

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4441134号
(P4441134)

(45) 発行日 平成22年3月31日(2010.3.31)

(24) 登録日 平成22年1月15日(2010.1.15)

(51) Int.Cl.

G02B 26/08 (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)

F 1

G02B 26/08
B81B 3/00

E

請求項の数 11 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願2001-32665 (P2001-32665)
 (22) 出願日 平成13年2月8日 (2001.2.8)
 (65) 公開番号 特開2002-236263 (P2002-236263A)
 (43) 公開日 平成14年8月23日 (2002.8.23)
 審査請求日 平成20年1月18日 (2008.1.18)

(73) 特許権者 000000376
 オリンパス株式会社
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
 (74) 代理人 100058479
 弁理士 鈴江 武彦
 (74) 代理人 100084618
 弁理士 村松 貞男
 (74) 代理人 100091351
 弁理士 河野 哲
 (74) 代理人 100100952
 弁理士 風間 鉄也
 (72) 発明者 有馬 通継
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ
 リンパス光学工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】静電アクチュエーター及びミラーアレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

静電力により駆動される静電アクチュエーターであって、可動ビームと、可動ビームを片持ちに支持するビーム支持部とを有しており、可動ビームは、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を連結するバネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している、静電アクチュエーター。

【請求項 2】

単位駆動素子は、電極支持部の各々に設けられた二対の電極要素を有している、請求項1に記載の静電アクチュエーター。

10

【請求項 3】

複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、交互に逆向きで並んでいる、請求項1または請求項2に記載の静電アクチュエーター。

【請求項 4】

複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、同じ向きで並んでいる、請求項1または請求項2に記載の静電アクチュエーター。

【請求項 5】

一対の電極要素は一対の平板電極であり、一対の平板電極は間隔を置いて向き合っている、請求項1または請求項2に記載の静電アクチュエーター。

【請求項 6】

20

可動ビームは、少なくとも一つの第一の単位駆動素子を有しており、第一の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネである、請求項 1 または請求項 2 に記載の静電アクチュエーター。

【請求項 7】

静電力により駆動されるミラーアレイであって、複数の可動ビームと、複数の可動ビームを片持ちに支持するビーム支持部と、可動ビームの各々の自由端部に設けられた複数のミラーとを有しており、可動ビームの各々は、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を連結するバネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している、ミラーアレイ。

10

【請求項 8】

単位駆動素子は、電極支持部の各々に設けられた二対の電極要素を有している、請求項 7 に記載のミラーアレイ。

【請求項 9】

複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、同じ向きで並んでいる、請求項 7 または請求項 8 に記載のミラーアレイ。

【請求項 10】

複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、交互に逆向きで並んでいる、請求項 7 または請求項 8 に記載のミラーアレイ。

【請求項 11】

一对の電極要素は一对の平板電極であり、一对の平板電極は間隔を置いて向き合っている、請求項 7 または請求項 8 項に記載のミラーアレイ。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、静電アクチュエーター及びそれを利用したミラーアレイに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、マイクロマシンの駆動手段の一つとして、静電引力を利用したアクチュエーターが広く使用されている。これらのアクチュエーターは、図 60 に示すように接地電極 1402 と、それに対向して配置される駆動電極 1404 と、駆動電極 1404 を支持するバネ 1406 とを有している。

30

【0003】

図 60 に示される静電アクチュエーターの動作について、図 61 を参照して説明する。図 61 に示すように、接地電極 1402 を接地した状態で、駆動電極 1404 に電源 1412 により電圧を印加すると、接地電極 1402 と駆動電極 1404 の表面に互いに極性が逆の電荷 1414 と電荷 1416 が誘起され、電荷 1414 と電荷 1416 の間に作用する静電力により、駆動電極 1404 が接地電極 1402 の方向に引き寄せられる。

【0004】

この静電アクチュエーターのストロークは、駆動電極 1404 と接地電極 1402 の初期の間隔に制約されるが、ストロークを増大する目的で初期の電極間隔を増大すると、電極間に作用する静電力は電極間隔の二乗に比例して減少するため、アクチュエーターの駆動力が急激に低下する。

40

【0005】

電極間に作用する静電力は印加電圧の二乗に比例するため、駆動電極 1404 と接地電極 1402 の間に印加する電圧を増大させることにより、前述の電極間隔の増大による静電引力の低下を補うことが可能だが、電圧には、各電極間または電極に接続される配線間の静電耐圧により制限される上限が存在するため、印加電圧を無制限に増大させることはできない。従って、図 60 に示される静電アクチュエーターは、大きな変位を必要とする用途には適していない。

50

【0006】

このような不具合を解決した静電アクチュエーターとして、図62に示す構成のアクチュエーターが開示されている（日本機械学会、ロボティクス・メカトロニクス講演会'98講演論文集（No. 98-4, 1AIV2-3））。このアクチュエーターは、図62に示すように、シリコン基板1502と、絶縁膜1504と、給電パッド1506と、第一の駆動電極1512と、第二の駆動電極1514と、第三の駆動電極1516と、第四の駆動電極1518と、第五の駆動電極1518と、第一のバネ1522と、第二のバネ1524と、第三のバネ1526と、第四のバネ1528と、第五のバネ1530とを有している。

【0007】

図62に示すように、シリコン基板1502の表面は絶縁膜1504で覆われており、その上に給電パッド1506が形成されている。第一の駆動電極1512は導電性の第一のバネ1522を介して給電パッド1506に片持ち支持されており、第二の駆動電極1514は導電性の第二のバネ1524を介して第一の駆動電極1512に、第三の駆動電極1516は導電性の第三のバネ1526を介して第二の駆動電極1514に、第四の駆動電極1518は導電性の第四のバネ1528を介して第三の駆動電極1516に、第五の駆動電極1520は導電性の第五のバネ1530を介して第四の駆動電極1518に片持ち支持されている。

【0008】

バネ1522、1524、1526、1528、1530は、残留応力の異なる二種類の薄膜から構成されており、反りを有している。このため、第一ないし第五の駆動電極1512、1514、1516、1518、1520は、電圧が印加されていない状態において、シリコン基板1502の表面に対して斜めに支持されており、先端に近い駆動電極は給電パッド1506に近い駆動電極に比べて大きい傾斜角を有している。

【0009】

このアクチュエーターは、図63に示すように、電源1532により一定の電圧をシリコン基板1502と給電パッド1506の間に印加することで駆動される。電圧が印加されると、第一ないし第五の駆動電極1512、1514、1516、1518、1520に、シリコン基板1502に対して、同時に同一の電位が与えられる。これにより、シリコン基板1502と各駆動電極1512、1514、1516、1518、1520の間に30は、静電引力が働く。

【0010】

まず、最も大きい静電引力を受けている第一の駆動電極1512がシリコン基板1502に引き寄せらる。その結果、第一の駆動電極1512は、最終的には、図64に示されるように、シリコン基板1502の表面の絶縁膜1504に全体的に接触する。

【0011】

第一の駆動電極1512が絶縁膜1504に全体的に接触すると今度は、次に大きい静電引力を受けている第二の駆動電極1514が、シリコン基板1502に引き寄せられ、図65に示されるように、シリコン基板1502の表面の絶縁膜1504に全体的に接触する。その後、同様に、第三の駆動電極1516と第四の駆動電極1518が順次、シリコン基板1502に引き寄せられて、その表面の絶縁膜1504に全体的に接触する。最後に、第五の駆動電極1520が、シリコン基板1502に引き寄せられ、図66に示されるように、シリコン基板1502の表面の絶縁膜1504に全体的に接触する。

【0012】

この静電アクチュエーターは、反ったバネを介して直列的に接続された複数の駆動電極を有していることにより、駆動電圧の増大を必要とすることなく、変位の拡大を達成している。

【0013】**【発明が解決しようとする課題】**

図62に示される静電アクチュエーターにおいては、その特性は、バネの初期の曲率に大きく影響される。バネの初期の曲率は、それを構成する二種類の薄膜の残留応力差に依存

10

20

30

40

50

するため、これを正確に制御することは難しい。

【0014】

また、駆動電極とシリコン基板の間に生じる静電引力は、印加電圧に対してリニアに変化しない。また、静電引力は、印加電圧だけでなく、電極間隔にも依存している。このため、駆動電極に印加する電圧を調節することにより、静電アクチュエーターの変位量を正確に制御することは、言い換えれば、駆動電極を所望の位置に正確に配置することは難しい。このためには、位置センサー等の素子が別に必要となる。これは、コスト低減や素子の小型化を妨げる。

【0015】

また、この静電アクチュエーターは、比較的大きな平板状の基板を必要とする共に、その構成上、駆動電極の移動方向は、基板に垂直な方向、それも基板に接近する一方向に制約される。応用範囲が限定される。

10

【0016】

本発明は、このような実状を鑑みて成されたものであり、その主な目的は、大きいストローク（可動範囲）を有し、変位の正確な制御が容易に達成可能な静電アクチュエーターを提供することである。

【0017】

【課題を解決するための手段】

本発明は、ひとつには、静電力により駆動される静電アクチュエーターであり、可動ビームと、可動ビームを片持ちに支持するビーム支持部とを有しており、可動ビームは、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を連結するバネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している。

20

【0018】

本発明は、また、静電力により駆動されるミラーアレイであり、複数の可動ビームと、複数の可動ビームを片持ちに支持するビーム支持部と、可動ビームの各々の自由端部に設けられた複数のミラーとを有しており、可動ビームの各々は、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を連結するバネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している。

30

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について説明する。まず最初に、本発明のひとつの側面である静電アクチュエーターについて説明する。

【0020】

[第一の実施の形態]

本発明の第一の実施の形態である静電アクチュエーターについて図面を参照しながら説明する。

【0021】

図1に示されるように、第一の実施の形態の静電アクチュエーター100は、可動ビーム102と、可動ビーム102を片持ちに支持するビーム支持部104とを有している。

40

【0022】

可動ビーム102は、図2に模式的に示されるように、直列的に接続された複数の単位駆動素子110を有している。単位駆動素子110の各々は、第一の電極支持部112と、第二の電極支持部114と、これら一対の電極支持部112、114を連結するバネ部116とを有している。複数の単位駆動素子110は、可動ビーム102の延びる方向に沿って、交互に逆向きで並んでいる。バネ部116は、可動ビーム102の延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネである。

【0023】

第一の電極支持部112は、図3と図4に詳しく示されるように、二つの接地電極122

50

a、122bを含んでおり、第二の電極支持部114は、二つの駆動電極124a、124bを含んでいる。つまり、ひとつの単位駆動素子110は、バネ部116のたわみ得る方向に置いて向き合っている接地電極122aと駆動電極124aの第一の対と、バネ部116のたわみ得る方向に間に隔をおいて向き合っている接地電極122bと駆動電極124bの第二の対を有している。

【0024】

図4に示されるように、第一の接地電極122aは、シリコン層132と、その第一の駆動電極124aと向き合う面を覆う絶縁層である酸化シリコン層134と、その反対側の面を覆う絶縁層である酸化シリコン層136を有している。また、第一の駆動電極124aは、シリコン層142と、その第一の接地電極122aと向き合う面を覆う絶縁層である酸化シリコン層144とを有している。第二の接地電極122bと第二の駆動電極124bも同様の構造を有している。10

【0025】

シリコン132と酸化シリコン層134と酸化シリコン層136は、第一の電極支持部112の一部を構成するとともに、バネ部116の一部と、第二の電極支持部114の一部を構成している。シリコン層132は肉薄部を有しており、この部分がバネ部116の一部を構成している。隣接する二つの単位駆動素子110のシリコン層132の肉薄部に挟まれた部分は、第二の電極支持部114の一部を構成している。

【0026】

また、シリコン層142と酸化シリコン層144は、第二の電極支持部114の一部を構成している。シリコン層142は凸部を有しており、この凸部は酸化シリコン膜134、144を挟んでシリコン層132に結合されている。第一の接地電極122aの主材料であるシリコン132と、第一の駆動電極124aの主材料であるシリコン142は、それぞれを覆っている絶縁層134と絶縁層144によって、互いに電気的に絶縁されている。20

【0027】

隣接する二つの単位駆動素子の駆動電極124aは、コンタクトホール146を介して、共通の配線148と電気的に接続されている。同様に、隣接する二つの単位駆動素子の駆動電極124bは、コンタクトホール146を介して、共通の配線148と電気的に接続されている。配線148は、酸化シリコン層136の上を延びている。30

【0028】

図6に示されるように、ビーム支持部104は、その内部に複数の給電パッド152を有しており、給電パッド152の各々は、対応する配線148を介して、隣接する二つの単位駆動素子の駆動電極124aと124bのいずれかに電気的に接続されている。また、ビーム支持部104は、一対の給電パッド154（図にはその一つのみ示されている）を有しており、給電パッド154の各々は接地電極122aと122bのいずれかに電気的に接続されている。

【0029】

図5に示されるように、ビーム支持部104は、駆動電極124aと124b用の給電パッド152と外部装置との電気的接続のための複数の開口156を有している。複数の開口156は、図5に見える表側と、その反対側に位置するため図5には見えない裏側とに形成されている。また接地電極122aと122b用の給電パッド154と外部との電気的接続のための一対の開口158を有している。開口158は、図5に見える表側と、その反対側に位置するため図5には見えない裏側にひとつずつ形成されている。40

【0030】

図7は、本実施の形態の静電アクチュエーター100の動作を説明する図である。上述した静電アクチュエーター100において、接地電極122aと122bと下側の第二の駆動電極124bを接地電位に保った状態で、上側の第一の駆動電極124aに電圧を印加すると、接地電極122aがバネ部116を支点として、静電引力によって上側の第一の駆動電極124aに引き寄せられるため、図7に示されるように、可動ビーム102が全50

体的に上側に反る。

【0031】

これとは逆に、上側の第一の駆動電極 124a を接地電位に保ち、下側の第二の駆動電極 124b に電圧を印加すると、可動ビーム 102 が全体的に下側に反る。

【0032】

さらに、前述したように、直列的に並んでいる単位駆動素子 110 の駆動電極 124a と 124b は、隣接する二つは電気的に接続しているが、二つずつ単位で互いに電気的に分離されている。従って、隣接する二つの単位駆動素子 110 毎に、駆動電極 124a と 124b に印加する電圧を独立に制御することができる。これにより、可動ビーム 102 の任意の位置にある隣接する二つの単位駆動素子 110 を変位させることができるので、可動ビーム 102 の全体の変位量を、電圧を印加する駆動電極 124a と 124b の個数を変えることにより、小刻みに制御することができる。10

【0033】

図 8 ~ 図 17 は、本実施の形態の静電アクチュエーター 100 の可動ビームの製造工程を示す斜視図である。以下、図 8 ~ 図 17 を参照しながら、本実施の形態の静電アクチュエーター 100 の可動ビーム 102 の製造方法について説明する。

【0034】

まず、図 8 に示すように、SOI (Silicon on Insulator) 基板を用意し、その活性層をフォトレジスト (図示せず) 等をマスクとして RIE (Reactive Ion Etching) や ICP (Inductively Coupled Plasma) エッチングによって 2 回選択的に除去することにより、駆動電極 202 及び接合部 204 を形成する。ここで 206 および 208 は、それぞれ SOI 基板の支持層および埋め込み酸化膜である。20

【0035】

次に別の SOI 基板を用意し、その活性層を図 8 と同様の方法で選択的に除去することにより、図 9 に示すように、接地電極 212 及び電極ポスト 214 を形成する。ここで 216 および 218 は、それぞれ SOI 基板の支持層および埋め込み酸化膜である。

【0036】

次に図 10 に示すように、図 8 および図 9 の工程で加工した基板の表面に熱酸化膜 222、224 をそれぞれ形成した後、図 8 における接合部 204 が、図 9 における電極ポスト 214 に接触するよう位置合わせを行ない、両者の基板を接合する。30

【0037】

次に支持層 216 を TMAH (Tetramethyl ammonium hydroxide) 等により除去した後、埋め込み酸化膜 218 を RIE によって除去する。さらに図 11 に示すように基板のシリコンを、フォトレジスト 236 をマスクとして RIE によって一部除去することにより、配線溝 238 を形成する。

【0038】

次にフォトレジスト 236 を除去した後、熱酸化を行い、新たに形成された熱酸化膜の一部をフォトレジストをマスクとしてバッファードフッ酸または RIE によって除去することにより、酸化膜マスク (図示せず) を形成する。次にこの酸化膜マスクを介して、下層のシリコンを TMAH によって除去することにより、図 12 に示される凹部 242 を形成する。次に酸化膜マスクを除去した後、再度熱酸化を行い、図 12 に示される酸化シリコン膜 244 を形成する。さらに酸化シリコン膜 244 の一部をフォトレジストを介して RIE によって除去することにより、コンタクトホール 246 を形成する。ここで、コンタクトホール 246 の形成と同時に、図中に 248 で示される部分の酸化シリコン膜を除去しておく。40

【0039】

次にフォトレジストを除去した後、イオン注入等の方法によってドーパントをコンタクトホール 246 下層のシリコン層に拡散することにより、この部分に高濃度のドーパント拡散層を形成する。

【0040】

10

20

30

40

50

さらに図13に示すように、アルミニウム等の導体膜をスパッタリング法等の方法によって成膜した後、この導体膜の一部をフォトレジスト等を介して除去することにより、配線252を形成する。

【0041】

次に図14に示すように、酸化シリコン膜244をマスクとして、シリコンをICPエッチング法によって除去することにより、接地電極212および電極ポスト214を基板から分離するとともに、バネ部254を形成する。さらに埋め込み酸化膜208が露出している部分のうち面積の広い箇所に、ポリイミド膜256をスクリーン印刷法等の方法により成膜する。

