(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2004-508952
(P2004-508952A)
(43)公表日　平成16年3月25日(2004.3.25)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
B81B 3/00	B81B 3/00		3H058
B81B 7/04	B81B 7/04		3H062
B81C 1/00	B81C 1/00		
F16K 15/16	F16K 15/16	A	
F16K 31/02	F16K 31/02	Z	

審査請求 有　予備審査請求 有　（全 65 頁）

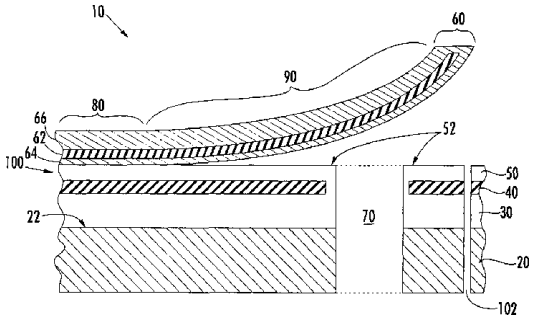
(21)出願番号　特願2002-526693(P2002-526693)
(86)(22)出願日　平成13年9月14日(2001.9.14)
(85)翻訳文提出日　平成15年3月14日(2003.3.14)
(86)国際出願番号　PCT/US2001/028608
(87)国際公開番号　WO2002/022492
(87)国際公開日　平成14年3月21日(2002.3.21)
(31)優先権主張番号　09/661,997
(32)優先日　平成12年9月14日(2000.9.14)
(33)優先権主張国　米国(US)

(71)出願人　593040368
エムシーエヌシー
ＭＣＮＣ
アメリカ合衆国　ノースカロライナ州　２７７０９　リサーチ　トライアングル　パーク　コーンウォーリス　ロード　３０２１　ポスト　オフィス　ボックス　１２８８９
(74)代理人　100099623
弁理士　奥山　尚一
(74)代理人　100096769
弁理士　有原　幸一
(74)代理人　100107319
弁理士　松島　鉄男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】マイクロ電気機械システムバルブ及びその製造方法

(57)【要約】
【課題】消費電力が最小でありながら早い動作、大きなバルブ力及び大きな変位利点があるマイクロ電気機械システム（ＭＥＭＳ）のバルブ装置を提供する。
【解決手段】開口７０が形成された基板２０と基板電極４０と開口７０の上に位置して電極素子層６２及びバイアス素子層６４、６６を有する可動膜６０とを含む。少なくとも１つの弾性的に圧縮可能な誘電体層５０を設け、基板電極４０と可動膜６０の電極素子層６２との間の電気的絶縁を確実にする。動作に当たっては、開口７０に対して可動膜６０を動かすように電圧差を基板電極４０と可動膜６０の電極素子層６２との間に設け、これにより、可動膜６０によってカバーされる開口７０の部分を制御可能に調整する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
静電気力によって駆動されるＭＥＭＳ（マイクロ電気機械システム）バルブであって、
基板を貫通する開口を形成する基板と、
前記基板上に配置された基板電極と、
概ね前記基板電極及び前記開口の上にあり、電極素子及びバイアス素子を備え、前記基板に取り付けられた固定部と前記固定部に隣接し前記基板電極に対して移動可能な末端部とを含む可動膜と、
前記基板電極と前記膜の電極素子との間に配置された少なくとも１つの弾性的に圧縮可能な誘電体層と、
を備え、
前記基板電極と前記可動膜の電極素子との間に確立された電圧差が前記膜を前記開口に対して移動させ、これにより、前記可動膜によってカバーされた前記開口の部分を制御可能に調整する、
ことを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項２】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記少なくとも１つの弾性的に圧縮可能な誘電体層が前記基板電極上に配置された第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層を含み、前記基板、前記基板電極及び前記第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層が協働してそれぞれを貫通する開口を形成し、前記第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層がバルブシートを形成する、
ことを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項３】
請求項２に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層がテクスチャー加工したバルブシート面を含み、前記テクスチャー加工したバルブシート面がバルブが動作する間に前記可動膜の剥離を容易にすることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項４】
請求項２に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層がポリイミド材料を含むことを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項５】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記少なくとも１つの弾性的に圧縮可能な誘電体層が前記可動膜上に配置された第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層であり、かつバルブシールとして動作する平面を形成することを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項６】
請求項５に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層がテクスチャー加工したバルブシール面を含み、前記テクスチャー加工したバルブシール面がバルブが動作する間に前記可動膜の剥離を容易にすることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項７】
請求項５に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層がポリイミド材料を含むことを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項８】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記少なくとも１つの弾性的に圧縮可能な誘電体層が前記基板上に配置された第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層及び前記可動膜上に配置された第２の弾性的に圧縮可能な誘電体層を備え、前記第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層がバルブシートを形成し、前記第２の弾性的に圧縮可能な誘電体層がバルブシールを形成することを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項９】
請求項８に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記第１の弾性的に圧縮可能な誘電体層がテクスチャー加工したバルブシート面を含み、かつ前記第２の弾性的に圧縮可能な誘電体層がテクスチャー加工したバルブシール面を含み、前記テクスチャー加工したバルブシール面及び前記テクスチャー加工したバルブシート面がバルブが動作する間に前記可動膜の剥

離を容易にすることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１０】
請求項８に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記第１及び第２の弾性的に圧縮可能な誘電体層がポリイミド材料を含むことを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１１】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記開口の形状が概ね円筒形であることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１２】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記開口の形状が、前記可動膜に最も近いところでは半径が小さく前記基板の後側に最も近いところではより大きな半径を有するような概ねファンネル状であることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１３】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記可動膜の末端部が前記基板に向かって動く場合、前記可動膜が前記可動膜に直面する前記基板の表面に少なくとも部分的に一致することを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１４】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記電極素子及び前記バイアス素子が少なくとも１つの概ね可撓性の材料から形成されることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１５】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記バイアス素子が少なくとも１つのポリマーフィルムの層を含むことを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１６】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記バイアス素子が前記電極素子を備える電極層の向かい合った側の上に蒸着された２つのポリマーフィルムを含むことを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１７】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記電極素子及び前記バイアス素子の熱膨張率が異なることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１８】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記バイアス素子が少なくとも２つの厚さが異なるポリマーフィルムを備えることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項１９】
請求項１８に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記少なくとも２つの厚さが異なるポリマーフィルムが、前記基板に最も近い前記電極素子の面上に蒸着された厚さが薄い第１のポリマーフィルムと、前記基板から最も遠い前記電極素子の面上に蒸着された厚さがより厚い第２のポリマーフィルムとを備えることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項２０】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブ装置であって、前記バイアス素子が膨張率の異なる少なくとも２つのポリマーフィルムを含むことを特徴とするＭＥＭＳバルブ装置。
【請求項２１】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記可動膜の末端部が、前記電極素子と前記基板電極との間に静電気力が生成されない場合は、前記基板から離れるように湾曲することを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項２２】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブが、前記基板電極及び前記基板素子の少なくとも１つに電気的に接続された静電気エネルギーのソースをさらに備えることを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項２３】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記基板電極が所定の形状を有することを特徴とするＭＥＭＳバルブ。

【請求項２４】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記電極素子が所定の形状を有することを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項２５】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記基板が前記可動膜の下側にある圧力解放用開口をさらに形成することを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項２６】
請求項１に記載のＭＥＭＳバルブであって、前記基板及び前記基板電極が協働してそれぞれを貫通する開口を形成することを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項２７】
静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブであって、
概ね平坦な面を有する基板と、
前記基板の概ね平坦な面上に配置された第１の基板誘電体層と、
前記第１の基板誘電体層上に配置された基板電極と、
前記基板上に配置された第２の基板誘電体層であって、前記基板、前記第１の基板誘電体層、前記基板電極及び前記第２の基板誘電体層が協働してそれぞれを貫通する開口を形成する前記第２の基板誘電体層と、
概ね前記基板電極及び前記開口の上にあり、第１のバイアス層、前記第１のバイアス層上に配置された膜電極層及び前記膜電極層上に配置された第２のバイアス層を備え、前記基板に取り付けられた固定部と前記固定部に隣接し前記基板電極に対して移動可能な末端部とを含む可動膜と、
を備え、
前記基板電極と前記膜電極層との間に確立された電圧差が前記膜を前記開口に対して移動させ、これにより、前記可動膜によってカバーされた前記開口の部分を制御可能に調整する、
ことを特徴とするＭＥＭＳバルブ。
【請求項２８】
静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブアレイであって、
基板を貫通する複数の開口を形成する前記基板と、
前記基板上に配置された基板電極と、
概ね前記基板電極及び前記複数の開口の上にあり、電極素子及びバイアス素子を備え、前記基板に取り付けられた固定部と前記固定部に隣接し前記基板電極に対して移動可能な末端部とを含む可動膜と、
前記基板電極と前記電極素子との間に配置された少なくとも１つの誘電体層と、
を備え、
前記基板電極と前記電極素子との間に確立された電圧差が前記膜を前記複数の開口に対して移動させ、これにより、前記可動膜によってカバーされた前記複数の開口の部分を制御可能に調整する、
ことを特徴とするＭＥＭＳバルブアレイ。
【請求項２９】
静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブアレイであって、
基板を貫通する複数の開口を形成する前記基板と、
前記基板上に配置され、それぞれが対応する開口を有する複数の基板電極と、
概ね前記複数の基板電極及び前記複数の開口の上にあり、電極素子及びバイアス素子を備え、前記基板に取り付けられた固定部と前記固定部に隣接し前記複数の基板電極に対して移動可能な末端部とを含む可動膜と、
前記基板電極と前記電極素子との間に配置された少なくとも１つの誘電体層と、
を備え、
前記複数の基板電極の１つ以上の基板電極と前記電極素子との間に確立された電圧差が前記膜を前記複数の開口に対して移動させ、これにより、前記可動膜によってカバーされた

前記複数の開口の部分を制御可能に調整する、
ことを特徴とするＭＥＭＳバルブアレイ。
【請求項３０】
請求項２９に記載のＭＥＭＳバルブアレイであって、前記複数の開口が前記可動膜の長さ方向に概ね直角に延びる行内に配置されることを特徴とするＭＥＭＳバルブアレイ。
【請求項３１】
請求項３０に記載のＭＥＭＳバルブアレイであって、流れを可変にするために、前記開口の行が前記対応する基板電極に対して所定の角度で全体的に傾斜されることを特徴とするＭＥＭＳバルブアレイ。
【請求項３２】
静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブアレイであって、
基板を貫通する複数の開口を形成する前記基板と、
前記基板上に配置された基板電気と、
それぞれが概ね前記基板電極及び前記複数の開口の対応する開口の部分の上にあり、それぞれが電極素子及びバイアス素子を含み、それぞれが前記基板に取り付けられた固定部と前記固定部に隣接し前記基板電極に対して移動可能な末端部とを含む複数の可動膜と、
前記基板電極と前記電極素子との間に配置された少なくとも１つの誘電体層と、
を備え、
前記基板電極と前記少なくとも１つの電極素子との間に確立された電圧差が前記少なくとも１つの膜を前記対応する開口に対して移動させ、これにより、前記可動膜によってカバーされた前記複数の開口の部分を制御可能に調整する、
ことを特徴とするＭＥＭＳバルブアレイ。
【請求項３３】
静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブを製造する方法であって、
基板を通って少なくとも部分的に伸びるバルブ開口を形成するために、前記基板の前面側をエッチングするステップと、
前記バルブ開口を犠牲プラグ材料で充填するステップと、
前記基板の前面側で前記バルブ開口の上に膜バルブ構造体を形成するステップと、
前記犠牲プラグを露出するために前記基板の後側をエッチングするステップと、
前記犠牲プラグ材料を取り除くステップと、
解離層まで前記膜バルブ構造体を部分的に通って、前記バルブ開口の後側をエッチングするステップと、
可動膜を前記基板から少なくとも部分的に離すために前記解離層をエッチングするステップと、
を含むことを特徴とする方法。
【請求項３４】
請求項３３に記載の方法であって、前記可動膜バルブ構造体を形成する方法が、
第１の基板誘電体層を前記基板の前面側に配置するステップと、
基板電極を前記第１の基板誘電体層の上に配置するステップと、
第２の基板誘電体層を前記基板電極の上に配置するステップと、
解離層を前記第２の基板誘電体層の上に配置するステップと、
第１のバイアス層を前記解離層及び前記第２の基板誘電体層の上に配置するステップと、
膜電極を前記第１のバイアス層の上に配置するステップと、
第２のバイアス層を前記膜電極の上に配置するステップと、
を含むことを特徴とする方法。
【請求項３５】
請求項３３に記載の方法が、
バルブ開口を形成するために前記基板の前面側をエッチングする前に、前記基板内に空洞を形成するために前記基板の後側をエッチングするステップをさらに含む、
ことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】
【０００１】
［発明の分野］
本発明は、マイクロ電気機械システム（ＭＥＭＳ）式バルブ構造体に関し、より詳細には、低電力で高速の静電気的に動作するＭＥＭＳのバルブ構造体及び関連する製造方法に関する。
【０００２】
［発明の背景］
薄膜技術における進歩により、精巧な集積回路の開発が可能になった。この進歩した半導体技術を利用して、ＭＥＭＳ（マイクロ電気機械システム）の構造体を作り出してきた。ＭＥＭＳ構造体は、一般に、運動すなわち力を加えることができる。マイクロセンサ、マイクロギヤ、マイクロモータ、及び他の微小に設計された装置を含む、多くのいろいろ違った種類のＭＥＭＳ装置が作り出されてきた。ＭＥＭＳ装置は、低価格、高い信頼性、及び極めて小さい寸法を提供するため、多種多様な用途向けに開発されている。
【０００３】
ＭＥＭＳ装置の設計者に与えられた設計の自由度が、微細構造体内で所望の動作をさせるために必要な力を与える種々の技術及び構造体開発をもたらしている。例えば、マイクロカンチレバーを使用して、マイクロマシン化されたスプリング及びギヤを回転させるための機械的な回転力を与える。電磁場を使用して、マイクロモータを駆動する。圧電力もうまく使用して、マイクロマシン化された構造体を制御可能に動作させる。アクチュエータ又は他のＭＥＭＳ素子の制御された熱膨張を使用して、マイクロ装置を駆動する力を作り出す。そのような装置の１つは、マイクロ装置を動かすために熱膨張を利用する、「Ｍｉｃｒｏｐｒｏｂｅ」という名称のＭａｒｃｕｓらによる１９９５年１２月１２日に発行された米国特許第５，４７５，３１８号の中で見出される。マイクロカンチレバーは、熱膨張係数が異なる材料から構成される。加熱されると、バイモルフ層が別個にアーチ形に曲がり、これによりマイクロカンチレバーを動かす。同様の機構は、発明者の名前がＮｏｒｌｉｎｇである１９９５年１０月３１日に発行された「Ｍｉｃｒｏｍａｃｈｉｎｅｄ Ｔｈｅｒｍａｌ Ｓｗｉｔｃｈ」という名称の米国特許第５，４６３，２３３号の中で説明されているように、マイクロマシン化された熱スイッチを動作させるために使用される。
【０００４】
静電気力も、構造体を動かすために使用されてきた。従来の静電気装置は、プラスチック又はマイラー材料から切り取られた貼り合わせフィルムから組み立てられた。可撓性の電極がフィルムに取り付けられ、別の電極がベースの構造体に固定された。それぞれの電極を電気的に付勢すると、互いに電極を引き合う又は互いに電極から反発する静電気力を作り出した。これら装置の代表的な実施例は、発明者の名前がＫａｌｔである１９８１年５月１２日に発行された「Ｍｅｔｈｏｄ ｆｏｒ Ｍａｋｉｎｇ Ｒｏｌｌｉｎｇ Ｅｌｅｃｔｒｏｄｅ ｆｏｒ Ｅｌｅｃｔｒｏｓｔａｔｉｃ Ｄｅｖｉｃｅ」という名称の米国特許第４，２６６，３３９号の中で見出される。これらの装置は一般的な運動の用途に対してはうまく動作するが、これらの装置は小型化された集積回路、生物医学的な用途、又はＭＥＭＳ構造体に適当な寸法で作ることはできない。
【０００５】
ＭＥＭＳの静電気装置は、寸法が極めて小さいために、種々の用途に都合よく使用される。電荷間の電界による静電気力は、ＭＥＭＳ装置内で固有の電極の離隔距離が小さいことを考えると、比較的大きな力を発生することができる。これらの装置の実施例は、Ｇｏｏｄｗｉｎ－Ｊｏｈａｎｓｓｏｎという発明者の名前で１９９９年６月３０日に出願された「ＡＲＣ ｒｅｓｉｓｔａｎｔ Ｈｉｇｈ Ｖｏｌｔａｇｅ Ｍｉｃｒｏｍａｃｈｉｎｅｄ Ｅｌｅｃｔｒｏｓｔａｔｉｃ Ｓｗｉｔｃｈ」という名称の米国特許出願第０９／３４５，３００号及びＧｏｏｄｗｉｎ－Ｊｏｈａｎｓｓｏｎという発明者の名前で１９９９年５月２７日に出願された「Ｍｉｃｒｏｍａｃｈｉｎｅｄ Ｅｌｅｃｔｒｏｓｔａｔｉｃ Ａｃｔｕａｔｏｒ ｗｉｔｈ Ａｉｒ Ｇａｐ」という名称の米国特許出願第０９／３２０，８

