

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5276785号
(P5276785)

(45) 発行日 平成25年8月28日(2013.8.28)

(24) 登録日 平成25年5月24日(2013.5.24)

(51) Int.Cl.		F I
B 8 1 C	1/00	(2006.01)
B 8 1 B	7/02	(2006.01)

B 8 1 C	1/00
B 8 1 B	7/02

請求項の数 1 (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願2006-283282 (P2006-283282)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成18年10月18日(2006.10.18)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2007-144611 (P2007-144611A)		神奈川県厚木市長谷398番地
(43) 公開日	平成19年6月14日(2007.6.14)	(74) 代理人	100086368
審査請求日	平成21年10月2日(2009.10.2)		弁理士 萩原 誠
(31) 優先権主張番号	特願2005-312034 (P2005-312034)	(72) 発明者	山口 真弓
(32) 優先日	平成17年10月26日(2005.10.26)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		半導体エネルギー研究所内
		(72) 発明者	泉 小波
			神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
			半導体エネルギー研究所内
		審査官	八木 敬太

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

同一基板上に、半導体素子と構造体とを有する半導体装置であって、
 前記半導体素子は、
 絶縁表面上の半導体層と、
 前記絶縁表面と、前記半導体層との上の第1の絶縁層と、
 前記第1の絶縁層上のゲート電極と、
 前記ゲート電極と、前記第1の絶縁層との上の第2の絶縁層と、
 前記第2の絶縁層上に設けられ、且つ前記第2の絶縁層に設けられた開口において前記半導体層と電気的に接続する配線とを有し、
 前記構造体は、
 前記絶縁表面上の第1の電極と、
 前記絶縁表面と、前記第1の電極との上の前記第1の絶縁層と、
 前記第1の絶縁層上の第2の電極と、
 前記第1の絶縁層と、前記第2の電極との上の空間を介して、前記第1の電極と重なる領域に第3の電極と、
 前記空間を介して、前記第2の電極と重なる領域に第4の電極と、
 前記第3の電極と前記第4の電極との上の構造層とを有し、
 前記半導体層と前記第1の電極とは同じ層から形成され、
 前記ゲート電極と、前記第2の電極とは同じ層から形成され、

10

20

前記配線と、前記第 3 の電極と、前記第 4 の電極とは同じ層から形成されることを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロマシン等の微小構造体を有する半導体装置、及びその作製方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体素子作製プロセス及びそれに類する方法を用いて、微小な機械を作製する研究がなされている。例えば、シリコンウエハーを加工することによって、歯車や橋構造のように、空間とその空間内を可動する部分とを有する立体の構造体を作製されている。

10

【0003】

近年では、上記のような構造体と半導体素子とを同一の基板上に作製する、又は別々に作製したものを貼り合わせることによって、一つの機能を有する微小な電気機械装置を作製する研究が進められている。これはMEMS (Micro Electro Mechanical System)、マイクロマシン等と呼ばれている。現在では、空間を可動する部分の動きを検知することによる圧力センサや加速度センサ、空間を可動する部分を有する以外に、空間を良好な絶縁体として利用する可変容量やインダクタ、導波路等のマイクロマシンが作製されている。

20

【0004】

マイクロマシンは作製方法によって二つに大別される。一つはバルクマイクロマシンと呼ばれ、シリコンウエハーやSOI基板自体をエッチングや研磨により加工して立体の構造体を作製する。そしてもう一つは表面マイクロマシンと呼ばれ、シリコンウエハー等の基板上に薄膜を積層して形成し当該薄膜をフォトリソグラフィーで加工する、一般的な半導体素子の作製プロセスを適用して立体の構造体を作製する。

【0005】

バルクマイクロマシンは、基板を様々な方向から加工するため、立体の構造体を作製する際に大きな自由度を有し、様々な構造体を作製することができる。しかしながら半導体素子の作製プロセスとは相容れない工程が多いため、半導体素子と構造体とを別々に作製した後に貼り合わせたり、別々のまま一つにパッケージングすることが多い。

30

【0006】

ここで表面マイクロマシンが有する構造体の基本的な作製方法について説明する。まず図27 (A) に示すように、構造体の空間を形成するために犠牲層2701を形成する。この犠牲層2701は後に除去するものである。次に図27 (B) に示すように、犠牲層上に構造層2702を形成する。構造層は犠牲層上に形成されることによって、その形状が立体的になる。そして図27 (C) に示すように、犠牲層2701をエッチング工程により除去する事で構造層の下に空間2703ができ、構造層の空間上の一部分（ここでは犠牲層の上の部分）が可動できるようになる。

【0007】

40

ここでは、基板上に構造層2702及び空間2703を有する単純な構造体の例を示している。

【0008】

マイクロマシンの作製において犠牲層エッチングは重要な工程であるが、多くの問題を有する律速点でもある。例えば、犠牲層エッチングは構造層と重なっている部分の犠牲層を除去するため、横方向、すなわち基板面に水平方向へ進行するエッチングが必要であり、等方性のエッチングによって行われる。さらに犠牲層は空間を形成するために膜厚が厚く、その長さも数 μm と長いために犠牲層エッチングには長い時間を要する。また犠牲層エッチングを行うと、図28 (A) に示すように構造層2702と重なっている部分の犠牲層2701を完全に除去できずに犠牲層2704が残ってしまったり、図28 (B) に示

50

すように構造層が座屈し、基板と付着するという問題が生じる。

【0009】

このような表面マイクロマシンは、空間やその空間内を可動する構造部分を形成するために犠牲層を形成し、その犠牲層を除去する犠牲層エッチングを行う必要がある。この犠牲層エッチングはマイクロマシンの作製において大きな律速点となる。なぜなら、基本的に犠牲層は膜厚が厚い上に等方性のエッチングで行われるために長時間を要し、さらに、エッチング後に可動部分と基板とが付着することが多いためである。

【0010】

例えば犠牲層エッチングの時間を短縮するために、犠牲層内にトンネルを設け、犠牲層エッチング時にエッチング剤が犠牲層内に容易に導入されるようなプロセスが考えられている（特許文献1参照）。

10

【0011】

また、可動部下面とそれに対向する基板表面との付着は、犠牲層エッチング後の乾燥時に発生する付着と、乾燥後の衝撃や静電気により生じる二次的な付着とがあり、乾燥時の付着に対しては昇華や超臨界乾燥法が用いられ、二次的な付着に対しては低エネルギー膜の形成が考えられている。

【特許文献1】特開2000-58866号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

20

特許文献1に記載の方法は、犠牲層エッチングに要する時間は短縮できるが犠牲層を2回に分けて形成する必要があるため、全体的な工程が増える。また、乾燥時の付着防止に対する対策や、特許文献1に記載される二次的な付着に対する対策は、長期信頼性の問題を有し、いずれも特殊な装置や特殊な材料を必要としている。

【0013】

マイクロマシンは半導体素子では実現できない機能を有するものの、そのプロセスの複雑さから価格が下げられずに市場への導入が進んでいないのが現状であり、低価格・高付加価値化されたマイクロマシンが望まれている。その具体例としては、同一基板上に同一プロセスを経て異なる機能を有する複数の構造体を作製することが望まれている。

【0014】

30

本発明は、異なる機能を有する複数の構造体を有するマイクロマシンを作製し、当該マイクロマシンを作製する工程において、犠牲層エッチングに要する時間を短縮することを課題とする。また本発明は、当該犠牲層エッチング後、構造層の基板への付着を防止する。すなわち本発明はスループット及び歩留まりを向上させることにより、低価格・高付加価値化されたマイクロマシン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】

【0015】

上記の課題を解決するために本発明では、犠牲層エッチングを複数回に分けて行うことを特徴とする。犠牲層エッチングを複数回に分けて状況に応じた最適なエッチング方法を適用することにより、短時間で確実に犠牲層エッチングを行う。詳しくは、複数回のうち先の犠牲層エッチングで構造層と重なっていない領域の犠牲層を除去し、後の犠牲層エッチングで構造層下の犠牲層を除去する。

40

【0016】

本明細書において、構造体の空間を形成するための層であり、後に除去する層を「犠牲層」と記載し、該構造体の空間を形成するための層を除去する工程を「犠牲層エッチング」と記載する。この犠牲層は空間を形成だけでなく、その空間内を可動する部分の形状を決定する役割を有する。

【0017】

以下に、本発明の具体的な方法を示す。

【0018】

50

本発明の一形態は、絶縁表面上に、第一の層を成膜して加工することにより犠牲層を形成し、犠牲層上に、第二の層を成膜して加工することにより構造層を形成し、異方性エッチングにより構造層と重なっていない領域の犠牲層を除去し、等方性エッチングにより構造層と重なっている領域の犠牲層を除去することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0019】

本発明の別形態は、絶縁表面上に、第一の層を成膜して加工することにより犠牲層を形成し、犠牲層上に、第二の層を成膜して加工することにより構造層を形成し、異方性エッチングにより構造層と重なっていない領域の犠牲層を除去し、等方性エッチングにより構造層と重なっている領域の犠牲層の中心部を残して、犠牲層を除去し、等方性エッチングにより構造層と重なっている領域の犠牲層の中心部を除去することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

10

【0020】

本発明の別形態は、絶縁表面上に、絶縁性を有する層を成膜し、絶縁性を有する層上に、第一の層を成膜して加工することにより犠牲層を形成し、犠牲層上に、第二の層を成膜して加工することにより構造層を形成し、構造層に複数の開口部を形成し、異方性エッチングにより開口部の下に存在する領域を含む構造層と重なっていない領域の犠牲層を除去し、等方性エッチングにより構造層と重なっている領域の犠牲層を除去することを特徴とする半導体装置の作製方法である。なお、異方性エッチングにより犠牲層を除去する際に、犠牲層下に存在する絶縁性を有する層の一部が除去されてしまうことがある。

20

【0021】

本発明の別形態は、絶縁表面上に、絶縁性を有する保護層を成膜し、保護層上に、導電性を有する第一の層を成膜して加工することにより第一の導電層を形成し、第一の導電層上に、第二の層を成膜して加工することにより犠牲層を形成し、犠牲層上に、導電性を有する第三の層を成膜して加工することにより第二の導電層を形成し、第二の導電層上に、絶縁性又は導電性を有する第四の層を成膜して加工することにより構造層を形成し、異方性エッチングにより構造層と重なっていない領域の犠牲層を除去し、等方性エッチングにより構造層と重なっている領域の犠牲層を除去することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0022】

本発明の別形態は、絶縁表面上に、導電性を有する第一の層を成膜して加工することにより第一の導電層を形成し、第一の導電層上に、絶縁性を有する第二の層を成膜し、第二の層上に、第三の層を成膜して加工することで犠牲層を形成し、犠牲層上に、導電性を有する層及び絶縁性を有する層を積層して加工することにより構造層を形成し、構造層に複数の開口部を形成し、異方性エッチングにより開口部の下に存在する領域を含む構造層と重なっていない領域の犠牲層を除去し、等方性エッチングにより構造層と重なっている領域の犠牲層を除去することを特徴とする半導体装置の作製方法である。なお、異方性エッチングにより犠牲層を除去する際に、犠牲層下に存在する第二の層の一部が除去されてしまうことがある。

30

【0023】

本発明において、等方性エッチングは、容器内に満たされた液体状のエッチング剤を用い、当該液体状のエッチング剤を流動させて行うことができる。例えば、容器内のエッチング剤を攪拌する、絶縁表面を有する基板若しくは容器を振動させる、又はエッチング剤を容器へ流入する若しくは容器から排出することによりエッチング剤が流動するように操作することができる。

40

【0024】

本発明において、等方性エッチングに、装置内に導入された気体状のエッチング剤を用い、装置内へのエッチング剤又はその他のガスの導入と、装置からのエッチング剤又はその他のガスの排出により装置内部の圧力を変化させることができる。

【0025】

50

本発明の別形態は、窪みが設けられた絶縁性を有する層と、絶縁性を有する層上に、空間を介して設けられた構造層と、を有する構造体を備え、構造層は、窪み上に、当該窪みと重なるの位置に開口部が設けられていることを特徴とする半導体装置である。

【0026】

本発明の別形態は、一对の第一の導電層と、第一の導電層を覆うように形成された、窪みが設けられた絶縁性を有する層と、一对の第一の導電層間であって、絶縁性を有する層上に設けられた第二の導電層と、空間を介して、絶縁性を有する層上にそれぞれ設けられた第三の導電層及び構造層と、を有する構造体を備え、空間を介して、第三の導電層は、第一の導電層及び第二の導電層とそれぞれ対向するように設けられ、構造層は、窪み上の、当該窪みと重なる位置に開口部が設けられていることを特徴とする半導体装置である。

10

【0027】

本発明の別形態は、無線通信回路、及び情報処理回路を有し、情報処理回路は半導体素子を有し、無線通信回路は受動素子を有し、受動素子は、空間を介して対向する二つの導電層を有し、半導体素子、及び受動素子は同一絶縁表面上に形成されていることを特徴とする無線通信機能を有する半導体装置である。

【0028】

本発明の別形態は、無線通信回路、情報処理回路、及びセンサを有し、情報処理回路は半導体素子を有し、無線通信回路は受動素子を有し、受動素子は、空間を介して対向する二つの導電層を有し、センサは、空間を介して対向する二つの導電層を含み、二つの導電層のうちいずれか一方は空間内を可動する構造層の一部を構成し、半導体素子、及び受動素子は同一絶縁表面上に形成されていることを特徴とする無線通信機能を有する半導体装置である。

20

【0029】

本発明において、受動素子は、インダクタ又はコンデンサとして機能することができる。

【発明の効果】

【0030】

本発明は同一プロセスを経て同一の絶縁基板上に、半導体素子及び異なる機能や構造を有する複数の構造体を形成することを可能にするプロセスを提供できる。さらに本発明では、複雑なプロセスを追加することなく、犠牲層エッチングに要する時間を短くすることができる。

30

【0031】

さらに本発明は半導体素子や複数種類の構造体を一体形成し、さらに複雑なプロセスを追加することなく、構造層の下面と基板の表面との付着を防ぐことができる。すなわち本発明はスループット及び歩留まりを向上させることにより、低価格・高付加価値化されたマイクロマシンを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

本発明の実施の形態について、図面を用いて以下に説明する。ただし、本発明は以下の説明に限定されない。本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更し得ることは、当業者であれば容易に理解されるからである。したがって、本発明は以下に示す実施の形態及び実施例の記載内容のみに限定して解釈されるものではない。なお、図面を用いて本発明の構成を説明するにあたり、同じものを指す符号は異なる図面間で共通して用いる場合がある。

40

【0033】

(実施の形態1)

本実施の形態ではマイクロマシンの作製方法について説明する。

【0034】

まず、図1(A)に示すように、絶縁表面を有する基板上に第一の層を成膜し加工することで犠牲層101を形成する。ここで第一の層は単層もしくは積層で形成することができる。犠牲層101の形状加工は、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、

