

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4199127号

(P4199127)

(45) 発行日 平成20年12月17日 (2008. 12. 17)

(24) 登録日 平成20年10月10日 (2008. 10. 10)

(51) Int. Cl.	F 1
F 1 6 K 31/126 (2006. 01)	F 1 6 K 31/126
B 8 1 B 3/00 (2006. 01)	B 8 1 B 3/00
F 1 6 K 7/17 (2006. 01)	F 1 6 K 7/17 Z
F 1 6 K 31/02 (2006. 01)	F 1 6 K 31/02 Z

請求項の数 8 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2003-567814 (P2003-567814)	(73) 特許権者	504308442
(86) (22) 出願日	平成15年2月3日 (2003. 2. 3)		ホスピラ・インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2005-525514 (P2005-525514A)		アメリカ合衆国、イリノイ・60045、
(43) 公表日	平成17年8月25日 (2005. 8. 25)		レイク・フォレスト、ノース・フィールド
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/003154		・ドライブ・275、デパートメント・エ
(87) 国際公開番号	W02003/068670		ヌ・エル・イー・ジー、エイチ・1
(87) 国際公開日	平成15年8月21日 (2003. 8. 21)	(74) 代理人	100062007
審査請求日	平成18年1月30日 (2006. 1. 30)		弁理士 川口 義雄
(31) 優先権主張番号	10/075, 416	(74) 代理人	100113332
(32) 優先日	平成14年2月14日 (2002. 2. 14)		弁理士 一入 章夫
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100114188
			弁理士 小野 誠
		(74) 代理人	100103920
			弁理士 大崎 勝真

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロ流体バルブ、およびそのためのシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロ流体システムにおける流体の流れを制御するように構成されたバルブであって、

バルブに対して所定のレベルの圧力を作用させる流体を受け取るように構成された入力ポート、および流体を提供するように構成された出力ポートと、

第1の開口サイズと第1の開口サイズと比べてより大きい第2の開口サイズとの間で変わるように構成された、可変サイズの開口を有する管状体とを備えており、

第1の開口サイズは、第1の開口サイズにおける流体と管状体との間の毛管力の第1のレベルに応答して、バルブを通る流体の流れを阻止し、かつ

第2の開口サイズは、流体と管状体との間の毛管力の第1のレベルと比べてより小さい第2の開口における毛管力の第2のレベルに応答して、バルブを通る流体の流れを許容し、

前記バルブがさらに、

平板状となっている第1の基材と、

平板状となっており、かつ第1の基材と反対側に該第1の基材と平行に配置した第2の基材と、

第1の基材と第2の基材との間で第1の基材および第2の基材と隣接して配置されており、かつバルブを通る流体が流れる方向と直交するように配置されたH字状の断面を有しているブリッジ素子とをさらに備え、

該ブリッジ素子が、
第 1 の基材と第 2 の基材を相互接続している第 1 の側壁と、
第 1 の側壁から離間されていると共に第 1 の基材と第 2 の基材を相互接続している第 2 の側壁と、
平板状となっておりかつ所定の厚さを有する仕切板とを含み、
該仕切板が、
第 1 の側壁と第 2 の側壁との間に接続されていると共に第 1 の側壁および第 2 の側壁の間に延びており、中立な第 1 の偏りのない位置では、第 1 の基材と第 2 の基材との間で第 1 の基材および第 2 の基材と平行に配置され、
第 1 の位置と第 2 の位置との間を第 1 の基材と第 2 の基材のうちの一方に向かって移動するように構成され、
仕切板が第 1 の位置にあり、かつ仕切板の底表面と第 1 の基材の上端表面との間の第 1 の距離に、第 1 の側壁と第 2 の側壁との間で延びる仕切板長さを乗算した値に等しい第 1 の断面積を規定している場合に、バルブは、仕切板の下側に配置された第 1 の開口サイズをもつ第 1 の開口を形成し、
仕切板が第 2 の位置にあり、かつ仕切板の底表面と第 1 の基材の上端表面との間の第 2 の距離に、第 1 の側壁と第 2 の側壁の間で延びる仕切板長さを乗算した値に等しい第 2 の断面積を規定している場合に、バルブは、仕切板の下側に配置された第 2 の開口サイズをもつ第 2 の開口を形成する、バルブ。
【請求項 2】
仕切板は、第 1 の電位および第 2 の電位それぞれを有する第 1 の制御信号に応答して、第 1 の位置と第 2 の位置との間を移動するように構成される、請求項 1 に記載のバルブ。
【請求項 3】
バルブはさらに、
第 1 の基材と第 2 の基材との間で第 1 の基材上に配置された第 1 の接点を備え、該第 1 の接点は、第 1 の制御信号を受け取るように電氣的に結合され、
仕切板は第 3 の電位を有し、
第 1 の接点の第 1 の電位は、仕切板を第 1 の位置まで移動させるように仕切板の第 3 の電位と相互作用し、かつ第 1 の接点の第 2 の電位は、仕切板を第 2 の位置まで移動させるように仕切板の第 3 の電位と相互作用する、請求項 2 に記載のバルブ。
【請求項 4】
第 1 の基材はシリコンから形成されており、第 2 の基材はガラスから形成されており、第 1 の側壁および第 2 の側壁はそれぞれ二酸化ケイ素から形成されており、かつ仕切板は多結晶のシリコンから形成されている、請求項 1 に記載のバルブ。
【請求項 5】
第 1 の基材はシリコンから形成されており、第 2 の基材はガラスから形成されており、第 1 の側壁および第 2 の側壁はそれぞれ二酸化ケイ素から形成されており、かつ仕切板は多結晶のシリコンから形成されている、請求項 1 に記載のバルブ。
【請求項 6】
マイクロ流体システムにおける流体の流れを制御するように構成されたバルブであって、
バルブに対して所定のレベルの圧力を作用させる流体を受け取るように構成された入力ポートおよび、流体を提供するように構成された出力ポートを有する平行六面体の形状部と、
バルブを通る流体の流れと直交するように配置させた矩形の断面を有し、第 1 の開口と第 1 の開口と比べてより大きい第 2 の開口との間で変わるように構成された可変サイズの開口とを備えており、
第 1 の開口は、第 1 の開口における流体とバルブとの間の毛管力の第 1 のレベルに応答して、バルブを通る流体の流れを阻止し、かつ
第 2 の開口は、毛管力の第 1 のレベルと比べてより小さい第 2 の開口における流体とバ

