

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5707884号
(P5707884)

(45) 発行日 平成27年4月30日(2015.4.30)

(24) 登録日 平成27年3月13日(2015.3.13)

(51) Int. Cl.

F I

F O 4 B 43/02 (2006.01)
B 8 1 B 3/00 (2006.01)
H O 1 L 23/473 (2006.01)

F O 4 B 43/02 B
 F O 4 B 43/02 C
 F O 4 B 43/02 N
 B 8 1 B 3/00
 H O 1 L 23/46 Z

請求項の数 7 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2010-254252 (P2010-254252)
 (22) 出願日 平成22年11月12日(2010.11.12)
 (65) 公開番号 特開2012-102710 (P2012-102710A)
 (43) 公開日 平成24年5月31日(2012.5.31)
 審査請求日 平成25年8月5日(2013.8.5)

(73) 特許権者 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100146776
 弁理士 山口 昭則
 (72) 発明者 壺井 修
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72) 発明者 水野 義博
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロポンプ及びこれを用いた半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

熱源である半導体素子との接触面を有する高温側部材と、
 放熱側に位置する低温側部材と、
 前記高温側部材と前記低温側部材の間に位置する中間層と、
 前記中間層と前記低温側部材の間で流路の一部を形成するチャンパーと、
 を備え、

前記中間層は、ダイアフラムと、前記高温側部材からの吸熱及び前記低温側部材からの放熱により前記ダイアフラムを変位させる変位手段と、を含み、

前記ダイアフラムは、変位前の第1位置と、前記変位により前記低温側部材と接する第2位置との間を変位することにより、前記チャンパー内への流体の取り込みと排出を行なわせることを特徴とするマイクロポンプ。

【請求項2】

前記変位手段は、第1の線膨張係数を有して前記高温側部材側に位置する第1部材と、前記第1の線膨張係数よりも小さい第2の線膨張係数を有して前記高温側部材と反対側に位置する第2部材とを含むパイメタルであることを特徴とする請求項1に記載のマイクロポンプ。

【請求項3】

前記ダイアフラムは、前記第1位置において前記高温側部材と接していることを特徴とする請求項2に記載のマイクロポンプ。

10

20

【請求項 4】

前記変位手段は、前記ダイヤフラムと前記高温側部材の間に配置される片持ち梁構造のバイメタルであることを特徴とする請求項 2 に記載のマイクロポンプ。

【請求項 5】

前記中間層は、前記チャンバーに前記流体を導入する流体導入路に位置する第 1 バルブと、前記チャンバーから前記流体を排出する流体排出路に位置する第 2 バルブをさらに含み、前記ダイヤフラム、前記第 1 バルブ、及び前記第 2 バルブは一体形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載のマイクロポンプ。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載のマイクロポンプと、
前記マイクロポンプの高温側部材に接触する半導体素子と、
前記マイクロポンプに接続されて前記流体を循環させる循環系と
を含む半導体装置。

10

【請求項 7】

前記循環系に接続される主ポンプをさらに含むことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロポンプと、これを用いた半導体装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

マイクロポンプはダイヤフラムの変形に追従して生じる流路の容積変化を利用して流路内の流体を搬送、送出するものである。メカニカルに駆動されるマイクロポンプでは、ダイヤフラムに圧電材料が用いられるのが一般的である。マイクロポンプは、マイクロチャンネルやインクジェットヘッドに適用されている他、CPU等の発熱体の水冷システムにも適用が検討されている。

【0003】

近年のLSIの微細化・高集積による発熱量の増大に対しては、電源電圧の低減をはかる方向で発熱量を緩和する開発が進められてきた。しかし、低電圧で動作する回路ではトランジスタの閾値電圧を低く設定する必要があり、リーク電流を増大させてしまい、低電圧化による発熱量の低減は限界に達している。このような背景で、1cm²あたり100Wという原子炉に並ぶ極めて高密度な熱源であるLSIを高効率に冷却できる低コストの冷却システムが望まれている。また、CPUなどの信号処理を行う半導体素子だけでなく、半導体レーザーや照明用発光ダイオードにおいても、同様に低コストの冷却システムが望まれている。

30

【0004】

従来の空冷ファンに代わる高効率冷却の手段の一つに水冷システムがある。水冷システムではウォータジャケット（水枕）と呼ばれる密閉型ヒートシンクに冷媒（冷却水）を流して冷却を行う。冷媒の循環にはポンプが用いられる。しかし、ポンプの使用は、コスト面でもそれ自体の消費電力を要する点でも従来にない負担が付加されるため、導入が遅れている。また、水枕を微細化してウォータジャケットを作成すると、水路の圧力損が増えるためポンプが行う機械的仕事量の増加を招き、その結果消費電力を増大させるという欠点がある。ポンプの大型化はコスト増を招き、消費電力の増加は排出熱量の増加となる。

40

【0005】

これらの理由から、有効な手段は補助ポンプの使用である。しかし、従来から用いられている圧電ダイヤフラムによるポンプでは、ポンプに機械的な仕事を行わせるために電力の供給が必要である。しかし、圧電アクチュエータは動作電圧が高く、駆動回路における電気エネルギーを伴う。また、圧電体の変位量が小さいためポンプの流量を増やすのが困難である。

50

【0006】

インク噴出装置の可撓性ダイアフラムにバイメタル積層体を用いる構成が知られている（たとえば、特許文献1参照）。また、弁の可撓部にバイメタルを用いて弁の開閉を行なうマイクロバルブも知られている（たとえば、特許文献2参照）。しかし、特許文献1では、バイメタル積層体を磁場の作用で湾曲させているため、バイメタル積層体上に複数の電極を直列に設けて電流を印加しなければならない。また、特許文献2では、ヒーターで加熱することによってバイメタルを熱変形させているので、電気エネルギーの供給が必要である。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0007】

【特許文献1】特開昭52-055534号公報

【特許文献2】特開2000-266223号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記課題に鑑みて、外部からの電気エネルギーの供給なしに自律的に動作するマイクロポンプと、これを利用した半導体装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

20

上記課題を達成するために、第1の側面では、マイクロポンプは、熱源側に位置する高温側部材と、放熱側に位置する低温側部材と、前記高温側部材と前記低温側部材の間に位置する中間層と、前記中間層と前記低温側部材の間で流路の一部を形成するチャンバーと、を備え、

前記中間層は、ダイアフラムと、前記高温側部材からの吸熱及び前記低温側部材からの放熱により前記ダイアフラムを変位させる変位手段と、を含み、

前記ダイアフラムは、変位前の第1位置と、前記変位により前記低温側部材と接する第2位置との間を変位することにより、前記チャンバー内への流体の取り込みと排出を行な

30

【0010】

第2の側面では、マイクロポンプを用いた半導体装置を提供する。半導体装置は、上述した構成を有するマイクロポンプと、前記マイクロポンプの高温側部材に接触する半導体素子と、前記マイクロポンプに接続されて前記流体を循環させる循環系とを含む。

【発明の効果】

【0011】

上記の構成により、外部からの電気エネルギーの供給なしにマイクロポンプを自律的に動作させることが可能になる。冷却システムを内蔵する半導体装置にマイクロポンプを組み込む場合は、高い冷却効率を達成することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】実施例1のマイクロポンプの原理を説明するための概略構成図である。

【図2】図1のマイクロポンプの動作シーケンスを示す図である。

【図3A】第1基板を用いた中間層の形成工程を示す図である。

【図3B】第1基板を用いた中間層の形成工程を示す図である。

【図3C】第1基板を用いた中間層の形成工程を示す図である。

【図3D】第1基板を用いた中間層の形成工程を示す図である。

50

- 【図 3 E】第 1 基板を用いた中間層の形成工程を示す図である。
- 【図 3 F】第 1 基板を用いた中間層の形成工程を示す図である。
- 【図 3 G】第 1 基板を用いた中間層の形成工程を示す図である。
- 【図 4 A】第 2 基板を用いた高温側部材の形成工程を示す図である。
- 【図 4 B】第 2 基板を用いた高温側部材の形成工程を示す図である。
- 【図 4 C】第 2 基板を用いた高温側部材の形成工程を示す図である。
- 【図 4 D】第 2 基板を用いた高温側部材の形成工程を示す図である。
- 【図 4 E】第 2 基板を用いた高温側部材の形成工程を示す図である。
- 【図 5】第 1 基板と第 2 基板の積層加工の工程を示す図である。
- 【図 6】第 3 基板を用いた低温側部材の形成工程を示す図である。 10
- 【図 7】第 3 基板の第 1 基板への積層加工の工程を示す図である。
- 【図 8 A】実施例で用いたバイメタルによるダイアフラムの変形シミュレーションの結果を示す図である。
- 【図 8 B】図 8 A のデータに基づく変位分布図である。
- 【図 9】バイメタルによるマイクロポンプの変形例 1 を示す図である。
- 【図 10】バイメタルによるマイクロポンプの変形例 2 を示す図である。
- 【図 11】バイメタルによるマイクロポンプの変形例 3 を示す図である。
- 【図 12】バイメタルによるマイクロポンプを用いた半導体装置の概略構成図である。
- 【図 13】実施例 2 のマイクロポンプの概略構成図である。
- 【図 14】図 13 のマイクロポンプの動作シーケンスを示す図である。 20
- 【図 15 A】実施例 2 のマイクロポンプの中間層の形成工程図である。
- 【図 15 B】実施例 2 のマイクロポンプの中間層の形成工程図である。
- 【図 15 C】実施例 2 のマイクロポンプの中間層の形成工程図である。
- 【図 15 D】実施例 2 のマイクロポンプの中間層の形成工程図である。
- 【図 15 E】実施例 2 のマイクロポンプの中間層の形成工程図である。
- 【図 15 F】実施例 2 のマイクロポンプの中間層の形成工程図である。
- 【図 16 A】実施例 2 のマイクロポンプの第 1 基板と第 2 基板の積層工程図である。
- 【図 16 B】実施例 2 のマイクロポンプの第 1 基板と第 3 基板の積層工程図である。
- 【図 16 C】実施例 2 のマイクロポンプの第 1 基板と第 3 基板の積層工程図である。
- 【発明を実施するための形態】 30
- 【0013】
- 以下、図面を参照して、実施例によるマイクロポンプの構成、動作、及び製造方法を説明する。実施例を通して、マイクロポンプは、熱源側に設けられる高温側部材と放熱側に設けられる低温側部材の界面に位置する中間層に、流路内で変形・変位が可能なダイアフラムを有する。ダイアフラムの変形・変位は、バイメタルを利用し、高温側部材からの吸熱作用と低温側部材での放熱作用とにより自立的に行なわせる。バイメタルとは、熱膨張率の異なる二種以上の金属薄板を組み合わせたものであり、温度変化に応じて湾曲するようにしたものである。バイメタルを用いてダイアフラムを変形・変位させることにより、流路内の圧力が変化させて、マイクロポンプへの流体の流入、流出を実現する。
- 【実施例 1】 40
- 【0014】
- 図 1 は、実施例 1 のバイメタルによるマイクロポンプ 10 の基本的な原理を説明するための図である。実施例 1 では、ダイアフラム変位手段として、ダイアフラム 33 自体をバイメタルで構成する。すなわち、ダイアフラムを構成するバイメタルがダイアフラム変位手段となる。
- 【0015】
- 実施例 1 において、図 1 (A) 及び図 1 (B) に示すように、マイクロポンプ 10 は、図示しない熱源側に位置する高温側部材 20 と、放熱側に位置する低温側部材 40 と、高温側部材 20 と低温側部材の 40 の間に位置する中間層 30 とを有する。中間層 30 は、バイメタルのダイアフラム 33 と、インレット側のインバルブ 35 及びアウトレット側の 50