50

ドライエッチング法又はウェットエッチング法によることができる。犠牲層の厚みは0.8 μm 以上15 μm 以下とする。

【0035】

絶縁表面を有する基板としては、ガラス基板、石英基板、金属基板、プラスチック等のフレキシブルな基板等を用いる事ができる。またシリコン等の半導体基板の表面に絶縁性を有する層（以下、絶縁層と記す）を形成した基板を用いる事もできる。

【0036】

これらの絶縁表面上に直接第一の層を成膜しても良く、保護膜や下地層等として機能する絶縁層を成膜した上に、第一の層を成膜することも可能である。さらには、絶縁表面上に半導体素子等を形成した上に、第一の層を成膜することもできる。

10

【0037】

犠牲層101はチタン（Ti）、アルミニウム（Al）、モリブデン（Mo）、タングステン（W）、タンタル（Ta）等の金属、当該金属の酸化物、当該金属の窒化物、又はシリコンやゲルマニウムを有する半導体材料、当該半導体材料の酸化物や窒化物、リンガラス（PSG）等を用い、スパッタリング法やCVD法により形成することができる。

【0038】

次に図1（B）に示すように、犠牲層101の上に第二の層を成膜し、加工することで構造層102を形成する。当該第二の層も第一の層と同様単層もしくは積層で形成することができる。構造層102の形状加工は、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウェットエッチング法による。

20

【0039】

構造層102は、犠牲層エッチングに用いるエッチング剤で犠牲層101とエッチングの選択比が取れる材料であればよい。例えば、チタン（Ti）、アルミニウム（Al）、モリブデン（Mo）、タングステン（W）、タンタル（Ta）等の金属、当該金属の酸化物、当該金属の窒化物、又はシリコンやゲルマニウムを有する半導体材料、当該半導体材料の酸化物や窒化物から、選択比がとれる材料を選択することができる。

【0040】

ここで、犠牲層101、構造層102及び犠牲層101のエッチングに用いるエッチング剤の組み合わせについて具体的な例を示す。例えば、犠牲層エッチングの際にエッチング剤としてフッ酸を用いる場合、犠牲層101をリンガラス（PSG）やシリコン酸化物で形成し、構造層102は多結晶構造を有するシリコンで形成することができる。また、エッチング剤にアンモニア過水を用いる場合、犠牲層101をタングステン（W）、構造層102を酸化シリコンで形成することができる。アンモニア過水とはアンモニア、過酸化水素水及び純水を混合した液体であり、例えば28wt%のアンモニアと31wt%の過酸化水素水と純水とを3：5：2の割合で混合することで得られる。

30

【0041】

また、HFとHNO₃との混合液（好ましくはCH₃COOHをさらに加えた混合液）、KOH、NaOH、EPW（エチレンジアミンピロカテコールと水との混合液）、EDP（エチレンジアミンピロカテコール）、TMAH（水酸化テトラメチルアンモニウム）、ヒドラジン等の溶液はシリコンを溶かすことができる。また、XeF₂、SF₆とC₄F₈との混合ガス、SF₆等のガスによりシリコンを除去することができる。これらのエッチング剤を用いれば、シリコンと酸化シリコンとの選択比を取ることができるため、犠牲層101にシリコンを、構造層102に酸化シリコンを用いて形成することができる。逆に犠牲層101を酸化シリコン、構造層102をシリコンで形成する場合、エッチング剤にはHFとNH₄Fとの混合液、NH₄HF₂、バッファードフッ酸等の溶液、HFとNH₄Fとの混合ガス、SF₆及びC₄F₈とH₂との混合ガス等を用いることができる。

40

【0042】

またKOH、EPW、EDP、TMAH、ヒドラジンは、多結晶構造を有するシリコン結晶の面方位や不純物濃度によりエッチング速度の異方性が生じるため、犠牲層101と構造層102とを面方位の異なるシリコンや不純物濃度が異なるシリコンから形成すること

50

もできる。

【0043】

次に、図1（C）に示すように、先に構造層102と重なっていない領域の犠牲層を除去する。本明細書中において、犠牲層エッチングを複数回行う場合、工程順に「第一の犠牲層エッチング」、「第二の犠牲層エッチング」、「第三の犠牲層エッチング」と序数を付して記す。すなわち図1（C）に示すように、第一の犠牲層エッチングにより構造層102と重なっていない領域の犠牲層101を除去する。第一の犠牲層エッチングは、構造層102と重なっていない領域の犠牲層101を除去するため異方性のエッチングを適用することができる。具体的には、上記したエッチング剤を用いた異方性のウエットエッチング法又は異方性のドライエッチング法を適用することができる。なお第一の犠牲層エッチングには、異方性のドライエッチングで行うことが望ましい。なぜなら、異方性のドライエッチングは、ウエットエッチングに比較して非常に短時間で行うことができるからである。

10

【0044】

次に、図1（D）に示すように、第二の犠牲層エッチングにより構造層102と重なっているその他の領域の犠牲層101を除去し、空間103を形成する。第二の犠牲層エッチングは構造層102の下にある犠牲層101を除去するため、エッチング剤が横方向にも拡散する等方性のエッチングを適用する。具体的には、上記したエッチング剤を用いた等方性のウエットエッチング法又は等方性のドライエッチング法を適用することができる。等方性のドライエッチングとは、例えば大気圧下でエッチングガスのプラズマを用いる方法である。

20

【0045】

さらには、上記第二の犠牲層エッチングを等方性のウエットエッチングで行い、構造層102の下にある犠牲層101の一部を残すこともできる。第二の犠牲層エッチングによって犠牲層101の一部を残した場合の斜視図を図2（A）に、線分OPにおける断面図を図2（B）に示す。犠牲層エッチングは犠牲層101がエッチング剤と接触する部分から構造層102の下に向かって進行するため、構造層102の下の中心部分に少量の犠牲層101を残すことができる。

【0046】

このように犠牲層101の一部を残した場合、図2（C）に示すように、第三の犠牲層エッチングにより構造層102の下にある犠牲層101を除去し、空間103を形成することができる。このとき第三の犠牲層エッチングは等方性のウエットエッチングもしくは等方性のドライエッチングを適用することができる。

30

【0047】

上記のような第一の犠牲層エッチング、第二の犠牲層エッチング、及び第三の犠牲層エッチングの方法は、構造層、犠牲層及び当該犠牲層をエッチングするエッチング剤の組み合わせにより決定することができる。

【0048】

図1及び図2を用いて示した構造体は、構造層102上下に空間を有する梁構造であり、作製方法は犠牲層101及び構造層102を形成した後に犠牲層エッチングを少なくとも2回に分けて行う例を示した。しかし本発明において構造体の形状、及び犠牲層101と構造層102との作製方法は上記形態に限定されることはない。例えば、構造体の構造層102は片持ち梁や櫛歯型、歯車型等の形状を有することができる。また、シリコンウエハーを用いて犠牲層や構造層を作製することができ、例えばシリコンウエハーに不純物を注入することによって、シリコンからなる犠牲層と不純物を有するシリコンからなる構造層とを作り分ける工程を用いてもよい。

40

【0049】

このように本発明のマイクロマシンの作製方法は、犠牲層を複数回に分けて除去することの特徴とする。第一の犠牲層エッチングは、除去する犠牲層が構造層と重なっていないために短時間で行うことができる。これは、犠牲層とエッチング剤とが接する面積が広く、エ

50

ッチング剤が拡散しやすいためである。さらに、犠牲層が構造層と重なっていないために、エッチングレートの速い異方性のエッチングを適用することができるからである。

【0050】

このように第一の犠牲層エッチングにより犠牲層を減らした後に、第二の犠牲層エッチングを行うことで、第二の犠牲層エッチングを行う時間を短くすることができる。さらには犠牲層を完全にエッチングしきれないという問題を回避することができる。

【0051】

また第二の犠牲層エッチングにウエットエッチングを適用し、構造層102下に存在する犠牲層101をすべて除去すると、構造層102下に存在する液体の表面張力により構造層102がその構造を保てずに座屈し、基板や隣接した層と付着することがある。第二の犠牲層エッチングにおいて構造層102下の犠牲層101をすべて除去せず一部を残すようにすることで、残した犠牲層101を、構造層102を支える支持体として利用することができる(図2(A)、(B)参照)。具体的には、構造層102と重なっている犠牲層101の中心を残して除去し、当該中心を支持体として利用する。なお中心とは、厳密な中心を指すのではなく、第二の犠牲層エッチングを行っていき、支持体として機能する状態で当該エッチングを止めたときの犠牲層101の形状を指す。そして第三の犠牲層エッチングによって支持体として機能する、犠牲層101の中心を除去することができる。したがって、第三の犠牲層エッチングは等方性のドライエッチングを適用することが望ましい。又は、表面張力が低く付着を起こしにくいエッチング剤を用いたウエットエッチングを適用することもできる。

【0052】

本発明は同一プロセスを経て同一の絶縁基板上に、半導体素子及び異なる機能や構造を有する複数の構造体を、複雑なプロセスを追加することなく形成することを可能にするプロセスを提供することができる。さらに本発明は構造層の下面と基板の表面との付着を防ぐことができる。

【0053】

(実施の形態2)

本発明のマイクロマシンは、構造体及び半導体素子によって形成される電気回路部を有する。以下に、電気回路部を有する形態について説明する。

【0054】

図3(A)に示すように、異なる基板上に半導体素子104及び構造体105を形成し、それらを接着剤106等を用いて貼り合わせることができる。

【0055】

また図3(B)に示すように、構造体105を形成して基板上に封止した後に半導体素子104を形成する事もでき、図3(C)に示すように、半導体素子104を形成した後にその上の層に構造体105を形成することも可能である。さらに、構造体105と半導体素子104とを同一のプロセスを用いた同一の層で形成することもできる。

【0056】

このような本発明を用いて形成されたマイクロマシンは、スループット及び歩留まりを向上させることができる。その結果、低価格・高付加価値化されたマイクロマシンを提供することができる。

【0057】

(実施の形態3)

本実施の形態では上記実施の形態と異なり、開口部(以下、穴とも記す)を設けた構造体の作製方法について説明する。

【0058】

まず、図4(A)に示すように、絶縁基板上に第一の層を成膜し加工することで犠牲層201を形成する。第一の層は上記実施の形態と同様に単層及び積層で形成することができ、その形状加工はフォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウエットエッチング法による。

【0059】

次に、図4（B）で示すように、犠牲層201の上に第二の層を成膜し、加工することで構造層202を形成する。第二の層も上記第一の層と同様に形成及び加工することができる。ここで構造層202には穴203が設けられている。穴203は、単数又は複数設けることができ、複数設ける場合には穴203の直径を異ならせてもよい。図4（C）及び（D）には、穴203が設けられた構造層202及び犠牲層201の上面図、及び線分OPにおける断面図を示す。

【0060】

次に、図5（A）に示すように、第一の犠牲層エッチングによって構造層202と重なっていない部分の犠牲層201を除去する。第一の犠牲層エッチングは上記実施の形態と同様に、異方性のエッチングにより行うことができる。第一の犠牲層エッチング後の構造層202及び犠牲層201の上面図、及び線分OPにおける断面図を図5（B）及び（C）に示す。図5（B）及び（C）に示すように、穴203においても構造層202と重なっていない犠牲層201が除去されている。

【0061】

次に、図5（D）に示すように、第二の犠牲層エッチングによって構造層202と重なっている領域の犠牲層201を除去する。第二の犠牲層エッチングは上記実施の形態と同様に、等方性のエッチングにより行うことができる。第二の犠牲層エッチングを行うことによって、構造体が有する空間204が形成される。

【0062】

上記のように犠牲層エッチングを複数回に分けて行うことで、従来よりも短時間で犠牲層エッチングを行うことができる。さらに本実施の形態のように構造層202に穴203を開けることによって、第一の犠牲層エッチングによって除去する犠牲層201の量を多くし、第二の犠牲層エッチングで除去する犠牲層201の量をさらに少なくすることができるために、犠牲層エッチングに要する全体の時間を短縮することができる。

【0063】

また、図6（A）に示すように、基板205上に下地層を形成し、その上に犠牲層208及び、穴210を有する構造層209を形成する。図6（A）では下地層を積層構造とするため、第1の下地層206及び第2の下地層207を順に形成する。

【0064】

次に図6（B）に示すように、構造層209と重なっていない部分の犠牲層208を、第一の犠牲層エッチングによって除去する。その結果、穴210直下の犠牲層208がエッチングによって除去される。

【0065】

このとき図6（C）に示すように、エッチング時間や選択比によるが穴210下方の下地層までエッチングされうる。そのため、図6では下地層を第1の下地層206及び第2の下地層207の積層構造とする。第1の下地層206はエッチングにより除去され、第2の下地層207はエッチングにより一部除去され、結果として窪み211が形成される。第一の犠牲層エッチング及び下地層のエッチングは上記の例と同様、異方性のエッチングを適用することができる。

【0066】

そして図6（D）に示すように構造層209の下にある犠牲層208を、第二の犠牲層エッチングによって除去する。第二の犠牲層エッチングは上記の例と同様、等方性のエッチングを適用することができる。

【0067】

このような第一の犠牲層エッチングの後に下地層をエッチングして窪み211を形成することにより、空間を介した構造層209の下方の表面を粗面化することができる。粗面化すると表面張力によりエッチング剤を速やかに除去することができ、乾燥等による構造層209の座屈を防ぐことができる。

【0068】

乾燥時に生じる座屈とは、つまり可動部の下表面とそれに対向する表面との付着力に対して、可動部分を支える力が負けることによって生じる座屈である。可動部の下表面とそれに対向する表面との付着力は、その間にエッチング剤等の液体が存在すると生じ、液体と固体とが付着している面積及び液体の表面張力に比例する。

【0069】

構造層209に設けられた穴210の径が、可動部の下表面とそれに対向する表面との距離（すなわち犠牲層の厚さ）に比べて小さい場合は、エッチング工程により対向する表面を疎液面とすることができる。その結果、対向する表面と液体とが付着する付着力が小さくなるため、座屈を防止することができる。

【0070】

構造層209に設けられた穴210の径が、犠牲層208の厚さと等しい又は厚さ以上の場合は、構造層209下方に設けられた窪み211の内部に液滴が落ち込む。したがって、可動部の下表面と液体とが付着する面積が小さくなって液体が可動部下方の表面から離れやすくなり、座屈を防止することができる。

【0071】

また、構造層209の下表面を粗面化することにより、可動部の下表面とそれに対向する表面とが接することのできる面積が小さくなるため、座屈を防止することができる。これは、接触する面積を小さくすることで、表面エネルギーが小さくなるからである。

【0072】

このように、構造層209に設けた穴を通して、構造層209の下方に設けられた表面、具体的には下地層に窪み211を形成し、可動部分に対向する表面を粗面化することで、座屈、つまり乾燥時の付着及び二次的な付着を低減することができる。