９１号の中で見出すことができる。これらの特許出願は両方とも、本発明の譲受人のＭＣＮＣに譲渡されている。

【０００６】

一般的なＭＥＭＳバルブは、大きい流量でバルブを制御するために熱動作／熱活性化方法を採用している（すなわち、大きな開口及び開口の周りの大きな間隔面積）。熱動作は、必要な大きな距離にわたってバルブを制御するために必要な大きな力を提供できるため好ましい。しかしながら、バルブ材料に対する熱による時間の制約のために、これらのバルブの動作速度は比較的遅い。さらに、熱により動作するＭＥＭＳバルブは抵抗加熱法を使用するが、この方法では、消費される電力は電流に抵抗の自乗をかけることによって計算され、相当な電力がバルブの動作に消費される。

【０００７】

大きな変位と大きな力の両方を発生できる静電気動作を用いて、ＭＥＭＳバルブ装置を作ることが好ましいであろう。ＭＥＭＳバルブの静電気の性質により消費電力を比較的小さくできるため、流れるガス又は流体の不当な加熱は発生しない。さらに、静電気のバルブは比較的高速の動作を行うため、バルブの開閉状態をより正確に制御することができる。その上、漏れ率を確実に低くするように、バルブカバーの境界面に信頼できるバルブシートを形成するようなＭＥＭＳバルブを開発することが好ましい。基板と可動膜との間の静止摩擦の発生を最小にするようなＭＥＭＳバルブを提供することも有益である。静止摩擦はマイクロエレクトロニクスでは周知の概念であり、ＭＥＭＳの表面が互いに貼り付くように接触する傾向として定義される。静止摩擦は、圧力差が閉じたバルブの全体にわたって存在するようなバルブ装置では特に問題である。バルブを開く前に圧力差を取り除くＭＥＭＳバルブを考え出すことは有益である。

【０００８】

このため、改良された性能特性を有するＭＥＭＳ静電気バルブは、多くの用途で要求されている。例えば、使用電力が最小で早い動作、大きなバルブ力、また大きなバルブのフラップの変位を実現できるマイクロマシン化されたバルブが望ましいが、現在は入手できない。

【０００９】

［発明の要約］

本発明は、バルブを通る増加した量のガス又は流体の効率的な搬送を可能にする、大きなバルブ力、高速な動作及び可動膜の大きな変位という利点がある改良されたＭＥＭＳ静電気バルブを提供する。さらに、本発明に基づいて、ＭＥＭＳ静電気バルブを作る方法が提供される。

【００１０】

本発明に基づいて静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブ装置は、開口が中に形成された平面基板とこの平面基板上に配置された基板電極とを備える。さらに、本発明のＭＥＭＳバルブ装置は、開口の上にあり、電極素子及びバイアス素子を有する可動膜を含む。この可動膜は、基板に取り付けられた固定部と基板に対して移動可能な末端部とを有するように横方向に定義される。その上、少なくとも１つの弾性的に圧縮可能な誘電体層を設けて、基板電極と可動膜の電極素子との間の電気的絶縁を確実にする。動作に当たっては、開口に対して膜を動かすように電圧差を基板電極と可動膜の電極素子との間に設けて、これにより、膜によってカバーされる開口の部分を制御可能に調整する。

【００１１】

本発明によるＭＥＭＳバルブ装置の１つの実施形態では、弾性的に圧縮可能な誘電体層が基板電極上に形成され、バルブシート面を提供する。本発明の別の実施形態では、弾性的に圧縮可能な誘電体層が可動膜上に形成されてバルブシート面を提供する。さらに別の実施形態では、弾性的に圧縮可能な誘電体層が基板電極及び可動膜の両方に形成されて、バルブシート面及びバルブシール面の両方を提供する。誘電体層の弾性的に圧縮可能な性質により、確実に閉じたバルブを形成することができ、漏れ率を低くできる利点が生じる。

【００１２】

さらに別の実施形態では、弾性的に圧縮可能な誘電体層は、バルブシート、バルブシールのいずれか又はその両方の表面にテクスチャー加工の表面を有する。これらの表面をテクスチャー加工することによって、バルブは静電気電圧が除かれた後でＭＥＭＳフィルムが一緒に貼り付く原因となる静止摩擦に打ち勝つことができる。実際において、テクスチャー加工は境界面をシールするバルブシートの周りの表面面積を減らして、これにより静止摩擦の影響を減少させる。さらに、テクスチャー加工により、バルブの開放を容易にするために圧力を都合よく使用することができる。

【００１３】

本発明の別の実施形態では、圧力解放用の開口が平面基板の中に形成され、可動膜の下側に配置される。この圧力開放用の開口は、バルブを開く前に圧力を減らすことによって、バルブの開口にわたる圧力差を減少させる。

【００１４】

別の方法では、本発明の別の実施形態は、静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブアレイを提供する。このＭＥＭＳバルブアレイは、複数の開口が中に形成された平面基板と、この平面基板上に配置された基板信号用電極とを備える。さらに、本発明のＭＥＭＳバルブ装置は、複数の開口の上にあり、電極素子及びバイアス素子を有する可動膜を含む。この可動膜は、基板に取り付けられた固定部及び基板に対して移動可能な末端部を有するように横方向に形成される。その上、少なくとも１つの弾性的に圧縮可能な誘電体層を設けて、基板電極と可動膜の電極素子との間の電気的絶縁を確実にする。このアレイ構成によって、ガス又は流体の流れを増加させることができる。

【００１５】

アレイの１つの実施形態では、基板は複数の開口と複数の可動膜とを備え、各開口は対応する可動膜を有する。この方法では、可動膜の電極素子には別個に静電気用電圧を与えることができるため、開閉する開口の数を制御することができる。この構成により、流量が可変のバルブが実現される。

【００１６】

アレイの別の実施形態では、基板は複数の開口と複数の基板電極とを備え、各開口は対応する基板電極を有する。この方法では、基板電極には別個に静電気用電圧を与えることができるため、開閉する開口の数を制御することができる。この構成により、流量が可変のバルブが実現される。

【００１７】

その上、本発明のアレイは、可動膜及び／又は基板内に複数の開口及び成形加工した（ｓｈａｐｅｄ）電極素子を有する基板の中で具体化される。成形加工した電極素子の性質により、電極間に印加された電圧の大きさに基づいて、膜を曲げない程度を調整することができる。

【００１８】

あるいはまた、本発明の別の実施形態では、前述したＭＥＭＳバルブ装置を作る方法が提供される。この方法は、基板を通って部分的に伸びる開口を形成するために、基板の前面側をエッチングするステップと、この開口をプラグ材料で充填するステップと、基板の前面側上に膜バルブ構造体（ｍｅｍｂｒａｎｅ　ｖａｌｖｅ　ｓｔｒｕｃｔｕｒｅ）を形成するステップと、プラグ材料を取り除くステップと、解離層までバルブ開口の裏面側をエッチングするステップと、膜を基板から少なくとも部分的に解放するために解離層を取り除くステップとを含む。この提供された方法により、開口と基板電極との位置合わせを基板の前面側上で実現することができる。

【００１９】

このように、静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブ装置は、大きな変位及び大きな力の両方を発生することができる。ＭＥＭＳバルブの静電気の性質により消費電力を比較的小さくできるため、流れるガス又は流体の不当な加熱は発生しない。さらに、静電気のバルブは比較的高速の動作を行うため、より速いサイクル時間及びより正確な開閉状態の制御が可能になる。さらに、ＭＥＭＳバルブは、漏れ率を確実に低くするように、バルブ

カバーの境界面に信頼できるバルブシートを提供する。付加的な利点は、基板と可動膜との間の静止摩擦の発生を最小にするようなＭＥＭＳバルブを提供することである。バルブシート及び／又はバルブシールの境界面にテクスチャー加工の表面を設けることによって又は圧力解放用の開口を基板内に形成できるようにすることによって、静止摩擦を克服する。本発明のＭＥＭＳバルブ装置により、これらのまたさらに多くの利点を理解することができる。

【００２０】

［発明の詳細な説明］

本発明をここで添付の図面を参照して、以後より詳細に説明する。これらの図面には、本発明の好ましい実施形態が示されている。しかしながら、本発明は多くの異なった形態で具体化することができるが、本願に記載された実施形態に限定されると解釈してはならない。むしろ、これらの実施形態は、この開示が綿密で完全であり、また発明の範囲を当業者に十分に伝えるように、これらの実施形態が提供される。全体を通して、同じ番号は同じ素子を指している。

【００２１】

図１及び図２を参照する。本発明の実施形態による基板構成体の断面図（図１）及び平面図（図２）により、高速で可変の流量を提供することができる静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブ装置１０が提供される。図１に示すように、ＭＥＭＳバルブ装置の構成体の層が垂直に配置されて図示される。第１の実施形態では、静電気式ＭＥＭＳバルブ装置１０は、ほぼ平面の基板２０、基板用絶縁体３０、基板電極４０、基板誘電体５０、及び可動膜６０から層状に構成される。基板は、バルブの開口として機能する、貫通して形成された開口７０を形成する。図示した実施形態では、この開口７０は基板２０、基板用絶縁体３０、基板電極４０、及び基板用誘電体５０と共同して形成される。この方法では、開口７０は基板２０、基板用絶縁体３０、基板電極４０、及び／又は基板誘電体５０を貫通して形成される。流動性を有する媒体（すなわち、ガス、流体、光など）が基板構成体の一方の側から流入し基板構成体の反対側から流出することができるような各種の他の構成で開口７０を形成することも可能であり、本願で開示する発明の概念に含まれる。一般に、開口７０の形状は円筒形である。しかしながら、周囲がバルブシートにおいては小さくて基板の裏側の開口では大きいじょうご（ファンネル）形のような他の形状も可能であり、開示される発明の範囲に含まれる。

【００２２】

可動膜６０は、固定部８０及び末端部９０と呼ばれる２つの部分を有するとして説明される。これらの部分は、可動膜６０の長さに沿って横方向に付着形成される。固定部８０は、取付け点１００において下側の基板すなわち中間層にしっかりと固定される。末端部９０は、ＭＥＭＳバルブ装置１０を製造する間は、下側の基板すなわち中間層から離される。ＭＥＭＳバルブ装置１０が動作する間は、装置の末端部９０は下側の基板及び基板電極４０に対して動くことができる。このため、末端部９０の動きにより、可動膜６０によって覆われる開口７０の部分が制御可能に調整される。

【００２３】

図１の断面図では、可動膜６０は、少なくとも１つの電極素子層６２及び少なくとも１つのバイアス素子層６４及び／又は６６を含む複数の層から構成する。バイアス素子６４、６６は、図１に示したバイアスされた形状を有する可動膜６０を提供する。製造の間に可動膜６０を基板２０から一旦離すと、バイアス素子６４、６６は膜構造体全体を基板２０から離して位置付けることができる。図１に示した実施形態では、バイアスにより可動膜６０の形状が上方に湾曲される。バイアスは、熱膨張率が異なり断面の厚さに相当な相違がある材料を与えることによって実現することができるが、他の材料の特性もバイアス効果を生じることができる。電極素子層６２は、静電気動作の手段を有する可動膜６０を提供する。バルブ動作に当たっては、電圧が電極素子層６２に加えられると、電極素子層６２は基板電極４０に向かって静電気的に引き付けられる。基板構成体に接触すると、可動膜６０は基板内に形成された開口７０を密閉するバルブシールを形成する。