アウトバルブ 37 を含む。中間層 30 と低温側部材 40 との間は、マイクロポンプ 10 内の流路を構成するチャンバー 45 及びバルブ室 42 となっている。

【0016】

高温側部材 20 は、熱源と接するか又は熱源を含む。低温側部材 40 は、冷却（放熱）部と接するか又は冷却（放熱）部を構成する。バイメタルによるダイアフラム 33 は、変位前の第 1 位置と、熱変形により低温側部材 40 と接触する第 2 位置との間を変位可能である。第 1 位置は、実施例 1 ではダイアフラム 33 が高温側部材 20 と接する初期位置に一致する。バイメタルのダイアフラム 33 は、第 1 位置で高温側部材 20 から熱を吸収することによって、チャンバー 45 内を低温側部材 40 に向かって張り出す方向に変形し、放熱部 41 と接触する。低温側の放熱部 41 と接触することによって熱を放出し、変形前の形状に復帰して第 1 位置に戻る。第 1 位置において、高温側部材 20 と接して熱を吸収することによって、再び変形・変位する。ダイアフラム 33 が熱変形による上記の動作を繰り返すことによって、インバルブ 35 とアウトバルブ 37 を駆動し、チャンバー 45 内への流体の取り込みと、チャンバー 45 からの流体の排出を行なう。

10

【0017】

ダイアフラム 33 は弾性体で構成され、線膨張率の異なる 2 種類以上の弾性体板で構成される。具体例として、ダイアフラム 33 は、第 1 位置で高温側部材 20 と直接接触する高い線膨張係数（高 CTE）を有する第 1 部材 31 と、高温側部材 20 と反対側の面に位置する低い線膨張係数（低 CTE）の第 2 部材 32 を組み合わせたものである。第 1 部材（高 CTE 部材）31 は、たとえば、Al、Cu、Se、又はこれらを含む合金である。第 2 部材（低 CTE 部材）32 は、たとえば、Si、Mo、W、Cr、Ni、又はこれらを含む合金である。第 1 部材と第 2 部材のいずれか一方を半導体としてもよい。

20

【0018】

ダイアフラム 33 の周縁部は保持部材 38 で保持されているので、受熱により変形する場合は、中央部分が低温側に向かって張り出すように変形する。ダイアフラム 33 の位置変化に応じて、インバルブ 35 とアウトバルブ 37 は、ポンプ動作時に流体の取り込みと排出を行い、流体（冷媒）の逆流を阻止する。

【0019】

高温側部材 20 は、発熱体（図 1 では不図示）と接触して熱を受け取る受熱部 21 と、受熱部 21 で受けた熱をダイアフラムに伝える伝熱部 22 を含む。伝熱部 22 は、実施例 1 ではバイメタルのダイアフラム 33 と高温側部材 20 との接触、非接触を制御する接触調整手段として機能する。高温側部材 20 と中間層 30 は、断熱材 52 を介して接続されている。同様に、中間層 30 と低温側部材 40 は断熱材 51 を介して接続されている。

30

【0020】

図 2（A）及び図 2（B）は、図 1 のマイクロポンプ 10 の動作シーケンスを示す図である。図 1（B）の実線で描かれている状態、すなわち、ダイアフラム 33 が変形することなく第 1 位置で高温側部材 20 と接しており、インバルブ 35 とアウトバルブ 37 が閉じている状態を初期位置とする。

【0021】

図 2（A）のように、高温側部材 20 の受熱部 21 上に、発熱体としての LSI 素子 70 が置かれているとする。LSI 素子 70 は、基板 90 への接合面と反対側の面で高温側部材 20 と接している。LSI 素子 70 の動作により発生する熱は、受熱部 21 及び伝熱部 22 を介してバイメタルのダイアフラム 33 に吸収される。これにより、中間層 30 の温度が上昇し、ダイアフラム 33 が低温側部材 40 に向かって凹変形して、低温側部材 40 と接触する第 2 位置へと変位する。ダイアフラム 33 の変形により、チャンバー 45 内の流路体積が減少して、アウトレット側での流体圧が上昇する。アウトバルブ 37 が押し上げられて開放状態となり、流体が排出管 54 へと排出される。このとき、インバルブ 35 は閉じられている。

40

【0022】

次に、図 2（B）のように、バイメタルのダイアフラム 33 が低温側部材 40 の放熱部

50

4 1 と接触することによって熱を放出し、高温側部材 2 0 と接触する第 1 位置へと復帰する。これにより、チャンパー内の流路体積が増大し（回復し）、流体圧が低減する。インレット側のインバルブ 3 5 が導入路 3 4 内の流体圧により下方に開いて、チャンパー 4 5 内に流体が流れ込む。このとき、アウトバルブ 3 7 は閉じられた状態であり、チャンパー 4 5 内を満たす流体によって低温側部材 4 0 の放熱部 4 1 が冷却される。初期位置に復帰したダイヤフラム 3 3 が高温側部材 2 0 と接触して吸熱することで、マイクロポンプ 1 0 は再び図 2 (A) の状態へ移行し、以後、図 2 (A) と図 2 (B) の動作を繰り返す。

【 0 0 2 3 】

図 3 A ~ 図 3 G は、マイクロポンプ 1 0 の製造プロセスの一部として、中間層 3 0 に用いる第 1 基板の加工工程を示す図である。実施例 1 では、ダイヤフラム 3 3 を構成するバイメタルの少なくとも一層に、半導体材料、たとえば単結晶シリコンを用いる。シリコンは半導体プロセスを用いて加工が容易であるばかりでなく、 $163\text{W}\cdot\text{mK}$ と金属と遜色ない熱伝導率を有し、 2.9ppm/K の線膨張係数を有するため、マイクロポンプの構成材料に適している。また金属と表面で共晶するので、強力な接合が可能である。

10

【 0 0 2 4 】

まず、図 3 A に示すように、第 1 基板としてシリコン単結晶ウェーハ（適宜、「シリコン基板」と称する）6 1 を準備し、レジスト 6 2 を塗布し、マスク 1 を用いてパターニング（露光・現像）する。次に、図 3 B に示すように、レジスト 6 2 をマスクとしてシリコン基板 6 1 を $100\ \mu\text{m}$ の深さにエッチングし、その後レジストを剥離、洗浄する。これにより、シリコン基板 6 1 にフレーム状の突起 6 8 が形成される。

20

【 0 0 2 5 】

次に、図 3 C に示すようにレジスト 6 4 を塗布し、ダイヤフラム部を開口したマスク 2 を用いてレジスト 6 4 をパターニングし、全面に膜厚約 $50\ \text{nm}$ のクロム膜 6 5 をスパッタリングする。次に、図 3 D に示すように、リフトオフ法によりクロム膜 6 5 のパターニングを行なう。

【 0 0 2 6 】

次に、図 3 E に示すように、メッキ用の $100\ \mu\text{m}$ の厚膜レジスト 6 6 を塗布し、マスク 2 を用いてクロム膜 6 5 が露出する開口 6 7 を形成する。次に、図 3 F に示すように、電解メッキにより銅又はニッケルの層 3 1 を $100\ \mu\text{m}$ にメッキ成長する。この金属層 3 1 は、バイメタルの高 C T E 部材（第 1 部材）3 1 となる。その後、図 3 G に示すようにメッキレジスト 6 6 を除去する。フレーム状の突起 6 8 は、図 1 でダイヤフラム 3 3 を保持する保持部 3 8 となる。これにより、シリコン基板 6 1 上で保持部 3 8 に取り囲まれた領域に高 C T E の C u 膜 3 1 が形成された第 1 基板 6 0 が出来上がる。