10

20

30

40

50

バルブとの間の毛管力の第2のレベルにตอบสนองして、バルブを通る流体の流れを許容し、
バルブはさらに、
平板状となっている第1の基材と、
平板状となっており、かつ第1の基材と反対側に該第1の基材と平行に配置した第2の
基材と、
第1の基材と第2の基材との間で第1の基材および第2の基材と隣接して配置され、か
つバルブを通る流体が流れる方向と直交するように配置されたH字状の断面を有している
ブリッジ素子とを含み、
該ブリッジ素子が、
第1の基材と第2の基材との間で第1の基材および第2の基材と隣接して配置されてい
る第1の側壁と、
第1の基材と第2の基材との間で第1の基材および第2の基材と隣接して配置されてい
る第2の側壁と、
平板状となっておりかつ所定の厚さを有する仕切板とを含み、
仕切板が、第1の側壁と第2の側壁との間に配置されていると共に第1の側壁および第
2の側壁に隣接し、第1の基材と第2の基材との間で第1の基材および第2の基材と平行
に配置され、
仕切板が、第1の位置と第2の位置との間を移動するように構成され、
仕切板が、仕切板の底表面と第1の基材の上端表面との間で延びる第1の距離に、第1
の側壁と第2の側壁の間で延びる仕切板長さを乗算した値にตอบสนองした第1の位置にある場
合に、バルブは、仕切板の下側に配置された第1の開口を形成し、
仕切板が、仕切板の底表面と第1の基材の上端表面との間で延びる第2の距離に、第1
の側壁と第2の側壁の間で延びる仕切板長さを乗算した値にตอบสนองした第2の位置にある場
合に、バルブは、仕切板の下側に配置された第2の開口を形成し、
仕切板は、第1の電位および第2の電位それぞれを有する第1の制御信号にตอบสนองして、
第1の位置と第2の位置との間を移動するように構成されており、
バルブはさらに、
第1の基材と第2の基材との間で第1の基材上に配置させた第1の接点を含み、該第1
の接点は、第1の制御信号を受け取るように電氣的に結合され、
仕切板は第3の電位を有し、
第1の接点の第1の電位は、仕切板を第1の位置まで移動させるように仕切板の第3の
電位と相互作用し、かつ第1の接点の第2の電位は、仕切板を第2の位置まで移動させる
ように仕切板上の第3の電位と相互作用する、バルブ。

【請求項7】

仕切板が、仕切板の上端表面と第2の基材の底表面との間に延びる第2の距離に、第1
の側壁と第2の側壁との間に延びる仕切板の長さとを乗算した値にตอบสนองして、バルブを通
る流体の流れが許容されるような第3の位置にあるときに、バルブは、仕切板の上側に配
置されている、第1の開口と比べてより大きな第2の開口を形成し、
仕切板は、第1の電位と第2の電位のそれぞれを有する第2の制御信号にตอบสนองして、第
1の位置と第3の位置との間を移動するように構成される、請求項6に記載のバルブ。

【請求項8】

バルブはさらに、
第1の基材と第2の基材との間で第2の基材上に配置させた第2の接点を備え、該第2
の接点は、第2の制御信号を受け取るように電氣的に結合され、
第2の接点の第1の電位は、仕切板を第1の位置まで移動させるように仕切板の第3の
電位と相互作用しており、かつ第2の接点の第2の電位は、仕切板を第3の位置まで移動
させるように仕切板の第3の電位と相互作用する、請求項7に記載のバルブ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、全般的には、マイクロ流体システム（microfluidic system）の製作に適したマイクロエレクトロメカニカルシステム（MEMS）技術に関する。さらに詳細には、本発明は、マイクロ流体システムにおいて流体の流れを制御するためのマイクロ流体バルブに関する。マイクロ流体バルブは、小さい開口を提供する第1の位置と、大きな開口を提供する第2の位置との間を移動するように制御されている仕切板（diaphragm）を含んでいる。この小さい開口では、流体とバルブとの間の毛管力および流入抵抗が増大するため、この小さい開口においてバルブを通る流体の流れが阻止される。大きい開口では、流体とバルブとの間の毛管力が低下するため、この大きな開口においてバルブを通る流体の流れが許容される。

【背景技術】

10

【0002】

MEMS技術は、超微細製作技術を用いることによって、電気構成要素と機械構成要素を1つの共通のシリコン基材上に一体化している。フォトリソグラフィ処理やその他のマイクロエレクトロニクス処理などの集積回路（IC）製作処理によって、この電気構成要素が形成される。IC製作処理は、典型的には、シリコン、ガラス、およびポリマーなどの材料を使用している。このIC処理と適合するマイクロマシニング処理は、機械構成要素を形成するように、ICからある領域を選択的にエッチング除去し、またはICに新たな層構造を付加する。シリコンベースのマイクロエレクトロニクスをマイクロマシニング技術と統合することによって、単一のチップ上に完全な電気機械システムを製作することが可能となる。こうした単一チップシステムによれば、マイクロエレクトロニクスの計算能力とマイクロマシニングの機械的検知および制御能力とが統合され、高度なデバイスを提供することができる。

20

【0003】

MEMSの一タイプが、マイクロ流体システムである。マイクロ流体システムは、チャンネル、リザーバ、ミキサー、ポンプ、バルブ、チャンバ、キャビティ、反応チャンバ、ヒータ、流体相互接続体、デифューザ、ノズル、およびその他のマイクロ流体構成要素などの構成要素を含んでいる。これらのマイクロ流体構成要素は、典型的には、数マイクロメートルから数百マイクロメートルまでの間の寸法を有している。これら小さい寸法のために、その物理的サイズ、電力消費、応答時間、並びにマイクロ流体システムの無駄（waste）が最小限となる。こうしたマイクロ流体システムによって、人体の外部または内部のいずれにも配置できるような着用可能な超小型のデバイスが提供される。