【００２４】
可動膜６０及び下側の基板層を含む静電気式ＭＥＭＳバルブ装置１０は、周知の集積回路の材料及びマイクロエンジニアリング技術を用いて組み立てられる。下側の基板層及び可動膜６０を形成するために異なった材料、様々な多数の層、及び多数の層の配列も使用することができることは、当業者は理解するであろう。図面に示されたＭＥＭＳバルブ装置１０は、製造の詳細を説明する例として使用されるが、この説明は、特に断りのない限り、本発明が提供する全てのＭＥＭＳバルブ装置１０に等しく適用される。
【００２５】
図１及び図２を参照する。基板２０は、静電気式ＭＥＭＳバルブ装置１０がその上に構成される略平面２２を規定する。基板２０は、略平坦な面を有する任意の適当な基板材料を使用することができるが、シリコンなどのマイクロ電子基板から構成することが好ましい。本発明の製造に含まれるさらに別の処理ステップは、比較的低い温度で行われ、このため、使用する基板は従来の高温用基板に限定されない。一例として、石英、ガラス、又は絶縁特性を有する他の適当な材料は、基板として機能することができる。基板用絶縁体層３０は概して基板２０の平面２２の上にあり、電気的な絶縁を行う。強力な絶縁特性を有する基板材料を実現するいくつかの実施形態では、基板用絶縁体層なしでＭＥＭＳバルブ装置１０を形成することができる。この基板用絶縁体層は、ポリイミド樹脂又は窒化物などの非酸化ベースの絶縁体又はポリマーから成ることが好ましい。この用途では、解離層を除く処理においてある種の酸（フッ化水素酸など）を使用する場合は、酸化物ベースの絶縁体を使用することはできない。基板用絶縁体層は、基板の平面上に絶縁層を蒸着するために、従来のスピニング又は低圧化学蒸着（ＬＰＣＶＤ）などの標準的な蒸着技術を用いることによって形成することが好ましい。
【００２６】
基板電極４０は、下側の基板用絶縁体層３０又は基板２０の表面の少なくとも一部に固定されたほぼ平面の層として蒸着される。基板電極４０は、絶縁体層の上面に蒸着された金の層から構成することが好ましい。基板電極４０が金の層から形成される場合、任意に薄いクロムの層を基板信号電極層（ｓｕｂｓｔｒａｔｅ ｓｉｇｎａｌ ｅｌｅｃｔｒｏｄｅ ｌａｙｅｒ）を蒸着する前に蒸着することにより、絶縁層への接着を一層良好にすることができ、及び／又は基板信号電極層が蒸着された後で蒸着することにより、全てのその後の隣接する材料へより優れた接着を行うことができる。あるいはまた、他の適当な金属又は導電性の材料は、解離層の処理動作が結果として電極の腐食を生じない限り、基板信号電極用に使用することができる。標準的なフォトリソグラフィ及びエッチング技術を一般的に使用して、基板の表面に電極を蒸着する。
【００２７】
一旦基板電極４０が形成されると、好ましくは、基板誘電体層５０が基板電極４０の上に蒸着されて、基板信号を可動膜６０内にある電極素子層６２から電気的に絶縁する誘電体を提供する。基板誘電体層５０を利用する実施形態では、この層５０はバルブの開口７０を取り巻くバルブシート５２としての働きをする。好ましい実施形態では、基板誘電体層５０は弾性的に圧縮可能な材料から構成する。所定の材料に対する弾性は、（ａ）バルブシート５２の面積に対する開口７０の周りのバルブの静電気力の比率（すなわち、加えた圧力）を、（ｂ）所定の材料に対するヤング率（弾性の尺度）とバルブシートの厚さに対するバルブシート５２の表面粗さとの積と比較することによって評価することができる。基板誘電体層５０の弾性的に圧縮可能な性質により、バルブシート５２は可動膜６０と接触すると変形される。このバルブシート５２の変形特性により正常なバルブシール５２が形成されるため、流れ停止動作が改良される。１つのそのような弾性的に圧縮可能な基板誘電体５０の材料にはポリイミドがあるが、解離層の処理に耐性のある他の弾性的に圧縮可能な誘電性絶縁体又はポリマーも使用することができる。基板誘電体層５０は、標準的なスピニング技術又は低圧化学蒸着（ＬＰＣＶＤ）などの従来の蒸着技術を用いることによって形成される。
【００２８】

基板誘電体層５０は（図１に示すように）ほぼ平坦な面を有するように形成されるか、又は基板誘電体層５０はテクスチャー加工した平面を有するように形成される。バルブシート５２の区域の表面をテクスチャー加工することは、可動膜６０を離したいと望む場合に可動膜６０が下側の基板に「粘着する」ようなこれらの実施形態においては好ましい。２つの結合するＭＥＭＳ表面が互いに粘着する傾向があるというＭＥＭＳの現象は、静止摩擦として当業者には周知である。バルブシートにテクスチャー加工した表面を設けることにより、バルブシートが閉じる場合に可動膜に接触する表面積が小さくなるので、静止摩擦に打ち勝つための力は少なくなる。テクスチャー加工した表面は一般に製造する間に形成され、そのような表面を実現及び製造することは、当業者には周知である。

【００２９】

解離層（図１及び図２には示していない）が、上側の可動膜６０の末端部９０のほぼ下側の区域内の基板誘電体層５０の表面上に蒸着される。この解離層は、下側の基板構造体に固定されない可動膜部分の下側のこれらの区域上のみに蒸着される。解離層は、酸をそこに加えたときにエッチングで除去することができる酸化物又は他の適当な材料から構成することが好ましい。可動膜の上側の層を基板上に蒸着した後、フッ化水素酸エッチングのような標準的なマイクロエンジニアリングの酸エッチング技術によって解離層を取り除く。解離層が取り除かれた後、可動膜６０の末端部９０が下側の面から分離される。バイアス素子のバイアス特性に関連して基板から可動膜６０を離すと、一般に結果として湾曲した形状の末端部９０を有する薄いフィルム膜が生じる。可動膜６０にバイアスを加えると、静電気力を印加しない場合、（図１に示すように）湾曲して基板から離れた可動膜６０が一般に結果として生ずる。静電気力が印加されない場合に基板に向かって湾曲するように、可動膜にバイアスを加えることも可能である。

【００３０】

可動膜６０にバイアスを加える動作は、厚さ、熱膨張率又は任意の他のバイアス特性が異なるバイアス素子及び電極素子の材料を備えることによって実現することができる。別の方法では、可動膜６０を湾曲させるような固有の応力を作り出す処理ステップを利用することによって、バイアス動作を製造の間に生じさせることができる。例えば、ポリマーのバイアス素子を液体として蒸着し、次に、固体のバイアス層を形成するように高温にすることによって、それを湾曲させることができる。バイアス素子が、電極素子６２よりも熱膨張率が高いポリマー材料を含むことが好ましい。次に、バイアス素子及び電極素子６２を冷却し、これにより熱膨張率の違いに起因する応力を膜の中に生じさせる。ポリマーのバイアス素子が電極層よりも早く収縮するために、可動膜６０は湾曲する。

【００３１】

さらに、バイアス素子層と電極素子層との間の熱膨張率に差を与えることにより、バイアスを作ることができる。温度を増加すると、これにより層は異なる速度で膨張するため、可動膜は熱膨張率が小さい層に向かって湾曲する。このため、熱膨張率が異なる２つの層を有する可動膜は、温度が上昇するにつれて、熱膨張率が小さい層に向かって湾曲する。さらに、熱膨張率が異なる２つのポリマーフィルムの層を電極層と並行に使用して、必要に応じて可動膜６０にバイアスを加えることができる。

【００３２】

可動膜６０の層は、概して、基板電極４０及び開口７０の上に位置する。周知の集積回路製造工程を使用して、可動膜６０を含む層を作る。この可動膜は、電極素子及びバイアス素子から構成する。可動膜の１つ又はそれ以上の層が電極素子を含み、１つまたはそれ以上の別の層がバイアス素子を含むことが好ましい。図１に示すように、可動膜の１つの好ましい実施形態には、２つのバイアス素子層６４、６６の間に配置された電極素子層６２が含まれる。電極素子層が電極素子層のいずれかの側に配置された１つのバイアス層しか持たないように、可動膜を構成することも可能である。バイアス素子層は、基板電極と可動膜の電極素子との間を完全に電気的に絶縁することができる絶縁体として機能することもできる。

【００３３】

可動膜を構成する少なくとも１つの層が可撓性の材料から形成されることが好ましい。例えば、可撓性のポリマー（すなわち、バイアス素子）及び／又は可撓性の導体（すなわち、電極）を使用することができる。好ましい実施形態では、バイアス素子は、可動膜を静電気力がない場合に静止位置に保持するために使用される可撓性のポリマーフィルムから成る。バイアス素子が基板に接触してバルブシールを形成するようなこれらの用途では、このバイアス素子は弾性的に圧縮可能な材料から構成することが好ましい。バイアス素子層の弾性的に圧縮可能な性質により、バルブシールは下側の基板構造体と接触すると変形される。この接触するバイアス素子表面の変形特性により正常なバルブシールが形成されるため、流れ停止動作が改良される。弾性的に圧縮可能な特性を有するポリマーフィルムの材料はポリイミド材料を含むが、弾性特性を有し解離層のエッチング処理に耐えることができる他の適当な可撓性のポリマーも使用することができる。１つの実施形態では、基板誘電体層及び可動膜のバイアス素子層の両方が、ポリイミド材料のような弾性的に圧縮可能な材料から形成される。

【００３４】

可動膜の中でポリイミド材料を使用することは、膜がシールする目的の開口にわたって発生する圧力に耐えることが証明されている。さらに、ポリイミド材料の強度は、長期間にわたって使用した後でさえも、破裂又は膨れに耐えることが証明されている。圧力差が２．０６７ＭＰａ（３００ｐｓｉ）の場合の円周が８０マイクロメートルの穴部の上のポリイミド膜のたわみが、３マイクロメートルの膜に対しては約０．０６４マイクロメートルであり、２マイクロメートルの膜に対しては約０．２２マイクロメートルであることが、計算によって証明されている。これらの計算は、可動膜全体のたわみ量を常にさらに限定する電極素子層を考慮に入れていない。

【００３５】

可動膜６０の電極素子６２は、可撓性の導体材料の層から構成することが好ましい。電極素子は、基板構成体及び解離層の最も上の平面又は、必要に応じて、任意の第１のバイアス層（すなわち、ポリマーフィルム）上に直接蒸着される。電極素子は金で構成することが好ましいが、解離層の処理に耐える他の導体及び導電性のポリマーフィルムのような他の可撓性材料を使用することができる。電極素子の表面区域及び／又は構成は、所望の静電気力がＭＥＭＳバルブ装置を動作させることができるように必要に応じて変更することができる。電極素子を所定の方法で成形することによって、バルブの開放速度を変化させることが実現できる。金を使用して電極素子を形成する場合、金の層を可撓性のポリマーフィルムなどの１つ又はそれ以上のバイアス層のような隣接する材料により良く接着できるように、クロムの薄い層を電極素子上に蒸着する。

【００３６】

可動膜の中で使用される層の数、層の厚さ、層の配列、及び材料の選定は、可動膜を必要に応じてバイアスさせるように選択する。特に、末端部が固定部から離れる場合に、末端部に変化するバイアスを加えることができる。末端部のバイアスされた部分を個別に又は集合的にカスタマイズして、下側の平面及び基板電極からの所望の分離を行わせることができる。例えば、末端部が下側の平面に平行に残るようにバイアスすることができる。あるいはまた、末端部をバイアスして、下側の平面に向かうように又はそこから離れるように湾曲させることによって、下側の平面からの分離を変更することができる。末端部にバイアスを加えて下側の基板から湾曲させて離し、そこからの分離を変更することが好ましい。１つ又はそれ以上のポリマーフィルムを使用することができ、またフィルムを電極素子のいずれか一方の側又は両側に蒸着することができることは、当業者に理解されよう。

【００３７】

電圧が可動膜６０の電極素子と基板電極との間に印加されると、電極間の静電気力が可撓性の電極素子を基板に向かって引き付け、可動膜６０を広げて開口７０の被覆率が変更する。２つの電極が極めて接近してバルブが閉じると、結果として強力な静電気力が生ずる。この強力な静電気力が、結果として漏れ率が少ないバルブシールを実現する。電圧が電極から除かれると、フィルム内の応力により可撓性の電極が基板から湾曲して離れてバル

ブを開く。開いた位置では、開口をカバーする膜の位置が基板から比較的大きな距離にあるので、開口を通過する大きな流れを制限なしに実現することができる。

【００３８】

膜が開口をシールする場合に圧力差を膜に対していずれかの方向に加えることができるように、バルブを構成することができる。バルブが閉じているときに圧力が基板の後側から加わり膜を押し上げる場合、この圧力は電圧が除かれたときにフィルムが再度湾曲することを支援する。しかしながら、圧力が基板の前側から加わりバルブが閉じているときに膜を押し下げる場合は、バルブを開くために膜内の応力は加えられた圧力に対抗して動作する必要がある。この圧力の増大は、可動膜６０の末端部９０の終端に最も近い場所に基板を貫通する小さい開口を設けることによって、最小にすることができる。膜を巻き上げるために必要な応力は膜の全幅に比例するため、小さい圧力解放用開口において働く圧力と比較すると、この小さい開口を設けることによって湾曲応力を増加させることができる。一旦小さい圧力解放用開口を開くと、バルブの開口において膜に加わる圧力差が減少され、このため、膜内の応力がバルブを開くことを容易にする。そのような圧力解放用開口１０２の実施例を、図１及び図２に示す。

【００３９】

図３は、本発明によるＭＥＭＳ静電気バルブの別の実施形態の断面図を示す。この実施形態のＭＥＭＳ静電気バルブ１０は、可動膜６０の中間部１２０の下側に特性上均一な空隙１１０を有する。この可動膜の中間部１２０は、固定部８０と末端部９０との間の水平領域として形成される。解離層（図３では図示せず）が、可動膜６０の中間部１２０及び末端部９０の下側の区域内の基板構成体の一番上の層上に蒸着される。その後、この解離層は取り除かれて、結果として可動膜６０の中間部１２０及び末端部９０と下側の基板２０との間に全体的に分離した空間が生ずる。

【００４０】

中間部１２０は末端部９０とほぼ同様の構成で作られ、このため、電極素子６２とバイアス素子６４、６６との間の熱膨張率の差により中間部１２０が湾曲する。可動膜６０が湾曲する性質は、末端部９０に対しては望ましいが、中間部１２０に対しては通常は望ましくない。予測可能性は改良された動作電圧特性に結び付くため、予測可能な中間部１２０及びこれにより予測可能な空隙１１０を備えることが重要である。中間部１２０が湾曲する傾向を減らすために、可動膜６０の固定部８０及び中間部１２０の上側にあり中間部１２０に構造的に制約を与えるバイアス制御層１３０を一般に設ける。一般に、このバイアス制御層１３０は膜の固定部８０及び中間部１２０の上側にあり、バイアス制御層１３０を基板に留めることができるように、膜の両側の上にわたって外側に伸びる。バイアス制御層１３０は金属材料から形成することができ、中間部１２０を静止位置に保持するように、一般に下側の膜の材料とは異なる熱膨張率を有する。バイアス制御層１３０は、中間部１２０を支持し空隙１１０の形状を制御するために、一般に固体の層とするか、又は線、グリッド、クロスハッチング、又は必要に応じて他のパターンを含むことができる。

【００４１】

別の方法では、可動膜６０上の固定部８０にタブ１０４（図２の平面図に示す）を設けることによって、可動膜６０の中間部１２０を解放の間に制止することができる。これらのタブ１０４は、概ね膜を含む層の延長部であり、均一な空隙を中間部１２０の下側に確実に与えるようにする追加保持力（ａｄｄｅｄ　ｈｏｌｄｉｎｇ　ｆｏｒｃｅ）を提供する。タブ１０４は可動膜６０を含む１つ又はそれ以上の層から形成することができる。

【００４２】

図４は、本発明によるＭＥＭＳ静電気バルブのさらに別の実施形態の断面図を示す。この実施形態のＭＥＭＳ静電気バルブ１０は、可動膜６０の中間部１２０の下側に空隙１５０を減少させる特徴を有する。この実施形態では、カンチレバー部は下側の基板構成体に接触するまで下に向かって傾斜し、この接触点で可動膜は末端部９０に移行して、膜は湾曲して下側の平面から離れる。一例として、変曲領域１６０で薄い領域を作るようにバイアス層をパターニングすることによって、又は中間部１２０を基板２０に向かって傾斜させ

