

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4794998号
(P4794998)

(45) 発行日 平成23年10月19日(2011.10.19)

(24) 登録日 平成23年8月5日(2011.8.5)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 1 B

H O 1 L 21/302 1 O 1 E

請求項の数 8 (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願2005-337468 (P2005-337468)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成17年11月22日(2005.11.22)		パナソニック株式会社
(65) 公開番号	特開2006-179876 (P2006-179876A)		大阪府門真市大字門真1006番地
(43) 公開日	平成18年7月6日(2006.7.6)	(74) 代理人	100101454
審査請求日	平成20年8月11日(2008.8.11)		弁理士 山田 卓二
(31) 優先権主張番号	特願2004-338418 (P2004-338418)	(74) 代理人	100081422
(32) 優先日	平成16年11月24日(2004.11.24)		弁理士 田中 光雄
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100091524
			弁理士 和田 充夫
		(72) 発明者	齋藤 光央
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下
			電器産業株式会社内
		(72) 発明者	奥村 智洋
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下
			電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部に形成されたガス流路と、電力の供給もしくは接地により電位制御できる電極を有し、かつ、放電用の第1ガスを噴出させる第1ガス噴出口の開口部を有する第1ガス噴出面が被処理物に対して平行に配置されるプラズマ源と、

前記プラズマ源の前記第1ガス噴出口に接続されて、前記第1ガスを、前記第1ガス噴出口から前記プラズマ源の前記第1ガス噴出面と前記被処理物の被加工部との間の隙間に供給する第1ガス供給装置と、

を備え、

前記プラズマ源は、その内部に、前記ガス流路を構成するパターンを形成した層を2層以上積層した多層構造をなし、且つ、前記第1ガス噴出口と前記ガス流路との間にバッファ層としての空間を有し、前記バッファ層の空間断面積のうち、前記第1ガス噴出口の開口断面積と平行となる空間断面積の少なくとも1つが、前記第1ガス噴出口の開口断面積よりも大きく、さらに、

前記プラズマ源の前記被処理物に対向する面の一部に凸部を有し、前記凸部には、前記プラズマ源の前記第1ガス噴出口の開口部を有する前記第1ガス噴出面が形成され、かつ、前記凸部は、前記被処理物の微細加工部分内に挿入可能な大きさを有しているプラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記第1ガス噴出口よりも外側に配置され、前記プラズマ源の前記第1ガス噴出面とは

10

20

異なる位置に配置されて放電抑制用の第 2 ガスを噴出させる第 2 ガス噴出口を設けるとともに、

前記第 2 ガス噴出口に接続されて、前記第 2 ガスを、前記第 2 ガス噴出口から前記プラズマ源の第 2 ガス噴出面と前記被処理物の被加工部の間の隙間の周囲に供給する第 2 ガス供給装置とをさらに備える請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記プラズマ源と前記被処理物とを相対的に移動させる電極間隙間調整装置をさらに有する請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記プラズマ源の前記第 1 ガス噴出口の開口部を有する面と、対向となる位置に電力の供給もしくは接地により電位制御でき、且つ前記被処理物を載置することが可能な対向電極を備える請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 5】

前記第 1 ガス噴出口の開口長さは、前記第 1 ガス噴出口の開口形状が円もしくは楕円であり、かつ、直径もしくは短径が 200 nm 以上 50 μ m 以下である請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記第 1 ガス噴出口の開口長さは、前記第 1 ガス噴出口の開口形状が多角形であり、かつ、一辺もしくは対角線の 1 つ以上が、200 nm 以上 50 μ m 以下である請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項 7】

前記第 2 ガス噴出口の開口長さは、前記第 2 ガス噴出口の開口形状が円もしくは楕円であり、かつ直径もしくは短径が 200 nm 以上 50 μ m 以下である請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】

前記第 2 ガス噴出口の開口長さは、前記第 2 ガス噴出口の開口形状が多角形であり、かつ、一辺もしくは対角線の 1 つ以上が、200 nm 以上 50 μ m 以下である請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、プラズマを用いたプラズマ処理装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

一般に、表面に薄膜が形成された基板に代表される被処理物に数百 nm ~ 数百 μ m オーダーの深さのパターンニング加工を行う場合、レジストプロセスが用いられる。その一例を図 16A ~ 図 16D に示す。図 16A ~ 図 16D において、まず、被処理物 29 の表面に感光性レジスト 30 を塗布する (図 16A)。次に、露光機を用いて露光した後現像すると、レジスト 30 が所望の形状にパターンニングできる (図 16B)。そして、被処理物 29 を真空容器内に載置し、真空容器内にプラズマを発生させ、レジスト 30 をマスクとして被処理物 29 をエッチング加工すると、被処理物 29 の表面が所望の形状にパターンニングされる (図 16C)。最後に、レジスト 30 を酸素プラズマや有機溶剤などで除去することで、加工が完了する (図 16D)。

40

【0003】

以上のようなレジストプロセスは、微細パターンを精度良く形成するのに適しているため、半導体などの電子デバイスの製造において重要な役割を果たすに至った。しかしながら、工程が複雑であるという欠点がある。

【0004】

そこで、レジストプロセスを用いない、新しい加工方法が検討されている。その一例として、図 17 ~ 図 21 にマイクロプラズマ源を搭載したプラズマ処理装置の構成を示す。

50

図 17 に、マイクロプラズマ源の分解図を示す。マイクロプラズマ源は、セラミック製の外側板 31、内側板 32 及び 33、外側板 34、板状電極 35 から成り、厚さは全て 1 mm である。また、外側板 31 及び 34 には、外側ガス流路 36 及び外側ガス噴出口 37 が設けられ、内側板 32 及び 33 には、内側ガス流路 38 及び内側ガス噴出口 39 が設けられている。内側ガス噴出口 39 から噴出するガスの原料ガスは、外側板 31 に設けられた内側ガス供給口 40 から、内側板 32 及び板状電極 35 に設けられた貫通穴 41 を介して、内側ガス流路 38 に導かれる。

【0005】

また、外側ガス噴出口 37 から噴出するガスの原料ガスは、外側板 31 に設けられた外側ガス供給口 42 から、内側板 32 と内側板 33、及び板状電極 35 に設けられた貫通穴 43 を介して、外側ガス流路 36 に導かれる。なお、高周波電源が印加される板状電極 35 は、内側板 32 及び 33 の間に挿入され、引き出し部 44 を介して電源部に配線される。

【0006】

図 18 に、マイクロプラズマ源を、ガス噴出口側から見た平面図を示す。外側板 31、内側板 32 及び 33、外側板 34、板状電極 35 が設けられ、外側板 31 と内側板 32 の間と、内側板 33 と外側板 34 の間に外側ガス噴出口 37 が設けられ、内側板 32 と板状電極 35 の間と、内側板 33 と板状電極 35 の間に内側ガス噴出口 39 が設けられている。なお、内側ガス噴出口 39 の線方向の長さ e は 30 mm、外側ガス噴出口 37 の線方向の長さ f は内側ガス噴出口 39 の線方向の長さ e よりも大きく 36 mm である。また、板状電極 35 の線方向長さ g は 30 mm とした。

【0007】

図 19 に、被処理物 15 及びマイクロプラズマ源を、被処理物 15 に垂直な面で切った断面を示す。マイクロプラズマ源は、セラミック製の外側板 31、内側板 32 及び 33、外側板 34、板状電極 35 から成り、外側板 31 及び 34 には外側ガス噴出口 37 が設けられ、内側板 32 及び 33 には内側ガス噴出口 39 が設けられている。また、板状電極 35 は接地電位とし、マイクロプラズマ源と対向となる位置には、高周波電力を印加させる対向電極 46 を載置させている。なお、マイクロプラズマ源の開口部としての内側板 32 と板状電極 35 の間と、内側板 33 と板状電極 35 の間の内側ガス噴出口 39 がなす微細線の幅は 0.05 mm である。

【0008】

このような構成のマイクロプラズマ源を搭載したプラズマ処理装置において、内側ガス噴出口からヘリウム (He) を、外側ガス噴出口から六フッ化硫黄 (SF₆) を供給しつつ、対向電極 46 に高周波電力を印加することにより、被処理物 15 の微小な線状部分をエッチング処理することができる。これは、ヘリウムと六フッ化硫黄の大気圧近傍の圧力下における放電しやすさの差 (ヘリウムの方が格段に放電しやすい) を利用することで、ヘリウムが高濃度となる内側ガス噴出口 39 の近傍にのみマイクロプラズマを発生させることができるからである。

【0009】

また、このような構成のマイクロプラズマ源を搭載したプラズマ処理装置において、鋭角部を有する板状電極を用いた線状加工について、特に被処理物として Si を用いたものについては、特開 2004-111949 号公報に詳しく述べられている。また、大気圧グロープラズマの中でもとりわけエッチングに関する特徴は特許第 3014111 号公報に述べられている。

【0010】

前記のプラズマ処理装置を用いて、例えば、ガスとして、ガス流路 7 に He を 1000 sccm、SF₆ を 400 sccm 供給し、高周波電力を 100 W 供給する条件にて、被処理物 15 として用いた Si を 120 s 程度エッチングすることが可能である。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 1 】

しかしながら、従来例で述べたプラズマ処理装置及び方法によるエッチングにおいては、2つの問題点があった。1つ目は、被処理物15の被加工部にエッチングにより溝部が形成されるとき、その溝部には垂直性の高い形状が得られないという問題点であり、2つ目は、被処理物15の被加工部のエッチング深さがある程度の値に到達すると、途中でエッチングが停止してしまうという問題点である。その一例として、まず、前記したプラズマ条件にて120s処理したときに得られたエッチング形状の一例を図20に示す。

【 0 0 1 2 】

図20は、溝部のエッチング形状の断面図であるが、まずエッチング形状評価のための各種パラメーターを次のように定義する。溝部の最深部と被処理物表面Wのなす距離をエッチング深さYとしたとき、パターンの底からY×0.8だけ浅い部分を1、及びその深さにおける線幅を溝部の上端部の線幅X1と定義し、パターンの底からY×0.2だけ浅い部分を2、及びその深さにおける線幅をエッチングされた部分の底部の線幅X2とする。また垂直性を表す角度θは、1-2を結ぶ直線と被処理物表面Wのなす角度とする。

【 0 0 1 3 】

図20より、数百μmオーダーの深さの微細加工において、エッチング深さY=124μm、溝部の上端部の線幅X1=542μm、溝部の底部の線幅X2=214μmであるため、溝部の形状の垂直性を表す角度θは24.3°であった(図の横軸と縦軸はオーダーが違うことに注意)。なお、角度θの算出式は次の通りである。

【 0 0 1 4 】

(式1)

$$\theta = \arctan(2 \cdot (0.8Y - 0.2Y) / (X1 - X2))$$

次に、図21はエッチング時間に対するエッチング深さの依存性を示したものであるが、図から明らかなように、エッチング深さ280μm程度で深さ方向のエッチングが停止してしまった。

【 0 0 1 5 】

本発明の目的は、前記従来の問題点に鑑み、数百nm～数百μmオーダーの深さの所望の微細加工部分(被加工部)において、垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することができるプラズマ処理装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 6 】

前記目的を達成するために、本発明は以下のように構成する。

【 0 0 1 7 】

本発明の第1態様によれば、内部に形成されたガス流路と、電力の供給もしくは接地により電位制御できる電極を有し、かつ、放電用の第1ガスを噴出させる第1ガス噴出口の開口部を有する第1ガス噴出面が被処理物に対して平行に配置されるプラズマ源と、

前記プラズマ源の前記第1ガス噴出口に接続されて、前記第1ガスを、前記第1ガス噴出口から前記プラズマ源の前記第1ガス噴出面と前記被処理物の被加工部との間の隙間に供給する第1ガス供給装置と、

を備え、

前記プラズマ源は、その内部に、前記ガス流路を構成するパターンを形成した層を2層以上積層した多層構造をなし、且つ、前記第1ガス噴出口と前記ガス流路との間にバッファ層としての空間を有し、前記バッファ層の空間断面積のうち、前記第1ガス噴出口の開口断面積と平行となる空間断面積の少なくとも1つが、前記第1ガス噴出口の開口断面積よりも大きく、さらに、

