

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4801673号

(P4801673)

(45) 発行日 平成23年10月26日 (2011.10.26)

(24) 登録日 平成23年8月12日 (2011.8.12)

(51) Int. Cl.

F I

F 0 3 G 7/06 (2006.01)
B 8 1 B 3/00 (2006.01)
B 4 1 J 2/045 (2006.01)
B 4 1 J 2/055 (2006.01)
B 0 5 C 5/00 (2006.01)

F 0 3 G 7/06 G
 B 8 1 B 3/00
 B 4 1 J 3/04 1 0 3 A
 B 0 5 C 5/00 1 0 1

請求項の数 2 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2007-543400 (P2007-543400)
 (86) (22) 出願日 平成17年11月17日 (2005.11.17)
 (65) 公表番号 特表2008-520909 (P2008-520909A)
 (43) 公表日 平成20年6月19日 (2008.6.19)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2005/042320
 (87) 国際公開番号 W02006/058003
 (87) 国際公開日 平成18年6月1日 (2006.6.1)
 審査請求日 平成20年10月29日 (2008.10.29)
 (31) 優先権主張番号 10/994, 952
 (32) 優先日 平成16年11月22日 (2004.11.22)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 590000846
 イーストマン コダック カンパニー
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 ロチェ
 スター ステート ストリート 343
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100120167
 弁理士 木田 博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 変化する曲げ剛性を有する2点係止式熱アクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

微小電気機械装置用熱アクチュエータであって、

(a) 対向する係止縁部を有する凹部が形成されたベース部材と、

(b) 前記対向する係止縁部にて前記ベース部材に取り付けられて第1の位置に定在し、低い熱膨張係数を有する第1の材料の第1の層と高い熱膨張係数を有する第2の材料の第2の層とを有する平らな積層体として構成され、前記係止縁部の近傍に係止部及び前記係止部間に中央部を有する変形可能な部材であって、前記係止部の曲げ剛性が前記中央部の曲げ剛性よりも実質的に低い変形可能な部材と、

(c) 前記変形可能な部材に熱パルスを印加するように構成された装置であって、前記変形可能な部材の温度の急な上昇を引き起こし、前記変形可能な部材を前記第2の材料に向かう方向に反らせ、次いで、前記変形可能な部材の温度が減少した際に前記第1の位置へと緩和させる、装置とを含み、

前記係止部の実効ヤング率は E_a であり、前記中央部の実効ヤング率は E_c であり、 E_a は E_c よりも実質的に小さい、熱アクチュエータ。

【請求項2】

液滴放出器であって、

(a) 基板内に形成され、液体が充填され、前記液体の滴を放出するノズルを有する室と、

(b) 前記基板から支持される対向する係止縁部と、

10

20

(c) 前記対向する係止縁部にて前記ベース部材に取り付けられ、第1の位置に定在する変形可能な部材であって、変形時に前記ノズルで前記液体を加圧するように構成され、低い熱膨張係数を有する第1の材料の第1の層と高い熱膨張係数を有する第2の材料の第2の層とを有する平らな積層体として構成され、前記係止縁部の近傍に係止部、及び、前記係止部間に、前記係止部の曲げ剛性よりも実質的に低い曲げ剛性の中央部を有する変形可能な部材と、

(d) 前記変形可能な部材に熱パルスを印加するように構成された装置であって、前記変形可能な部材の温度の急な上昇を引き起こし、前記変形可能な部材を前記第2の材料に向かう方向に反らせ、次いで、前記変形可能な部材の温度が減少した際に前記第1の位置へと緩和させる、装置とを含み、

前記係止部の実効ヤング率は E_a であり、前記中央部の実効ヤング率は E_c であり、 E_a は E_c よりも実質的に小さい、液滴放出器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般的に微小電気機械装置に関し、より詳細には、インクジェット装置及び他の液滴放出器で用いられるタイプのような微小電気機械熱アクチュエータに関する。

【背景技術】

【0002】

微小電気機械システム(MEMS)は、比較的最近の発展である。かかるMEMSは、アクチュエータ、バルブ及びポジショナーのような従来の電気機械装置に対する代替として用いられている。微小電気機械装置は、微小電子製造技術の使用に起因して、潜在的に低いコストである。新規の用途は、また、MEMS装置の小さいサイズスケールに起因して見出されている。MEMSの多くの潜在的な用途は、熱作動を利用し、かかる装置において必要とされる動きを提供する。例えば、多くのアクチュエータ、バルブ及びポジショナーは、移動のために熱アクチュエータを用いる。ある用途では、第1の位置へのアクチュエータの復帰が後続する、第1の位置から第2の位置への迅速な変位は、液体内に圧力パルスを生成するために用いられ、若しくは、作動パルスあたりの単位距離若しくは回転で機構を動かすために用いられる場合があるだろう。ドロップ・オン・デマンド式液滴放出器は、離散的な圧力パルスを用いてノズルから離散的な量の液体を放出する。

【0003】

ドロップ・オン・デマンド式液(DOD)液体放出装置は、多年、インクジェット印刷システムにおけるインク印刷装置として知られてきた。従前の装置は、特許文献1及び2に開示されるような圧電アクチュエータに基づいていた。

【0004】

特許文献3及び4は、圧電作動式インクジェット液生成器の効率的な構成を開示する。これらの開示は、柔軟なダイヤフラム層を長方形の液生成器液圧室上に形成し、ついで、長方形の室に位置合わせしてダイヤフラム上にプレート上の圧電エクспанダを形成することによって、積層型圧電トランスデューサの構成を教示する。開示される試験データが示すところによると、圧電積層体の撓み量は、圧電プレートが、ダイヤフラム層により被覆されている圧力室への長方形の開口幅よりも幾分狭い場合により大きい。特許文献3及び4の開示は、圧力室が112格子方向に沿って配列される(110)格子面に沿って切られたシリコン基板の利用に向けられる。

【0005】

インクジェット印刷の現在一般的な形態である熱インクジェット(若しくは“バブルジェット(登録商標)”)は、特許文献5で議論されるように、液滴放出を引き起こす蒸気バブルを生成するために電気抵抗ヒータを用いる。電気抵抗ヒータアクチュエータは、高度に発展した超小型電子技術プロセスを用いて製造できるので、圧電アクチュエータよりも製造コストで有利である。他方、熱インクジェット液滴放出機構は、インクが気化可能な成分を有することを必要とし、インク温度をこの成分の沸点よりも非常に上まで局所的

10

20

30

40

50

に上昇させる。この温度照射は、熱インクジェット装置により信頼性が高い態様で放出されることができるインク及び他の液体の形成に対して過酷な制限を与える。圧電式作動装置は、液体が機械的に加圧されるので、噴射されることができる液体に対してかかる過酷な制限を与えない。

【0006】

インクジェット装置のサプライヤーにより実現されてきた利用可能性、コスト及び技術的な性能の改善は、また、液体の微小計量を必要とする他の用途用の装置における関心を発生させた。これらの新しい用途は、特許文献6に開示されるように、微小分析化学のために、専用化学物質を計量分配すること、特許文献7に開示されるように、電子装置製造用にコーティング材料を計量分配すること、及び、特許文献8に開示されるように、医療吸入療法のために微小液滴を計量分配することを含む。要求に応じて、広範な液体のマイクロンサイズの液滴を放出できる装置及び方法は、最高の品質の画像印刷に対して必要とされるだけでなく、液体計量分配が超小型液滴の単分散、正確な配置及びタイミング、及び微小増分を必要とする用途を出現させるためにも必要とされる。

10

【0007】

広範な液体形成で用いることができる、微小液滴放出及び微小流体計量分配 (valving) に対する低コストのアプローチが必要とされる。熱インクジェット用の微小電子部品製造技術の利点と、 piezo - エレクトロ - 機械装置に利用可能な液体成分寛容度とを組み合わせる装置が必要とされる。

【0008】

20

熱 - 機械アクチュエータを利用する機械 DOD インクジェット装置は、特許文献9により開示される。アクチュエータは、インク放出ノズルと対向してインク室内に配置される単一の電気抵抗材料から構成される薄いビーム (梁) として構成される。ビームは、電流がビームを通過するときに圧縮方向の熱 - 機械力に起因して座屈する。ビームは、製造中にノズルに向けてお辞儀する形状に事前に曲げられ、従って、熱 - 機械座屈は、常に、事前に曲げられた方向に発生する。

【0009】

特許文献10乃至13は、熱 - 機械 DOD インクジェット構成を開示する。超小型電子技術プロセスを用いて熱 - 機械装置を製造する方法は、特許文献14乃至16に開示される。開示される熱アクチュエータは、熱モーメントが実質的に異なる熱膨張係数を有する層間に生成される二層片持ちビームタイプである。加熱時、片持ち微小ビームは、熱膨張係数が高い方の層から離れる方向に曲がり、自由端が撓み、液滴放出が引き起こされる。

30

【0010】

幾つかの開示は、熱膨張電気抵抗層の選択として金属間チタンアルミナイドを含む特に効率的な材料を利用する熱 - 機械アクチュエータに対してなされる。これらの開示は、特許文献17乃至19を含む。後者の2つの特許文献は、更に、ビームアクチュエータの部分的な長さを加熱することにより達成される改善されたエネルギー効率を有する片持ち熱アクチュエータを更に開示する。

【0011】

特許文献20では、“スナップ - スルー (snap-through)” モードで動作する2点係止式ビーム形態の熱アクチュエータが開示される。この開示では、スナップ - スルーモードは、ビームを半硬質 (semi-rigid) 態様で係止することによって実現されることが教示される。

40

【0012】

熱 - 機械作動式液滴放出器は、微小電子材料及び装置を用いて量産されることができ、且つ、熱インクジェット装置において信頼性が低いだろう液体との動作を可能とする低コスト装置として見込みがある。大型の信頼性の高い力アクチュエータは、二層構成を熱サイクリングすることにより実現されることができる。しかし、高い液滴反復周期での熱アクチュエータ型液滴放出器の動作は、過剰な熱の蓄積を防止するために、液滴放出を引き起こすために必要とされるエネルギーに注意深く注意を払うことを必要とする。液滴生成は

50

、ノズルでの液体における大きな圧力インパルスを生成することにも依存する。力及び体積変位を最大化する構成及び設計は、それ故に、より効率的に動作することができ、また、より高い粘性及び密度を有する流体を用いて使用可能となることができる。

【 0 0 1 3 】

バイナリ流体微小バルブ用途は、開から閉状態への迅速な遷移から利益を享受し、これにより、中間圧力で費やされる時間を最小化する。改善されたエネルギー効率の熱 - 機械アクチュエータは、作動状態に維持されるとき、より頻繁な作動及びより少ないエネルギー消費を可能とするだろう。バイナリ微小スイッチ用途は、また、微小バルブと同様の改善された熱アクチュエータ特性から利点を享受するだろう。

【 0 0 1 4 】

熱 - 機械アクチュエータに対する有用な設計は、対向する縁部で装置構造に係止されその中心で外向きに曲がる（反る）ことができるビーム若しくはプレートであり、ビーム若しくはプレートのノミナルの休止（定常）面に直角である機械作動を提供する。少なくとも2つの対向する縁部に沿って係止される熱 - 機械ビームは、2点係止式(doubly-anchored)熱アクチュエータと称される。熱アクチュエータの移動可能な部材に対する構成は、ここでは変形可能な部材と称され、変形可能な部材の周囲まわりを完全に係止することを含め、多様な平らな形状及び周囲係止の量を有してよい。かかる多係止型変形可能な部材の全ては、本発明の予測される構成であり、用語“2点係止式”に含まれることが意図される。

【 0 0 1 5 】

変形可能な部材の変形は、変形可能な部材の面内に熱膨張作用をもたらすことによって引き起こされる。変形可能な部材材料の嵩膨脹及び収縮の双方は、変形可能な部材の厚さの勾配と共に、熱 - 機械アクチュエータの設計で有用である。かかる膨脹勾配は、温度勾配により引き起こされることができ、若しくは、変形可能な部材を介した、実際の材料の変化、層によって引き起こされることができ、これらの嵩及び勾配熱 - 機械効果は、所定の大きさの変位で所定方向に座屈することによって動作するアクチュエータを設計するために共に用いられてよい。

【 0 0 1 6 】

許容可能なピーク温度で動作できつつ、大きな力の多き及び加速度を搬送する2点係止式熱アクチュエータは、MEMS製造方法を用いて製造されることができ高い周波数で多様な流体を用いて動作するシステムを構築するために必要とされる。エネルギー効率を相当に改善する設計特徴は、MEMSベースの熱アクチュエータ及び集積電子部品の商業的な用途に有用である。

