される。BOX層33はDRIEエッチングストップ層として使用される。単純なフォトリソグラフィや他の材料がRIEおよびDRIEエッチングマスクとして使用可能である。単一トレンチまたは複数の平行トレンチが、良好な電氣的絶縁性および機械的強度を有するように形成されるべきである。RIEおよびDRIEエッチングマスク材料をはずり取った後の単一トレンチ36が図6に示されている。

30

40

【0023】

上記の処理が行なわれたSOIウェハは次いで、ウェット酸化のために熱酸化炉に送られる。SOIウェハは上部および底部をLPCVD窒化物で被覆されているため、酸化はトレンチの側壁のみで生じる。トレンチの両側壁から形成される酸化物は、一定期間のウェット熱酸化の後にトレンチを閉じるように相互に接触する。LPCVD窒化薄膜は、SOIウェハの上部および底部両方への熱酸化物の成長を防止し、また図7aに示されているRIEを使用してエッチングされる。ウェット熱酸化物37で充填されたトレンチ36は図7bに示されている。

【0024】

トレンチエッチングおよび誘電材料再充填を実行するための多数のオプションがある。

50

例えば、トレンチを酸化物のみで充填するのではなく、初期の薄い熱酸化物の成長後にトレンチの大部分を充填するために多結晶シリコンが使用可能である。トレンチエッチングおよび再充填の選択は、マイクロミラーおよびプロセスコストの要件に左右される。

【0025】

トレンチ形成および誘電材料再充填の後、別のフォトリソグラフィプロセスが、後続の部分的シリコンDRIEのためにデバイスシリコン層に実行される。DRIEエッチングの深さは、例えば、デバイスシリコン層32の厚さのほぼ半分であってもよい。部分的シリコンDRIEステップは複数の目的に使用される。図8において、シリコンDRIEは、シリコンの下部を除去して上部垂直コムフィンガを形成するために領域54および55で使用される。シリコンDRIEはまた、ヒンジの高さを低くしてより柔軟にするために領域51a、51b、52aおよび52bで使用されることもあり得、このことは必要な起動電圧を低下させる。領域53aおよび53bのシリコンDRIEはマイクロミラー表面の裏である。結果として、ミラー構造の強度およびミラーの平坦さを犠牲にすることなく、マイクロミラーの質量は低下し、この共鳴周波数は増大される。

10

【0026】

図9に示されているハンドルつまりキャリアウェハ39は、パイレックスガラス（登録商標：以下同じ）か標準シリコンウェハであってもよい。垂直静電コムドライブアクチュエータのアンカーをサポートするためのサポート構造と、上述のような圧縮空気のダンピングや圧縮空気流を削減または排除するためのマイクロミラー下の大型キャビティとを形成した後、ウェハ39は、熔融結合、陽極結合または他の結合技術のいずれかを使用することによって製造されたSOIウェハに結合される。

20

【0027】

図10において、ウェハ39が標準シリコンウェハの場合、リソグラフィおよびシリコンDRIEは、領域42における浅型シリコンエッチングによってサポート40および41を形成し、かつ領域43におけるより深いシリコンエッチングによってマイクロミラー下の深いキャビティを形成するために使用される。これはまた、図11に示されているようにマイクロミラーの下にホールを残すためにキャリアウェハ39を単純にエッチングすることによって実行可能である。KOH（水酸化カリウム）またはTMAH（水酸化テトラメチルアンモニウム）などにおけるウェットシリコン異方性エッチングなどの他のエッチング方法もまたこのエッチングに使用可能である。シリコンエッチングの後、および、フォーミングガスなどの不活性ガスにおけるSOIウェハとの結合の前に、非常に薄い熱酸化物が、SOIウェハの単結晶シリコンデバイス層32がキャリアシリコンウェハ39から電氣的に絶縁されるように、キャリアシリコンウェハ上に成長する。

30

【0028】

パイレックスガラスがキャリアウェハとして選択されると、HF（フッ化水素酸）における等方性ガラスエッチングは、図12に示されているように、エリア47における浅型ガラスエッチングによってサポート45および46を形成する。ガラスキャリアウェハ上のマイクロミラーの下のスルーホールは図12および図13に示されていないが、ウェットHFエッチング、サンドブラストまたはレーザーマイクロ加工を使用して形成可能である。

40

【0029】

電氣的相互接続がガラスキャリアウェハ39に必要とされる場合、非常に浅いガラスエッチングが、図13aに示されているように、サポート45および46の上部の領域49で実行される。浅型ガラスエッチングの深さは、堆積された金属ワイヤ50の厚さよりもわずかに深い。したがって、SOIウェハのデバイスシリコン層はサポート45および46に緊密に結合されるが、依然として金属タブ48によって金属ワイヤと電気接続する。金属タブ48および金属ワイヤを備えるガラスサポート46の詳細図は、図13bに示されている。浅型ガラスエッチングキャビティの底部エリアの残りの部分において、金属の電気接続ワイヤ50以外に、電気接地金属膜が、ガラス帯電問題を防止するために被覆およびパターンニングされなければならない。

50

【 0 0 3 0 】

S O I ウェハは、溶融結合や陽極結合をそれぞれ使用して、エッチング済みの標準シリコンキャリアウェハやエッチング済みのガラスキャリアウェハに結合される。以下のプロセスに関する説明において、電気ワイヤおよび金属タブを備えるガラスキャリアウェハが使用される。S O I ウェハは、図 1 4 に示されるように、陽極結合を使用してガラスキャリアウェハに結合される。ガラスキャリアウェハがエッチング済みのスルーホールを有する場合、結合されたウェハセットは、エッチング液がガラスキャリアウェハ 5 6 のスルーホールを介してデバイスシリコン層 3 2 を攻撃するのを防止するために、後続の K O H または T M A H バスにおける S O I ハンドルウェハ 3 4 の除去の間、ガラス側に保護されるべきである。保護方法は、ガラスウェハ全体をシールし、かつ K O H または T M A H バスにおいて S O I ウェハのハンドルウェハ 3 4 のみを暴露するウェハ保護ホルダーを使用するのと同程度に簡単であり得る。ガラスキャリアウェハ 5 6 のみがマイクロミラー下に高深度エッチングキャビティを有する場合、S O I ハンドルウェハの K O H または T M A H シリコンエッチングの間、ガラスウェハ自体は単結晶シリコンデバイス層 3 2 に良好な保護を提供するため、さらなる保護を有する必要はない。S O I ウェハの埋め込み酸化層 3 3 は、K O H または T M A H シリコンエッチング用のエッチングストップ層である。S O I ハンドルウェハ除去後の結合ウェハが、キャリアウェハ 5 6 と共に図 1 5 に示されている。