前記プラズマ源の前記被処理物に対向する面の一部に凸部を有し、前記凸部には、前記プラズマ源の前記第1ガス噴出口の開口部を有する前記第1ガス噴出面が形成され、かつ、前記凸部は、前記被処理物の微細加工部分内に挿入可能な大きさを有しているプラズマ

10

20

30

40

50

処理装置を提供する。

【0018】

本発明の第2態様によれば、前記第1ガス噴出口よりも外側に配置され、前記プラズマ源の前記第1ガス噴出面とは異なる位置に配置されて放電抑制用の第2ガスを噴出させる第2ガス噴出口を設けるとともに、

前記第2ガス噴出口に接続されて、前記第2ガスを、前記第2ガス噴出口から前記プラズマ源の第2ガス噴出面と前記被処理物の被加工部の間の隙間の周囲に供給する第2ガス供給装置とをさらに備える第1態様に記載のプラズマ処理装置を提供する。

【0019】

本発明の第3態様によれば、前記プラズマ源と前記被処理物とを相対的に移動させる電極間隙間調整装置をさらに有する第1又は2態様に記載のプラズマ処理装置を提供する。

10

【0020】

本発明の第4態様によれば、前記プラズマ源の前記第1ガス噴出口の開口部を有する面と、対向となる位置に電力の供給もしくは接地により電位制御でき、且つ前記被処理物を載置することが可能な対向電極を備える第1～3のいずれか1つ態様に記載のプラズマ処理装置を提供する。

【0022】

本発明の第5態様によれば、前記第1ガス噴出口の開口長さは、前記第1ガス噴出口の開口形状が円もしくは楕円であり、かつ、直径もしくは短径が200nm以上50μm以下である第1～4のいずれか1つ態様に記載のプラズマ処理装置を提供する。

20

【0023】

本発明の第6態様によれば、前記第1ガス噴出口の開口長さは、前記第1ガス噴出口の開口形状が多角形であり、かつ、一辺もしくは対角線の1つ以上が、200nm以上50μm以下である第1～4のいずれか1つ態様に記載のプラズマ処理装置を提供する。

【0024】

本発明の第7態様によれば、前記第2ガス噴出口の開口長さは、前記第2ガス噴出口の開口形状が円もしくは楕円であり、かつ直径もしくは短径が200nm以上50μm以下である第2態様に記載のプラズマ処理装置を提供する。

【0025】

本発明の第8態様によれば、前記第2ガス噴出口の開口長さは、前記第2ガス噴出口の開口形状が多角形であり、かつ、一辺もしくは対角線の1つ以上が、200nm以上50μm以下である第2態様に記載のプラズマ処理装置を提供する。

30

【発明の効果】

【0034】

本発明のプラズマ処理装置によれば、数百nm～数百μmオーダーの深さの所望の被加工部例えば微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

本発明の記述を続ける前に、添付図面において同じ部品については同じ参照符号を付している。

40

【0036】

本発明の実施形態を説明する前に、本発明の種々の態様とその作用効果について、まず、説明する。

【0037】

本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置は、内部にガス流路と、電力の供給もしくは接地により電位制御できる電極を有するプラズマ源を備え、且つ該プラズマ源の第1のガス噴出口の開口部を有する面が被処理物を配設可能な位置に対して概平行に設置でき、尚且つガス供給口を介してガス供給装置と接続したプラズマ処理装置において、

プラズマ源は内部にパターンを形成した層を2層以上積層した多層構造をなし、且つ多

50

層構造の内部のガス流路がバッファ層としての空間を有し、尚且つ該バッファ層の空間断面積のうち、第1のガス噴出口の開口断面積と平行となる空間断面積の少なくとも1つが、第1のガス噴出口の開口断面積よりも大きいことを特徴としている。

【0038】

このような構成により、第1ガス噴出口を有する面内でのガス噴出を均一にすることが可能となり、面内で均一なプラズマを発生させることが可能となることで、被処理物の底部で不必要にテーパ形状を形成することなくプラズマ処理することができるため、所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状を得やすく、且つ深さ方向のエッチングも停止しにくいプラズマ処理装置を実現できる。

【0039】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、第1のガス噴出口の開口部を有する面とは異なる位置に第2のガス噴出口を設けたことが望ましい。

【0040】

このような構成により、被処理物の側面部でのプラズマの生成を抑制でき、所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状を得やすいプラズマ処理装置を実現できる。

【0041】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、プラズマ源と被処理物のなす距離、及びプラズマ源と対向電極のなす距離を調整できる移動機構を有することが望ましい。

【0042】

このような構成により、プラズマ源と被処理物の底部のなす距離をほぼ一定に保つことが可能となり、所望の微細加工部分において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理装置を実現できる。

【0043】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、プラズマ源の第1のガス噴出口の開口部を有する面と、対向となる位置に電力の供給もしくは接地により電位制御でき、且つ被処理物を載置することが可能な対向電極を備えることが望ましい。

【0044】

このような構成により、プラズマ源と被処理物の被加工部の底部との間に発生する電圧を効率的に高くすることができ、プラズマ源と被処理物の被加工部の側面部でのプラズマ生成を抑制することが可能となり、所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状を得やすいプラズマ処理装置を実現できる。

【0045】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、プラズマ源の一部は、プラズマ源の第1のガス噴出口の開口部を有する面と被処理物のなす距離、及びプラズマ源の第1のガス噴出口の開口部を有する面と対向電極のなす距離がもっとも小さくなるように、凸形状を有していることが望ましい。

【0046】

このような構成により、プラズマ源と被処理物の底部のなす距離をほぼ一定に保つことが可能となり、所望の微細加工部分において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理装置を実現できる。

【0047】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、プラズマ源に形成したパターンは、少なくともガス流路を含み、且つ液体流路も含むことが望ましい。

【0048】

このような構成により、プラズマ源を冷却することで、生成したプラズマがアーク放電（火花）へ移行するのを抑制することができ、被処理物の底部を不必要に酸化することな

10

20

30

40

50

くプラズマ処理することが可能となり、所望の微細加工部分において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理装置を実現できる。

【0049】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、パターンを形成する層の材料は、体積抵抗率が $10^{-1} \cdot \text{cm}$ 以下の材料であることが望ましい。

【0050】

このような構成により、所望の負荷以外の場所での電力損失を低減でき、不必要な熱の発生を抑制できる、又は所望の負荷と整合がし難くなることを回避することが可能であるという利点がある。

【0051】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、パターンを形成する層の材料は、Siを主成分としたものであることが望ましい。

【0052】

このような構成により、比較的安価で加工性に富み、且つ材料の導電率を制御することで、プラズマ源と被処理物の被加工部の底部との間に発生する電圧を装置構成の面から制御できるといった利点がある。

【0053】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、第1のガス噴出口の開口部を有する面は、ハロゲンを含むガスに対して、Siよりエッチングレートの低い層によってコーティングしていることが望ましい。

【0054】

このような構成により、プラズマ活性種によるプラズマ源の消耗を抑制でき、構成部品のメンテナンス周期を向上できるといった利点がある。

【0055】

更に好適には、Siよりエッチングレートの低い層は、Ag、Al、Au、Co、Cr、Cu、Fe、Mg、Mo、Ni、Pt、Ti、Ta、Wの少なくとも1つを主成分とする金属材料、あるいは、これらの元素とSiを含む酸化物、窒化物、弗化物からなる絶縁材料であることが望ましく、ハロゲンガスに対してSiよりも反応性に乏しいため、プラズマ活性種によるプラズマ源の消耗を抑制でき、構成部品のメンテナンス周期を更に向上できるといった利点がある。

【0056】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、パターン及び第1のガス噴出口は、減圧下でのプラズマエッチング処理、薬液によるエッチング処理、放電加工による加工処理、又はレーザー加工による加工処理で形成されていることが好ましい。

【0057】

このような構成により、一般的な機械加工では得難い加工寸法及び精度でのパターニングが可能となるといった利点がある。

【0058】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、第1のガス噴出口の開口長さは、第1のガス噴出口の開口形状が円もしくは楕円の場合に、直径もしくは短径が 200 nm 以上 $50 \mu \text{ m}$ 以下であることが望ましい。

【0059】

このような構成により、開口長さが小さいほど面内のガス均一性が向上し、プラズマが均一になりやすい、又はアーク放電（火花）の発生を抑制しやすいといった利点がある。しかし、開口長さが小さすぎるとプラズマ源の作製時の加工が困難になるため、概ね 200 nm 以上 $50 \mu \text{ m}$ 以下が望ましい。

【0060】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、第1のガス噴出口の開口長さは、第1のガス噴出口の開口形状が多角形の場合に、一辺もしくは対角

10

20

30

40

50

線の1つ以上が、200nm以上50μm以下であることが望ましい。

【0061】

このような構成により、開口長さが小さいほど面内のガス均一性が向上し、プラズマが均一になりやすい、又はアーク放電（火花）の発生を抑制しやすいといった利点がある。しかし、開口長さが小さすぎるとプラズマ源の作製時の加工が困難になるため、概ね200nm以上50μm以下が望ましい。

【0062】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、第2のガス噴出口の開口長さは、第2のガス噴出口の開口形状が円もしくは楕円の場合に、直径もしくは短径が200nm以上50μm以下であることが望ましい。

10

【0063】

このような構成により、開口長さが小さいほど面内のガス均一性が向上し、プラズマが均一になりやすい、又はアーク放電（火花）の発生を抑制しやすいといった利点がある。しかし、開口長さが小さすぎるとプラズマ源の作製時の加工が困難になるため、概ね200nm以上50μm以下が望ましい。

【0064】

また、本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理装置において、好適には、第2のガス噴出口の開口長さは、第2のガス噴出口の開口形状が多角形の場合に、一辺もしくは対角線の1つ以上が、200nm以上50μm以下であることが望ましい。

【0065】

20

このような構成により、開口長さが小さいほど面内のガス均一性が向上し、プラズマが均一になりやすい、又はアーク放電（火花）の発生を抑制しやすいといった利点がある。しかし、開口長さが小さすぎるとプラズマ源の作製時の加工が困難になるため、概ね200nm以上50μm以下が望ましい。

【0066】

本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理方法は、内部にガス流路と、電力の供給もしくは接地により電位制御できる電極を有するプラズマ源の、第1のガス噴出口の開口部を有する面を被処理物に対して概平行に配置させ、被処理物に対して第1のガス噴出口より第1のガスを噴出しつつ、プラズマ源、被処理物、あるいは被処理物の被処理面と表裏をなす面に配置した対向電極のいずれかに電力を供給し、プラズマ源と被処理物の被加工部の間に電位差を発生させることでプラズマを生成させるプラズマ処理方法であって、プラズマ処理工程もしくは、プラズマ処理工程の前後で、プラズマ源の被処理物の被加工部に最も近い面と被処理物の被加工部との間の隙間の距離を小さくすることを特徴としている。

30

【0067】

このような構成により、プラズマ源と被処理物の底部のなす距離をほぼ一定に保つことが可能となり、所望の微細加工部分において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理方法を実現できる。

【0068】

本発明の1つの態様にかかるプラズマ処理方法は、内部にガス流路と、電力の供給もしくは接地により電位制御できる電極を有するプラズマ源の、第1のガス噴出口の開口部を有する面を被処理物に対して概平行に配置させ、被処理物に対して第1のガス噴出口より第1のガスを噴出しつつ、プラズマ源、被処理物、あるいは被処理物の被処理面と表裏をなす面に配置した対向電極のいずれかに電力を供給し、プラズマ源と被処理物の被加工部との間に電位差を発生させることでプラズマを生成させるプラズマ処理方法であって、第1のガス噴出口の開口部を有する面の断面積よりも被処理物の断面積が大きいことを特徴としている。

40

【0069】

このような構成により、プラズマ源と被処理物の底部のなす距離をほぼ一定に保つことが可能となり、所望の微細加工部分において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラ

50

ズマ処理方法を実現できる。

【 0 0 7 0 】

本発明の 1 つの態様にかかるプラズマ処理方法は、内部にガス流路と、電力の供給もしくは接地により電位制御できる電極を有するプラズマ源の、第 1 のガス噴出口の開口部を有する面を被処理物に対して概平行に配置させ、被処理物に対して第 1 のガス噴出口より第 1 のガスを噴出しつつ、プラズマ源、被処理物、あるいは被処理物の被処理面と表裏をなす面に配置した対向電極のいずれかに電力を供給し、プラズマ源と被処理物の被加工部の間に電位差を発生させることでプラズマを生成させるダイシング処理方法であって、プラズマ処理工程もしくは、プラズマ処理工程の前後で、プラズマ源の被処理物の被加工部に最も近い面と被処理物の被加工部との間の隙間の距離を小さくすることを特徴としている。

10

【 0 0 7 1 】

このような構成により、プラズマ源と被処理物の底部のなす距離をほぼ一定に保つことが可能となり、所望の微細加工部分において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理方法を実現できる。

【 0 0 7 2 】

本発明の 1 つの態様にかかるプラズマ処理方法は、内部にガス流路と、電力の供給もしくは接地により電位制御できる電極を有するプラズマ源の、第 1 のガス噴出口の開口部を有する面を被処理物に対して概平行に配置させ、被処理物に対して第 1 のガス噴出口より第 1 のガスを噴出しつつ、プラズマ源、被処理物、あるいは被処理物の被処理面と表裏をなす面に配置した対向電極のいずれかに電力を供給し、プラズマ源と被処理物の被加工部の間に電位差を発生させることでプラズマを生成させるダイシング処理方法であって、

20

第 1 のガス噴出口の開口部を有する面の断面積よりも被処理物の断面積が大きいことを特徴としている。

【 0 0 7 3 】

このような構成により、プラズマ源と被処理物の底部のなす距離をほぼ一定に保つことが可能となり、所望の微細加工部分において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理方法を実現できる。

【 0 0 7 4 】

また、本発明の前記態様にかかるプラズマ処理方法によれば、好適には、第 1 のガス噴出口の開口部を有する面とは異なる位置に設けた第 2 のガス噴出口より、被処理物に対して第 2 のガスを噴出することが望ましい。

30

【 0 0 7 5 】

このような構成により、被処理の側面部でのプラズマの生成を抑制でき、所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状を得やすいプラズマ処理方法を実現できる。

【 0 0 7 6 】

更に好適には、第 1 のガス噴出口の開口部を有する面とは異なる位置に設けた第 2 のガス噴出口より、被処理物に対して第 2 のガスを噴出し、被処理物の被加工面の側面部に所望の表面改質を施すことが望ましい。

40

【 0 0 7 7 】

このような構成により、被処理物の側面部でのプラズマの生成を抑制することが可能となり、もしくはプラズマが生成しても被処理物の側面部でのエッチング速度を小さくすることが可能となり、所望の微細加工部分において、更に垂直性の良好なエッチング形状を得やすいプラズマ処理方法を実現できる。

【 0 0 7 8 】

尚更に好適には、所望の表面改質とは、弗化、窒化及び酸化のいずれかであることが望ましい。

【 0 0 7 9 】

このような構成により、被処理物の側面部でのプラズマの生成を抑制することが可能と

50

なり、もしくはプラズマが生成しても被処理物の側面部でのエッチング速度を小さくすることが可能となり、所望の微細加工部分において、尚更に垂直性の良好なエッチング形状を得やすいプラズマ処理方法を実現できる。

【0080】

また、本発明の前記態様にかかるプラズマ処理方法によれば、好適には、第1のガスは、He、Ar、Kr、Ne、Xeを1種以上含み、且つこれら5種のガスの合計含有量が、分圧比で80%以上であることが望ましい。

【0081】

このような構成により、アーク放電（火花）の発生を抑制でき、被処理物の底部を不必要に酸化することなくプラズマ処理することが可能となり、所望の微細加工部分において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理方法を実現できる。

10

【0082】

また、本発明の前記態様にかかるプラズマ処理方法によれば、好適には、第1のガスは、 SF_6 、 CF_4 などの C_xF_y （ x 及び y は自然数）、 NF_3 、 Cl_2 、HBr等のハロゲン含有ガス、 N_2 、空気又は O_2 ガスを少なくとも1種類以上含むことが望ましい。

【0083】

このような構成により、処理速度が向上するといった利点がある。

【0084】

また、本発明の前記態様にかかるプラズマ処理方法によれば、好適には、第2のガスは、 SF_6 、 CF_4 などの C_xF_y （ x 及び y は自然数）、 NF_3 、弗素含有ガス、 N_2 又は O_2 ガスの少なくとも1種類以上の合計含有量が、分圧比で90%以上であることが望ましい。

20

【0085】

このような構成により、被処理物の側面部でのプラズマの生成を抑制することが可能となり、もしくはプラズマが生成しても被処理物の側面部でのエッチング速度を小さくすることが可能となり、所望の微細加工部分において、尚更に垂直性の良好なエッチング形状を得やすいプラズマ処理方法を実現できる。

【0086】

また、本発明の前記態様にかかるプラズマ処理方法によれば、好適には、プラズマ処理は、被処理物をエッチング処理することが望ましい。

30

【0087】

エッチング処理の場合に格段の効果が期待できる。

【0088】

また、本発明の前記態様にかかるプラズマ処理方法によれば、好適には、プラズマ処理は、大気圧近傍又は、それ以上の圧力で処理することが望ましい。

【0089】

このような構成により、真空搬送等の動作を省くことができタクトタイム向上、装置コスト削減等の様々な利点がある。

【0090】

また、本発明の前記態様にかかるプラズマ処理方法によれば、好適には、プラズマの形態が、電流電圧特性において、所謂グロー放電であることが望ましい。

40

【0091】

このような構成により、ある程度の処理速度を確保しながら、ガス温度の上昇を抑制することで、被処理物に熱的なダメージを与えることなくプラズマ処理を持続できるといった利点がある。

【0092】

以上のように、本発明のプラズマ処理装置及び方法によれば、数百nm～数百μmオーダーの深さの所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することができる。

【0093】

50

以下に、本発明にかかる実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【0094】

(第1実施形態)

以下、本発明の第1実施形態について、図1～図8を参照して説明する。図1及び図2A～図2Cは本発明のプラズマ源100を搭載したプラズマ処理装置の外観構成図を示す。

【0095】

図1よりプラズマ処理装置のプラズマ源100は、例えばそれぞれの平面が正方形の3つの積層部材1、2及び3、第1ガス配管4a、第2ガス配管4b、給水管5a、排水管5b、導線6、4本の絶縁管7で構成しており、導線6及び4本の絶縁管7は接着剤8によって第3積層部材3に接続させている。

【0096】

このように、プラズマ処理装置は、3つの積層部材すなわち第1、第2、第3積層部材1、2及び3で主に構成され、その形状はy方向に凸形状をなしており、凸形状の先端部分すなわち第1積層部材1である凸部の先端面と被処理物15との距離が、被処理物15に対向するプラズマ源100の様々な部分と被処理物15との間の距離のうち、最も小さくなるように設計されている。また、図2A～図2Cは図1の上側から見た拡大平面図を示しており、この図2AのAA-AA平面における断面図を図3に示す。

【0097】

図3は、図1と同様に、3つの積層部材すなわち第1、第2、第3積層部材1、2及び3と、第1ガス配管4a、第2ガス配管4b、給水管5a、排水管5b、導線6、4本の絶縁管7が示されている。第2、第3積層部材2、3の内部にそれぞれ形成した第1ガス流路9を互いに連結し、かつ、第1、第2、第3積層部材1、2、3の内部にそれぞれ形成した第11ガス流路10も互いに連結するように、第1、第2、第3積層部材1、2及び3を接続している。また第1ガス配管4a及び第2ガス配管4bは、絶縁管7と絶縁管7をそれぞれ介して、第3積層部材3の第1ガス流路9と第11ガス流路10とにそれぞれ接続している。また、給水管5a及び排水管5bは、絶縁管7と絶縁管7をそれぞれ介して、第3積層部材3に形成された水路11a、11bとそれぞれ連結するように第3積層部材3と接続している。また、水路11aと11bは第3積層部材3の内部で連結している。なお、第1ガス配管4a、第2ガス配管4b、給水管5a及び排水管5bのそれぞれの外径は例えば1/16インチである。

【0098】

次に図4は、第1積層部材1の断面図を示す。図2B及び図2Cには、第1積層部材1と第2積層部材2の拡大平面図、第1積層部材1の拡大平面図をそれぞれ示す。図4の第1積層部材1は、第1層1aと、第2層1bと、第3層1cと、第4層1dとより構成される4層構造となっており、第1層1aの被処理物15に対向する面すなわち第1ガス噴出面1a-1には、第1層1aを貫通するように、第1ガス噴出口12aを数十個、好ましくは均等に設けて、第1ガス噴出面1a-1において第1ガスを均一に噴出できるようにしている。また、第2層1bには、全ての第1ガス噴出口12aと連通する第1バッファ層13a-aと、第1バッファ層13a-aに全て連通しかつ複数個の貫通した第2ガス流路9a-aを設けている。また、第3層1cには、全ての第2ガス流路9a-aに連通した第2バッファ層13a-bと、第2バッファ層13a-bに全て連通しかつ複数個の貫通した第3ガス流路9a-bを設けている。また、第4層1dには、全ての第3ガス流路9a-bに連通した第3バッファ層13a-cを設けている。なお、一例として、図4における第1層1aと第2層1bと第3層1cと第4層1dのx方向の長さ(平面形状が正方形の第1積層部材1の一辺の長さ)Aは800 μ m、長さ(第1積層部材1の第1ガス噴出口12aが形成される正方形の領域の一辺の長さ)Bは700 μ m、長さ(第1積層部材1の平面形状が正方形のバッファ層13a-cの一辺の長さ)Cは400 μ mとし、第1層1aのy方向の厚さDは50 μ m、第2層1bのy方向の厚さEは80 μ m、第3層1cのy方向の厚さFは100 μ m、第4層1dのy方向の厚さGは

10

20

30

40

50

370 μm 、第1バッファ層13a - aの厚さHは50 μm 、第2バッファ層13a - bの厚さIは50 μm とした。また、一例として、層1a、1b、1cと1dにはSiを用いた。また、一例として、第1ガス噴出口12aの各開口径は30 μm とした。

【0099】

なお、前記凸部以外の前記プラズマ源100の前記被処理物15に対向する面には、前記第1ガス噴出口の開口部は無い。また、後述するように、前記凸部のみが、前記被処理物15の数百nm～数百 μm オーダーの深さの微細加工部分内に挿入可能であり、かつ、凸部の高さは、被処理物15の加工深さよりも大きくしている。ここで、凸部の高さは、被処理物15の所望の加工深さ（加工後の加工深さ）よりも大きくなければならない。つまり、被処理物15の所望の加工深さをYとした場合、凸部の高さNN（図4ではNN = D + E + F + G）との間に、NN - Y + 100 μm が成り立つのが望ましい。ここで、100 μm としたのは、後述する第2ガス噴出口12bの形成面と被処理物15の被加工部との間の隙間の距離が100 μm より小さいと、第2積層部材2の第2ガス噴出口12bが形成された面と被処理物15の所望の被加工部の近傍部分との間に形成される空間が非常に小さくなり、所望の被加工部の付近へ第2ガスが十分に到達しがたくなるためである。また、第1積層部材1が2層以上の積層構造であるため、第1積層部材1で構成される凸部の高さNNは概ね100 μm 以上であることが好ましい。これは、第1積層部材1のそれぞれの層を構成する材料にSiを用いる場合、それぞれの層を構成するSi基板をチップサイズにダイシングする、あるいはそれぞれの層を構成するチップ同士を貼り合わせることによって第1積層部材1を構成するためには、1枚のSiの層の厚みを概ね50 μm 以上とすることが望ましいからである。

【0100】

なお、図4で示したように、第1ガス噴出口12aの各開口断面積を、その断面積と平行となる第1バッファ層13a - aの空間断面積よりも小さくすることで、第1ガス噴出口12aの開口部を含む第1ガス噴出面1a - 1における噴出されるガスの流量均一性を向上させる構成となっている。実際には、一例として、第1ガス噴出口12aの開口断面積を（半径15 μm の円であるため）706 μm^2 とし、この断面積と平行となる第1バッファ層13a - aの空間断面積を（一辺が750 μm の正方形であるため）、562500 μm^2 とした。