30

【0004】

マイクロ流体システムの用途としては、遺伝学的、化学的、生化学的、医薬品学的、生物医学的、クロマトグラフィの、IC冷却の、インクジェットプリンタヘッドの、医学的、放射線学的、環境学的、並びに動作に際して液体または気体を満たしたキャビティを必要とするような任意のデバイスが含まれる。こうした応用では、分析、合成、および精製に関連する処理が不可欠となることがある。医学的応用には、埋め込み式薬剤供給システムなどの診断や患者管理が含まれる。環境的応用には、空気や水の汚染物質、化学試薬、生物学的組織体、あるいは放射線学的状態など、有害な物質や状態を検出することが含まれる。遺伝的応用には、DNAの検査および／または分析が含まれる。

40

【0005】

MEMS技術を用いて製作されたマイクロ流体システムの例は、米国特許第5,962,081号（Ohmanら）、同第5,971,355号（Biegelsenら）、同第6,048,734号（Bumsら）、同第6,056,269号（Johnsonら）、同第6,073,482号（Moles）、同第6,106,245号（Cabuz）、同第6,109,889号（Zengerleら）、同第6,227,809号（Forsterら）、同第6,227,824号（Stehr）、同第6,126,140号（Johnsonら）、同第6,136,212号（Mastrangeloら）、同第6,143,248号（Kellloggら）、および同第6,265,758号（Takahashi）に開示されており、またノースウェスタン大学（Evansston, I

50

L) 機械工学科の Hirofumi Matsumoto および James E. Colgate による「Preliminary Investigation of Micropumping Based On Electrical Control Of Interfacial Tensions」と題する技術論文 (IEEE, 1990, 105~110 頁, CH2832-4/90/0000-0105) において開示されている。エレクトロウェットングおよび表面張力を使用して製作されるシステムの例は、ベル研究所 (Holmdel, NJ) の G. Beni および M. A. Tenen による「Dynamics of Electrowetting Displays」と題する技術論文 (J. Appl. Phys. 52 (10)、1981 年 10 月、6011~6015 頁, 0021-8979/81/106011-05)、並びに米国特許第 4, 417, 786 号 (Beni ら) のそれぞれに開示されている。

10

【0006】

マイクロ流体システムでは、マイクロ流体バルブによって、チャンネルを通る流体の流れや、リザーバ、ミキサー、ポンプ、およびチャンバなど別のマイクロ流体構成要素の間での流体の流れを制御している。マイクロ流体バルブは、静電気式、磁気式、圧電式、バイモルフ式、熱空気式、圧力検知の毛管力などの作動方法を用いて製作されてきた。たとえば、米国特許第 6, 143, 248 号 (Kellogg ら) は、流体とマイクロ流体構成要素との間の毛管力に打ち勝つために、回転誘導式の流体圧力を用いているマイクロ流体バルブを開示している。流体を含んでいるマイクロ流体構成要素の材料を完全にまたは部分的に濡らしている流体は、小さい断面を有するマイクロ流体構成要素から大きい断面を有するマイクロ流体構成要素まで移動する際に流れに対する抵抗を受け、一方、これらの材料を濡らさないような流体は、大きい断面を有するマイクロ流体構成要素から小さい断面を有するマイクロ流体構成要素までの流れを阻害する。この毛管圧力は、隣り合ったマイクロ流体構成要素のサイズ、流体の表面張力、およびマイクロ流体構成要素の材料での流体の接触角に逆比例して大きさが変化する。マイクロ流体構成要素の断面形状、材料、および断面積を変更することによって、ある具体的な用途向けに流体に対する特定の圧力を流体の流れに生じるようなバルブが製作される。しかし、このマイクロ流体構成要素の動作は、そのマイクロ流体構成要素に生じる流体の圧力を変化させるための外部の回転力に応じる。幾つかのマイクロ流体用途では、マイクロ流体システム内で比較的一定した流体圧力を有するような流体の流れを能動的に制御する、マイクロ流体バルブがあることが望ましい。

20

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

したがって、流体とバルブとの間の毛管力および流入抵抗力的変化に基づいて、マイクロ流体システム内で、流体の流れが比較的一定した流体圧力を有するように能動的に制御する、マイクロ流体バルブに対する必要性が存在する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

バルブは、マイクロ流体システムにおける流体の流れを制御するように構成されている。このバルブは、バルブに対して所定のレベルの圧力を作用させる流体を受け取るように構成された入力ポートと、流体を提供するように構成された出力ポートとを含んでいる。このバルブはさらに、その内部に可変サイズの開口を有する管状体であって、第 1 の開口サイズと第 1 の開口サイズと比べてより大きな第 2 の開口サイズとの間で変わるように構成されているような管状体を含んでいる。第 1 の開口は、流体とバルブ本体との間の第 1 の開口における毛管力の第 1 のレベルにตอบสนองして、バルブを通る流体の流れを阻止している。第 2 の開口は、流体とバルブとの間の毛管力の第 1 のレベルと比べてより小さい第 2 の開口における毛管力の第 2 のレベルにตอบสนองして、バルブを通る流体の流れを許容している。

40

【0009】

50

本発明に関するこれらおよびその他の態様について、以下の詳細な説明、並びに別の図面に図示した同じ特徴や要素に対しても同じ参照符号を割り当てている添付の図面を参照しながら、さらに記載することにする。これらの図面は必ずしも寸法どおりになっていないことに留意されたい。さらに、本発明の別の実施形態も存在することができ、これらは明細書に明示的に記載したものや黙示的に示したもの、また図中に具体的に示していない場合やそうでない場合がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

図1は、本発明の好ましい一実施形態によるマイクロ流体システム100を表している。このマイクロ流体システム100は、上述したMEMS技術を用いて製作されている。このマイクロ流体システム100は一般に、流体供給源101と、上流側チャンネル103と、バルブ105と、下流側チャンネル107と、流体シンク109と、コントローラ111と、流体119とを含んでいる。流体供給源101は、上流側チャンネル103および下流側チャンネル107を通じて流体シンク109と流体接続されている。マイクロ流体システム100内での流体の流れ113の方向は、流体供給源101から流体シンク109の向きである。バルブ105は、コントローラ111からの制御信号115にตอบสนองして、流体供給源101から流体シンク109までの流体119の流れを調節している。バルブ105は、上流側チャンネル103と流体接続させた入力ポート（参照符号なし）と、下流側チャンネル107と流体接続させた出力ポート（参照符号なし）とを有している。バルブ105は、2つのマイクロ流体構成要素間での流体の流れを制御することができる。バルブ105は、上流側チャンネル103と下流側チャンネル107との間の流体の流れを制御することが好ましい。別法として、バルブ105は、流体供給源101とチャンネル103との間の流体の流れを制御することができる。