【0042】

次に図15に示すように、図14の工程で形成される構造体を二枚、各々の構造が接合面に対してミラー対称になるよう位置合わせを行った後、両者を接合する。この接合は、構造中に使用している配線材の融点やポリイミドの熱分解温度より低い温度で行う。さらに同図中に示される支持層206を除去する。

【0043】

支持層206の除去は、アクチュエーターの形成されている空間258を封止した状態で、TMAH等を使用して行なう。支持層206が完全に除去されると、TMAHの液圧が埋め込み酸化膜208に作用するが、この部分は図14の工程で形成したポリイミド膜256によって補強されているため、埋め込み酸化膜208の液圧による破損が防止される。

【0044】

最後に埋め込み酸化膜208及びポリイミド膜256を、RIEによって除去することにより、図3と図4に示される可動ビーム102が完成する。なお配線の信頼性向上のため、配線252の表面にシリコン酸化膜等をPCVD(Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition)法により形成してもよい。

【0045】

本発明の実施の形態の静電アクチュエーターは、同一の二枚の構造体を張り合わせて作製するために、図4に示されるように、配線148が配線溝の上面と下面に形成されるので、図6に示されるように、給電パッド152はビーム支持部104の上側と下側の両方に形成される。

【0046】

図16と図17は、それぞれ、図13の工程と図15の工程に対応する、ビーム支持部の製造工程を示す斜視図である。

【0047】

図16は、図13に示す工程が終了した時点における給電パッド付近の構造を示している。支持部262は、図8の工程において形成される駆動電極202及び接合部204と同時に形成される。また、支持部264は、図9の工程において形成される接地電極212及び電極ポスト214と同時に形成される。また開口部266は、支持部262及び支持部264を形成する工程において、同時に形成される。さらに給電パッド268、272は、図13の工程で形成される配線252と同時に形成され、コンタクトホール270は、図12の工程で形成されるコンタクトホール246と同時に形成される。また、給電パッド272は、コンタクトホール270を介して支持部264に接続される。また支持部264のうち給電パッド272に接する部分には、高濃度のドーパント拡散層(図示せず)が形成されている。

【0048】

次に図17に示すように、埋め込み酸化膜208が露出している部分のうち面積の広い箇所にポリイミド膜256を成膜した後、図16の工程を経て形成される構造体を二枚接合する。接合される二枚の構造体は、給電パッド268、272と開口部266の位置が異なっており、一方の構造体の給電パッドと開口部がそれぞれ他方の構造体の開口部と給電パッドと向き合うように配置されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 9 】

次に支持層 206 を除去する。この工程において、図 17 に示される下側の構造体の支持層 206 をマスク 274 を介して除去することにより、図 5 に示される保持部 160 が形成される。マスク 274 は、工程の途中で基板の裏面に形成される熱酸化膜をパターニングして使用する。さらに埋め込み酸化膜 208、ポリイミド膜 256 を除去することにより、パッド周辺の構造が完成する。

【 0 0 5 0 】

本実施の形態の静電アクチュエーターは、様々な変形や変更が可能である。

【 0 0 5 1 】

上述した実施の形態の静電アクチュエーターでは、可動ビームを上下両方向に変位させるために、各単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向（別の言い方をすればビームの軸）の両側に対称的に、接地電極と駆動電極の対をひとつずつ有しているが、上方向または下方向の一方への変位が要求される場合には、各単位駆動素子は、一対の接地電極と駆動電極を、可動ビームの延びる方向（別の言い方をすればビームの軸）の片側に有してさえすればよい。このような構造体は、具体的には、図 14 に示した工程の後に、同様の構造体を接合することなく、支持層 206、埋め込み酸化膜 208、ポリイミド膜 256 を順次除去することによって、作製され得る。

10

【 0 0 5 2 】

上述した実施の形態の静電アクチュエーターでは、接地電極と駆動電極の対は、間隔を置いて向き合った一対の平板状の電極であるが、両者間で静電引力が生じるものであれば、その形状は任意に変更してもよい。例えば、図 18 に示されるように、駆動電極と接地電極の対は、それぞれ複数の歯を有しており、一方の櫛形電極の歯は他方の櫛形電極の歯の間に延びている一対の櫛形電極であってもよい。このような櫛形電極は、例えば、図 8 と図 9 に示される工程でそれぞれ形成すればよい。

20

【 0 0 5 3 】

上述した実施の形態の静電アクチュエーターでは、図 2 に分かり易く模式的に示されるように、複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、交互に逆向きで並んでいるが、単位駆動素子の配列はこれに限定されず、直列的に並んでしさえすればよい。例えば、図 19 に示されるように、さらに図 20 に分かり易く模式的に示されるように、複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、同じ向きで並んでいてもよい。このような可動ビームは、図 9 に示される工程において、エッチングのパターンを変える点を除いては、本実施の形態と同様の手法によって作製され得る。

30

【 0 0 5 4 】

本実施の形態の静電アクチュエーターは、可動ビームが直列的に接続された複数の単位駆動素子を有していることにより、接地電極と駆動電極の間隔を増大させることなく、アクチュエーターの変位量の増大と、十分な駆動力の確保とを同時に達成している。また、単位駆動素子を隣接する二つ毎に独立に制御できるので、アクチュエーターの変位を細かく制御することが可能である（もちろん、単位駆動素子をひとつずつ独立に制御するような変更も可能である）。この制御は、駆動電極に電圧を印加する単位駆動素子の個数を変更することで行なわれる所以、D/A 変換を行なうことなく、デジタル回路により直接制御することができる。

40

【 0 0 5 5 】**[第二の実施の形態]**

本発明の第二の実施の形態である静電アクチュエーターの可動ビームについて図面を参照しながら説明する。第二の実施の形態の静電アクチュエータの可動ビームを図 21 に示す。

【 0 0 5 6 】

図 21 に示されるように、可動ビーム 302 は、直列的に接続されている三種類の単位駆動素子 310、330、350 を有している。第一の単位駆動素子 310 は上下方向にたわみ変位し得、第二の単位駆動素子 330 は左右方向にたわみ変位し得、第三の単位駆動

50

素子 350 は、可動ビーム 302 の軸を中心に左右回りにねじれ変位し得る。

【0057】

ここにおいて、「可動ビーム 302 の軸」という用語は、可動ビーム 302 が無変位の状態において、可動ビーム 302 の伸びている方向に平行で、可動ビーム 302 の中心を通る仮想的な線を言うものとする。また、「上下方向」という用語は、可動ビーム 302 の軸に直交する一方向を言い、「左右方向」という用語は、可動ビーム 302 の軸に直交するとともに前述の「上下方向」に直交する方向を言うものとする。

【0058】

図 21 には、複数の単位駆動素子 310 と一つの単位駆動素子 350 と複数の単位駆動素子 330 が示されているが、それらの個数はこれに限定されるものではなく、任意の個数の組み合わせであってよい。また、可動ビーム 302 は、必ずしも三種類の単位駆動素子 310、330、350 の全てを含んでいる必要はなく、要求される動きに応じて、第一ないし第三の単位駆動素子 310、330、350 の内の二種類あるいは一種類のみを有していてもよい。

10

【0059】

第一の単位駆動素子 310 は、図 22 と図 23 に示されるように、第一の電極支持部 312 と、第二の電極支持部 314 と、第一の電極支持部 312 と第二の電極支持部 314 を連結しているバネ部 316 とを有している。バネ部 316 は、可動ビーム 302 の軸に直交する上下方向にたわみ得るたわみバネである。

【0060】

20

第一の電極支持部 312 は、二つの接地電極 322a、322b を有しており、第二の電極支持部 314 は、二つの駆動電極 324a、324b を有している。すなわち、第一の単位駆動素子 310 は、接地電極と駆動電極の対を二つ、すなわち、接地電極 322a と駆動電極 324a の第一の対と、接地電極 322b と駆動電極 324b の第二の対とを有している。

【0061】

接地電極 322a、322b と駆動電極 324a、324b は共に複数の歯を有する櫛形電極であり、それぞれの対を成している櫛形電極は、一方の歯が他方の歯の間に入り込んでおり、各対の櫛形電極の歯は共に可動ビーム 302 の伸びる方向に沿って伸びている。

30

【0062】

第一の対の櫛形電極（すなわち接地電極 322a と駆動電極 324a）は、可動ビーム 302 の軸から、バネ部 316 がたわみ得る方向に外れて位置している。同様に、第二の対の櫛形電極（すなわち接地電極 322b と駆動電極 324b）は、可動ビーム 302 の軸から、バネ部 316 がたわみ得る方向に外れて位置している。さらに、第一の対の櫛形電極（すなわち接地電極 322a と駆動電極 324a）と第二の対の櫛形電極（すなわち接地電極 322b と駆動電極 324b）は、可動ビーム 302 の軸通り、バネ部 316 がたわみ得る方向に直交する平面に対して対称に位置している。

【0063】

第一の単位駆動素子 310 の動作について図 28 を参照して説明する。図 28 は、複数の第一の単位駆動素子 310 が直列的に接続された構造体を横から見た図である。図 28 において、接地電極 322a、322b および下側の駆動電極 324b を接地電位に保った状態で、上側の駆動電極 324a に電圧を印加すると、接地電極 322a と上側の駆動電極 324a が静電引力によって互いに引き寄せられ、バネ部 316 がたわみ変形を起こす。その結果、図 28 に示される構造体（つまり可動ビームの一部）は上方向に反る。

40

【0064】

これとは反対に、接地電極 322a、322b および上側の駆動電極 324a を接地電位に保った状態で、下側の駆動電極 324b に電圧を印加すれば、図 28 に示される構造体（つまり可動ビームの一部）は下方向に反る。

【0065】

また、駆動電圧に電圧を印加する単位駆動素子 310 の個数を制御することにより、図 2

50

8に示される構造体(つまり可動ビームの一部)の反る量つまり変位量を細かく制御することができる。さらに、適当な単位駆動素子310に対しては上側の駆動電極324aに電圧を印加するとともに、その以外のうちの適当な単位駆動素子310に対して下側の駆動電極324bに電圧を印加することにより、図28に示される構造体(つまり可動ビームの一部)を上下方向に複雑な形状に変形させることもできる。

【0066】

図22と図23に示される第一の単位駆動素子310は、上方向と下方向の両方向への移動のために、可動ビーム302の軸から対称的に外れて配置された二対の接地電極と駆動電極を有しているが、上方向または下方向のいずれか一方への移動のみが要求される用途に対しては、第一の単位駆動素子310は、可動ビーム302の軸から外れて配置された一对の接地電極と駆動電極を有してさえすればよい。10

【0067】

第二の単位駆動素子330は、図24と図25に示されるように、第一の電極支持部332と、第二の電極支持部334と、第一の電極支持部332と第二の電極支持部334を連結しているバネ部336とを有している。バネ部336は、可動ビーム302の軸に直交する左右方向にたわみ得るたわみバネである。

【0068】

第一の電極支持部332は、四つの接地電極342a、342b、342c、342dを有しており、第二の電極支持部334は、四つの駆動電極344a、344b、344c、344dを有している。すなわち、第二の単位駆動素子330は、接地電極と駆動電極の対を四つ、すなわち、接地電極342aと駆動電極344aの第一の対と、接地電極342bと駆動電極344bの第二の対と、接地電極342cと駆動電極344cの第三の対と、接地電極342dと駆動電極344dの第四の対とを有している。20

【0069】

接地電極342a、342b、342c、342dと駆動電極344a、344b、344c、344dは共に複数の歯を有する櫛形電極であり、それぞれの対を成している櫛形電極は、一方の歯が他方の歯の間に入り込んでおり、各対の櫛形電極の歯は共に可動ビーム302の延びる方向に沿って延びている。

【0070】

第一の対の櫛形電極(すなわち接地電極342aと駆動電極344a)と第二の対の櫛形電極(すなわち接地電極342bと駆動電極344b)は共に、可動ビーム302の軸から、バネ部336がたわみ得る方向に外れて位置している。さらに、第一の対の櫛形電極と第二の対の櫛形電極は、可動ビーム302の軸通り、バネ部336がたわみ得る方向に平行な平面に対して対称に位置している。30

【0071】

同様に、第三の対の櫛形電極(すなわち接地電極342cと駆動電極344c)と第四の対の櫛形電極(すなわち接地電極342dと駆動電極344d)は共に、可動ビーム302の軸から、バネ部336がたわみ得る方向に外れて位置している。さらに、第三の対の櫛形電極と第四の対の櫛形電極は、可動ビーム302の軸通り、バネ部336がたわみ得る方向に平行な平面に対して対称に位置している。40

【0072】

加えて、第一の対と第二の対の二対の櫛形電極と、第三の対と第四の対の二対の櫛形電極とは、可動ビーム302の軸通り、バネ部336がたわみ得る方向に直交する平面に対して対称に位置している。

【0073】

第二の単位駆動素子330の動作について図29を参照して説明する。図29は、複数の第二の単位駆動素子330が直列的に接続された構造体を上から見た図である。図29において、接地電極342a、342b、342c、342dおよび左側の駆動電極344a、344bを接地電位に保った状態で、右側の駆動電極344c、344dに電圧を印加すると、接地電極342c、342dと右側の駆動電極344c、344dが静電引力50

によって互いに引き寄せられ、バネ部336がたわみ変形を起こす。その結果、図29に示される構造体（つまり可動ビームの一部）は右方向に反る。

【0074】

これとは反対に、接地電極342a、342b、342c、342dおよび右側の駆動電極344c、344dを接地電位に保った状態で、左側の駆動電極344a、344bに電圧を印加すれば、図28に示される構造体（つまり可動ビームの一部）は左方向に反る。

【0075】

また、駆動電圧に電圧を印加する単位駆動素子330の個数を制御することにより、図29に示される構造体（つまり可動ビームの一部）の反る量つまり変位量を細かく制御することができる。さらに、適当な単位駆動素子330に対しては左側の駆動電極344a、344bに電圧を印加するとともに、その以外のうちの適当な単位駆動素子330に対して右側の駆動電極344c、344dに電圧を印加することにより、図29に示される構造体（つまり可動ビームの一部）を左右方向に複雑な形状に変形させることもできる。10

【0076】

図24と図25に示される第二の単位駆動素子330は、左方向と右方向の両方向への移動のために、可動ビーム302の軸から対称的に外れて配置された第一と第二の対の接地電極と駆動電極および第三と第四の対の接地電極と駆動電極を有しているが、左方向または右方向のいずれか一方への移動のみが要求される用途に対しては、第二の単位駆動素子330は、可動ビーム302の軸から外れて配置された二対（例えば第一と第二の対）の接地電極と駆動電極を有してさえすればよい。20

【0077】

第三の単位駆動素子350は、図26と図27に示されるように、第一の電極支持部352と、第二の電極支持部354と、第一の電極支持部352と第二の電極支持部354を連結しているバネ部356とを有している。バネ部356は、可動ビーム302の軸を中心になじれ得るねじれバネである。

【0078】

第一の電極支持部352は、四つの接地電極362a、362b、362c、362dを有しており、第二の電極支持部354は、四つの駆動電極364a、364b、364c、364dを有している。すなわち、第二の単位駆動素子350は、接地電極と駆動電極の対を四つ、すなわち、接地電極362aと駆動電極364aの第一の対と、接地電極362bと駆動電極364bの第二の対と、接地電極362cと駆動電極364cの第三の対と、接地電極362dと駆動電極364dの第四の対とを有している。30

【0079】

接地電極362a、362b、362c、362dと駆動電極364a、364b、364c、364dは共に複数の歯を有する櫛形電極であり、それぞれの対を成している櫛形電極は、一方の歯が他方の歯の間に入り込んでおり、各対の櫛形電極の歯は共に可動ビーム302の軸に直交する方向に沿って延びている。

【0080】

第一の対の櫛形電極（すなわち接地電極362aと駆動電極364a）と第四の対の櫛形電極（すなわち接地電極362dと駆動電極364d）は、可動ビーム302の延びる方向に沿って延びる軸に対して対称的に位置している。同様に、第二の対の櫛形電極（すなわち接地電極362bと駆動電極364b）と第三の対の櫛形電極（すなわち接地電極362cと駆動電極364c）は、可動ビーム302の延びる方向に沿って延びる軸に対して対称的に位置している。40

【0081】

第三の単位駆動素子350の動作について図30を参照して説明する。図30は、第三の単位駆動素子350を可動ビームの軸方向から見た図である。図30において、接地電極362a、362b、362c、362dおよび駆動電極364b、364cを接地電位に保った状態で、駆動電極364a、364dに電圧を印加すると、接地電極362a、50

362dと駆動電極364a、364dが静電引力によって互いに引き寄せられ、バネ部356(図27参照)がねじり変形を起こす。その結果、第一の電極支持部352は第二の電極支持部354に対して右回りにねじれる。これにより、第一の電極支持部352に接続されている構造体は、第二の電極支持部354に接続されている構造体に対して、右回りにねじれる。

【0082】

これとは反対に、接地電極362a、362b、362c、362dおよび駆動電極364a、364dを接地電位に保った状態で、駆動電極364b、364cに電圧を印加すれば、第一の電極支持部352は第二の電極支持部354に対して左回りにねじれる。

【0083】

図26と図27に示される第三の単位駆動素子350は、左回りと右回りの両方向への回転のために、可動ビーム302の軸に対して軸対称に配置された第一と第四の対の接地電極と駆動電極および第二と第三の対の接地電極と駆動電極を有しているが、左回りまたは右回りのいずれか一方への回転のみが要求される用途においては、第三の単位駆動素子350は、可動ビーム302の軸に対して軸対象に配置された二対(例えば第一と第四の対)の接地電極と駆動電極を有してさえすればよい。