【0101】

なお、第1、第2バッファ層13a - a、13a - bと第1ガス噴出口12aの直径との関係について、第1、第2バッファ層13a - a、13a - bの被処理物15にガスを噴出させるべく方向に対して平行な面内の高さPP（図4ではx - y面に平行な面内の高さである、H及びI）と、第1ガス噴出口12aの開口径QQ（図示せず）の間に、概ねPP / QQ < 1が成り立つことが望ましい。このような設計により、第1、第2バッファ層13a - a、13a - b内に導入されたガスが第1、第2バッファ層13a - a、13a - b内の全体に十分に行き渡ることが可能となるため、各第1ガス噴出口12aから噴出するガスの流量を等しくでき、面内でより均一にガスを供給することができる。

【0102】

次に、図5は、第2積層部材2の断面図を示す。図5では、第2積層部材2が、層2aと2bとより構成される2層構造となっている。層2aには、第1積層部材1の第3バッファ層13a - cに連通可能な第4バッファ層13b - aと連続して第4ガス流路9b - aを中央部に設けているとともに、第5バッファ層13b - bと連続して第2ガス噴出口12bを、第4ガス流路9b - aの周囲に設けている。一例として、図2Bに示されるように、第2ガス噴出口12bは、第1積層部材1の周囲に均等に一系列に四角棒形状に配置され、第1積層部材1の全ての側面を囲みかつ第1積層部材1の第1ガス噴出口12aの開口部を有する第1ガス噴出面1a - 1の周囲に到達する、大略四角筒状に第2ガスを噴出できるようにしている。また、層2bには、第4ガス流路9b - aに連通可能な第5ガス流路9b - bと、第12ガス流路10b - aを設けている。なお、一例として、

前記 2 つの層 2 a、2 b より構成される第 2 積層部材 2 の x 方向の長さ J は 2 . 5 mm、第 4 バッファ層 1 3 b - a の x 方向の長さ K は 3 0 0 μ m とし、各層 2 a、2 b の y 方向の厚さ L と M は共に 1 0 0 μ m とした。また、一例として、層 2 a、2 b には S i を用いた。また、一例として、第 2 ガス噴出口 1 2 b の各開口径は 3 0 μ m とした。

【 0 1 0 3 】

なお、第 2 ガス流路 9 a - a と第 3 ガス流路 9 a - b と第 4 ガス流路 9 b - a と第 5 ガス流路 9 b - b とにより、前記第 1 ガス流路 9 を構成している。また、第 1 2 ガス流路 1 0 b - a と第 1 3 ガス流路 1 0 c - a と第 1 4 ガス流路 1 0 c - b とにより、前記第 1 1 ガス流路 1 0 を構成している。

【 0 1 0 4 】

次に、図 6 は、第 3 積層部材 3 の断面図を示す。図 6 の第 3 積層部材 3 は、層 3 a と層 3 b とより構成される 2 層構造となっている。層 3 a には、第 5 ガス流路 9 b - b に連通可能な第 6 ガス流路 9 c - a と、第 1 2 ガス流路 1 0 b - a と連通可能な第 1 3 ガス流路 1 0 c - a と、第 2 積層部材側には開口されていない水路 1 1 a と 1 1 b を形成している。また、層 3 b には、第 6 ガス流路 9 c - a に連通可能な第 7 ガス流路 9 c - b と、第 1 3 ガス流路 1 0 c - a に連通可能な第 1 4 ガス流路 1 0 c - b と、水路 1 1 a に連続した給水路 1 4 a と、水路 1 1 b に連続した排水路 1 4 b を設けている。なお、一例として、第 3 積層部材 3 の x 方向の長さ N は 1 0 mm とし、各層 3 a と 3 b の y 方向の厚さ O と P は共に 7 6 0 μ m、水路 1 1 a、1 1 b の y 方向の厚さ Q は 5 0 0 μ m とした。また、一例として、層 3 a、3 b には S i を用いた。

【 0 1 0 5 】

なお、前記したプラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 の形成において、一例として、各層の接合には常温接合技術を用いた。ここでいう常温接合技術とは、接合させる材料として例えば S i を用い、S i の接合面（すなわち、接合すべき 2 つの層の対向する接合面のそれぞれ）に対して減圧プラズマ処理を施した後、減圧下のままで、S i のプラズマ処理を施した接合面同士を接触させ、接合面同士が当るように、機械的に応力を加えることで接合させる技術である。

【 0 1 0 6 】

また、層 1 a、1 b、1 c、1 d、2 a、2 b、3 a 及び 3 b で用いた S i は、ある程度の導電性を確保するために、体積抵抗率が $10^{-2} \cdot \text{cm}$ の S i を用いている。体積抵抗率が $10^{-2} \cdot \text{cm}$ よりも大きいと、熱による消費が大きくなり、効率が悪くなるとともに、S i の温度が著しく上昇し、接合面が剥離するといった問題が生じる可能性がある。

【 0 1 0 7 】

また、前記したプラズマ源 1 0 0 は数 Pa から数気圧まで動作可能であるが、典型的には 1 0 0 0 0 Pa から 3 気圧程度の範囲の圧力で動作する。特に、大気圧付近での動作は、厳重な密閉構造や特別な排気装置が不要であるとともに、プラズマや活性粒子の拡散が適度に抑制されるため、特に好ましい。

【 0 1 0 8 】

図 7 A は、前記プラズマ源 1 0 0 を備えるプラズマ処理装置の全体を示しており、図 7 B は、プラズマ源 1 0 0 の拡大断面図である。プラズマ処理装置は、前記プラズマ源 1 0 0 の他に、第 1 ガス供給装置 1 6 a と、第 2 ガス供給装置 1 6 b と、高周波電源 1 7 と、恒温水循環装置 1 8 と、電極間隙間調整機構 1 2 0 と、制御装置 1 1 0 とを備えている。

【 0 1 0 9 】

前記第 1 ガス供給装置 1 6 a は、第 1 ガス配管 4 a に接続され、第 1 ガス供給装置 1 6 a から第 1 ガス配管 4 a を介して、不活性ガスの一例としての H e と、反応性ガスの一例としての C F₄ とを放電用ガス（第 1 ガス）の一例として前記第 1 ガス流路 9 に供給可能としている。

【 0 1 1 0 】

前記第 2 ガス供給装置 1 6 b は、第 2 ガス配管 4 b に接続され、第 2 ガス供給装置 1 6

10

20

30

40

50

b から第 2 ガス配管 4 b を介して、放電抑制用ガス（第 2 ガス）の一例としての O_2 を前記第 1 ガス流路 1 0 に供給可能としている。

【 0 1 1 1 】

前記高周波電源 1 7 は導線 6 と接続されて、前記プラズマ源 1 0 0 に高周波電力を供給する。

【 0 1 1 2 】

前記恒温水循環装置 1 8 は、給水管 5 a 及び排水管 5 b に接続されて、給水管 5 a 及び排水管 5 b を通って、第 3 積層部材 3 内に対して冷却水を給排水できるようにしている。

【 0 1 1 3 】

前記電極間隙間調整機構 1 2 0 は、プラズマ源 1 0 0 を被処理物 1 5 に対して接離方向（y 方向）に移動可能に（好ましくは、前記接離方向（y 方向）と前記接離方向と互いに直交する方向（x 方向）との 2 方向にも移動可能に）支持し、プラズマ源 1 0 0 の先端面（第 1 積層部材 1 の第 1 ガス噴出口 1 2 a の開口部を有する第 1 ガス噴出面 1 a - 1）と被処理物 1 5 とのなす距離を所定値又は許容範囲内に調整することができる。

10

【 0 1 1 4 】

前記制御装置 1 1 0 は、前記プラズマ源 1 0 0 によるプラズマ処理を行うために、第 1 ガス供給装置 1 6 a と第 2 ガス供給装置 1 6 b と高周波電源 1 7 と恒温水循環装置 1 8 と電極間隙間調整機構 1 2 0 とをそれぞれ動作制御する。

【 0 1 1 5 】

電極間隙間調整機構 1 2 0 は、制御装置 1 1 0 と協働して電極間隙間調整装置 2 0 を構成しており、電極間隙間調整装置 2 0 の具体的な例としては、以下のような構造の電極間隙間調整装置 2 0 A とすることができる。

20

【 0 1 1 6 】

図 7 E に示されるように、プラズマ源 1 0 0 は、一対のバー 1 2 3 c と一対のバー 1 2 3 c の両端をそれぞれ固定するステージ 1 2 3 d とより構成される治具 1 2 3 a に固定され、例えば、治具 1 2 3 a のステージ 1 2 3 d を、制御装置 1 1 0 により動作制御される一対の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b（具体例としては一対のモーター）とそれぞれ接続し、制御装置 1 1 0 により一対の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b を同期して駆動することにより、プラズマ源 1 0 0 を y 軸方向に移動することができる。さらに、一対の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b の上端は、基台 1 2 2 に固定され、基台 1 2 2 と接続しかつ制御装置 1 1 0 により動作制御される x - z ステージ 1 2 1 により、一対の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b と共にプラズマ源 1 0 0 は、x - z 平面内を移動することができる。

30

【 0 1 1 7 】

治具 1 2 3 a の下側のバー 1 2 3 c には、例えば、測長レーザー 1 2 4 が 2 つ以上固定されており、制御装置 1 1 0 による動作制御の下で、プラズマ源 1 0 0 と、対向電極 1 2 5 上に載置された被処理物 1 5 との為す距離 R を、適時、測定し、測定結果を制御装置 1 1 0 に入力することができる。

【 0 1 1 8 】

測長レーザー 1 2 4 にて隙間（プラズマ源 1 0 0 の先端面（被処理物 1 5 の被加工部に最も近い面）と被処理物 1 5 の被加工部との為す距離 R）を測定し、その値を測定結果として制御装置 1 1 0 にフィードバックし、制御装置 1 1 0 により、一対の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b の移動距離を算出し、一対の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b を駆動制御することで、常に最適な隙間を保持することができる。

40

【 0 1 1 9 】

このように、一対の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b と、治具 1 2 3 a（一対のバー 1 2 3 c とステージ 1 2 3 d）と、基台 1 2 2 と、x - z ステージ 1 2 1 と、測長レーザー 1 2 4 とより、電極間隙間調整機構 1 2 0 を構成して、予め制御装置 1 1 0 に入力された加工処理情報と測長レーザー 1 2 4 からの入力などに基づき制御装置 1 1 0 により一対の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b と x - z ステージ 1 2 1 とを制御することにより、前記電極間隙間調整装置 2 0 A を構成することができる。

50

【 0 1 2 0 】

本発明は、前記電極間隙間調整装置 2 0 A の構成に限定されるものではなく、図 7 F に示すような電極間隙間調整装置 2 0 B でもよい。

【 0 1 2 1 】

図 7 F に示す電極間隙間調整装置 2 0 B は、被処理物 1 5 として、透明基板（主に赤外線波長領域を透過させる基板）を使用する場合に対して有効な例である。

【 0 1 2 2 】

対向電極 1 2 5 には石英などの透明な材料を用い、(i) 対向電極 1 2 5 は接地電位にせず浮遊電位とする、(i i) 対向電極 1 2 5 の表面に I T O などの透明導電膜を成膜した石英を用いて接地電位とする、のいずれかの状態とする。

10

【 0 1 2 3 】

対向電極 1 2 5 の裏面には少なくとも 2 つの測長レーザー 1 2 4 A を、制御装置 1 1 0 により動作制御される下側 x - z ステージ 1 2 1 A に固定し、制御装置 1 1 0 の制御により、プラズマ源 1 0 0 の上側に配置された上側 x - z ステージ 1 2 1 と同期して又は上側 x - z ステージ 1 2 1 とは独立的に、2 つの測長レーザー 1 2 4 A とともに下側 x - z ステージ 1 2 1 A を x - z 平面内を移動することができる。そして、制御装置 1 1 0 による動作制御の下で、プラズマ源 1 0 0 と測長レーザー 1 2 4 A の為す距離を、適時、測定し、測定結果を制御装置 1 1 0 に入力することができる。また、被処理物 1 5 の被加工部の底部と測長レーザー 1 2 4 A の為す距離を測定し、測定結果を制御装置 1 1 0 に入力することも可能であり、加工深さの計測及び被加工部の底部とプラズマ源 1 0 0 の為す距離を計測し、測定結果を制御装置 1 1 0 に入力することが可能である。