【0073】

このように構造層209の下側表面を粗面化すればよいため、図7（A）のように、下地層212を1層で形成することも可能である。

【0074】

さらに、第一の犠牲層エッチング後に窪みを形成し、表面に親液性の処理を施し、その後第二の犠牲層エッチングを行うこともできる。

【0075】

さらに図7（B）のように、第1の下地層213を親液性の材料で形成し、第2の下地層214を疎液性の材料で形成し、上記のように第1の下地層213の一部が露出するまでエッチングして窪みを形成することで、付着の原因となる液体を穴の中へ導入しやすくなることができる。

【0076】

なお本実施の形態において、犠牲層201と、穴203の設けられた構造層202とを形成した後、第一の犠牲層エッチングにより構造層202と重なっていない部分の犠牲層201を除去し、第二の犠牲層エッチングによって構造層202と重なっている領域の犠牲層201を、一部を残して除去し、その後、第二の犠牲層エッチングで残した部分の犠牲層201を第三の犠牲層エッチングによって除去することも可能である。第二の犠牲層エッチングで残した部分により、作製途中における構造層202の座屈を防止することができる。

【0077】

本実施の形態のように構造層に穴を設け、犠牲層エッチングを複数回に分けることによって、複雑なプロセスの追加や特殊な装置及び材料を用いずに犠牲層のエッチングに要する時間を短縮し、構造層の座屈を防止することができる。

【0078】

なお、本実施の形態は上記実施の形態と自由に組み合わせることができる。

【0079】

（実施の形態4）

本実施の形態はマイクロマシンの作製方法に関し、従来の方法を示した図28を参照し、

10

20

30

40

50

本発明の方法での解決手段について、上記実施の形態と異なる点について説明する。

【0080】

従来の方で犠牲層エッチングを行うと、図28(A)に示すように、犠牲層が完全に除去されずに残るといった問題が生じることがある。これは、犠牲層材料の量が多いために完全に犠牲層2701を除去することができなかつたり、又は犠牲層エッチングが長時間に及ぶために基板面内でエッチングレートがばらつき、犠牲層2701が除去できる部分とできない部分とが発生するためである。しかしながら、犠牲層エッチングにじゅうぶん長い時間をかけても図28(A)に示すように犠牲層2704が残り、除去することができない場合がある。

【0081】

このように犠牲層が残ってしまう現象について図8乃至図10を用いて詳細に説明する。例えば図8(A)の上面図に示すように犠牲層401と構造層402を形成する。これは、犠牲層401のほとんどの部分を構造層402が覆い、構造層402は長いトンネル構造となっている。

【0082】

このような構造に対し、等方性のエッチングで犠牲層エッチングを行うと、はじめのうちは図8(B)に示すように犠牲層401のエッチングが進み、エッチング開始から時間 t が経過すると、犠牲層401は構造層402の端部からの距離 $R(t)$ まで除去される。ここで図8(B)は、エッチングにより犠牲層401が除去された部分403と、犠牲層401が残っている部分404を示す。そして図8(C)に示すように、エッチング開始からある時間 t_{max} でエッチングは停止し、犠牲層401は構造層402の端部からの距離 $R(t_{max}) = R_{max}$ まで除去される。図8(B)(C)に示す構造の斜視図を図10(A)に、図10(A)における線分OPでの断面図を図10(B)に示す。

【0083】

図8及び図10に示すような長いトンネルを形成するような構造に対して等方性の犠牲層エッチングを行った場合、犠牲層401が、構造層402の端部からエッチングされる距離 $R(t)$ は、図9に示すように時間に依存する。図9は、横軸をエッチング開始からの時間 t 、縦軸をエッチングされる距離 $R(t)$ として示している。このようなトンネル構造のように、犠牲層エッチングが進むにつれて犠牲層401が構造層402下の奥深くへ後退し、エッチング剤が犠牲層401付近にまで流入しにくくなるような構造の場合、図9に示すように犠牲層401がエッチングされる距離 R_{max} はある時間 t_{max} で飽和し、それ以上の時間をかけて犠牲層エッチングを行ってもエッチングは進まない。構造層402が長いトンネル構造となっているために、犠牲層401がエッチングされるにしたがって犠牲層401は構造層402下方の奥深くへ後退するため、トンネル内に犠牲層401とエッチング剤との反応生成物406が滞留しやすくなり、逆に反応可能なエッチング剤407が流入しにくくなるためである。そして、エッチング剤407が拡散によって到達することができない距離にまで犠牲層401が後退すると、犠牲層エッチングは停止する。このときのエッチングされた距離が R_{max} である。

【0084】

図8及び図10では、構造層402がトンネル構造を有する図を例に示して説明したが、この形状のみに限定されることはない。すなわちトンネル構造のように開口部の面積に比較して奥行きが長く、犠牲層エッチングが進むにつれて犠牲層401は構造層402や絶縁基板に囲まれた奥深くへ後退するために、エッチング剤が犠牲層401付近にまで流入しにくくなるような構造の場合に犠牲層401が残ってしまう現象が起こりうる。

【0085】

エッチングされる最大の距離 R_{max} 及びエッチングに要する時間 t_{max} は、犠牲層401や構造層402の材料ならびに構造、犠牲層401をエッチングするエッチング剤の材料、及び犠牲層401のエッチングの方法や条件等、様々な要因によって異なる。しかしながらどのような方法、材料、条件等を組み合わせて適用してもエッチングされる距離 $R(t)$ はある距離 R_{max} で飽和する。

【0086】

マイクロマシンを作製する場合に、犠牲層エッチングにより除去したい距離 R が、エッチングされる最大の距離 R_{max} よりも大きくなるような条件となれば、犠牲層 401 は構造層 402 の下に残るといった問題を生じさせることとなる。

【0087】

上記に説明したように、エッチング開始からの時間 t が大きくなるにしたがってエッチング速度が遅くなり、ある時間 t_{max} を超えると距離 R_{max} でエッチングが停止する。

【0088】

上記問題は反応生成物 406 及びエッチング剤が拡散しにくくなり生じる。そこで本発明では、エッチング剤を流動させ、反応生成物 406 が犠牲層 401 周辺から拡散すると共に反応可能なエッチング剤 407 が犠牲層 401 近辺に存在するよう操作する。そうすることでエッチング開始からの時間 t が大きくなった時にもエッチングレートを速くすることができ、エッチングされる最大の距離 R_{max} を大きくすることができる。その結果、マイクロマシンの設計の自由度を向上させることができる。

10

【0089】

上記の方法をドライエッチングによって行う場合、例えば、エッチング剤の導入と装置内のガスの排気とを行うことによって、反応可能なエッチング剤 407 が犠牲層 401 近辺に存在するよう操作することができる。

【0090】

このような構成を備えたドライエッチングを行う装置を図 11 に示す。ドライエッチング装置は、エッチング剤の導入口 411 が設けられた上部電極 414 と、下部電極 415 と、排出口 412 とを有する。下部電極 415 上に犠牲層が形成された絶縁基板 413 を配置し、下部電極 415 と上部電極 414 に電圧を印加しプラズマを発生させてエッチングを行う。このとき、排出口 412 により気体状のエッチング剤を排出させる。またエッチング剤の導入及び排出を交互に繰り返し行うこともできる。なお、ドライエッチング装置は図 11 に示した構成に限定されることはなく、例えば導入口 411 は上部電極 414 とは別に設けられていても良いし、また排出口 412 は装置下部に設けられていても良い。

20

【0091】

一般的に半導体素子を作製する場合のドライエッチング装置は、導入口 411 から導入されるエッチング剤の流量と排出口 412 から排出されるガス量とを制御し、装置内部の圧力を一定に保ってドライエッチングが行われる。しかしながら犠牲層エッチングの場合は除去する物質の量が多いために、一般的な方法を用いるとエッチングレートが非常に遅くなり、またエッチング剤と犠牲層との反応生成物が絶縁基板上に堆積するという問題が生じる場合がある。

30

【0092】

そこで本実施の形態のドライエッチング装置では、エッチング剤の導入量を増加させてエッチングを行い、ある時間後にガスの排出量を増加させる方法により犠牲層エッチングを行う。すなわち本実施の形態において、ガスの導入及び排出によってエッチング装置内部の圧力を変化させながら犠牲層エッチングを行うことを特徴とする。

【0093】

ガスの排出は、犠牲層とエッチング剤との化学反応による反応生成物を取り除き、犠牲層の付近にエッチング剤を導入しやすくするためであり、必ずしも真空度を高くする必要はない。しかしながら、装置内を高真空にすると、反応生成物を絶縁基板に堆積させにくくすることができ好ましい。

40

【0094】

さらに、導入口 411 よりアルゴンやヘリウム等の不活性ガスを導入してプラズマを発生させ、物理的に絶縁基板 413 上に堆積した反応生成物を除去する工程を追加しても良い。

例えば、

(1) エッチング剤を導入してエッチングを行う。

50

(2) 装置内部のガスを排出する。

(3) 不活性ガスを導入し反応生成物を除去する。

という順序で犠牲層エッチングを行うことができる。

上記(3)の工程では、同時にガスの排出を行うことによって効率よく反応生成物を除去することもできる。また必要に応じて、(1)～(3)の工程を任意に組み合わせる、又は繰り返すことができる。

【0095】

また、(3)の工程に用いるガスは不活性ガスに限らず、犠牲層とエッチング剤との反応生成物と反応し、反応生成物を除去することのできる反応性ガスを用いることもできる。ここで上記反応性ガスは、エッチング剤以外の反応性ガスである。エッチング剤や反応生成物を除去するためのガスの導入量、エッチング装置内のガスの排出の量、それらを繰り返す回数等は、犠牲層の膜厚や、犠牲層及びエッチング剤の種類等によって決めることができる。エッチング剤や希ガスの導入量やガスの排出の量、それらを繰り返す回数等は、犠牲層の膜厚や、犠牲層及びエッチング剤の種類等によって決めることができる。

10

【0096】

このようなドライエッチングの方法によって、図10(B)に示すように犠牲層401付近に滞留していた反応生成物406が犠牲層401付近に滞留することなく、反応可能な新しいエッチング剤407が犠牲層401付近に拡散しやすくなり、犠牲層エッチングを短い時間で行う事ができる。

【0097】

また、犠牲層エッチングをウェットエッチングによって行う場合、基板やエッチング用の容器を振動させたり、エッチング剤を流動させることで上記の方法を実現することができる。

20

【0098】

図12に、上記の方法を実現するためのウェットエッチングを行う方法を示す。ウェットエッチング装置は、基板支持体424に立てた犠牲層が形成された絶縁基板422を、容器421に満たされた液体状のエッチング剤423の中に浸すことができる。ここでエッチング剤を流動させるため、図12(A)に示すように、容器421を振動させる方法がある。

【0099】

またエッチング剤を流動させるため、図12(B)に示すように、基板支持体424を振動させることによって絶縁基板422を振動させる方法がある。

30

【0100】

またエッチング剤を流動させるため、図12(C)に示すように、エッチング剤を攪拌させる方法がある。

【0101】

またエッチング剤を流動させるため、図12(D)に示すように容器421にエッチング剤の導入口425及び排出口426を設け、エッチング剤を導入及び排出させる方法がある。

【0102】

このようにエッチング剤を流動させることにより、犠牲層エッチングを短時間で行うことができる。またエッチング剤との反応が進むため、犠牲層が残留することを防止できる。

40

【0103】

このように、本発明のマイクロマシンの作製方法を用いることによって、エッチング速度を向上させることができるため、犠牲層エッチングに要する時間を短くすることができる。さらに、図9で示したエッチングされる最大の距離 R_{max} を大きくすることができ、マイクロマシンの設計の自由度を向上させることができる。

【0104】

なお本実施の形態は、上記実施の形態と自由に組み合わせることができる。

【0105】

50

(実施の形態 5)

本発明のマイクロマシンは半導体素子を有する電気回路及び構造体を有し、構造体は犠牲層を除去することによって形成された空間及び構造層を有する。そして構造層の一部はその空間で可動することができる。ここで電気回路とは、例えば無線通信回路や、メモリ、制御回路等を含む。本実施の形態では、このようなマイクロマシンの構成について説明する。メモリは、半導体素子及び記憶素子を有する。

【0106】

図13(A)に示すように、本発明のマイクロマシンが有する構造体は、構造層701、下部電極703を有し、構造層701と下部電極703との間には空間702が設けられている。構造層701は、外力を受けて上下に可動することができる。このような構造体は、構造層701と下部電極703との間の静電容量の変化を把握することができ、構造体は静電容量の変化を検知することができるセンサとなる。

10

【0107】

また図13(B)に示すように、構造体は、固定の櫛歯704と可動の櫛歯705とを有し、固定の櫛歯704と可動の櫛歯705の間、及び可動の櫛歯705と絶縁基板との間に空間を有する。固定の櫛歯704と可動の櫛歯705との間に電圧を印加し、可動の櫛歯を電極として適用することにより、構造体は外部から入力された電気信号を変位に変えることができるアクチュエータとなる。

【0108】

上記例以外にも、犠牲層を除去することによって形成された空間及び構造層を有するが、可動することのない構造体を形成することができる。すなわち、配線のみが基板上に接して形成され、構造層は基板から離れて形成されるインダクタやコンデンサ、導波路等がこれに該当する。構造層は基板から離れて形成されることによって基板との相互作用を低減することができるために、このような構造体は主に高周波で動作する無線通信回路に用いることができる。

20

【0109】

上記に説明した構造体は一例であり、目的に応じた形状、及び工程により形成され、様々な駆動方法により所定の機能を備えることができる。例えば、同じ構造を有する構造体を形成した場合にも、駆動方法によって異なる機能を持たせることも可能である。

【0110】

またマイクロマシン711は、図14(A)に示すように、構造体によって形成される構造部713と電気回路部712とを有することができる。例えば、構造部713は静電容量の変化を検知するセンサとすると、マイクロマシン711はセンサによって圧力や加速度等の物理量を検知することができ、その検知した量を電気回路部712によって処理し、出力する事ができる。

30

【0111】

さらには構造部713が上記に説明したようなアクチュエータとすると、マイクロマシン711は、外部から入力された電気信号を電気回路部712によって処理し、アクチュエータを介して変位や力を出力する事ができる。

【0112】

また図14(B)に示すように、マイクロマシン714は無線通信回路715及びその他の電気回路716を有し、外部と無線通信を行う構成を有する無線通信機能を有する半導体装置とすることができる。ここでその他の電気回路とは、例えば情報処理回路やメモリ、制御回路等である。また、無線通信回路とは、アンテナ、電源回路等を有し、外部の装置と電磁波を介して無線で通信を行う回路である。そしてその無線通信回路を構成する受動素子、例えばインダクタやコンデンサは、犠牲層を除去することによって形成された空間及び構造層を有し、空間を介して二つの導電性を有する層（以下、導電層と記す）が対向している構造体で形成することができる。

40

【0113】

さらに、図14(C)が示すように、マイクロマシン717は、無線通信回路718、構

50

造部 719、及びその他の電気回路 720 によって構成することも可能である。その他の電気回路は上記例と同様に情報処理回路やメモリ、制御回路等を有する。そして構造部は構造体であるセンサやアクチュエータを有し、マイクロマシンは無線通信回路によって外部からの制御を受ける、又は情報を送信する、等の構成にすることができる。そしてこの無線通信回路も、空間と構造層とを有する構造体として形成された受動素子を有することができる。