【0084】

第一ないし第三の単位駆動素子310、330、350の第一の電極支持部312、332、352は、それに隣接する第一ないし第三の単位駆動素子310、330、350の第二の電極支持部314、334、354と連結されている。このようにして複数の単位駆動素子が直列的に接続されている構造体(すなわち可動ビーム302)は、後述するように、半導体製造プロセスを適用して、シリコン基板から作製される。

【0085】

図22～図27に示される第一ないし第三の単位駆動素子の各々において、第一の電極支持部と第二の電極支持部とバネ部と接地電極と駆動電極は共に主にシリコンで構成されている。駆動電極は酸化シリコン膜によって第二の電極支持部から電気的に絶縁されている。また接地電極も酸化シリコン膜によって第一の電極支持部から電気的に絶縁されている。

【0086】

各単位駆動素子310、330、350は、図22～図27に示されるように、第一の電極支持部と第二の電極支持部とバネ部の内部を通る配線溝318、338、358を有している。配線溝318、338、358は、酸化シリコン膜によって、第一の電極支持部と第二の電極支持部とバネ部から電気的に絶縁されている。

【0087】

また、各単位駆動素子は、図22～図27には図示されていないが、第一の電極支持部と第二の電極支持部の内部に形成されたCMOS回路を有している。駆動電極はそれぞれコントラクトホールを介してCMOS回路と電気的に接続されている。また、隣接する単位駆動素子の内部のCMOS回路同士は、配線溝内を延びる配線を介して互いに電気的に接続されている。また、隣接する単位駆動素子の接地電極は、配線溝内を延びる配線を介して互いに電気的に接続されている。

【0088】

さらに、本実施の形態の静電アクチュエータは、図示しないが、第一の実施の形態と同様に、可動ビーム302を片持ちに支持するビーム支持部を有しており、ビーム支持部は給電パッドを有しており、給電パッドは配線溝内を延びる配線によって隣接する単位駆動素子のCMOS回路と電気的に接続されている。

【0089】

各単位駆動素子310、330、350の内部に設けられるCMOS回路は、電圧を印加する駆動電極の選択に使用される。図31に示されるように、CMOS回路402は、シフトレジスタ404とラッチ回路406とMOSトランジスタ408とを有している。MOSトランジスタ408のソース及びドレインには直流電源412および単位駆動素子の

10

20

30

40

50

駆動電極 444 がそれぞれ接続されている。

【0090】

また、MOSトランジスタ408のゲートはMOSトランジスタに対応するラッチ回路406に接続されている。CMOS回路402内において、ラッチ回路406はシフトレジスタ404内のノード418に接続され、シフトレジスタ404内の各ノードは、各々の駆動電極444に1対1で対応するものとする。

【0091】

以下このCMOS回路402の動作について説明する。

【0092】

まず、入力パルスを端子414から入力する。入力パルスはシフトレジスタ404により 10
入力端子側より順次転送されていく。シフトレジスタ404内を転送されてきた入力パルスが駆動したい電極に対応するシフトレジスタ内のノード418まで到達したら、ラッチ回路コントローラ410を動作させ、各々のラッチ回路406内部にシフトレジスタ内ノード418の電位情報をラッチする。このラッチされた電位情報によりMOSトランジスタを制御する事で、電源412の電圧が任意の駆動電極444に印加される。

【0093】

本発明の実施の形態においては、図25および図27から示唆されるように、第二の単位駆動素子330と第三の単位駆動素子350において、それぞれ、バネ部336とバネ部356の内部に形成される配線溝338と配線溝358の幅が十分確保できないケースが予想されるが、各単位駆動素子に上記のCMOS回路402を設けることにより、配線溝の内部を通る配線は駆動電極の個数に依らず、図31の422、424、426で示される配線の他、接地電極442に接続される配線や、各回路に電圧および駆動のためのパルスを供給する配線のみで済むため、配線溝が狭いことによる不具合は生じない。 20

【0094】

各単位駆動素子の駆動電極は互いに電気的に分離されているため、各単位駆動素子に対して独立に電圧を印加することができる。従って、可動ビーム302の任意の箇所を変位させることができるとともに、可動ビーム全体の変位量を、電圧を印加する単位駆動素子の個数によって制御することができる。

【0095】

図32～図41は、本実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビーム302の製造工程を示す斜視図である。以下、図32～図41を参照しながら、本実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビーム302の製造方法について説明する。図32～図41には、可動ビーム302のうち、第一の単位駆動素子310と第二の単位駆動素子330と第三の単位駆動素子350をひとつずつ含む部分が描かれている。 30

【0096】

まず図32に示すように、活性層と支持層504と埋め込み酸化膜506を有するSOI基板を用意し、その活性層を、フォトレジスト(図示せず)等をマスクとしてRIEやICPエッティングによって2回選択的に除去することにより、接地電極508a、508b、508cと、駆動電極510a、510b、510cとを形成する。接地電極508a、508b、508cはそれぞれ突出した接合部512を有し、駆動電極510a、510b、510cはそれぞれ突出した接合部514を有している。 40

【0097】

接地電極508aと駆動電極510aは、それぞれ、第一の単位駆動素子310の接地電極と駆動電極になり、接地電極508bと駆動電極510bは、それぞれ、第二の単位駆動素子330の接地電極と駆動電極になり、接地電極508cと駆動電極510cは、それぞれ、第三の単位駆動素子350の接地電極と駆動電極になる。

【0098】

次に、同様に活性層522と支持層524と埋め込み酸化膜526を有する別のSOI基板を用意し、その活性層522を、図32の工程と同様の手法により、選択的に除去することにより、図33に示すように、電極支持部528a、528b、528c、528d 50

と、電極支持部 528b と電極支持部 528c の間に延びるバネ形成予定部 530 とを形成する。

【0099】

電極支持部 528a は、第一の単位駆動素子 310 の第一の電極支持部の一部となり、電極支持部 528b は、第一の単位駆動素子 310 の第二の電極支持部と第二の単位駆動素子 330 の第一の電極支持部の一部となり、電極支持部 528c は、第二の単位駆動素子 330 の第二の電極支持部と第三の単位駆動素子 350 の第一の電極支持部の一部となり、電極支持部 528d は、第三の単位駆動素子 350 の第二の電極支持部の一部となる。

【0100】

バネ形成予定部 530 は、第二の単位駆動素子 330 用であり、最終的に、第二の単位駆動素子 330 のバネ部の一部となる。また、活性層 522 のエッティングは、埋め込み酸化膜 526 が露出する前で止められており、従って、電極支持部 528a と電極支持部 528b の間および電極支持部 528c と電極支持部 528d の間には、薄い活性層 522 が残っている。電極支持部 528a と電極支持部 528b の間に残る薄い活性層 522 は、第一の単位駆動素子 310 用のバネ形成予定部となり、最終的に、第一の単位駆動素子 310 のバネ部の一部となる。また、電極支持部 528c と電極支持部 528d の間に残る薄い活性層 522 の中央部分は、第三の単位駆動素子 350 用のバネ形成予定部となり、最終的に、第三の単位駆動素子 350 のバネ部の一部となる。

【0101】

図 32 および図 33 の工程において使用する SOI 基板の活性層には、初期酸素濃度が 10 ~ 28 ppm (OLD ASTM) の範囲のものを使用する。本実施の形態においては、素子内部に MOS ドラフィンジスタを形成(後述)するため、多くの熱工程が必要となるが、熱工程の条件によっては、シリコン中に含まれる格子間酸素が析出することにより、格子間酸素濃度が低下する。

【0102】

格子間酸素濃度が 10 ppm (OLD ASTM) 以下に低下すると、シリコンの機械強度が急激に低下することが知られているが(阿部孝夫著、シリコン結晶とドーピング(丸善(株)) P32)、熱工程前の格子間酸素濃度を 10 ~ 28 ppm (OLD ASTM) の範囲に制御することにより、熱工程中による酸素析出が防止され、アクチュエーターを構成するシリコンの機械強度が確保される(F. Shimura, Semiconductor Silicon Crystal Technology(Academic Press Inc.), P320)。

【0103】

次に、図 33 の工程によって作製された構造体の活性層 522 の表面に熱酸化膜 532 を形成した後、図 34 に示すように、これを、図 32 の工程によって作製された構造体と接合する。

【0104】

図 34 の構造体を部分的に破断して示す図 35 に示されるように、これら二つの構造体は、第一の単位駆動素子 310 用のバネ形成予定部 534 が、その接地電極 508a と駆動電極 510a の中央に、第二の単位駆動素子 330 用のバネ形成予定部 530 が、その接地電極 508b と駆動電極 510b の中央に、第三の単位駆動素子 350 用のバネ形成予定部 536 が、その接地電極 508c と駆動電極 510c の中央に来るよう、位置合わせされる。

【0105】

次に支持層 524 を TMAH 等により除去した後、埋め込み酸化膜 526 を RIE によって除去する。さらに、図 36 に示すように、フォトレジスト 542 をマスクとして RIE によって、活性層 522 のシリコンを一部除去することにより、配線溝 544 を形成する。

【0106】

次にフォトレジスト 542 を除去した後、熱酸化を行ない、新たに形成された熱酸化膜の一部をフォトレジストをマスクとしてバッファードフッ酸または RIE によって除去する

10

20

30

40

50

ことにより、図37に示される酸化膜マスク546を形成する。さらに図37に示すように、酸化膜マスク546を介して、下層のシリコン522をTMAHによって除去することにより、凹部548を形成する。

【0107】

次に酸化膜マスク546を除去した後、再度熱酸化を行ない、図38に示される酸化シリコン膜550を形成する。さらに酸化シリコン膜550の一部をフォトレジストをマスクとしてRIEによって除去することにより、図38に示されるCMOS形成領域552のシリコンを露出させる。

【0108】

続いて、ウエル形成、ゲート酸化、フィールド酸化、ソースドレイン形成等を順次行ない、CMOS形成領域552にMOSトランジスタを形成する。次に、CMOS形成領域に形成されたMOSトランジスタの各端子および凹部548の底部に、コンタクトホール(図示せず)を形成した後、第一の実施の形態と同様の手法により、図38に示される配線554および層間絶縁膜(図示せず)を形成する。

10

【0109】

次に、前工程で形成した層間絶縁膜及び酸化シリコン膜550を一部除去した後、これらをマスクとして下層のシリコンをICPエッチング法によって除去することにより、図39に示すように、電極支持部528a、528b、528c、528dおよびバネ部558a、558b、558cの輪郭に沿って、不要な部分のシリコン522と酸化シリコン膜532を除去する。バネ部558a、558b、558cはそれぞれ第一～第三の単位駆動素子310、330、350のバネ部の一部となる。

20

【0110】

さらに埋め込み酸化膜506が露出している部分のうち面積の広い箇所に、ポリイミド膜560をスクリーン印刷法等の方法により成膜する。

【0111】

次に図40に示すように、図39の工程で形成された構造体562を二つ、各々の構造が接合面に対してミラー対称になるよう位置合わせを行った後、両者を接合する。この接合は、構造中に使用している配線材の融点やポリイミドの熱分解温度より低い温度で行なう。さらに支持層504を除去する。支持層504の除去は、アクチュエーターの形成されている空間564を封止した状態で、TMAH等を使用して行なう。

30

【0112】

ポリイミド膜560は、第一の実施の形態と同様、埋め込み酸化膜506の補強材として機能する。最後に埋め込み酸化膜506及びポリイミド膜560をRIEによって除去することにより、図41に示されるように、第一ないし第三の単位駆動素子310、330、350をひとつずつ含む可動ビーム302の一部が完成する。

【0113】

なお、配線溝544の表面荒れにより、後工程で形成するCMOS回路の特性に悪影響を及ぼす場合は、図33の工程において、スタートウエハとして、三層のシリコンと二層の埋め込み酸化膜を有するSOI基板を使用することにより、埋め込み酸化膜のひとつを、電極溝形成の際のシリコンエッチングの停止層として使用してもよい。

40

【0114】

第二の実施の形態のビーム支持部は、第一の実施の形態のビーム支持部とほぼ同じ構造であるため、その図示は省略されているが、第二の実施の形態においても、これまでの製造方法の説明から分かるように、配線が配線溝内面の上面と下面に形成されているため、ビーム支持部は、第一の実施の形態と同様に、その内部に形成される給電パッドへの電気的接続のための開口部が上面と下面に形成されている。

【0115】

本実施の形態による静電アクチュエーターは、可動ビームが直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しているので、可動ビームを十分な駆動力で大きく変位させることができる。また、単位駆動素子がひとつずつ独立に制御可能であるので、可動ビームの任意の部

50

分を変形させることができる。駆動する単位駆動素子の個数を変更することにより、可動ビームの全体の変位量を、D/A変換を行なうことなく、デジタル回路により直接制御することができる。

【0116】

また、可動ビームは、複数の種類の単位駆動素子を含んでいるため、本実施の形態による静電アクチュエーターは、複数の種類の変位、例えば、上下方向や左右方向への反り、ねじれの変位を発生し得る。このため、マイクロファクトリーおよびマイクロロボットのアームや歩行機構、カテーテル、光スイッチ、等様々な用途への応用が可能である。

【0117】

[ミラーアレイ]

10

続いて、本発明の別の側面であるミラーアレイについて説明する。続く説明では、最初に、ミラーアレイの背景について述べ、その後で、ミラーアレイの具体的な実施の形態について述べる。

【0118】

特開平6-207853号には、静電力により駆動するミラーアレイを利用した小型の分光装置が開示されている。この分光装置は、図53に示すように、スリット1102と、コリメーター1104と、プリズム1106と、空間光変調器1108と、集光ミラー1110と、検出器1112とを有している。

【0119】

図53において、スリット1102を透過した光は、コリメーター1104によって平行光束に変換され、プリズム1106によって分光された後、空間光変調器1108に入射する。ここでプリズム1106によって分光された光は、入射光に含まれる光の波長毎に固有の角度に方向付けられるので、互いに波長の異なる光成分は、空間光変調器1108上の異なる位置に入射する。従って、空間光変調器1108によって、特定の位置に入射した光のみを集光ミラー1110に向けて出力することにより、ピンホール1102に入射した光から特定の波長の光のみを検出器1112で検出することができる。

20

【0120】

空間光変調器1108としては、ミラーアレイ、シャッターアレイ、フィルターアレイ等があるが、このうちミラーアレイは、損失が小さく、異なる位置に入射した複数の光を異なる方向に同時に出力できるという長所を有している。このミラーアレイを使用した空間光変調器の一つとして、DMD (Digital Micromirror Device) が特開2000-28937号等に開示されている。

30

【0121】

DMDは、図54に示すように、駆動電極1202と、接地電極1204と、トーションバー1206と、トーションバー1208と、ミラーポスト1210と、ミラー1212とを有している。

【0122】

接地電極1204は、導電性の弾性体から成る一対のトーションバー1208によって、偏向可能に支持されている。トーションバー1208は、導電性の一対のトーションバー1206によって支持されており、接地電極1204は、トーションバー1208とトーションバー1206を介して設置電位に保たれる。また、接地電極1204にはミラーポスト1210が取り付けられており、ミラーポスト1210にはミラー1212が固定されている。駆動電極1202は、接地電極1204に対向して、接地電極1204の偏向軸に対して互いに対称な位置に一枚ずつ配置されている。

40

【0123】

DMDにおいて、図55に示すように、接地電極1204および一方の駆動電極1202aを接地した状態で、他方の駆動電極1202bに電源1220により電圧を印加すると、接地電極1204と駆動電極1202bの表面に互いに極性が逆の電荷1224、1222が誘起され、電荷1224と電荷1222の間に作用する静電力により、接地電極1204の片側が駆動電極1202bの方向に引き寄せられる。このためミラーポスト12

50

10を介して接地電極1204に固定されたミラー1212が偏向し、ミラー1212によって反射される光の方向が変化する。

【0124】

ミラー1212は、図54に示されるように、二次元的に配列されており、このうち特定のミラー1212を、図53中の集光ミラー1110の方向に偏向させることにより、図53の分光装置は、特定の波長の光のみを選択的に検出できる。

【0125】

図53中の分光器1106を透過した光束は、空間光変調器1108の表面において、図56に示すように長径1232および短径1234を有する長円状の領域1236に投影される。ここで、領域1236に投影された光のうち波長の異なる成分は、領域1236の長径方向に分離されるため、長径方向が図56のX方向に揃うようプリズムや空間光変調器を配置すると、X方向におけるミラーの位置が、空間光変調器から出力される光の波長に対応する。
10

【0126】

図53において、空間光変調器1108から集光ミラー1110の方向に出力される光には、所望の波長の光以外に、図56において、隣接するミラー1212の端面1242からの散乱光が迷光として含まれ、この散乱光は、検出信号のS/N比を劣化させる。

【0127】

この不具合は、図57に示すように、一方向に長い短冊状のミラーを直線状に並べることにより軽減される。すなわち、図57に示すように、空間光変調器のミラーを、一方の辺の長さが領域1236の短径より長いミラー1252に変更することにより、隣接するミラーの端面からの散乱光はy方向に反った端面1256からの散乱光のみとなり、X方向に沿った端面1254からの散乱光が消失するため、迷光が低減される。
20

【0128】

このような空間光変調器においては、図57のY方向を軸として、ミラー1252を偏向させると、ミラー1252からの反射光の一部が隣接するミラーに遮られるため、信号強度が低下する。従って、ミラー1252は、図56のX方向を軸として、偏向させることが望ましい。

【0129】

そのための駆動機構すなわちDMDは、図58に示すように、ミラー1252と駆動電極1262と接地電極1264が、ミラー偏向軸に直交する方向に比較的長い寸法を持つようになる。ミラー1252は、接地電極1264の端面と駆動電極1262が接触する角度より大きい角度には偏向できない。このため、図58の駆動機構は、図54の駆動機構と比較した場合、駆動電極と接地電極の間隔が同じであれば、その偏向角は小さくなる。このため、図53の分光装置においては、空間光変調器1108と、集光ミラー1110や検出器1112との距離を長くしなければならず、これは、不所望な光学系の寸法の増大を招く。
30