30

【 0 0 2 7 】

上述した中間層 3 0 の形成はあくまでもひとつの例であり、バイメタルの低膨張側の層 3 2 にシリコンを用いた場合に、高膨張側の層 3 1 としてシリコンよりも線膨張率が数倍以上大きい任意の材料を用いることができる。高膨張側の層 3 1 として、金属等、選択肢は多様であるが、マンガン、クロム、ニッケル、銅やこれらの合金が一般的である。半導体プロセスを用いる場合は、上述したようにエッチングやメッキが容易な銅やニッケルがよい。銅の熱伝導率は 300W/mK 、線膨張係数は 145ppm/K であり、単結晶シリコンと組み合わせることによって良好なバイメタルを作製することができる。なお、現在市販されているバイメタルの種類は現行 JISC2530「電気用バイメタル板」に分類記載されている。この分類によれば、記号 T M 1 に分類される材料では湾曲係数が $20 \times 10^{-6}/\text{K}$ 前後の材料を容易に入手することができる。

40

【 0 0 2 8 】

図 4 A ~ 図 4 E は、マイクロポンプ 1 0 の製造プロセスの一部として、高温側部材 2 0 に用いる第 2 基板の加工工程を示す図である。まず、図 4 A に示すように、第 2 基板として第 2 のシリコン単結晶ウェーハ（適宜、「シリコン基板」と称する）2 5 を準備する。全面にレジスト 2 6 を塗布し、マスク 3 を用いてレジスト 2 6 をパターニングし、所定の箇所に開口 2 7 を形成する。次に、図 4 B に示すように、レジスト 2 6 をマスクとして、

50

D R I E法により、シリコン基板 25 にインレット・アウトレット穴部 28 を形成する。その後、レジスト 26 を除去する。

【 0 0 2 9 】

次に、図 4 C に示すように、シリコン基板 25 の裏面、すなわちインレット・アウトレット穴部 28 を形成したのと反対側の面にレジスト 29 を塗布し、マスク 4 を用いてレジスト 29 をパターニングし、D R I E法によりシリコン基板 25 をエッチングしてリセス 23 を形成する。リセス 23 の平面形状は、中間層 30 のダイヤフラム 33 とインバルブ 35 及びアウトバルブ 37 に対応する形状となっている。その後、レジスト 29 を除去する。

【 0 0 3 0 】

次に、図 4 D に示すように、シリコン基板 25 の裏面側にレジスト 71 を塗布し、マスク 5 を用いてレジスト 71 をパターニングする。そして、図 4 E に示すように、レジスト 71 をマスクとして、D R I E法により、インレット・アウトレット穴部 28 と連通するまでシリコン基板 25 をエッチングして、高温側部材 20 の受熱部 21、伝熱部（接触調整手段）22、流体の導入路 34、排出路 36、及びハウジング 24 を形成する。これにより高温側の第 2 基板 50 が出来上がる。

【 0 0 3 1 】

図 5 は、中間層 30 を構成する第 1 基板 60 と、高温側の第 2 基板 50 との積層加工の工程を示す図である。図 5 (a) に示すように、第 2 基板 50 の裏面（伝熱部 22 側）にエポキシ接着剤 52 をディスペンス塗布し、その下面に第 1 基板 60 を接合する。この場合、第 2 基板 50 の受熱部 21 に伝熱部（接触調整手段）22 を取り囲むようにディスペンスされたエポキシ接着材 52 は、第 1 基板 60 のフレーム状の突起、すなわち保持部 38 に接合される。

【 0 0 3 2 】

次に、図 5 (b) に示すように、接合した第 1 基板 60 の裏面、すなわち高 C T E 層としての C u 層 31 を形成した面と反対側の面を、シリコン基板 61 が所望の厚さになるまで研削・研磨する。この例では、シリコン基板 61 の厚さが 100 μ m になるまで研削・研磨する。その後、研磨した裏面に図示しないレジストを塗布し、マスク 6 を用いてダイヤフラム 33 と、インバルブ 35 及びアウトバルブ 37 を形成する。レジストを除去して、マイクロポンプ 10 の高温側部材 20 と中間層 30 が完成する。保持部 38 の内側にあるシリコン基板は、ダイヤフラム 33 の低 C T E 層（第 2 部材）32 となる。また、流体導入路 34 に対応する部分のシリコン基板がインバルブ 35 となり、流体排出路 36 に対応する部分のシリコン基板がアウトバルブ 37 となる。この段階で、ダイヤフラム 33 とインバルブ 35、アウトバルブ 37 の裏面（研磨面）に、高分子保護膜を形成しておいてもよい。高温側部材 20 と中間層 30 とを接合するエポキシ接着材 52 は、断熱材として機能する。インバルブ 35 は、マイクロポンプ 10 の動作時に導入路 34 側に開かないように、ハウジング 24 で係止されている。他方、アウトバルブ 37 は、排出路 36 側に開くように構成されている。

【 0 0 3 3 】

図 6 は、マイクロポンプ 10 の製造プロセスの一部として、低温側部材 40 に用いる第 3 基板の加工工程を示す図である。図 6 (a) に示すように、第 3 基板として第 3 のシリコン単結晶ウェーハ 41 を準備する。全面に永久レジスト 51 を塗布し、マスク 7 を用いて永久レジスト 51 をパターニングして、所定の形状の空間 55 を形成する。空間 55 は、組み立て後のマイクロポンプ 10 のチャンバー 45 とバルブ室 42 に相当する。空間 55 を区画する永久レジスト 51 は、マイクロポンプ 10 のハウジング 51 として機能するとともに、中間層 40 と低温側部材 40 との間の断熱材として機能する。永久レジスト 51 は、たとえばエポキシ系樹脂、ポリイミド等である。次に、図 6 (b) に示すように、パターニングした永久レジスト 51 上の所定の箇所にエポキシ接着剤 56 をディスペンス形成する。

【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

図7は、図5で形成した第1基板60と第2基板50との積層体に、第3基板41を接合する工程を示す図である。図7(a)に示すように、第3基板41のエポキシ形接着剤56上に第1基板60の裏面を接合する。このとき、エポキシ接着剤56は、アウトレット側のアウトバルブ37に抵触しないように塗布されていなければならない。次に、図7(b)に示すように、接合体をダイサーでチップ分離する。ダイシングの際には、流体導入路34となる開口34及び流体排出路36となる開口36を保護してチップ分離するのが望ましい。ことにより、マイクロポンプ10の主要部が完成する。ダイアフラム33と低温側部材40の間に流路の一部となるチャンパー45が形成され、インバルブ35とアウトバルブ37の下方に、流路の一部となるバルブ室42が形成される。アウトバルブ37は下方のバルブ室42に向けて開かないように、ハウジング51により係止されている。この状態での概略上面図が図7(c)である。

10

【0035】

マイクロポンプ10の内面を、高分子保護膜(不図示)で保護してもよい。たとえば、マイクロポンプ10の機密性を高め、リークを低減するために、ポリバラキシレン膜を気相蒸着重合法による成膜する。最後に、流体導入路33と流体排出路36に図示しない流入管53と排出管54(図1参照)を結合し、流体を封入することによってマイクロポンプが完成する。

【0036】

図8Aは、バイメタルによるダイアフラムの変形シミュレーションデータ、図8Bは図8Aのデータに基づく変位分布図である。シミュレーションでは、上面側に高CTE部材(第1部材)として膜厚100 μm のCuを、下面側に低CTE部材(第2部材)として膜厚100 μm の単結晶シリコンを用い、20mm \times 20mmのバイメタルダイアフラムとした。また、図1のように、ダイアフラム33がフレーム(保持部)38と一体形成されているものとした。50の温度上昇を与えた場合、図8A及び図8Bに示すように、ダイアフラムの中央部が凹状に変形することがわかる。もっともこの場合、変位量はZ軸方向に-4 μm と小さいので、マイクロポンプとして機能させる場合は、流路となるチャンパー45の空間高さを4 μm としなければならない。マイクロポンプにおけるバイメタルのより有効な適用例は、後述する実施例2で述べることとする。

20

【0037】

図9は実施例1のマイクロポンプの変形例1、図10はマイクロポンプの変形例2、図11はマイクロポンプの変形例3を示す。図1のマイクロポンプ1と同じ構成要素には同じ符号を付して、その説明を省略する。図9のマイクロポンプ110Aでは、インレット側の流入管53と、アウトレット側の排出管54を、低温側に設けている。この構成では、高温側部材20の受熱部21が流路に面しているため、高温側部材20を直接冷却することができる。したがって、冷却効率を向上することができる。マイクロポンプ110Aを作製する場合は、低温側部材40となる基板41に、マスク3(図4A参照)を用いて開口を形成して流体導入路及び流体排出路を形成する。高温側部材20からの熱によるダイアフラム33の変位と、インバルブ35及びアウトバルブ37の開閉動作は、実施例1と同様である。

30

【0038】

図10のマイクロポンプ110Bは、図9の構成をさらに変形したものであり、低温側部材40に冷却水路120が設けられている。冷却水路120はウォータジャケットとして機能する。半導体プロセスを用いてマイクロポンプとウォータジャケットを一体的に形成することができる。

40

【0039】

図11のマイクロポンプ110Cは、インバルブ135とアウトバルブ137をバイメタルで形成したものである。アウトバルブ137において、高CTE材(第1部材)と低CTE材(第2部材)の積層を、ダイアフラム33の積層と逆にする。図11の構成によると、インバルブ135とアウトバルブ137の動作を、チャンパー45内の圧力変動のみに依存させるのではなく、より自律的なものにすることができるので、ダイアフラム3

50

3は、その機械的な運動(変位)を、流体の輸送だけに割り振ることができる。このような効果は、インバルブ135とアウトバルブ137のいずれか一方だけをバイメタルで構成してもある程度達成することができる。