【特許文献1】K y s e r 他による米国特許第3,946,398号

【特許文献2】S t e m m e による米国特許第3,747,120号

【特許文献3】M i y a t a 他による米国特許第5,754,205号

【特許文献4】M i y a t a 他による米国特許第5,922,218号

【特許文献5】H a r a 他による米国特許第4,296,421号

【特許文献6】P e a s e 他による米国特許第5,599,695号

【特許文献7】N a k a 他による米国特許第5,902,648号

【特許文献8】P s a r o s 他による米国特許第5,771,882号

【特許文献9】M a t o b a 他による米国特許第5,684,519号

【特許文献10】K . S i l v e r b r o o k による米国特許第6,067,797号

【特許文献11】K . S i l v e r b r o o k による米国特許第6,087,638号

【特許文献12】K . S i l v e r b r o o k による米国特許第6,239,821号

【特許文献13】K . S i l v e r b r o o k による米国特許第6,243,113号

【特許文献14】K . S i l v e r b r o o k による米国特許第6,180,427号

【特許文献15】K . S i l v e r b r o o k による米国特許第6,254,793号

【特許文献16】K . S i l v e r b r o o k による米国特許第6,274,056号

【特許文献17】J e r r o l d 他による米国特許第6,561,627号

10

20

30

40

50

【特許文献 18】 Lebens 他による米国特許第 6,631,979 号

【特許文献 19】 Cabal 他による米国特許第 6,598,960 号

【特許文献 20】 Cabal 他による米国特許出願公開第 2003/0214556 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

それ故に、本発明の目的は、大きな力の大きさ及び加速度を提供し且つ過剰なピーク温度を必要としない 2 点係止式熱アクチュエータを提供することである。

【0018】

また、本発明の目的は、2 点係止式熱アクチュエータにより動作される液滴放出器を提供することである。

10

【0019】

また、本発明の目的は、2 点係止式熱アクチュエータにより動作される流体微小バルブを提供することである。

【0020】

また、本発明の目的は、2 点係止式熱アクチュエータにより動作される電気微小スイッチを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0021】

本発明の上述及び多くの他の特徴、目的及び効果は、ここに付与される詳細な説明、請求項及び図面を参照することで容易に明らかになる。これらの特徴、目的及び効果は、対向する係止縁部を有する凹部が形成されたベース部材を含む微小電気機械装置用 2 点係止式熱アクチュエータを構築することによって達成される。対向する係止縁部にてベース部材に取り付けられて第 1 の位置に定在する変形可能な部材は、低い熱膨張係数を有する第 1 の材料の第 1 の層と高い熱膨張係数を有する第 2 の材料の第 2 の層とを有する平らな積層体として構成される。変形可能な部材は、係止縁部の近傍に係止部、及び、係止部間に中央部を有し、係止部の曲げ剛性が中央部の曲げ剛性よりも実質的に低い。2 点係止式熱アクチュエータは、更に、変形可能な部材の温度の急な上昇を引き起こすための熱パルスを変形可能な部材に印加するように構成された装置を含む。変形可能な部材は、第 2 の材料に向かう方向に反り（曲がり）、その後、温度が減少した際に緩和して第 1 の位置に戻る。

20

30

【0022】

本発明は、特に、DOD インクジェット印刷用のプリントヘッドとして用いられる液滴放出器用の熱アクチュエータとして好適である。この好ましい実施例では、2 点係止式熱アクチュエータは、液体が充填された室であって、液体を放出するノズルを含む室内に定在する。2 点係止式熱アクチュエータへの熱パルスの印加は、ノズルに向かう方向での急速な曲がりを引き起こし、液体をノズルから付勢する。

【0023】

本発明は、高速な圧力スイッチングを必要とする流体定量装置若しくはシステムで用いられる流体微小バルブ用の熱アクチュエータとして好適である。この好ましい実施例では、2 点係止式熱アクチュエータは、流体フローポートを含む液体充填室内に定在する。2 点係止式熱アクチュエータは、本発明の実施例の常態で開のバルブ若しくは常態で閉のバルブに対して流体フローポートを開成若しくは閉成するために機能する。2 点係止式熱アクチュエータへの熱パルスの印加は、初期的に、流体フローポートを開成若しくは閉成するように構成された座屈を引き起こす。

40

【0024】

本発明は、また、電子回路を制御するために用いられる電気微小スイッチ用の熱アクチュエータとして好適である。この好ましい実施例では、2 点係止式熱アクチュエータは、外部回路を開成若しくは閉成するためにスイッチ電極と接触若しくは離反する制御電極を動作させる。2 点係止式熱アクチュエータへの熱パルスの印加は、微小スイッチを開成若

50

しくは閉成するように構成された座屈を引き起こす。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

本発明は、ある好ましい実質的にを特に参照して詳説されるが、変形及び修正は、本発明の範囲内で実現できることは理解されるだろう。

【0026】

以下で詳説する如く、本発明は、2点係止式熱アクチュエータ、ドロップ・オン・デマンド式液体放出装置、常態閉及び常態開の微小バルブ、及び、常態閉及び常態開の微小スイッチを提供する。かかる装置のうちの最も知られた装置は、インクジェット印刷システムにおけるプリントヘッドとして用いられる。インクジェットプリントヘッドに類する装置を利用するが、精密に定量され高い空間精度で付着される必要があるインク以外の液体を放出する多くの他の用途は出現している。インクジェット及び液滴放出器の用語は、ここでは互いに互換性がある態様で用いられる。以下で開示される本発明は、広範な流体特性に対して改善された液滴放出性能を有する熱-機械アクチュエータに基づく液滴放出器を提供する。本発明は、更に、改善されたエネルギー効率を備える微小バルブ及び微小スイッチを提供する。

【0027】

本発明の発明者は、クランプされた若しくは2点係止された、変形可能な部材型微小熱アクチュエータが、変形可能な部材の曲げ剛性が係止縁部近傍の部位で低減された場合に、顕著に改善されたエネルギー効率を有するように設計されることができるとを、知見した。加熱時、複数層の変形可能な部材は、最も高い熱膨張の層の方向に反る。加熱を中央部に制限し、変形可能な部材がクランプされる縁部及び位置の近傍で変形可能な部材の曲げ剛性を低減することによって、より大きい撓みが、所与の量の熱入力エネルギーに対して達成される。

【0028】

図1は、従来の2点係止式熱アクチュエータの側面視を示す。変形可能な部材20は、2つの対向する係止(アンカー)縁部14にてベース部材10に係止される。図示された変形可能な部材は、2つの層、第1層22及び第2層24からなる薄いビームである。第1層22は、酸化珪素や窒化珪素のような、低い熱膨張係数を有する材料から構成される。第2層24は、金属のような、高い熱膨張係数を有する材料から構成される。図1(a)は、通常の動作温度での定在(休止)時の変形可能な部材20を示す。図示された従来の熱アクチュエータでは、第2の材料は、チタンアルミナイドのような電気抵抗金属であり、電流が層24を通して半田バンプ43, 47及びTABボンドリッド線41, 46のような図示された電気接点を介して流れるときに自己加熱する。電流を印加することによって変形可能な部材を加熱することは、図1(b)に示すように、より熱膨張しやすいそう24に向かう方向に変形可能な部材を変形(曲げ若しくは座屈)させる。

【0029】

図2(a)及び図2(b)は、本発明による2点係止式熱アクチュエータ15の側面視を示す。図2(a)では、2点係止式熱アクチュエータは、休止の第1位置にある。図2(b)では、変形可能な部材は、第2層24における電気抵抗材料に電流を通すことによって加熱され、温度が上昇し、変形可能な部材が第2の釣り合い(平衡)形状まで曲げられ若しくは座屈させられる。第2層24は、係止部24a及び中央部24cを有するように図示されている。本発明の重要な局面は、変形可能な部材の曲げ剛性が、係止縁部14に近傍の係止部18において、中央部19の曲げ剛性に比べて低減されることである。機械的な低減は、係止部18における曲げ剛性が変形可能な部材20の中央部10の曲げ剛性よりも少なくとも20%小さい場合に実質的であるといわれる。

【0030】

第2層24上の第3層26は、図2にも図示されている。この層は、2点係止式熱アクチュエータの特別な用途に依存して多様な機能を有することができる。液滴放出器若しくは微小バルブで用いられるとき、第3層26は、適切な化学的耐性及び電氣的絶縁性を有

10

20

30

40

50

する不活性化層であってよい。マイクロスイッチでの使用に対しては、第3層26は、絶縁性のある副層及び導電性のある副層を有する多層積層体であってよい。第3層26は、第1層22から見て第2層24の反対側に設けられるので、その曲げ剛性が変形可能な部材の熱曲げを阻害しないことが重要である。第3層は、典型的には、第1層22若しくは第2層24よりも実質的に低い厚さで設けられ、実現可能な場合には、非常に低いヤング率を有する材料を用いる。

【0031】

変形可能な部材20は、図2に示す3層からなっており図示されている。本発明の実際の実現は、製造上の理由若しくは追加の保護及び不活性化のために導入される追加の層を含んでよい。また、考えられることとして、図示された層の任意の層は、改善された性能若しくは製造上の利点のために複数の副層からなってもよい。本発明の全ての実施例は、実質的に異なる熱膨張係数を有する第1及び第2層22, 24を有する特徴を共有し、これにより、加熱されたときに熱-機械変形を提供する。例えば上層26のような他の層は、信頼性の改善を含め、更なる有利な機能を提供するために設けられてよい。

【0032】

本発明のある好ましい実施例では、より小さい係止部剛性は、第2層の係止部を、第2層の中央部を形成する材料よりもヤング率が実質的に小さい材料を用いて形成することによって、達成される。例えば、第2層24の係止部24aは、アルミニウムで形成されてよく、中央部24cは、チタンアルミナイドで形成されてもよい。係止部において変形可能な部材の中央部よりも小さい剛性を達成する他のアプローチは、変形可能な部材の係止部におけるより薄い層若しくはより狭い実効幅を含む。

【0033】

図2及び他の図における2点係止式熱アクチュエータ15のジオメトリは、典型的な微小ビーム構造に対するスケールに従っていない。典型的には、第1層22及び第2層24は、厚さ数ミクロンで形成され、2点係止式変形可能な部材20の長さは、100ミクロンより大きく、典型的には、300ミクロンより小さい。

【0034】

変形可能な部材の挙動の根底をなす物理のより詳細な理解は、2つの係止ポイントで支持されるビームを支配する偏微分式の解析によりアプローチされることができる。以下の座標及び幾何学上のパラメータは、図2に示される。変形可能な部材20は、対向する係止縁部14で基板10に係止されるビームである。変形可能な部材に反った軸は、“x”で指示され、左側の係止縁部14で $x = 0$ であり、変形可能な部材の中心で $x = L$ であり、右側の係止縁部14で $x = 2L$ である。更に、変形可能な部材の係止部18と中央部19の間の境界は、近似的であり、各係止縁部から距離 L_0 に位置する。係止部と中央部の間の境界は、本発明により実際に構築された変形可能な部材が、剛性が中央部の実効値から係止部の実効値に変化するまでの有限遷移領域を有することになることは、理解されるべきである。x軸に垂直なビームの撓みは、 $f(x)$ で示される。図示された対称のビームの変形は、中心に関して対称であり、それ故に、軸から離れる最大撓み f_{max} は、 $x = L$ に位置し、即ち $f_{max} = f(L)$ である。

【0035】

図示された変形可能な部材20は、厚さ h_1 の第1層22及び厚さ h_2 の第2層24からなる。対向する係止縁部14間の微小ビームの長さは、 $2L$ である。実際に実現されるビームは、また、有限の幅 w を有することになる。図2の側面視は、幅寸法を示していない。幅寸法は、幅が変形可能な部材の横断方向で一定である構成に対して本発明の理解に重要でない。しかし、本発明のある好ましい実施例では、変形可能な部材の幅、若しくは、変形可能な部材のある層の幅は、曲げ剛性を低減するために係止部において狭くされてもよい。

【0036】

図2におけるx軸は、対向する係止縁部位置14間の空間を端から端まで延在して示されている。x軸は、ここで変形可能な部材20の中心面と称される面内に位置する。この

10

20

30

40

50

面は、残留の変形若しくは座屈の無い平らな変形可能な部材の部分を示す。

【 0 0 3 7 】

振動するビームの小さな振動に対する標準式は、以下の通りであり、

【 0 0 3 8 】

【 数 1 】

$$\rho h w \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{E h^3 w}{12(1-\sigma^2)} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} = 0, \dots\dots\dots(1)$$

これを用いて、種々の標準的な境界条件が用いられる。ここでは、 x は、ビームの長さに沿った空間座標であり、 t は時間、 $u(x, t)$ はビームの変位量、 ρ はビームの密度、 h は厚さ、 w は幅、 E はヤング率、 σ はポアソン比である。ビームの曲げ剛性 D は、式 1 の第 2 項において、材料特性 E 及び、幾何的パラメータ h 及び w 、及び形状因子 $1/12$ により捕捉される。曲げ剛性は、次の通りである。