【0130】

また、図58の駆動機構において、ミラー1252の大きい偏向角を得るには、駆動電極1262と接地電極1264の間隔を大きくすればよいが、両者の電極間に作用する静電引力は電極間隔の二乗に比例して減少するため、駆動電極1262と接地電極1264の間隔を増大した場合、十分なミラー1252の駆動力を確保できなくなる。
40

【0131】

電極間に作用する静電力は印加電圧の二乗に比例するため、駆動電極1262と接地電極1264の間に印加する電圧を増大させることにより、前述の電極間隔の増大による静電引力の低下を補うことが可能だが、電圧には、各電極間または電極に接続される配線間の静電耐圧により制限される上限が存在するため、印加電圧を無制限に増大させることはできない。

【0132】

さらに特開平6-207853に開示されている走査型顕微鏡のように、波長の異なる複
50

数の光を同時に検出したい場合には、図59に示すように、空間光変調器1302は、これに対して異なる方向に配置された複数の検出器1304、1306、1308のいずれかひとつに対して、光束を方向付ける必要がある。しかし、DMDにおいては、駆動電極と接地電極間に作用する静電引力は印加電圧に対してリニアに変化せず、また静電引力は印加電圧だけでなく電極間隔にも依存するため、ミラーの角度を複数の異なる一定値のいずれかひとつに正確に制御することは極めて困難である。

【0133】

本発明のミラーアレイは、上述した本発明の静電アクチュエーターを利用することにより、このような技術的な困難を克服したものであり、ミラーの角度を複数の異なる一定値のいずれかひとつに正確に制御することができる。以下、本発明のもうひとつの側面であるミラーアレイの実施の形態について説明する。10

【0134】

[第三の実施の形態]

本発明の第三の実施の形態であるミラーアレイについて図面を参照しながら説明する。

【0135】

図42に示されるように、本実施の形態のミラーアレイは、複数の可動ビーム602と、複数の可動ビーム602を片持ちに支持するビーム支持部604と、可動ビーム602の各々の自由端部に設けられた複数のミラー606とを有している。ミラー606は、可動ビーム602の軸に沿って細長い短冊形状を有している。

【0136】

可動ビーム602の各々は、図43に示されるように、直列的に接続された複数の単位駆動素子610を有している。単位駆動素子610の各々は、第一の電極支持部612と、第二の電極支持部614と、これら一対の電極支持部612、614を連結するバネ部616とを有している。複数の単位駆動素子610は、可動ビーム602の軸に沿って、交互に逆向きで並んでいる。バネ部616は、可動ビーム602の軸に直交する方向にたわみ得るたわみバネである。20

【0137】

第一の電極支持部612は、二つの接地電極622a、622bを含んでおり、第二の電極支持部614は、二つの駆動電極624a、駆動電極624bを含んでいる。つまり、ひとつの単位駆動素子610は、バネ部616のたわみ得る方向に置いて向き合っている接地電極622aと駆動電極624aの第一の対と、バネ部616のたわみ得る方向に間に隔をおいて向き合っている接地電極622bと駆動電極624bの第二の対を有している。30

【0138】

この単位駆動素子610は、第一の実施の形態の単位駆動素子110と実質的に同じものである。

【0139】

可動ビーム602は、その軸に沿って内部を延びる配線溝632を有しており、各単位駆動素子610の駆動電極624a、624bおよび接地電極622a、622bは、コンタクトホールを介して、配線溝632の中を延びる配線634と電気的に接続されている40
。

【0140】

ビーム支持部604は、その内部に、一本の可動ビーム602に対して一つのCMOS回路640を有している。CMOS回路640は、配線634を介して、駆動電極624a、624bと電気的に接続されている。CMOS回路640は、ビーム支持部604に形成された配線溝642の中を延びる配線644を介して、隣のCMOS回路と電気的に接続されている。

【0141】

CMOS回路640は、可動ビーム602の任意の単位駆動素子610の駆動電極624a、624bに選択的に電圧を与えるための回路であり、これは、第二の実施の形態にお50

いて図31を参照して説明したCMOS回路と同じものである。

【0142】

このような本実施の形態のミラーアレイ600では、第一の実施の形態の説明から容易に理解できるように、可動ビーム602は、単位駆動素子610の駆動電極624a、624bへの電圧の印加に応じて上下方向に反り、その結果、可動ビーム602の自由端部に設けられているミラー606の角度が変わる。さらに、可動ビーム602の変位量すなわちミラー606の角度変位は、電圧を印加する単位駆動素子610の個数や位置を変更することにより、細かく制御ができる。

【0143】

本実施の形態のミラーアレイ600は、半導体製造プロセスを適用して、シリコン基板から作製される。その製造方法は、第一の実施の形態の静電アクチュエーターの製造方法と似ており、以下、図44～図49を参照しながら、簡単に説明する。図44～図49には、可動ビーム602の先端の一つの単位駆動素子とミラーが描かれている。

10

【0144】

まず図44に示すように、活性層と支持層704と埋め込み酸化膜706を有するSOI基板を用意し、その活性層を、フォトレジスト(図示せず)等をマスクとしてRIEやICPエッティングによって2回選択的に除去することにより、駆動電極712とそこから突出している接合部714を形成する。

【0145】

駆動電極712と接合部714は、形成する可動ビームの延びる方向に沿って複数形成され、さらに、一本の可動ビームに対応する複数の駆動電極712と接合部714の組は、形成する隣接して延びる複数の可動ビームに対応して、互いに隣接して複数並べられて形成される。

20

【0146】

次に、同様に活性層722と支持層724と埋め込み酸化膜726を有する別のSOI基板を用意し、その活性層722を、図44の工程と同様の手法により、選択的に除去することにより、図45に示すように、接地電極732と電極ポスト734と可動板736を形成する。活性層722のエッティングは、埋め込み酸化膜726が露出する前で止めて、接地電極732と電極ポスト734の間に残る薄い活性層722を残す。

【0147】

30

接地電極732と電極ポスト734は、形成する可動ビームの延びる方向に沿って複数形成され、さらに、一本の可動ビームに対応する複数の駆動電極712と接合部714の組と可動板736は、形成する隣接して延びる複数の可動ビームに対応して、互いに隣接して複数並べられて形成される。

【0148】

図44と図45の工程において使用するSOI基板の活性層には、初期酸素濃度が10～28ppma(OLD ASTM)の範囲のものを使用するとよい。これは、第二の実施の形態に関連して説明したように、MOSトランジスタを形成する際の加熱処理による格子間酸素濃度の低下を抑えて、シリコンの機械強度を確保するためである。

【0149】

40

次に、図44の工程で作製された構造体の表面に熱酸化膜742を形成し、同様に図45の工程で作製された構造体の表面に熱酸化膜744を形成した後、図46に示すように、接合部714と電極ポスト734を接触させて、両者を互いに接合する。

【0150】

次に支持層724をTMAH等により除去した後、埋め込み酸化膜726をRIEによって除去する。さらに、シリコンを選択的にエッティング加工して、図47に示すように、配線溝752と凹部754を形成した後、酸化シリコン膜756を形成した後、形成する可動ビームの間に相当する部分を選択的に除去する。

【0151】

次に、支持部を形成する領域に、ウエル形成、ゲート酸化、フィールド酸化、ソースドレ

50

イン形成等を順次行ない、C M O S回路を形成する。次に、C M O S回路の各端子および凹部754の底部に、コンタクトホールを形成する。さらにスパッタリング法等によってアルミニウム等の導体膜を形成した後、この導体膜の一部をフォトレジスト等を介して除去することにより、図48に示されるように、駆動電極に接続される配線762およびC M O S回路に接続される配線（図示せず）を形成する。さらに必要に応じて層間絶縁膜を形成する。

【0152】

さらに、酸化シリコン膜756をマスクにして、露出しているシリコンをI C Pエッティング法によって除去することにより、隣接する接地電極732と電極ポスト734と可動板736を互いに切り離す。

10

【0153】

図48の工程で形成された構造体を二つ用意し、これら二つの構造体を、酸化シリコン膜756の面を向かい合わせ、接合面に対して両者がミラー対称となるように位置合わせして互いに接合する。この接合は、構造体に使用している配線材の融点よりも低い温度で行なう。さらに支持層704および埋め込み酸化膜706を除去する。これにより、図49に示されるように、互いに隣接して延びている複数の可動ビーム602を有する構造体が得られる。

【0154】

支持層704を除去する工程に関して、一方の支持層704について、その前工程で形成される酸化シリコン膜を部分的に残して置き、これをマスクに支持層704をエッティングすることにより、図43に示されるアクチュエーター支持部764を同時に形成する。

20

【0155】

最後に、可動板736の表面に対して選択的に金属膜を形成して反射面764を形成する。その結果、図49に示されるように、隣接して延びてる複数の可動ビーム602を有し、その各々の自由端からミラー606が連続して延びている構造体すなわちミラーアレイが得られる。

【0156】

なお、配線溝752の表面荒れにより、後工程で形成するC M O S回路の特性に悪影響を及ぼす場合は、図45の工程において、スタートウェハとして、三層のシリコンと二層の埋め込み酸化膜を有するS O I基板を使用することにより、埋め込み酸化膜のひとつを、電極溝形成の際のシリコンエッティングの停止層として使用してもよい。

30

【0157】

[第四の実施の形態]

本発明の第四の実施の形態であるミラーアレイについて図面を参照しながら説明する。

【0158】

図50に示されるように、本実施の形態のミラーアレイ800は、複数の可動ビーム802と、複数の可動ビーム802を片持ちに支持するビーム支持部804と、可動ビーム802の各々の自由端部に設けられた複数のミラー806とを有している。ミラー806は、可動ビーム802の軸に沿って細長い短冊形状を有している。

40

【0159】

可動ビーム802の各々は、図51に示されるように、直列的に接続された複数の単位駆動素子810を有している。単位駆動素子810の各々は、第一の電極支持部812と、第二の電極支持部814と、これら一対の電極支持部812、814を連結するバネ部816とを有している。複数の単位駆動素子810は、可動ビーム802の軸に沿って、同じ向きで並んでいる。バネ部816は、可動ビーム802の軸に直交する方向にたわみ得るたわみバネである。

【0160】

第一の電極支持部812は、二つの接地電極822a、822bを含んでおり、第二の電極支持部814は、二つの駆動電極824a、824bを含んでいる。すなわち、単位駆動素子810は、接地電極と駆動電極の対を二つ、すなわち、接地電極822aと駆動電

50

極 8 2 4 a の第一の対と、接地電極 8 2 2 b と駆動電極 8 2 4 b の第二の対とを有している。

【 0 1 6 1 】

接地電極 8 2 2 a、8 2 2 b と駆動電極 8 2 4 a、8 2 4 b は共に複数の歯を有する櫛形電極であり、それぞれの対を成している櫛形電極は、一方の歯が他方の歯の間に入り込んでおり、各対の櫛形電極の歯は共に可動ビーム 8 0 2 の軸に沿って延びている。

【 0 1 6 2 】

この単位駆動素子 8 1 0 は、第二の実施の形態の第一の単位駆動素子 3 1 0 と同じものである。

【 0 1 6 3 】

図 5 2 に示されるように、可動ビーム 8 0 2 は、その軸に沿って内部を延びる配線溝 8 3 2 を有している。言い換えれば、単位駆動素子 8 1 0 の各々は、第一の電極支持部 8 1 2 と第二の電極支持部 8 1 4 とバネ部 8 1 6 の内部を通る延びる配線溝 8 3 2 を有している。各単位駆動素子 8 1 0 の配線溝 8 3 2 の内部には、第二の実施の形態と同様に、C M O S 回路が形成されている。あるいは、C M O S 回路は、第三の実施の形態と同様に、ビーム支持部 8 0 4 の内部に設けられていてよい。C M O S 回路の端子は、図示しない配線によってコンタクトホールを介して、駆動電極 8 2 2 a、8 2 2 b と電気的に接続されている。

【 0 1 6 4 】

また、配線溝 8 3 2 の上下面には、可動ビーム 8 0 2 の軸に沿って延びる配線 8 3 4 が形成されており、各単位駆動素子 8 1 0 の C M O S 回路や接地電極 8 2 2 a、8 2 2 b の相互間の電気的接続が取られている。また、配線 8 3 4 は、第三の実施の形態と同様に、支持部 8 0 4 の内部に形成された配線溝まで延びてあり、その配線溝の中を外部回路との電気的接続のために延び、あるいは、その配線溝を介して他の可動ビームの配線と電気的に接続されている。

【 0 1 6 5 】

C M O S 回路は、可動ビーム 8 0 2 の任意の単位駆動素子 8 1 0 の駆動電極 8 2 4 a、8 2 4 b に選択的に電圧を与えるための回路であり、これは、第二の実施の形態において図 3 1 を参照して説明した C M O S 回路と同じものである。

【 0 1 6 6 】

このような本実施の形態のミラーアレイ 8 0 0 では、第一の実施の形態の説明から容易に理解できるように、可動ビーム 8 0 2 は、単位駆動素子 8 1 0 の駆動電極 8 2 4 a、8 2 4 b への電圧の印加に応じて上下方向に反り、その結果、可動ビーム 8 0 2 の自由端部に設けられているミラー 8 0 6 の角度が変わる。さらに、可動ビーム 8 0 2 の変位量すなわちミラー 8 0 6 の角度変位は、電圧を印加する単位駆動素子 8 1 0 の個数や位置を変更することにより、細かく制御ができる。

【 0 1 6 7 】

本実施の形態のミラーアレイ 8 0 0 も、第三の実施の形態と同様に、半導体製造プロセスを利用してシリコン基板から製造される。第二の実施の形態と第三の実施の形態の説明から容易に類推できるように、第二の実施の形態において詳しく説明した第一の単位駆動素子 3 1 0 を、形成する複数の可動ビームの各々の軸に沿って複数個ずつ並べて形成するとともに、第三の実施の形態で説明したように、その先端部に可動板を一緒に形成することにより製造することができる。

【 0 1 6 8 】

これまで、いくつかの実施の形態について図面を参照しながら具体的に説明したが、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で行なわれるすべての実施を含む。

【 0 1 6 9 】

従って、本発明は以下の各項に記す静電アクチュエーターあるいはミラーアレイを含んでいる。

【 0 1 7 0 】

1 . 静電力により駆動される静電アクチュエーターであって、可動ビームと、可動ビームを片持ちに支持するビーム支持部とを有しており、可動ビームは、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を連結するバネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している、静電アクチュエーター。

【 0 1 7 1 】

2 . 単位駆動素子は、電極支持部の各々に設けられた二対の電極要素とを有している、第1項に記載の静電アクチュエーター。

10

【 0 1 7 2 】

3 . 複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、交互に逆向きで並んでいる、第1項または第2項に記載の静電アクチュエーター。

【 0 1 7 3 】

4 . 複数の単位駆動素子は、可動ビームの延びる方向に沿って、同じ向きで並んでいる、第1項または第2項に記載の静電アクチュエーター。

【 0 1 7 4 】

5 . 一対の電極要素は一対の平板電極であり、一対の平板電極は間隔を置いて向き合っている、第1項または第2項に記載の静電アクチュエーター。

【 0 1 7 5 】

6 . 一対の電極要素は一対の櫛形電極であり、一対の櫛形電極はそれぞれ複数の歯を有しており、一方の櫛形電極の歯は他方の櫛形電極の歯の間に延びている、第1項または第2項に記載の静電アクチュエーター。

20

【 0 1 7 6 】

7 . 可動ビームは、少なくとも一つの第一の単位駆動素子を有しており、第一の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネである、第1項または第2項に記載の静電アクチュエーター。

【 0 1 7 7 】

8 . 可動ビームは、少なくとも一つの第二の単位駆動素子を更に有しており、第二の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネであり、第二の単位駆動素子のバネ部がたわむ方向は、第一の単位駆動素子のバネ部がたわむ方向に直交している、第1項または第2項に記載の静電アクチュエーター。

30

【 0 1 7 8 】

9 . 可動ビームは、少なくとも一つの第三の単位駆動素子を更に有しており、第三の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸の周りにねじれ得るねじれバネである、第1項または第2項に記載の静電アクチュエーター。

【 0 1 7 9 】

10 . 可動ビームは、第一ないし第三の単位駆動素子から選ばれる少なくとも一種類の単位駆動素子を有している第1項または第2項に記載の静電アクチュエーターであって、ここに、第一の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネであり、第二の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネであり、第二の単位駆動素子のバネ部がたわむ方向は、第一の単位駆動素子のバネ部がたわむ方向に直交しており、第三の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸の周りにねじれ得るねじれバネである。

40

【 0 1 8 0 】

11 . 可動ビームは、第一ないし第三の単位駆動素子から選ばれる少なくとも二種類の単位駆動素子を有している第1項または第2項に記載の静電アクチュエーターであって、ここに、第一の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネであり、第二の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延

50

びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネであり、第二の単位駆動素子のバネ部がたわむ方向は、第一の単位駆動素子のバネ部がたわむ方向に直交しており、第三の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸の周りにねじれ得るねじれバネである。

【0181】

12. 可動ビームは、第一ないし第三の単位駆動素子から選ばれる三種類の単位駆動素子を有している第1項または第2項に記載の静電アクチュエーターであって、ここに、第一の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネであり、第二の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に直交する方向にたわみ得るたわみバネであり、第二の単位駆動素子のバネ部がたわむ方向は、第一の単位駆動素子のバネ部がたわむ方向に直交しており、第三の単位駆動素子は、そのバネ部が、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸の周りにねじれ得るねじれバネである。