10

【 0 0 3 1 】

自己整列プロセスは、隣接する可動コムフィンガと固定コムフィンガとの間の均等なギャップを達成するために適用される。隣接する可動コムフィンガと固定コムフィンガとの間の不均等なギャップは静電力の非対称をもたらし、これはまた、可動コムフィンガの側壁スナッチ運動などの垂直コムドライブの不具合を招く。図 1 6 a に示されている B O X 層 3 3 は、自己整列プロセスのシリコン D R I E マスキング材料として維持および使用される。フォトリソグラフィ後、B O X 層 3 3 の部分的 R I E エッチングは、下部コムフィンガの形成に備えて実行される。B O X 層酸化物の部分的エッチング領域 5 7 が図 1 6 a に示されているのに対して、部分的 R I E 酸化物エッチングキャビティ 5 8 が図 1 6 b に示されている。

20

【 0 0 3 2 】

後続のフォトリソグラフィは部分的 B O X 酸化物エッチング後に実行され、この場合 1 層のフォトレジストが、パターンングされるウェハ上に被覆される。このリソグラフィ後に、酸化物 R I E が、図 1 7 a に示されているヒンジ 6 5 および 6 7 と、アンカー 6 4 と、主垂直コムドライブアクチュエータ 5 9 と、副垂直コムドライブアクチュエータ 6 3 とをパターンングするために実行される。図 1 7 b の詳細図において、上部コムフィンガは、オリジナルの埋め込み酸化層 3 3 と同じ厚さのマスキング酸化層 6 1 を有するのに対して、下部コムフィンガは、オリジナルの埋め込み酸化層 3 3 の厚さの一部にすぎないマスキング酸化層 6 0 を有する。暴露された単結晶デバイスシリコンは 6 2 で示されている。

30

【 0 0 3 3 】

フォトリソグラフィに続いて、シリコン D R I E が、図 1 8 a に示されているように、単結晶デバイスシリコンをエッチングするために使用される。この D R I E の後、酸化物 R I E が、図 1 8 b に示されているように下部フィンガ 7 2 上の残りの酸化物をエッチングするために利用されるのに対して、上部コムフィンガ 7 1 は依然として残りの酸化物 6 1 を有する。

40

【 0 0 3 4 】

最後のシリコン D R I E は、下部コムフィンガ 7 2 の上半分のシリコンをエッチングしてこの最終形状を形成するために使用されるのに対して、上部コムフィンガ 7 1 は依然として残りの酸化物 6 1 によって保護されている。図 1 9 a は、最終酸化物 R I E 除去後のマイクロミラーおよびこの垂直コムドライブアクチュエータの最終形状を示しており、図 1 9 b、図 1 9 c および図 1 9 d は、主および副アクチュエータの上部および下部コムフ

50

インガの詳細を示している。

【0035】

ミラー表面上の反射性金属膜と、アンカー/結合パッド75、78、79および80上の結合金属膜とを堆積およびパターニングするための多数のマイクロ加工方法がある。単純な方法の1つは、浅型マスクによるスパッタリングやEビーム蒸着を使用してメタライゼーションを実行することである。別の方法は、自己整列プロセス前にまずメタライゼーションを実行してから金属層をパターニングし、次いで後続の自己整列プロセス時にパターニング済みフォトレジストを使用して金属層を保護することである。最終的に、残りの金属保護フォトレジストは酸素プラズマを使用して除去される。

【0036】

マイクロミラーおよびこの対応する垂直コムドライブの設計は、図19aに示されている。電位がアンカー78に印加される場合、これはまた、特定のマイクロミラーおよびマイクロミラーレイ設計においてサイズに応じて電気ワイヤ結合パッドとして作用することもあるが、副垂直コムドライブアクチュエータの可動コムフィンガを備えるミラー72はアンカー78と同じ電位にあり、これは、ミラー72が、この導電性シリコンヒンジ73、副回転アクチュエータの導電性シリコンフレーム83、主回転アクチュエータの導電性シリコンフレーム82、および導電性シリコンヒンジ77によってアンカー78と電気接続されるからである。主回転アクチュエータ76および84の可動コムフィンガもまた、導電性シリコンフレーム82によってアンカー78と電気接続される。通常、アンカー78は、この上部で金属膜に結合された金属ワイヤによって、あるいは図20aに示されているようなガラスエッチングキャビティ上の金属相互接続ワイヤ90の金属タブ92との接触によって電気接地に接続するように選択される。

【0037】

主アクチュエータ76および84は、ミラー72の主回転を担っている。シリコンフレーム82上の全可動コムフィンガがすべて上部フィンガであるか、すべて下部フィンガであるように設計され、固定部材79および80上の固定コムフィンガがすべて下部または上部フィンガであるように設計される場合、ミラーは、一定の傾斜角度になるまで、時計回りまたは反時計回りのいずれかに回転可能である。固定部材79および80は、図17aのアンカー64と共に、エッチング済みウェハをキャリアウェハに接続するアンカーであるか、図19aの電極として作用するアンカー75および78である。明らかのように、これらのアンカーの各々は異なる機能をさらに実行可能である。例えば、固定部材79および80は、固定コムフィンガをサポートするために使用される。起動電圧が固定部材79とアンカー78との間にのみ印加されると、静電力は、固定部材79とシリコンフレーム82との間の主コムドライブ76で生成される。静電力から生じる対応するトルクは、一定の傾斜角度になるまで、例えば時計回りにミラー72を回転させる。他方、起動電圧が固定部材80とアンカー78との間にのみ印加されると、静電力は、固定部材80とシリコンフレーム82との間の主コムドライブ84で生成される。静電力から生じる対応するトルクは、一定の傾斜角度になるまで、例えば反時計回りにミラー72を回転させる。アクチュエータ76および84のコムフィンガ配列もまた、両アクチュエータが共働してミラーを単一方向に起動するように設計可能である。