【 0 0 3 9 】

【 数 2 】

$$D = \frac{E h^3 w}{12(1-\sigma^2)}. \dots\dots\dots(2)$$

多層ビームに対して、物理定数は、全て実効パラメータであり、種々の層 j の物理定数の重み付け平均として算出される。

【 0 0 4 0 】

【 数 3 】

$$h = \sum_{j=1}^N h_j \dots(3), \quad E_j = \frac{1}{w} \sum_{j=1}^M w_{ji} E_{ji} \dots(4), \quad E = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^N E_j h_j \dots(5)$$

$$\rho = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^N \rho_j h_j \dots(6), \quad \alpha = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{\alpha_j h_j E_j}{1-\sigma_j}}{\sum_{j=1}^N \frac{h_j E_j}{1-\sigma_j}} \dots(7),$$

$$1-\sigma^2 = \frac{E h^3}{12} \frac{1}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{3} [(y_j - y_c)^3 - (y_{j-1} - y_c)^3] \frac{E_j}{1-\sigma_j^2}} \dots\dots(8),$$

ここで、

【 0 0 4 1 】

【 数 4 】

$$y_0 = 0, y_j = \sum_{k=1}^j h_k, \text{ and } y_c = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{1}{2} \frac{E_j (y_j^2 - y_{j-1}^2)}{1-\sigma_j^2}}{\sum_{j=1}^N \frac{E_j h_j}{1-\sigma_j^2}}. \dots\dots(9)$$

α_j は、 j 番目の層の熱膨張係数であり、 α は、多層ビームに対する実効熱膨張係数である。

【 0 0 4 2 】

本発明のある好ましい実施例に対して、一以上の層 j の幅は、変形可能な部材 20 の中央部 10 に対して係止部 18 において有意に狭くされてよい。それ故に、実効ヤング率 E

10

20

30

40

50

j は、上記式 4 における各層に対して、 j 番目の層の各幅部分 w_{ji} のヤング率 E_{ji} を積算し、変形可能な部材の全体の幅 w により正規化することによって、算出される。例えば、層が半分だけ狭くされている場合、当該層の実効ヤング率 E_j は、嵩材料のヤング率地の半分まで低減されることになる。このように異なる実効層幅を考慮することは、以下の解析を均一な幅を有する変形可能な部材に対するモデルを用いて進めることを可能とする。係止部 18 の全体としての幅 w_a が中央部の幅 w_c に対して低減される場合、これは、解析において、式 2 の剛性 D を評価するときに w に対して、それぞれの全体の幅 w_a 若しくは w_c を用い、式 4 において実効層ヤング率値 E_j を用いることによって、考慮されることができる。

【0043】

10

標準式 1 は、加熱、残留歪及び取り付け接続部によりビーム端部に掛かるモーメントを考慮する境界条件に起因したビームの圧縮若しくは膨脹を含む幾つかの追加の物理作用を考慮するために修正される。

【0044】

拘束される微小ビームを加熱する主な作用は、圧縮応力である。加熱された微小ビームは、拘束されていない場合には、膨脹するだろう。膨脹に対してビームを拘束する際、取り付け接続部は、対向する係止縁部 14 間の微小ビームを圧縮する。微小ビームの未変形の形状に対して、この熱により誘起される応力は、次の項を式 1 の形態に付加することによって表される。

【0045】

20

【数 5】

$$Eh\alpha T \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \dots\dots\dots(10)$$

上記の式 10 において、 α は、式 7 で与えられる平均熱膨張係数であり、 T は温度である。かかる項は、均一に圧縮されるビームを表すだろう。

【0046】

しかし、微小ビームは、均一に圧縮されない。それは、外向きに曲がって変形され、変形は、圧縮を緩和することになる。

30

微小ビームの局部膨脹は、次の通りである。

【0047】

【数 6】

$$\sqrt{1 + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2} - 1 \cong \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \dots\dots\dots(11)$$

式 11 における右側の項は、式の左側の完全な表現のテーラー展開における第 1 項である。右側の項は、局部膨脹の近似としてここで用いられることになり、伴われる非常に小さい大きさの変形により正当化される。式 10 におけるテーラー近似を用いて、正味の局部応力は、次の通りである。

40

【0048】

【数 7】

$$\alpha T - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \dots\dots\dots(12)$$

結果として得られる応力の垂直成分は、このとき次の通りである。

50

【 0 0 4 9 】

【 数 8 】

$$Ehw(\alpha T - \frac{1}{2}(\frac{\partial u}{\partial x})^2) \frac{\partial u}{\partial x} \dots \dots \dots (13)$$

それ故に、ビームの小さい振動に対する完全な数学的モデルは次の通りとなる。

【 0 0 5 0 】

10

【 数 9 】

$$\rho h w \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{Ewh^3}{12(1-\sigma^2)} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + Ehw \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left[\alpha T - \frac{1}{2}(\frac{\partial u}{\partial x})^2 \right] \frac{\partial u}{\partial x} \right\} = 0. \dots (14)$$

本発明の目的のため、ビームは、時間依存する温度サイクル $T(t)$ を介して周期的に繰り返されるようにされた際に種々の形状を取り、休止位置及び変形釣り合い位置により図 2 (a) 及び図 2 (b) で示されるような座屈運動を引き起こすように設計される。更なる解析のため、熱平衡時に $u(x, t) = f(x)$ とする。即ち、 $f(x)$ は、任意の温度 T での平衡状態のビームの時間変化しない形状である。

20

【 0 0 5 1 】

式 1 4 は、固定温度 T で平衡形状 $f(x)$ の項の改変であり、次の微分方程式を生む。

【 0 0 5 2 】

【 数 1 0 】

$$\frac{Ewh^3}{12(1-\sigma^2)} \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + Ewh \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left[\alpha T - \frac{1}{2}(\frac{\partial f}{\partial x})^2 \right] \frac{\partial f}{\partial x} \right\} = 0. \dots (15)$$

式 1 5 の第 2 項の微分を実行すると、次の通りとなる。

30

【 0 0 5 3 】

【 数 1 1 】

$$\frac{Ewh^3}{12(1-\sigma^2)} \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + Ewh \left[\alpha T - \frac{3}{2}(\frac{\partial f}{\partial x})^2 \right] \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = 0. \dots \dots \dots (16)$$

更なる解析のため、変形可能な部材を加熱し、熱モーメント cT を発生させることの物理効果、及び、液滴放出器内の作動流体の逆圧により負荷される荷重、微小バルブのバルブシートに当たることにより負荷される荷重、若しくは微小即ちを閉じることにより負荷される荷重のような、荷重 P の物理効果を導入することは有益である。本発明に適用する仮定を簡易化することは、加熱及び荷重の双方が、図 2 の x 軸に沿って係止縁部 1 4 から L 延在する係止部 1 8 間の変形可能な部材の中央部 1 9 に主に負荷されることである。

40

【 0 0 5 4 】

本発明は、変形された部材の温度が上昇するにつれて生ずる膨脹座屈の事前バイアス方向に対して作用する内部熱 - 機械力が発生されることを必要とする。必要とされる力は、不均質構造により達成され、不均質構造は、典型的には、異なる熱 - 機械特性を有する、特に実質的に異なる熱膨張係数を有する複数材料からなる平らな積層体である。図 2 に示

50

す 2 層部材に対して、第 1 層 2 2 及び第 2 層 2 4 の熱膨張係数が実質的に異なる一方でそれらそれぞれのヤング率の値が類似する場合に、有効な熱モーメント $c T$ が、上昇温度 T で発生することになる。

【 0 0 5 5 】

熱モーメントは、構造を平衡形状に曲げる作用をし、平衡形状では、熱膨張係数の大きい方の層が曲げの外側である。それ故に、第 2 層 2 4 が、第 1 層 2 2 の熱膨張係数よりも有意に大きい熱膨張係数を有する場合、熱モーメントは、変形可能な部材 2 0 を図 2 の上向きに曲げるように作用することになる。

【 0 0 5 6 】

2 次元積層構造の熱モーメント係数 c は、次のように、積層体を構成する層の厚さ及び材料特性から見出すことができる。

【 0 0 5 7 】

【 数 1 2 】

$$c = \frac{\sum_j \frac{1}{2} (y_j^2 - y_{j-1}^2) (\alpha - \alpha_j) \frac{E_j}{1 - \sigma_j^2}}{\sum_j \frac{1}{3} [(y_j - y_c)^3 - (y_{j-1} - y_c)^3] \frac{E_j}{1 - \sigma_j^2}}, \dots\dots\dots (17)$$

10

20

ここで、 y_c は、上記式 9 で与えられる。

【 0 0 5 8 】

変形可能な部材の特性、加熱、及び作動荷重が $x = L$ に関して対称である限り、“半ビーム”の解析、即ち $x = 0$ から L の区間上の微分式は、全体の変形可能な部材 2 0 の挙動を捕捉することになる。本発明は、変形可能な部材の中心に関して力及び特性における対称性の簡易仮定をなすことにより理解されてもよい。ここでは、以下、式 1 6 は、図 2 に示した変形可能な部材 2 0 に適用され、この場合、変形可能な部材の特性及び力は、空間範囲 $x = L_a$ から L に亘る中央部 1 9 に対する値に比べて、空間範囲 $x = 0$ から L_a に亘る係止部 1 8 に対して異なる値を有してよい。これは、対称な変形可能な部材 2 0 の左側である。右側は、左側の解析に対称な結果を示すことになる。

30

【 0 0 5 9 】

図 2 の変形可能な部材 2 0 の左側に上記式を適用すると、次の平衡微分方程式及び関連する境界条件のセットは、周囲よりも高い特定の平衡温度 T に対する変形可能な部材の撓みないし形状 $f(x)$ を表す。

【 0 0 6 0 】

【 数 1 3 】

$$\frac{E_i w_i h_i^3}{12(1 - \sigma_i^2)} \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + E_i w_i h_i \left[\alpha_i T_i - \frac{3}{2} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 \right] \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = P_i, \quad i = a, c \quad \dots\dots (18)$$

40

ここで、ラベル “ a ” は、 $x = 0$ から $x = L_a$ まで延在する係止部 1 8 を指し、ラベル “ c ” は、 $x = L_a$ から $x = L$ まで延在する中央部 1 9 を指す。荷重 P_i は、中央部 1 9 のみ印加されると仮定する。即ち、 $P_a = 0$ 、 $P_c = P(x)$ 、 $x = L_a$ から L 。

【 0 0 6 1 】

適用可能な境界条件は次の通りであり、

【 0 0 6 2 】

【数 1 4】

$$f|_{x=0}=0; \frac{\partial f}{\partial x}|_{x=0}=0; \frac{\partial f}{\partial x}|_{x=L}=0; \frac{\partial^3 f}{\partial x^3}|_{x=L}=0; \dots\dots\dots(19)$$

遷移位置 $x = L_a$ では、次の通りである。

【0 0 6 3】

【数 1 5】

$$D_a \frac{\partial^2 f^-}{\partial x^2}|_{x=L_a} = D_c \frac{\partial^2 f^+}{\partial x^2}|_{x=L_a} + D_c c_c T_c; \dots\dots\dots(21)$$

10

$$\begin{aligned} & D_a \frac{\partial^3 f^-}{\partial x^3}|_{x=L_a} - E_a h_a w_a \frac{1}{2} \left(\frac{\partial f^-}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial f^-}{\partial x} \Big|_{x=L_a} \\ & = D_c \frac{\partial^3 f^+}{\partial x^3}|_{x=L_a} + E_c h_c w_c \left[\alpha_c T_c - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial f^+}{\partial x} \right)^2 \right] \frac{\partial f^+}{\partial x} \Big|_{x=L_a} - F^+(L_a); \quad (22) \end{aligned}$$

20

ここで、

【0 0 6 4】

【数 1 6】

$$D_a = \frac{E_a w_a h_a^3}{12(1-\sigma_a^2)}; \quad D_c = \frac{E_c w_c h_c^3}{12(1-\sigma_c^2)}; \text{ and } F(x) = \int P(x) dx. \dots\dots\dots (23)$$

D_a 及び D_c は、変形可能な部材 20 の係止部 18 及び中央部 19 に対する曲げ剛性係数である。

30

【0 0 6 5】

上記の $x = 0$ 、 L 及び L_a で境界条件を備える非線形微分方程式は、次の変数 x の変形を用いて数学的により容易に解かれる。

【0 0 6 6】

【数 1 7】

$$f(x) \rightarrow u_1(z), \quad z = \frac{L}{L_a} x, \quad 0 \leq x \leq L_a; \quad f(x) \rightarrow u_2(z), \quad z = L \left(\frac{x-L}{L_a-L} \right), \quad L_a \leq x \leq L. \quad (24)$$

これらの変形は、左端 ($z = 0$) に全ての境界条件をまとめ、係止部から中央部への遷移位置での全ての境界条件を、新しい区間 $[0, L]$ の右端 ($z = L$) にまとめる。結果として得られる境界値問題は、次の通りである。

40

【0 0 6 7】

【数 18】

$$\left(\frac{L}{L_a}\right)^4 D_a \frac{\partial^4 u_1}{\partial z^4} - E_a w_a h_a \frac{3}{2} \left(\frac{L}{L_a}\right)^4 \left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2} = 0, \quad \dots\dots\dots(25)$$

and

$$\left(\frac{L}{L_a - L}\right)^4 D_c \frac{\partial^4 u_2}{\partial z^4} + E_c w_c h_c \left(\frac{L}{L_a - L}\right)^2 \left[\alpha_c T - \frac{3}{2} \left(\frac{L}{L_a - L}\right)^2 \left(\frac{\partial u_2}{\partial z}\right)^2 \right] \frac{\partial^2 u_2}{\partial z^2} = P(z). \quad \dots\dots\dots(26)$$