10

【0182】

13. 第一の単位駆動素子は少なくとも一対の櫛形電極を有しており、一対の櫛形電極はそれぞれ複数の歯を有し、一方の櫛形電極の歯は他方の櫛形電極の歯の間に入り込んでおり、一対の櫛形電極の歯は可動ビームの延びる方向に沿って延びてあり、一対の櫛形電極は、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸から、バネ部がたわむ方向に外れて位置している、第7項ないし第12項のいずれかひとつに記載の静電アクチュエーター。

20

【0183】

14. 第一の単位駆動素子は二対の櫛形電極を有しており、二対の櫛形電極は、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸を通り、バネ部がたわむ方向に直交する平面に対して、面对称に位置している、第7項ないし第12項のいずれかひとつに記載の静電アクチュエーター。

【0184】

15. 第二の単位駆動素子は少なくとも二対の櫛形電極を有しており、各一対の櫛形電極はそれぞれ複数の歯を有し、一方の櫛形電極の歯は他方の櫛形電極の歯の間に入り込んでおり、各一対の櫛形電極の歯は可動ビームの延びる方向に沿って延びてあり、各一対の櫛形電極は、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸から、バネ部がたわむ方向に外れて位置している、第7項ないし第12項のいずれかひとつに記載の静電アクチュエーター。

30

【0185】

16. 第二の単位駆動素子は四対の櫛形電極を有しており、四対の櫛形電極は、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸を通り、バネ部がたわむ方向に直交する平面に対して、面对称に位置している、第7項ないし第12項のいずれかひとつに記載の静電アクチュエーター。

【0186】

17. 第三の単位駆動素子は少なくとも二対の櫛形電極を有しており、各一対の櫛形電極はそれぞれ複数の歯を有し、一方の櫛形電極の歯は他方の櫛形電極の歯の間に入り込んでおり、各一対の櫛形電極の歯は可動ビームの延びる方向に直交する方向に沿って延びてあり、二対の櫛形電極は、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸から対称的に外れて位置している、第7項ないし第12項のいずれかひとつに記載の静電アクチュエーター。

40

【0187】

18. 第三の単位駆動素子は四対の櫛形電極を有しており、四対の櫛形電極は、可動ビームの延びる方向に沿って延びる軸に対して軸対称に位置している、第7項ないし第12項のいずれかひとつに記載の静電アクチュエーター。

【0188】

19. 静電アクチュエーターは、格子間酸素濃度が10 ppm (OLD ASTM)以上であるシリコンから構成される、第1項ないし第18項のいずれかひとつに記載の静電アクチュエーター。

50

【0189】

20 . シリコン基板に含まれる初期の格子間酸素濃度が 10 ~ 28 ppm (OLD ASTM) の範囲内にある、第 19 項に記載の静電アクチュエーターの製造方法。

【0190】

21 . 静電力により駆動されるミラーアレイであって、複数の可動ビームと、複数の可動ビームを片持ちに支持するビーム支持部と、可動ビームの各々の自由端部に設けられた複数のミラーとを有しており、可動ビームの各々は、直列的に接続された複数の単位駆動素子を有しており、単位駆動素子は、一対の電極支持部と、一対の電極支持部を連結するバネ部と、電極支持部の各々に設けられた少なくとも一対の電極要素とを有している、ミラーアレイ。

【0191】

22 . 単位駆動素子は、電極支持部の各々に設けられた二対の電極要素とを有している、第 21 項に記載のミラーアレイ。

【0192】

23 . 複数の単位駆動素子は、可動ビームの伸びる方向に沿って、同じ向きで並んでいる、第 21 項または第 22 項に記載のミラーアレイ。

【0193】

24 . 複数の単位駆動素子は、可動ビームの伸びる方向に沿って、交互に逆向きで並んでいる、第 21 項または第 22 項に記載のミラーアレイ。

【0194】

25 . 一対の電極要素は一対の平板電極であり、一対の平板電極は間隔を置いて向き合っている、第 21 項または第 22 項に記載のミラーアレイ。

【0195】

26 . 一対の電極要素は一対の櫛形電極であり、一対の櫛形電極はそれぞれ複数の歯を有しており、一方の櫛形電極の歯は他方の櫛形電極の歯の間に伸びている、第 21 項または第 22 項に記載のミラーアレイ。

【0196】**【発明の効果】**

本発明によれば、大きい可動範囲を有し、その変位を印加電圧により正確に制御できる静電アクチュエーターが提供される。また、本発明によれば、ミラーの向きの可動範囲を広く、ミラーの向きを印加電圧により正確に制御できるミラーアレイが提供される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第一の実施の形態である静電アクチュエーターの全体斜視図である。

【図 2】図 1 に示される可動ビームに含まれる直列的に接続された複数の単位駆動素子を模式的に示している。

【図 3】図 1 に示される可動ビームの一部を拡大して示す斜視図である。

【図 4】図 3 に示される可動ビームの一部の部分断面斜視図である。

【図 5】図 1 に示される可動ビームの一部とビーム支持部を拡大して示す斜視図である。

【図 6】図 5 に示されるビーム支持部の一部を破断して示している。

【図 7】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの動作を説明するための図である。

【図 8】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、最初の工程を示している。

【図 9】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 8 の工程に続く次の工程を示している。

【図 10】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 9 の工程に続く次の工程を示している。

【図 11】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 10 の工程に続く次の工程を示している。

【図 12】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図 11 の工程に続く次の工程を示している。

10

20

30

40

50

【図13】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図12の工程に続く次の工程を示している。

【図14】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図13の工程に続く次の工程を示している。

【図15】第一の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図14の工程に続く最後の工程を示している。

【図16】第一の実施の形態の静電アクチュエーターのビーム支持部の製造方法を説明するための図であって、図13の工程に対応する工程を示している。

【図17】第一の実施の形態の静電アクチュエーターのビーム支持部の製造方法を説明するための図であって、図15の工程に対応する工程を示している。 10

【図18】第一の実施の形態に関する第一の変形例の静電アクチュエーターの可動ビームを部分的に示す斜視図である。

【図19】第一の実施の形態に関する第二の変形例の静電アクチュエーターの可動ビームを部分的に示す斜視図である。

【図20】図19に示される可動ビームに含まれる直列的に接続された複数の単位駆動素子を模式的に示している。

【図21】本発明の第二の実施の形態である静電アクチュエーターの可動ビームを部分的に示す斜視図である。 20

【図22】図21に示されるひとつの第一の単位駆動素子の斜視図である。

【図23】図22に示される第一の単位駆動素子の部分断面斜視図である。 20

【図24】図21に示されるひとつの第二の単位駆動素子の斜視図である。

【図25】図24に示される第二の単位駆動素子の部分断面斜視図である。

【図26】図21に示されるひとつの第三の単位駆動素子の斜視図である。

【図27】図26に示される第三の単位駆動素子の部分断面斜視図である。

【図28】図22と図23に示される第一の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、直列的に接続された四個の第一の単位駆動素子の側面図である。

【図29】図24と図25に示される第二の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、直列的に接続された四個の第二の単位駆動素子の平面図である。 30

【図30】図26と図27に示される第三の単位駆動素子の動作を説明するための図であり、可動ビームの軸に沿って見た断面図である。

【図31】第一ないし第三の駆動素子の内部に形成されるCMOS回路の構成を示している。

【図32】第二の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、最初の工程を示している。

【図33】第二の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図32の工程に続く次の工程を示している。

【図34】第二の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図33の工程に続く次の工程を示している。

【図35】図34に示される構造体を部分的に破断して示している。

【図36】第二の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図34の工程に続く次の工程を示している。 40

【図37】第二の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図36の工程に続く次の工程を示している。

【図38】第二の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図37の工程に続く次の工程を示している。

【図39】第二の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図38の工程に続く次の工程を示している。

【図40】第二の実施の形態の静電アクチュエーターの可動ビームの製造方法を説明するための図であって、図39の工程に続く最後の工程を示している。

【図41】図32ないし図40の工程を経て完成された第二の実施の形態の静電アクチュ 50

エーテーの可動ビームの斜視図である。

【図42】本発明の第三の実施の形態であるミラーアレイを部分的に示す斜視図である。

【図43】図42に示される可動ビームとビーム支持部を拡大して示す図であり、ビーム支持部を部分的に破断して示している。

【図44】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、最初の工程を示している。

【図45】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、図44の工程に続く次の工程を示している。

【図46】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、図45の工程に続く次の工程を示している。

10

【図47】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、図46の工程に続く次の工程を示している。

【図48】第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの製造方法を説明するための図であって、図47の工程に続く最後の工程を示している。