【0040】

図12は、マイクロポンプの使用形態の一例として、マイクロポンプを組み込んだ半導体装置100を示す概略図である。半導体装置100は、マイクロポンプ110Aと、マイクロポンプ110Aの高温側部材20に接するLSI素子70と、マイクロポンプ110Aに接続されて流体を循環させる循環系85を含む。循環系85は、配管81と、熱交換器又はラジエター82を含む。循環系85に主ポンプ83を接続してもよい。この場合、マイクロポンプ110Aは自律的に動作する補助ポンプとして機能する。また、循環系85の一部として、低温側部材40に接するウォータジャケット80を配置するのが望ましい。

10

【0041】

主ポンプ83から排出された冷媒流体はウォータジャケット80に入り、マイクロポンプ110Aを通してLSI素子70から伝達された熱量を受け取り、マイクロポンプ110Aのインレットに入る。熱源とウォータジャケット80の温度差を利用してマイクロポンプ110Aが動作すると、アウトレットから流体が排出され、熱交換器82をとおり主ポンプ83に循環する。熱交換器82は熱源から受け取った熱量を2次側冷媒に移動する装置であり、2次側冷媒が空気の場合はラジエターである。

【0042】

近年のLSIはエネルギー密度が100W/cm²を越え原子炉レベルに近づいている。さらに厄介なのは、省電力機能の発達により使用状況により発熱量が大きく変動することである。マイクロポンプ110Aが無い場合、主ポンプ83は、ウォータジャケット80と往復の配管81と熱交換器82の間のすべての圧力損を加味して流体を加圧・循環しなければならず、高い圧力を生成する必要がある。また、主ポンプ83からウォータジャケット80への配管81は高い陽圧となり、接続部に高度の信頼性を必要とする。流体の流量を制御して主ポンプ83の消費電力を低減したり、排出する流体の温度を上げて熱交換器82での交換率を稼ぐことは理論的には可能であるが、ウォータジャケット80から熱源へ熱の逆流を伴うリスクが高く、高度なポンプ制御を必要とするため実現が困難である。

20

【0043】

これに対し、図12の構成では、マイクロポンプ110Aのダイヤフラムの自律的な動作により、ウォータジャケット80から流体を吸い出す機能を果たすことができる。マイクロポンプ110Aが動作しているときは、主ポンプ83は主ポンプ83からウォータジャケット80までの流路と、ウォータジャケット80の圧力損の一部をカバーする圧力だけを生成すればよい。このようにマイクロポンプ110Aを補助ポンプとして機能させることによって、圧力の上昇点を全体に分散することができるため、流体の循環システムにとっても信頼性を向上する手段となる。

30

【0044】

マイクロポンプ110Aが動作していないときは、全流路の圧力損を主ポンプ83がカバーする必要があり、概算では流量が1/2~1/3程度に低下する。しかし、マイクロポンプ110Aが動作していないというのは、熱源からの発熱が少なくことを意味するので、冷却の必要性が高くないことを意味する。したがって、冷却能力の低下は影響せず、むしろ望ましいともいえる。しかもマイクロポンプ110Aでは熱源(LSI素子70)からウォータジャケット80に向かって一方通行に熱が移動し逆流することはない。したがって、従来に比べてポンプの消費電力を低減することが可能である。

40

【0045】

このように、半導体装置100にマイクロポンプ110Aを組み込むことにより、熱源のLSI素子70において強い冷却が必要になると、マイクロポンプ110Aの自律的な動作により自動的に冷却効率を上げることができる。マイクロポンプ110Aを補助ポンプとして機能させることにより、主ポンプ83の電力削減や低グレード化によるコストダ

50

ウンが可能となる。また、冷却循環路内で最も大きな圧力損失を生ずるウォータジャケット 80 の近傍にマイクロポンプ 110 A を置くことによって、水路配管の水圧を低下させて漏水事故に対してのリスクを軽減することができる。

【0046】

図 12 の例では、メイン回路基板 90 にはんだバンプ 72 を介して実装された単一の LSI 素子 70 のみを描いているが、半導体装置 100 において、メイン回路基板 90 上に複数の LSI 素子 70 を配置する構成とすることもできる。この場合は、各 LSI 素子 70 にマイクロポンプ 110 A を配置しつつ、熱交換器（又はラジエター）82 と主ポンプ 83 を共用にすることができる。また、図 12 の例ではマイクロポンプ 110 A を用いているが、半導体装置 100 において、図 1 のマイクロポンプ 10 や変形例 2 又は 3 のマイクロポンプ 110 B、110 C を同様の形態で使用できることは言うまでもない。

10

【実施例 2】

【0047】

図 13 は、実施例 2 のバイメタルによるマイクロポンプ 200 の概略構成図、図 14 はマイクロポンプ 200 の動作を説明するための図である。実施例 2 では、ダイアフラム 233 と高温側部材 20 との間に、バイメタルによる変位手段 253 を挿入する。図 13 に示すように、変位手段 253 は、線膨張率の異なる 2 種類以上の弾性部材を含むバイメタルであり、高温側部材 20 の伝熱部 22 と直接接触する高 CTE 材の第 1 部材 231 と、高温側部材と反対側に位置する低 CTE 材の第 2 部材 232 を含む。変位手段 253 は、初期位置で高温側部材 20 の伝熱部 22 と接しているものとする。

20

【0048】

マイクロポンプ 200 は、図示しない熱源側に位置する高温側部材 20 と、放熱側に位置する低温側部材 40 と、高温側部材 20 と低温側部材の 40 の間に位置する中間層 230 とを有する。中間層 230 は、ダイアフラム 233、ダイアフラムを変形させる変位手段 253、インレット側のインバルブ 235、及びアウトレット側のアウトバルブ 237 を含む。中間層 230 と低温側部材 40 との間に、マイクロポンプ 10 内の流路を構成するチャンバー 45 及びバルブ室 42 が設けられている。熱源は、たとえば高温側部材 20 の受熱部 21 上に搭載される電子部品等の発熱体（不図示）である。

【0049】

ダイアフラム 233 は、変位手段 253 の動きに応じて、変位前の第 1 位置と、変位手段 253 に押圧されて低温側部材 40 と接触する第 2 位置との間を変位する。すなわち、図 14 (A) に示すように、変位手段 253 が高温側部材 20 の受熱部 21 及び伝熱部 22 を介して熱を吸収することにより、伝熱部 22 から離れる方向（図面の下方）に湾曲する。これによりダイアフラム 233 は低温側部材 40 に向かって押圧され、低温側部材 40 と接触する第 2 位置へと変位する。ダイアフラム 233 の変位によりチャンバー 45 内の体積が変化し、圧力上昇に伴ってアウトバルブ 237 が上方に開き、チャンバー 45 内の流体が排出される。

30

【0050】

変位手段 253 に吸収された熱は、ダイアフラム 233 を介して、低温側部材 40 の放熱部 41 から放出される。これにより、図 14 (B) に示すように変位手段 253 の湾曲が解消され、高温側部材 20 と接触する初期位置へ復帰する。変位手段 253 の初期位置への復帰に伴って、押圧されていたダイアフラム 233 も第 1 位置へと復帰する。チャンバー内の体積も元の状態に回復し、内圧が減少する。インバルブ 235 が下側に開いて流体がチャンバー 45 内に流入する。熱源、たとえば高温側部材 20 の受熱部 21 に搭載される発熱体（不図示）の存在により、図 14 (A) と図 14 (B) の動作が自律的に繰り返され、マイクロポンプ 200 の動作が継続する。

40

【0051】

実施例 2 の構成では、バイメタルによる変位手段 253 は、片持ち梁構造に形成され、ダイアフラム 233 を第 1 位置から第 2 位置へ駆動するアクチュエータとして機能する。たとえば、TM1 (KOSC2530 による分類) 相当のバイメタル材で、厚さ 200 μm 、長さ

50

10 mm、幅10 mmのバイメタルを片持ち梁状に保持した場合、温度が50 上昇したときに、自由端の最大変位量は300 ~ 500 μm となる。実施例2では、後述するように平面形状が三角型の変位手段を複数組み合わせさせて配置する。

【0052】

図15A ~ 図15Fは、実施例2のマイクロポンプ200の中間層230の形成工程を示す図である。まず、図15Aに示すように、中間層230を構成する第1基板として、SOI基板210を用いる。SOI基板は、シリコン基板211と表面シリコン(Si)膜213との間に、シリコン酸化膜(SiO₂)212を挿入した基板である。実施例では、シリコン酸化膜212は犠牲膜として用いられる。SOI基板210上にレジスト214を塗布し、マスク11を用いてレジスト214をパターニングする。次に、図15B

10

【0053】

次に、図15Cに示すように、全面にレジスト216を形成し、マスク12を用いてレジスト216をパターニングする。パターニングにより、レジスト216に平面形状で4つの三角形を組み合わせた開口219が形成され、開口219内にSi膜213が露出する。次に、図15Dに示すように、全面に膜厚50 nmのCr膜217をスパッタし、リフトオフ法でCr膜217をパターニングする。これにより、SOI基板210の表面Si膜213は、バイメタルの一方の側の層を構成する低CTE部材(Si膜)232となる。

20

【0054】

次に、図15Eに示すように、全面にめっきレジスト221を形成し、図15Cで用いたマスク12を用いてパターニングし、露出したCr膜をシードとして、電解メッキによりSi膜232上にCu又はNi膜231を形成する。次に、図15Fに示すように、等方性エッチングによりSiO₂犠牲膜212を除去して、片持ち梁構造のバイメタル変位手段253を形成する。この例では、四角形のダイアフラム233に合わせて、4つの三角形を組み合わせた片持ち梁状の変位手段253を構成しているが、ダイアフラム233やチャンパー45を六角形、八角形、円形等にするることによって、6個、8個又はそれ以上の変位手段253を設ける構成としてもよい。いずれの場合も三角形の頂点部分でダイアフラムを押圧して低温側に変位させる。