るように中間部１２０の傾斜領域をパターニングすることによって、傾斜する中間部１２０を製造することができる。

【００４３】

空隙の形状をあらかじめ形成することによって、最近開発されたＭＥＭＳ静電気装置は、より低い不規則でない動作電圧で動作することができる。あらかじめ形成された空隙を有する最近開発されたＭＥＭＳ静電気装置についてのこれ以上の説明は、本発明を過度に複雑にしないようにするために、この開示内容から省略する。最近開発された改良されたＭＥＭＳ装置の実施例については、Ｇｏｏｄｗｉｎ－Ｊｏｈａｎｓｓｏｎという発明者の名前で１９９９年5月２７日に出願された「Ｍｉｃｒｏｍａｃｈｉｎｅｄ Ｅｌｅｃｔｒｏｓｔａｔｉｃ Ａｃｔｕａｔｏｒ ｗｉｔｈ Ａｉｒ Ｇａｐ」という名称の米国特許出願第０９／３２０，８９１号を参照されたい。この特許出願は、本発明の譲受人のＭＣＮＣに譲渡されており、参照することによってあたかも本願に完全に記載されているように本願に組み込まれる。

【００４４】

１つの基板に形成された開口のアレイを作ることにより、ガス又は液体の流れを増加させることができる。図５～図７は、本発明のさらに別の実施形態に基づいた、様々なＭＥＭＳ静電気バルブのアレイの斜視図を示す。図５はＭＥＭＳバルブのアレイ２００であり、このバルブアレイ２００では、開口２１０が所定の配列で基板２２０の中で形成され、各バルブの開口は対応する可動膜２３０を有する。個々の膜内の電極素子を選択的にアドレス指定することにより、開閉するバルブの数を制御することによって、流量を可変にすることができる。

【００４５】

図６はＭＥＭＳバルブのアレイ２５０であり、このバルブアレイ２５０では、開口２１０が所定の配列で基板２２０の中で形成され、各バルブの開口２１０は基板上に配置された対応する固定した基板電極を有する。基板内の固定した基板電極を選択的にアドレス指定することにより、開閉するバルブの数を制御することによって、流量を可変にすることができる。１つの大きな可動膜２３０を使用するため、これは一般に開口の行に対して電圧を与える必要がある。行はこの文脈では、可動膜の長さ方向に直角に走る開口の線として形成される。例えば、静電気電圧がバルブ構造体の固定部に最も近い開口の行に対する基板電極に加えられる場合、可動膜は下に引かれてこれらの開口をシールし、膜の残りの末端部は湾曲した位置に留まる。あるいはまた、この性質のアレイにより、開口の行が下側の基板電極の行に対してわずかな角度で傾斜を付けられて、階段状の流れの変化とは対照的により大きな可変の流れが提供される。図５の実施形態の個々の膜を図６の実施形態の個々の基板電極と結合するようなアレイを構成することも可能であり、開示された本願の発明の概念の中に含まれる。

【００４６】

図７はＭＥＭＳバルブのアレイ２７０であり、このバルブアレイ２７０では、開口２１０が所定の配列で基板２２０の中で形成され、可動膜２３０は、成形加工した電極素子２８０（図７に二重の破線により輪郭が描かれている）を有する。この電極素子２８０により、電極素子２８０に印加された電圧の大きさに比例して膜を曲げない程度を調整することができる。この点に関して、電極素子２８０に最大限の電圧を加えると、可動膜は完全に湾曲が解けるため、アレイ内の全てのバルブをシールする。最大限の電圧よりも小さい電圧が加えられる場合は、膜は部分的に湾曲を解くため、膜の湾曲を解いた部分の下側のバルブのみがシールすることになる。電極素子の形状は、実施例の目的で示される。電極素子の形状は、可動膜の寸法、アレイの寸法及びアレイの構成に基づいて前もって決められる。別の方法では、成形加工した電極は基板電極とすることができる。膜電極とは対照的に基板電極を成形加工することは、可動膜の中で確実に均一に湾曲させるために好ましい。

【００４７】

さらに、本発明は静電気力によって駆動されるＭＥＭＳバルブ装置を作る方法を提供する

。図８～図１１は、本発明の実施形態を作る方法に基づいて、ＭＥＭＳ静電気バルブを製造する各種の段階を示す。この方法では、最初の開口の形成はバルブの製造の前に始まり、バルブの製造の後に完了する。この方法は、開口と周りの基板電極との間の位置合わせを基板構成の前側で実行できる利点を有する。可動膜を開口の上に来るように形成する必要があるので、開口を最終的に開くことは膜の形成の後に完了することになる。製造技術に対する薄膜の性質により、基板電極と膜の可撓性の電極素子とを形成する前に製造面がほぼ平坦であることが必要である。

【００４８】

図８は、基板３００の断面図を示す図である。この基板３００は、大きな空洞３１０を形成するために後側がエッチングされ、バルブの開口３２０を形成するために前側がエッチングされている。最初、大きな空洞３１０が基板３００の後側に形成される。一般的に、従来の湿式エッチング処理を使用して、大きな空洞３１０を形成する。この大きな空洞３１０は、一般に、基板３００を約５０マイクロメートルまで薄くする結果生じるが、他の望ましい厚さも可能である。大きな空洞３１０のエッチング処理は、流れの制限を最小にすると共に、その後のバルブの開口を簡単に形成するための任意の処理である。大きな空洞３１０が形成された後、バルブの開口３２０が基板の前側を部分的に通ってエッチングされる。一般に、バルブの開口に必要である正確なエッチングを行うために、リアクティブイオンエッチング（ＲＩＥ）処理を使用する。次に、犠牲プラグ材料（ｓａｃｒｉｆｉｃｉａｌ　ｐｌｕｇ　ｍａｔｅｒｉａｌ）３３０を開口３２０内に入れて、連続的な基板層の上に容易にバルブを構成できるようにする。この犠牲プラグ材料３３０は一般に銅を含むが、任意の他の適当な材料も犠牲プラグ材料として使用することができる。一旦プラグ材料３３０が配置されると、それは一般に研磨処理を受けて確実に表面が平坦にされ、基板３００にバルブを構成する準備ができる。

【００４９】

図９は、バルブ構造体が基板の前面に形成された後のＭＥＭＳバルブ構成の断面図を示す。一般に、バルブ構造体の形成には、絶縁体層３４０を基板上に配置すること、基板電極層３５０を絶縁体層上に配置、パターンニング及びエッチングすること、及び誘電体層３６０を基板電極層上に配置することが含まれる。これらの層の形成に続いて、解離層３７０が形成される。この解離層３７０は一般に酸化物であり、その後で除かれて、基板から膜の部分が剥離することを容易にする。次に、膜３８０が解離層上に配置され、誘電体層を介して基板に留められる。図示した実施形態では、膜は、解離層及び誘電体層上に配置された第１のバイアス素子／誘電体層３９０と、この第１のバイアス素子／誘電体層上に配置された電極素子層４００と、電極上に配置された第２のバイアス素子層４１０とから構成する。これらのバルブ構成層及び製造工程は実施例によって示されるが、他の層形成順序も可能であり、開示された本願の発明の概念に含まれる。最終的にバルブシート及びバルブカバーを形成する面をテクスチャー加工した面にして、ＭＥＭＳ装置が静止摩擦に関連した共通の剥離の問題を克服できるようにする。図示した実施形態では、誘電体層３６０及び／又は第１のバイアス素子／誘電体層３９０をテクスチャー加工することが望ましい。これらの面をテクスチャー加工することは、解離層３７０の蒸着及び除去と併せて行うことができる。ＭＥＭＳ装置の表面をテクスチャー加工する工程は、当業者には周知である。

【００５０】

図１０は、基板３００の後側がプラグ材料３３０（図８参照）を露出するためにエッチングされた後の、ＭＥＭＳバルブ構成の断面図を示す。このプラグ材料３３０は取り除かれ、開口３２０がエッチングされて解離層３７０を露出する。基板３００の後側のエッチングは、一般に、湿式エッチング処理を用いて行われる。エッチング処理が犠牲プラグ材料３３０の後側を露出すると、プラグはエッチング処理を行うことによって除かれる。一般に、プラグ材料３３０は、従来の湿式エッチング処理によって除かれる。プラグ材料３３０が除かれた後、開口３２０は解離層３７０まで、バルブ構成の中にさらに進んで形成される。一般に、リアクティブイオンエッチング処理を使用して、開口３２０をさらに形成

すると共に、開口３２０が確実に正確な仕上げ面を持つようにする。図１１は、解離層３７０が除かれ、このため、膜の末端部を基板３００から解離できるようにした後の、完成したＭＥＭＳバルブ構成を示す。

【００５１】

この方法では、最初の開口の形成はバルブの製造の前に始まり、バルブの製造の後に完了する。この方法は、開口と周りの基板電極との間の位置合わせを基板構成の前側で実行できる利点を有する。

【００５２】

本発明の多くの変形例及び他の実施形態は、前述した説明及び関連する図面の中で示した教義の利点を有する、本発明が属する技術の熟練技術者には思い浮かぶであろう。このため、本発明は開示された特定の実施形態に限定されるものではなく、また変形例及び他の実施形態は添付した特許請求の範囲の中に含まれるものとすることは理解されよう。本願の中で特定の用語が使用されるが、それらの用語は一般的で説明のためのみに使用されたものであり、本発明の範囲を多少なりとも限定する目的で使用したのではない。

【図面の簡単な説明】

【図１】

本発明の一実施形態によるＭＥＭＳ静電気バルブの断面図である。

【図２】

本発明の一実施形態によるＭＥＭＳ静電気バルブの平面図である。

【図３】

本発明の他の実施形態による、基板と可動膜との間に空隙を有するＭＥＭＳ静電気バルブの断面図である。

【図４】

本発明の他の実施形態による、基板と可動膜との間に減少する空隙を有するＭＥＭＳ静電気バルブの断面図である。

【図５】

本発明の別の実施形態による、アレイの開口に対して個別の可動膜を有するＭＥＭＳ静電気バルブアレイの斜視図である。

【図６】

本発明の別の実施形態による、アレイの開口に対して個別の基板電極を有するＭＥＭＳ静電気バルブアレイの斜視図である。

【図７】

本発明の別の実施形態による、可動膜内に成形加工した電極素子を有するＭＥＭＳ静電気バルブアレイの斜視図である。

【図８】

本発明の実施形態を作る方法による、製造の様々な段階の間のＭＥＭＳバルブ構成体の断面図である。

【図９】

本発明の実施形態を作る方法による、製造の様々な段階の間のＭＥＭＳバルブ構成体の断面図である。

【図１０】

本発明の実施形態を作る方法による、製造の様々な段階の間のＭＥＭＳバルブ構成体の断面図である。

【図１１】

本発明の実施形態を作る方法による、製造の様々な段階の間のＭＥＭＳバルブ構成体の断面図である。

【符号の説明】

１０　ＭＥＭＳバルブ装置

２０、２２０、３００　基板

２２　平面（平坦な面）

４０　基板電極
５０　基板誘電体（誘電体層）
５２　バルブシート
６０、２３０　可動膜
６２　電極素子層
６４、６６　バイアス素子層
７０、２１０、３２０　開口
８０　固定部
９０　末端部
１０２　圧力解放用開口
２００、２５０　バルブアレイ
３３０　犠牲プラグ材料
３１０　空洞
３７０　解離層

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
21 March 2002 (21.03.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/22492 A2

(51) International Patent Classification[7]: B81B

(21) International Application Number: PCT/US01/28608

(22) International Filing Date:
14 September 2001 (14.09.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/661,997 14 September 2000 (14.09.2000) US

(71) Applicant *(for all designated States except US)*: **MCNC** [US/US]; 3021 Cornwallis Road, P.O. Box 12889, Research Triangle Park, NC 27709 (US).

(72) Inventors; and

(75) Inventors/Applicants *(for US only)*: **GOODWIN-JOHANSSON, Scott, H.** [US/US]; 5238 Old Graham Road, Pittsboro, NC 27312 (US). **MCGUIRE, Gary, E.** [US/US]; 9323 Charles Lane, Chapel Hill, NC 27516 (US).

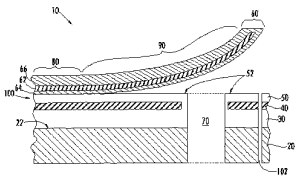
(74) Agents: **EDWARDS, James, C.** et al.; Alston & Bird LLP, Suite 4000, Bank of America Plaza, 101 South Tryon Street, Charlotte, NC 28280-4000 (US).

(81) Designated States *(national)*: AE, AG, AL, AM, AT, AT (utility model), AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, CZ (utility model), DE, DE (utility model), DK, DK (utility model), DM, DZ, EC, EE, EE (utility model), ES, FI, FI (utility model), GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SK (utility model), SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA.

(84) Designated States *(regional)*: ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continued on next page]

(54) Title: MICROELECTROMECHANICAL FLEXIBLE MEMBRANE ELECTROSTATIC VALVE DEVICE AND RELATED FABRICATION METHODS



(57) Abstract: A MEMS (Micro Electro Mechanical System) valve device driven by electrostatic forces is provided. This valve device can provide for fast actuation, large valve force and large displacements while utilizing minimal power. The MEMS valve device includes a substrate having an aperture formed therein, a substrate electrode, a moveable membrane that overlies the aperture and has an electrode element and a biasing element. Additionally, at least one resiliently compressible dielectric layer is provided to insure electrical isolation between the substrate electrode and electrode element of the moveable membrane. In operation, a voltage differential is established between the substrate electrode and the electrode element of the moveable membrane to move the membrane relative to the aperture to thereby controllably adjust the portion of the aperture that is covered by the membrane. Additional embodiments provide for the resiliently compressible dielectric layer to be formed on either or both the substrate electrode and the moveable membrane and provide for either or both the valve seat surface and the valve seal surface. In yet another embodiment the resiliently compressible dielectric layer(s) have a textured surface; either at the valve seat, the valve seal or at both surfaces. In another embodiment of the invention a pressure-relieving aperture is defined within the substrate and is positioned to underlie the moveable membrane. Alternatively, additional embodiments of the present invention provide for MEMS valve arrays driven by electrostatic forces. The MEMS valve array comprises a substrate having a plurality of apertures defined therein. A method for making the MEMS valve device is also provided.

WO 02/22492 A2

WO 02/22492 A2

Published:
— *without international search report and to be republished upon receipt of that report*

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

MICROELECTROMECHANICAL FLEXIBLE MEMBRANE ELECTROSTATIC VALVE DEVICE AND RELATED FABRICATION METHODS

FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates to microelectromechanical system (MEMS) valve structures, and more particularly to low-power, high speed electrostatically actuating MEMS valve structures and the associated fabrication methods.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Advances in thin film technology have enabled the development of sophisticated integrated circuits. This advanced semiconductor technology has also been leveraged to create MEMS (Micro Electro Mechanical System) structures. MEMS structures are typically capable of motion or applying force. Many different varieties of MEMS devices have been created, including microsensors, microgears, micromotors, and other microengineered devices. MEMS devices are being developed for a wide variety of applications because they provide the advantages of low cost, high reliability and extremely small size.