【図49】図44ないし図48の工程を経て完成された第三の実施の形態のミラーアレイの可動ビームとミラーの斜視図である。

【図50】本発明の第四の実施の形態であるミラーアレイを部分的に示す斜視図である。

【図51】図50に示される可動ビームを部分的に拡大して示している。

【図52】図51に示される可動ビームを部分的に破断して示している。

【図53】既に知られている分光器の構成を示している。

20

【図54】図53に示される空間光変調器に適用可能なDMD (DigitalMicromirrorDevice) の基本構造を示す破断斜視図である。

【図55】図54に示されるDMDの動作原理を説明するための図である。

【図56】分光装置において、プリズムによって投影される光に対する空間光変調器の好みの配置関係を示している。

【図57】散乱光の低減のために、ミラーが短冊状の細長いミラーに変更された空間光変調器を示している。

【図58】図57に示される空間光変調器のミラーを駆動するための駆動機構の基本構造を示している。

【図59】波長の異なる複数の光を同時に検出するために必要な構成を示している。

30

【図60】最も単純な静電アクチュエーターの構成を示している。

【図61】図60に示される静電アクチュエーターの動作を説明するための図である。

【図62】大きなストロークを有する既に知られている静電アクチュエーターの斜視図である。

【図63】図62に示される静電アクチュエーターの動作を説明するための図であり、電圧が印加された直後の状態を示している。

【図64】図62に示される静電アクチュエーターの動作を説明するための図であり、図63の状態の次に表れる第一の駆動電極が基板に接触した状態を示している。

【図65】図62に示される静電アクチュエーターの動作を説明するための図であり、図64の状態の次に表れる第二の駆動電極が基板に接触した状態を示している。

40

【図66】図62に示される静電アクチュエーターの動作を説明するための図であり、すべての駆動電極が基板に接触した状態を示している。

【符号の説明】

102 可動ビーム

104 ビーム支持部

110 単位駆動素子

112 第一の電極支持部

114 第二の電極支持部

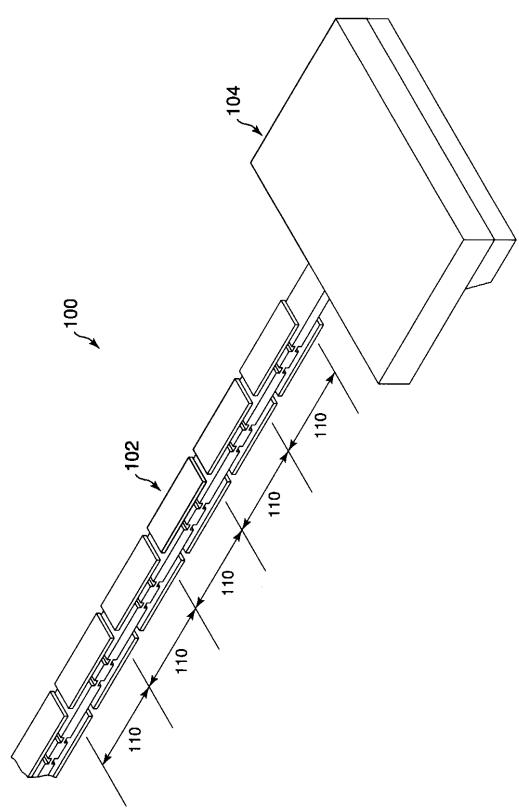
116 バネ部

122a, 122b 接地電極

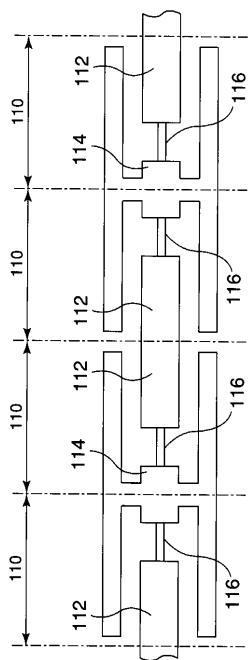
50

1 2 4 a、1 2 4 b 駆動電極

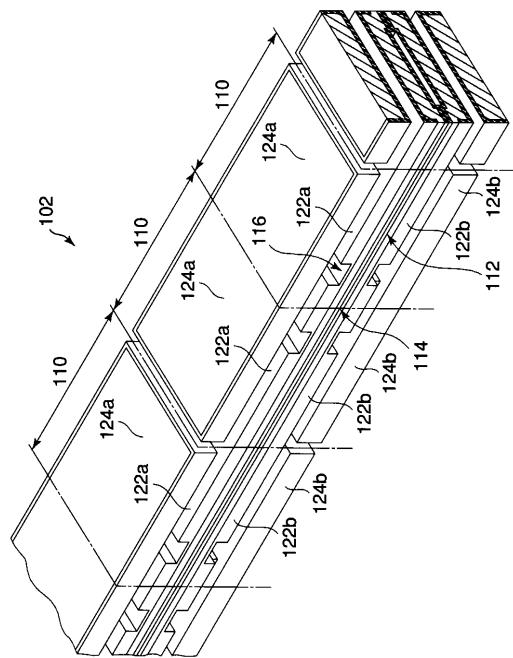
【図1】



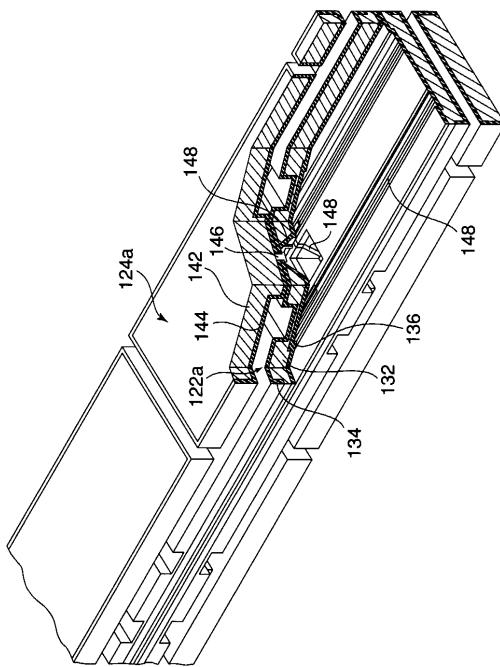
【図2】



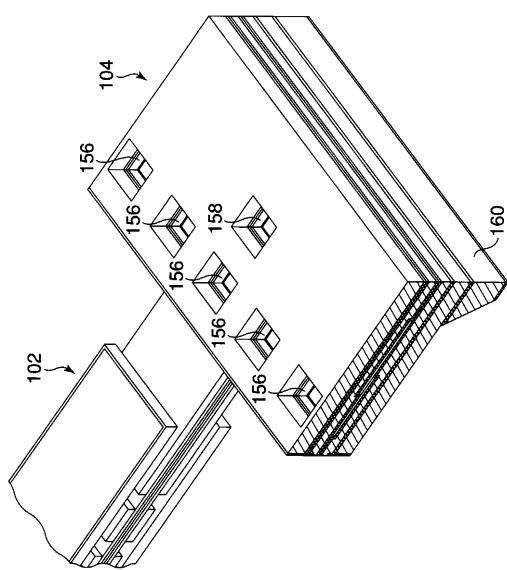
【図3】



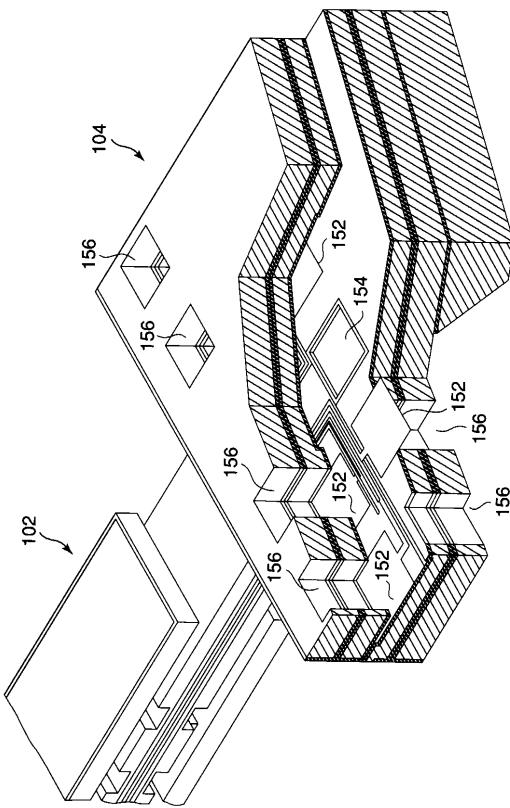
【図4】



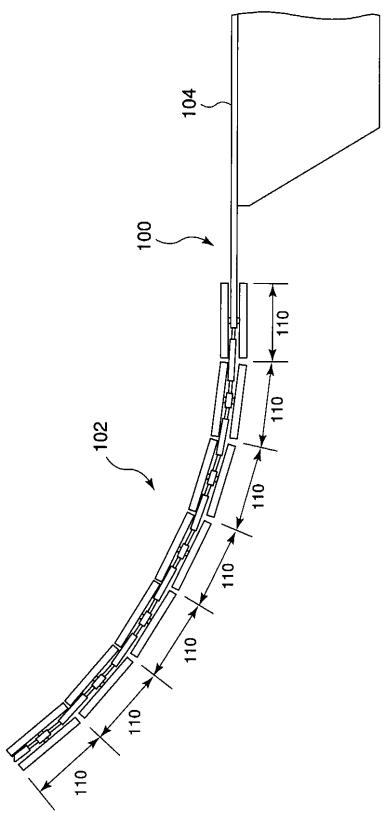
【図5】



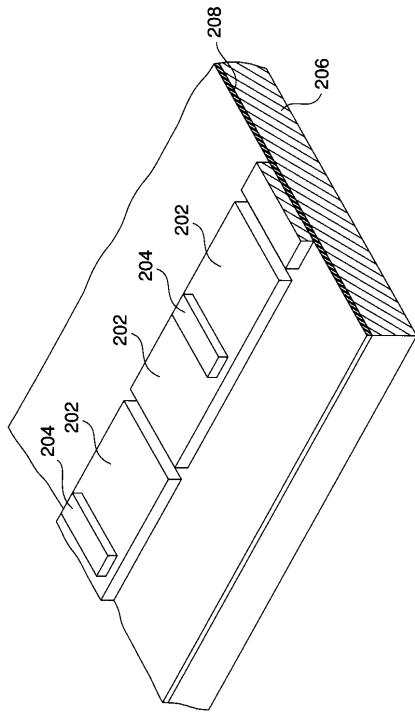
【図6】



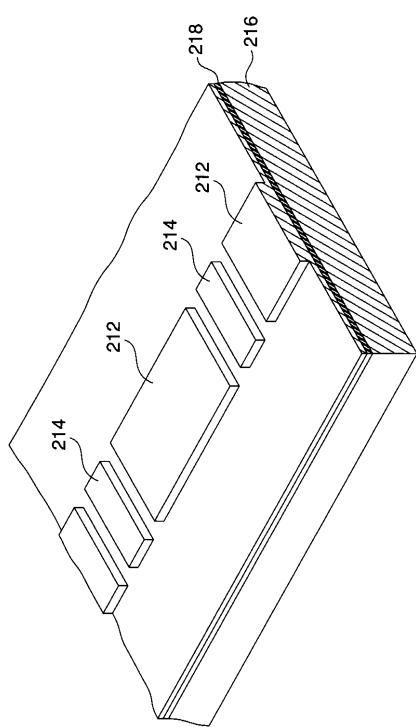
【図7】



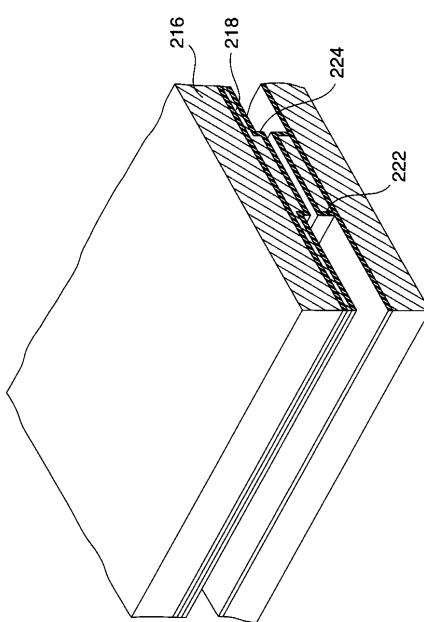