【0011】

流体供給源101は流体119を包含しており、一般にリザーバ、ミキサー、およびチャンバ（ただし、これらに限らない）を含むような上述したマイクロ流体構成要素のいずれかを表している。同様に、流体シンク109は流体119を受け取り、上述したマイクロ流体構成要素のいずれかを総称的に表している。

【0012】

上流側チャンネル103および下流側チャンネル107は、流体供給源101と流体シンク109との間で流体119を搬送している。上流側チャンネル103および下流側チャンネル107は、バルブ105によって接続された2つの別々のチャンネルとして、あるいはその内部にバルブ105を配置させた1つの一体型チャンネルとして形成させることができる。流体119は、流体119に作用する圧力にตอบสนองして、流体供給源101から流体シンク109まで流れる。流体119に作用する圧力は、マイクロ流体システム100を基準として外部にある供給源や内部にある供給源から供給することがある。外部の圧力供給源の例としては、重力や回転機構（ただし、これらに限らない）が含まれる。内部の圧力供給源の一例には、ポンプ（ただし、これに限らない）が含まれる。このポンプは、マイクロ流体システム100の構成要素であることが好ましい。

【0013】

コントローラ111は、1つの集積回路として、あるいは離散回路として製作することができる。コントローラ111は、ソフトウェアプログラムまたは所定の回路設計パラメータにตอบสนองして動作することができる。コントローラ111は、ソフトウェアプログラムに埋め込まれた所定の命令セットにตอบสนองして動作する1つの集積回路であることが好ましい。コントローラ111は、RAMおよび／またはROMなどの内部または外部のメモリを有することがある。

【0014】

コントローラ111は、バルブ105を制御するための制御信号115を発生する。このバルブ105は、バルブ105を通る流体の流れを調節するように、ある特定の速度、ある特定の距離、および／またはある特定の時点で、閉じたり開いたりする。したがって

、コントローラ１１１を制御信号１１５と組み合わせることによって、バルブ１０５の動作が能動的に制御される。

【００１５】

フィードバック信号１１７は、バルブ１０５などの任意のマイクロ流体構成要素とコントローラ１１１との間に結合されている。フィードバック信号１１７は、制御信号１１５を介したバルブ１０５の制御を調整する目的のために、コントローラがマイクロ流体システム１００の動作を監視するための機構を提供している。

【００１６】

流体１１９は、液体状態や気体状態などの、流体の流れを可能にするような適当な任意の状態を有することができる。流体１１９は、上述のようなマイクロ流体システム１００の用途に適した物質からなる任意の組成を表している。流体１１９の例としては、化学的、身体的、有害な、生物学的、および放射線学的な流体（ただし、これらに限らない）が含まれる。生物学的流体は、血液、血漿、血清、リンパ、だ液、涙、脳せき髄液、尿、汗、精液、植物および野菜抽出物（ただし、これらに限らない）を含め生物学的に得られた任意の分析サンプルとすることができる。

【００１７】

図１のマイクロ流体システム１００は、明瞭にするために比較的単純にしたシステムを表している。実際には、マイクロ流体システム１００は、複数のバルブ１０５など多くのマイクロ流体構成要素および／または重複した（*duplicated*）マイクロ流体構成要素を有する、非常に複雑なシステムとすることがある。複雑な機能または並列の機能を実行するマイクロ流体システム１００は、典型的には、マイクロ流体システム１００の異なる部分にわたって同時にあるいは異なる時点で、流体の伝達を制御するために多くのバルブ（１０個を超える数のバルブなど）を必要とする。こうした複雑なマイクロ流体システム１００では、バルブ１０５の各々は、適当な時点でバルブ１０５を能動的に制御するために独立作動式のアクチュエータを必要とすることがある。したがって、バルブ１０５およびこれらのアクチュエータは、コンパクトであり、高信頼であり、製作が容易であり、かつマイクロ流体システム１００の残りの部分と容易に一体化できることが望ましい。

【００１８】

図２は、図１に示すような、本発明の好ましい実施形態による上流側チャンネル１０３、バルブ１０５、および下流側チャンネル１０７を示している。バルブ１０５は、そのすべての面が平行な一対の面に置かれている平行四辺形である６つの面をもつ多面体を形成する平行六面体の形状を有していることが好ましい。バルブ１０５は、バルブを通る流体の流れと直交するように配置させた１つの矩形の断面を有することが好ましい。上流側チャンネル１０３および下流側チャンネル１０７はさらに、バルブ１０５に対する好都合で適当な機械結合を容易にするために、少なくとも２つのチャンネルをバルブ１０５に接続させている場所では同じ形状を有するようにすることが好ましい。別法として、上流側チャンネル１０３、バルブ１０５、および下流側チャンネル１０７は、円形、長円形、半円形、円筒形、その他など、MEMS製作技術に適合すると共に特定の用途に適した適当な任意の形状を有することができる。

【００１９】

図３は、本発明の好ましい実施形態により小さい開口１３９を提供するために、図２に示すように仕切板１３１を中立位置に配置した状態とした、バルブ１０５の断面図を表している。バルブ１０５は、第１の下側基材１２１と、第２の上側基材１２３と、第１の接点１２７と、第２の別の接点１２９と、ブリッジ素子１３０とを含んでいる。ブリッジ素子１３０は、仕切板１３１と、第１の側壁１３３と、第２の側壁１３５とを含んでいる。ブリッジ素子１３０は全体として、図３の断面図におけるH字状の構成を有している。

【００２０】

バルブ１０５の断面図は全体として、１つの矩形の形状を有している。ブリッジ素子１３０は、第１の下側基材１２１と第２の上側基材１２３との間にサンドイッチ構成で配置

されている。第1の側壁133および第2の側壁135は、仕切板131の相対する端部に位置している。仕切板131は、第1の側壁133および第2の側壁135のそれぞれに沿った途中に位置している。本発明のこの好ましい実施形態では、第1の側壁133と第2の側壁135の高さ147は、2マイクロメートルから15マイクロメートルであり、また3.3マイクロメートルであることがより好ましい。