【0038】

シリコンコネクタ81上の副垂直コムドライブアクチュエータのアンカー75、シリコンヒンジ85、シリコンコネクタ81および固定コムフィンガは、酸化物充填トレンチ86によってマイクロミラー構造の他の部分から電氣的に絶縁されている。副アクチュエータ74の可動コムフィンガは、通常電気接地であるアンカー78に電気接続されている。副回転の起動電圧は、図19aに示されているアンカー75の上部の金属膜に直接、あるいは図20aに示されているように、ガラスエッチングキャビティ上の金属相互接続ワイヤ91の金属タブ93を介して印加可能である。起動電圧が図19aおよび図20aに示されているアンカー75に印加されると、ミラー72は、副アクチュエータ74で生成される静電力に起因する二次傾斜を有することになる。アクチュエータ76、84および7

10

20

30

40

50

4のコムフィンガ設計の詳細図は、図19b、図19cおよび図19dに示されている。図20bは、シリコンミラーおよびこのアクチュエータの裏面図を示している。部分的にエッチングされたシリコンキャビティ94(図20b)はミラーの裏側にあり、ミラーの質量を削減し、かつこの起動応答速度を増大させる。強化シリコンバー95は、ミラーの剛性および強度を維持するために使用される。

【0039】

主および副アクチュエータの上記構造設計は、主回転と副回転の機械的結合を排除する。アンカー78が電気接地に接続されると、ミラーの主および副回転は、固定部材79および/または80とアンカー75の電圧量によって独立してコントロールされる。示されているように、マイクロミラーの配列は、マイクロミラーがアクチュエータから離れて、
10
マイクロミラーデバイスの一方向の端部にあるものである。ミラー周辺にはジンバル構造はない。この配列は、高フィルファクターのマイクロミラーアレイを形成するのに良好な柔軟性を提供する。単列高フィルファクターアレイの2つの例が図21および図22に示されている。

【0040】

マイクロミラー幅が小さい場合、隣接する2つのマイクロミラーの主アクチュエータの干渉やクロストークを防止するために、図21に示されているマイクロミラーアレイの構成が使用されるべきであり、この場合、隣接する2つのマイクロミラーのアクチュエータはマイクロミラーの異なる側にある。マイクロミラー幅が大きく、かつ隣接する主回転アクチュエータ間のギャップ、つまり空間が、電気起動干渉を防止するのに十分大きい場合、
20
図22に示されているマイクロミラーアレイの構成が使用されるべきであり、この場合全アクチュエータはマイクロミラーと同じ側にある。図23は、マイクロミラーアレイの複列構成を示している。

【0041】

用途によっては、実際の主回転は非常に重要であり、この回転は電氣的に監視されるべきである。このデバイスは次いで、マイクロミラーの主回転を電氣的に検出するための検知構造を提供するように設計されてもよい。例えば、デバイスは、図24に示されているように、主アクチュエータの垂直コムフィンガの一部を検知構造として利用するように設計されてもよい。固定部材101および102は、固定部材79および80からそれぞれ電氣的に絶縁され、かつ機械的に分離されている。領域103および104における可動
30
および固定のコムフィンガはもはや静電アクチュエータとして作用せず、これらは、マイクロミラーが主アクチュエータによって回転される場合に可変性電気コンデンサを形成する。主回転は、部分103または104におけるキャパシタンスを測定することによって、あるいは部分103と104との間の差分キャパシタンス変化を測定することによって検出可能である。

【0042】

電氣的に絶縁された副アクチュエータを生成するトレンチおよび誘電材料再充填プロセスの代わりに、金属電極301および302がキャリアウエハのエッチング済みキャビティ表面に形成可能である。電極301はミラー304の下にあり、平行板静電アクチュエータを形成しているのに対して、電極302はパドル303の下にあり、もう1つの平行
40
板静電アクチュエータを形成している。これら2つのアクチュエータは、副垂直コムドライブアクチュエータと置き換えて、ミラーの副回転をコントロールするために利用可能である。

【0043】

同一の設計およびマイクロ加工方法に基づいて、低電圧駆動、高フィルファクターかつ1方向回転のマイクロミラーアレイもまた達成可能である。マイクロミラー106は、アンカー112および113に接続されている2つのヒンジ118および119によってサポートされている(図26)。全垂直コムドライブアクチュエータ114、115、116および117は共働して、マイクロミラー106を同一方向に起動させる。このアプローチは起動電圧をかなり低下させることになるが、マイクロミラーのより迅速な休止(r
50

e p o s e) が依然として維持されている。このマイクロミラー構成は、例えば5ボルト未満の低駆動電圧で、波長ブロッカー、VOA(可変性光学減衰器)およびVOAアレイ、構成可能な格子などのデバイスに特に有用である。この種のマイクロミラーを使用するアレイ構成のうちの1つが図27に示されている。

【0044】

マイクロミラーは多様なヒンジ形状設計を有することができる。V型ヒンジが図19aなど、図面のいくつかに示されているが、図28aに示されている先細り形状のヒンジや、図28bに示されている二重ビームヒンジなどの他のヒンジ設計もまた使用される。V型ヒンジ、先細り形状のヒンジおよび二重ビームヒンジ設計は、プロセスの不完全性に起因する垂直コムドライブアクチュエータの側面スナップを防止することに関して、非常に良好な回転安定性を提供する。マイクロ加工プロセスの不完全性は、コムドライブアクチュエータの側面スナップをもたらす主要な原因の1つである。

10

【0045】

本明細書の教示は、高フィルファクターアレイの微小電気機械システムのマイクロミラーを提供する。静電垂直コムドライブは、ミラーの起動に使用されてもよい。垂直コムドライブは、プライン効果のない起動に良好な線形性を有する。垂直コムドライブアクチュエータは、低起動電圧で大きな傾斜角度を提供する。これは、帯電、隣接ミラーの干渉、および圧縮空気のダンピングによるミラーの傾斜ドリフトを排除する。主および副回転の起動は全体的に結合解除され、これは、より単純な電気コントロールシステムをもたらす。さらに、マイクロミラーは、主回転軸に沿ったミラーの位置を監視するための傾斜検知部材を有するように設計されてもよい。これは、コムドライブアクチュエータの1つを電気的に絶縁し、かつこれを検出器に接続してキャパシタンスを測定することによって実行されてもよい。固定フィンガと可動フィンガのキャパシタンスは、これらが相互に近づくと変化し、キャパシタンスは、固定フィンガと可動フィンガとの間の回転を示す。運動方向が分かれば、ミラーの位置は判断可能である。