30

【0055】

図16Aは、変位手段253を形成した第1基板260と、高温側部材20となる第2基板50との積層加工の工程を示す図である。第2基板50の作製方法は実施例1と同様であり、説明を省略する。第2基板50の接合側の面にエポキシ接着層52をディスペンス形成して、第1基板260上に接合する。

【0056】

図16B及び図16Cは、第2基板を積層した第1基板に、低温側部材40となる第3基板41を積層する工程を示す図である。図16Bに示すように、接合に先立ち、第2基板を積層したシリコン基板211の裏面を、ダイアフラム233と、インバルブ235及びアウトバルブ237に適した所望の厚さ、たとえば100 μm の膜厚になるまで研削・研磨する。これにより、高温側部材20、中間層230、及びハウジング24を含む積層体が出来上がる。他方で、実施例1と同様にして第3基板41上の所定の箇所で永久レジスト51を加工した低温側部材40を準備しておく。永久レジスト51にエポキシ接着材56を塗布しておく。

40

【0057】

図16Cに示すように、エポキシ接着材を介して、第3基板を第1基板と第2基板の積層体に接合することによって、高温側部材20、中間層230、及び低温側部材40を有するマイクロポンプ200が完成する。中間層230は、ダイアフラム233、インバルブ235、アウトバルブ237、バイメタルの変位手段253を含み、中間層230と低温側部材40の間にチャンパー45が形成される。インレット側の開口34とアウトレッ

50

ト側の開口36に循環系を構成する配管(不図示)を接続し、流体を封入することでマイクロポンプ200が完成する。

【0058】

実施例2の構造では、ダイアフラム233の面積は20mm×20mmであり、変位手段253を構成するバイメタルの熱容量は0.1uJ/K程度である。接触熱抵抗を含めた総熱抵抗が1K・Wであるとする、温度変化の時定数はその積より、0.1us(マイクロ秒)となり、瞬時に吸熱あるいは放熱を完了することが可能である。実際の動作は流体の粘性抵抗によって制約を受けるが、仮に100Hzの動作を行うと、10ml/sの流量が得られることになり、数百Wの熱量を輸送できることが期待される。実際の使用形態では中間層230にある程度の熱容量を持たせるか、図示しないバイパス流路を形成して高温側の冷却を行うと、さらに効率的な冷却が可能となる。

10

【0059】

以上説明したように、本発明のマイクロポンプは、バイメタ構造からなる変位手段の熱変形を動力とする。バイメタル構造の変位手段は、実施例1ではダイアフラム自体を構成するバイメタル、実施例2ではダイアフラムを押圧変形する変位手段である。中間層のバイメタルが高温側と接触することにより吸熱変形してダイアフラムを低温側に変位させる。低温側との接触により放熱することによって、ダイアフラム(及び変位手段)は、もとの位置に復帰する。このような構成により、外部からの電気エネルギーの供給や電圧印加なしに、マイクロポンプを自律的に動作させることが可能になる。マイクロポンプを冷却システム内蔵型の半導体装置の補助ポンプとして用いる場合は、強い冷却が必要になると自動的に冷却効率が上がる効率的な冷却構造を提供することができる。

20

【0060】

なお、上述したようにダイアフラムやチャンパーの形状は矩形に限定されず、多角形、円形でもよい。また、変位手段となるバイメタルの作製は、シリコン基板上への金属膜の形成に限定されず、線膨張係数の異なる2種類の金属を張り合わせたものを用いてもよい。また、マイクロポンプの高温側部材、中間層、及び低温側部材を半導体プロセスで形成するかわりに、鋳型成形など任意の方法で作製してもよい。また、図12に示す半導体装置に組み込まれるマイクロポンプとして、実施例2のマイクロポンプ200を用いてもよい。

【0061】

以上の説明に対して以下の付記を提示する。

30

(付記1)

熱源側に位置する高温側部材と、
放熱側に位置する低温側部材と、
前記高温側部材と前記低温側部材の間に位置する中間層と、
前記中間層と前記低温側部材の間で流路の一部を形成するチャンパーと、
を備え、
前記中間層は、ダイアフラムと、前記高温側部材からの吸熱及び前記低温側部材からの放熱により前記ダイアフラムを変位させる変位手段(31,32,253)と、を含み、

前記ダイアフラムは、変位前の第1位置と、前記変位により前記低温側部材と接する第2位置との間を変位することにより、前記チャンパー内への流体の取り込みと排出を行なわせることを特徴とするマイクロポンプ。

40

(付記2)

前記変位手段は、第1の線膨張係数を有して前記高温側部材側に位置する第1部材と、前記第1の線膨張係数よりも小さい第2の線膨張係数を有して前記高温側部材と反対側に位置する第2部材とを含むバイメタルであることを特徴とする付記1に記載のマイクロポンプ。

(付記3)

前記ダイアフラムは、前記第1位置において前記高温側部材と接していることを特徴とする付記2に記載のマイクロポンプ。

50

(付記 4)

前記変位手段は、前記ダイアフラムと前記高温側部材の間に配置される片持ち梁構造のバイメタルであることを特徴とする付記 2 に記載のマイクロポンプ。

(付記 5)

前記片持ち梁構造のバイメタルは、前記高温側部材からの熱により湾曲して、前記ダイアフラムを前記低温側部材と接する前記第 2 の位置へ変位させることを特徴とする付記 4 に記載のマイクロポンプ

(付記 6)

前記中間層は、前記チャンバーに前記流体を導入する流体導入路に位置する第 1 バルブと、前記チャンバーから前記流体を排出する流体排出路に位置する第 2 バルブをさらに含み、前記ダイアフラム、前記第 1 バルブ、及び前記第 2 バルブは一体形成されていることを特徴とする付記 1 ~ 5 のいずれか 1 に記載のマイクロポンプ。

10

(付記 7)

前記ダイアフラムの前記第 1 部材と前記第 2 部材の少なくとも一方は半導体であることを特徴とする付記 1 ~ 6 のいずれか 1 に記載のマイクロポンプ。

(付記 8)

前記ダイアフラムの前記第 1 部材と前記第 2 部材の少なくとも一方は金属であることを特徴とする付記 1 ~ 6 のいずれか 1 に記載のマイクロポンプ。

(付記 9)

前記ダイアフラムの第 1 部材は、Al、Cu、Se、Ni 又はこれらを含む合金であることを特徴とする付記 1 ~ 6 のいずれか 1 に記載のマイクロポンプ。

20

(付記 10)

前記ダイアフラムの第 2 部材は、Si、Mo、W、Cr、Ni 又はこれらを含む合金であることを特徴とする付記 1 ~ 6 のいずれか 1 に記載のマイクロポンプ。

(付記 11)

前記バイメタルの表面は高分子膜で保護されていることを特徴とする付記 1 ~ 10 のいずれか 1 に記載のマイクロポンプ。

(付記 12)

前記高温側部材は、前記熱源と接して熱を受け取る受熱部(21)と、前記受熱部で受け取った熱を前記変位手段へ伝えて前記変位手段との接触、非接触を制御する接触調整手段とを含むことを特徴とする付記 1 に記載のマイクロポンプ。

30

(付記 13)

前記低温側部材は、内部に流体が通るチャンネルを有し、前記チャンネル壁面から前記流体へ熱交換を行うことを特徴とする付記 1 に記載のマイクロポンプ。

(付記 14)

付記 1 ~ 6 のいずれか 1 に記載のマイクロポンプと、
前記マイクロポンプの高温側部材に接触する半導体素子と、
前記マイクロポンプに接続されて前記流体を循環させる循環系とを含む半導体装置。

(付記 15)

前記循環系に接続される主ポンプをさらに含むことを特徴とする付記 14 に記載の半導体装置。

40

(付記 16)

前記循環系に接続され、前記マイクロポンプの低温側部材と接触するウォータジャケットをさらに含むことを特徴とする付記 14 又は 15 に記載の半導体装置。

【産業上の利用可能性】

【0062】

任意の熱源を有する微細構造の循環チャンネルに適用することができる。たとえば、微細な電子部品のための冷却システムに適用可能である。また、冷却システムを組み込んだ半導体装置に用いることができる。

50

【符号の説明】

【0063】

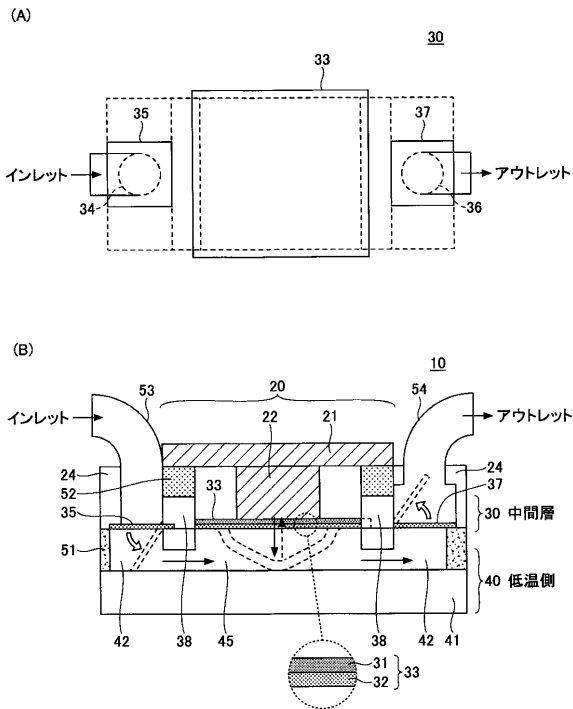
- 10、110A、110B、110C、200 マイクロポンプ
- 20 高温側部材
- 21 受熱部
- 22 伝熱部（接触調整手段）
- 25、61 シリコン基板
- 30、230 中間層
- 31、231 バイメタルの第1部材（高CTE部材）
- 32、232 バイメタルの第2部材（低CTE部材）
- 33、233 ダイアフラム
- 34 流体導入路
- 35、235 インバルブ
- 36 流体排出路
- 37、237 アウトバルブ
- 38 保持部
- 40 低温側部材
- 41 シリコン基板（第3基板）
- 50 第2基板
- 51 断熱材（永久レジスト）
- 52 断熱材（エポキシ接着剤）
- 60 第1基板
- 253 変位手段