【0021】

第1の接点127は、第2の上側基材123の底表面（参照符号なし）上に配置されると共に、第1の側壁133と第2の側壁135との間の中間に位置している。同様に、第2の別の接点127は、第1の下側基材121の上端表面（参照符号なし）上に配置されると共に、第1の側壁133と第2の側壁135との間の中間に位置している。第1の接点127および第2の別の接点129の各々の厚さ（参照符号なし）は、仕切板131の厚さ141と比較して比較的薄い。本発明のこの好ましい実施形態では、仕切板131の厚さ141は、2マイクロメートルから5マイクロメートルの範囲にあり、また2マイクロメートルであることが好ましい。

10

【0022】

仕切板131の下側にある第1の下側領域137は、仕切板131の底表面（参照符号なし）と第1の下側基材121の上端表面（参照符号なし）との間に延びる第1の下側距離143に、第1の側壁133と第2の側壁135との間に延びる仕切板131の長さ149を乗算することによって得られる。同様に、仕切板131の上側にある第1の上側領域139は、仕切板131の上端表面（参照符号なし）と第2の上側基材123の底表面（参照符号なし）との間に延びる第1の上側距離145に、第1の側壁133と第2の側壁135の間に延びる仕切板131の長さ149を乗算することによって得られる。本発明のこの好ましい実施形態では、この第1の下側距離143と第2の上側距離145のそれぞれは、0.5マイクロメートルから5マイクロメートルまでの範囲にあり、またそれぞれ0.65マイクロメートルであることが好ましい。本発明のこの好ましい実施形態では、仕切板131の長さ149は、5マイクロメートルから50マイクロメートルまでの範囲にあり、また40マイクロメートルであることが好ましい。したがって、仕切板131の長さ149は、側壁133および135の高さ147、仕切板131の厚さ141、並びに領域137および139のそれぞれの高さ143および145と比べて比較的長い。第1の下側領域137および第1の上側領域139の計算では、第1の接点127および第2の別の接点129のそれぞれによる各領域の減少は、この減少が、各領域と比較して極めて小さいため無視していることに留意されたい。

20

30

【0023】

バルブ105の奥行き（参照符号なし）は、5マイクロメートルから数百マイクロメートルまでの範囲にあり、また100マイクロメートルであることが好ましい。バルブ105の奥行きが長くなるほど、それだけ仕切板のより大きい表面積が、流体に対して露出し、流体119とバルブ105との間の表面張力が増大することになる。

【0024】

図4は、図2に示すようなバルブ105の断面図を表しており、本発明の好ましい実施形態により比較的大きな開口151が提供されるように、その仕切板131が偏った位置に配置された状態としている。この仕切板131は、第1の接点127と第2の別の接点129のうちの一方に向かって仕切板131を移動させて、その接点に押し当てることができるようにするのに適当な厚さ141、材料、および構造を有している。さもなければ、仕切板131の動きは、反り、屈曲、伸張、偏り、作動その他として表現することもできる。仕切板131が動かされたときに、仕切板131が、第1の接点127と第2の別の接点129のいずれかと物理的に接触することが好ましい。別法として、仕切板131を移動させたときに、仕切板131を、第1の接点127にも第2の別の接点129にも物理的に接触させないようにすることができる。

40

【0025】

仕切板131は、図3に示すような中立な偏りのない位置と、図4に示すような第1の

50

接点 1 2 7 の方に向かって偏らせて該接点 1 2 7 に押し当てられた位置との間で移動させることが好ましい。仕切板を、第 1 の接点 1 2 7 の方に向かって偏らせて該接点 1 2 7 に押し当てられた状態にあるとき、図 3 に示すような仕切板 1 3 1 の下側にある第 1 の下側領域 1 3 7 は、仕切板 1 3 1 の中心部分において、仕切板 1 3 1 の底表面（参照符号なし）と第 1 の下側基材 1 2 1 の上端表面（参照符号なし）との間を延びる第 2 の下側距離 1 5 3 を有する第 2 の下側領域 1 5 1 まで増大する。本発明のこの好ましい実施形態では、第 2 の下側距離 1 5 3 は、1. 30 マイクロメートルである。したがって、第 2 の下側距離 1 5 3 は、第 1 の下側距離 1 4 3 の 2 倍の高さとすることが好ましい。

【0026】

別法として、仕切板 1 3 1 は、図 3 に示すような中立で偏りのない位置と、図 4 に示すような第 2 の別の接点 1 2 9 の方に向かって偏らせて該接点 1 2 9 に押し当てられた位置との間で移動している。仕切板を、第 2 の別の接点 1 2 9 の方に向かって偏らせて該接点 1 2 9 に押し当てた場合、図 3 に示すような仕切板 1 3 1 の上側にある第 2 の上側領域 1 3 9 は、仕切板 1 3 1 の中心部分の位置において、仕切板 1 3 1 の上端表面（参照符号なし）と第 2 の上側基材 1 2 3 の底表面（参照符号なし）との間を延びる第 2 の上側距離（符号付けしていないが、第 2 の下側距離 1 5 3 に等しい）を有する第 2 の上側領域 1 5 2 まで増大する。

【0027】

第 2 の別の接点 1 2 9 は、第 1 の接点 1 2 7 の代わりに、あるいは第 1 の接点と組み合わせて使用することができる。第 2 の別の接点 1 2 9 を、第 1 の接点 1 2 7 の代わりに使用する場合、仕切板 1 3 1 は、第 1 の接点 1 2 7 の方に向かって上向きにして該接点 1 2 7 に押し当てるのではなく、第 2 の別の接点 1 2 9 の方に向かって下向きにして該接点 1 2 9 に押し当てるように偏らせている。第 2 の別の接点 1 2 9 を、第 1 の接点 1 2 7 と組み合わせて使用する場合、仕切板 1 3 1 は、第 2 の別の接点 1 2 9 の方に向かって下向きにして該接点 1 2 9 に押し当てるように、また第 1 の接点 1 2 7 の方に向かって上向きにして該接点 1 2 7 に押し当てるように、交互にまたは周期的に偏らせることがある。仕切板 1 3 1 を 1 つの方向に偏らせること、あるいは 2 つの方向に偏らせることによって、バルブ 1 0 5 の厚さ 1 4 1、材料、および構造などの工学的設計要因に応じて、仕切板に対してより長い寿命および／またはより速い応答時間を可能にすることができる。