20

【 0 1 2 4 】

測定した数値を測定結果として制御装置 1 1 0 にフィードバックし、制御装置 1 1 0 により、一对の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b を、その都度、駆動制御することで、プラズマ処理しつつ、加工の進行を考慮した最適な隙間（プラズマ源 1 0 0 の先端面（被処理物 1 5 の被加工部に最も近い面）と被処理物 1 5 の被加工部の為す距離 R ）に保持することが可能である。

【 0 1 2 5 】

このように、測長レーザー 1 2 4 A と、下側 x - z ステージ 1 2 1 A と、上側 x - z ステージ 1 2 1 と、治具 1 2 3 a （一对のバー 1 2 3 c とステージ 1 2 3 d ）と、一对の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b と、基台 1 2 2 とより、電極間隙間調整機構 1 2 0 を構成して、予め制御装置 1 1 0 に入力された加工処理情報と測長レーザー 1 2 4 A からの入力などに基づき制御装置 1 1 0 により一对の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b と上側 x - z ステージ 1 2 1 と下側 x - z ステージ 1 2 1 A とを制御することにより、前記電極間隙間調整装置 2 0 B を構成することができる。

30

【 0 1 2 6 】

さらに、本発明は、前記電極間隙間調整装置 2 0 A 及び 2 0 B の構成に限定されるものではなく、図 7 G に示すような電極間隙間調整装置 2 0 C でもよい。

【 0 1 2 7 】

図 7 G に示すように、制御装置 1 1 0 により、放電 O F F 時に、一对の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b を動作させ、プラズマ源 1 0 0 の凸部の先端と被処理物 1 5 の被加工部の底部に接触させて、プラズマ源 1 0 0 の凸部の先端が被加工部の底部に接触した時点での位置情報を取得する。制御装置 1 1 0 により、この動作を適当な時間毎に繰り返すことで、接触による位置情報から、特定の時間範囲における、プラズマ処理によって進行した加工深さを計測することができる。

40

【 0 1 2 8 】

プラズマ源 1 0 0 の凸部の先端と被処理物 1 5 の被加工部の底部が接触したかどうかは、以下の 2 通りの方法で計測判断できる。(i) 測長レーザー 1 2 4 によりプラズマ源 1 0 0 の凸部の先端と被処理物 1 5 との為す距離を計測しつつ、一定速度で一对の 1 軸アクチュエーター 1 2 3 b を動作させる。プラズマ源 1 0 0 の凸部の先端と被処理物 1 5 とが

50

接触すると、測長レーザー 124 によって測定している距離の変化が 0 になる。(ii) プラズマ源 100 を移動させる駆動装置の例として一對の 1 軸アクチュエーター 123b を用いているが、一對の 1 軸アクチュエーター 123b の具体的な例としての一対のモーターのそれぞれにかかる負荷荷重を計測しつつ、プラズマ源 100 を動作させる場合、プラズマ源 100 の凸部の先端と被処理物 15 とが接触すると、負荷荷重が急激に上昇する。

【0129】

制御装置 110 による上側 x - z ステージ 121 と一對の 1 軸アクチュエーター 123b と高周波電源 17 と電極間隙間調整装置 20C などの動作制御により、プラズマ処理
プラズマ処理停止 接触による隙間 (プラズマ源 100 の先端面である第 1 ガス噴射面 1
a - 1 と被処理物 15 の被加工部との為す距離 R) の測定 最適隙間調整 プラズマ処理
停止、を繰り返すことで一定時間毎に最適な隙間を調整することができる。

10

【0130】

この図 7G の電極間隙間調整装置 20C を実際に使用する場合、制御装置 110 の演算部 110a により、加工に要するトータルの時間 (エッチングレートから算出) を予め演算して想定しておき、そのトータルの時間の概ね 1/5 ~ 1/10 に相当する時間毎に、制御装置 110 により、プラズマ処理を停止し、接触による距離計測を実施することが好ましい。従って、第 1 実施形態と同条件でプラズマ処理する場合、70s ~ 140s 毎に接触による距離計測を実施することが好ましい。距離測定を実施する時間が前記加工に要するトータルの時間の 1/5 に相当する時間よりも長い時間であると、加工の進行に伴って隙間が大きくなることによる加工速度の低下を招き、加工に要するトータルの時間が長くなってしまふ。また、距離測定を実施する時間が前記加工に要するトータルの時間の 1/10 に相当する時間よりも短い時間であると、プラズマ処理を停止する時間が長くなり、加工に要するトータルの時間が長くなってしまふ。

20

【0131】

このように、一對の 1 軸アクチュエーター 123b と、治具 123a (一對のバー 123c とステージ 123d) と、基台 122 と、x - z ステージ 121 と、測長レーザー 124 とより、電極間隙間調整機構 120 を構成して、予め制御装置 110 に入力された加工処理情報と測長レーザー 124 からの入力などに基づき制御装置 110 により一對の 1 軸アクチュエーター 123b と x - z ステージ 121 とを制御することにより、前記電極
間隙間調整装置 20C を構成することができる。

30

【0132】

ここでは、一例として、前記のプラズマ源 100 を用い、被処理物 15 として Si 基板を処理した際の模式図を図 7C ~ 図 7D に示す。この図 7C ~ 図 7D のように、例えば、前記第 1 ガス供給装置 16a より、第 1 ガス配管 4a を介して、不活性ガスの一例としての He と反応性ガスの一例としての CF₄ とを 0.5 sccm で前記第 1 ガス流路 9 (図 3 参照) に第 1 ガスの一例として供給し、第 1 ガス噴出面の第 1 ガス噴出口 12a から第 1 ガスを噴射させつつ、且つ、第 2 ガス供給装置 16b より、第 2 ガス配管 4b を介して、放電抑制ガスの一例としての O₂ を前記第 1 ガス流路 10 (図 3 参照) に第 2 ガスの一例として供給し、第 2 ガス噴出口 12a から、凸部の周囲を通過して第 1 ガス噴出面 1a - 1 と被処理物 15 の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源 17 よりプラズマ源 100 に高周波電力を供給することで、図 7C に示されるように、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の第 1 ガス噴出面 1a - 1 と被処理物 15 として用いた Si 基板の被加工部との間にプラズマ 101 を発生させることが可能である。なおこの時、プラズマ源 100 を冷却するために、恒温水循環装置 18 より給水管 5a 及び排水管 5b を通って、冷却水をプラズマ源 100 に給排水できる。

40

【0133】

また、図 7B の拡大図で示したように、第 1 積層部材 1 の第 1 ガス噴出口 12a の開口部を有する第 1 ガス噴出面 1a - 1、つまり被処理物 15 とのなす距離が最も近づく面には、一例として、厚さ 5 μm 程度の SiO_x からなる絶縁層 19 を設けている。

50

【0134】

ここで、絶縁層19を設ける理由としては、以下の通りである。大気圧プラズマは、減圧下で生成するプラズマと比較して、放電開始電圧が高く、アーク放電に移行しやすいという特徴がある。一般的にアーク放電への移行を抑制するために、プラズマに晒される電極表面に絶縁層を設ける場合が多く、この実施形態では、凸部のガス噴出口12aを有する第1ガス噴出面1a-1に絶縁層19の一例としてSiO₂膜を設けている。ただし、反応ガスとして使用するガスに対する耐性（エッチング耐性）、下地との密着性及び成膜しやすさの点から、電極表面に金属膜を設ける場合もある。

【0135】

また、前記電極間隙調整装置20により、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面（前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1）と被処理物15とのなす距離を所望の距離又は許容範囲内に調整することができる。

10

【0136】

このようなプラズマ処理装置を用いて、まず、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面（前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1）と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間の距離Rを電極間隙調整装置20により300μmに調整又は100μm～1000μmの間の任意の値に調整し、第1ガス供給装置16aより10sccmのHeと0.5sccmのCF₄を前記第1ガス流路9に第1ガスの一例として供給し、第1ガス噴出面の第1ガス噴出口12aから第1ガスを噴射させつつ、且つ、第2ガス供給装置16bより30sccmのO₂を前記第1ガス流路10に第2ガスの一例として供給し、第2ガス噴出口12aから、凸部の周囲を通して第1ガス噴出面1a-1と被処理物15の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源17より12Wの高周波電力をプラズマ源100に供給して、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面（前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1）と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間にプラズマ101を発生させ、700s間のプラズマ処理をSi基板の被加工部に対して施して、被加工部にエッチング溝部15aを形成した。またこのとき同時に、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100を60μm/minの速度で、図7Aのy方向（図7C及び図7Dの下方向）へ前記電極間隙調整装置20により移動させた。

20

30

【0137】

なお、隙間の距離Rの下限値を100μmとしたのは、この値より小さいと、プラズマ密度が極端に小さくなるためであり、上限値を1000μmとしたのは、この値より大きいと、プラズマが生成しがたくなるためである。

【0138】

この第1実施形態におけるSi基板の被処理物15のエッチング形状の一例を図8に示す。

【0139】

図10より、一例として、被加工部であるエッチング溝部15aのエッチング深さY=663μm、エッチング溝部15aの上端部の線幅X1=1075μm、エッチング溝部15aの底部の線幅X2=868μmであるため、エッチング溝部15aの形状の垂直性を表す角度は75.4°であった（図8の横軸と縦軸はオーダーが違うことに注意）。これより、数百μmオーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部15aのエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチングが停止することなく、プラズマ処理することができた。

40

【0140】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は以下の3つであると考えられる。

【0141】

1つ目は、プラズマ源100の前記被処理物15に対向する面の一部に凸部（第1積層

50

部材 1) を有し、前記凸部には、前記プラズマ源 100 の前記第 1 ガス噴出口 12 a の開口部を有する前記第 1 ガス噴出面 1 a - 1 が形成され、かつ、前記凸部は、前記被処理物 15 の被加工部、例えば、微細加工部内に挿入可能な程度に微小な大きさとなっているため、エッチングの進行に伴って被処理物 15 の微細加工部の底部の位置が変わっても、電極間隙間調整装置 20 により前記凸部を微細加工部内に挿入すれば、被処理物 15 とプラズマ処理装置のプラズマ源 100 とのなす距離 R を、ある程度、一定範囲内（許容範囲内）に保つことができるからである。被処理物 15 とプラズマ処理装置のプラズマ源 100 とのなす距離 R が許容範囲内より外れて大きくなると、放電開始電圧が高くなり、パッシェンの法則で説明されるように、プラズマの生成維持が困難になり、エッチングレートの停止を招く。

10

【0142】

2 つ目は、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の被処理物 15 と対向する面が凸形状をなして凸部を構成し、かつ、その凸部の被処理物 15 側の面である第 1 ガス噴出面 1 a - 1 にのみ第 1 ガス噴出口 12 a を有するようにしたからである。これにより、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の凸部の先端部分と被処理物 15 の被加工部との間にのみプラズマを発生させることができ、被処理物 15 のエッチング溝部 15 a の側壁を必要以上にエッチングすることを回避できる。

【0143】

3 つ目に、第 2 ガス噴出口 12 b が、第 1 積層部材 1 の周囲の第 2 積層部材 2 に均等に—列に四角枠形状に配置され、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の凸部の全側面に沿って大略四角筒状に第 2 ガスを供給するからである。これにより、被処理物 15 のエッチング溝部 15 a の側壁でのプラズマの発生を回避でき、またエッチング溝部 15 a の側壁でプラズマが発生しても O_2 ガスの存在により、エッチングにより前記側壁の Si が除去される速度よりも、Si を酸化する速度の方を大きくすることができる。

20

【0144】

以上、前記第 1 実施形態によれば、微細加工部内に挿入可能な程度に微小な大きさの凸部をプラズマ源 100 に備えて、エッチングの進行に伴って被処理物 15 の微細加工部の底部の位置が変わっても、電極間隙間調整装置 20 により前記凸部を微細加工部内に挿入するように構成することにより、プラズマ源 100 と被処理物 15 の底部のなす距離をほぼ一定に保つことが可能となり、所望の微細加工部において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理装置及び方法を実現することができる。よって、数百 nm ~ 数百 μ m オーダーの深さの所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することができる。