10

20

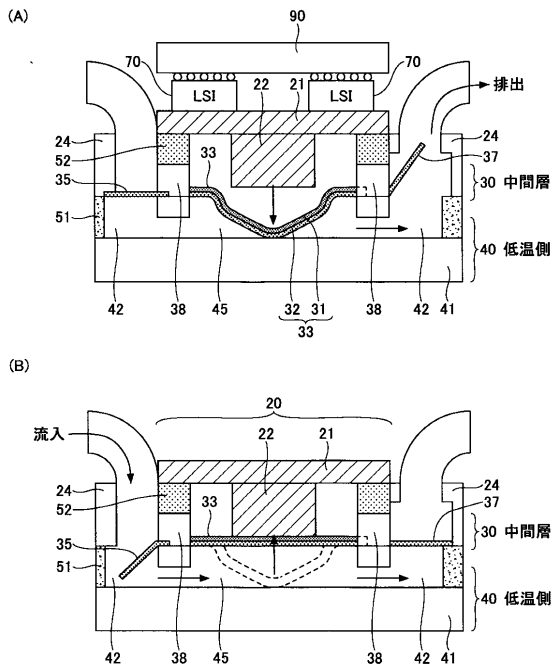
【図1】

実施例1のバイメタルによるマイクロポンプの原理

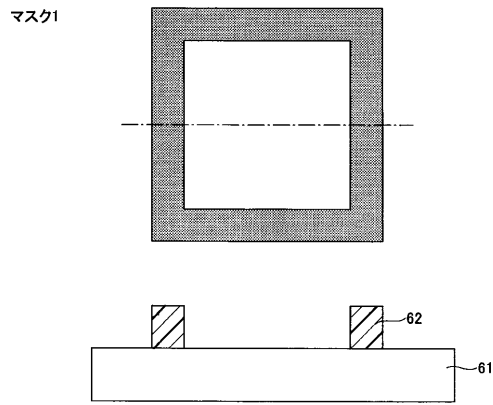


【図2】

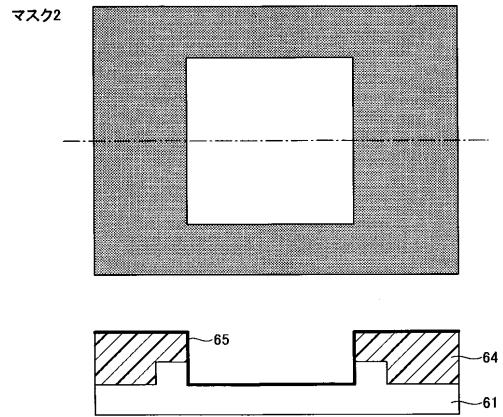
動作シーケンス



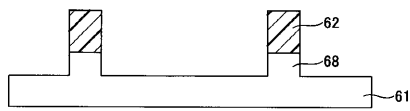
【図 3 A】



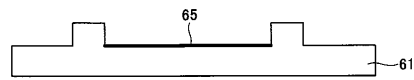
【図 3 C】



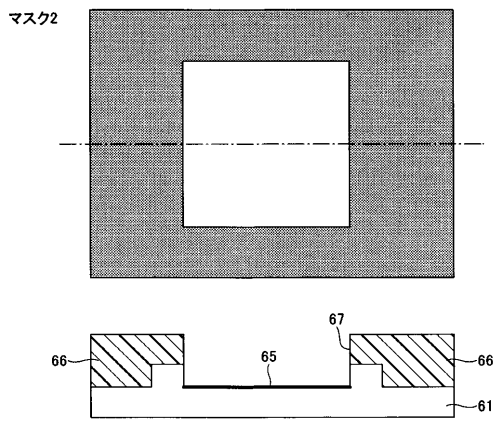
【図 3 B】



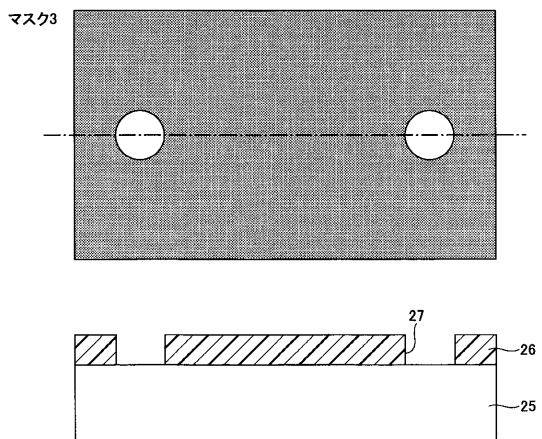
【図 3 D】



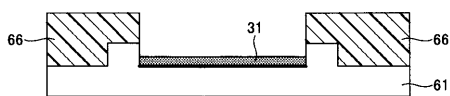
【図 3 E】



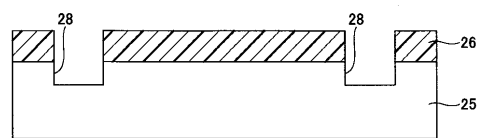
【図 4 A】



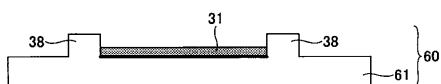
【図 3 F】



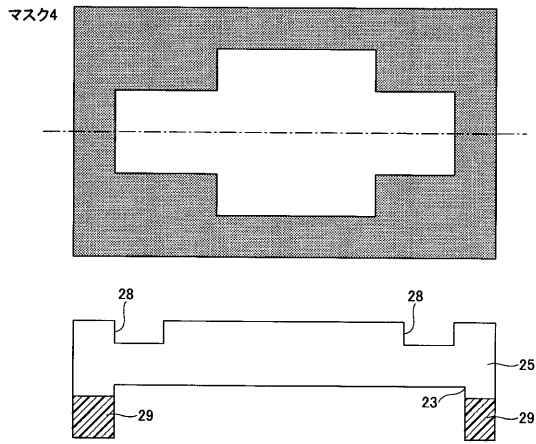
【図 4 B】



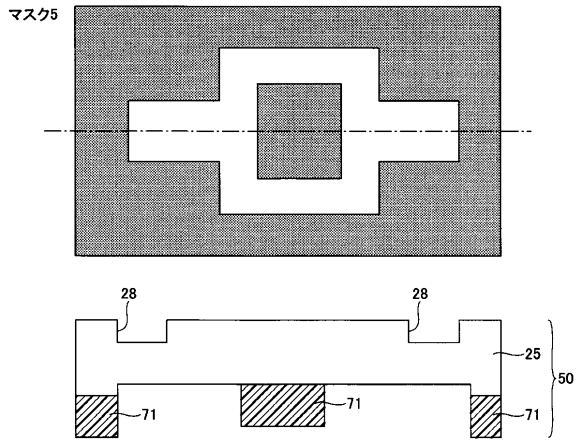
【図 3 G】



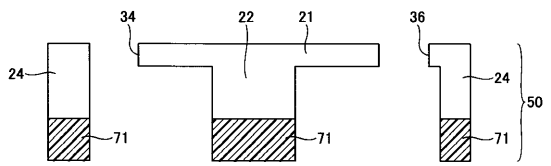
【図4C】



【図4D】

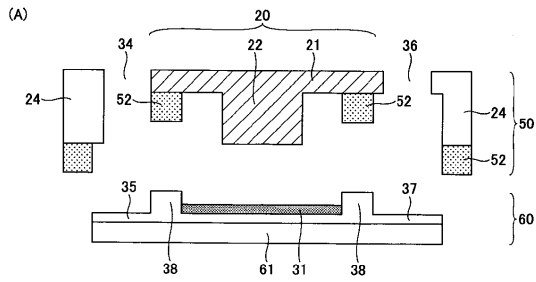


【図4E】

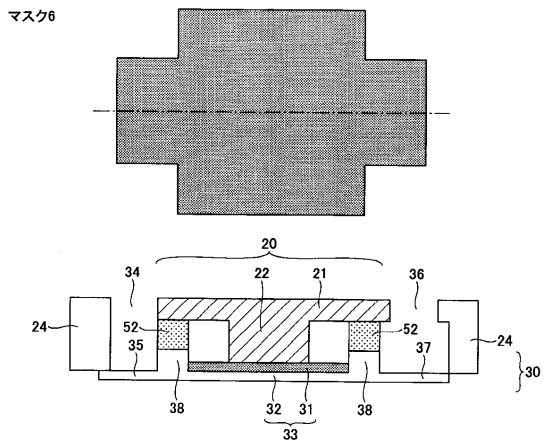


【図5】

第1基板と第2基板の積層加工

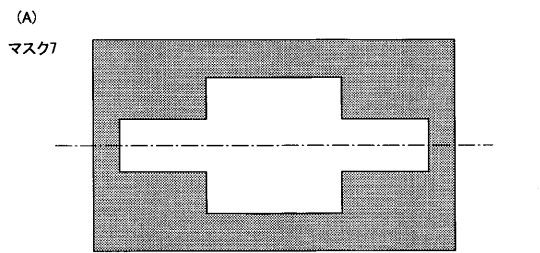


(B)