【0028】

本発明のこの好ましい実施形態では、仕切板 1 3 1 は、図 3 に示すような中立で偏りのない位置と、図 4 に示すような第 1 の接点 1 2 7 の方に向かって偏らせて該接点 1 2 7 に押し当てた位置との間で静電気力にตอบสนองして移動させている。第 1 の接点 1 2 7 および／または第 2 の別の接点 1 2 9 の各々は、第 1 の電位を有しており、かつ仕切板 1 3 1 は第 2 の電位を有していることが好ましい。この第 1 の電位は正の電位であり、かつこの第 2 の電位は負の電位であることが好ましい。この正の電位は、第 1 の接点 1 2 7 および／または第 2 の別の接点 1 2 9 に対して、コントローラ 1 1 1 によって制御信号 1 1 5 を介して印加されている。負の電位は、コントローラ 1 1 1 または別の電源を介して仕切板 1 3 1 に印加されている。負の電位は、仕切板 1 3 1 に対して一定に印加され、かつ正の電位は、仕切板 1 3 1 を移動させる必要がある場合に第 1 の接点 1 2 7 および／または第 2 の別の接点 1 2 9 に印加することが好ましい。第 1 の接点 1 2 7 および／または第 2 の別の接点 1 2 9 に印加される正の電位によって、仕切板 1 3 1 に印加された負の電位が引きつけられ、これによって、仕切板 1 3 1 が第 1 の接点 1 2 7 および／または第 2 の別の接点 1 2 9 の方に向かってこれら接点に押し当てられるように移動する。別法として、バルブ 1 0 5 のそれぞれの素子の正の電位と負の電位を逆転させても、同じ結果を得ることができる。別法として、バルブ 1 0 5 のそれぞれの素子の電位は同じにして、正または負のいずれかとし、仕切板 1 3 1 を第 1 の接点 1 2 7 および／または第 2 の別の接点 1 2 9 から離れるように反発させ、これによって仕切板 1 3 1 を移動させることもできる。さらに別法として、仕切板 1 3 1 は、磁気式、圧電式、バイモルフ式、形状記憶合金、および熱空気式（ただし、これらに限らない）を含め、別の機構を用いて移動させることができる。

10

20

30

40

50

【0029】

本発明のこの好ましい実施形態では、小さい開口を提供する第1の下側領域137によって、流体119とバルブ105との間の毛管力が上昇するため、バルブ105を通る流体119の流れが阻止される。大きい開口を提供する第2の下側領域151によって、流体119とバルブ105との間の毛管力が低下するため、バルブ105を通る流体119の流れが許容される。そうでない場合、このバルブ105は、仕切板131の動きにตอบสนองした可変サイズの開口内における流体119とバルブ105との間の毛管力の変化による、毛管マイクロバルブと見なすことができる。バルブ105によって、流体の流れの開始および停止、流体の流れの精密な計測、並びに粒子状物質 (particulate) を放出する前に集中させる流体区画が提供される。

10

【0030】

図5は、図3に示すようなバルブ105の断面拡大図を表しており、本発明の好ましい実施形態により小さい開口を形成している第1の下側領域137を提供するように、その仕切板131が中立位置に配置された状態としている。流体119は、顕微鏡レベルに拡大されており、また2つのバブル119A、119Bとして表している。流体の一方のバブル119Aは、仕切板131に付着しており、またもう一方のバブル119Bは、第1の下側基材121に付着している。小さい開口を形成している第1の下側領域137は、仕切板131が中立位置に配置されているときに、流体119とバルブ105との間の毛管力によって、バルブ105を通る流体119の流れが阻止されるような適当なサイズとしている。

20

【0031】

流体は、固体の基材および気体との相互作用によって特徴付けすることができる。これらの相互作用としては、界面張力 (interfacial tension)、すなわちバルブ105などの別の物質との流体119の界面の位置での単位面積あたりのエネルギーが含まれる。界面張力の効果の1つは、毛管作用である。流体は、小さい領域を通過して流れる場合に流体119とバルブ105との間での毛管作用が増大するため、この流れに抵抗する。流体119の流れの経路の断面積を変化させることによって、流体119の流れの調節が可能となる。このタイプのバルブ105に関する設計検討には、流体の流れの断面積のサイズおよび形状、バルブ105の材料および表面特性、流体119の特性、流体119に作用する圧力などの要因が含まれる。これらの設計検討によって、流体119とバルブ105との間の界面の流体表面張力および界面エネルギーが決定される。

30

【0032】

材料同士の間での相互作用のエネルギーである界面エネルギーの影響のために、毛管力は上昇する。本発明のこの好ましい実施形態では、その界面エネルギーは、流体（特に、液体）とバルブ105などの固体材料との間にある。接触角155が90度を超える場合、液体は固体を濡らすことがなく、その固体の表面上で玉状になる。接触角155が90度未満の場合、その液体は固体を濡らし、固体の表面上に広がる。所与の流体119に関して、流体の流れを許容するか禁止するかのいずれかとさせるように、流体の流れの断面積のサイズおよび形状、バルブ105の材料および表面特性、流体119に作用する圧力によってこの接触角155が決定される。

40

【0033】

Julian Gardnerにより著され、Wiley and Sonsにより出版されている「Micro Sensors: Principles and Applications」(1994、167～169頁)、並びにF. M. Whiteにより著され、McGraw Hillにより出版されている「Fluid Mechanics」(1986、306頁)は、いずれも流体の流れに関連する次式を開示している。

$$Flow = \pi R^4 (p_1 - p_2) / (8 \mu L)$$

上式において、

R = チューブの半径、

p₁ - p₂ = 圧力低下、

50

μ = 流体の粘性、
 L = 流体チャンネルの長さ。

【0034】

バルブ105の断面積 A は、円形ではなく矩形であるが、仕切板と基材との間の離間距離143、145、または153を、半径 R に代入すると上記の式によって良好な相対的な流れの近似が得られる。その流体供給源が、つり下げられたIVバッグでありかつその流体シンクが患者であるようなケースでは、圧力低下 $p_1 - p_2$ は本質的に一定であり、またある指定された流量を提供するようなバルブの設計は、当業者には単純明快となろう。