【0114】

本発明のマイクロマシンが有する構造体は、上記のようにセンサやアクチュエータのみならず、受動素子を形成することも可能である。無線通信を行うための回路に於いては、受動素子（容量、インダクタ、抵抗等）は重要であるが、一般的な半導体素子を形成する工程ではこれらの受動素子を形成することが難しかった。しかし受動素子を構造体で形成することで、良好な特性を得ることができる。

10

【0115】

なお本実施の形態は、上記実施の形態と自由に組み合わせることができる。

【0116】

（実施の形態 6）

本実施の形態では、マイクロマシンが有する構造体の作製方法についての具体例を示す。ここでは、物理的な接触又は非接触により、導通又は非導通を決定するスイッチの作製方法について、図 15 乃至図 17 を用いて説明する。ここで用いる図において、左側には上面図、右側には断面図を示している。

20

【0117】

まず図 15（A1）、（A2）に示すように、基板 502 上に導電層 501 を形成する。導電層 501 は基板 502 上に直接形成しても良く、基板 502 上に下地層 503 を形成した後に導電層 501 を形成することもできる。なお、上面図である図 15（A1）では、基板 502 と、下地層 503 を省略している。図 15（A1）は基板 502 上に下地層 503 を形成した後に導電層 501 を形成した例を示す。導電層 501 は、導電性を有する層を成膜した後に、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウェットエッチング法により加工することで形成できる。導電層 501 は、一対の電極として形成され、スイッチの駆動を制御する。

【0118】

次に図 15（B1）、（B2）に示すように、導電層 501 上に絶縁層 504 を形成し、その上に導電層 505、506 を形成する。絶縁層 504 は、CVD 法やスパッタリング法等により成膜することができる。また、導電層 505、506 は上記の導電層 501 と同様に成膜、加工することができる。一対の導電層 501 間に形成する。ここで形成した導電層 505、506 は、信号の電導路として機能するため、一対の電極として形成される。すなわち、一対の導電層 501 と、一対の導電層 505、506 は十字状に配置される。なお、図 15（B1）の上面図では、基板 502 と、下地層 503 と、絶縁層 504 は省略する。

30

【0119】

次に図 15（C1）、（C2）に示すように、導電層 505、506 上に犠牲層 507 を形成する。犠牲層 507 は上記の導電層と同様に成膜、加工することができる。ここで形成した犠牲層 507 は、後の犠牲層エッチング時に除去し、犠牲層 507 が存在した部分は空間となる。なお、図 15（C1）の上面図では、基板 502 と、下地層 503 と、絶縁層 504 は省略している。

40

【0120】

次に図 16（A1）、（A2）に示すように、犠牲層 507 上に導電層 508、509 を形成する。導電層 508、509 は上記導電層 505、506 及び犠牲層 507 と同様に成膜、加工することができる。ここで形成した導電層 508、509 のうち、導電層 509 は導電層 505、506 と接触することにより電導路を導通する接触電極となり、導電層 508 は導電層 501 との間に電圧を印加してスイッチを駆動する駆動電極となる。そ

50

のため、導電層508は絶縁層504及び犠牲層507を介して一对の導電層501と対向するように配置され、導電層509は犠牲層507を介して一对の導電層505、506と対向するように配置される。なお、図16(A1)の上面図では、基板502と、下地層503と、絶縁層504は省略している。

【0121】

次に図16(B1)、(B2)に示すように、導電層508、509上に構造層510を形成する。構造層510は絶縁性を有する材料を用いて積層又は単層に成膜し、上記の犠牲層507等と同様に加工することができる。ここで形成した構造層510は、橋構造を有する構造体の形を形成し、可動する主体部分を構成するものである。図16(B1)の上面図では、基板502と、下地層503と、絶縁層504は省略している。

10

【0122】

次に図16(C1)、(C2)に示すように、犠牲層エッチングによって犠牲層507を除去することで空間511を形成する。この犠牲層エッチングは、上記実施の形態で説明したように、第一の犠牲層エッチングによって構造層510と重なっていない部分の犠牲層507を除去し、その後第二の犠牲層エッチングによって構造層510の下にある犠牲層507を除去することができる。すると導電層509と、導電層505とは空間511を介して対向し、導電層501と、導電層508とは空間511及び絶縁層504を介して対向する。このようにして、犠牲層507を除去することで形成された空間511、及びその空間511内を可動することのできる構造層510を有する構造体512を形成することができる。

20

【0123】

また、上記犠牲層エッチングにおいて、第二の犠牲層エッチングによって構造層510の下にある犠牲層507のほとんどを除去して一部を残し、第三の犠牲層エッチングによってすべての犠牲層507を除去することもできる。第二の犠牲層エッチングで残した犠牲層507は、構造層510の座屈を防ぎ構造層510を支持する支持体として利用することで、乾燥時の付着を防止することができる。なお、図16(C1)の上面図では、基板502と、下地層503と、絶縁層504は省略している。

【0124】

また、図17(A1)、(A2)に示すように、構造層510に穴513を設けることもできる。そして上記実施の形態で説明したように、第一の犠牲層エッチングによって構造層510と重なっていない部分及び穴513直下の犠牲層507を除去し、第二の犠牲層エッチングによって構造層510下にある犠牲層507を除去することができる。さらには図17(B1)、(B2)に示すように、第一の犠牲層エッチング後に、エッチングによって穴513直下の絶縁層504に窪み514を設け、その後第二の犠牲層エッチングを行うことも可能である。さらには、窪み514を設けた後に親液性処理を施し、その後第二の犠牲層エッチングを行うこともできる。なお、図17(A1)、(B1)の上面図では、基板502と、下地層503と、絶縁層504は省略している。

30

【0125】

次に、上記方法によって作製した構造体512の動作について説明する。構造体512は信号を伝えるか伝えないかを操作するためのスイッチとして機能する。ここで図16(C2)はスイッチのOFFの状態を示す。ここでは駆動電極間(すなわち導電層501及び508間)に電圧が印加されないことから導電層505と、導電層506とは非導通である。そして図18(A1)、(A2)はスイッチのONの状態を示す。ここでは駆動電極間(すなわち導電層501及び508間)に電圧が印加することで静電気力を発生させ、構造層510を引き下げる。導電層505及び506と導電層509とが接触するまで構造層が引き下げられることによって導電層505、506と導電層509とが導通する。導電層505及び506と導電層509とは空間511を介して設けられているため、このようにスイッチング動作を行うことができる。

40

【0126】

このように静電引力を利用するスイッチは、駆動電極(すなわち導電層501及び508

50

）との間に生じる引力と、構造層 510 の材料及び構造に起因する復元力（＝バネ定数×変位の大きさ）とのバランスによって駆動させる。すなわち、構造層 510 の復元力に打ち勝つ静電力を発生させる電圧を印加することでスイッチをオンとすることができる。なお、図 18（A1）の上面図では、基板 502 と、下地層 503 と、絶縁層 504 は省略している。

【0127】

図 17（A1）、（A2）のように構造層 510 に穴 513 を設けると、構造層 510 の梁部分に作用する空気抵抗を減少し、スイッチングのスピードを上げることもできる。また、穴 513 を設けることで構造層 510 内部の残留応力を低減し、バネ定数を小さくする効果がある。さらには質量を低減することによって構造層 510 の梁部分の機械的な共振周波数を向上させる効果がある。また、導電層 508 を貫通するように穴 513 を設けても、穴 513 の直径が駆動電極である導電層 501 及び導電層 508 との距離の 3～4 倍以下であれば、駆動電極間の静電容量は穴 513 を設けなかった場合とほとんど変わらない。これはフリンジング効果によって穴 513 の静電容量の欠陥を補うことができるからである。

10

【0128】

また、本実施の形態では橋構造の構造体 512 の例を示したが、例えば片持ち梁型の構造体として形成することも可能である。なお、橋構造とは、両端が基板に固定され、中央が基板と接していない構造を意味している。片持ち梁型とは、基板上に形成された構造体において、片端のみが基板に固定され、他端が基板と接していない構造を意味している。また、本実施の形態は上記実施の形態と自由に組み合わせることができる。

20

【0129】

（実施の形態 7）

本実施の形態ではマイクロマシンが有する構造体の具体的な作製方法について、上記実施の形態とは異なり、センサとして利用することのできる構造体について、図 19 及び図 20 を用いて説明する。ここで用いる図は、左側に上面図、右側に断面図を示す。

【0130】

まず図 19（A1）、（A2）に示すように、基板 602 上に第一の導電層 601 を形成する。第一の導電層 601 は導電性を有する材料を用いて成膜し、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウエットエッチング法により加工することで形成することができる。また第一の導電層 601 は単層、又は積層で形成することができる。図 19（A1）、（A2）では基板 602 上に下地層 603 を形成した後、第一の導電層 601 を単層に形成した場合を示す。なお、図 19（A1）において、基板 602 及び下地層 603 は省略している。

30

【0131】

次に図 19（B1）、（B2）に示すように、第一の導電層 601 上に犠牲層 604 を形成する。犠牲層 604 は上記第一の導電層 601 と同様に形成、加工することができる。次に図 19（C1）、（C2）に示すように、犠牲層 604 上に第二の導電層 605、絶縁層 606、及び第三の導電層 607 を積層させて形成する。ここで第二の導電層 605 及び第三の導電層 607 は、第一の導電層 601 と同様に成膜でき、絶縁層 606 は絶縁性を有する材料を用いて成膜することができる。そしてこれらの層上に、フォトリソグラフィによりレジストを形成し、ドライエッチング法又はウエットエッチング法によりセルフアラインで加工することができる。この第二の導電層 605、絶縁層 606、及び第三の導電層 607（本実施の形態では、この 3 つの層を合わせて構造層とも記す。）は可動する構造部分となる。なお、図 19（B1）、（C1）において、基板 602 及び下地層 603 は省略している。

40

【0132】

次に図 19（D1）、（D2）に示すように、犠牲層エッチングによって犠牲層 604 を除去し、空間 608 を形成する。ここで上記実施の形態と同様、第一の犠牲層エッチングによって、第二の導電層 605 と重なっていない部分の犠牲層 604 を除去し、第二の犠

50

性層エッチングによって第二の導電層 605 の下に存在する犠牲層 604 を除去することができる。

【0133】

また、図 20 (A1)、(A2) に示すように構造層に穴 609 を設けることも可能である。この場合、上記実施の形態で説明したように、第一の犠牲層エッチングによって穴 609 直下に存在する犠牲層 604 を除去した後、下部電極となる第一の導電層 601 に窪み 610 を設け、その後第二の犠牲層エッチングによって構造層下に存在する犠牲層 604 を除去することができる。

【0134】

また、構造層に穴を設けない場合、図 20 (B1)、(B2) に示すように第一の導電層 601 に上記窪み 610 と同様の機能を有する溝 611 を設けることができる。溝 611 は上面 (図 20 (B1) 参照) からみると、櫛歯状となっている。具体的には、第一の導電層 601 に任意の溝 611 を設けるように形成する。又は、第一の導電層 601 を形成した後に溝 611 を設け、その後犠牲層 604 を形成することも可能である。

【0135】

また、図 20 (C1)、(C2) に示すように、構造層上に重りとなるような層 612 を形成し、その後犠牲層エッチングを行うこともできる。なお、図 19 (D1)、図 20 (A1)、(B1)、(C1) において、基板 602 及び下地層 603 は省略している。

【0136】

上記のように作製された構造体は、片持ち梁型に形成された構造層の先端が外力 (例えば、圧力や加速度) によって可動する。そしてその動きによって第一の導電層 601 と第二の導電層 605 間の静電容量が変化するため、その変位を検知することでセンサとして機能することができる。例えば、第一の導電層 601 と第三の導電層 607 とに電圧 V1 及び電圧 V2 を印加し、第二の導電層 605 の電圧 Vx を検知することで、構造層の変位を検出することができる。

【0137】

また、本実施の形態においては片持ち梁型の構造層を有する構造体の例をしめしたが、上記実施の形態の例のように橋構造の構造層を有する構造体として形成することも可能である。なお、本実施の形態は上記実施の形態と自由に組み合わせることができる。

【0138】

(実施の形態 8)

本実施の形態では、マイクロマシンが有する半導体素子及び構造体を同一の絶縁基板上に形成する方法について説明する。ここで半導体素子は薄膜を積層させて形成する薄膜トランジスタを例にとり、構造体は上記実施の形態と同様のスイッチを例にとって説明する。また、説明する図面は、右側に半導体素子を示し左側に構造体を示す。さらに上側には上面図、下側には断面図を示す。

【0139】

まず、図 21 (A1)、(A2) に示すように、基板 301 上に第一の層 302 を形成する。ここで基板 301 上に直接第一の層 302 を成膜しても良いが、保護層となる膜を単層もしくは積層によって成膜しておくことが望ましい。図 21 (A2) は基板上に 2 層の保護層 303a、303b を成膜し、その上に第一の層 302 を形成する例を示している。保護層 303a、303b は、それぞれ、酸化シリコン、酸化ハフニウム、窒化シリコン、または窒化ハフニウムを用いて形成される。また、第一の層 302 は半導体の性質を有する材料、例えばシリコンやゲルマニウム等を用いて薄膜を形成し、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウエットエッチング法により加工することで形成できる。この第一の層 302 は、半導体素子においては半導体層として機能し、構造体においては下部の駆動電極として機能する。なお、図 21 (A1) において、基板 301 及び保護層 303a、303b は省略している。

【0140】

次に、図 21 (B1)、(B2) に示すように、第一の層 302 上に絶縁層 304 を形成

10

20

30

40

50

し、その絶縁層 304 上に第二の層 305 を形成する。絶縁層 304 は、半導体の性質を有する材料や金属の酸化物や窒化物によって形成することができる。例えば、シリコンの酸化物やハフニウムの酸化物を高密度プラズマ CVD 法により成膜することができる。そして第二の層 305 は導電性を有する材料を用いて形成し、第一の層 302 と同様に加工することができる。例えば第二の層 305 は、タングステン、アルミニウム、タンタルやそれらの窒化物等、導電性を有する材料や、シリコンの上にニッケルや鉄等の金属を添加して熱を加えることによって形成するシリサイド等を用いることができ、単層及び積層によって形成することができる。図 21 (B2) では、第二の層 305 を単層で形成した例を示している。この第二の層 305 は、半導体素子においてはゲート電極として機能し、構造体においては信号の電導路として機能する。なお、図 21 (B1) において、基板 301、保護層 303a、303b、絶縁層 304 は省略している。