Design freedom afforded to engineers of MEMS devices has led to the development of various techniques and structures for providing the force necessary to cause the desired motion within microstructures. For example, microcantilevers have been used to apply rotational mechanical force to rotate micromachined springs and gears. Electromagnetic fields have been used to drive micromotors. Piezoelectric forces have also been successfully been used to controllably move micromachined structures. Controlled thermal expansion of actuators or other MEMS components has been used to create forces for driving microdevices. One such device is found in United States Patent No. 5,475,318 entitled "Microprobe" issued December 12, 1995 in the name of inventors Marcus et al., which leverages

issued December 12, 1995 in the name of inventors Marcus et al., which leverages thermal expansion to move a microdevice. A micro cantilever is constructed from materials having different thermal coefficients of expansion. When heated, the bimorph layers arch differently, causing the micro cantilever to move accordingly. A similar mechanism is used to activate a micromachined thermal switch as described in United States Patent No. 5,463,233 entitled "Micromachined Thermal Switch" issued October 31, 1995 in the name of inventor Norling.

Electrostatic forces have also been used to move structures. Traditional electrostatic devices were constructed from laminated films cut from plastic or mylar materials. A flexible electrode was attached to the film, and another electrode was affixed to a base structure. Electrically energizing the respective electrodes created an electrostatic force attracting the electrodes to each other or repelling them from each other. A representative example of these devices is found in United States Patent No. 4,266,339 entitled "Method for Making Rolling Electrode for Electrostatic Device" issued May 12, 1981 in the name of inventor Kalt. These devices work well for typical motive applications, but these devices cannot be constructed in dimensions suitable for miniaturized integrated circuits, biomedical applications, or MEMS structures.

MEMS electrostatic devices are used advantageously in various applications because of their extremely small size. Electrostatic forces due to the electric field between electrical charges can generate relatively large forces given the small electrode separations inherent in MEMS devices. An example of these devices can be found in United States Patent Application No. 09/345,300 entitled "ARC resistant High Voltage Micromachined Electrostatic Switch" filed on June 30, 1999 in the name of inventor Goodwin-Johansson and Untied States Patent Application No. 09/320,891 entitled "Micromachined Electrostatic Actuator with Air Gap" filed on May 27, 1999 in the name of inventor Goodwin-Johansson. Both of these applications are assigned to MCNC, the assignee of the present invention.

Typical MEMS valves have employed thermal actuation/activation methods to control valves with high flow rates (i.e. large apertures and large clearance areas around the aperture). Thermal actuation has been preferred

because it is able to provide the large forces necessary to control the valve over the requisite large distances. However, these valves have relatively slow operation rates due to the thermal time constraints related to the valve materials. Additionally, thermally activated MEMS valves use resistive heating where the power consumed is calculated by the current squared times the resistance and considerable power is consumed in operating the valve.

It would be advantageous to construct a MEMS valve device using electrostatic actuation that is capable of both large displacements and large forces. The electrostatic nature of the MEMS valve will allow for relatively low power consumption and, therefore, no unwarranted heating of the flowing gas or fluid would occur. Additionally, the electrostatic valve will provide for relatively fast operation, allowing for more precise control of the open and closed states of the valve. In addition, it would be advantageous to develop a MEMS valve that forms a secure valve seat to valve cover interface to assure low leakage rates are realized. It would also be beneficial to provide for a MEMS valve that minimizes the occurrence of stiction between the substrate and moveable membrane. Stiction, which is a well-known concept in microelectronics, is defined as the tendency for contacting MEMS surfaces to stick to one another. Stiction is especially a concern in valve devices in which a pressure differential exists across the closed valve. It would be beneficial to devise a MEMS valve that relieves the pressure differential prior to opening the valve.

As such, MEMS electrostatic valves that have improved performance characteristics are desired for many applications. For example, micromachined valves capable of fast actuation, large valve force and large valve flap displacements that utilize minimal power are desirable, but are currently unavailable.

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention provides for improved MEMS electrostatic valves that benefit from large valve force, fast actuation and large displacement of the moveable membrane to allow for the efficient transport of increased amounts of gas or liquid through the valve. Further, methods for making the MEMS electrostatic valve according to the present invention are provided.

A MEMS valve device driven by electrostatic forces according to the present invention comprises a planar substrate having an aperture formed therein and substrate electrode disposed on the planar substrate. Further, the MEMS valve device of the present invention includes a moveable membrane that overlies the aperture and has an electrode element and a biasing element. The moveable membrane is defined horizontally as having a fixed portion attached to the substrate and a distal portion that is moveable with respect the substrate. Additionally, at least one resiliently compressible dielectric layer is provided to insure electrical isolation between the substrate electrode and electrode element of the moveable membrane. In operation, a voltage differential is established between the substrate electrode and the electrode element of the moveable membrane to move the membrane relative to the aperture to thereby controllably adjust the portion of the aperture that is covered by the membrane.

In one embodiment of the MEMS valve device according to the present invention the resiliently compressible dielectric layer is formed on the substrate electrode and provides for the valve seat surface. In another embodiment of the present invention the resiliently compressible dielectric layer is formed on the moveable membrane and provides for the valve seal surface. In yet another embodiment resiliently compressible dielectric layers are formed on both the substrate electrode and the moveable membrane and provide for both the valve seat surface and the valve seal surface. The resiliently compressible nature of the dielectric layer allows for a secure closed valve to form that benefits from a low leakage rate.

In yet another embodiment the resiliently compressible dielectric layer has a textured surface; either at the valve seat, the valve seal or at both surfaces. By texturing these surfaces the valve is able to overcome stiction that causes the MEMS films to stick together after the electrostatic voltage is removed. In effect, texturing reduces the surface area around the valve seat to seal interface thereby reducing the effects of stiction. Additionally, texturing allows pressure to be advantageously used in easing the opening of the valve.

In another embodiment of the invention a pressure-relieving aperture is defined within the planar substrate and is positioned to underlie the moveable

membrane. The pressure-relieving aperture provides a decrease in the pressure differential across the valve aperture by alleviating pressure prior to the opening of the valve.

Alternatively, another embodiment of the present invention provides for a MEMS valve array driven by electrostatic forces. The MEMS valve array comprises a planar substrate having a plurality of apertures defined therein and a substrate signal electrode disposed on the planar substrate. Further, the MEMS valve device of the present invention includes a moveable membrane that overlies the plurality of apertures and has an electrode element and a biasing element. The moveable membrane is defined horizontally as having a fixed portion attached to the substrate and a distal portion that is moveable with respect the substrate. Additionally, at least one resiliently compressible dielectric layer is provided to insure electrical isolation between the substrate electrode and electrode element of the moveable membrane. The array configuration allows for increased gas or liquid flows.

In one embodiment of the array, the substrate has a plurality of apertures and a plurality of moveable membranes is provided; wherein each aperture has a corresponding moveable membrane. In this manner, the electrode elements of the moveable membranes can be individually supplied electrostatic voltages, thus controlling the number of apertures opened or closed. This configuration effectuates a variable flow rate valve.

In another embodiment of the array, the substrate has a plurality of apertures and a plurality of substrate electrodes is provided; wherein each aperture has a corresponding substrate electrode. In this manner, the substrate electrodes can be individually supplied electrostatic voltages, thus controlling the number of apertures opened or closed. This configuration effectuates a variable flow rate valve.

Additionally, the array of the present invention is embodied in a substrate having a plurality of apertures and a shaped electrode element within the moveable membrane and/or the substrate. The shaped nature of the electrode element allows for the amount of membrane uncurling to be adjusted in accordance with the amount of voltage applied between the electrodes.

Alternately, another embodiment of the present invention provides a method for making the MEMS valve device described above. The method comprises the steps of etching the frontside of a substrate to define an aperture extending partially through the substrate, filling the aperture with a plug material, forming a membrane valve structure on the frontside of the substrate, removing the plug material, etching the backside of the valve aperture up to the release layer and removing the release layer to at least partially release the membrane from the substrate. The method provided allows for the alignment of the aperture and the substrate electrode to be accomplished on the frontside of the substrate.

As such the MEMS valve device driven by electrostatic force is capable of both large displacements and large forces. The electrostatic nature of the MEMS valve allows for relatively low power consumption and, therefore, no unwarranted heating of the flowing gas or fluid occurs. Additionally, the electrostatic valve will provide for relatively fast operation, allowing for faster cycle time and more precise control of the open and closed states. Furthermore, the MEMS valve provides for a secure valve seat to valve cover interface to assure low leakage rates. An additional benefit is realized in providing for a MEMS valve that minimizes the occurrence of stiction between the substrate and moveable membrane. Stiction is overcome by providing for textured surfaces at the valve seat and/or valve seal interface or allowing for a pressure-relieving aperture to be defined in the substrate. These and many more advantages can be realized with the MEMS valve device of the present invention.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a cross-sectional view of a MEMS electrostatic valve in accordance with an embodiment of the present invention.

FIG. 2 is a top plan view of a MEMS electrostatic valve in accordance with an embodiment of the present invention.

FIG. 3 is a cross-sectional view of a MEMS electrostatic valve having an air gap between the substrate and the moveable membrane in accordance with an embodiment of the present invention.

FIG. 4 is a cross-sectional view of a MEMS electrostatic valve having a decreasing air gap between the substrate and the moveable membrane in accordance with an embodiment of the present invention.

FIG. 5 is a perspective view of a MEMS electrostatic valve array having individual moveable membranes associated with array apertures in accordance with an alternate embodiment of the present invention.

FIG. 6 is a perspective view of a MEMS electrostatic valve array having individual substrate electrodes associated with array apertures in accordance with an alternate embodiment of the present invention.

FIG. 7 is a perspective view of a MEMS electrostatic valve array having a shaped electrode element within the moveable membrane in accordance with an alternate embodiment of the present invention.

FIGS. 8 - 11 are cross-sectional views of a MEMS valve construct during various stages of fabrication in accordance with a method for making embodiment of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

The present invention now will be described more fully hereinafter with reference to the accompanying drawings, in which preferred embodiments of the invention are shown. This invention may, however, be embodied in many different forms and should not be construed as limited to the embodiments set forth herein; rather, these embodiments are provided so that this disclosure will be thorough and complete, and will fully convey the scope of the invention to those skilled in the art. Like numbers refer to like elements throughout.

Referring to **FIGS. 1** and **2**, a cross-sectional view (**FIG. 1**) and a top view of the substrate construct (**FIG. 2**) of an embodiment of the present invention provides a MEMS valve device **10** driven by electrostatic forces that can provide high and variable flow rates. As shown in **FIG. 1**, the layers of the MEMS valve device construct are arranged and shown vertically. In a first embodiment, an electrostatic MEMS valve device comprises in layers, a generally planar substrate **20**, a substrate insulator **30**, a substrate electrode **40**, a substrate dielectric **50**, and a moveable membrane **60**. The substrate defines an aperture **70** formed therethrough that serves as the valve opening. In the embodiment shown the aperture is formed

in cooperation with the substrate, the substrate insulator, the substrate electrode and the substrate dielectric. In this manner, the aperture may be formed through the substrate, the substrate insulator, the substrate electrode and/or the substrate dielectric. It is also possible and within the inventive concepts herein disclosed to form the aperture in various other configurations that allow for the flowable media (i.e. gas, liquid, light, etc.) to enter at one side of the substrate construct and exit at the opposite side of the substrate construct. Typically, the aperture will be cylindrical in shape. However, other shapes such as, a funnel shape having a smaller perimeter at the valve seat and a larger perimeter at the backside opening of the substrate, are also possible and within the breadth of the invention disclosed.

The movable membrane may be described as having two portions referred to as the fixed portion **80** and the distal portion **90**. The portions are deposited horizontally along the length of the moveable membrane. The fixed portion is substantially affixed to the underlying substrate or intermediate layers at the attachment point **100**. The distal portion is released from the underlying substrate or intermediate layers during fabrication of the MEMS valve device. During MEMS device operation the distal portion of the device is moveable with respect to the underlying substrate and substrate electrode. The movement of the distal portion thereby controllably adjusts the portion of the aperture covered by the moveable membrane.

In the **FIG. 1** cross-sectional view, the moveable membrane **60** comprises multiple layers including at least one electrode element layer **62** and at least one biasing element layer **64** and/or **66**. The biasing element(s) provide the moveable membrane with the biased shape shown in **FIG. 1**. Once the moveable membrane is released from the substrate during fabrication, the biasing element allows the overall membrane structure to position itself distant from the substrate. In the embodiment shown in **FIG. 1** biasing provides for the upward curled shape of the moveable membrane. Biasing can be accomplished by providing for materials of dissimilar coefficients of thermal expansion, materials having substantive differences in cross-sectional thickness or other material characteristics may also effect biasing. The electrode element provides the moveable membrane with a means for electrostatic actuation. In valve operation a voltage is supplied to the

electrode element and it is electrostatically attracted toward the substrate electrode. As the electrode element comes in contact with the substrate construct, the moveable membrane forms a valve seal that serves to seal-off the aperture formed in the substrate.

The electrostatic MEMS valve device, including the moveable membrane and underlying substrate layers, is constructed using known integrated circuit materials and microengineering techniques. Those skilled in the art will understand that different materials, various numbers of layers, and numerous arrangements of layers may also be used to form the underlying substrate layers and the moveable membrane. Although the MEMS valve device illustrated in the figures will be used as an example to describe manufacturing details, this discussion applies equally to all MEMS valve devices provided by the present invention unless otherwise noted.

Referring to **FIGS. 1** and **2**, a substrate **20** defines a generally planar surface **22** upon which the electrostatic MEMS valve device is constructed. Preferably the substrate comprises a microelectronic substrate, such as silicon, although any suitable substrate material having a generally planar surface can be used. The further processing steps involved in the fabrication of the present invention may be performed at relatively low temperatures and, therefore, the substrate that is used is not limited to conventional higher temperature substrates. By way of example, quartz, glass, or other suitable materials having insulating tendencies may serve as the substrate. A substrate insulator layer **30** typically overlies the planar surface of the substrate and provides electrical isolation. In certain embodiments that implement substrate materials having strong insulation characteristics it may be possible to form the MEMS valve device without the substrate insulator layer. The substrate insulator layer preferably comprises a non-oxidation-based insulator or polymer, such as polyimide or nitride. In this application, oxide based insulators are avoided if certain acids (such as hydrofluoric acid) are used in processing to remove the release layer. The substrate insulator layer is preferably formed by using a standard deposition technique, such as conventional spinning or low-pressure chemical vapor

deposition (LPCVD), to deposit the insulating layer on the planar surface of the substrate.