【0035】

図6は、本発明の好ましい実施形態による、バルブ105の開口の断面積 A をバルブ105を通る流体の流れ F に対してプロットしたグラフを表している。仕切板131が、図3に示すようにその中立で偏りのない位置にあるとき、小さい開口を提供する第1の下側領域137によって、流体119とバルブ105との間の毛管力が大きくなるため、バルブ105を通る流体119の流れが阻止される。この位置にある場合、小さい開口を提供する第1の下側領域137の断面積は、流体の流れが開始される際の所定の断面積しきい値と比べてより小さい。

【0036】

図4に示すように仕切板131を一方の側またはこれと反対側に偏らせている場合、大きい開口を提供する第2の領域151または152によって、流体119とバルブ105との間の毛管力が低下するため、バルブ105を通る流体119の流れが許容される。このケースでは、大きい開口を提供する第2の領域151または152の断面積は、流体の流れが開始となる際の断面積しきい値と比べてより大きくなる。仕切板131を一方の側に移動させる距離がより大きいほど、大きい開口を提供する第2の領域151または152は、最大断面積に到達するまでより大きくなる。開口を画定している第2の領域151または152が大きくなると、毛管力はその影響が低下し、このため線161で表すように流体の流れを増加させることができる。線161は直線状に表しているが、バルブ105の構成に応じて、双曲線状や指数関数状など別の形状を有することもある。最大断面積を有する第2の領域151または152を形成させるために、仕切板131を一方の側まで非常に高速で移動させる場合、その流体の流れは、線165で表しているようにステップ関数に近くなる。線163で表しているように、最大断面積の位置において、バルブ105を通る流体の流れは最大レベルに到達する。

【0037】

図7は、本発明の好ましい実施の一形態による、バルブ105を制御するための制御信号115を表している。この制御信号115は、デューティサイクル173、パルス幅175、高電圧レベル V_2 、および低電圧レベル V_1 を有する、デジタルパルス信号として表している。パルス幅175は、制御信号115が高電圧レベル V_2 を発生させている継続時間に相当する。 V_1 は0ボルトに等しくし、かつ V_2 は5ボルトに等しくすることが好ましい。制御信号115が低電圧レベル V_1 を発生しているときに、仕切板131は、図3に示すようなその中立で偏りのない位置にある。小さい開口を提供する第1の下側領域137によって、バルブ105を通る流体119の流れが阻止される。低電圧レベル V_1 を存在させる期間を長くするほど、仕切板131がその中立位置に留まる時間がそれだけより長くなり、また流体119がバルブ105を通過して流れない時間がより長くなる。制御信号115が高電圧レベル V_2 を発生させているときは、仕切板131は図4に示すように一方の側に偏っている。大きい開口を提供する第2の領域151によって、バルブ105を通る流体119の流れが許容される。高電圧レベル V_2 を存在させる期間を長くするほど、仕切板131はその偏った位置に留まる時間がそれだけより長くなり、また流体119がバルブ105を通過して流れる時間がより長くなる。したがって、制御信号115のデジタルパルスによって、仕切板131をその中立位置と偏らせた位置との間で移動させ、バルブ105を通る流体119の流れをそれぞれ阻止したり許容したりする。

バルブ105を通る流体119の流れを調節するために、コントローラ111は、制御信号115のデューティサイクル173を、静的または動的のいずれかにより調整することができる。流体の流れの速度および流体の流れの制御範囲は、仕切板131の応答時間、流体119に作用する圧力、毛管力その他などの工学的要因に応じる。さらに、流体の流れの制御範囲を増大させるために、流体供給源101に接続させた異なる流量を有している複数のバルブを並列に配置させ、かつこれらをコントローラが発生させた異なる制御信号によって独立に制御することができる。

【0038】

図8は、バルブ105のための半導体構造を表している。バルブ105は、上述したようにIC処理を用いて製作することが好ましい。ブリッジ素子130は、シリコン、多結晶シリコン、二酸化ケイ素や窒化ケイ素などの誘電体、ポリマー（ただし、これらに限らない）を含め、典型的なIC材料を用いて製造することができる。第1の下側基材121はシリコンを用いて製造し、第2の上側基材123はガラスを用いて製造し、第1の接点127は金属を用いて製造し、第2の別の接点129は金やアルミニウムなどの金属を用いて製造し、仕切板131は多結晶シリコンを用いて製造し、第1の側壁133は二酸化ケイ素を用いて製造し、かつ第2の側壁135は二酸化ケイ素を用いて製造することが好ましい。仕切板131は、多結晶シリコンを用いて製造しているが、これはこの材料が、柔軟であり、応答時間が速く、かつ疲労に耐えるためである。仕切板131には、第3の電位V3を印加することができる。

【0039】

このバルブ105の利点としては、半導体構造であるために小型であることが含まれる。サイズが小さく、かつバルブ105の作動のために仕切板131を移動させなければならない距離が短いため、このバルブは、使用する電力が最小となる。仕切板131を移動させる距離が短いため、バルブ105の応答時間が速くなり、かつ制動効果（*damping effects*）が最小限となる。電力要件が低いため、コントローラ111に対して小さいバッテリーから電力を供給することが可能となる。バルブのサイズが小さく、電力要件が低く、かつ応答時間が高速であるため、小型の可搬型デバイス内にバルブを組み込むことが可能となる。こうした小型の可搬型デバイスは、人間が容易に持ち歩くことができ、また人体内に埋め込むことも可能である。

【0040】

本発明を、そのさまざまな実施形態の例を参照しながら記載してきたが、本発明をこれらの具体的な実施形態に限定しようと意図したものではない。当業者であれば、開示した対象物に関して、添付の特許請求の範囲に示した本発明の精神および趣旨を逸脱することなく、変形、修正、および組み合わせを行うことができることを理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】本発明の好ましい実施の一形態によるマイクロ流体システムの図である。