10

【0141】

次に上記第一の層 302 に不純物となる元素を選択的に注入することで、図 22 (A1)、(A2) に示すように高濃度不純物領域 306、307 を形成する。高濃度不純物領域 306、307 は高い導電性を有する。不純物元素は、半導体に P 型を付与する不純物、N 型を付与する不純物のどちらか一方、もしくは両方を選択的に注入することができる。図 22 (A1)、(A2) は左の半導体素子を形成する第一の層 302 に N 型を付与する不純物を注入することで N 型の高濃度不純物領域 306 を形成し、右の半導体素子を形成する第一の層 302 に P 型を付与する不純物を注入することで P 型の高濃度不純物領域 307 を形成する例を示す。

20

【0142】

また第二の層 305 を形成した後、第一の層 302 に低濃度の不純物元素を注入し、その後第二の層 305 上に絶縁層を形成し、その絶縁層を異方性エッチングによって除去することで第二の層 305 周囲にサイドウォールを形成することもできる。その後、高濃度の不純物元素を注入することによって、半導体層（第一の層 302）に高濃度不純物領域及び低濃度不純物領域を形成することもできる。このように半導体層内に濃度の異なる不純物領域を設けることによって、半導体素子の信頼性を向上させることができる。

【0143】

次に図 22 (B1)、(B2) に示すように、第二の層 305 上に第三の層 308 を形成する。第三の層 308 は絶縁性を有する材料で形成され、上記第二の層 305 と同様に加工することができる。第三の層 308 は、半導体素子においては後に形成される第四の層 309 と第二の層 305 とのコンタクト部分が形成される層間絶縁層、構造体においては犠牲層となるように形成する。なお、図 22 (A1)、(B1) において、基板 301、保護層 303a、303b、絶縁層 304 は省略している。

30

【0144】

次に図 23 (A1)、(A2) に示すように、第一の層 302 上で、且つ第三の層 308 が重なっていない部分の絶縁層 304 を取り除いた後に、第四の層 309 を形成する。第四の層 309 は導電性を有する材料を用いて形成し、上記第三の層 308 と同様に加工することができる。この第四の層は半導体素子においては素子同士を電氣的に接続する配線として機能し、構造体においては接触電極及び上部の駆動電極として機能する。

40

【0145】

次に図 23 (B) に示すように、第四の層 309 上に第五の層 310 を形成する。第五の層 310 は絶縁性を有する材料を用いて形成し、上記第四の層 309 と同様に加工することができる。この第五の層 310 は、半導体素子全体を覆う保護層として機能し、構造体においては構造層として機能する。なお、図 23 (A1)、(B1) において、基板 301、保護層 303a、303b、絶縁層 304 は省略している。

【0146】

次に図 24 (A1)、(A2) に示すように、構造体部分を形成する第三の層 308、すなわち犠牲層を除去するための犠牲層エッチングを行い、空間 311 を形成する。空間 311 は、その上面側を第四の層 309 及び第五の層 310 に、側面側を第五の層 310 に

50

、底面側を絶縁層 304 及び第二の層 305 によって囲まれる。ここで、半導体素子の部分に存在する第三の層 308 は、第五の層 310 に覆われて露出していないために除去されず、構造層の形成領域に存在する第三の層 308 のみが除去される。この犠牲層エッチングは、上記実施の形態で説明したように、第一の犠牲層エッチングによって構造層と重なっていない部分の犠牲層（第三の層 308）を除去し、第二の犠牲層エッチングによって構造層の下に存在する犠牲層（第三の層 308）を除去することができる。このように犠牲層エッチングを複数回に分けて行うことで、犠牲層エッチングに要する時間を短縮し、構造層の座屈を防止することができる。なお、図 24（A1）において、基板 301、保護層 303a、303b、絶縁層 304 は省略している。

【0147】

このようにして N 型の薄膜トランジスタ 312、P 型の薄膜トランジスタ 313 及びスイッチとして機能しうる構造体 314 を形成することができる。上記作製方法によって形成した半導体素子は、第二の層によって形成されるゲート電極及び二つの高濃度不純物領域に任意の電圧を印加することによってトランジスタとして機能することができる。また、構造体は上記実施の形態で示したものと同様に、スイッチとして機能することができる。

【0148】

本実施の形態は、構造体と半導体素子とを同一の絶縁基板上に形成する場合を説明したが、半導体素子以外にも、メモリを有する記憶素子を構造体と同一の絶縁基板上に形成することができる。

【0149】

なお、本実施の形態は上記実施の形態と自由に組み合わせることができる。

【0150】

（実施の形態 9）

本実施の形態では、上記実施の形態とは異なり、同一の工程を経て異なる機能を有する複数の構造体を形成する例を示す。ここでは、インダクタ、可変コンデンサ、スイッチ、及びセンサとして機能する素子を同時に形成する例を示す。

【0151】

図 25 を用いてインダクタの作製方法について説明する。まず図 25（A1）、（A2）に示すように、基板 901 上に第一の導電層 902 を形成する。基板 901 は、半導体基板やガラス基板、プラスチック基板、金属基板等を用いることができ、基板はそのまま用いることもできるが基板上に保護層となる膜を成膜してから使用することができる。図 25（A2）は、基板 901 上に保護層 903 を成膜した後に第一の導電層 902 を形成する例を示す。第一の導電層 902 は、導電性を有する材料を用いて成膜し、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウェットエッチング法により加工することで形成できる。第一の導電層 902 の形状は、円状を有し、その一部が開口している。第一の導電層 902 が形成する円は、第一の導電層 902 の一端から他端に渡って半径が連続的に変化する。これは、後の工程でうずまき形状（巻線形状、平面コイル形状、同心円状とも呼ぶ）の第二の導電層を形成するためである。ここで、第一の導電層 902 は、円状の形状を有する導電層と、該円状の導電層の一端に電氣的に接続された第一の棒状の形状を有する導電層と、該円状の導電層の中心から物理的に離れている第二の棒状の形状を有する導電層で構成される。なお第一の導電層 902 の形状はこれに限定されるものではなく、完成されるインダクタの形状によって決まる。

【0152】

次に図 25（B1）、（B2）に示すように第一の導電層 902 上に犠牲層 904 を形成する。犠牲層 904 はフォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウェットエッチング法により加工することができる。犠牲層 904 は、第一の導電層 902 とのコンタクトをとるための開口部 921、922 が設けられている。開口部 921、922 は、ドライエッチング法又はウェットエッチング法により形成される。開口部 921、922 は第一の導電層 902 と、追って形成される導電層とを電氣的に接続するために設けられる。そのため、図 25（B1）、（B2）では、加工された第一

10

20

30

40

50

の導電層 902 の端部に配置するように設けられているが、これに限定されるものではない。

【0153】

次に図 25 (C1)、(C2) に示すように第二の導電層 905 及び絶縁層 906 を成膜し、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウェットエッチング法によりセルフアラインで加工する。このとき第二の導電層 905 及び絶縁層 906 は、うずまき形状 (巻線形状、平面コイル形状、同心円状、らせん状とも呼ぶ) に加工される。図 25 (C1) では、右回りのうずまき形状であるが、左回りであってもよい。本実施の形態では、第二の導電層 905 及び絶縁層 906 を合わせて構造層と記載する。

10

【0154】

次に図 25 (D1)、(D2) に示すように犠牲層エッチングにより犠牲層 904 を除去し、空間を形成することができる。空間は、一部の上面側では第二の導電層 905 と、底面側では第一の導電層 902 又は保護層 903 と接している。空間の側面は、全面開放しており、空間の中心部には第二の導電層 905 が柱状に設けられている。このようにインダクタとして機能する構造体 907 を形成することができる。このように構造層と基板 901 との間に空間を有するインダクタは基板 901 との相互作用を低減することができ、特に高い周波数領域で利用することができる。なお、図 25 (A1)、(B1)、(C1)、(D1) において、基板 901 及び保護層 903 は省略している。

【0155】

20

次に図 26 を用いて、上記作製方法と同様にして可変コンデンサを作製する例を示す。図 26 (A1)、(A2) に示すように、基板 911 上に第一の導電層 912 を形成する。基板 911 は、半導体基板やガラス基板、プラスチック基板、金属基板等を用いることができ、基板はそのまま用いることもできるが基板上に保護層となる膜を成膜してから使用することができる。図 26 (A2) は、基板 911 上に保護層 913 を成膜した後に、第一の導電層 912 を形成する例を示す。第一の導電層 912 は、導電性を有する材料を用いて成膜し、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウェットエッチング法により加工することで形成できる。

【0156】

次に図 26 (B1)、(B2) に示すように第一の導電層 912 上に犠牲層 914 を形成する。犠牲層 914 は第一の導電層 912 と同様にして形成することができる。

30

【0157】

次に図 26 (C1)、(C2) に示すように第二の導電層 915 及び絶縁層 916 を成膜し、フォトリソグラフィによるレジストのパターニングと、ドライエッチング法又はウェットエッチング法によりセルフアラインで加工することができる。本実施の形態では第二の導電層 915 及び絶縁層 916 を合わせて構造層と記載する。

【0158】

次に図 26 (D1)、(D2) に示すように犠牲層エッチングにより犠牲層 914 を除去し、空間を形成することができる。当該空間は、一方の側が開放されている。つまり、空間は上面側及び側面側を第二の導電層 915 に、底面側を保護層 913 に囲まれ、一側面は開放されている。このようにして、可変コンデンサとして機能する構造体 917 を形成することができる。ここで第一の導電層 912 の一方を容量電極、もう一方を制御電極とすると、第二の導電層 915 と制御電極として機能する第一の導電層 912 との間に電圧を印加して構造層を下に引き下げることにより、第二の導電層 915 と容量電極として機能する第一の導電層 912 との間の距離が変化する。これを、可変コンデンサとして利用することができる。なお、図 26 (A1)、(B1)、においては基板 911 及び保護層 913 を、(C1)、(D1) においては基板 911、保護層 913 及び絶縁層 916 を省略している。

40

【0159】

また、上記作製方法における犠牲層エッチングは、上記実施の形態に示したように、複数

50

回に分けることにより短時間で行うことができ、乾燥時の構造層と、第一の導電層 9 1 2 又は保護層 9 1 3 との付着を防止することができる。さらに可変コンデンサを作製する場合、構造層に穴を設けた構造とすることも可能である。構造層に穴を設けたことにより、空気抵抗を低減することができる。

【0160】

また、上記作製方法において、第一の導電層 9 1 2 の下にさらに導電層及び絶縁層を形成する工程を追加する、絶縁層 9 1 6 上にさらに導電層を形成した後に犠牲層エッチングを行うことで、上記実施の形態で説明したようなスイッチや、センサとして機能する構造体を作製することが可能である。

【0161】

なお、本実施の形態は上記実施の形態と自由に組み合わせることができる。

【実施例1】

【0162】

本実施例では、上記実施の形態で説明した本発明の半導体装置の作製方法に関する実験結果について、図 2 9、図 3 1、図 3 2 を用いて説明する。

【0163】

犠牲層エッチングを、犠牲層と構造層とが重なっていない領域を除去する第一のエッチングと、犠牲層と構造層とが重なっている領域を除去する第二のエッチングとを行うことにより、犠牲層エッチングの時間を短くし、歩留まりを向上させることができることを確認するための実験を行った。具体的には、犠牲層および構造層を同一条件で形成した基板を用い、第一のエッチング及び第二のエッチングを有する本発明の方法と、従来のエッチング方法とを比較する実験を行った。

【0164】

図 2 9 (A) に、測定試料 1 の上面図、及び図 2 9 (B) に O-P 間での断面図を示す。測定試料 1 は、基板 8 0 1 上に、犠牲層 8 0 2、構造層 8 0 3 が順に形成されている。犠牲層 8 0 2 は、上面図でみると、その一部が構造層 8 0 3 と重なっており、O-P 断面図でみると構造層 8 0 3 に覆われている。すなわち犠牲層 8 0 2 は、一部の領域では構造層 8 0 3 と重なり、その他の領域では構造層 8 0 3 とは重なりを有していない。具体的には、5 インチ角の石英基板上にタングステンを用いて厚さ 1 μm の犠牲層 8 0 2 を形成し、その上にシリコン酸化窒化物を用いて厚さ 0.9 μm の構造層 8 0 3 を形成した。犠牲層 8 0 2 と構造層 8 0 3 との重なっている領域は、幅が 8 μm 、長さが 10 μm であった。なお、図 2 9 (A) においては、基板 8 0 1 は省略している。

【0165】

このような試料に対して、まず従来の方法で犠牲層エッチングを行った（以下、実験 1 と記す）。犠牲層エッチングはウェットエッチング法で行い、エッチング剤はアンモニア過水を用い、エッチング時間は 30 分とした。なおアンモニア過水は、アンモニア、過酸化水素水、水を 3 : 5 : 2 の割合で混合した液体である。

【0166】

図 3 1 (A) には犠牲層エッチング前の状態、図 3 1 (B) (C) には犠牲層エッチング後の状態を示す。また図 3 1 (A) (B) は落射型顕微鏡で観察した写真、図 3 1 (C) は透過型顕微鏡で観察した写真である。図 3 1 (A)、(B) はそれぞれ顕微鏡の倍率を倍率 500 倍、図 3 1 (C) は倍率 1000 倍に設定して観察したときの写真である。なお落射型顕微鏡写真では、カラー写真にすると、金属が存在する部分は白く写り、基板 8 0 1 と構造層 8 0 3 との間に空間が存在する部分は黄緑色のように写る。また、透過型顕微鏡写真では、金属が存在する部分は黒く写る。本明細書では、白黒写真を用いており、落射型顕微鏡写真において金属が存在する部分は白く表示される。透過型顕微鏡写真において金属が存在する部分は黒く表示される。また、落射型顕微鏡写真において基板 8 0 1 と構造層 8 0 3 との間に空間が存在する部分は、落射型顕微鏡写真における白表示と透過型顕微鏡写真における黒表示の中間色のように写る。

【0167】

犠牲層エッチング前を示す図31(A)をみると、構造層803上のマスクが白く写っている。なお、構造層803上にあるマスクは、構造層803をエッチング加工して形成する際のエッチングマスクが残存しているものである。マスクには金属であるタングステンを使用したため、白く写っている。

【0168】

犠牲層エッチング後の状態を示す図31(B)(C)をみると、犠牲層802と構造層803とが重なっている領域が、図31(B)では白く、図31(C)では黒く写っていることがわかる。これらから、犠牲層802であるタングステンが残存しており、犠牲層802が除去しきれいていないことがわかる。

【0169】

次に、図29(A)で示した測定試料1と同じ形状の構造体を有する測定試料2を用い、本発明の方法で犠牲層エッチングを行った(以下、実験2と記す)。犠牲層エッチングは、第一の犠牲層エッチングを異方性のドライエッチング法で行い、第二の犠牲層エッチングを等方性のウエットエッチング法で行った。第一の犠牲層エッチングの条件は、エッチング剤には CF_4 、 Cl_2 、 O_2 をそれぞれ流量50.4 sccm、50.4 sccm、20.4 sccmとして用い、圧力1.35 Pa (0.01015 Torr)、IPC用の電極、およびバイアス用の電極にそれぞれ500W、10Wの電力を与えた。エッチングはエンドポイント検出により停止し、所要時間は3分55秒であった。そして、第二の犠牲層エッチングは、上記実験1と同じ条件の下にウエットエッチングを行った。