20

【0046】

本明細書の教示は、100ボルト未満の起動電圧で、フィルファクターが95%より高いマイクロミラーアレイを提供する。マイクロミラーおよびマイクロミラーアレイの設計および製造方法は、光学スイッチ、特に光学多重波長選択スイッチ、光学スキャナ、光学可変減衰器、光学同調フィルタ、光学ディスプレイデバイス、コンパクト分光計および波長ブロッカーなどに使用され得る。

30

【0047】

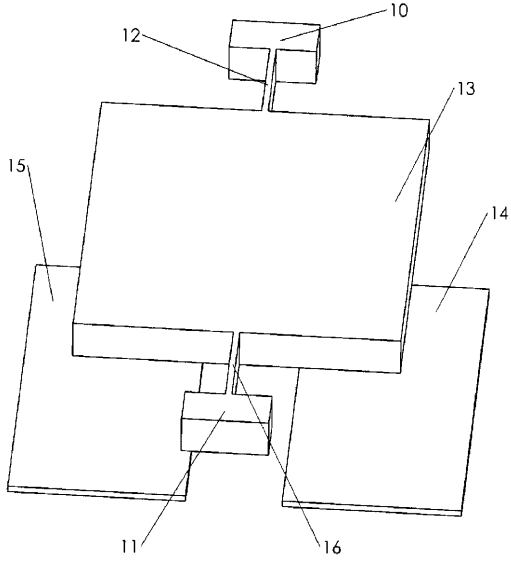
本明細書において、用語「備える(comprising)」は、この用語に続くアイテムが含まれることを意味する非限定的意味で使用されるが、特に言及されていないアイテムが排除されるわけではない。不定冠詞による要素の言及は、文脈が明らかに、複数の要素のうちの1つであり、かつ唯一であることを必要としない限り、複数の要素のうちの2つ以上が存在する可能性を排除しない。