10

付随する境界条件は、次のように変形される。

【0068】

【数 19】

$$u_1|_{z=0} = 0; \frac{\partial u_1}{\partial z}|_{z=0} = 0; \frac{\partial u_2}{\partial z}|_{z=0} = 0; \frac{\partial^3 u_2}{\partial z^3}|_{z=0} = 0. \quad \dots\dots\dots(27)$$

$$u_1|_{z=L} = u_2|_{z=L}; \frac{L}{L_a} \frac{\partial u_1}{\partial z}|_{z=L} = \frac{L}{L_a - L} \frac{\partial u_2}{\partial z}|_{z=L}; \quad \dots\dots\dots(28)$$

20

$$D_a \left(\frac{L}{L_a}\right)^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2}|_{z=L} = D_c \left(\frac{L}{L_a - L}\right)^2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial z^2}|_{z=L} + D_c c_c T; \quad \dots\dots\dots(29)$$

$$D_a \left(\frac{L}{L_a}\right)^3 \frac{\partial^3 u_1}{\partial z^3}|_{z=L} - E_a h_a w_a \frac{1}{2} \left(\frac{L}{L_a}\right)^3 \left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)^2 \frac{\partial u_1}{\partial z}|_{z=L} = -F(L) +$$

$$D_c \left(\frac{L}{L_a - L}\right)^3 \frac{\partial^3 u_2}{\partial z^3}|_{z=L} + E_c h_c w_c \left(\frac{L}{L_a - L}\right) \left[\alpha_c T - \frac{1}{2} \left(\frac{L}{L_a - L}\right)^2 \left(\frac{\partial u_2}{\partial z}\right)^2 \right] \frac{\partial u_2}{\partial z}|_{z=L}.$$

30

.....(30)

上記式は、非線形常微分方程式を解く計算ソフトウェア、Asher, Christiansen and RussellによるCOLSYSを用いて、数値的に解かれた。この計算サブルーチンは、インターネットのウェブサイトwww.netlib.orgにて入手可能である。

【0069】

好ましい材料及び層の一例の設計は、数値計算を介してモデル化された。この例の変形可能な部材は、5層からなった。第1層22は、2つの副層、即ち0.3 μmの厚さの炭化珪素(SiC)から形成される副層22a、及び、0.2 μmの厚さの酸化珪素(SiO₂)から形成される副層22bからなった。第2層24は、係止部18及び中央部19に対して異なる特性を付与するために層24内に部位24a及び24cに構成される、2つの材料、即ち1.5 μmの厚さのアルミニウム(Al)若しくはチタンアルミナイド(TiAl)からなった。第3層26は、2つの副層、即ち0.5 μmの厚さの酸化珪素(SiO₂)から形成される副層26a、及び、0.3 μmの厚さのテフロン(登録商標)(PTFE)から形成される副層26bからなった。

40

【0070】

モデル化された変形可能な部材は、全体で3.8 μmの厚さであった。全体の長さ2L

50

は、 $300\text{ }\mu\text{m}$ であり、全ての層が同一の幅 $30\text{ }\mu\text{m}$ を有していた。実効ヤング率、密度及び熱膨張係数の値は、上記の式3乃至式9を用いて計算されることができる。モデル計算で用いられた材料値及び計算された実行パラメータは、表1に与えられる。

【0071】

【表1】

層	材料	h, 厚さ (μm)	E, ヤング率 (GPa)	α , TCE (10^{-6})	ρ , 密度 (Kg/m^3)	σ , ポアソン比
26b	PTFE	0.3	0.1	80	2200	0.25
26a	SiO_2	0.2	74	0.5	2200	0.25
24a	Al	1.5	69	23.1	2700	0.25
24a	TiAl	1.5	187	15.2	3320	0.25
24c	TiAl	1.5	187	15.2	3320	0.25
22b	SiO_2	0.5	74	0.5	2200	0.25
22a	$\beta\text{-SiC}$	1.3	448	1.52	3210	0.25
実効値 (ケース1)	(Al for 24a)	3.8	114	0.0	2740	0.25
実効値 (ケース2)	(TiAl for 24a)	3.8	194	5.65	2990	0.25
実効値 (ケース1,2)	(with TiAl for 24c)	3.8	194	5.65	2990	0.25

第2層24の係止部24aの2つの構成がモデル化され算出された。即ち、ケース1は、係止部24aに対してアルミニウムを有し、ケース2は、係止部24aに対してチタンアルミナイドを有する。双方のモデル化された構成は、変形可能な部材20の中央部19に対して同一の材料構成を有し、第2層24の中央部24に対してチタンアルミナイドを有する。変形可能な部材20の中央部19に対する熱モーメント係数は、式17から計算され、表1のパラメータを用いて $c = .05333\text{ cm}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ となった。

【0072】

第2層24全体にチタンアルミナイドを有するモデル構成であるケース2に対する式25乃至30の数値解の結果が、図3にプロットされている。プロットは、中央部19が周囲温度よりも高い温度 T 、 100°C に達するまで加熱された後の変形可能な部材20の左側の計算された平衡形状 $f(x)$ を示す。変形量 $f(x)$ は、変形可能な部材に沿った位置 x と同様、ミクロンの単位で表現される。変形された部材20は、対称形状を有すると仮定され、従って、右側が相補形を有するだろう。最大の変形 f_{max} は、ビーム中心 x

$= 150 \mu\text{m}$ で生ずる。

【0073】

個々の曲線 210 乃至 222 は、係止部から中央部への遷移の異なる位置、即ち L_a に対する異なる値をプロットする。各曲線と関連付けられた L_a の値は、次の通りである。曲線 210 ($L_a = 5/6 L$)、曲線 212 ($L_a = 4/6 L$)、曲線 214 ($L_a = 3/6 L$)、曲線 216 ($L_a = 2/6 L$)、曲線 218 ($L_a = 1/4 L$)、曲線 220 ($L_a = 1/5 L$)、及び曲線 222 ($L_a = 1/6 L$)。

【0074】

このケース 2 の構成に対して、変形可能な部材 20 の係止部 18 及び中央部 19 は、同一の機械的特性を有する。結果として、最大変形の異なる量は、中央部のみが加熱され、中央部のみが荷重 P を受けるという仮定から生じている。これらの仮定は、ヒータが中央部のみで実効的となるようにパターン化され且つ荷重が変形可能な部材 20 の中心で最も大きい抵抗を印加するように構成されているケースに近似する。後者の条件は、以下の図 7 及び図 8 に示す液体室の砂時計形状により液滴生成器に対して伝えられる。室は、変形可能な部材 20 の中央部 19 を囲繞して最も収縮されるので、主要な流体の逆圧荷重は、中央部 19 に印加されることになる。図 3 のプロット図を研究することにより、ケース 2 に対しては、最大変形量を最大化に対する最適な選択肢、即ち $L = L_a = 1/4 L$ に対して $f_{max} = 2.27 \mu\text{m}$ が存在することが理解できる。

【0075】

第 2 層 24 の係止部 24a に対してアルミニウムを有し中央部 24c に対してチタンアルミナイドを有するモデル構成であるケース 1 に対する式 25 乃至 30 の数値解の結果が、図 4 にプロットされている。プロットは、中央部 19 が周囲温度よりも高い温度 T 、100 に達するまで加熱された後の変形可能な部材 20 の左側の計算された平衡形状 $f(x)$ を示す。変形量 $f(x)$ は、変形可能な部材に沿った位置 x と同様、ミクロンの単位で表現される。変形された部材 20 は、対称形状を有すると仮定され、従って、右側が相補形を有するだろう。最大の変形 f_{max} は、ビーム中心 $x = 150 \mu\text{m}$ で生ずる。

【0076】

個々の曲線 230 乃至 236 は、係止部から中央部への遷移の異なる位置、即ち L_a に対する異なる値をプロットする。各曲線と関連付けられた L_a の値は、次の通りである。曲線 230 ($L_a = 5/6 L$)、曲線 232 ($L_a = 4/6 L$)、曲線 234 ($L_a = 3/6 L$)、及び曲線 236 ($L_a = 2/6 L$)。

【0077】

このケース 1 の構成に対して、変形可能な部材 20 の係止部 18 及び中央部 19 は、異なる機械的特性を有する。特に、係止部は、ケース 1 ではケース 2 に比べて剛性が低い。これは、表 1 における実効ヤング率の値を比べることにより理解できる。ケース 1 では、実効ヤング率が 114 GPa であり、ケース 2 の 194 GPa の実効ヤング率よりも約 40% 小さい。図 4 の曲線 230 乃至 236 により表される異なる量の最大変形は、係止部 18 における低減された曲げ剛性と共に、中央部のみが加熱され且つ中央部のみが荷重 P を受けるという仮定から生ずる。

【0078】

ケース 1 の変形可能な部材の最大変形量は、 $L = L_a = 1/3 L$ に対して $f_{max} = 2.69 \mu\text{m}$ である。係止部における曲げ剛性を 40% 低減することは、最大変形量の 18% の増加をもたらした。

【0079】

図 3 及び図 4 におけるプロットされた結果は、2 次元解析に基づいていた。3 次元数値解析も、ケース 1 及びケース 2 の構成の変形可能な部材 20 に対して実行された。ESI CFD 社による数値解析器 CFD-ACE* が、3 次元解析に用いられた。このソフトウェアパッケージは、インターネットのウェブサイト www.esi-group.com にて入手可能である。

【0080】

10

20

30

40

50

3D計算は、係止部から中央部への遷移位置 L_a の関数として $f(L) = f_{max}$ の値を求めるために実行された。モデルに対する式25乃至30のこれらの3次元数値解の結果は、図5にプロットされている。図5のプロット240は、第2層の中央部24aがアルミニウムで形成されたケース1に対してである。図5のプロット242は、第2層の中央部24aがチタンアルミナイドで形成されたケース2に対してである。3次元計算は、2次元解析が変形量を過大に評価することを示す。しかし、3次元計算は、また、係止部18における剛性を低減する比例的な効果が、2次元解析により過小に評価されることを示す。図5のプロット240及び242は、係止部18における剛性の40%までの低減は、最大変形量の40%までの増加を生むこと、即ち f_{max} が $1.51\mu m$ から $2.2\mu m$ まで増加することを示す。

10

【0081】

図5のプロットは、明らかに、係止縁部14に近傍の2点係止式熱アクチュエータの変形可能な部材20の部位の曲げ剛性を低減することによって達成可能な最大変形量の増加を実証している。入力される同一のエネルギーに対する変形量の改善は、係止部間の距離を増加するため、使用されるエネルギーの全体量を低減するため、若しくは、作動の繰り返し周期を増加させるために、利用されてよい。

【0082】

改善の量は、上述の多くの材料、形状及び幾何因子に依存する。上述の解析されたモデルの変形可能な部材20における曲げ剛性を低減する手段は、第2層24の一部を、実質的に低いヤング率を有する材料で置き換えることであった。式2, 25乃至30を精査することから理解できるように、曲げ剛性パラメータDを低減する任意の手段は、所与のエネルギー入力に対する改善された変形をもたらすことになる。曲げ剛性を低減する手段は、実効厚さhを低減すること、実効幅wを低減すること、実効ヤング率Eを低減すること、若しくはこれらの任意の組み合わせを含む。

20

【0083】

これより、係止位置近傍の曲げ剛性が低減された2点係止式熱アクチュエータの幾つかの微小装置への適用例が議論される。本発明は、特にインクジェットプリントヘッドである液滴放出器、液体微小バルブ及び電気微小スイッチへの、かかる熱アクチュエータの組み込みを含む。

【0084】

30

図6を参照するに、本発明による装置を使用してよいインクジェット印刷システムの概略図が示されている。システムは、液滴を印刷するためのコマンドとしてコントローラ300により受信される信号を供給する画像データ源400を含む。コントローラ300は、電気パルス源200に信号を出力する。パルス源200は、電気エネルギーパルスからなる電圧信号を生成し、電圧信号は、インクジェットプリントヘッド100内の各2点係止式熱アクチュエータ15に対応付けられた電気抵抗手段に印加される。電気エネルギーパルスは、2点係止式熱アクチュエータ15を迅速に変形させ、ノズル30位置のインクを加圧し、受像体500上に着地するインク液滴50を放出する。

【0085】

図7は、インクジェットプリントヘッド100の平面視を示す。熱作動式インクジェットユニット110のアレイは、中央に整列されたノズル30及びインク室12を有して示されている。インクジェットユニット110は、超小型電子部品製造方法を用いて基板内及び基板上に形成される。

40

【0086】

各液滴放出ユニット110は、対応する電気ヒータ電極接点42, 44を有し、電気ヒータ電極接点42, 44は、2点係止式熱アクチュエータの変形可能な部材20の第2層内に形成され、後述の如く熱-機械作用に参加する電気抵抗ヒータと一体に形成され、若しくは、電気抵抗ヒータに電氣的に接続される。本実施例の電気抵抗は、変形可能な部材20の第2層24に対応し、図7の平面視では別個に見えない。プリントヘッド100の部材80は、微小電子基板10、及び、液体供給、電気信号及び機械的インターフェース