A substrate electrode **40** is deposited as a generally planar layer affixed to at least a portion of the surface of the underlying substrate insulator layer **30** or substrate **20**. The substrate electrode preferably comprises a gold layer deposited on the top surface of the insulator layer. If the substrate electrode is formed from a layer of gold, optionally a thin layer of chromium may be deposited prior to depositing the substrate signal electrode layer to allow better adhesion to the insulating layer and/or after the substrate signal electrode layer has been deposited to allow better adhesion to any subsequent adjacent materials. Alternatively, other suitable metallic or conductive materials may be used for the substrate signal electrode so long as release layer processing operations does not result in electrode erosion. Standard photolithography and etching techniques are typically used to deposit the electrode on the surface of the substrate.

Once the substrate electrode has been formed, preferably, a substrate dielectric layer **50** is deposited on the substrate electrode to provide for a dielectric that electrically isolates the substrate signal from the electrode element found in the moveable membrane. In embodiments that employ a substrate dielectric layer, this layer serves as the valve seat **52** that surrounds the valve aperture. In a preferred embodiment the substrate dielectric layer will comprise a resiliently compressible material. Resiliency for any given material can be assessed by comparing (a) the ratio of the electrostatic force of the valve around the aperture to the valve seat area (i.e. the applied pressure) versus (b) the product of Young's modulus (measure of elasticity) for the given material and the ratio of the surface roughness of the valve seat to the thickness of the valve seat. The resiliently compressible nature of the substrate dielectric layer will allow for the valve seat to deform upon contact with the moveable membrane. The deforming characteristic of the valve seat provides for a sound valve seal to form, thus providing for improved off-flow. One such resiliently compressable substrate dielectric material comprises polyimide, although other resiliently compressible dielectric insulators or polymers tolerant of release layer processing may also be used. The substrate

dielectric layer is formed using a conventional deposition technique, such as standard spinning techniques or low-pressure chemical vapor deposition LPCVD.

The substrate dielectric layer **50** may be formed with a generally planar surface (as shown in **FIG.1**) or the substrate dielectric layer may be formed with a textured surface. A textured surface at the valve seat **52** area may be preferred in those embodiments in which the moveable membrane "sticks" to the underlying substrate when release is desired. The MEMS phenomena related to the tendency of two mating MEMS surfaces to stick together is known in the art as stiction. By providing for a textured surface at the valve seat less surface area is contacting the moveable membrane when the valve seal is closed and thus less force is necessary to overcome the stiction. Textured surfaces are typically formed during fabrication and the implementation and fabrication of such surfaces is well known in the art.

A release layer (not shown in **FIGS. 1** and **2**), is deposited on the surface of the substrate dielectric layer **50** in the area generally underneath the distal portion of the overlying moveable membrane. The release layer is only deposited on those regions below moveable membrane portions not being affixed to the underlying substrate structure. Preferably, the release layer comprises an oxide or other suitable material that may be etched away when acid is applied thereto. After the overlying layers of the moveable membrane have been deposited on the substrate, the release layer may be removed through standard microengineering acidic etching techniques, such as a hydrofluoric acid etch. When the release layer has been removed, the distal portion **90** of moveable membrane **60** is separated from the underlying surface. The release of the moveable membrane from the substrate in conjunction with the biasing characteristics of the biasing element will typically result in the thin film membrane having a distal portion that has a curled shape. Biasing in the moveable membrane will typically result in the moveable membrane curling away from the substrate (as shown in **FIG. 1**) when no electrostatic force is applied. It is also possible to bias the moveable membrane such that it curls toward the substrate when no electrostatic force is applied.

Biasing in the moveable membrane may be accomplished by providing for biasing element and electrode element materials that differ in thickness, thermal coefficient of expansion or any other known biasing characteristic. Alternately,

biasing may be induced during fabrication by employing process steps that create intrinsic stresses so as to curl the moveable membrane. For example, a polymeric biasing element can be deposited as a liquid and then cured by elevated temperatures so that it forms a solid biasing layer. Preferably, the biasing element may comprise a polymer material having a higher thermal coefficient of expansion than the electrode element. Next, the biasing element and the electrode element are cooled, inducing stresses in the membrane due to differences in the thermal coefficients of expansion. The moveable membrane curls because the polymeric biasing element shrinks faster than the electrode layer.

Additionally, providing differential thermal coefficients of expansion between the biasing element layers and the electrode element layer can create bias. Assuming an increase in temperature, the moveable membrane will curl toward the layer having the lower thermal coefficient of expansion because the layers accordingly expand at different rates. As such, the moveable membrane having two layers with different thermal coefficients of expansion will curl toward the layer having a lower thermal coefficient of expansion as the temperature rises. In addition, two polymer film layers having different thermal coefficients of expansion can be used in tandem with an electrode layer to bias the moveable membrane as necessary.

The layers of the moveable membrane **60** generally overlie the substrate electrode **40** and the aperture **70**. Known integrated circuit manufacturing processes are used to construct the layers comprising moveable membrane **60**. The moveable membrane is comprised of an electrode element and a biasing element. Preferably, one or more layers of the moveable membrane comprise the electrode element and one or more additional layers comprise the biasing element. As shown in **FIG. 1**, one preferred embodiment of the moveable membrane comprises an electrode element layer **62** positioned between two biasing element layers **64** and **66**. It is also possible to configure the moveable membrane with an electrode element layer having only one biasing layer positioned on either side of the electrode element layer. The biasing element layer may also serve as an insulator that allows for the complete electrical isolation between the substrate electrode and the electrode element of the moveable membrane.

Preferably, at least one of the layers comprising the moveable membrane is formed from a flexible material, for instance flexible polymers (i.e. the biasing element) and/or flexible conductors (i.e. the electrodes) may be used. In a preferred embodiment the biasing element will comprise a flexible polymer film used to hold the moveable membrane in a stationary position absent electrostatic forces. In those applications in which the biasing element contacts the substrate to form the valve seal it is preferred that the biasing element comprise a resiliently compressible material. The resiliently compressible nature of the biasing element layer will allow for the valve seal to deform upon contact with the underlying substrate structure. The deforming characteristic of the contacting biasing element surface provides for a sound valve seal to form, thus providing for improved off-flow. A polymer film material that has resiliently compressible characteristics may include a polyimide material, however, other suitable flexible polymers having resilient characteristics and capable of withstanding the release layer etch process can also be employed. In one embodiment both the substrate dielectric layer and the biasing element layer of the moveable membrane are formed of a resiliently compressible material, such as a polyimide material.

The use of polyimide materials in the moveable membrane has been shown to withstand the pressure generated across the aperture that the membrane is intended to seal. Additionally, the strength of polyimide materials has shown to be resistant to rupturing or blistering even after prolonged use. Calculations have shown that the deflection of a polyimide membrane over a hole having a circumference of 80 micrometers with a pressure difference of 300 psi is approximately 0.064 micrometers for a 3 micrometer membrane and 0.22 micrometers for a 2 micrometer membrane. These calculations do not take into account the electrode element layer that will invariably further limit the amount of deflection of the overall moveable membrane.

The electrode element **62** of the moveable membrane **60** preferably comprises a layer of flexible conductor material. The electrode element may be deposited directly upon the uppermost planar surface of the substrate construct and the release layer or over an optional first biasing layer (i.e. polymer film), as needed. The electrode element preferably comprises gold, although other

conductors tolerant of release layer processing and other flexible materials, such as conductive polymer film, may be used. The surface area and/or configuration of the electrode element can be varied as required to allow for the desired electrostatic forces to operate the MEMS valve device. By shaping the electrode element in a predetermined fashion it is possible to effectuate changes in the valve release rate. If gold is used to form the electrode element, a thin layer of chromium may be deposited onto the electrode element to allow better adhesion of the gold layer to the adjacent materials, such as to one or more biasing layers of flexible polymer film or the like.

The number of layers, thickness of layers, arrangement of layers, and choice of materials used in the moveable membrane may be selected to bias the moveable membrane as required. In particular, the distal portion can be varyingly biased as it extends from the fixed portion. The biased position of the distal portion can be customized individually or collectively to provide a desired separation from the underlying planar surface and the substrate electrode. For example, the distal portion can be biased to remain parallel to the underlying planar surface. Alternatively, the distal portion can be biased to alter the separation from the underlying planar surface by curling toward or curling away from the underlying planar surface. Preferably, the distal portion biased to curl away from the underlying substrate and alter the separation therefrom. Those skilled in the art will appreciate that more than one polymer film layer may be used, and that the films may be deposited on either side or both sides of the electrode elements.

When a voltage is applied between the electrode element of the moveable membrane and the substrate electrode, the electrostatic force between the electrode attracts the flexible electrode element towards the substrate, unrolling the moveable membrane to effectuate coverage of the aperture. The close proximity of the two electrodes when the valve is closed results in a strong electrostatic force. This strong electrostatic force results in a valve seal having a low leakage rate. When the voltage is removed from the electrodes, the stress in the film causes the flexible electrode to curl away from the substrate and open the valves. In the open position, since the portion of the membrane that covers the aperture is a relatively

large distance from the substrate, large flows through the aperture can be realized without flow restrictions.

The valve can be configured so that a pressure difference can be applied in either direction across the membrane when the membrane seals the aperture. If the pressure is coming from the backside of the substrate and pushing up against the membrane when the valve is closed, then the pressure will assist in the re-curling of the film when the voltage is removed. If, however, the pressure is coming from the frontside of the substrate and pushing down against the membrane when it is closed, the stress in the membrane will have to work against the applied pressure to open the valve. This pressure build-up can be minimized by providing for a small aperture through the substrate proximate the end of the distal portion of the moveable membrane. Since the stress required to curl up the membrane will be proportional to the overall width of the membrane, the curling stress can be increased in comparison to the pressure exerted at the small pressure-relieving aperture by providing for this small aperture. Once the small pressure-relieving aperture has been opened, the pressure differential across the membrane at the valve aperture will be reduced, making it easier for the stress in the membrane to open the valve. An example of such a pressure-relieving aperture **102** is shown in **FIGS. 1** and **2**.

FIG. 3 illustrates a cross-sectional view of an alternative embodiment of the MEMS electrostatic valve in accordance with the present invention. The MEMS electrostatic valve **10** of this embodiment has a characteristically uniform air gap **110** underlying a medial portion **120** of the moveable membrane **60**. The medial portion of the moveable membrane is defined as the horizontal region between the fixed portion **80** and the distal portion **90**. A release layer (not shown in **FIG. 3**) is deposited on the uppermost layer of the substrate construct in the area underlying the medial and distal portions of the moveable membrane. The release layer is subsequently removed and results in the overall spatial separation between the medial and distal portions of the membrane and the underlying substrate.

The medial portion is constructed generally similar in make-up to the distal portion and, therefore, the differential in thermal coefficients of expansion between the electrode element and the biasing element cause the medial portion to exhibit

curling. The curling nature of the moveable membrane is desired for the distal portion, but is generally undesirable for the medial portion. It is important to provide for a predictable medial portion, and thus a predictable air gap, because predictability lends itself to improved operating voltage characteristics. To alleviate the tendency for the medial portion to curl, a bias control layer **130** is typically provided for that overlies the fixed and medial portions of the moveable membrane and structurally constrains the medial portion. Typically, the bias control layer will overlay the fixed and medial portion of the membrane and extend outward, over the sides of the membrane, in order to allow for the bias control layer to be anchored to the substrate. The biasing control layer can be formed from a metallic material and will generally have a thermal coefficient of expansion that differs from the underlying membrane materials so as to hold the medial portion in a stationary position. The biasing control layer may be a generally solid layer, or it may comprise, lines, grids, cross-hatchings, or other patterns as required to support the medial portion and control the shape of the air gap.

Alternatively, the medial portion **120** of the moveable membrane **60** can be restrained during release by implementing tabs **104** (shown in the plan view perspective of FIG. 2) on the moveable membrane at the fixed portion **80**. The tabs, which are typically extensions of the layers that comprise the membranes, provide an added holding force to insure that a uniform air gap is provided for under the medial portion. The tabs may be formed from one or more layers that comprise the moveable membrane.

FIG. 4 illustrates a cross-sectional view of yet another alternative embodiment of the MEMS electrostatic valve in accordance with the present invention. The MEMS electrostatic valve **10** of this embodiment has a characteristic decreasing air gap **150** underlying a medial portion **120** of the moveable membrane **60**. In this embodiment the cantilevered portion slopes downward until it contacts the underlying substrate construct at which point the moveable membrane transitions into the distal portion and the membrane curls away from the underlying planar surface. By way of example, the sloping medial portion may be fabricated by patterning the biasing layer so as to effect a thin

region at the inflection area **160** or patterning the sloping region of the medial portion to cause the medial portion to slope toward the substrate.

By predefining the shape of the air gap, recently developed MEMS electrostatic devices can operate with lower and less erratic operating voltages. Further discussion of recently development MEMS electrostatic devices having predefined air gaps is being omitted from this disclosure so as not to overcomplicate the present invention. For an example of a recently developed improved MEMS device, see United States Patent Application No. 09/320,891, entitled "Micromachined Electrostatic Actuator with Air Gap" filed on May 27, 1999, in the name of inventor Goodwin-Johansson and assigned to MCNC, the assignee of the present invention. That application is herein incorporated by reference as if set forth fully herein.

Increased gas or liquid flows can be achieved by creating an array of apertures defined with a single substrate. **FIGS. 5 - 7** illustrate perspective views of various MEMS electrostatic valve arrays in accordance with further embodiments of the present invention. **FIG. 5** is a MEMS valve array **200** wherein apertures **210** are defined within the substrate **220** in a predetermined arrangement and each valve aperture has a corresponding moveable membrane **230**. By selectively addressing electrode elements within the individual membranes variable flow rates can be obtained by controlling the number of valves opened and closed.

FIG. 6 is a MEMS valve array **250** wherein apertures **210** are defined within the substrate **220** in a predetermined arrangement and each valve aperture has a corresponding fixed substrate electrode disposed on the substrate. By selectively addressing the fixed substrate electrodes **260** within the substrate variable flow rates can be obtained by controlling the number of valves opened and closed. With a single large moveable membrane **230** this will typically involve supplying voltage to a row(s) of apertures. Rows in this context are defined as lines of apertures running perpendicular to the lengthwise direction of the moveable membrane. For example if electrostatic voltage is supplied to the substrate electrodes associated with the row of apertures nearest the fixed portion of the valve structure, the moveable membrane will be pulled down to seal-off

these apertures and the remaining distal portion of the membrane will maintain a curled position. Additionally, an array of this nature may provide for the rows of apertures to be canted, at a slight angle, with respect to the underlying rows of substrate electrodes to provide for a greater degree of variable flow as opposed to step-like changes in flow. It is also possible and within the inventive concepts herein disclosed to configure an array that combines the individual membranes of the **FIG. 5** embodiment with the individual substrate electrodes of the **FIG. 6** embodiment.