30

【0145】

また、第 1 ガス噴出口 12 a の各開口断面積を、その断面積と平行となる第 1 バッファ—層 13 a - a の空間断面積よりも小さくしたので、第 1 ガス噴出口 12 a を有する第 1 ガス噴出面 1 a - 1 内のガス噴出をより均一にすることが可能となり、第 1 ガス噴出面 1 a - 1 内で均一なプラズマを発生させることが可能となる。この結果、被処理物 15 の底部で不必要にテーパ形状を形成することなくプラズマ処理することができるため、数百 nm ~ 数百 μ m オーダーの深さの所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することができる。

40

【0146】

（第 2 実施形態）

以下、本発明の第 2 実施形態について、図 9 A ~ 図 10 を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の構成は基本的に図 1 ~ 図 6 と同等であるため、ここでは第 1 実施形態で用いたプラズマ処理装置との相違点についてのみ述べる。

【0147】

第 1 実施形態との相違点は、第 1 積層部材 1 の第 1 ガス噴出口 12 a の開口部を有する

50

第1ガス噴出面1a-1に設けた層を、絶縁層19から導体層21に変更した点である。

【0148】

図9Aは、前記プラズマ処理装置を用い、被処理物15として用いたSi基板を処理した際の模式図を示す。この図9Aのように、例えば、第1ガス供給装置16aより、第1ガス配管4aを介して、不活性ガスの一例としてのHeと反応性ガスの一例としてのCF₄を0.5sccmで前記第1ガス流路9(図3参照)に放電用ガスすなわち第1ガスの一例として供給し、第1ガス噴出面の第1ガス噴出口12aから第1ガスを噴射させつつ、且つ、第2ガス供給装置16bより第2ガス配管4bを介して、放電抑制用ガスすなわち第2ガスの一例としてのO₂を、前記第11ガス流路10(図3参照)に供給し、第2ガス噴出口12aから、凸部の周囲を通して第1ガス噴出面1a-1と被処理物15の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源17より高周波電力をプラズマ源100に供給することで、プラズマ処理装置のプラズマ源100と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間にプラズマ(図7C~図7Dの101参照)を発生させることが可能である。

10

【0149】

なおこの時、プラズマ源100を冷却するために、恒温水循環装置18より給水管5a及び排水管5bを通して、冷却水をプラズマ源100に給排水できる。

【0150】

また、図9Bの拡大図で示したように、第1積層部材1の第1ガス噴出口12aの開口部を有する第1ガス噴出面1a-1、つまり被処理物15とのなす距離が最も近づく面には、一例として、厚さ1μm程度のNiからなる導体層21を設けている。このように、第1実施形態のプラズマ源100の絶縁層に代えて、この第2実施形態のプラズマ源100において導体層21を設ける理由は、反応ガスとして使用するガスに対する耐性(エッチング耐性)、下地との密着性及び成膜しやすさの点を考慮して、電極表面に金属膜の一例として導体層21を設けるものである。

20

【0151】

このようなプラズマ処理装置を用いて、まず、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面(前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1)と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間の距離Rを電極間隙間調整装置20により300μmとし、第1ガス供給装置16aより10sccmのHeと、0.5sccmのCF₄を前記第1ガス流路9に第1ガス(放電用ガス)の一例として供給し、第1ガス噴出面の第1ガス噴出口12aから第1ガスを噴射させつつ、且つ、第2ガス供給装置16bより30sccmのO₂を前記第11ガス流路10に第2ガス(放電抑制用ガス)の一例として供給し、第2ガス噴出口12aから、凸部の周囲を通して第1ガス噴出面1a-1と被処理物15の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源17より12Wの高周波電力をプラズマ源100に供給して、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面(前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1)と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間にプラズマを発生させ、被処理物15として用いたSi基板の被加工部に対して700s間のプラズマ処理を施して、被加工部にエッチング溝部15aを形成した。またこのとき同時に、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100を60μm/minの速度で、図9Aのy方向へ前記電極間隙間調整装置20により移動させた。この第2実施形態におけるSi基板の被処理物15の被加工部のエッチング形状の一例をまとめたものを図10に示す。

30

40

【0152】

図10より、一例として、被加工部であるエッチング溝部15aのエッチング深さY=688μm、エッチング溝部15aの上端部の線幅X₁=1120μm、エッチング溝部15aの底部の線幅X₂=890μmであるため、エッチング溝部15aの形状の垂直性を表す角度は74.4°であった。これより、数百μmオーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部15aのエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチ

50

ングが停止することなく、プラズマ処理することができた。

【0153】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は、第1実施形態の3つの理由と同じである。

【0154】

以上、前記第2実施形態によれば、前記第1実施形態と同様な作用効果を奏することができる。

【0155】

(第3実施形態)

以下、本発明の第3実施形態について、図7A及び図10を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の構成は基本的に図1～図6と同等であるため、ここでは第1実施形態で用いたプラズマ処理装置との相違点についてのみ述べる。

【0156】

第1実施形態との相違点は、第2ガスを使用しない点である。

【0157】

プラズマ処理は、図7Aのプラズマ処理装置を用いて、まず、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面(前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1)と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間の距離Rを300 μ mとし、第1ガス供給装置16aより9sccmのHeと0.4sccmのCF₄とを前記第1ガス流路9に第1ガスの一例として供給し、第1ガス噴出面の第1ガス噴出口12aから第1ガスを噴射させつつ、高周波電源17より12Wの高周波電力をプラズマ源100に供給して、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面(前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1)と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間にプラズマを発生させ、被処理物15として用いたSi基板の被加工部に対して700s間のプラズマ処理を施して、被加工部にエッチング溝部15aを形成した。またこのとき同時に、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100を60 μ m/minの速度で、図7Aのy方向へ前記電極間隙間調整装置20により移動させた。この第3実施形態におけるSi基板の被処理物15の被加工部のエッチング形状の一例をまとめたものを図10に示す。

【0158】

図10より、一例として、被加工部であるエッチング溝部15aのエッチング深さY=653 μ m、エッチング溝部15aの上端部の線幅X₁=1370 μ m、エッチング溝部15aの底部の線幅X₂=870 μ mであるため、エッチング溝部15aの形状の垂直性を表す角度は57.5°であった。これより、数百 μ mオーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部15aのエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチングが停止することなく、プラズマ処理することができた。

【0159】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は、第1実施形態の1つ目と2つ目の理由と同じである。

【0160】

以上、前記第3実施形態によれば、前記第1実施形態と同様に、微細加工部内に挿入可能な程度に微小な大きさの凸部をプラズマ源100に備えて、エッチングの進行に伴って被処理物15の微細加工部の底部の位置が変わっても、電極間隙間調整装置20により前記凸部を微細加工部内に挿入するように構成することにより、プラズマ源100と被処理物15の底部のなす距離をほぼ一定に保つことが可能となり、所望の微細加工部において、深さ方向のエッチングが停止しにくいプラズマ処理装置及び方法を実現することができる。よって、数百nm～数百 μ mオーダーの深さの所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することができる。

【0161】

また、第1ガス噴出口12aの各開口断面積を、その断面積と平行となる第1バッファ層13a-aの空間断面積よりも小さくしたので、第1ガス噴出口12aを有する第1ガス噴出面1a-1内でのガス噴出をより均一にすることが可能となり、第1ガス噴出面1a-1内で均一なプラズマを発生させることが可能となる。この結果、被処理物15の底部で不必要にテーパ形状を形成することなくプラズマ処理することができるため、数百nm~数百μmオーダーの深さの所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することができる。また、第2ガスを使用しないため、プラズマ源の作成時の工程数(第2ガス用の通路などを作成する工程数)が減り、作成にかかるコスト及び納期を短縮することができる。

10

【0162】

(第4実施形態)

以下、本発明の第4実施形態について、図7A、図10及び図11を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の構成は基本的に図1~図6と同等であるため、ここでは第1実施形態で用いたプラズマ処理装置との相違点についてのみ述べる。

【0163】

第1実施形態との相違点は、第1積層部材1の形状を変更した点である。すなわち、正方形であった第1積層部材1の平面形状を長方形に変更したものである。

【0164】

図11は、第1実施形態の図1のプラズマ源100の拡大平面図に相当する図を示しており、この図11のAA-AA平面における断面図は図3に示したものとほぼ同じである。ただし、一例として、第1積層部材1の長方形平面の幅Tを400μm、幅Uを800μmとしている。

20

【0165】

プラズマ処理は、図7Aのプラズマ処理装置を用いて、まず、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面(前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1)と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間の距離Rを電極間隙間調整装置20により300μmに調整し、第1ガス供給装置16aより10sccmのHeと0.5sccmのCF₄とを前記第1ガス流路9に第1ガスの一例として供給し、第1ガス噴出面の第1ガス噴出口12aから第1ガスを噴射させつつ、且つ、第2ガス供給装置16bより30sccmのO₂を前記第1ガス流路10に第2ガスの一例として供給し、第2ガス噴出口12aから、凸部の周囲を通して第1ガス噴出面と被処理物15の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源17より12Wの高周波電力をプラズマ源100に供給して、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面(前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1)と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間にプラズマを発生させ、被処理物15として用いたSi基板の被加工部に対して700s間のプラズマ処理を施して、エッチング溝部15aを形成した。

30

【0166】

またこのとき同時に、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100を60μm/minの速度で、図7Aのy方向へ前記電極間隙間調整装置20により移動させた。この第4実施形態におけるSi基板のエッチング形状をまとめたものを図10に示す。なお、エッチング形状は、図11のBB-BB平面に平行な面の断面図から算出した。

40

【0167】

図10より、一例として、被加工部であるエッチング溝部15aのエッチング深さY=655μm、エッチング溝部15aの上端部の線幅X₁=652μm、エッチング溝部15aの底部の線幅X₂=502μmであるため、エッチング溝部15aの形状の垂直性を表す角度は79.2°であった。これより、数百μmオーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部15aのエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチングが停止することなく、プラズマ処理することができた。

50

【 0 1 6 8 】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は、第 1 実施形態の 3 つの理由と同じである。

【 0 1 6 9 】

以上、前記第 4 実施形態によれば、正方形であった第 1 積層部材 1 の平面形状を長方形に変更することにより、例えば、線状のエッチング溝部を形成する際、形成に要する時間を短縮することができ、生産性を向上させることができる。これは、正方形から長方形へのサイズ拡大により、エッチング範囲を拡大することができるため、及び、一般に走査速度を大きくするとエッチング速度が低下するため、静止状態が最もエッチングレートが大きいことから、サイズ拡大により走査速度を向上させることができるためである。

10

【 0 1 7 0 】

(第 5 実施形態)

以下、本発明の第 5 実施形態について、図 7 A、図 1 0 及び図 1 2 を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の構成は基本的に図 1 ~ 図 6 と同等であるため、ここでは第 1 実施形態で用いたプラズマ処理装置との相違点についてのみ述べる。

【 0 1 7 1 】

第 1 実施形態との相違点は、第 1 積層部材 1 言い換えれば凸部の形状を角柱体から円柱体に変更した点である。このように凸部の形状を円柱形状に変更することにより、角柱形状と比較して、角部が少ないため局所的に電界の集中を緩和でき、アーク放電への移行を抑制できるという利点がある。

20

【 0 1 7 2 】

図 1 2 は、第 1 実施形態の図 1 のプラズマ処理装置のプラズマ源の平面図に相当する第 3 実施形態のプラズマ源の平面図を示しており、この図 1 2 の A A - A A 平面における断面図は図 3 に示したものと同一である。ただし、一例として、凸部の直径 V が $800\text{ }\mu\text{m}$ の円形状をなしている。