50

機能を相互接続する他の手段に対する搭載面を提供する。

【 0 0 8 7 】

図 8 (a) は、単一の液滴放出ユニット 1 1 0 の平面視を示し、2 番目の平面視図 8 b は、ノズル 3 0 を含む液室カバー 2 8 が除去されている。

【 0 0 8 8 】

図 8 a に架空的に示される 2 点係止式熱アクチュエータ 1 5 は、図 8 (b) において実線で見ることができる。2 点係止式熱アクチュエータ 1 5 の変形可能な部材 2 0 は、基板 1 0 内の凹部 (くぼみ) として形成される液体室 1 2 の対向する係止縁部 1 4 から延在する。変形可能な部材の固定部 2 0 b は、基板 1 0 に結合され、変形可能な部材を係止する。

10

【 0 0 8 9 】

アクチュエータの変形可能な部材 2 0 は、長くて薄い幅広のビームの形状を有する。この形状は、使用できる 2 点係止式熱アクチュエータ用の変形可能な部材の単なる例である。多くの他の形状が適用可能である。本発明のある実施例に対して、変形可能な部材は、その外周まわりで連続的にベース部材に取り付けられるプレートである。

【 0 0 9 0 】

図 8 では、液体室 1 2 は、2 点係止変形中にアクチュエータの移動に対するクリアランスを提供するために離間された、変形可能な部材 2 0 の中央部 1 9 に対応する狭い壁部を 1 2 c に有する。2 点係止式熱アクチュエータの最大変形が生ずる室 1 2 の壁の閉じ位置は、ノズル 3 0 で液滴放出に効果的に影響するように生成された圧力インパルスを集中させる補助をする。

20

【 0 0 9 1 】

図 8 (b) は、ヒータ電極 4 2 及び 4 4 での電気抵抗ヒータ (変形可能な部材 2 0 の第 2 層に対応する) への電気パルス源 2 0 0 の取り付けを概略的に示す。電圧差が、抵抗を解して抵抗加熱を引き起こすために電圧端子 4 2 及び 4 4 に印加される。これは、電流 I を示す矢印により一般的に指示される。図 8 の平面視では、変形可能な部材 2 0 の中央部 1 9 は、電氣的に脈動され、その中心面から外向きに座屈するとき、図を見る人に向かう方向に移動する。液滴は、カバー 2 8 内のノズル 3 0 から図を見る人に向かう方向に放出される。この作動及び液滴放出のジオメトリは、多くのインクジェット開示において “ ルーフシューター (roof shooter) ” と呼ばれている。

30

【 0 0 9 2 】

図 9 は、本発明の好ましい実施例による 2 点係止式熱アクチュエータの側面視を示す。図 9 (a) では、変形可能な部材 2 0 は、第 1 の休止位置にある。図 9 (b) は、第 2 位置へと上向きに座屈された変形可能な部材を示す。変形可能な部材 2 0 は、2 点係止式熱アクチュエータに対するベース部材として機能する基板 1 0 に係止される。

【 0 0 9 3 】

液滴放出器におけるアクチュエータとして用いられるとき、変形可能な部材の座屈応答は、ノズルでの液体を十分に加圧するほど迅速でなければならない。典型的には、電気抵抗加熱装置が、熱パルスを印加するように適合される。10 μ s e c より短い電気パルス持続時間が用いられ、好ましくは、2 μ s e c より短い持続時間が用いられる。

40

【 0 0 9 4 】

図 1 0 乃至図 1 6 は、本発明の好ましい実施例の幾つかによる単一の液滴放出器を構成するための製造処理ステップを示す。これらの実施例に対して、第 2 層 2 4 は、チタンアルミナイドのような、電氣的に抵抗のある材料を用いて構成され、電流 I を搬送する部位が、抵抗内にパターン化される。第 2 層 2 4 の係止部 2 4 a は、変形可能な部材 2 0 の係止部 1 8 の曲げ剛性を有意に低減し且つ中央部に加熱領域を閉じ込めるため、アルミニウムのような、より柔軟な伝導性材料で置換される。

【 0 0 9 5 】

図 1 0 は、微小電気機械処理シーケンスの初期ステージにおける、例えば単結晶シリコンである微小電子部品材料基板 1 0 を示す。図示された製造シーケンスでは、基板 1 0 は

50

、２点係止式熱アクチュエータのベース部材１０になる。不活性化層２１は、酸化物、窒化物、ポリシリコン若しくはその類のような材料であってよく、製造シーケンスの終了付近で後方側のエッチングに対するエッチングストップパとして機能もする。エッチング可能な領域６２は、最終の変形可能な部材まわりの液体補充を提供し、変形可能な部材を解放するため、層２１内に開口される。

【００９６】

図１０は、また、事前に用意された基板上に堆積及びパターン化された将来の変形可能な部材の第１層２２を示す。第１層２２に対して用いられる第１材料は、低い熱膨張係数を有し、比較的高いヤング率を有する。第１層２２に適する典型的な材料は、珪素の酸化物若しくは窒化物、及びⅢ型炭化珪素である。しかし、多数の微小電子部品材料は、強い熱モーメントを生成する補助をし、ひずんだときに弾性エネルギーを貯める第１層２２の機能を提供する。第１層２２は、また、一以上の副層からなってもよい。多数の微小アクチュエータ装置の用途に対して、第１層は、厚さが数ミクロンとなるだろう。

10

【００９７】

図１１は、第１層の上に被覆される将来の変形可能な部材の第２層２４の形成を図示する。第２層２４は、金属のような、大きい熱膨張係数を有する第２材料から構成される。大きな熱モーメントを生成し、且つ、２点係止式熱アクチュエータに対する弾性エネルギーの蓄積を最大化するために、好ましくは、第２材料は、第１材料と同等のヤング率を有する。本発明に対して好ましい第２材料は、チタンアルミナイド金属間化合物である。チタンアルミナイド金属間化合物の堆積は、例えばＲＦ若しくはパルスＤＣマグネトロンスパッタリングにより、実行されてよい。図１０乃至１６に示した本発明の実施例に対して、第２層２４は、また、変形可能な部材２０の中央部１９及び第２層２４の中央部２４ｃも画成するレジスタパターンを形成する電気抵抗である。

20

【００９８】

図１２は、アルミニウムのような柔軟な金属材料の追加により第２層２４の形成の完成を示す図である。この材料は、第２層２４の係止部２４ａを形成する。アルミニウムは、また、第２層の中央部２４ｃとして形成される電気抵抗材料への電気接続を形成する。

【００９９】

図１３は、変形可能な部材の前に形成された層上への第３層の形成の完成を示す図である。上述の如く、第３層２６は、多様の機能のために用いられてよい。図１０乃至図１６において製造されているインクジェットプリントヘッド用途に対しては、第３層２６は、インク（作動流体）との化学的及び電気的反応からの変形可能な部材の保護を提供する。第３層は、酸化物及び有機コーティングの双方のような、異なる材料の副層からなってもよい。

30

【０１００】

第３層２６は、電気接点電極４２，４４を提供するように窓が開けられる。ヒータ電極４２，４４は、第１層２２及び不活性化層２１（図１３に示されず）を介して貫通する基板１０に事前に形成された回路に接触してよい。或いは、ここで図示されるように、ヒータ電極４２，４４は、Tape Automated Bonding（ＴＡＢ）やワイヤ結合のような、他の標準的な電気接続方法により外部的に接触されてもよい。

40

【０１０１】

本発明の代替実施例は、変形可能な部材に熱パルスを加えるために追加の電気抵抗素子を利用する。この場合、かかる素子は、第１層２２及び第２層２４の間若しくは第２層２４の上方に配置される一以上の追加の積層体として構成されてもよい。熱膨張する層である第２層２４への直接的な熱パルスの印加は、第２層及び第１層２２の間の熱望調査を最大化することによって最大の熱モーメントを促進する上で利点がある。しかし、電気抵抗ヒータ素子を含む追加の積層体は、変形可能な部材の全体の熱－機械挙動に寄与するので、第２層２４の上方若しくは下方の、これらの積層体の最も好ましい位置付けは、追加の層の機械的な特性に依存する。

【０１０２】

50

図 1 4 は、液滴放出器の室の内部の形状へと形成される犠牲層 2 9 の追加を示す。犠牲層 2 9 は、前に堆積された層上に形成される。この目的のために適した材料は、ポリイミドである。ポリイミドは、第 1 層 2 2、第 2 層 2 4、第 3 層 2 6 及び種々の目的のために追加された追加層のトポグラフィを有する表面を平坦化するためにも、十分な深さで装置基板内に付与される。近傍の材料に対して選択的に除去されることができる任意の材料が、犠牲構造 2 9 を構成するために用いられてよい。

【 0 1 0 3 】

図 1 5 は、犠牲層構造 2 9 上に、プラズマ堆積される酸化珪素、窒化珪素若しくはその類のような、コンフォーマル材料を堆積することによって形成されるカバー 2 8 及び液滴放出器の上室の壁を示す。この層は、液滴放出器室を完成させるためにパターン化され、基板 1 0 のエッチング部位により追加的に形成されることになり、図 7 及び図 8 において室 1 2 として指示される。ノズル 3 0 は、液滴放出器の上室 2 8 に形成され、製造シーケンスのこの段階では液滴放出器の上室内のままである犠牲材料層 2 9 に連通する。

【 0 1 0 4 】

図 1 6 (a) 乃至図 1 6 (c) は、図 1 5 の A - A で指示される断面を通る装置の側面視を示す。図 1 6 (a) では、犠牲層 2 9 は、ノズル開口 3 0 を除く液滴放出器の上室壁 2 8 内に收容されている。また、図 1 6 (a) に示すように、基板 1 0 は手が付けられていない。図 1 6 (b) では、基板 1 0 は、変形可能な部材 2 0 まわり及び周辺の液体室領域 1 2 (図 1 0 乃至図 1 3 参照) 及び変形可能な部材 2 0 の下方が除去される。除去は、使用される基板が単結晶シリコンである場合に対して配向依存エッチング、反応性イオンエッチング、若しくは、ウエット及びドライエッチング方法のある組み合わせのような、異方性エッチング処理によりなされてよい。2 点係止式熱アクチュエータ単独を構成するためには、犠牲構造及び液体室ステップは必要でなく、基板 1 0 のエッチング除去のステップは、変形可能な部材を解放するために用いられてよい。

【 0 1 0 5 】

図 1 6 (c) では、犠牲層 2 9 が、ポリイミドの使用の場合に酸素及びフッ素源を用いたドライエッチングにより除去されている。エッチング剤ガスは、ノズル 3 0 を介して、基板の裏側から前にエッチングされた、新たに開口された流体供給室領域 1 2 から入る。このステップは、変形可能な部材 2 0 を解放し、液滴放出器構造の製造が完了する。

【 0 1 0 6 】

図 1 0 乃至図 1 6 は、好ましい製造シーケンスを示す。しかし、多くの他の構成アプローチが、広く知られた微小電子部品製造プロセス及び材料を用いて追従されてもよい。本発明の目的のため、第 1 層 2 2、第 2 層 2 4 を含み、係止部 1 8 の曲げ剛性が変形可能な部材 2 0 の中央部 1 9 の曲げ剛性よりも実質的に小さい変形可能な部材を生む任意の製造アプローチが追従されてもよい。更に、図 1 0 乃至図 1 6 の図示されたシーケンスでは、液滴放出器の室壁 1 2、2 8 及びノズル 3 0 は、基板 1 0 上の位置に形成されていた。或いは、2 点係止式熱アクチュエータは、別に構成され、液滴放出器を形成するために液体室構成要素に結合されることも可能でありうる。

【 0 1 0 7 】

図 1 0 乃至図 1 6 は、第 2 層が電気抵抗材料で形成される好ましい実施例を示す。第 2 層 2 4 の一部は、電気パルスが対のヒータ電極 4 2、4 4 に印加されるときに電流を搬送する同時抵抗部位へと形成され、これにより、第 2 層 2 4 を直接加熱する。本発明の他の好ましい実施例では、第 2 層 2 4 は、変形可能な部材に熱を印加するように適合された他の装置により加熱される。例えば、薄膜抵抗構造は、第 1 層 2 2 上に形成され、次いで、その上に第 2 層 2 4 が形成されてもよい。或いは、薄膜抵抗構造は、第 2 層 2 4 の上部上に形成されることができる。

【 0 1 0 8 】

熱は、電気抵抗以外の装置により第 2 層 2 4 に導入されてもよい。光エネルギーのパルスは、変形可能な部材の第 1 及び第 2 層により吸収され、若しくは、光エネルギーの特定のスペクトルの効率的な吸収対として機能する特別に付加された追加の層により吸収されうる