FIG. 7 is a MEMS valve array **270** wherein apertures **210** are defined within the substrate **220** in a predetermined arrangement and the moveable membrane **230** has a shaped electrode element **280** (outlined in **FIG.7** by the broken double lines) that allows for the amount of membrane uncurling to be proportional to the amount of voltage supplied to the electrode element. In this regard, supplying full voltage to the electrode element will cause the moveable membrane to fully uncurl thus sealing-off all valves in the array. In instances where less than full voltage is supplied the membrane may uncurl partially, thus sealing-off only those valves underlying the uncurled portion of the membrane. The shape of the electrode element is shown by way of example. The shape of the electrode element will be predetermined based upon size of the moveable membrane, size of the array and the configuration of the array. Alternately, the shaped electrode can be the substrate electrode. Shaping the substrate electrode, as opposed to the membrane electrode, may be preferred to insure uniform curl in the moveable membrane.

Additionally, the present invention provides for a method of making a MEMS valve device driven by electrostatic forces. **FIGS. 8- 11** illustrate various stages in the fabrication of the MEMS electrostatic valve, in accordance with a method of making embodiment of the present invention. This method, in which initial aperture formation commences prior to the valve construction and is completed after valve construction, has the advantage of allowing the alignment between the aperture and the surrounding substrate electrode to be performed on the frontside of the substrate construct. Since the moveable membrane needs to be formed so that it overlies the aperture, the final opening of the aperture will be

completed after the formation of the membrane. The thin film nature of the fabrication technology requires that the build surfaces be generally flat prior to forming the substrate electrode and the flexible electrode element of the membrane.

FIG. 8 is an illustration of a cross-sectional view of a substrate **300** that has undergone backside etch to define a large cavity **310** and front side etch to define valve apertures **320**. Initially, a large cavity may be defined in the backside of the substrate. Typically, a conventional wet etch process will be used to form the large cavity. The large cavity, typically, results in thinning the substrate down to approximately 50 micrometers, although other desirable thicknesses are also possible. The large cavity etch process is an optional process that provides for minimization of flow restrictions and simplifies the subsequent formation of the valve apertures. After the large cavity is formed, the valve apertures are etched partially through the frontside of the substrate. Typically a reactive ion etch (RIE) process will used to perform the precision etching required of the valve apertures. A sacrificial plug material **330** is then disposed in the apertures to facilitate a continuous substrate layer upon which the valve can be constructed. The sacrificial plug material will typically comprise copper or any other suitable material may be used as the sacrificial plug material. Once the plug material has been disposed, it is typically subjected to a polishing procedure to assure planarization of the surface and ready the substrate for valve construction.

FIG. 9 depicts a cross-sectional view of the MEMS valve construct after the valve structure has been formed on the frontside surface of the substrate. Typically, the formation of the valve structure will include disposing an insulator layer **340** on the substrate; disposing, patterning and etching a substrate electrode layer **350** on the insulator layer; and disposing a dielectric layer **360** on the substrate electrode layer. The formation of these layers is followed by the formation of a release layer **370**, typically an oxide that will subsequently be removed to facilitate release of a portion of the membrane from the substrate. The membrane **380** is then disposed on the release layer and anchored to the substrate via the dielectric layer. In the embodiment shown, the membrane comprises a first biasing element/dielectric layer **390** disposed on the release layer and the dielectric

layer, an electrode element layer **400** disposed on the first biasing element/dielectric layer and a second biasing element layer **410** disposed on the electrode. These valve construct layers and fabrication steps are shown by way of example, other layering sequences are possible and within the inventive concepts herein disclosed. The surfaces that will eventually form the valve seat and the valve cover may be textured surfaces to allow for the MEMS device to overcome common release problems related to stiction. In the embodiment shown it may be desirable to texture the dielectric layer **360** and/or the first biasing element/dielectric layer **390**. The texturing of these surfaces can be accomplished in conjunction with the deposition and removal of the release layer. The process of texturing a surface on a MEMS device is well known by those of ordinary skill in the art.

FIG. 10 illustrates a cross-sectional view of the MEMS valve construct after the backside of the substrate has been etched to expose the plug material, the plug material is removed and the aperture **320** has been etched to expose the release layer. The backside etch of the substrate is typically performed with a wet etch process. Once the etch process exposes the backside of the sacrificial plug material, the plug is removed by performing an etch process. Typically, the plug material will be removed by a conventional wet etch process. After the plug material has been removed, the aperture is furthered formed into the valve construct up to the release layer **370**. A reactive ion etch process will, typically, be used to further form the aperture and insure that the aperture has precision facings. **FIG. 11** shows the completed MEMS valve construct after the release layer has been removed, thus, allowing for the distal portion of the membrane to be released from the substrate.

This method, in which initial aperture formation commences prior to the valve construction and is completed after valve construction, has the advantage of allowing the alignment between the aperture and the surrounding substrate electrode to be performed on the frontside of the substrate construct.

Many modifications and other embodiments of the invention will come to mind to one skilled in the art to which this invention pertains having the benefit of the teachings presented in the foregoing descriptions and the associated drawings.

Therefore, it is to be understood that the invention is not to be limited to the specific embodiments disclosed and that modifications and other embodiments are intended to be included within the scope of the appended claims. Although specific terms are employed herein, they are used in a generic and descriptive sense only and not for purposes of limiting the scope of the present invention in any way.

THAT WHICH IS CLAIMED:

1. A MEMS (Micro Electro Mechanical System) valve driven by electrostatic forces, comprising:

a substrate defining an aperture therethrough;

a substrate electrode disposed upon said substrate;

a moveable membrane generally overlying said substrate electrode and said aperture, the moveable membrane comprising an electrode element and a biasing element, wherein the moveable membrane includes a fixed portion attached to said substrate and a distal portion adjacent to the fixed portion, the distal portion being moveable with respect to said substrate electrode; and

at least one resiliently compressible dielectric layer disposed between said substrate electrode and said membrane electrode element,

whereby a voltage differential established between said substrate electrode and said moveable membrane electrode element moves said membrane relative to said aperture to thereby controllably adjust the portion of said aperture covered by said moveable membrane.

2. The MEMS valve of Claim 1, wherein said at least one resiliently compressible dielectric layer comprises a first resiliently compressible dielectric layer disposed on said substrate electrode, wherein said substrate, said substrate electrode and said first resiliently compressible dielectric layer cooperate to define the aperture therethrough and said first resiliently compressible dielectric layer defines a valve seat.

3. The MEMS valve of Claim 2, wherein said first resiliently compressible dielectric layer comprises a textured valve seat surface, wherein the textured valve seat surface facilitates release of the moveable membrane during valve operation.

4. The MEMS valve of Claim 2, wherein said first resiliently compressible dielectric layer comprises a polyimide material.

5. The MEMS valve of Claim 1, wherein said at least one resiliently compressible dielectric layer is a first resiliently compressible dielectric layer disposed on said moveable membrane and defines a surface that acts as a valve seal.

6. The MEMS valve of Claim 5, wherein said first resiliently compressible dielectric layer comprises a textured valve seal surface, wherein the textured valve seal surface facilitates release of the moveable membrane during valve operation.

7. The MEMS valve of Claim 5, wherein said first resiliently compressible dielectric layer comprises a polyimide material.

8. The MEMS valve of Claim 1, wherein said at least one resiliently compressible dielectric layer comprises a first resiliently compressible dielectric layer disposed on said substrate and a second resiliently compressible dielectric layer disposed on said moveable membrane, wherein the first resiliently compressible dielectric layer defines a valve seat and the second resiliently compressible dielectric layer defines a valve seal.

9. The MEMS valve of Claim 8, wherein said first resiliently compressible dielectric layer comprises a textured valve seat surface and said second resiliently compressible dielectric layer comprises a textured valve seal surface, wherein the textured valve seal surface and the textured valve seat surface facilitate release of the moveable membrane during valve operation.

10. The MEMS valve of Claim 8, wherein said first and second resiliently compressible dielectric layers comprise polyimide materials.

11. The MEMS valve of Claim 1, wherein said aperture is generally cylindrical in shape.

12. The MEMS valve of Claim 1, wherein said aperture is generally funnel-like in shape, having a smaller radius nearest the moveable membrane and a larger radius nearest the backside of the substrate.

13. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said moveable membrane conforms, at least in part, to the surface of said substrate that faces said moveable membrane when said moveable membrane distal portion has been moved toward said substrate.

14. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said electrode element and biasing element are formed from at least one generally flexible material.

15. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said biasing element comprises at least one polymer film layer.

16. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said biasing element comprises two polymer film layers deposited on opposite sides of an electrode layer comprising said electrode element.

17. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said electrode element and said biasing element have different thermal coefficients of expansion.

18. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said biasing element comprises at least two polymer films of different thickness.

19. The MEMS valve according to Claim 18, wherein said at least two polymer films of different thickness comprise a first polymer film having a thinner thickness deposited on a surface of the electrode element nearest said substrate and a second polymer film having a thicker thickness deposited on a surface of the electrode element furthest from said substrate.

20. The MEMS valve device according to Claim 1, wherein said biasing element comprises at least two polymer films of different coefficients of expansion.

21. The MEMS valve according to Claim 1, wherein the distal portion of said moveable membrane is biased so as to curl away from said substrate when no electrostatic force is created between said electrode element and said substrate electrode.

22. The MEMS valve according to Claim 1, further comprising a source of electrostatic energy electrically connected to at least one of said substrate electrode and said electrode element.

23. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said substrate electrode has a predetermined shape.

24. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said electrode element has a predetermined shape.

25. The MEMS valve according to Claim 1, wherein said substrate further defines a pressure-relieving aperture that underlies said moveable membrane.

26. The MEMS valve according to Claim 1 wherein said substrate and said substrate electrode cooperate to define the aperture therethrough.

27. A MEMS valve driven by electrostatic forces, comprising:

a substrate having a generally planar surface;

a first substrate dielectric layer disposed on the generally planar surface of said substrate;

a substrate electrode disposed upon said first substrate dielectric layer;

a second substrate dielectric layer disposed upon said substrate electrode, wherein said substrate, said first substrate dielectric layer, said substrate electrode and said second substrate dielectric layer cooperate to define an aperture therethrough; and

a moveable membrane generally overlying said substrate electrode and said aperture, the moveable membrane comprising a first biasing layer, a membrane electrode layer disposed on said first biasing layer and a second biasing layer disposed on said membrane electrode layer, wherein the moveable membrane includes a fixed portion attached to said substrate and a distal portion adjacent to the fixed portion, the distal portion being moveable with respect to said substrate electrode,

whereby a voltage differential established between said substrate electrode and said membrane electrode layer moves said membrane relative to said aperture to thereby controllably adjust the portion of said aperture covered by said moveable membrane.

28. A MEMS valve array driven by electrostatic forces, comprising:

a substrate that defines a plurality of apertures therethrough;

a substrate electrode disposed upon said substrate;

a moveable membrane generally overlying said substrate electrode and said plurality of apertures, the moveable membrane comprising an electrode element and a biasing element, wherein the moveable membrane includes a fixed portion attached to said substrate and a distal portion adjacent to the fixed portion, the distal portion being moveable with respect to said substrate electrode; and

at least one dielectric layer disposed between said substrate electrode and said electrode element,

whereby a voltage differential established between said substrate electrode and said electrode element moves said membrane relative to said plurality of apertures to thereby controllably adjust the portion of the plurality of apertures covered by said moveable membrane.

29. A MEMS valve array driven by electrostatic forces, comprising:

a substrate that defines a plurality of apertures therethrough;

a plurality of substrate electrodes disposed upon said substrate, wherein each substrate electrode has a corresponding aperture;

a moveable membrane generally overlying said plurality of substrate electrodes and said plurality of apertures, the moveable membrane comprising an electrode element and a biasing element, wherein the moveable membrane includes a fixed portion attached to said substrate and a distal portion adjacent to the fixed portion, the distal portion being moveable with respect to said plurality of substrate electrodes; and

at least one dielectric layer disposed between said substrate electrode and said electrode element,

whereby a voltage differential established between one or more of the plurality of said substrate electrodes and said electrode element moves said membrane relative to said plurality of apertures to thereby controllably adjust the portion of said plurality of apertures covered by said moveable membrane.

30. The MEMS valve array of Claim 29, wherein the plurality of apertures are positioned in rows that extend generally perpendicular to a lengthwise direction of the moveable membrane.

31. The MEMS valve array of Claim 30, wherein the rows of apertures are generally canted at a predetermined angle with respect to the corresponding substrate electrode to provide variable flow.

32. A MEMS valve array driven by electrostatic forces, comprising:

a substrate that defines a plurality of apertures therethrough;

a substrate electrode disposed upon said substrate;

a plurality of moveable membranes that each generally overlie a portion of said substrate electrode and a corresponding aperture of said plurality of apertures, each moveable membranes comprising an electrode element and a biasing element, wherein each moveable membrane includes a fixed portion

attached to said substrate and a distal portion adjacent to the fixed portion, the distal portion being moveable with respect to said substrate electrode; and

at least one dielectric layer disposed between said substrate electrode and said electrode element,

whereby a voltage differential established between said substrate electrode and at least one electrode element, moves at least one membrane relative to the corresponding apertures to thereby controllably adjust the portion of the plurality of apertures covered by said moveable membranes.

33. A method for fabricating a MEMS valve driven by electrostatic forces, the method comprising the steps of:

etching a frontside of the substrate to define a valve aperture extending at least partially through the substrate;

filling the valve aperture with a sacrificial plug material;

forming a membrane valve structure on the frontside of the substrate and overlying the valve aperture;

etching a backside of the substrate to expose the sacrificial plug;

removing the sacrificial plug material;

etching the backside of the valve aperture partially through the membrane valve structure to a release layer; and

etching the release layer to at least partially release a moveable membrane from the substrate.

34. The method of Claim 33, wherein the step of forming a moveable membrane valve structure comprises the substeps of:

disposing a first substrate dielectric layer upon the frontside of the substrate;

disposing a substrate electrode upon the first substrate dielectric layer;

disposing a second substrate dielectric layer upon the substrate electrode;

disposing a release layer upon the second substrate dielectric layer;

disposing a first biasing layer upon said release layer and the second substrate dielectric layer;

disposing a membrane electrode upon the first biasing layer; and

disposing a second biasing layer upon said membrane electrode.

35. The method of Claim 33, further comprising the step of:

etching a backside of a substrate to define a cavity in the substrate prior to etching the frontside of the substrate to define a valve aperture.

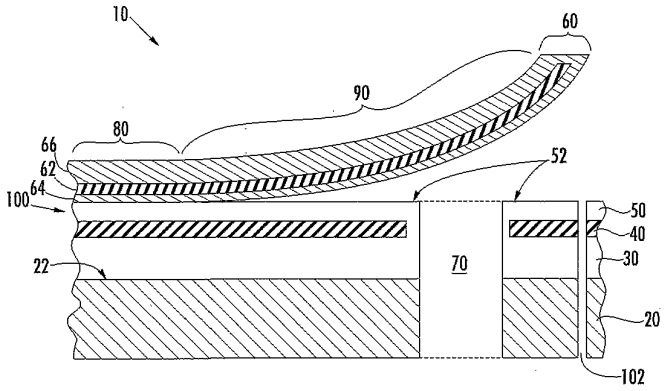


FIG. 1.