【0170】

図32(A)には第一の犠牲層エッチング後であって、第二の犠牲層エッチング前の状態、図32(B)(C)には第二の犠牲層エッチング後の状態を示す。また図32(A)(B)は落射型顕微鏡で観察した写真、図32(C)は透過型顕微鏡で観察した写真である。図32(A)、(B)は、それぞれ顕微鏡の倍率を倍率500倍、図32(C)は倍率1000倍に設定して観察したときの写真である。

【0171】

第一の犠牲層エッチング後であって、第二の犠牲層エッチングの前の状態を示す図32(A)をみると、第一の犠牲層エッチングにより、構造層803と重なっていない部分の犠牲層802は除去されたことがわかる。また図32(A)では構造層803の上に積層されたタングステンのマスクのため白く写っている。

【0172】

第二の犠牲層エッチング後を示す図32(B)(C)をみると、図32(B)では犠牲層802と構造層803とが重なっている領域が白く写っておらず、図32(C)でも犠牲層802と構造層803とが重なっている領域が黒く写っていないため、構造層803と重なっている領域の犠牲層802は、除去されていることがわかる。

【0173】

このように、実験1および実験2の結果を比較すると、本発明の方法は従来に比べてきれいに犠牲層エッチングを行えることがわかる。

【実施例2】

【0174】

次に、複数の微小構造体を基板面内に配置し、さらに第一の犠牲層エッチングおよび第二の犠牲層エッチングによって犠牲層エッチングを行うことで、エッチング工程における時間を短縮し、且つ犠牲層エッチング行程における歩留まりを向上させることを検証するための実験を行った。

【0175】

測定試料3として、図29(A)に示す単一の構造体と、図30に示すアレイ状に配置した複数の構造体と、を同一基板上に形成した試料を用いた。図30に示す構造体は、犠牲層812と交差するように構造層813を形成し、詳しくは、犠牲層812と構造層813が格子状になるように形成した。測定試料3において、図29に示す構造体が形成された部分は犠牲層802の分布が疎の部分であり、図30に示す複数の構造体が形成された

10

20

30

40

50

部分は犠牲層 8 1 2 の分布が密な部分である。測定試料 3 は実験 1、2 で用いた測定試料 1、2 と同様に、5 インチ角の石英基板上に犠牲層 8 0 2 及び 8 1 2 として厚さ 1 μm のタングステンを用い、その上に構造層 8 0 3 及び 8 1 3 として厚さ 0.9 μm のシリコン酸化窒化物を形成した。測定試料 3 において、犠牲層 8 0 2 の分布が疎の部分、すなわち単一の構造体が形成された部分において犠牲層 8 0 2 と構造層 8 0 3 との重なりは、幅が 6 μm 、長さが 10 μm とした。また、犠牲層 8 1 2 の分布が密な部分、すなわち複数の構造体が形成された部分において犠牲層 8 1 2 と構造層 8 1 3 との重なりは幅が 5 μm 、長さが 8 μm とした。このような測定試料 3 に対して、従来の犠牲層エッチングによる方法と、2 段階に分けて行う本発明の犠牲層エッチングによる方法とを比較した。

【0 1 7 6】

10

まず、実験 3 では上記試料を用い、従来の方法で犠牲層エッチングを行った。すなわち犠牲層エッチングは、上記実験 1 と同じ条件である。

【0 1 7 7】

実験 3 において犠牲層エッチング後、落射型顕微鏡で観察した写真を図 3 3 (A) (B) に示す。図 3 3 (A) は犠牲層 8 0 2 の分布が疎の部分、すなわち単一の構造体を形成した部分を観察した写真である。図 3 3 (B) は犠牲層 8 1 2 の分布が密な部分、すなわち複数の構造体を形成した部分を観察した写真である。犠牲層 8 0 2 と構造層 8 0 3 とが重なっている領域または犠牲層 8 1 2 と構造層 8 1 3 とが重なっている領域が、図 3 3 (A) (B) では白く写っていることから、犠牲層が除去できていないことがわかる。

【0 1 7 8】

20

次に、実験 4 では実験 3 と同じ試料を用い、2 段階での犠牲層エッチングを行った。すなわち犠牲層エッチングは、上記実験 2 と同じ条件である。

【0 1 7 9】

実験 4 において犠牲層エッチング後、落射型顕微鏡で観察した写真を図 3 4 (A) (B) に示す。図 3 4 (A) は犠牲層 8 0 2 の分布が疎の部分、すなわち単一の構造体を形成した部分を観察した写真である。図 3 4 (B) は犠牲層 8 0 2 の分布が密な部分、すなわち複数の構造体を形成した部分を観察した写真である。犠牲層と構造層とが重なっている領域が、図 3 4 (A) (B) ではカラー写真の場合にすると黄緑色のように写っていることから、犠牲層が除去できていることがわかる。なお、本明細書では白黒写真を用いているため、白表示と黒表示との中間色のように写っている。このように本発明は、犠牲層の分布に疎密がある試料に対しても、精度良く犠牲層エッチングを行うことができる。

30

【0 1 8 0】

実験 3 および実験 4 の結果を比較すると、犠牲層 8 1 2 の分布が疎の部分であったとしても本発明の方法を用いることにより、正確に犠牲層を除去することができ、犠牲層エッチング工程における歩留まりを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0 1 8 1】

【図 1】本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。

【図 2】本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。

【図 3】本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。

40

【図 4】本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。

【図 5】本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。

【図 6】本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。

【図 7】本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。

【図 8】犠牲層エッチングを説明する図。

【図 9】犠牲層エッチングを説明する図。

【図 10】犠牲層エッチングを説明する図。

【図 11】ドライエッチング装置を説明する図。

【図 12】ウェットエッチングの方法を説明する図。

【図 13】本発明のマイクロマシンを説明する。

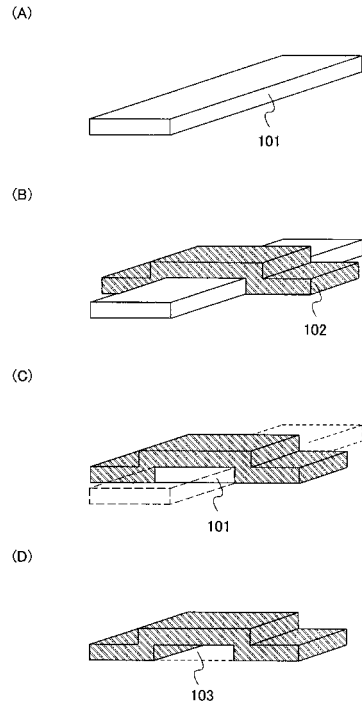
50

【図 1 4】	本発明のマイクロマシンを説明する。	
【図 1 5】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 1 6】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 1 7】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 1 8】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 1 9】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 0】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 1】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 2】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 3】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	10
【図 2 4】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 5】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 6】	本発明のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 7】	従来のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 8】	従来のマイクロマシンを作製する方法を説明する図。	
【図 2 9】	本発明の実験を説明する図。	
【図 3 0】	本発明の実験を説明する図。	
【図 3 1】	本発明の実験を説明する図。	
【図 3 2】	本発明の実験を説明する図。	
【図 3 3】	本発明の実験を説明する図。	20
【図 3 4】	本発明の実験を説明する図。	
【符号の説明】		
【 0 1 8 2 】		
1 0 1	犠牲層	
1 0 2	構造層	
1 0 3	空間	
1 0 4	半導体素子	
1 0 5	構造体	
1 0 6	接着剤	
2 0 1	犠牲層	30
2 0 2	構造層	
2 0 3	穴	
2 0 4	空間	
2 0 5	基板	
2 0 6	下地層	
2 0 7	下地層	
2 0 8	犠牲層	
2 0 9	構造層	
2 1 0	穴	
2 1 2	下地層	40
2 1 3	下地層	
2 1 4	下地層	
3 0 1	基板	
3 0 2	第一の層	
3 0 4	絶縁層	
3 0 5	第二の層	
3 0 6	高濃度不純物領域	
3 0 7	高濃度不純物領域	
3 0 8	第三の層	
3 0 9	第四の層	50

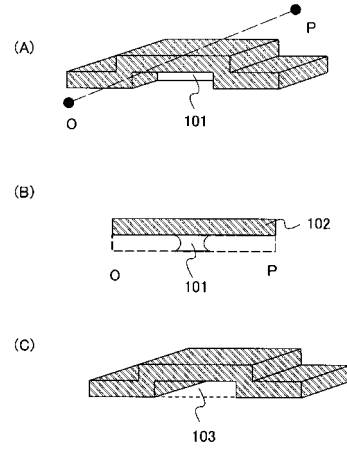
3 1 0	第五の層	
3 1 1	空間	
3 1 2	N型の薄膜トランジスタ	
3 1 3	P型の薄膜トランジスタ	
3 1 4	構造体	
4 0 1	犠牲層	
4 0 2	構造層	
4 0 3	犠牲層 4 0 1 が除去された部分	
4 0 4	犠牲層 4 0 1 が残っている部分	
4 0 6	反応生成物	10
4 0 7	エッチング剤	
4 1 1	導入口	
4 1 2	排出口	
4 1 3	絶縁基板	
4 1 4	上部電極	
4 1 5	下部電極	
4 2 1	容器	
4 2 2	絶縁基板	
4 2 3	エッチング剤	
4 2 4	基板支持体	20
4 2 5	導入口	
4 2 6	排出口	
5 0 1	導電層	
5 0 2	基板	
5 0 3	下地層	
5 0 4	絶縁層	
5 0 5	導電層	
5 0 6	導電層	
5 0 7	犠牲層	
5 0 8	導電層	30
5 0 9	導電層	
5 1 0	構造層	
5 1 1	空間	
5 1 2	構造体	
5 1 3	穴	
6 0 1	導電層	
6 0 2	基板	
6 0 3	下地層	
6 0 4	犠牲層	
6 0 5	導電層	40
6 0 6	絶縁層	
6 0 7	導電層	
6 0 8	空間	
6 0 9	穴	
6 1 1	溝	
6 1 2	層	
7 0 1	構造層	
7 0 2	空間	
7 0 3	下部電極	
7 0 4	固定の櫛歯	50

7 0 5	可動の櫛歯	
7 1 1	マイクロマシン	
7 1 2	電気回路部	
7 1 3	構造部	
7 1 4	マイクロマシン	
7 1 5	無線通信回路	
7 1 6	電気回路	
7 1 7	マイクロマシン	
7 1 8	無線通信回路	
7 1 9	構造部	10
7 2 0	電気回路	
8 0 1	基板	
8 0 2	犠牲層	
8 0 3	構造層	
8 1 2	犠牲層	
8 1 3	構造層	
9 0 1	基板	
9 0 2	導電層	
9 0 3	保護層	
9 0 4	犠牲層	20
9 0 5	導電層	
9 0 6	絶縁層	
9 0 7	構造体	
9 1 1	基板	
9 1 2	導電層	
9 1 3	保護層	
9 1 4	犠牲層	
9 1 5	導電層	
9 1 6	絶縁層	
9 1 7	構造体	30
9 2 1	開口部	
2 7 0 1	犠牲層	
2 7 0 2	構造層	
2 7 0 3	空間	
2 7 0 4	犠牲層	
3 0 3 a	保護層	