【0048】

特許請求の範囲に以下定義されているようなデバイスの精神および範囲から逸脱することなく、図示されている実施形態に修正がなされてもよい点は当業者に明らかである。

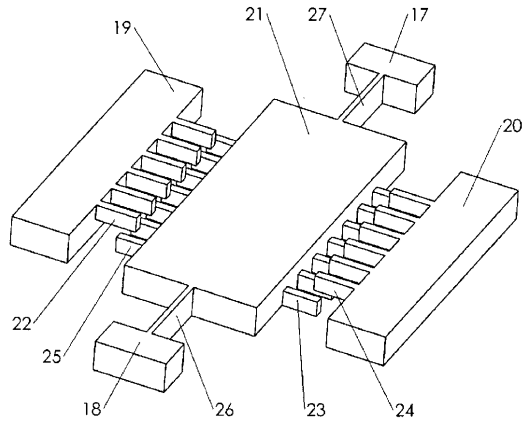
40

【図1】

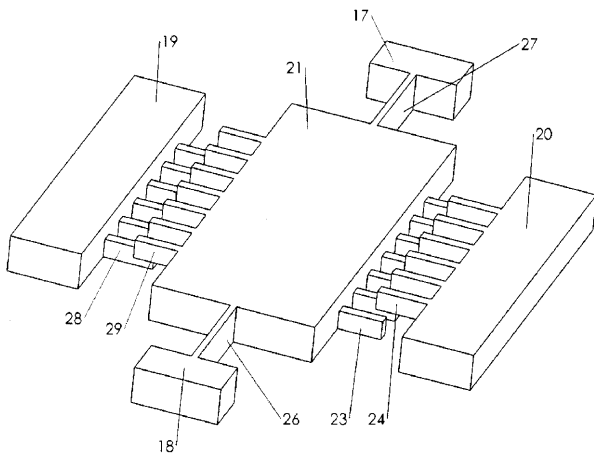


従来技術

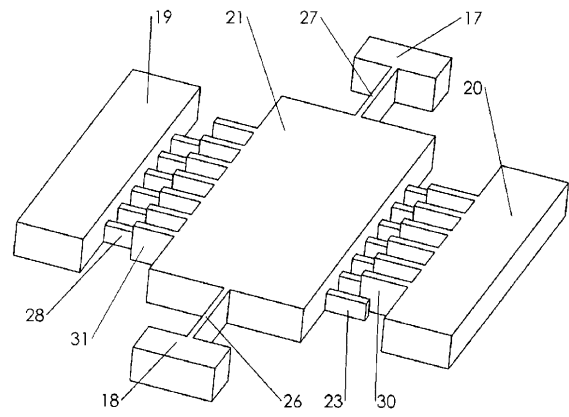
【図2】



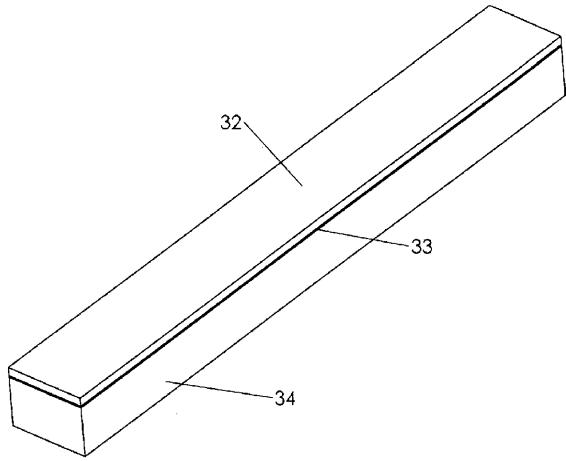
【図3】



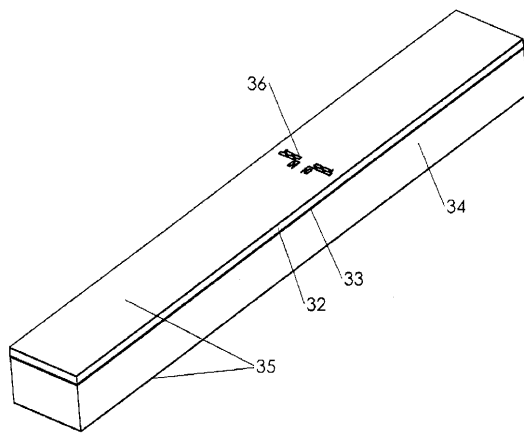
【図4】



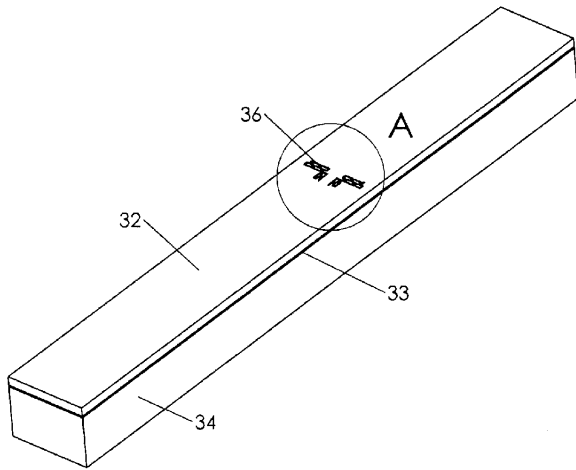
【図5】



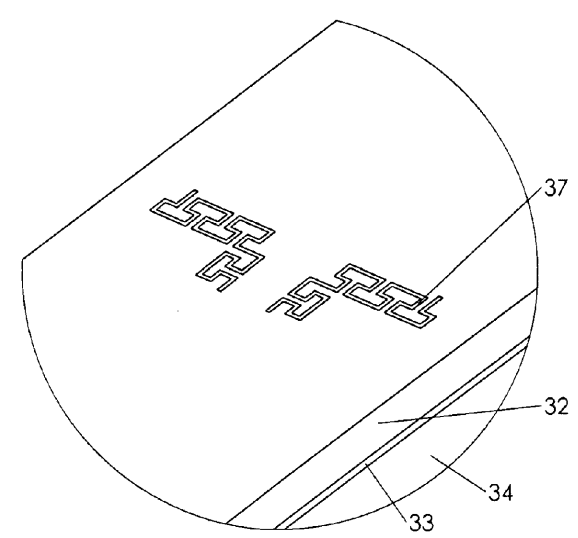
【図6】



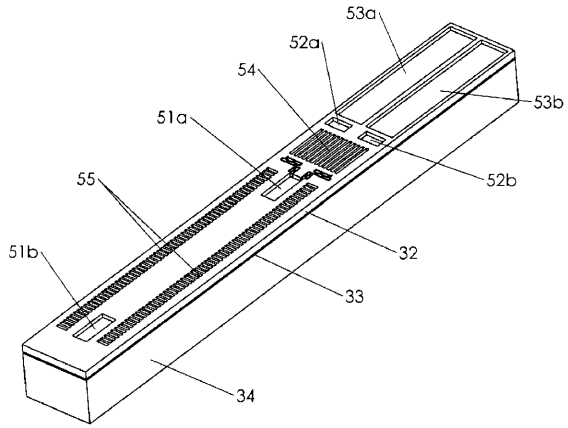
【図7 a】



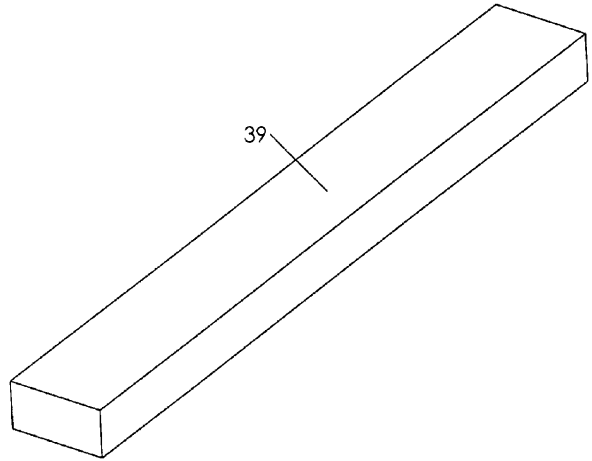
【図7 b】



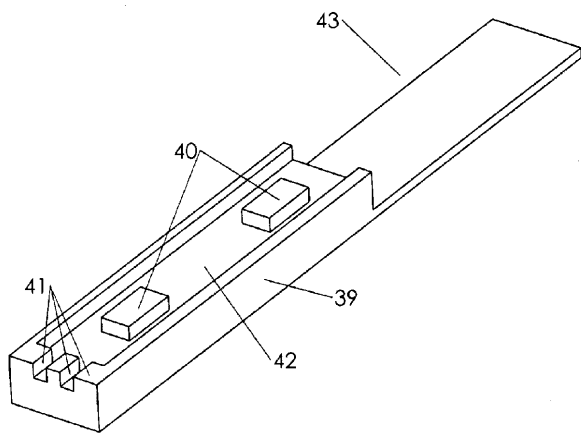