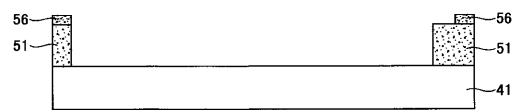


【図6】

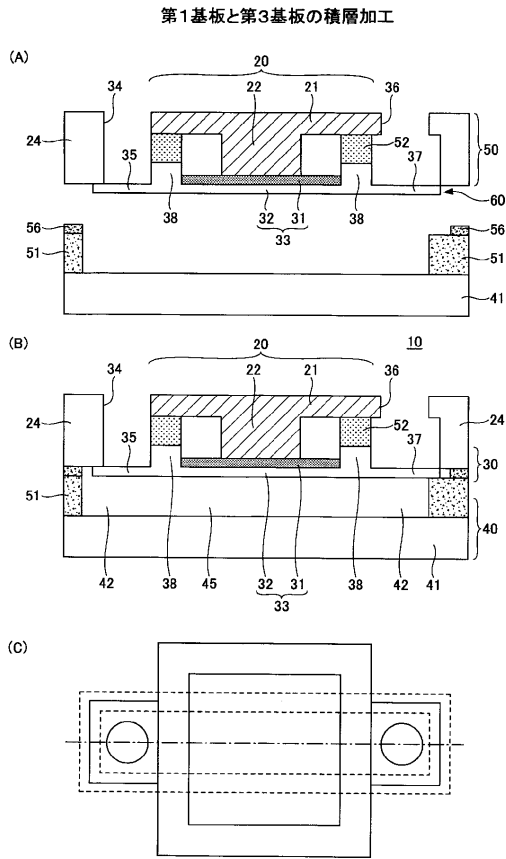
第1基板と第2基板の積層加工



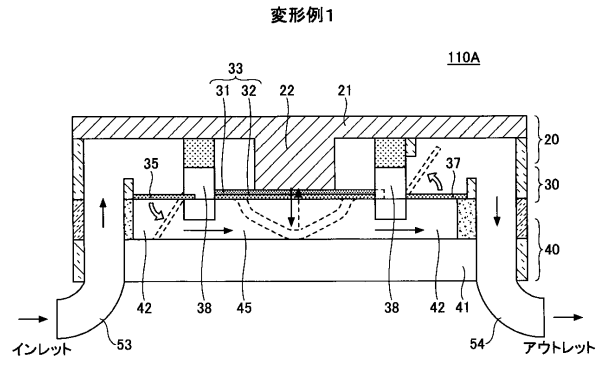
(B)



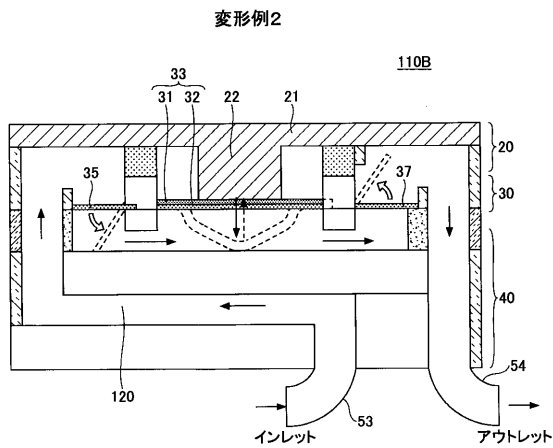
【図7】



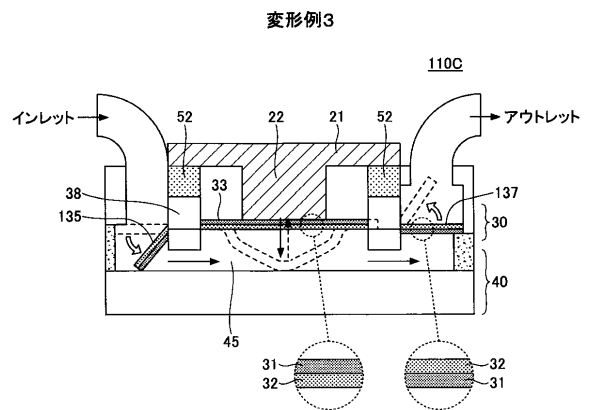
【図9】



【図10】

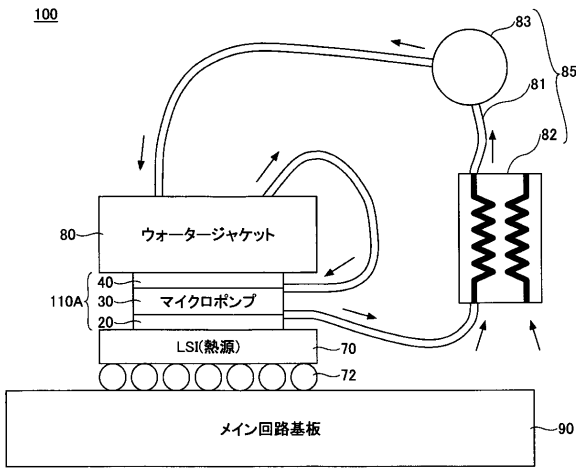


【図11】



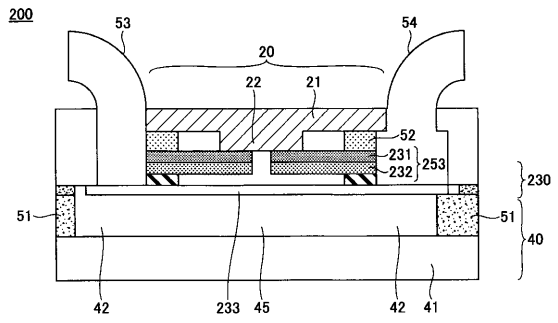
【図12】

バイメタルによるマイクロポンプの使用形態例



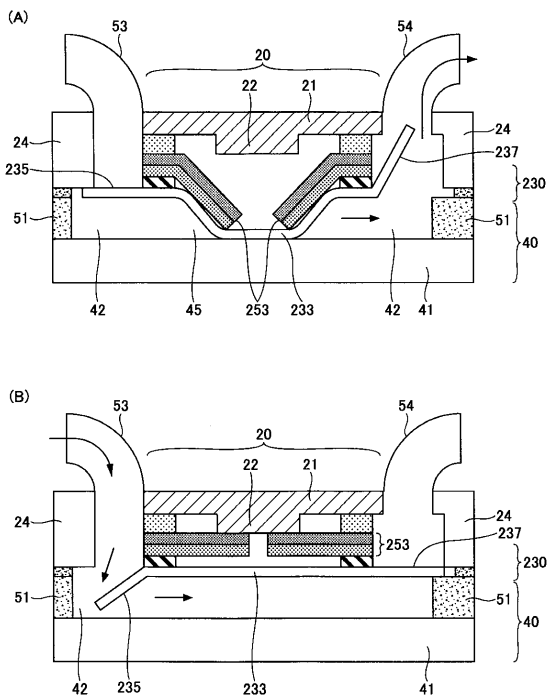
【図13】

実施例2のバイメタルによるマイクロポンプ

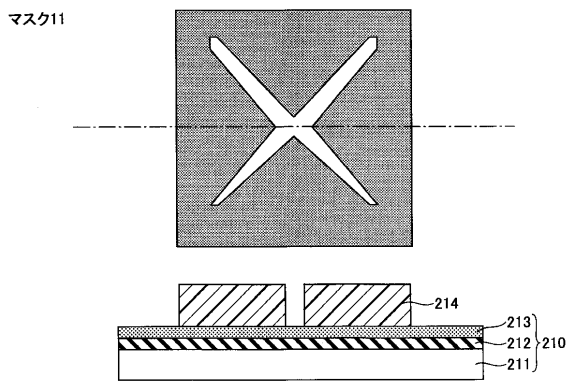


【図14】

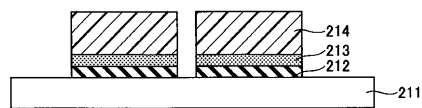
実施例2のバイメタルによるマイクロポンプ



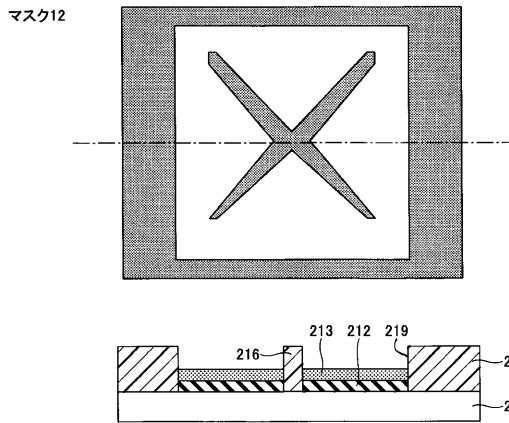
【図15A】



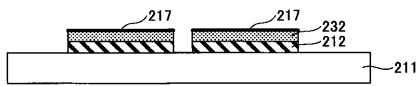
【図15B】



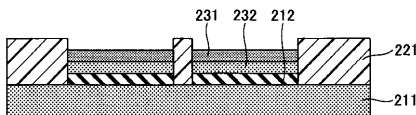
【図15C】



【図15D】

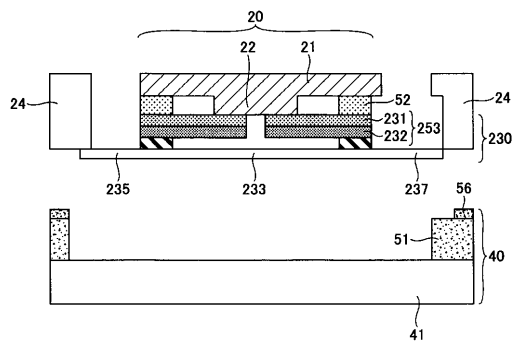


【図15E】

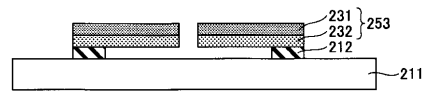


【図16B】

第1基板と第3基板の積層加工(その1)