【 0 1 7 3 】

プラズマ処理は、図 7 A のプラズマ処理装置を用いて、まず、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 の先端面 (前記第 1 ガス噴出口 1 2 a の開口部を有する前記第 1 ガス噴出面 1 a - 1) と被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部との間の隙間の距離 R を電極間隙調整装置 2 0 により $300\text{ }\mu\text{m}$ に調整し、第 1 ガス供給装置 1 6 a より 10 sccm の H e と 0.5 sccm の C F₄ を前記第 1 ガス流路 9 に第 1 ガスの一例として供給し、第 1 ガス噴出面の第 1 ガス噴出口 1 2 a から第 1 ガスを噴射させつつ、且つ、第 2 ガス供給装置 1 6 b より 30 sccm の O₂ を前記第 1 ガス流路 1 0 に第 2 ガスの一例として供給し、第 2 ガス噴出口 1 2 a から、凸部の周囲を通して第 1 ガス噴出面と被処理物 1 5 の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源 1 7 より 12 W の高周波電力をプラズマ源 1 0 0 に供給して、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 の先端面 (前記第 1 ガス噴出口 1 2 a の開口部を有する前記第 1 ガス噴出面 1 a - 1) と被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部との間の隙間にプラズマ 1 0 1 を発生させ、被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部に対して 700 s 間のプラズマ処理を施して、被加工部にエッチング溝部 1 5 a を形成した。またこのとき同時に、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 を $60\text{ }\mu\text{m/min}$ の速度で、図 7 A の y 方向へ前記電極間隙調整装置 2 0 により移動させた。この第 5 実施形態における S i 基板の被処理物 1 5 のエッチング形状の一例をまとめたものを図 1 0 に示す。

30

40

【 0 1 7 4 】

図 1 0 より、一例として、被加工部であるエッチング溝部 1 5 a のエッチング深さ $Y = 662\text{ }\mu\text{m}$ 、エッチング溝部 1 5 a の上端部の線幅 $X_1 = 999\text{ }\mu\text{m}$ 、エッチング溝部 1 5 a の底部の線幅 $X_2 = 859\text{ }\mu\text{m}$ であるため、エッチング溝部 1 5 a の形状の垂直性を表す角度 θ は 80.0° であった。これより、数百 μm オーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部 1 5 a のエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチングが停止することなく、プラズマ処理することができた。

50

【 0 1 7 5 】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は、第 1 実施形態の 3 つの理由と同じである。

【 0 1 7 6 】

以上、前記第 5 実施形態によれば、前記第 1 実施形態の作用効果に加えて、第 1 積層部材 1 言い換えれば凸部の形状を円柱体により構成しているので、角柱形状の凸部と比較して、角部が少ないため局所的に電界の集中を緩和でき、アーク放電への移行を抑制することができる。また、エッチング溝部の面内均一性を良好にしやすい。

【 0 1 7 7 】

(第 6 実施形態)

以下、本発明の第 6 実施形態について、図 1 0 及び図 1 3 A を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の構成は基本的に図 1 ~ 図 6 と同等であるため、ここでは第 1 実施形態で用いたプラズマ処理装置との相違点についてのみ述べる。

【 0 1 7 8 】

第 1 実施形態との相違点は、被処理物 1 5 の裏面に対向電極 2 2 を設置し、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 の導線 6 を接地電位とし、高周波電源 1 7 は対向電極 2 2 と接続した点である。このように、対向電極 2 2 に高周波を印加することによって、高周波電源 1 7 から対向電極 2 2 までの接続が容易になるという利点がある。また、高周波電力を印加させつつプラズマ源 1 0 0 を移動する場合、高周波電源 1 7 をプラズマ源 1 0 0 と接続していると、電源ケーブルが外れたり、折れ曲がったり、あるいは他のケーブルと絡むなどして、ケーブルが短絡するか、あるいは発熱するなどの危険が生じる。しかしながら、高周波電源 1 7 を対向電極 2 2 と接続していると、基板電極は例えば面積を大きくするなどして、対向電極を常時固定しておくことができるため、上述した危険性を回避できるといった利点がある。

【 0 1 7 9 】

図 1 3 A は、前記プラズマ処理装置を用い、被処理物 1 5 として用いた S i 基板を処理した際の模式図を示す。この図 1 3 A のように、例えば、第 1 ガス供給装置 1 6 a より第 1 ガス配管 4 a を介して、不活性ガスとしての H e と、反応性ガスとしての C F₄ を 0 . 5 s c c m 供給し、第 1 ガス噴出面の第 1 ガス噴出口 1 2 a から第 1 ガスを噴射させつつ、且つ、第 2 ガス供給装置 1 6 b より第 2 ガス配管 4 b を介して、放電抑制ガスとしての O₂ を供給し、第 2 ガス噴出口 1 2 a から、凸部の周囲を回って第 1 ガス噴出面 1 a - 1 と被処理物 1 5 の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源 1 7 より高周波電力を供給することで、プラズマ処理装置と被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部との間の隙間にプラズマを発生させることが可能である。なおこの時、プラズマ源を冷却するために、恒温水循環装置 1 8 より給水管 5 a 及び排水管 5 b を通って、冷却水を給排水できる。また、図 1 3 B の拡大図で示したように、第 1 積層部材 1 の第 1 ガス噴出口 1 2 a の開口部を有する第 1 ガス噴出面 1 a - 1、つまり被処理物 1 5 と対向する面には、一例として、厚さ 5 μ m 程度の S i O_x からなる絶縁層 6 0 を設けている。ここで、絶縁層 6 0 を設ける理由としては、以下の通りである。大気圧プラズマは、減圧下で生成するプラズマと比較して、放電開始電圧が高く、アーク放電に移行しやすいという特徴がある。一般的にアーク放電への移行を抑制するために、プラズマに晒される電極表面に絶縁層を設ける場合が多く、この実施形態では、凸部のガス噴出口を有する第 1 ガス噴出面 1 a - 1 に絶縁層 6 0 の一例として S i O₂ 膜を設けている。ただし、反応ガスとして使用するガスに対する耐性 (エッチング耐性)、下地との密着性及び成膜しやすさの点から、電極表面に金属膜を設ける場合もある。第 2 実施形態では、フッ素元素に対する耐性、S i との密着性及び成膜しやすさの点を考慮して、凸部のガス噴出口を有する第 1 ガス噴出面 1 a - 1 に導体層 6 0 の一例として N i 膜を設けている。

【 0 1 8 0 】

このようなプラズマ処理装置を用いて、一例として、まず、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 の先端面 (前記第 1 ガス噴出口 1 2 a の開口部を有する前記第 1 ガス噴出面 1

10

20

30

40

50

a - 1) と被処理物 15 として用いた Si 基板の被加工部との間の隙間の距離 R を電極間隙間調整装置 20 により 300 μm に調整し、第 1 ガス供給装置 16 a より 10 sccm の He と 0.5 sccm の CF_4 を前記第 1 ガス流路 9 に第 1 ガスの一例として供給し、第 1 ガス噴出面の第 1 ガス噴出口 12 a から第 1 ガスを噴射させつつ、且つ、第 2 ガス供給装置 16 b より 30 sccm の O_2 を前記第 1 ガス流路 10 に第 2 ガスの一例として供給し、第 2 ガス噴出口 12 a から、凸部の周囲を通して第 1 ガス噴出面 1 a - 1 と被処理物 15 の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源 17 より 12 W の高周波電力をプラズマ源 100 に供給して、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の先端面 (前記第 1 ガス噴出口 12 a の開口部を有する前記第 1 ガス噴出面 1 a - 1) と被処理物 15 として用いた Si 基板の被加工部との間の隙間にプラズマを発生させ、被処理物 15 として用いた Si 基板の被加工部に対して 700 s 間のプラズマ処理を施して、エッチング溝部 15 a を形成した。またこのとき同時に、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 を 60 $\mu\text{m}/\text{min}$ の速度で、図 7 A の y 方向へ前記電極間隙間調整装置 20 により移動させた。この第 6 実施形態における Si 基板の被処理物 15 のエッチング形状の一例をまとめたものを図 10 に示す。

10

【0181】

図 10 より、一例として、被加工部であるエッチング溝部 15 a のエッチング深さ $Y = 620 \mu\text{m}$ 、エッチング溝部 15 a の上端部の線幅 $X_1 = 1050 \mu\text{m}$ 、エッチング溝部 15 a の底部の線幅 $X_2 = 762 \mu\text{m}$ であるため、エッチング溝部 15 a の形状の垂直性を表す角度は 68.8° であった。これより、数百 μm オーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部 15 a のエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチングが停止することなく、プラズマ処理することができた。

20

【0182】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は以下の 3 つであると考えられる。

【0183】

1 つ目は、エッチングの進行に伴って被処理物 15 とプラズマ処理装置のプラズマ源 100 とのなす距離 R をある程度一定に保つことができたからである。被処理物 15 とプラズマ処理装置のプラズマ源 100 とのなす距離 R が大きくなると、放電開始電圧が高くなり、パッシェンの法則で説明されるように、プラズマの生成維持が困難になり、エッチングレートの停止を招く。

30

【0184】

2 つ目は、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の被処理物 15 と対向する面が凸形状をなしているからである。これにより、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の凸部の先端部分と被処理物 15 との間にのみプラズマを発生させることができ、被処理物 15 のエッチング溝部 15 a の側壁を必要以上にエッチングすることを回避できる。

【0185】

3 つ目に、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の凸部の側面に沿って第 2 ガスを供給したからである。これにより、被処理物 15 のエッチング溝部 15 a の側壁でのプラズマの発生を回避でき、またエッチング溝部 15 a の側壁でプラズマが発生しても O_2 ガスの存在により、エッチングにより前記側壁の Si が除去される速度よりも Si を酸化する速度の方を大きくすることができる。

40

【0186】

以上、前記第 6 実施形態によれば、前記第 1 実施形態の作用効果に加えて、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 の導線 6 を接地電位とし、高周波電源 17 は対向電極 22 と接続して対向電極 22 に高周波を印加することによって、高周波電源 17 から対向電極 22 までの接続が容易になるという利点がある。また、高周波電源 17 をプラズマ源 100 と接続して対向電極 22 を常時固定しておくことができるため、高周波電力を印加させつつプラズマ源 100 を移動する場合でも、電源ケーブルが外れたり、折れ曲がったり、あるいは他のケーブルと絡むなどして、ケーブルが短絡するか、あるいは発熱するなどの危険

50

性を確実に回避することができる。

【0187】

(第7実施形態)

以下、本発明の第7実施形態について、図7A、図10及び図14を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の構成は基本的に図1～図6と同等であるため、ここでは第1実施形態で用いたプラズマ処理装置との相違点についてのみ述べる。

【0188】

第1実施形態との相違点は、プラズマ処理しつつプラズマ処理装置のプラズマ源100をy方向へ移動するのではなく(言い換えれば、プラズマ処理の実施とプラズマ処理装置のプラズマ源100のy方向への移動を同時的に行うのではなく)、プラズマ処理の実施とプラズマ処理装置のプラズマ源100のy方向への移動を交互に行うようにした点である。このプロセスを図14に示す。

【0189】

図14は、一例として、ステップS1で被処理物15に対してプラズマ処理を100s間施し、高周波電力の供給を一旦停止して、ステップS2でプラズマ処理装置のプラズマ源100を被処理物15に向かって100 μ m、電極間隙間調整装置20により移動させるというプロセスを1ターンとして、複数ターンのプロセスを繰り返すことを示している。

【0190】

プラズマ処理は、図7Aのプラズマ処理装置を用いて、まず、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面(前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1)と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間の距離Rを300 μ mとし、第1ガス供給装置16aより10sccmのHeと0.5sccmのCF₄を前記第1ガス流路9に第1ガスの一例として供給し、第1ガス噴出面の第1ガス噴出口12aから第1ガスを噴射させつつ、且つ、第2ガス供給装置16bより30sccmのO₂を前記第1ガス流路10に第2ガスの一例として供給し、第2ガス噴出口12aから、凸部の周囲を通して第1ガス噴出面1a-1と被処理物15の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源17より12Wの高周波電力をプラズマ源100に供給して、プラズマ処理装置のプラズマ源100の先端面(前記第1ガス噴出口12aの開口部を有する前記第1ガス噴出面1a-1)と被処理物15として用いたSi基板の被加工部との間の隙間にプラズマを発生させ、被処理物15として用いたSi基板の被加工部に対して100s間のプラズマ処理を施して、エッチング溝部15aを形成した。その後、一例として、高周波電源17からプラズマ処理装置への電力の供給を一旦停止し、プラズマ処理装置のプラズマ源100を図7Aのy方向へ100 μ m、電極間隙間調整装置20により移動させた。これを1ターンとして、同様のプロセスを合計で6ターン繰り返し、最後に7度目のプラズマ処理を100s間、Si基板の被加工部に施して、エッチング溝部15aを形成した。この第7実施形態におけるSi基板の被加工部のエッチング形状をまとめたものを図10に示す。