【図8】



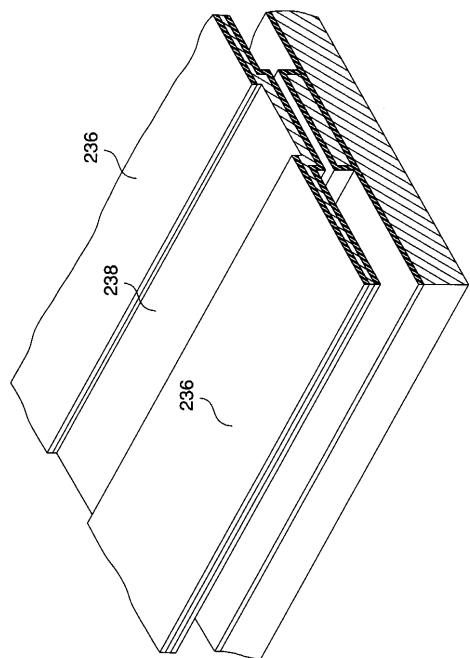
【図9】



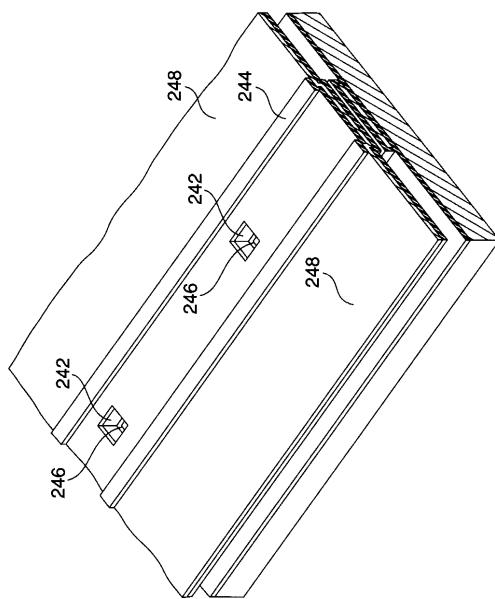
【図10】



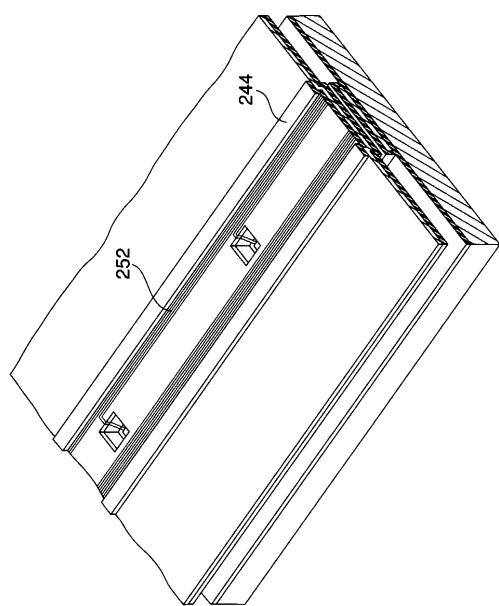
【図11】



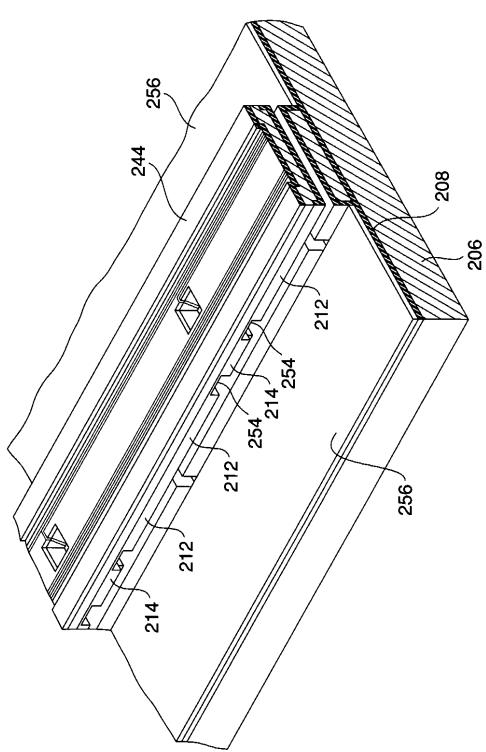
【図12】



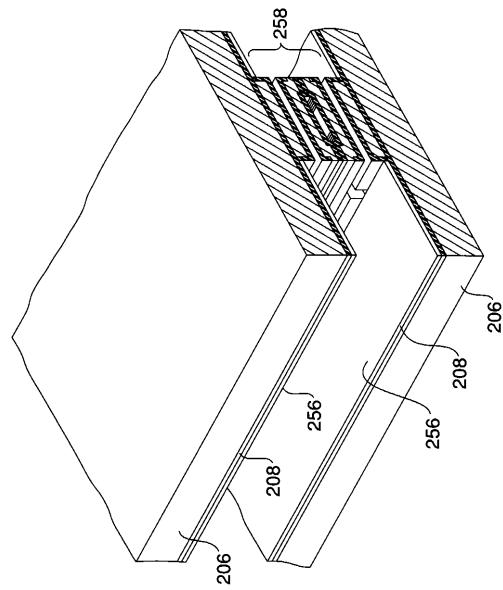
【図13】



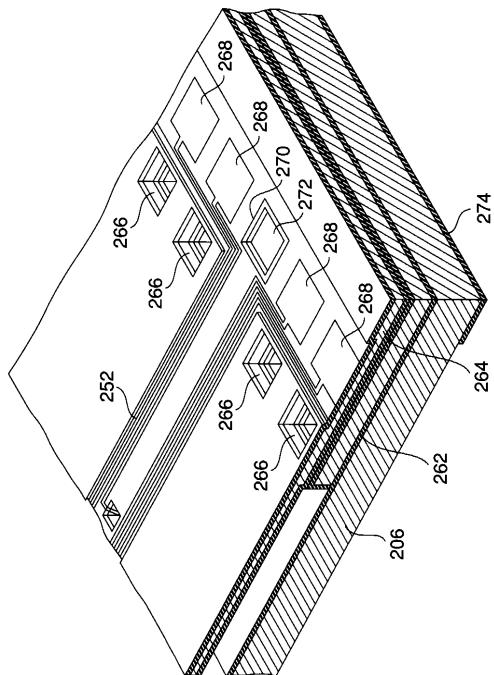
【図14】



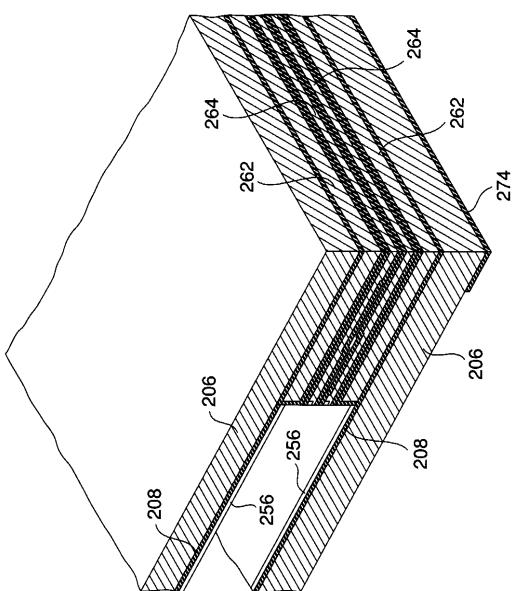
【図15】



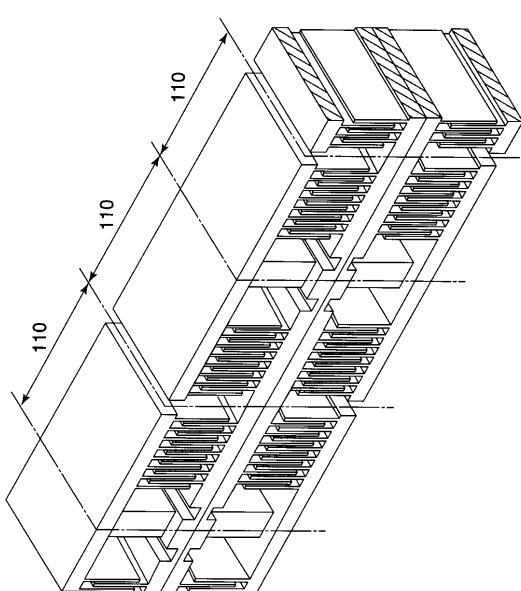
【図16】



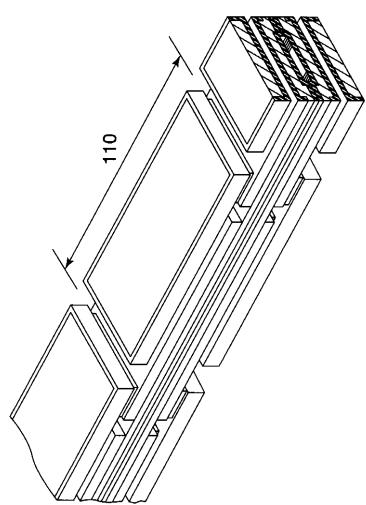
【図17】



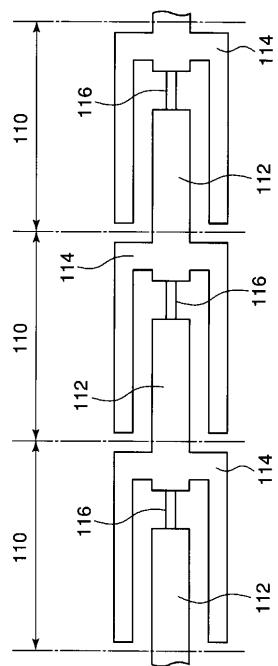
【図18】



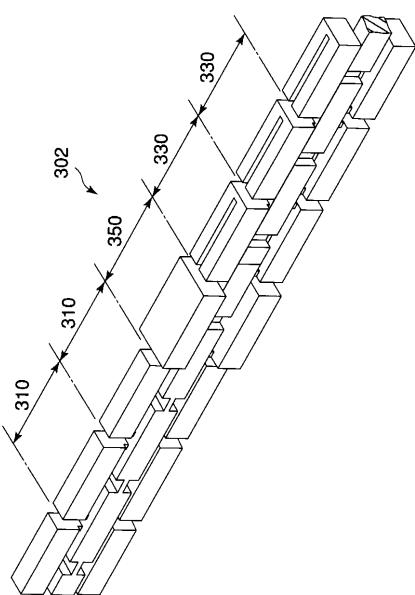
【図19】



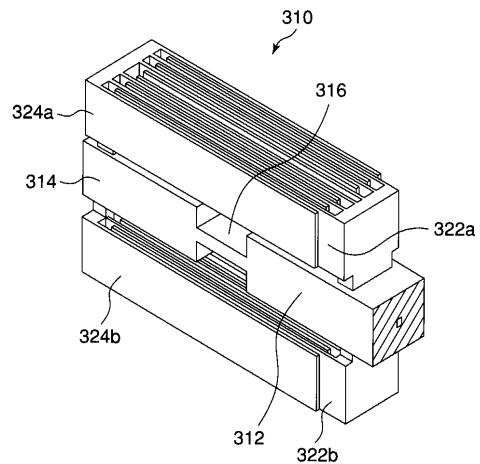
【図20】



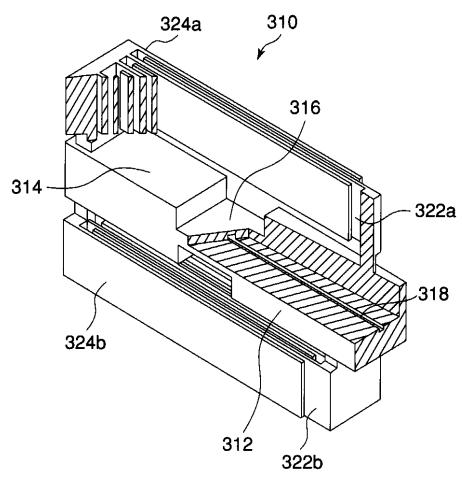
【図21】



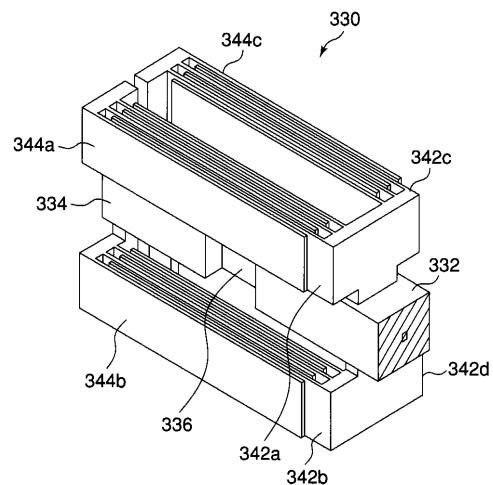
【図22】



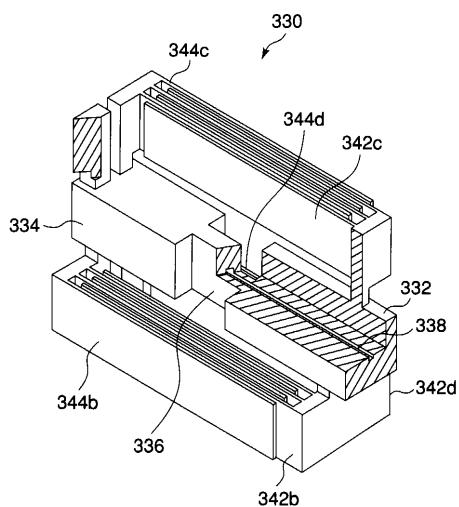
【図23】



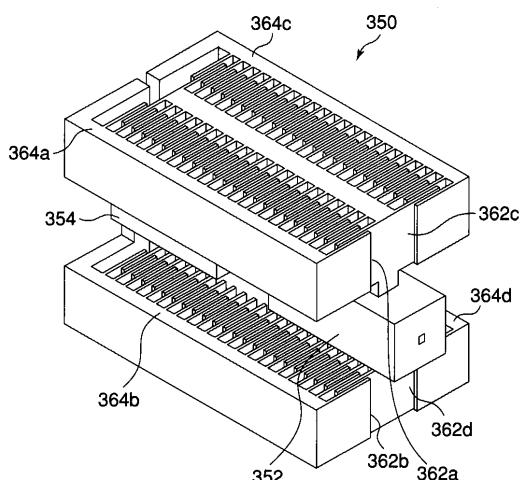
【図24】



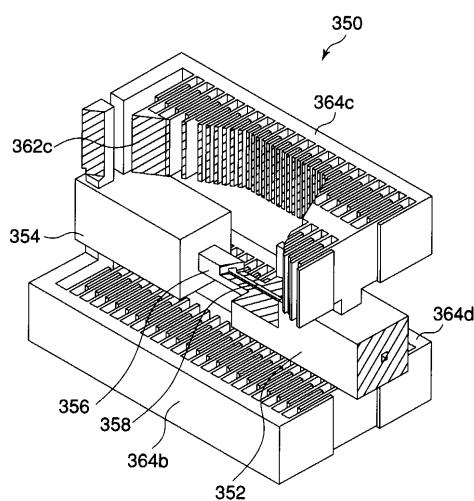
【図25】



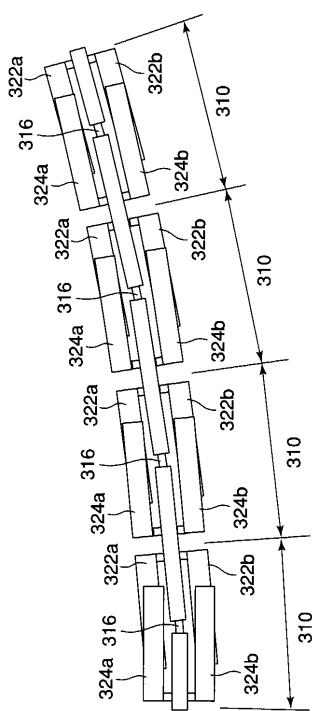
【図26】



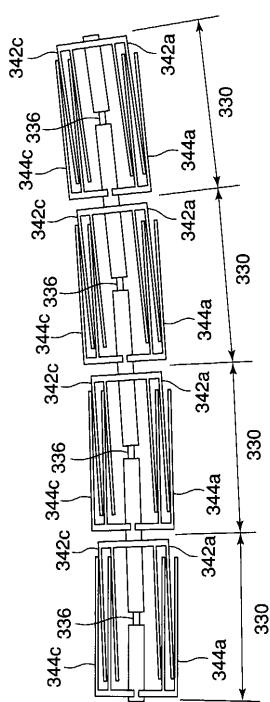
【図27】



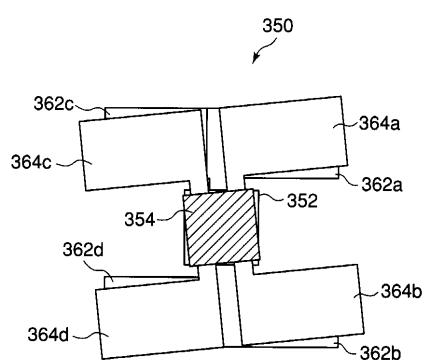
【図28】



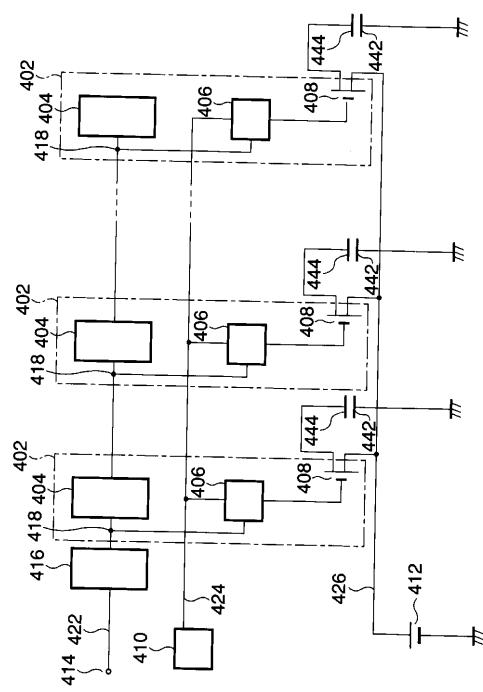
【図29】



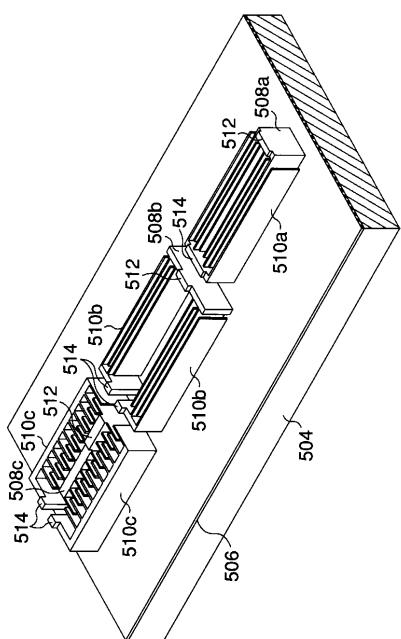
【図30】



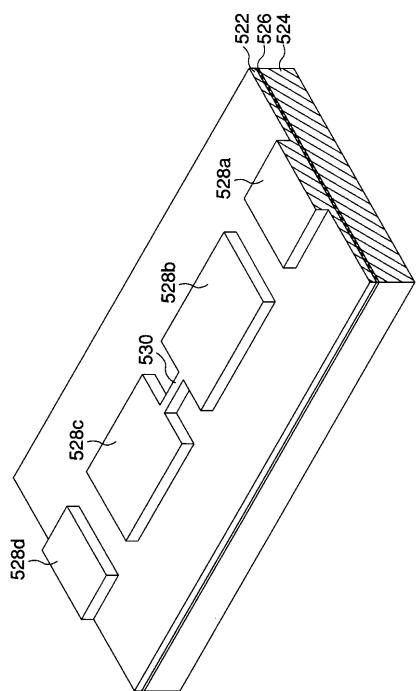
【図31】



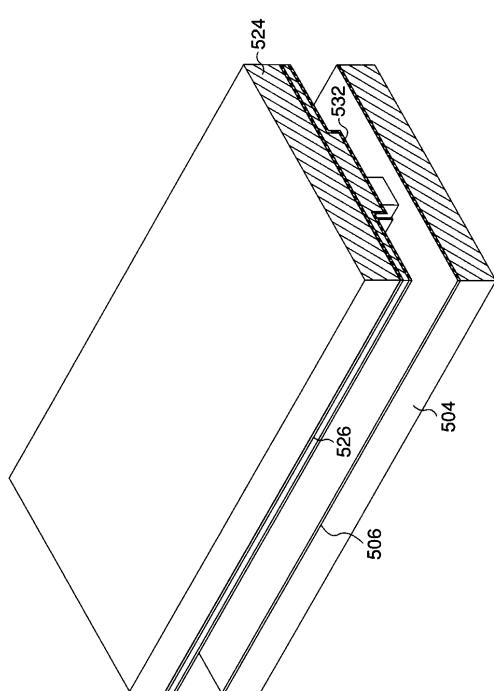
【図32】



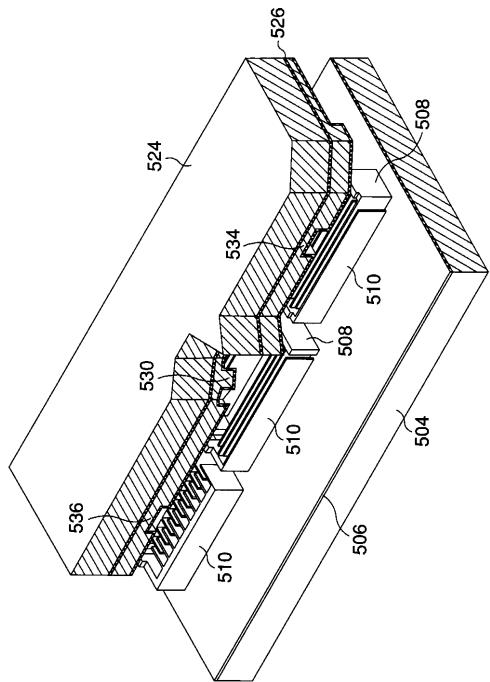
【図33】



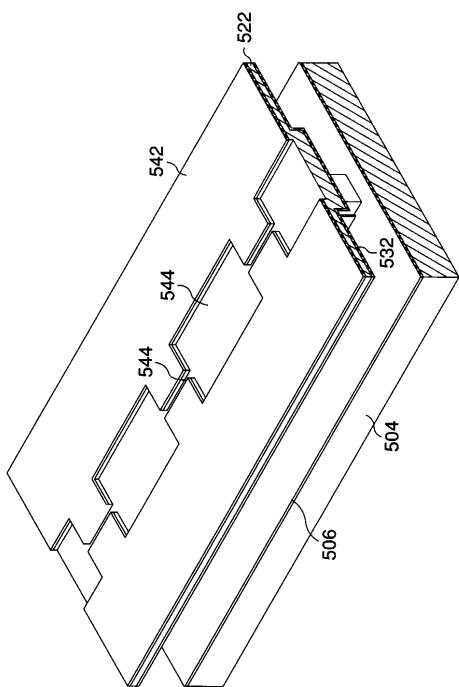
【図34】



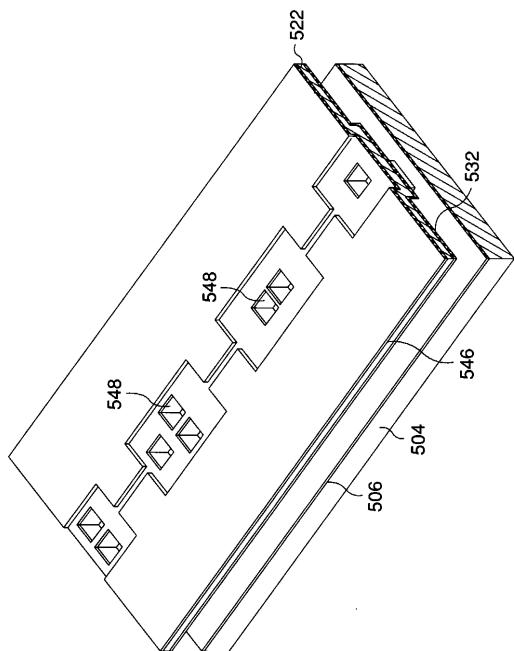
【図35】



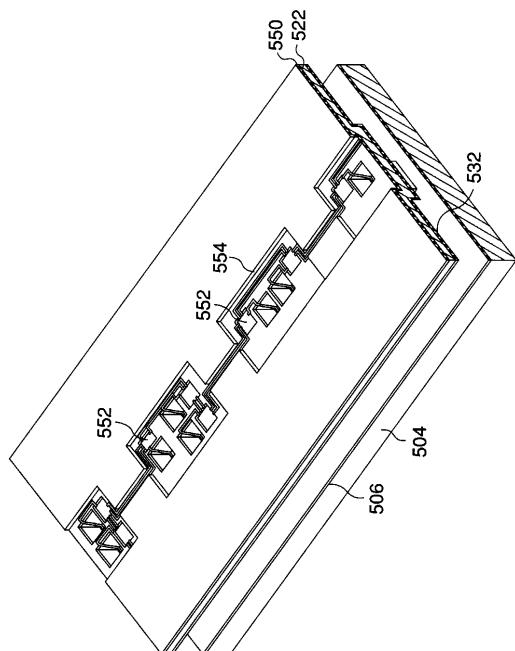
【図36】



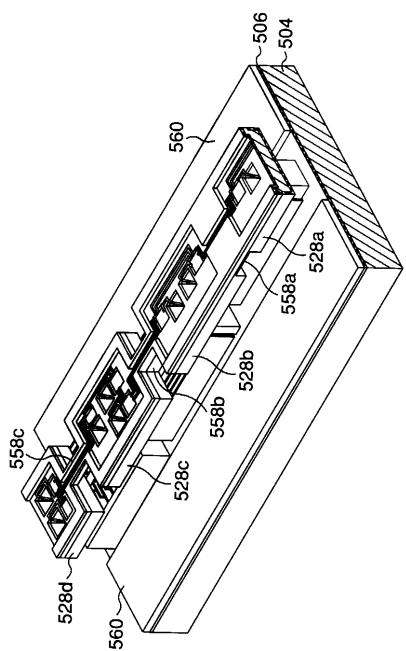
【図37】



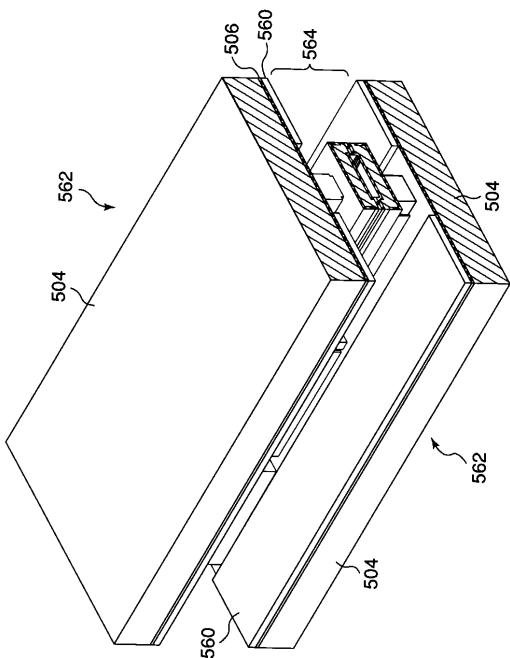