10

20

30

40

50

。熱パルスを押加するための光エネルギーパルスの使用は、本発明による２点係止式熱アクチュエータ微小バルブに関連して以下の図２０において図示される。変形可能な部材に熱エネルギーのパルスを伝達するように適合されることができる任意の装置が、本発明を実現するための実行可能な手段として考えられる。

【０１０９】

本発明による２点係止式熱アクチュエータは、流体微小バルブの構成において有用である。常態閉の流体微小バルブ構成は、図１７に示され、常態開の流体微小バルブ構成は、図１８に示されている。常態閉及び常態開のバルブ構成の双方に対して、２点係止式熱アクチュエータは、顕著に改善されたエネルギー効率若しくは最大撓みの理由により効果的である。

10

【０１１０】

常態閉の微小バルブは、図１７（ａ）に示すように構成されてよく、従って、変形可能な部材２０がその休止位置にあるとき第２層２２は流体フローポート３２に対して付勢される。図示されたバルブ構成では、バルブシーリング部材３８は、第１層２２上に担持されている。バルブシーリング部材３８は、バルブシート３６に対して密接する。不活性化層２１は、第１層２２が不活性化機能を実現できるので、このバルブ構成に対しては省略されている。図示された構成では、流体は、図８の上に図示されたインクジェット液滴生成器室用に図示されるような変形可能な部材まわりの入口経路（図示せず）を介して圧力下で源から入れられる。熱パルスが変形可能な部材２０に印加されるとき、バルブが最大に開き、ストリーム５２（図１７（ｂ））を放出する。バルブは、上向きに座屈した状態を維持するために変形可能な部材の加熱を継続することによって、開状態に維持されることができる。

20

【０１１１】

状態開の微小バルブは、図１８（ａ）に示すように構成されてもよい。変形可能な部材２０は、流体フローポート３２の近傍に配置され、変形可能な部材２０の座屈変形がフローポート３２を閉じるために十分であるように、流体フローポート３２の十分近くに配置される。図１８には図示されていないが、バルブシーリング部材は、変形可能な部材２０により担持されうり、バルブシートは、図１７に示す常態閉の微小バルブに同様の態様で設けられうる。熱パルスが変形可能な部材に印加されるとき、バルブは、流体フローポート３２に向けて変形可能な部材を付勢することによって閉じる。バルブは、上向きに座屈した状態を維持するために変形可能な部材の加熱を継続することによって、閉状態に維持されることができる。

30

【０１１２】

上述の２点係止式熱アクチュエータ、液滴放出器及び微小バルブの説明は、対向する係止縁部に両端が半剛結で取り付けられる薄い長方形の微小ビームの形状で変形可能な部材を示してきた。変形可能な部材の長い縁部は、取り付けられず、自由に動き、２次元の座屈変形を生む。或いは、変形可能な部材は、完全に閉じた外周まわりに取り付けられるプレートとして構成されてもよい。

【０１１３】

図１９は、その円形の外周まわり全体が取り付けられる円形積層体として構成された変形可能な部材２０の平面視を示す。かかる変形可能な部材は、３次元の態様で、座屈ないしパッカーリングする。変形可能な部材の外周完全取り付け型構成は、作動流体内に浸された変形可能な部材を作動させることが望ましいときに効果的となりえる。若しくは、変形可能な部材は、一方の面でエア、真空、若しくは他の低抵抗媒体に対して作動し、反対の面に当たる作動流体の印加に対して変形することも利点となりうる。

40

【０１１４】

図１９（ａ）は、中央ノズル３０を備える正方形流体上室２８を有する液滴放出器を示す。図１９（ａ）で架空に示すように、円形の変形可能な部材２０は、外周の係止縁部１４に接続される。変形可能な部材２０は、流体室の底壁の一部を形成する。流体は、入口ポート３１を介して室に入る。図１９（ｂ）では、上室２８が除去されている。熱パルス

50

は、ヒータ電極 4 2、4 4 を介して変形可能な部材 2 0 の積層構造内に含まれる電気抵抗層に電流を通すことによって印加される。

【0115】

図 2 0 は、変形可能な部材が、完全な円形外周まわりが取り付けられた円形積層体である本発明の代替実施例を示す。変形可能な部材は、常態閉の微小バルブの壁の一部を形成する。変形可能な部材の第 2 層 2 4 側は、光収集及び合焦部材 4 0 により方向付けられる光エネルギー 3 9 にアクセス可能であるように構成されている。流体は、入口ポート 3 1 を介して微小バルブに入ることができる。バルブは、十分な強度の光エネルギーのパルスを方向付け、2 点係止式座屈を引き起こすために適切な温度時間プロフィールにより変形可能な部材を加熱することによって、動作される。バルブは、変形可能な部材の十分に上昇した温度を維持するために十分な光エネルギーパルスを供給し続けることによって、開状態に維持されてよい。

10

【0116】

本発明による光作動式装置は、完全な電氣的及び機械的絶縁が微小バルブの開成中に維持されている点で効果的である。液滴放出器、微小バルブ若しくは他の 2 点係止式熱アクチュエータ用の光作動式構成は、本発明による同様の態様で設計されてもよい。

【0117】

本発明による 2 点係止式熱アクチュエータは、電気回路を制御する微小スイッチの構成においても有用である。本発明による微小スイッチユニット 1 5 0 の平面視が図 2 1 に示されている。図 2 2 (a) 及び図 2 2 (b) は、常態閉の微小スイッチユニット 1 6 0 の側面視を示し、図 2 3 (a) 及び図 2 2 (b) は、常態開の微小スイッチユニット 1 7 0 の側面視を示す。

20

【0118】

図 2 1 の平面視では、変形可能な部材 2 0 は、電気抵抗手段により加熱される。電気パルスは、ヒータ電極 4 2、4 4 を介して電気パルス源 2 0 0 により印加される。微小スイッチは、第 1 スイッチ電極 1 5 5 と第 2 スイッチ電極 1 5 7 を介して電気回路を制御する。第 1 スイッチ電極 1 5 5 及び第 2 スイッチ電極 1 5 7 は、変形可能な部材 2 0 の上の位置にスペーサ支持体 1 5 2 により支持されている。空間 1 5 9 は、第 1 及び第 2 スイッチ電極 1 5 5、1 5 7 を分離し、従って、スイッチ入力パッド 1 5 6、1 5 8 に接続される外部回路は、第 1 及び第 2 スイッチ電極が電氣的に短絡されない限り、オープンである。第 1 及び第 2 スイッチ電極 1 5 5、1 5 7 の下方の制御電極 1 5 4 は、スペーシング構造 1 5 2 内の電極アクセス開口 1 5 3 を介して短絡接触へと付勢されてもよい。制御電極 1 5 4 は、高い伝導性の材料から構成される。変形可能な部材 2 0 は、熱パルスの印加により座屈を受ける際に、第 1 及び第 2 スイッチ電極 1 5 5、1 5 7 に向かう方向若しくは離れる方向に制御電極を移動させるように配置される。

30

【0119】

常態閉の微小スイッチは、図 2 2 に示すように構成されてもよい。図 2 2 の側面視は、図 2 1 のライン C - C に沿って形成される。変形可能な部材 2 0 の第 1 層 2 2 は、変形可能な部材 2 0 がその休止形状にあるときに、制御電極 1 5 4 を第 1 及び第 2 スイッチ電極 1 5 5、1 5 7 (図示せず) に接触するように付勢し、これにより、入力パッド 1 5 6、1 5 8 (図示せず) を介して外部回路を閉じる。熱パルスが変形可能な部材 2 0 に印加されるとき、微小スイッチは、最大に開き (図 2 2 (b))、外部回路を切断し、即ち微小スイッチを開く。微小スイッチは、上向きの座屈状態を維持するために十分に変形可能な部材を加熱し続けることによって開状態に維持されてもよい。

40

【0120】

常態開の微小スイッチは、図 2 3 に示すように構成されてもよい。図 2 3 の側面視は、図 2 1 のライン C - C に沿って形成される。変形可能な部材 2 0 は、電極アクセス開口 1 5 9 の近傍に配置され、座屈後に変形が制御電極 1 5 4 を第 1 及び第 2 スイッチ電極 1 5 5、1 5 7 (図示せず) に短絡接触するように付勢するほど十分であるように、電極アクセス開口 1 5 9 の十分近くに配置される。熱パルスが変形可能な部材 2 0 に印加される時

50

、微小スイッチは、制御電極 154 を第 1 及び第 2 スイッチ電極 155 , 157 との電気接触状態へと付勢することによって、閉じる。微小スイッチは、上向きの座屈状態を維持するために十分に変形可能な部材を加熱し続けることによって閉状態に維持されてもよい。第 2 層 24 が電氣的に抵抗のある本発明の実施例に対しては、電気絶縁層 151 が、制御電極 154 の下方に設けられてよい。

【0121】

図 21 乃至図 23 に示す微小スイッチに対しては、第 1 及び第 2 スイッチ電極の双方は、スペーシング構造 152 により支持され、制御電極 154 は、スイッチを開若しくは閉にするために双方と短絡接触する。第 2 スイッチ電極 154 が変形可能な部材 20 上に形成され、制御電極 154 との永久的に接触する代替例の微小スイッチ構成が、図 24 に示される。第 1 スイッチ電極 155 は、スペーシング構造 152 により支持され、電気アクセス開口 153 を介して制御電極による接触のためにアクセス可能である。本発明のこの図示された実施例では、開閉する微小スイッチは、それ故に、第 1 スイッチ電極 155 との接触するように若しくは離反するように制御電極 154 を付勢する変形可能な部材 20 から得られる。

【0122】

図 24 は、永久電気接点で第 2 スイッチ電極及び制御スイッチ 154 を有する構成の代替例の微小スイッチユニット 150 の平面視を示す。図 25 (a) は、本発明のこの構成による常態閉の微小スイッチユニット 160 の側面視を示す。図 25 (a) は、図 24 のライン D-D に沿って形成された側面視であり、定常の常態閉の常態のスイッチを示す。この視では、外部電気回路入力リード線 156 , 158 が見えるが、変形可能な部材を加熱する電気抵抗手段に取り付けられるヒータ電極 42 , 44 は示されていない。図 25 (b) は、熱パルスが印加され変形可能な部材が座屈を受けた後の常態閉の微小スイッチユニット 160 の側面視であり、制御スイッチ 154 と第 1 スイッチ電極 155 の間の空間 159 を開き、これにより、外部回路をオープンにする。図 25 (b) は、図 24 のライン E-E に沿って形成され、ヒータ電極 42 , 44 を示すが、入力電極 156 , 158 は示していない。

【0123】

上述の 2 点係止式熱アクチュエータ微小スイッチの説明は、対向する係止縁部に両端が取り付けられる薄い長方形の微小ビームの形状で変形可能な部材を示してきた。変形可能な部材の長い縁部は、取り付けられず、自由に動き、2 次元の座屈変形を生む。或いは、変形可能な部材は、微小バルブに対して上記の図 19 に示したように、完全に閉じた外周まわりに取り付けられるプレートとして構成されてもよい。外周完全取り付け型の変形可能な部材は、制御電極に対向する面側が真空若しくは他の低抵抗ガス内の変形可能な部材を動作させることが望ましいときに効果的となりうる。

【0124】

図 26 は、変形可能な部材が、完全な円形外周まわりが取り付けられた円形積層体である常態閉の微小スイッチユニット 160 の代替実施例の側面視を示す。変形可能な部材の第 2 層 24 側は、光収集及び合焦部材 40 により方向付けられる光エネルギー 39 にアクセス可能であるように構成されている。微小スイッチは、十分な強度の光エネルギーのパルスを方向付け、2 点係止式座屈を引き起こすために変形可能な部材を加熱することによって、動作される。微小スイッチは、変形可能な部材の十分に上昇した温度を維持するために十分な光エネルギーパルスを供給し続けることによって、開状態に維持されてよい。

【0125】

本発明による光作動式装置は、完全な電氣的及び機械的絶縁が微小スイッチの開成中に維持できる点で効果的である。常態閉の微小スイッチに対する光作動式構成は、本発明による同様の態様で設計されてもよい。

【0126】

図 27 は、係止部 18 における変形可能な部材 20 の曲げ剛性を低減する代替設計の平面視を示す。スロット 27 により図示されるように、係止部における変形可能な部材 20

10

20

30

40

50

の一以上の層から材料が除去されている。この態様の材料の除去は、変形可能な部材 20 の中央部 19 に比べて係止部 18 におけるビーム構造の実効幅を低減することによって、曲げ剛性を低減する。

【0127】

図 28 は、係止部 18 における変形可能な部材 20 の曲げ剛性を低減する代替設計の側面視を示す。図示された 2 点係止式熱アクチュエータに対しては、第 1 層 22 は、係止部において完全に除去されている。この態様での材料の除去は、実効厚さ及び実効ヤング率の双方を係止部 18 において低減することによって、曲げ剛性を低減する。

【0128】

ここでの各図は、平らで中心面内にあるような変形可能な部材 20 の休止形状を示している。しかし、上昇若しくは降下される温度からの製造プロセス作用若しくは動作に起因して、変形可能な部材の休止形状は、中心面から弓状に曲げられてもよい。本発明は、変形可能な部材 20 の休止形状のこの多様性を予期し含んでいる。