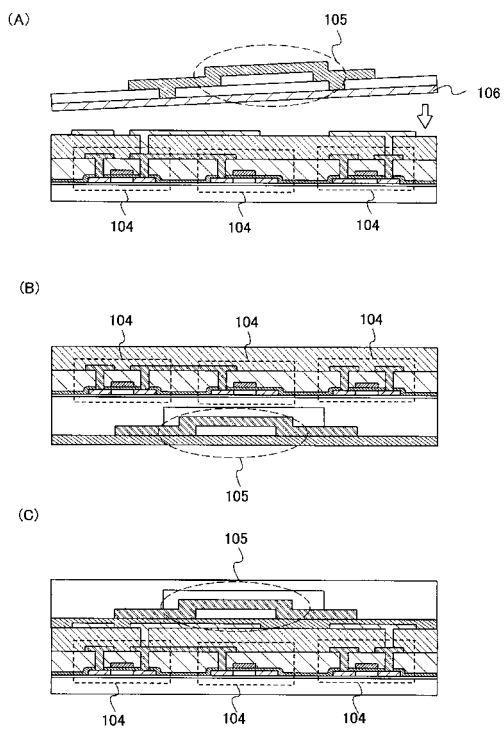
【図 1】



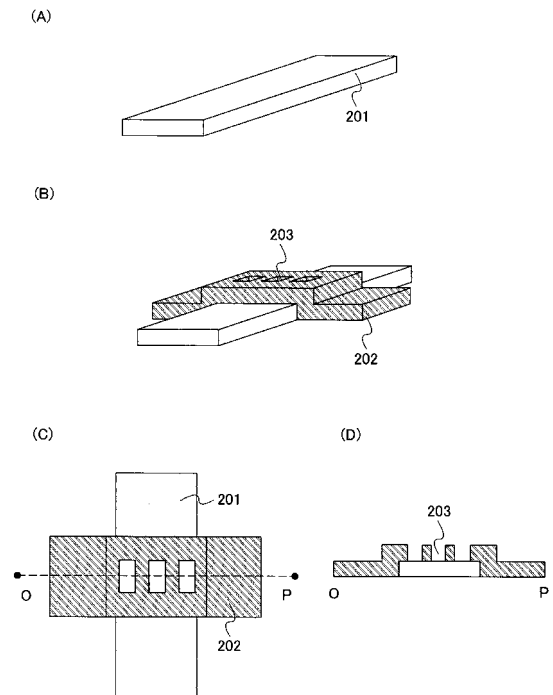
【図 2】



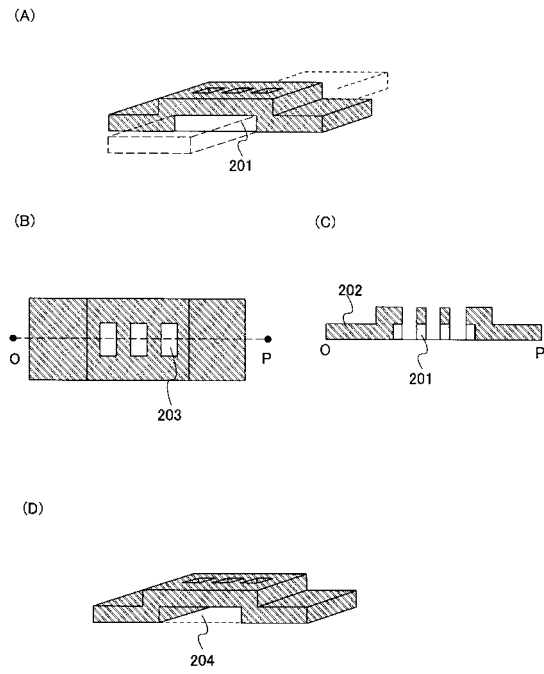
【図 3】



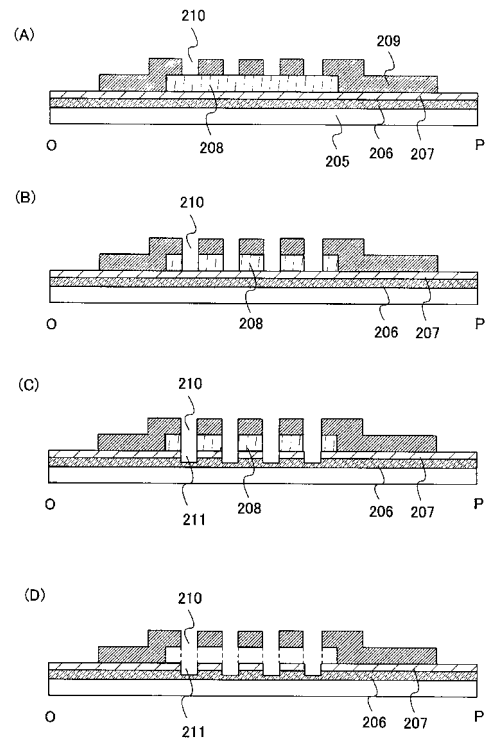
【図 4】



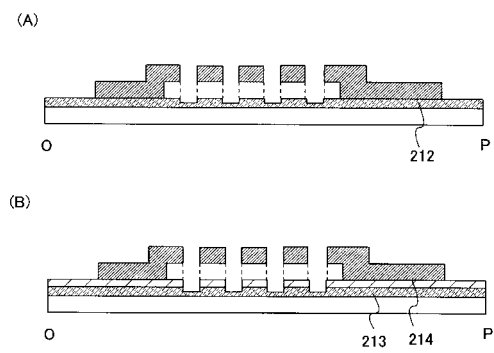
【図 5】



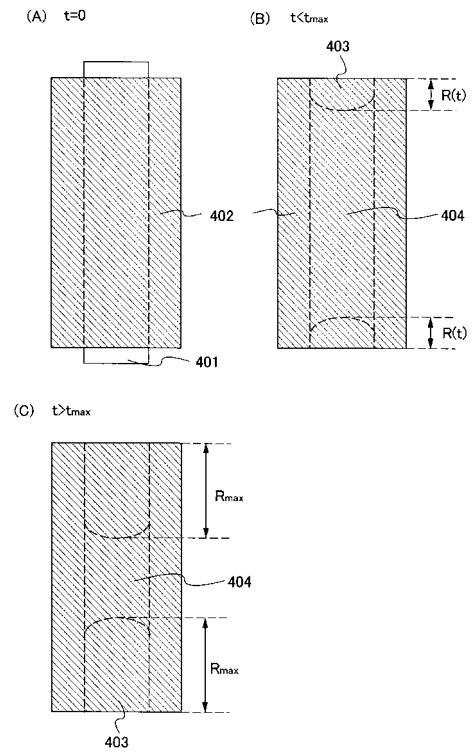
【図 6】



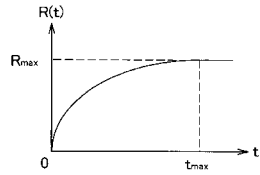
【図 7】



【図 8】

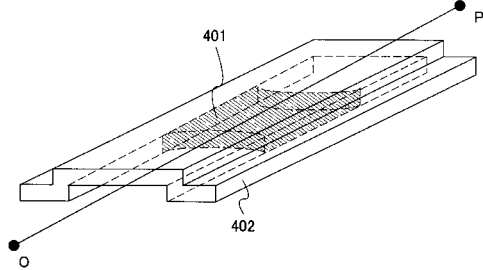


【図 9】

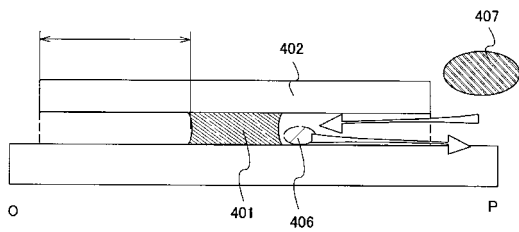


【図 10】

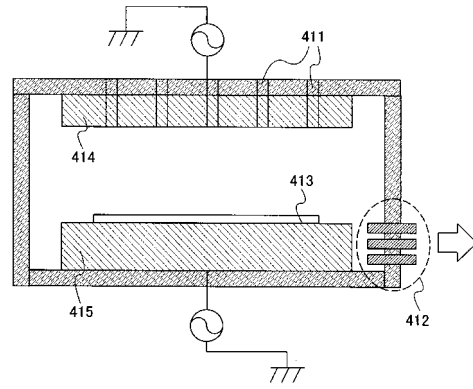
(A)



(B)

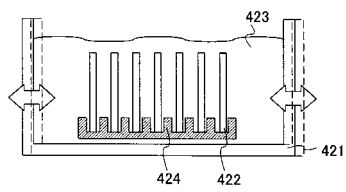


【図 11】

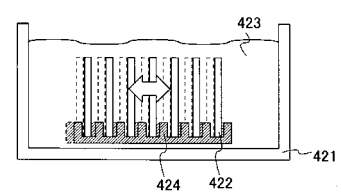


【図 12】

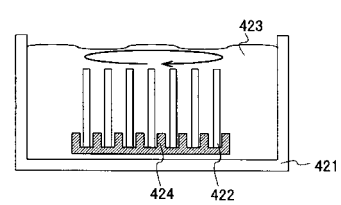
(A)



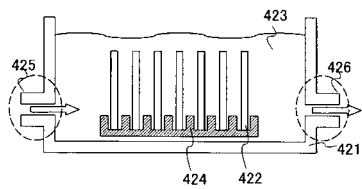
(B)



(C)

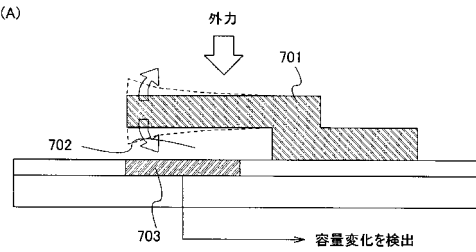


(D)

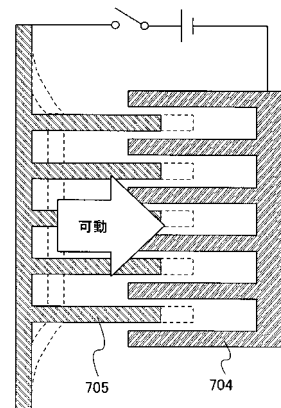


【図 13】

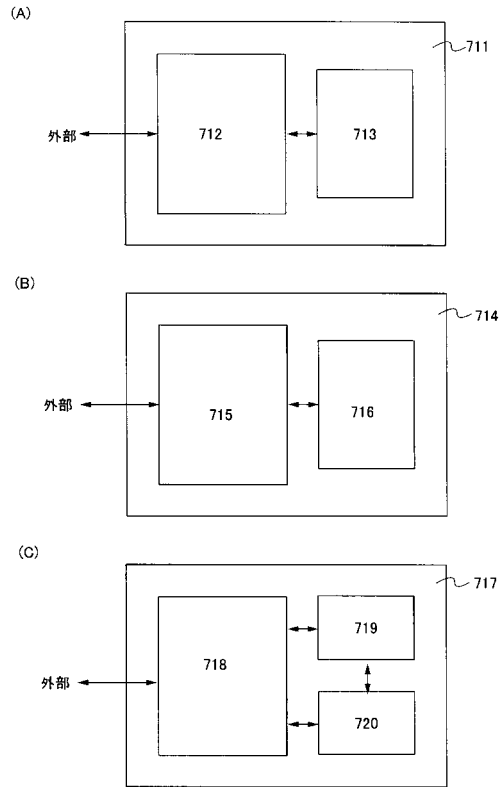
(A)



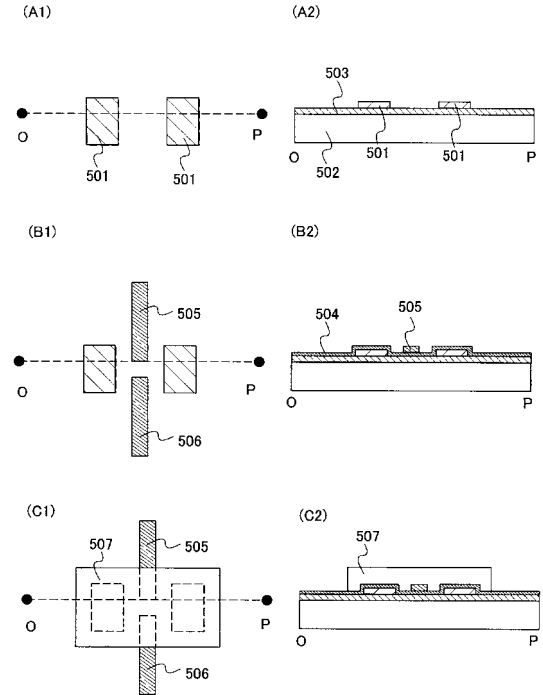
(B)