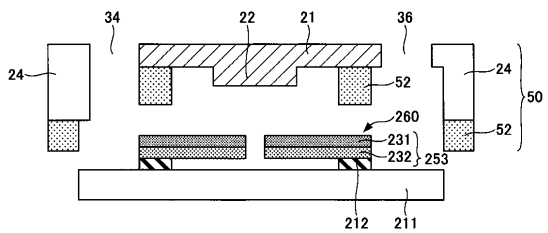
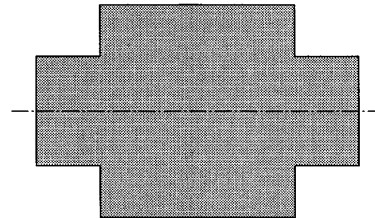


【図15F】



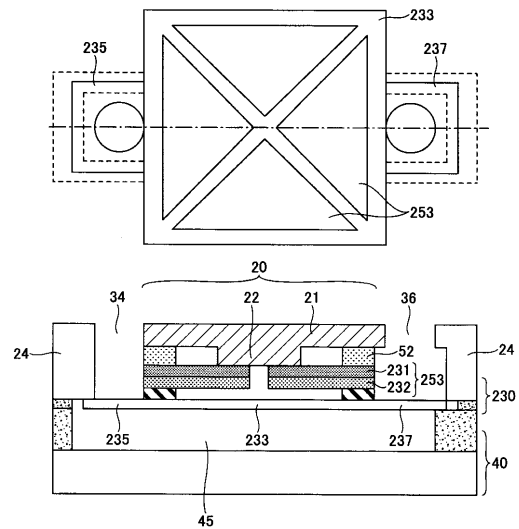
【図16A】

第1基板と第2基板の積層加工



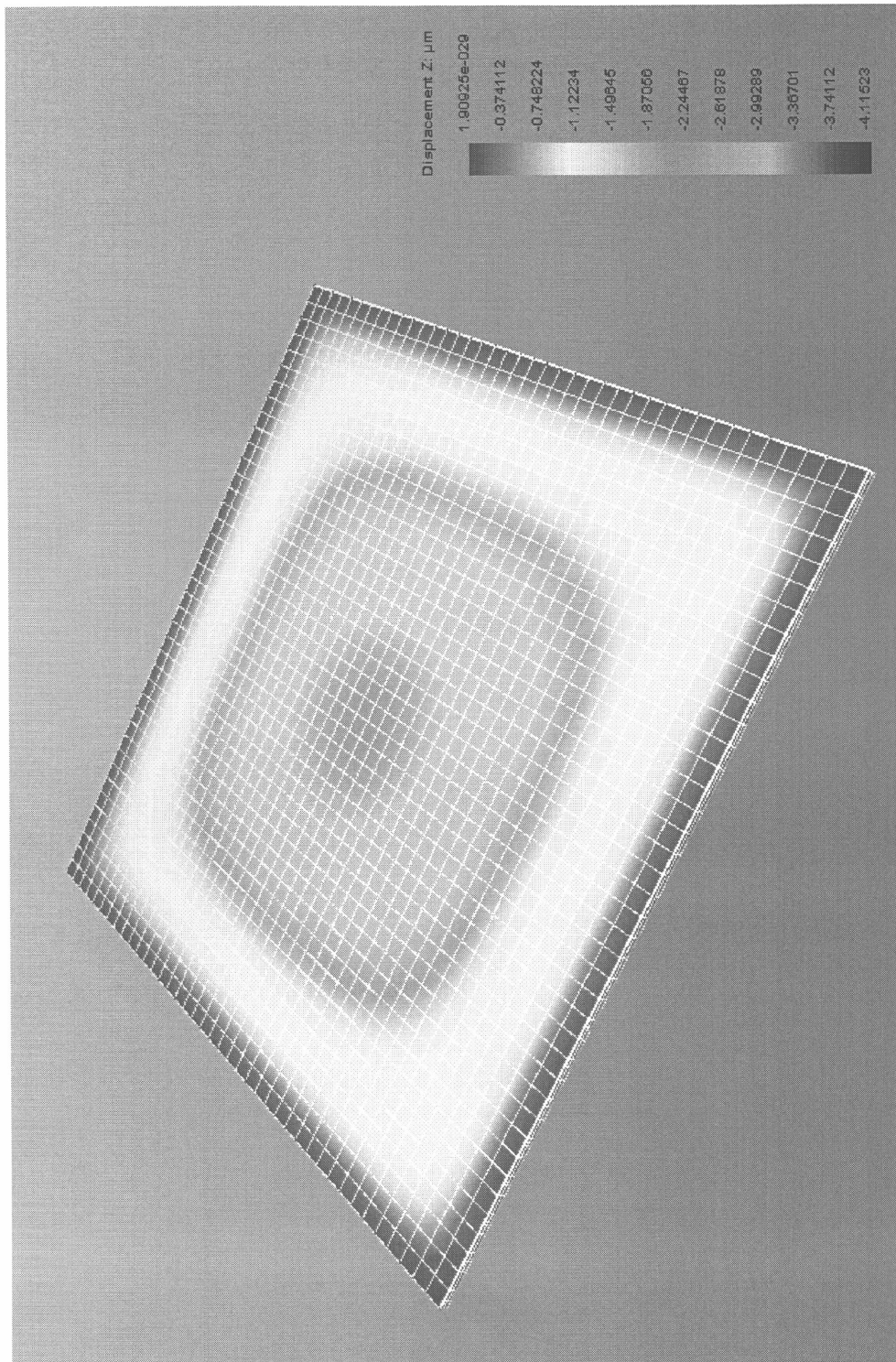
【図16C】

第1基板と第3基板の積層加工(その2)



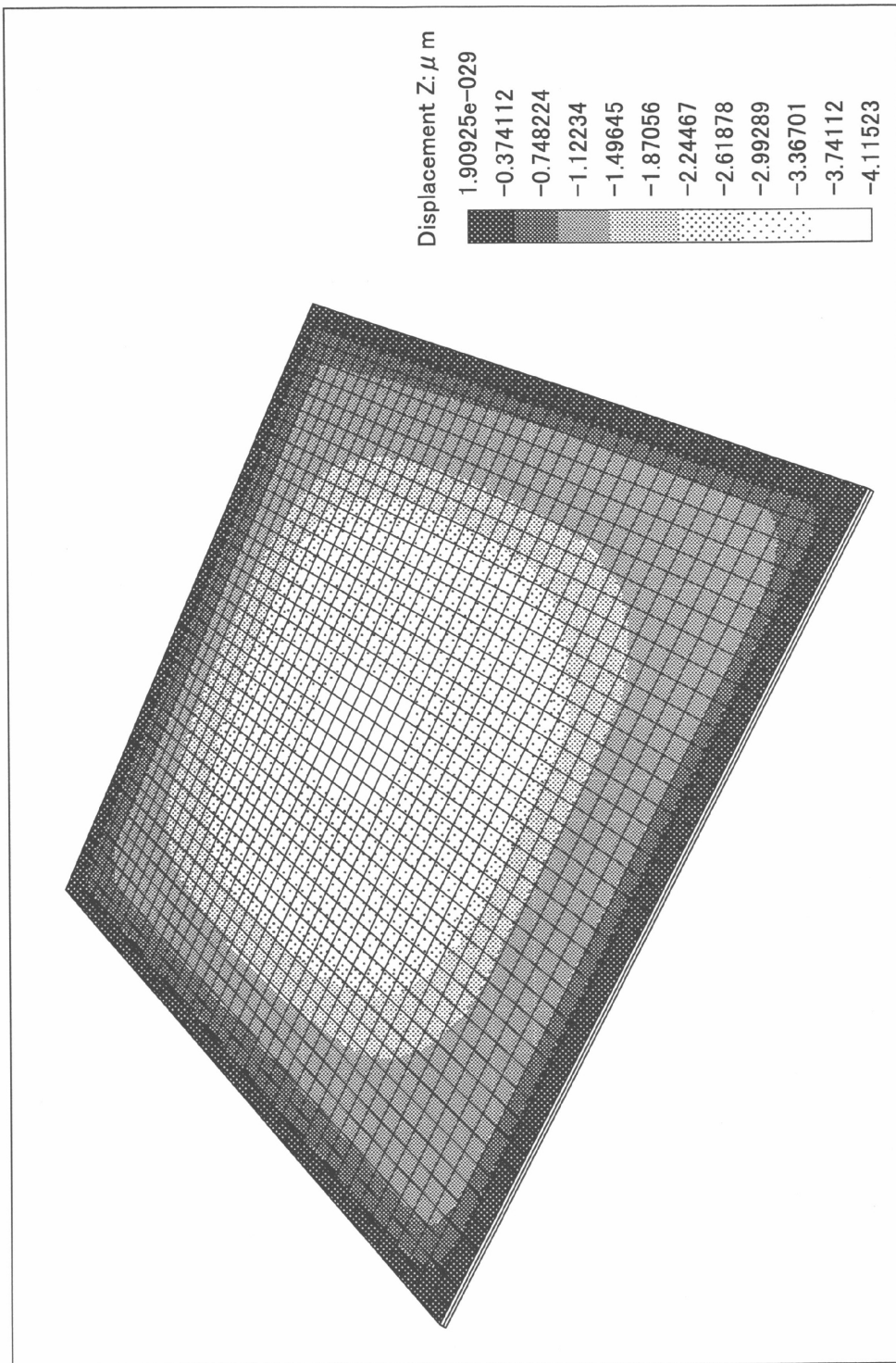
【図 8 A】

バイメタルによるダイアフラムの変形シミュレーション



【図 8 B】

変形シミュレーションによる変位分布の模式図



フロントページの続き

(72)発明者 高馬 悟覚

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 松浦 久夫

(56)参考文献 特開昭59-150990(JP,A)

特表2006-500508(JP,A)

特開2004-340097(JP,A)

米国特許出願公開第2008/0192430(US,A1)

国際公開第2008/150210(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F04B 43/02