【図 8】



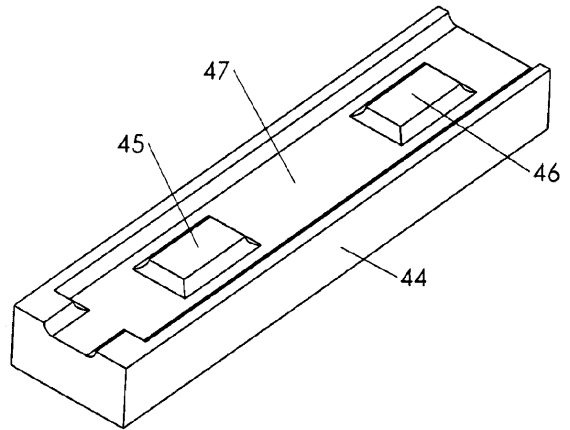
【図 9】



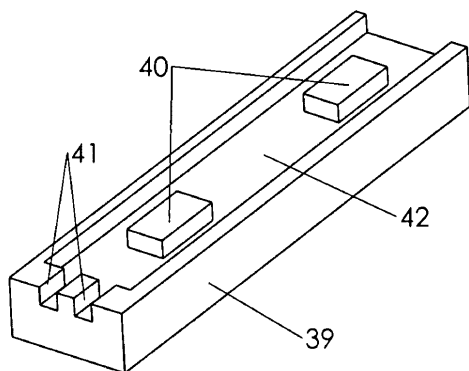
【図 10】



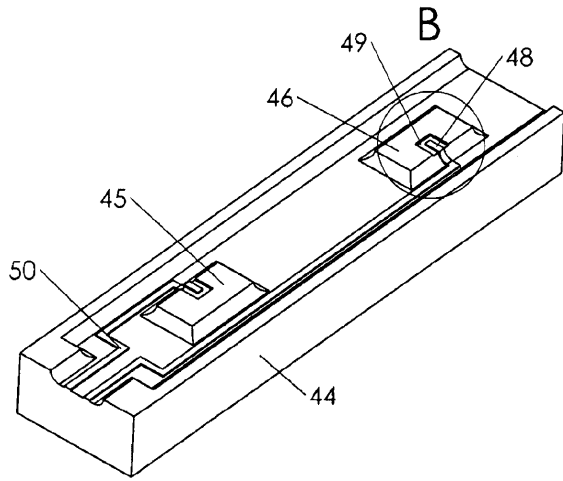
【図 12】



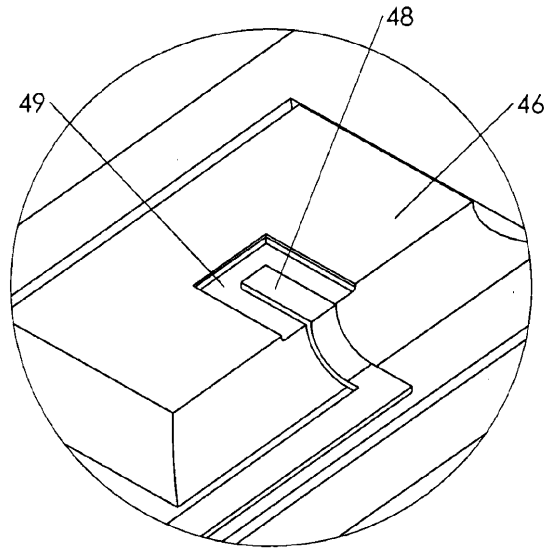
【図 11】



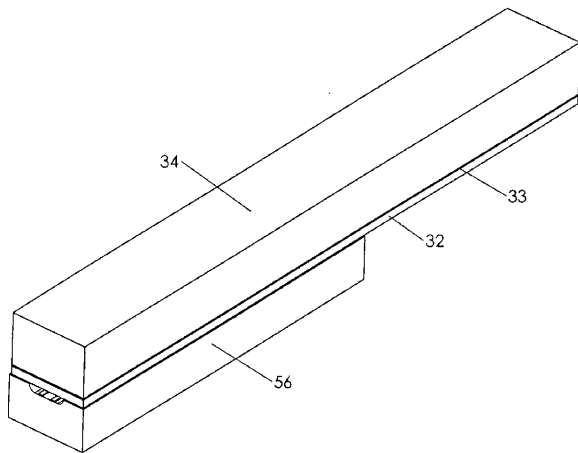
【図 13 a】



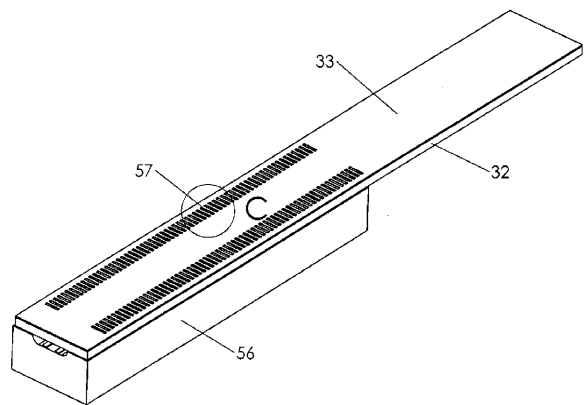
【図 13 b】



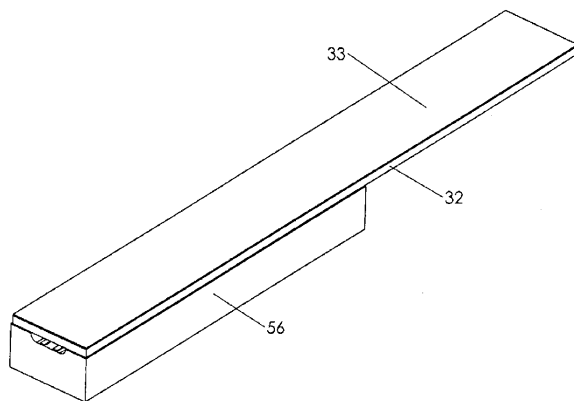
【図 14】



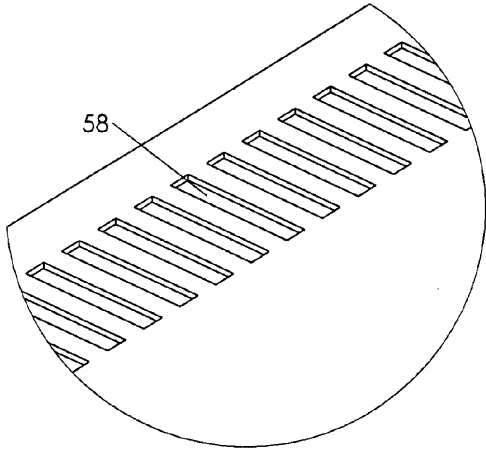
【図 16 a】



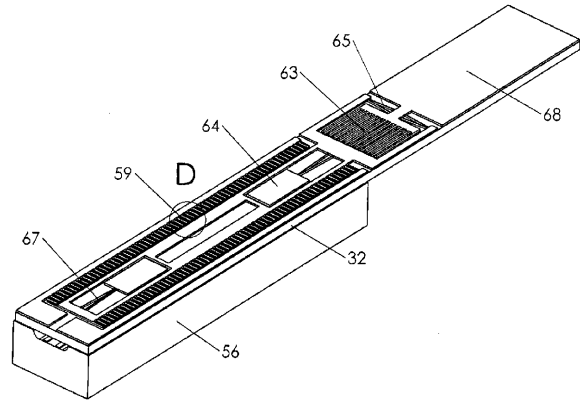
【図 15】



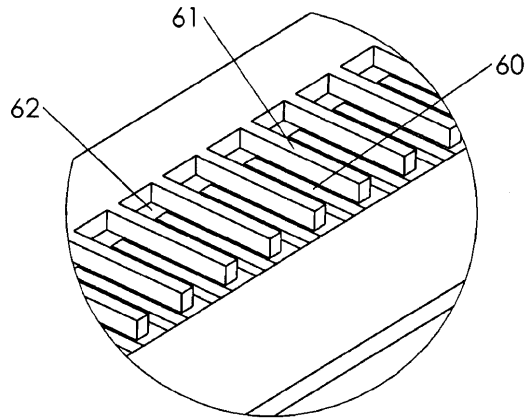
【図16b】



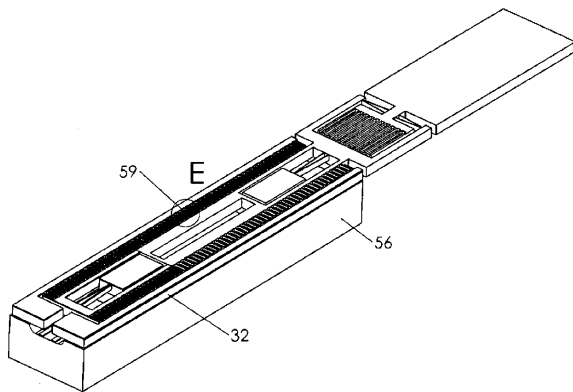