【図2】図1のマイクロ流体システムの上流側チャンネル、バルブ、および下流側チャンネルの図である。

【図3】小さい開口を提供する中立位置に仕切板を配置した状態としたバルブを、図2の線3-3に沿って切った断面図である。

【図4】大きい開口を提供する偏らせた位置に仕切板を配置した状態としたバルブを、図2の線4-4に沿って切った断面図である。

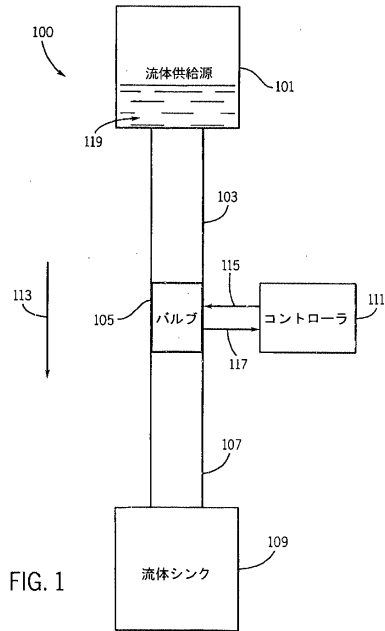
【図5】小さい開口を提供する中立位置に仕切板を配置した状態としたバルブで、図3の5-5の指定領域を拡大した断面図である。

【図6】バルブの開口の断面積を図1～4のバルブを通る流体の流れに対してプロットしたグラフである。

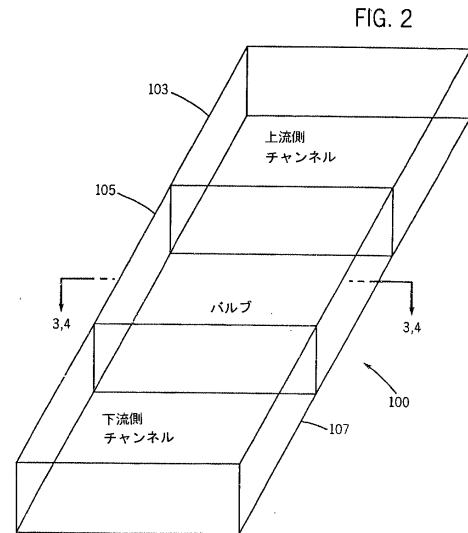
【図7】本発明の実施の一形態によるバルブを制御するための制御信号の図である。

【図8】図1のバルブのための半導体構造の図である。

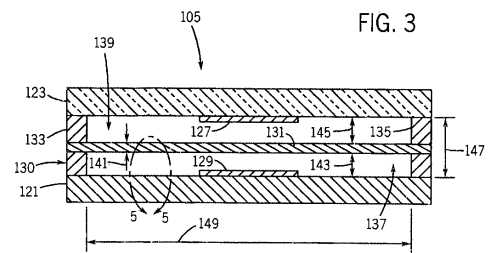
【図 1】



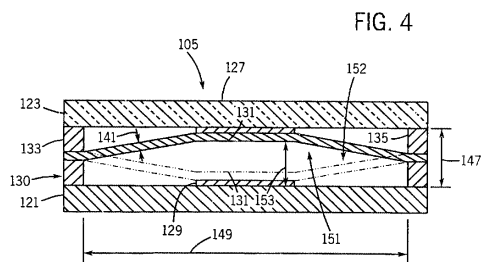
【図 2】



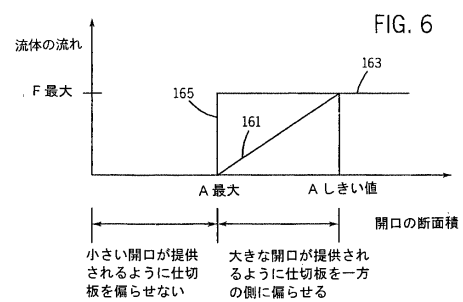
【図 3】



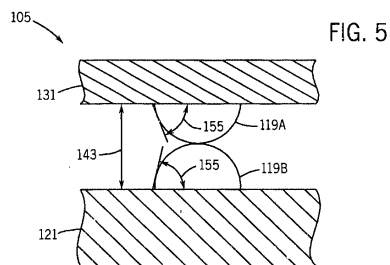
【図 4】



【図 6】



【図 5】



【図 7】

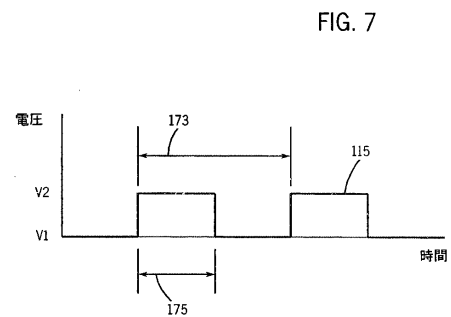
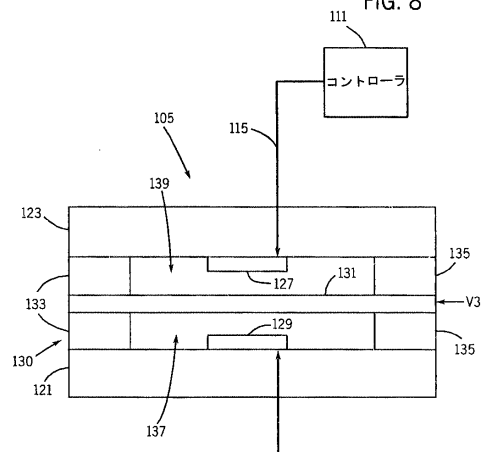


FIG. 8



フロントページの続き

(74)代理人 100124855

弁理士 坪倉 道明

(72)発明者 チョー, ステイブ・テイ

アメリカ合衆国、カリフォルニア・95012、カストロビル、シイエロ・アスル・13226

審査官 北村 一

(56)参考文献 特開平11-270712 (JP, A)

特開平05-302684 (JP, A)

特開平04-285378 (JP, A)

特開2003-028317 (JP, A)

特開2001-317647 (JP, A)

特開平03-234982 (JP, A)

特許第3111319 (JP, B2)

特表2002-500735 (JP, A)

米国特許第5065978 (US, A)

米国特許第5323999 (US, A)

米国特許第5452878 (US, A)

米国特許第5810325 (US, A)

米国特許第6098661 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F16K 31/00 - 31/05

F16K 7/00 - 7/20