【0129】

上述の説明の多くは、単一の 2 点係止式熱アクチュエータ、液滴放出器、微小バルブ若しくは微小スイッチに向けていたが、本発明が、かかる単一の装置ユニットの組立体及びアレイを形成することに適用可能であることは、理解されるべきである。また、本発明による 2 点係止式熱アクチュエータ装置は、他の電子部品及び回路と同時に製造されてもよく、若しくは、電子部品及び回路の製造前後に同一の基板上に形成されてもよい。

【0130】

更に、上述の詳細な説明は、主に、電気抵抗装置、パルス光エネルギーにより加熱される 2 点係止式熱アクチュエータを議論しているが、誘導加熱のような、熱パルスを生成する他の手段が、本発明による変形可能な部材に熱パルスを印加するために適合されてもよい。

【0131】

上述からは、本発明は、目的の全てを得るように良好に適合されたものであることが分かる。本発明の好ましい実施例の上述の説明は、図示及び説明の目的で提示されてきた。本発明を、網羅的であることや開示される正確な形態に限定することは意図されていない。修正及び変形は、可能であり、上述の教示に照らして当業者により認識されるだろう。かかる追加の実施例は、添付の請求項の範囲内に内包される。

【図面の簡単な説明】

【0132】

【図 1】 2 点係止式熱アクチュエータの 2 位置を示す側面視。

【図 2】 本発明による 2 点係止式熱アクチュエータの 2 位置を示す側面視。

【図 3】 異なる量の加熱をその長さ方向に沿って有する変形可能な部材の平衡変位の理論計算値を示す図。

【図 4】 異なる量の加熱をその長さ方向に沿って有すると共に中央部よりも機械的剛性が低い係止部を有する変形可能な部材の等価変位の理論計算値を示す図。

【図 5】 異なる量の加熱をその長さ方向に沿って有すると共に中央部の機械的剛性以下の機械的剛性である係止部を有する変形可能な部材の等価変位の理論計算値を示す図。

【図 6】 本発明によるインクジェットシステムの概略図。

【図 7】 本発明による液滴放出ユニット若しくはインクジェットユニットのアレイの平面視。

【図 8】 図 8 (a) 及び図 8 (b) は、図 7 に示すような個別のインクジェットユニット及び 2 点係止式熱アクチュエータの拡大平面視。

【図 9】 図 9 (a) 及び図 9 (b) は、本発明による液滴放出器の休止及び液滴放出位置を図示する側面視。

【図 10】 基板が用意され、変形可能な部材の第 1 の層が堆積及びパターン化される、本発明による 2 点係止式熱アクチュエータを構築するのに好適なプロセスの最初のステージの斜視。

10

20

30

40

50

【図 1 1】変形可能な部材の第 2 の層が形成及びパターン化される、図 1 0 に示すプロセスの次のステージの斜視。

【図 1 2】変形可能な部材の第 2 の層の係止部が形成される、図 1 0 - 1 1 に示すプロセスの次のステージの斜視。

【図 1 3】保護不活性化層が形成及びパターン化される、図 1 0 - 1 2 に示すプロセスの次のステージの斜視。

【図 1 4】本発明による液滴放出器の室に充填する液体の形状における犠牲層が形成される、図 1 0 - 1 3 に示すプロセスの次のステージの斜視。

【図 1 5】本発明による液滴放出器の液体室及びノズルが形成される、図 1 0 - 1 4 に示すプロセスの次のステージの斜視。

【図 1 6】図 1 6 (a) 乃至図 9 (c) は、液体供給路が形成され、犠牲層が取り除かれて本発明による液滴放出器が完成される、図 1 0 乃至 1 5 に示したプロセスの最終ステージの側面視である。

【図 1 7】図 1 7 (a) 及び図 1 7 (b) は、本発明による常態閉の微小バルブの閉位置及び開位置を示す側面視。

【図 1 8】図 1 8 (a) 及び図 1 8 (b) は、本発明の好ましい実施例による常態開の微小バルブの動作を示す側面視。

【図 1 9】図 1 9 (a) 及び図 1 9 (b) は、本発明の好ましい実施例による完全に閉じた周囲まわりに係止される変形可能な部材を有する常態閉の微小バルブを示す平面視。

【図 2 0】図 2 0 (a) 及び図 2 0 (b) は、本発明の好ましい実施例による光エネルギー加熱パルスにより動作される常態閉の微小バルブの動作を示す側面視。

【図 2 1】本発明の好ましい実施例による電気微小スイッチを示す平面視。

【図 2 2】図 2 2 (a) 及び図 2 2 (b) は、本発明の好ましい実施例による常態閉の微小スイッチの動作を示す側面視。

【図 2 3】図 2 3 (a) 及び図 2 3 (b) は、本発明の好ましい実施例による常態開の微小スイッチの動作を示す側面視。

【図 2 4】本発明の好ましい実施例による電気微小スイッチに対する代替設計を示す平面視。

【図 2 5】図 2 5 (a) 及び図 2 5 (b) は、本発明の好ましい実施例による図 2 4 の構成を有する常態閉の微小スイッチの動作を示す側面視。

【図 2 6】図 2 6 (a) 及び図 2 6 (b) は、本発明の好ましい実施例による光エネルギー加熱パルスにより動作される常態閉の微小スイッチの動作を示す側面視。

【図 2 7】係止部の曲げ剛性を低減するために幅が実質的に狭くされた変形可能な部材の係止部を有する 2 点係止式熱アクチュエータの平面視。

【図 2 8】係止部の曲げ剛性を低減するために実質的に薄くされた変形可能な部材の係止部を有する 2 点係止式熱アクチュエータの平面視。

【符号の説明】

【 0 1 3 3 】

1 0 基板ベース部材

1 1 液体室狭幅壁部

1 2 液体室

1 2 c 液体室 1 2 の狭幅の中央部

1 3 柔軟な結合材料

1 4 変形可能な部材 1 2 の係止位置の、対向する係止縁部

1 5 本発明による 2 点係止式熱アクチュエータ

1 7 ベース部材の解放位置

1 8 変形可能な部材の係止部

1 9 変形可能な部材の中央部

2 0 変形可能な部材

2 0 b 基板 1 0 に結合される変形可能な部材 2 0 の固定部

10

20

30

40

50

2 1	不活性化層及び / 又はエッチング停止マスキング層	
2 2	第 1 層	
2 4	第 2 層	
2 4 a	第 2 層の係止部	
2 4 c	第 2 層の中央部	
2 6	第 3 層	
2 7	係止部の変形可能な部材の材料を除去する穴	
2 8	液体室構造、壁及びカバー	
2 9	犠牲層	
3 0	ノズル	10
3 1	流体入口ポート	
3 2	流体フローポート	
3 4	流体入口経路	
3 6	バルブシート	
3 8	バルブシーリング部材	
4 0	光方向付け部材	
4 1	T A B リード線	
4 2	ヒータ電極	
4 3	半田パンプ	
4 4	ヒータ電極	20
4 5	半田パンプ	
4 6	T A B リード線	
4 7	電気抵抗部材、薄膜抵抗レジスタ	
5 0	液滴	
5 2	流体ストリーム	
6 0	流体	
6 2	エッチング可能な領域	
8 0	マウンティング構造	
9 0	2 点係止式熱アクチュエータの従来の設計	
1 0 0	インクジェットプリントヘッド	30
1 1 0	液滴放出器ユニット	
1 2 0	常態閉の微小 (マイクロ) バルブユニット	
1 3 0	常態開の微小 (マイクロ) バルブユニット	
1 5 0	微小 (マイクロ) スイッチユニット	
1 5 1	電極下方の電気絶縁層	
1 5 2	スペーシング構造	
1 5 3	電極アクセス開口	
1 5 4	制御電極	
1 5 5	第 1 スイッチ電極	
1 5 6	第 1 スイッチ電極への入力パッド	40
1 5 7	第 2 スイッチ電極	
1 5 8	第 2 スイッチ電極への入力パッド	
1 5 9	第 1 及び第 2 スイッチ電極間の空間	
1 6 0	常態閉の微小 (マイクロ) スイッチユニット	
1 7 0	常態開の微小 (マイクロ) スイッチユニット	
2 0 0	電極パルス源	
3 0 0	コントローラ	
4 0 0	画像データ源	
5 0 0	受信機	

【図 3】

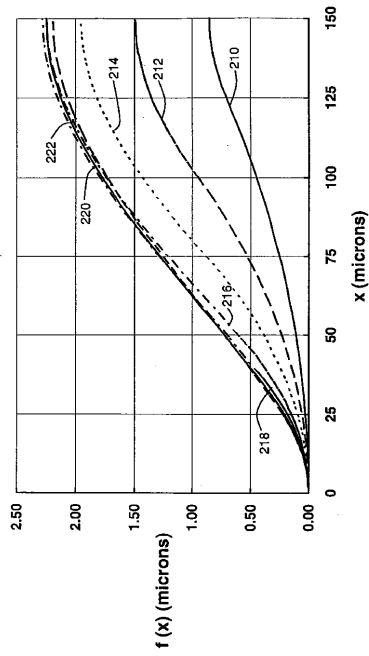


FIG. 3

【図 4】

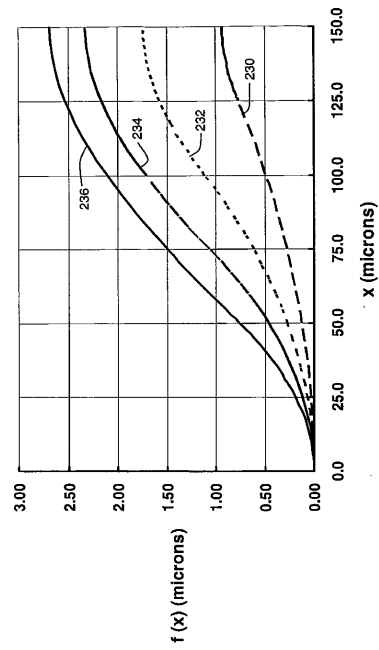


FIG. 4

【図 5】

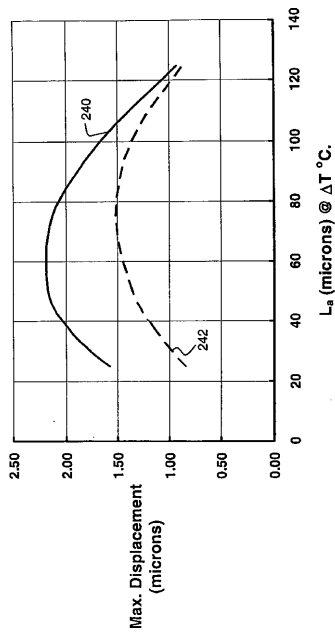
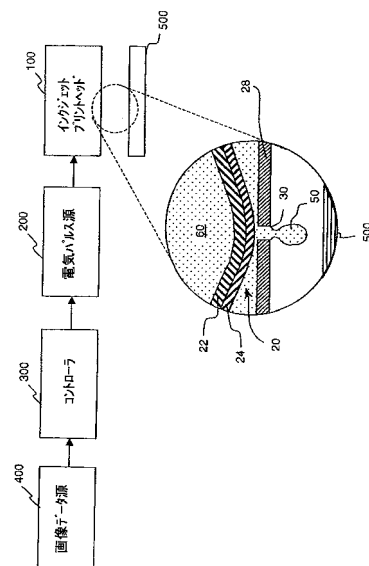


FIG. 5

【図 6】



【図 7】

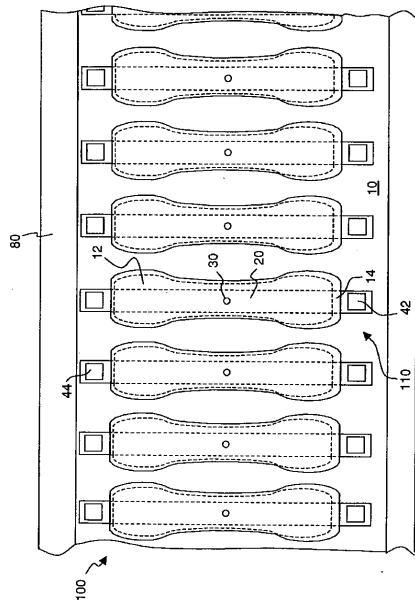
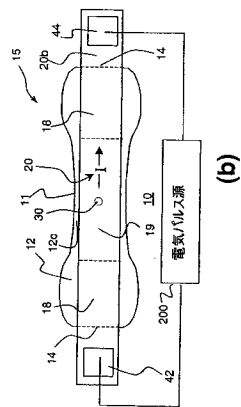


FIG. 7

【図 8】



(b)