【図38】



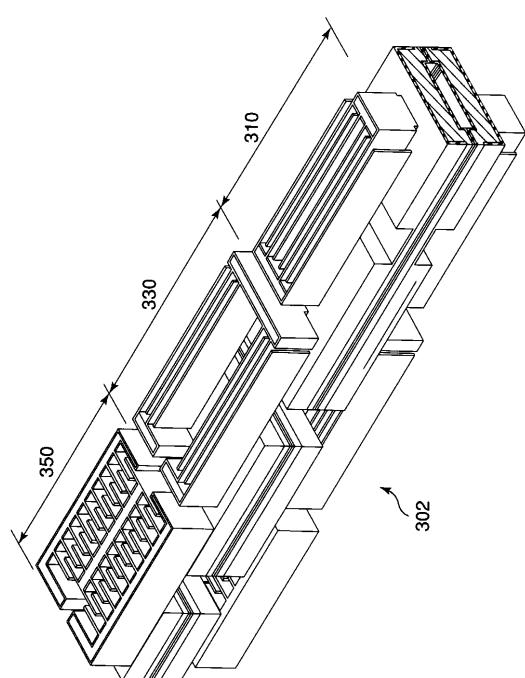
【図39】



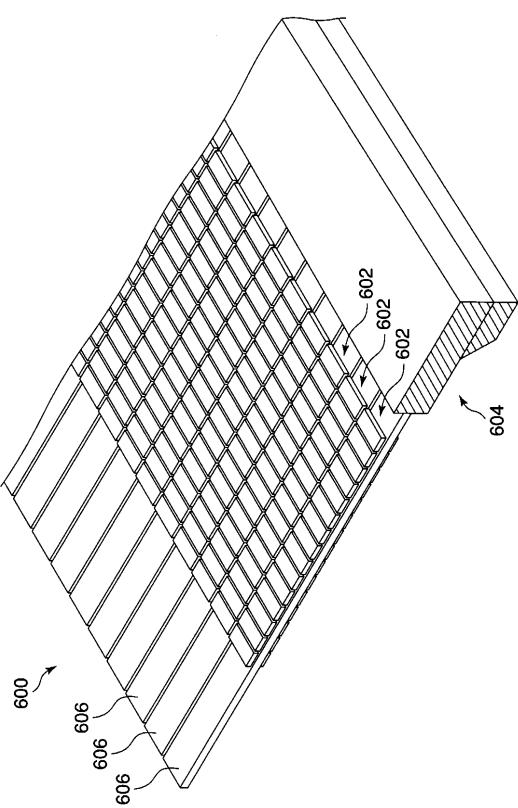
【図40】



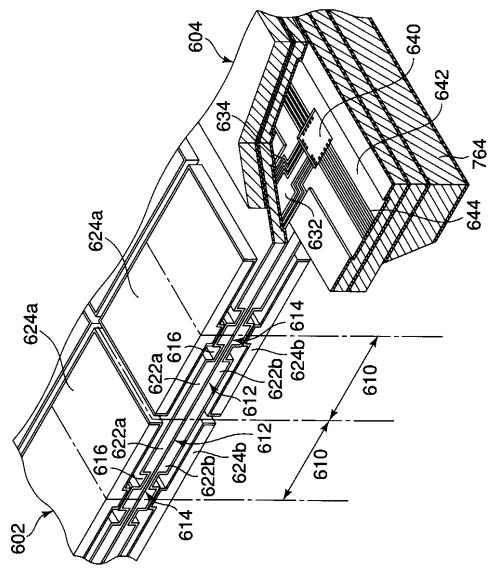
【図41】



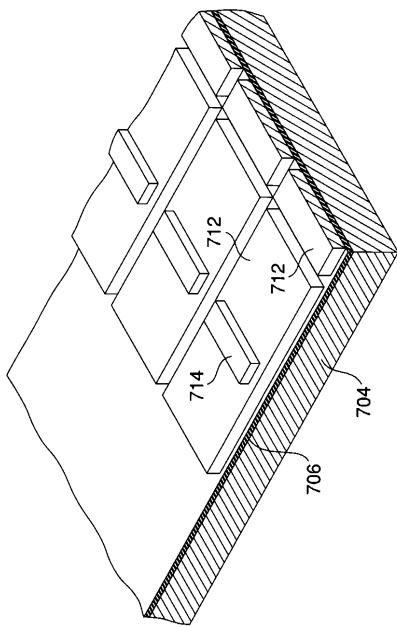
【図42】



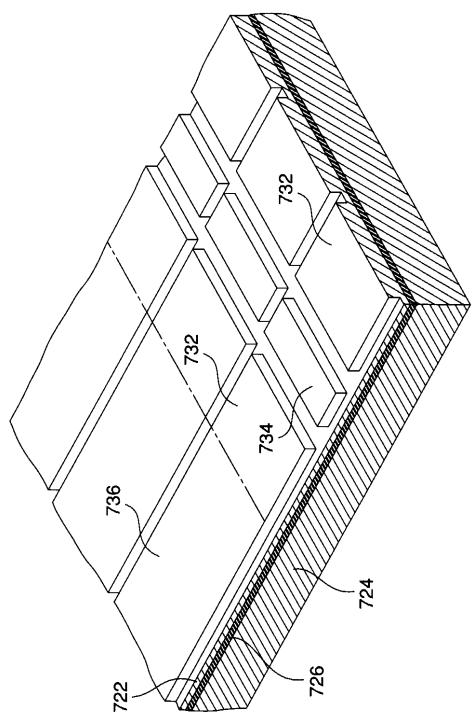
【図43】



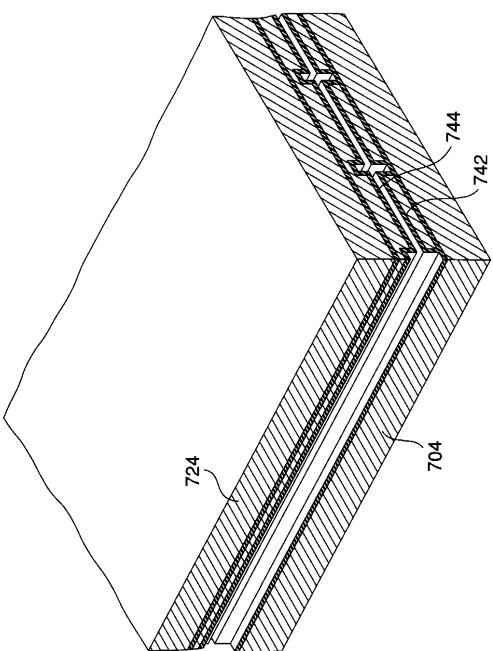
【図44】



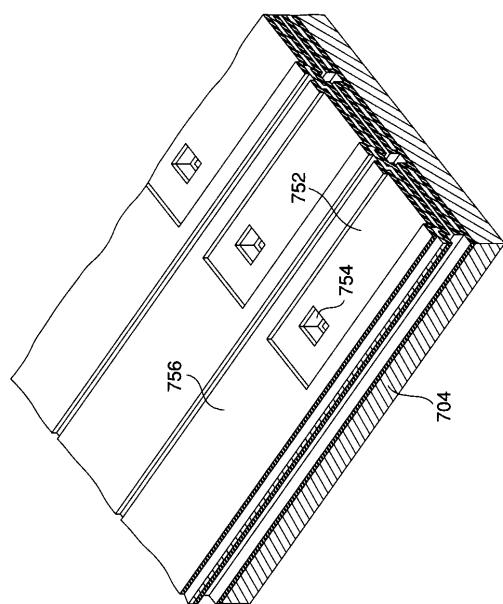
【図45】



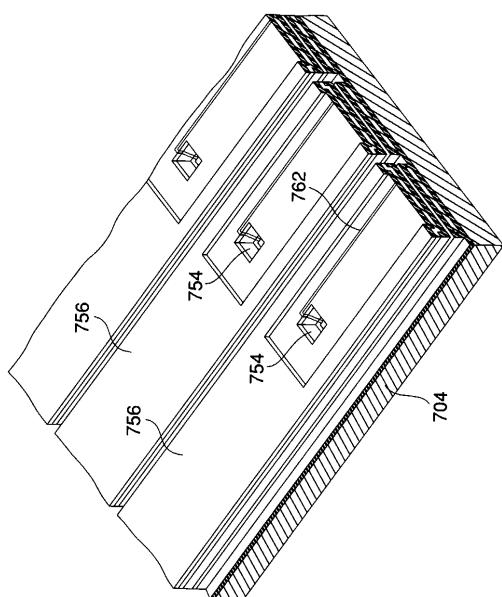
【図46】



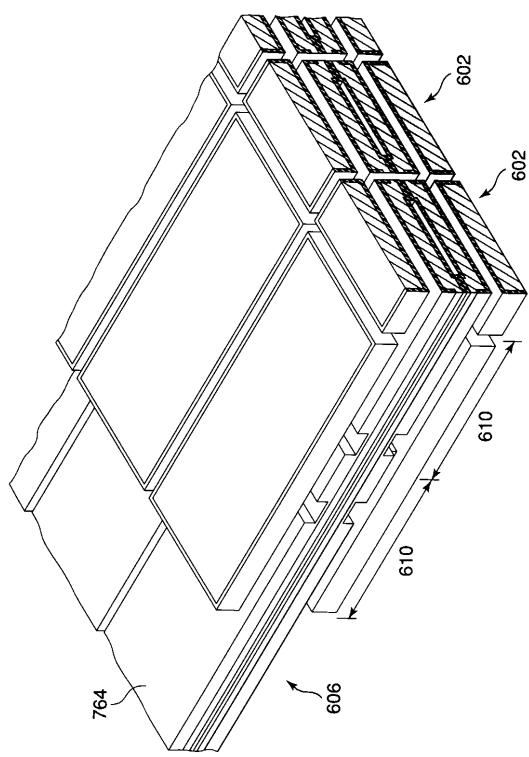
【図47】



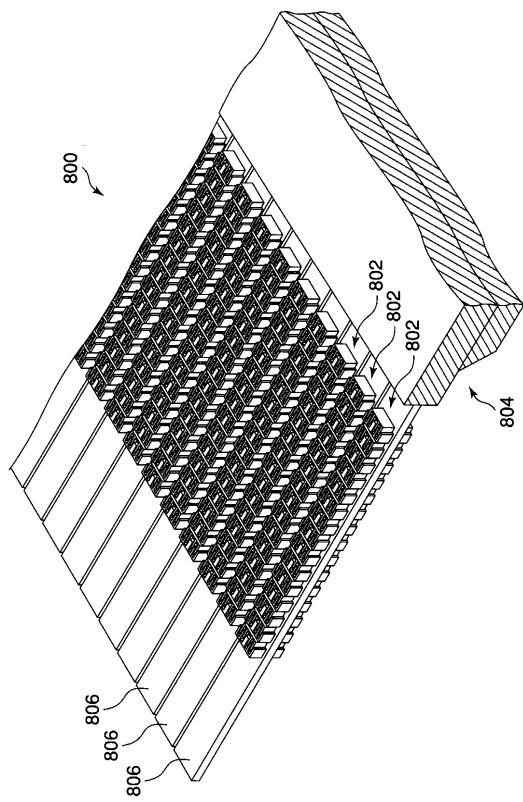
【図48】



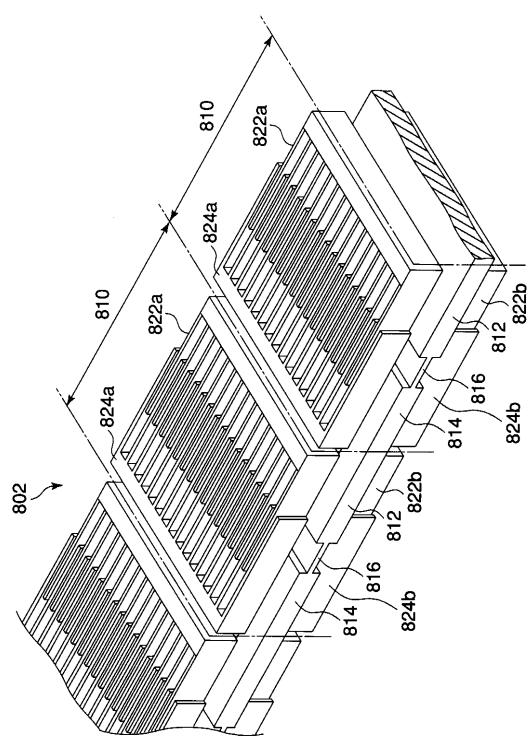
【図49】



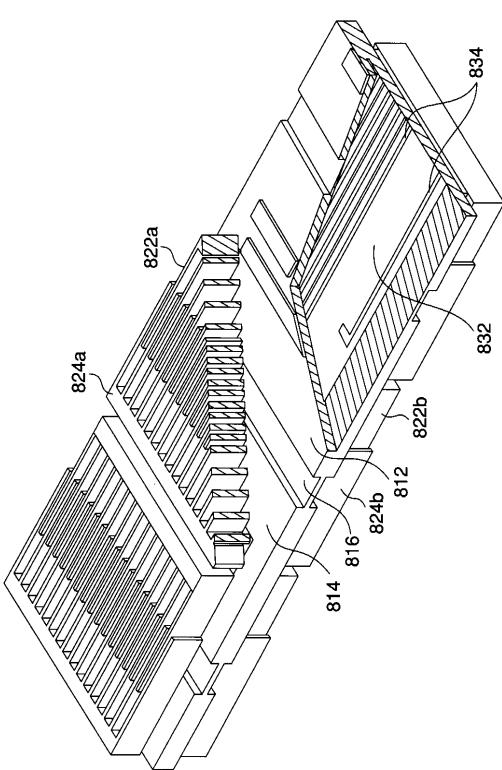
【図50】



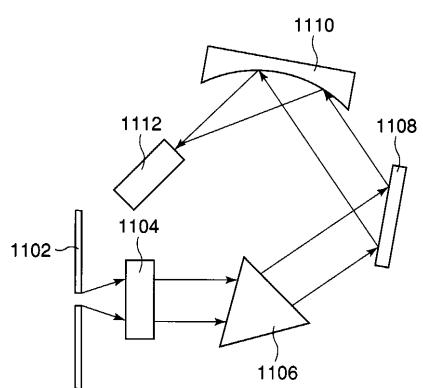
【図51】



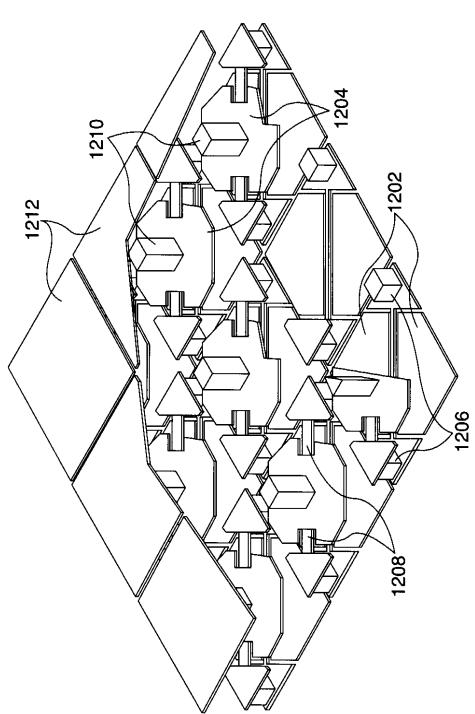
【図52】



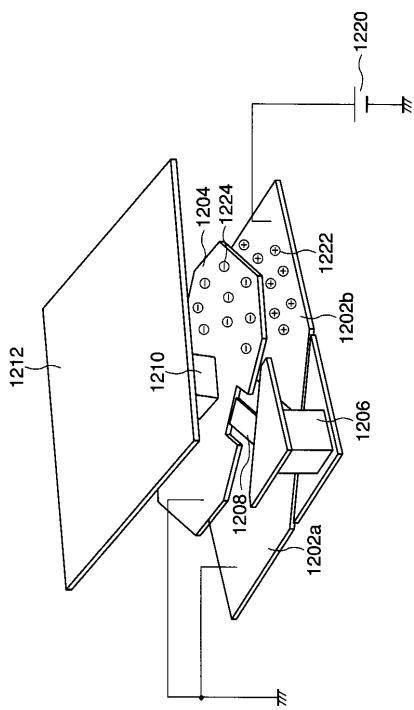
【図53】



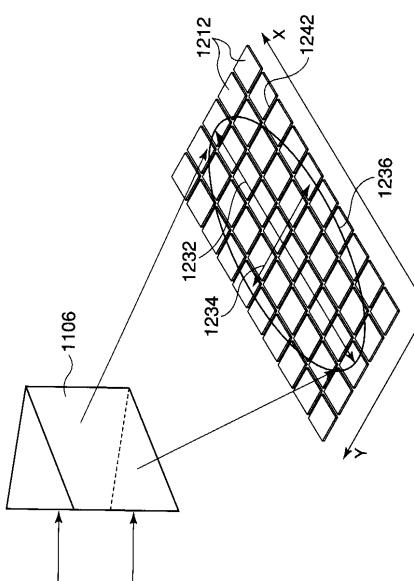
【図54】



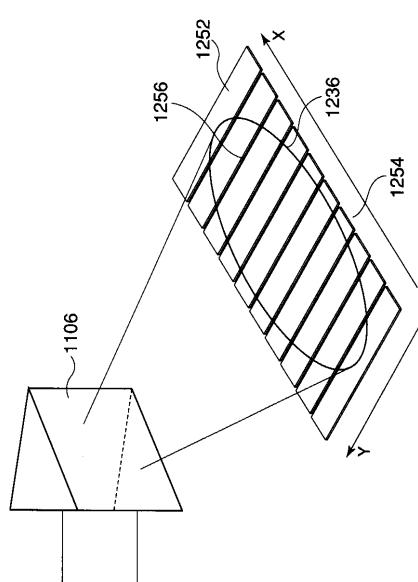
【図55】



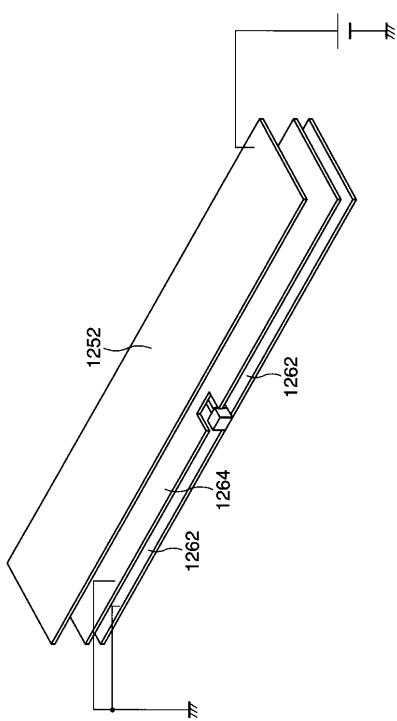
【図56】



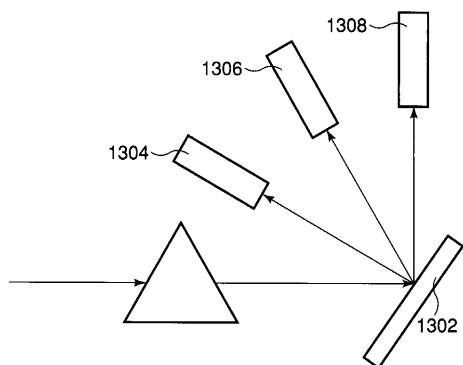
【図57】



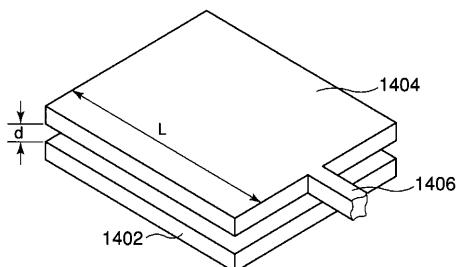
【図58】



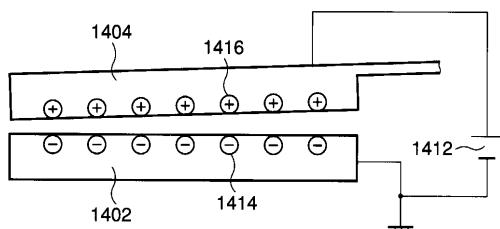
【図 5 9】



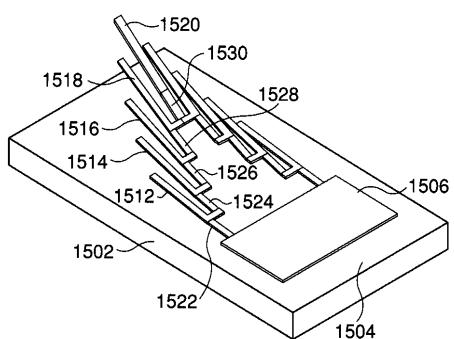
【図 6 0】



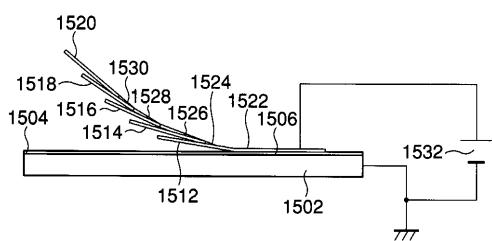
【図 6 1】



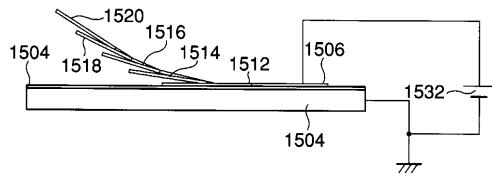
【図 6 2】



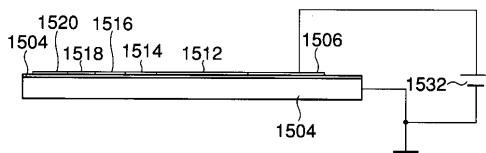
【図 6 3】



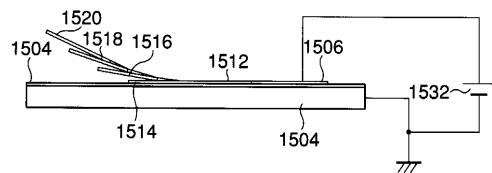
【図 6 4】



【図 6 6】



【図 6 5】



フロントページの続き

審査官 吉田 英一

(56)参考文献 特表平09-504888 (JP, A)
国際公開第01/001434 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 26/08

B81B 3/00