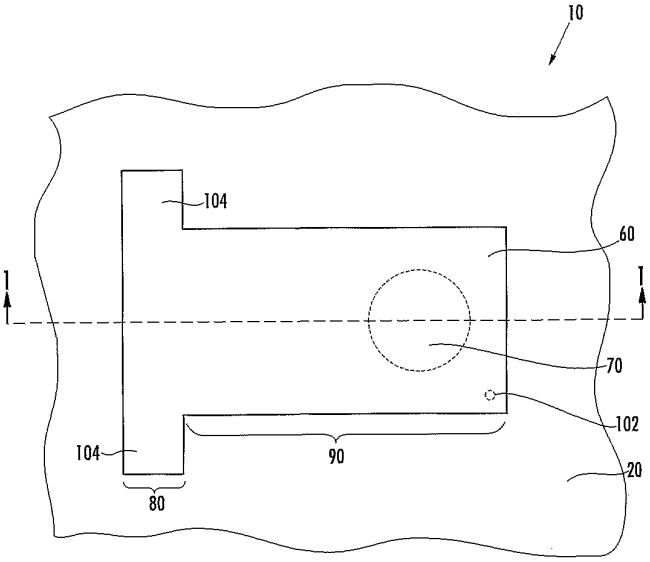


FIG. 2.

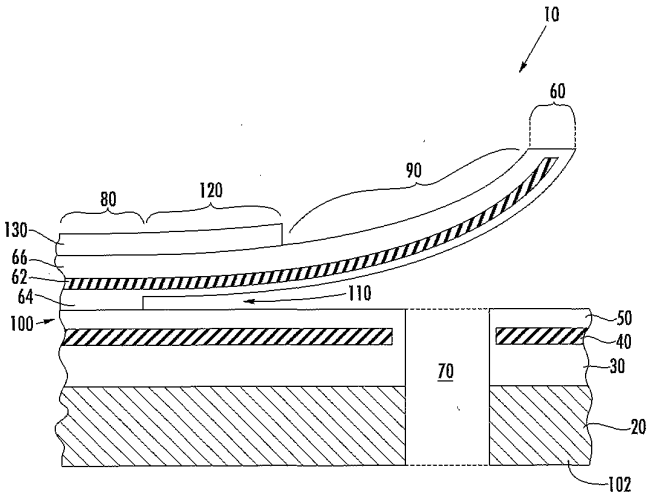


FIG. 3.

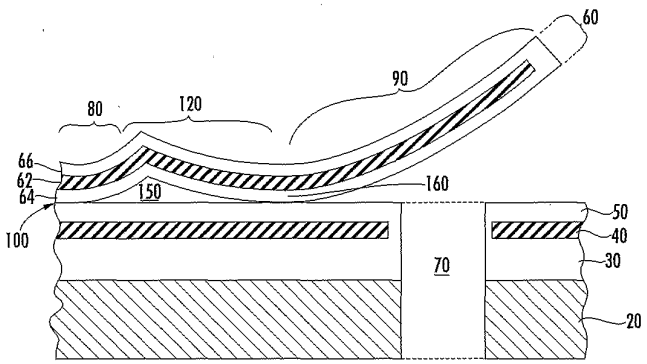


FIG. 4.

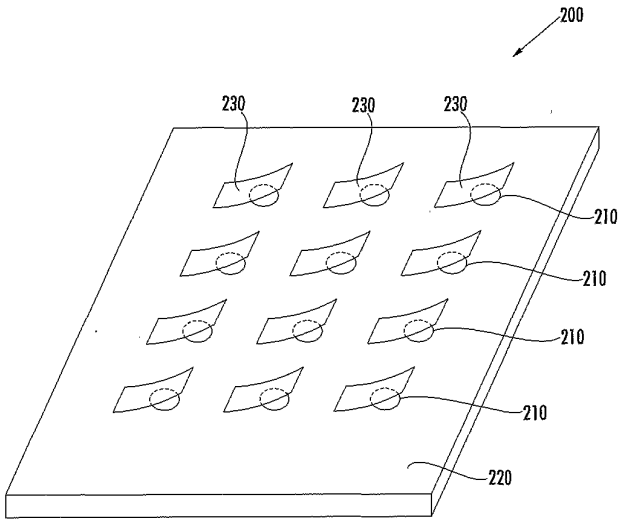


FIG. 5.

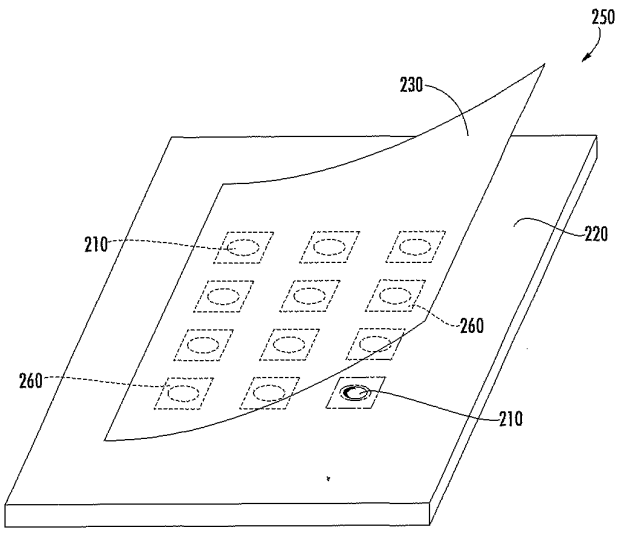


FIG. 6.

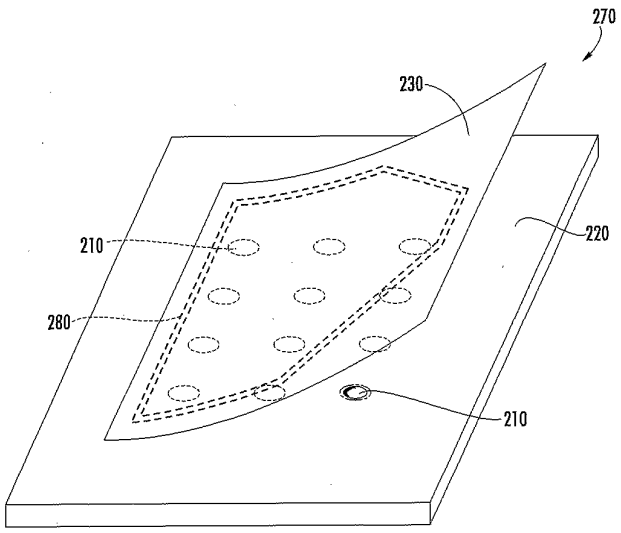


FIG. 7.

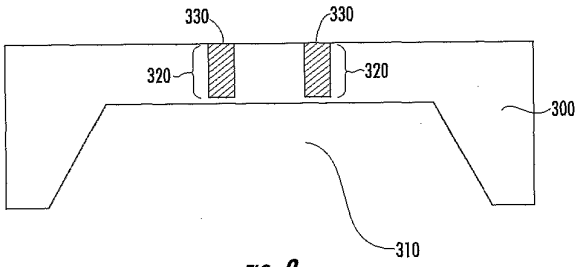


FIG. 8.

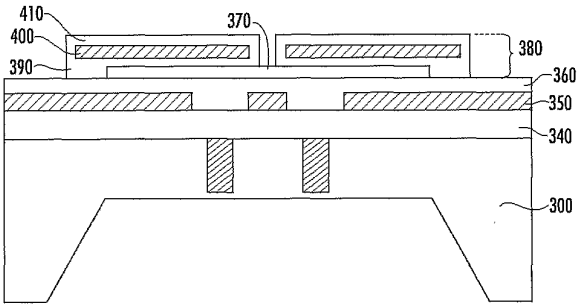


FIG. 9.

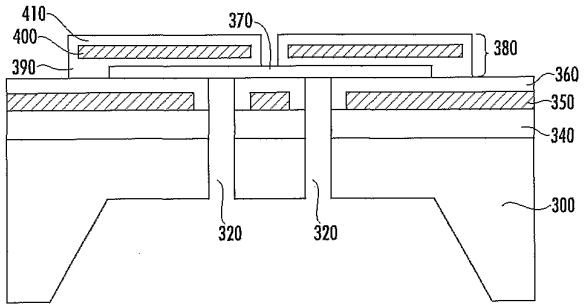


FIG. 10.

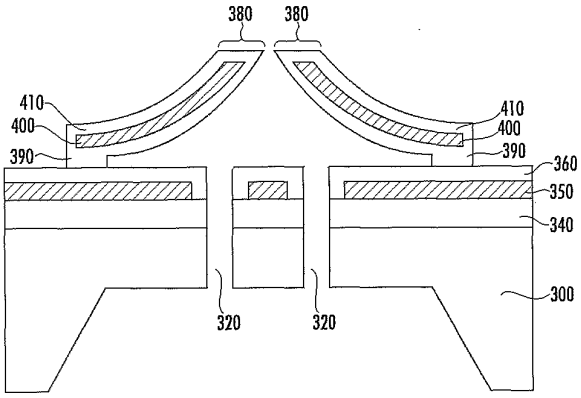


FIG. 11.

【国際公開パンフレット（コレクトバージョン）】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
21 March 2002 (21.03.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/022492 A3

(51) International Patent Classification[7]: B81B 3/00, F16J 3/02, F15C 5/00

(21) International Application Number: PCT/US01/28608

(22) International Filing Date:
14 September 2001 (14.09.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/661,997 14 September 2000 (14.09.2000) US

(71) Applicant *(for all designated States except US)*: **MCNC** [US/US]; 3021 Cornwallis Road, P.O. Box 12889, Research Triangle Park, NC 27709 (US).

(72) Inventors; and

(75) Inventors/Applicants *(for US only)*: **GOODWIN-JOHANSSON, Scott, H.** [US/US]; 5238 Old Graham Road, Pittsboro, NC 27312 (US). **MCGUIRE, Gary, E.** [US/US]; 9323 Charles Lane, Chapel Hill, NC 27516 (US).

(74) Agents: **EDWARDS, James, C.** et al.; Alston & Bird LLP, Suite 4000, Bank of America Plaza, 101 South Tryon Street, Charlotte, NC 28280-4000 (US).

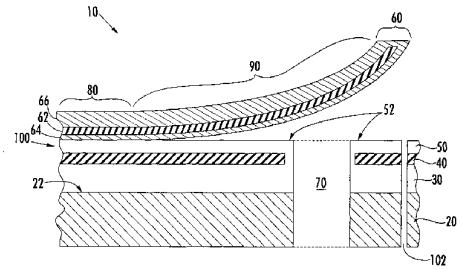
(81) Designated States *(national)*: AE, AG, AL, AM, AT (utility model), AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ (utility model), DE (utility model), DK (utility model), DM, DZ, EC, EE (utility model), ES, FI (utility model), GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK (utility model), SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA.

(84) Designated States *(regional)*: ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
with international search report

[Continued on next page]

(54) Title: MICROELECTROMECHANICAL FLEXIBLE MEMBRANE ELECTROSTATIC VALVE DEVICE AND RELATED FABRICATION METHODS



(57) Abstract: A MEMS valve device driven by electrostatic forces is provided. The MEMS valve device includes a substrate having an aperture formed therein, a substrate electrode, a moveable membrane that overlies the aperture and has an electrode element and a biasing element. Additionally, at least one resiliently compressible dielectric layer is provided to insure electrical isolation between the substrate electrode and electrode element of the moveable membrane. In operation, a voltage differential is established between the substrate electrode and the electrode element of the moveable membrane to move the membrane relative to the aperture to thereby controllably adjust the portion of the aperture that is covered by the membrane. In another embodiment the resiliently compressible dielectric layer(s) have a textured surface; either at the valve seat, the valve seal or at both surfaces. In another embodiment of the invention a pressure-relieving aperture is defined within the substrate and is positioned to underlie the moveable membrane.

WO 02/022492 A3

WO 02/022492 A3

before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(88) Date of publication of the international search report:
1 August 2002

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int ional Application No
PCT/US 01/28608

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B81B3/00 F16J3/02 F15C5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 B81B F15C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 435 237 A (HONEYWELL INC) 3 July 1991 (1991-07-03) figures 1-5 column 3, line 6 -column 7, line 24	1,2,5,8, 11-14, 17,21-35
Y		3,4,6,7, 9,10,15, 16,18-20
Y	EP 0 829 649 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 18 March 1998 (1998-03-18) figure 2 column 5, line 48 -column 6, line 17	3,6,9

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C. [X] Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

'E' earlier document but published on or after the international filing date

'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

'&' document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 May 2002	27/05/2002

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Polesello, P

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/US 01/28608

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	GB 2 334 000 A (HEWLETT PACKARD CO) 11 August 1999 (1999-08-11) figures 7A-7F,8 page 11, line 10 -page 12, line 25	4,7,10, 15,16, 18-20
X	US 5 441 597 A (OHNSTEIN THOMAS R ET AL) 15 August 1995 (1995-08-15) figures 4,5,10-14 column 6, line 1 - line 52 column 9, line 64 -column 13, line 65	1,2,5,8, 11-14, 17,21-32
A		3,4,6,7, 9,10,15, 16, 18-20, 33-35
X	CH 677 136 A (UNIV NEUCHATEL) 15 April 1991 (1991-04-15) figures 1-5,7-12 column 3, line 34 -column 5, line 33 column 6, line 20 -column 7, line 30	1,2,5,8, 12-14, 17,22-26
A		3,4,6,7, 9-11,15, 16, 18-21, 27-35
A	US 5 759 870 A (LIN LIWEI ET AL) 2 June 1998 (1998-06-02) figures 3,4 column 3, line 18 -column 5, line 29	33-35

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int tional Application No
PCT/US 01/28608

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)			Publication date
EP 0435237	A	03-07-1991	US	5082242	A	21-01-1992
			CA	2025405	A1	28-06-1991
			DE	69014843	D1	19-01-1995
			DE	69014843	T2	18-05-1995
			EP	0435237	A1	03-07-1991
			JP	3041538	B2	15-05-2000
			JP	3234982	A	18-10-1991
			US	5180623	A	19-01-1993
			US	5244537	A	14-09-1993
EP 0829649	A	18-03-1998	DE	19637878	A1	02-04-1998
			EP	0829649	A2	18-03-1998
GB 2334000	A	11-08-1999	US	5838351	A	17-11-1998
			GB	2306399	A ,B	07-05-1997
			JP	9131891	A	20-05-1997
			US	5897789	A	27-04-1999
US 5441597	A	15-08-1995	US	5323999	A	28-06-1994
CH 677136	A	15-04-1991	CH	677136	A5	15-04-1991
US 5759870	A	02-06-1998	NONE			

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PH,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA

(72)発明者 グッドウィン－ヨハンソン，スコット・エイチ
アメリカ合衆国ノースカロライナ州２７３１２，ピッツボロ，オールド・グレアム・ロード ５２３８
(72)発明者 マグワイア，ゲイリー・イー
アメリカ合衆国ノースカロライナ州２７５１６，チャペル・ヒル，チャールズ・レイン ９３２３

Ｆターム(参考) 3H058 AA15 BB04 BB22 CA12 CD09 DD12 DD16 EE05
3H062 AA01 AA12 BB30 CC11 CC27 HH02 HH03 HH10