【図17a】



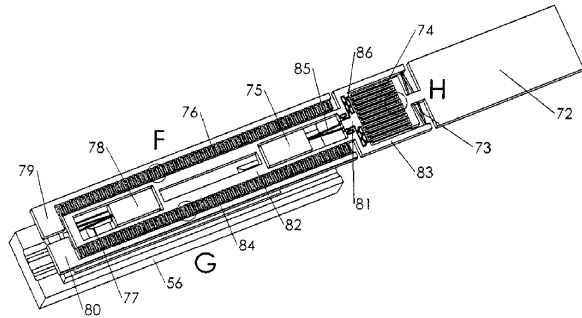
【図17b】



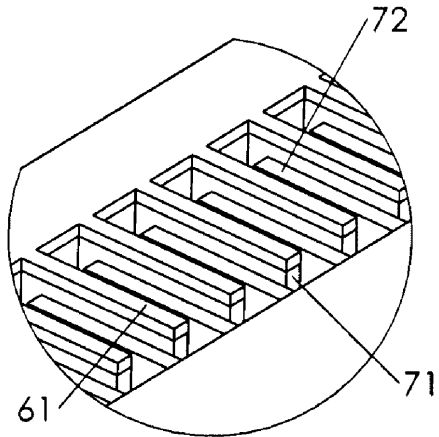
【図18a】



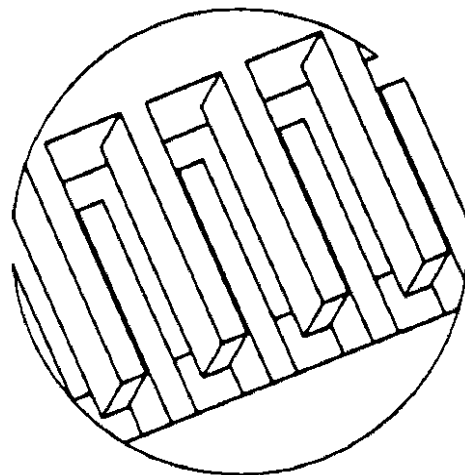
【図19a】



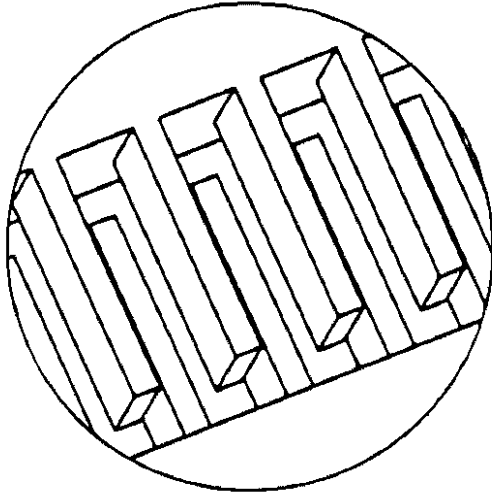
【図18b】



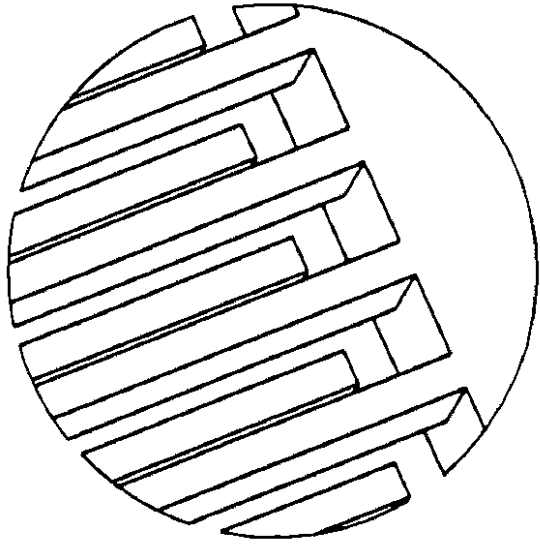
【図19b】



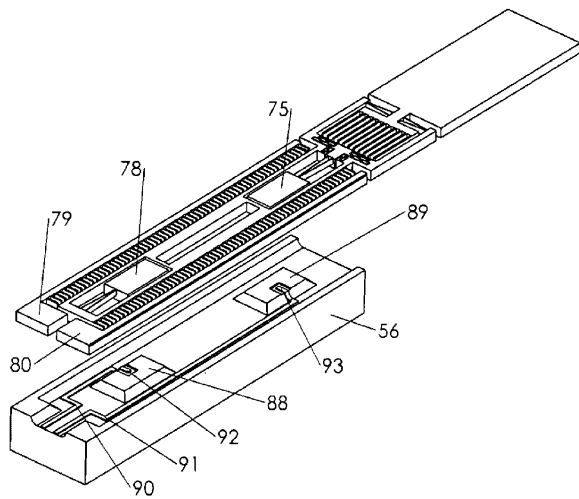
【図19c】



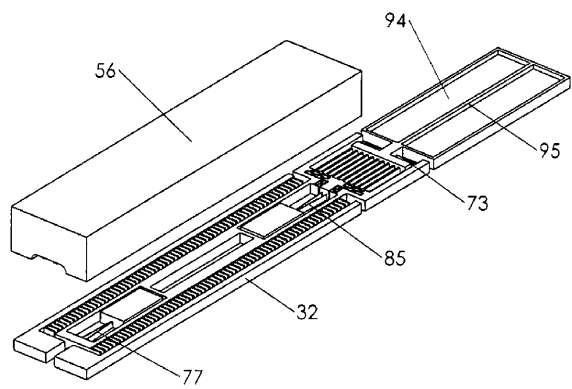
【図19d】



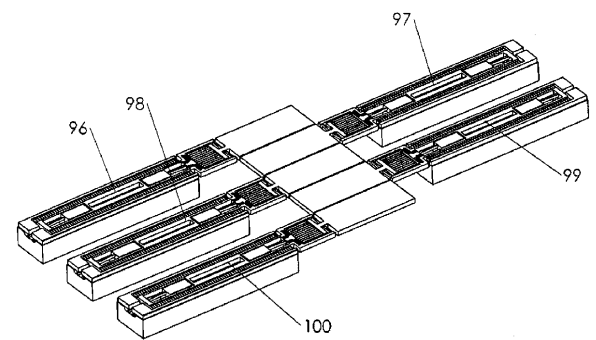
【図20a】



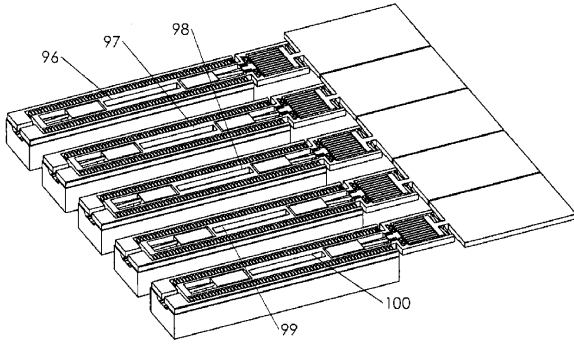
【図20b】



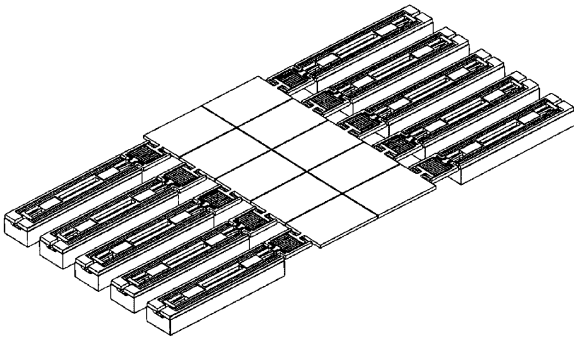
【図21】



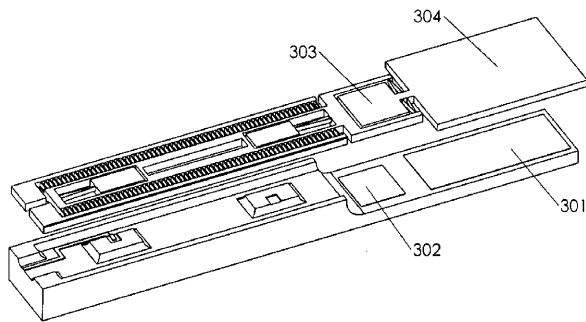