【図 8 (a)】

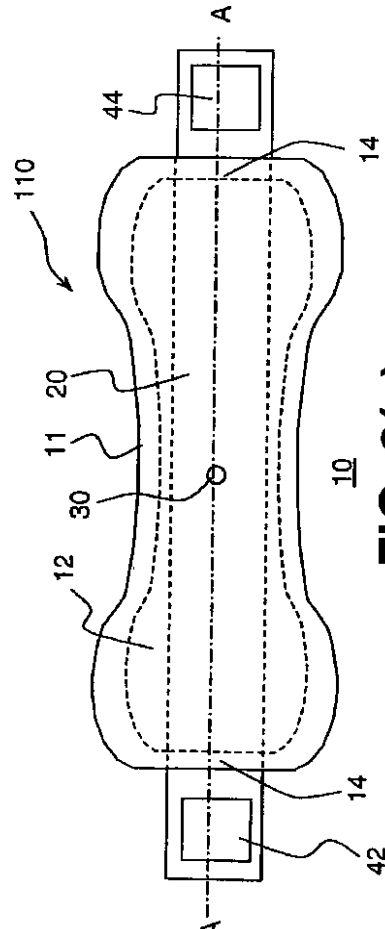


FIG. 8(a)

【図 9 (a)】

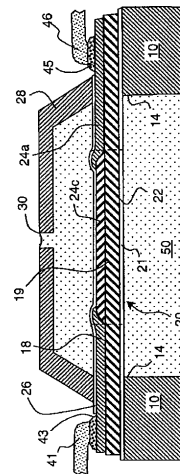


FIG. 9(a)

【図 13】

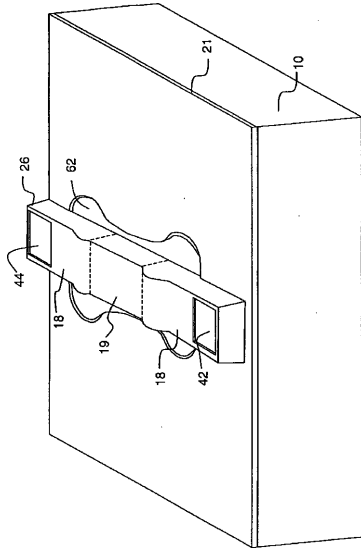


FIG. 13

【図 14】

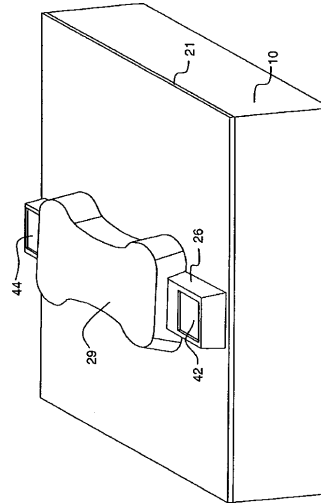


FIG. 14

【図 15】

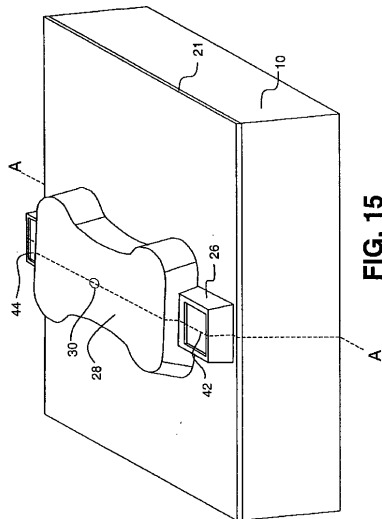


FIG. 15

【図 16 (b)】

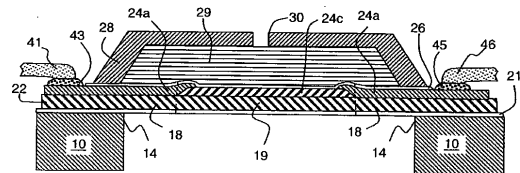


FIG. 16(b)

【図 16 (c)】

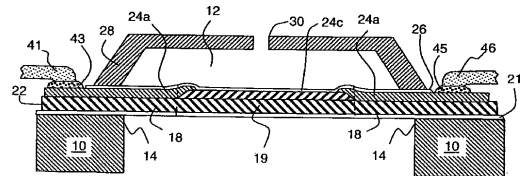


FIG. 16(c)

【図 16 (a)】

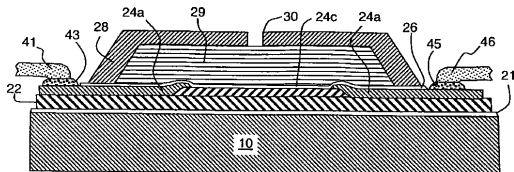
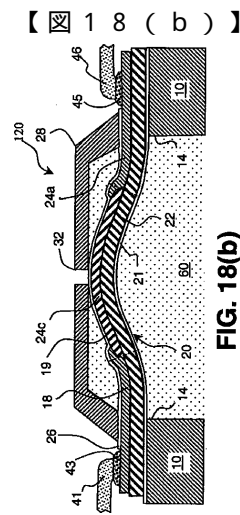
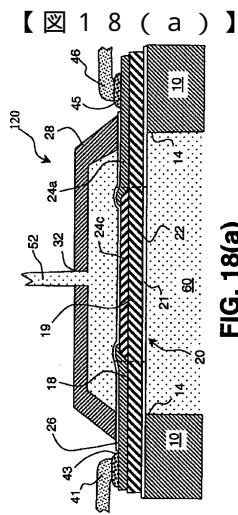
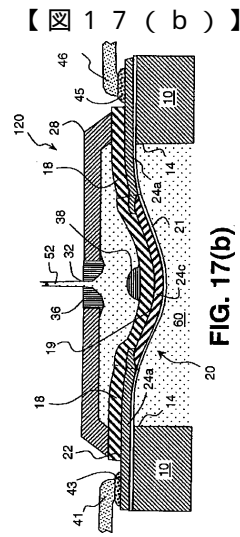
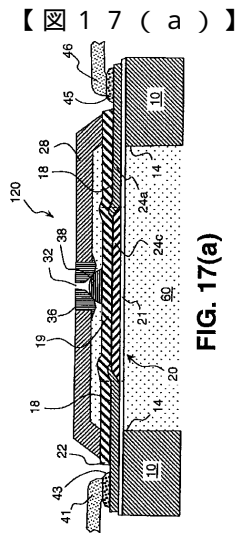
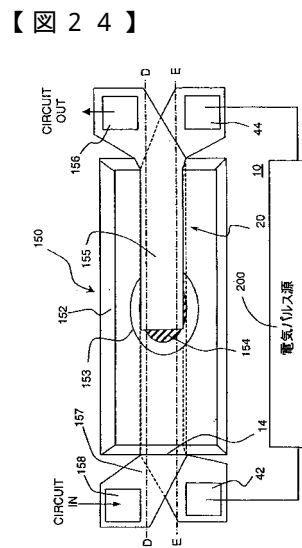
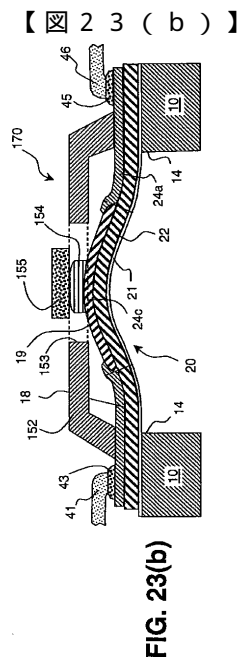
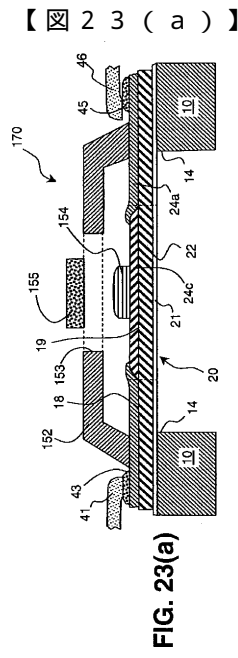
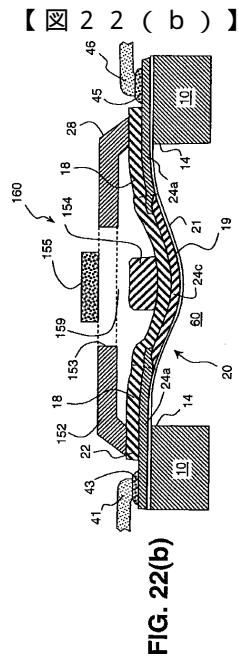


FIG. 16(a)





【図 25 (a)】

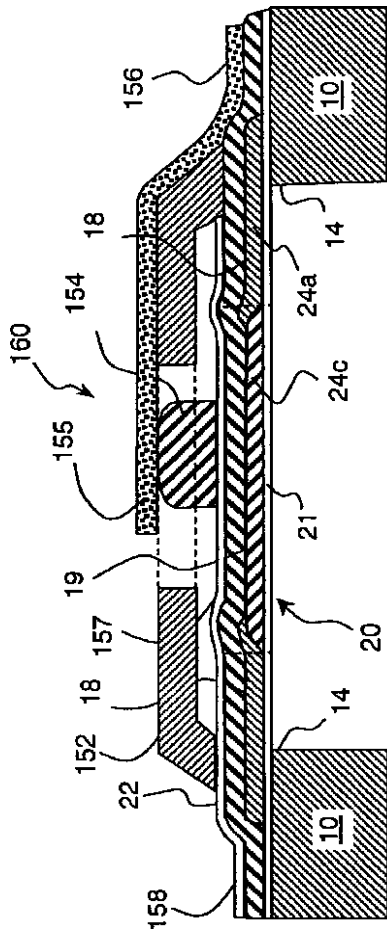


FIG. 25(a)

【図 25 (b)】

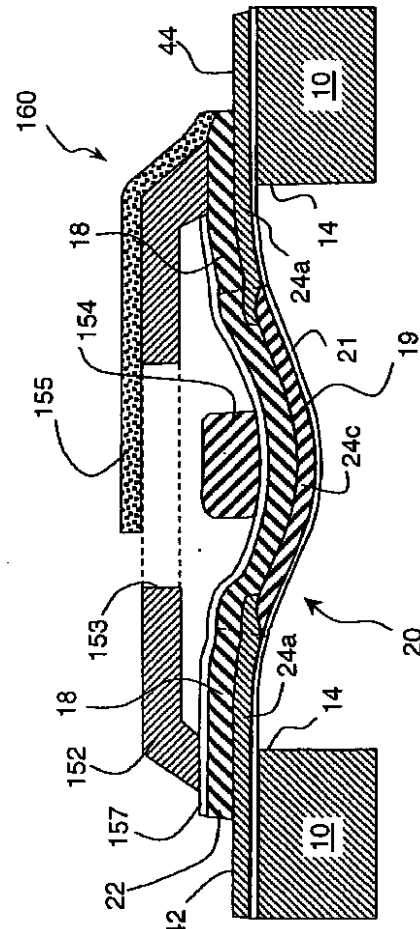


FIG. 25(b)

【図 26 (a)】

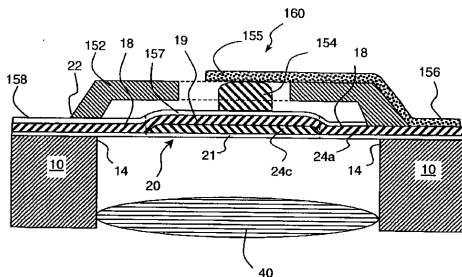


FIG. 26(a)

【図 26 (b)】

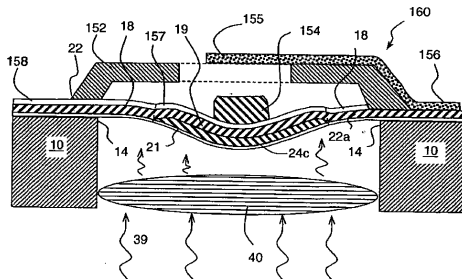


FIG. 26(b)

【図 27】

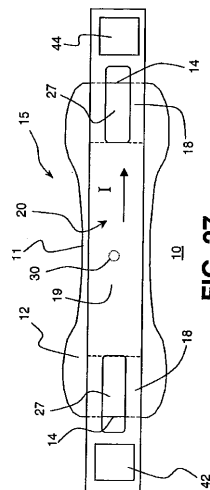
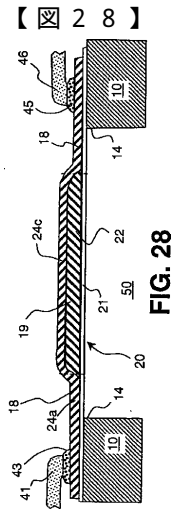


FIG. 27



フロントページの続き

(72)発明者 カバル, アントニオ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 5 8 0 ウェブスター ブリドル・レーン 8 4 8

(72)発明者 ポンド, スティーヴン フーラートン

アメリカ合衆国 ヴァージニア州 2 3 1 8 5 ウィリアムズバーグ ダーフィーズ・ミル 2 8
4 0

審査官 井上 茂夫

(56)参考文献 米国特許出願公開第2 0 0 3 / 0 2 1 4 5 5 6 (U S , A 1)

特開平0 8 - 3 3 6 9 6 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

F03G 7/06

B05C 5/00

B41J 2/045

B41J 2/055

B81B 3/00