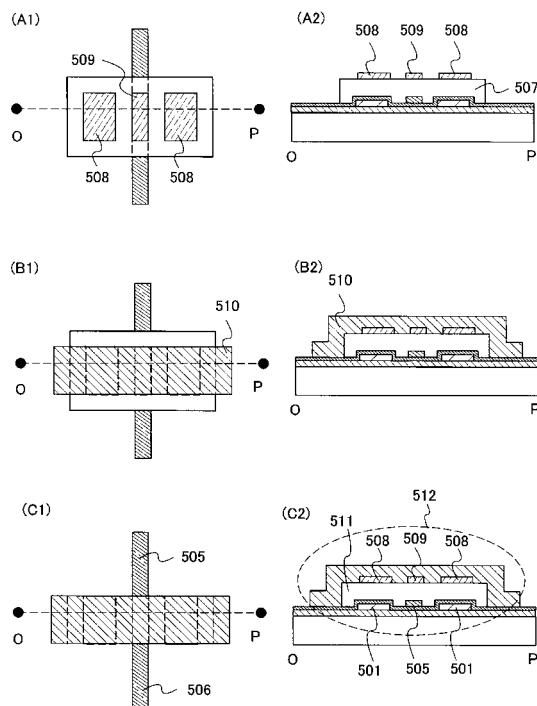
【図 14】



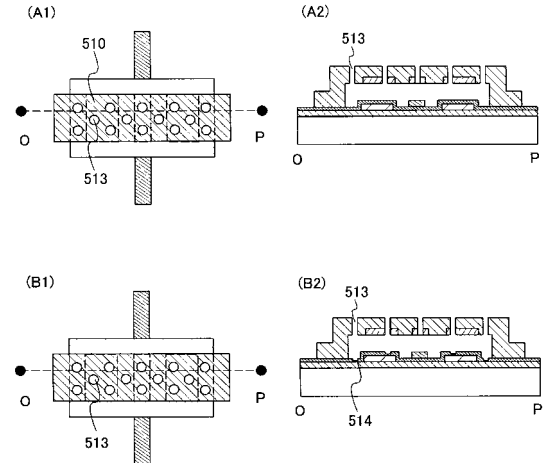
【図 15】



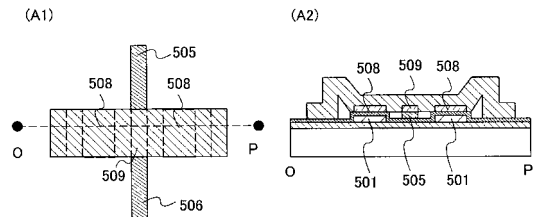
【図 16】



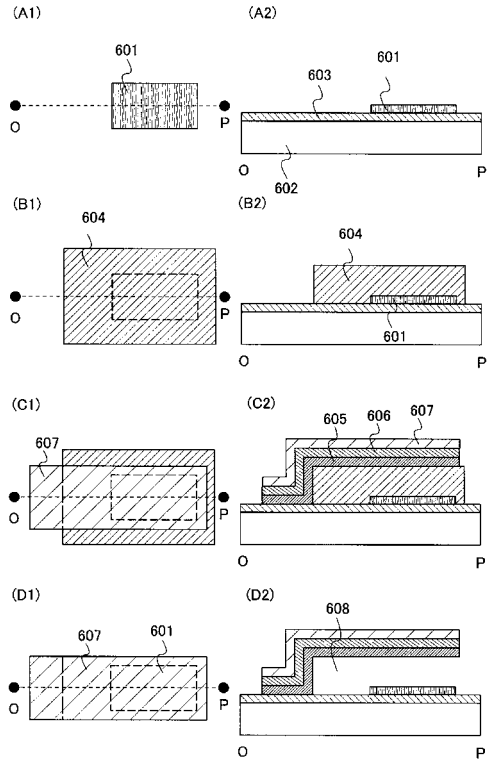
【図 17】



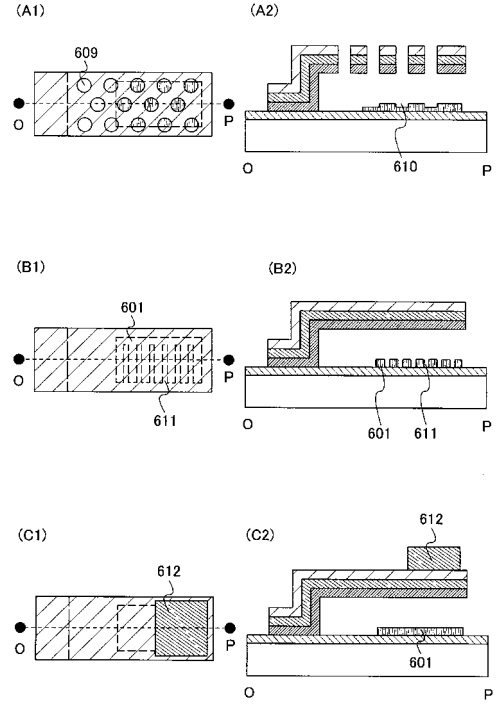
【図 18】



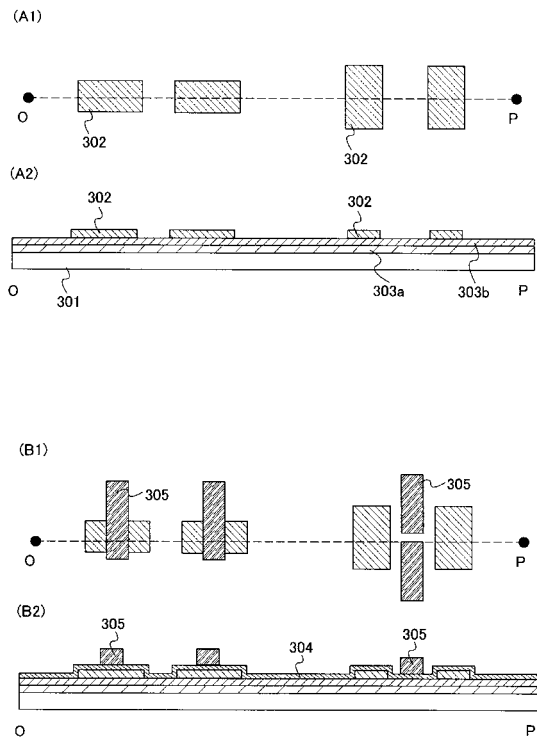
【図 19】



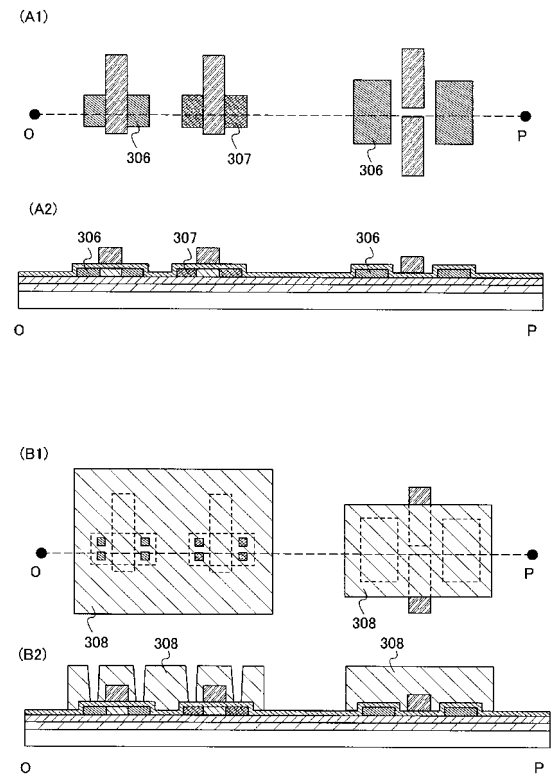
【図 20】



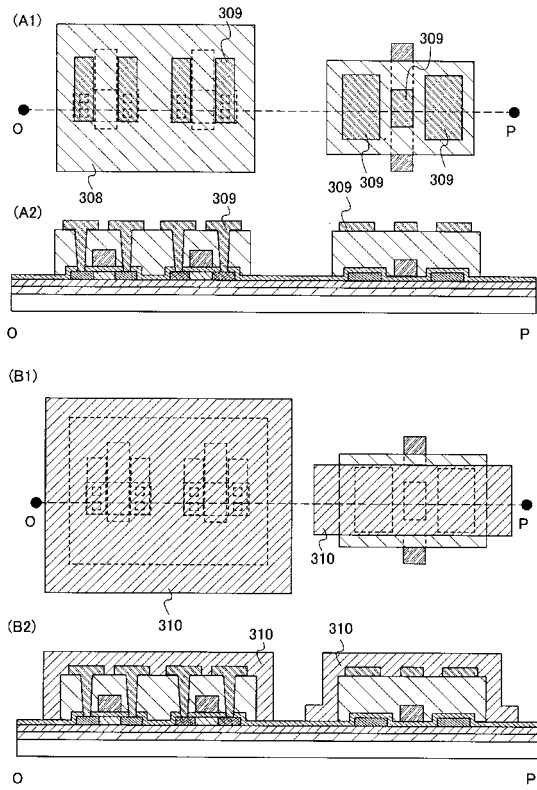
【図 21】



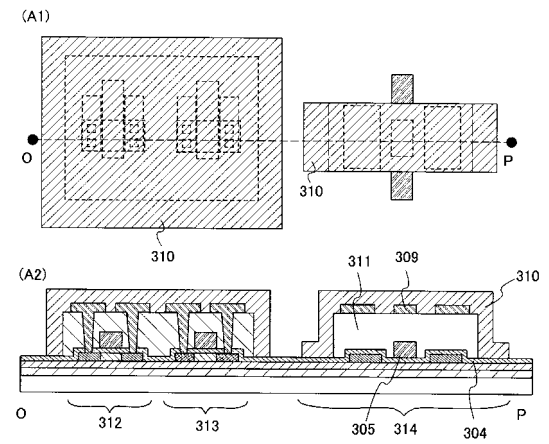
【図 22】



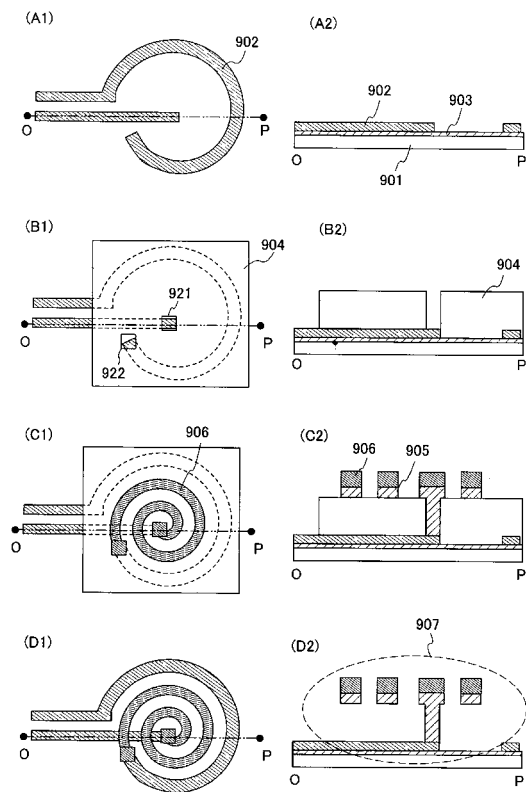
【図 23】



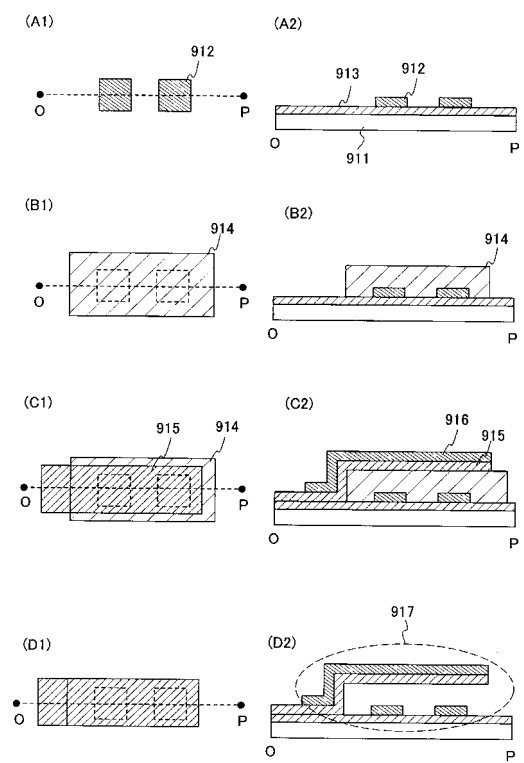
【図 24】



【図 25】



【図 26】

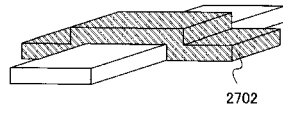


【図 27】

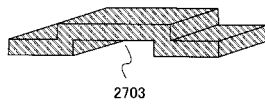
(A)



(B)

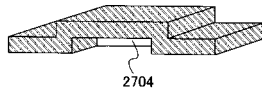


(C)

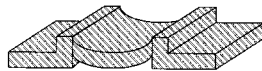


【図 28】

(A)

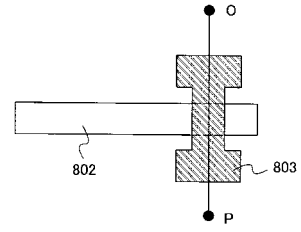


(B)

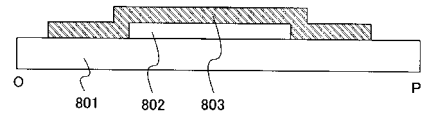


【図 29】

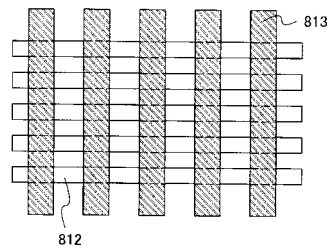
(A)



(B)

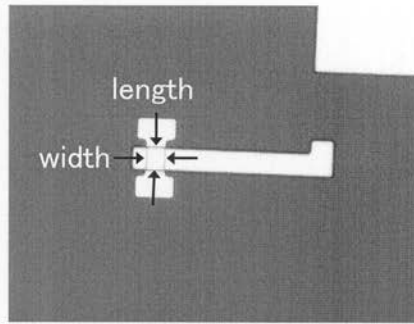


【図 30】

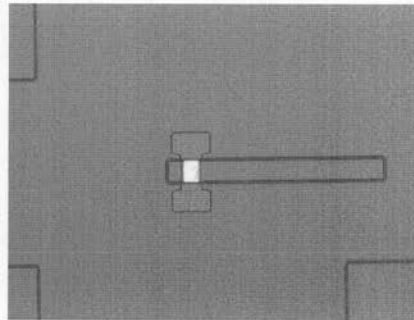


【図 3 1】

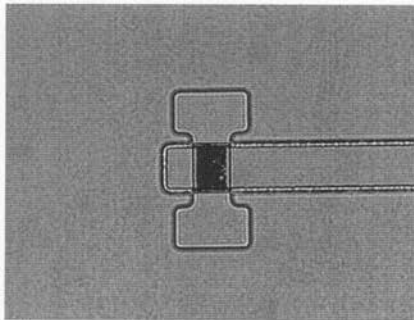
(A) 犠牲層エッチングの前



(B) 犠牲層エッチング後

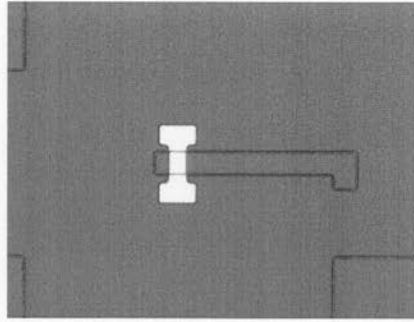


(C) 犠牲層エッチング後

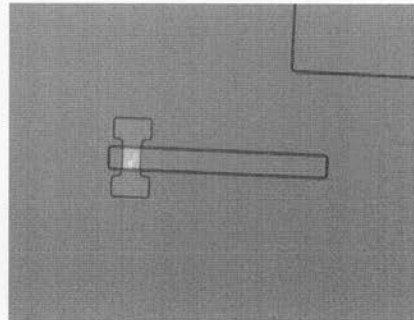


【図 3 2】

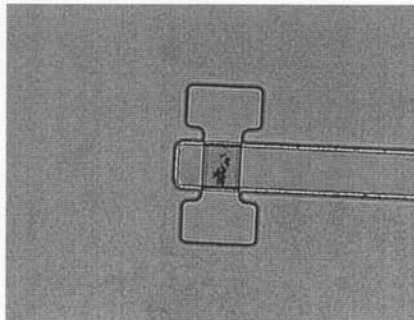
(A) 第二の犠牲層エッチングの前



(B) 第二の犠牲層エッチング後

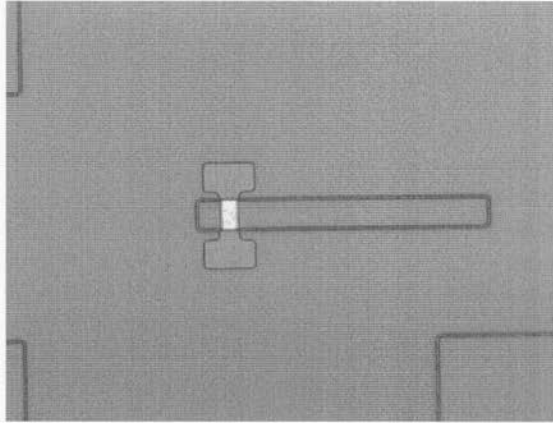


(C) 第二の犠牲層エッチング後

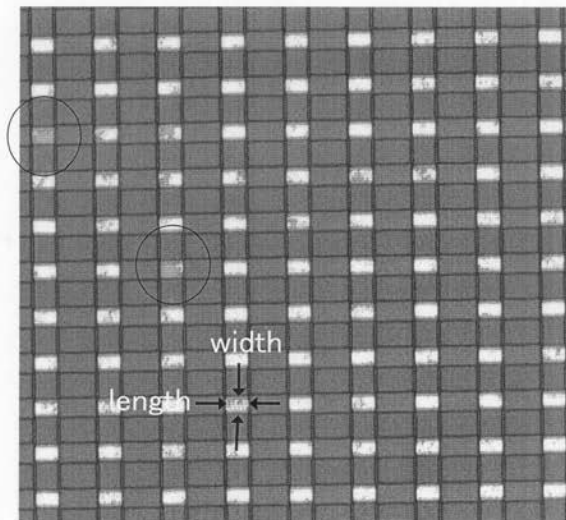


【図 3 3】

(A) 犠牲層エッチング後

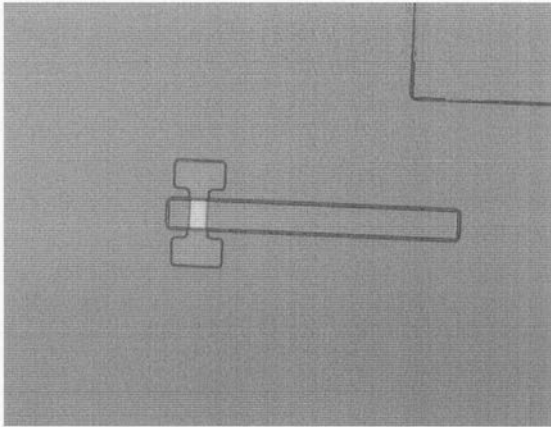


(B) 犠牲層エッチング後

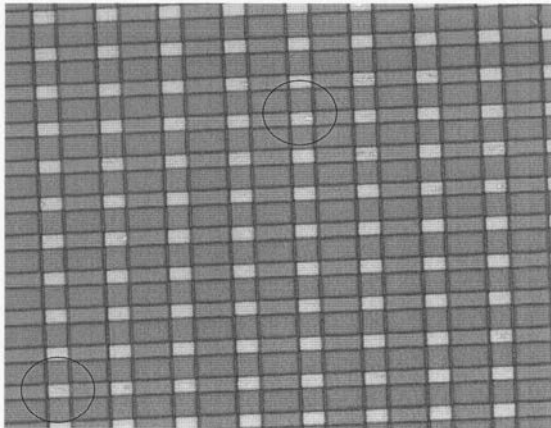


【図 3 4】

(A) 第二の犠牲層エッチング後



(B) 第二の犠牲層エッチング後



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-094062 (JP, A)
特開平09-113534 (JP, A)
特開平05-037082 (JP, A)
特開2005-125484 (JP, A)
特開2005-166512 (JP, A)
特開2000-058866 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B81B 1/00 - 7/04
B81C 1/00 - 99/00
H01L 21/302