【図22】



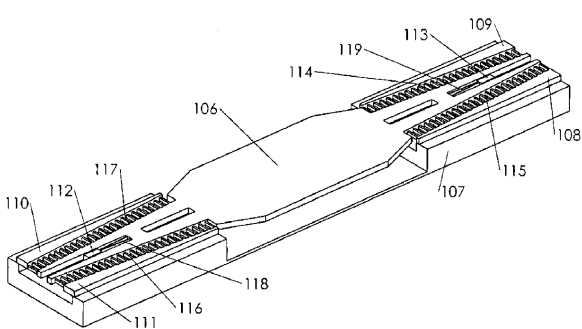
【図23】



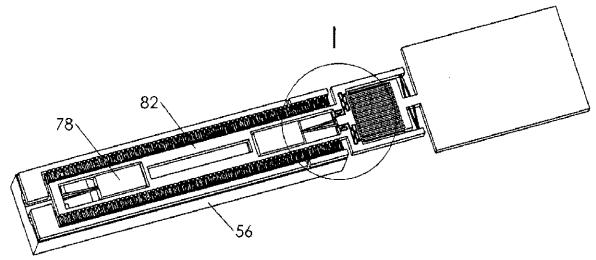
【図25】



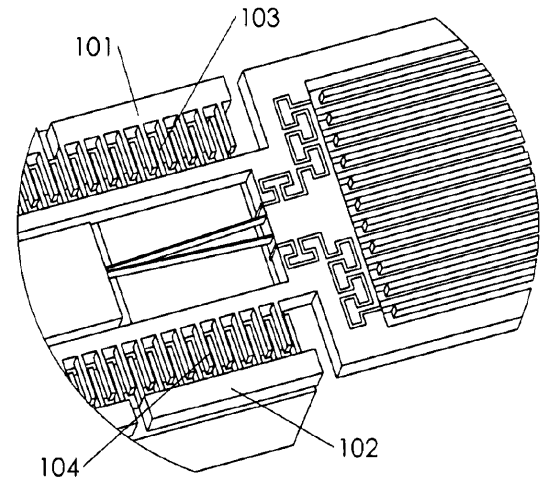
【図26】



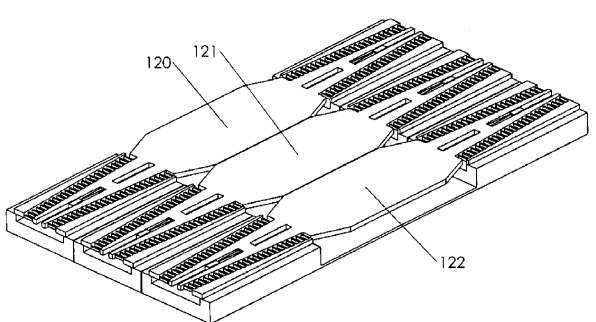
【図24a】



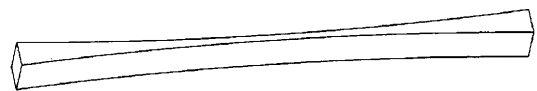
【図24b】



【図27】

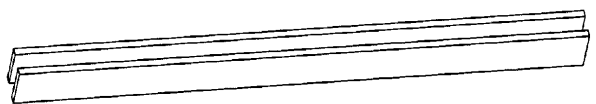


【図28a】



先細り状ヒンジ

【図28b】



ダブルビーム状ヒンジ

フロントページの続き

- (56)参考文献 特表2006-524349(JP,A)
特表2007-534017(JP,A)
特開2006-162699(JP,A)
特開2004-177957(JP,A)
特開2004-145032(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 26/02, 26/08, 26/10
B81B 3/00