【0191】

図10より、一例として、被加工部であるエッチング溝部15aのエッチング深さY=603 μ m、エッチング溝部15aの上端部の線幅X1=930 μ m、エッチング溝部15aの底部の線幅X2=840 μ mであるため、エッチング溝部15aの形状の垂直性を表す角度は82.9°であった。これより、数百 μ mオーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部15aのエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチングが停止することなく、プラズマ処理することができた。

【0192】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は、第1実施形態の3つの理由と同じである。

【0193】

以上、前記第7実施形態によれば、プラズマ処理の実施とプラズマ処理装置のプラズマ

10

20

30

40

50

源 1 0 0 の y 方向への移動を交互に行うようにしたので、エッチング反応によりプラズマ源の先端面と被処理物 1 5 の被加工部の間の空間に滞りやすい副生成ガスの排出が十分になり、ガス雰囲気が一様に保たれやすく、アーク放電が発生し難いといった利点がある。

【 0 1 9 4 】

(第 8 実施形態)

以下、本発明の第 8 実施形態について、図 1 0 及び図 1 5 を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の構成は基本的に図 1 ~ 図 6 と同等であるため、ここでは第 1 実施形態で用いたプラズマ処理装置との相違点についてのみ述べる。

【 0 1 9 5 】

第 1 実施形態との相違点は、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 を電極間隙間調整装置 2 0 により y 方向に移動させるだけでなく、y 方向と直交する x 方向にもプラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 を移動機構 2 3 により移動させつつ、プラズマ処理を実施した点である。

【 0 1 9 6 】

この移動機構 2 3 は、例えば、制御装置 1 1 0 の制御の下に図 7 D ~ 図 7 F の上側 x - z ステージ 1 2 1 により構成することができる。

【 0 1 9 7 】

図 1 5 は、第 8 実施形態を示した模式図である。なお、プラズマ処理装置は第 4 実施形態と同じものをを用いた。まず、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 の先端面 (前記第 1 ガス噴出口 1 2 a の開口部を有する前記第 1 ガス噴出面 1 a - 1) と被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部との間の隙間の距離 R を電極間隙間調整装置 2 0 により $300\text{ }\mu\text{m}$ に調整し、第 1 ガス供給装置 1 6 a より 10 sccm の He と 0.5 sccm の CF_4 とを前記第 1 ガス流路 9 に第 1 ガスの一例として供給し、第 1 ガス噴出面の第 1 ガス噴出口 1 2 a から第 1 ガスを噴射させつつ、且つ、第 2 ガス供給装置 1 6 b より 30 sccm の O_2 を前記第 1 ガス流路 1 0 に第 2 ガスの一例として供給し、第 2 ガス噴出口 1 2 a から、凸部の周囲を通して第 1 ガス噴出面 1 a - 1 と被処理物 1 5 の被加工部との隙間の空間の周囲に向けて噴出させつつ、高周波電源 1 7 より 12 W の高周波電力をプラズマ源 1 0 0 に供給して、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 の先端面 (前記第 1 ガス噴出口 1 2 a の開口部を有する前記第 1 ガス噴出面 1 a - 1) と被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部との間の隙間にプラズマを発生させ、且つプラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 を図 1 5 の x 方向に $480\text{ }\mu\text{m}/\text{min}$ の速度で上側 x - z ステージ 1 2 1 により走査しつつ、被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部に対して、 600 s の間、プラズマ処理を施して、エッチング溝部 1 5 a を形成した。その後、一例として、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 への高周波電源 1 7 からの電力の供給を一旦停止し、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 を図 1 5 の y 方向へ $100\text{ }\mu\text{m}$ 、電極間隙間調整装置 2 0 により移動させた。

【 0 1 9 8 】

その後、再度、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 へ高周波電源 1 7 から電力を供給し、プラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 と被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部との間の隙間にプラズマを発生させ、且つ移動機構 2 3 を用いてプラズマ処理装置のプラズマ源 1 0 0 を図 1 5 の - x 方向に $480\text{ }\mu\text{m}/\text{min}$ の速度で上側 x - z ステージ 1 2 1 により走査しつつ、被処理物 1 5 として用いた S i 基板の被加工部に対して 600 s 間のプラズマ処理を施して、エッチング溝部 1 5 a を形成した。これを 1 ターンとして、同様のプロセスを合計で 9 ターン繰り返した。この第 8 実施形態における S i 基板のエッチング形状をまとめたものを図 1 0 に示す。

【 0 1 9 9 】

図 1 0 より、一例として、被加工部であるエッチング溝部 1 5 a のエッチング深さ Y = $760\text{ }\mu\text{m}$ 、エッチング溝部 1 5 a の上端部の線幅 X 1 = $952\text{ }\mu\text{m}$ 、エッチング溝部 1 5 a の底部の線幅 X 2 = $902\text{ }\mu\text{m}$ であるため、エッチング溝部 1 5 a の形状の垂直性を表す角度 θ は 86.9° であった。なお、被処理物 1 5 として用いた S i 基板の厚さは 7

10

20

30

40

50

60 μm である。これより、数百 μm オーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部 15 a のエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチングが停止することなく、プラズマ処理することができた。

【0200】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は、第1実施形態の3つの理由と同じである。

【0201】

前記第8実施形態によれば、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 を電極間隙間調整装置 20 により y 方向に移動させるだけでなく、y 方向と直交する x 方向にもプラズマ処理装置のプラズマ源 100 を移動機構 23 により移動させつつ、プラズマ処理を実施するようにしているので、線状にエッチング溝部 15 a を形成するのみならず、エッチング溝部 15 a よりも幅広く、面状にエッチングして凹部を形成することができる。また、x 方向に沿ってエッチング溝部の深さを変えることにより、y 方向にテーパ部を有する形状をエッチング溝部の別の例として形成することも可能となる。

【0202】

(第9実施形態)

以下、本発明の第9実施形態について、図22を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の構成は基本的に図1～図6と同等であるため、ここでは第1実施形態で用いたプラズマ処理装置との相違点についてのみ述べる。

【0203】

第1実施形態との相違点は、図22に示したように第2積層部材 2 に設けたガス噴出口 12 a の形成面を、y 軸に対する角度 $= 30^\circ$ 傾けた点である。また、加工の進行に伴って、制御装置 110 の制御により、第1ガス供給装置 16 a と第2ガス供給装置 16 b の供給動作を制御して、第1ガスに対する第2ガスの流量を変化させている点である。

【0204】

このようなプラズマ処理装置を用いて、まず、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 と被処理物 15 の一例として用いた Si 基板の被加工部との間の隙間の距離 R を前記電極間隙間調整装置 20 により 300 μm に調整し、第1ガス供給装置 16 a より 10 sccm の He と 0.5 sccm の CF_4 を前記第1ガス流路 9 に第1ガスの一例として供給し、第1ガス噴出面の第1ガス噴出口 12 a から第1ガスを噴射させつつ、且つ、第2ガス供給装置 16 b より 30 sccm の O_2 を前記第1ガス流路 10 に第2ガスの一例として供給し、第2ガス噴出口 12 a から、第1積層部材 1 の全周囲を通して第1ガス噴出面 1 a - 1 と被処理物 15 の被加工部との隙間の空間の周囲に到達する、大略四角筒状に噴出させつつ、高周波電源 17 より 12 W の高周波電力をプラズマ源 100 に供給して、第1ガスが供給された空間であってかつプラズマ処理装置のプラズマ源 100 の先端面（前記第1ガス噴出口 12 a の開口部を有する前記第1ガス噴出面 1 a - 1）と被処理物 15 として用いた Si 基板の被加工部との間の隙間である空間にプラズマを発生させ、被処理物 15 として用いた Si 基板の被加工部に対してプラズマ処理を施して、被加工部にエッチング溝部 15 a を形成することができた。

【0205】

さらに、制御装置 110 の制御の下に、プラズマ処理装置のプラズマ源 100 を 60 $\mu\text{m}/\text{min}$ の速度で、図22の y 方向へ電極間隙間調整装置 20 により移動させつつ、制御装置 110 の制御により第2ガス供給装置 16 b の供給動作を制御して、第2ガス噴出口 12 b より噴出する O_2 ガスの流量を一例として 2.3 / min の速度で減少させて 700 s 間のプラズマ処理を Si 基板の被加工部に対して施して、被加工部にエッチング溝部 15 a を形成した。これは、一例として、プラズマ処理開始時に供給する O_2 ガスを 30 sccm とし、700 s 後に供給する O_2 ガスの流量を約 3 sccm としている。

【0206】

以上の方法により、数百 μm オーダーの深さの微細加工において、エッチング溝部 15 a のエッチング形状の垂直性が向上し、且つ処理途中でエッチングが停止することなく、

10

20

30

40

50

プラズマ処理することができた。

【0207】

このように垂直性の向上及びエッチング停止の回避を実現できた理由は、第1実施形態の3つの理由と同じである。なお、第2積層部材2に設けたガス噴出口12aをy軸に対する角度が30°の場合についてのみ述べたが、角度は概ね0°以上65°以下が好ましい。0°より小さいと第2ガスを効率良く被加工部に供給することができなく、65°より大きいと、第2ガスが第1積層部材1の側面に衝突して乱流が発生し、第2ガスを効率良く被加工部に供給することができなくなるからである。

【0208】

以上、前記第9実施形態によれば、第2積層部材2に設けたガス噴出口12aの形成面を、y軸に対する角度 $\theta = 30^\circ$ 傾けるようにしたので、第2ガスが第1積層部材1の側面に衝突して乱流が発生することなく、第2ガスを効率良く被加工部に供給することができる。言い換えれば、y軸に対する角度が30°よりも大きくなると、プラズマ源の作成時の加工が困難なものとなり、逆に、y軸に対する角度が30°よりも小さくなると、乱流が発生しやすくなるため、y軸に対する角度が大略30°程度が好ましい。また、前記第9実施形態によれば、加工の進行に伴って、制御装置110の制御により、第1ガス供給装置16aと第2ガス供給装置16bの供給動作を制御して、第1ガスに対する第2ガスの流量を変化させるようにしたので、プラズマ源の先端面と被処理物15の被加工部との間の空間に第2ガスが混入し難くなり、プラズマ密度の低下を抑制することができ、エッチングレートを大きくすることができる。また、第2ガスを効率良く利用することができようになり、ランニングコストを抑制することができる。

【0209】

以上述べた本発明の前記種々の実施形態において、13.56MHzの高周波電力を用いてプラズマを発生させる場合を例示したが、数百kHzから数GHzまでの高周波電力を用いてプラズマを発生させることが可能である。あるいは、直流電力を用いてもよいし、パルス電力を供給することも可能である。パルス電力を用いる場合は、正負のパルスを交互に供給することによって、誘電体の帯電を解消して連続的に放電を発生させることが可能となる。また、パルスはアーク放電（火花）を防止させる効果が不要であるので、さほど高速なパルスである必要はなく、数十Hzから数百Hzであってもよいが、もちろん数kHzから数MHzという高速であれば、アーク放電（火花）をより効果的に防止することが可能となる。

【0210】

また、前記種々の実施形態では電力値によって投入電力を表記したが、放電の開始は概ね電圧で決まる。投入電圧100V以上100kV以下であることが望ましい。投入電圧が100V未満であると、放電が開始しない場合がある。投入電圧が100kVを超えると、アーク放電（火花）が発生する場合がある。より好ましくは、電圧が1kV以上10kV以下であることが望ましい。投入電圧が1kV未満であると、放電が開始しない場合がある。投入電圧が10kVを超えると、アーク放電（火花）が発生する場合がある。

【0211】

また、前記種々の実施形態において、x方向への移動もしくはy方向への移動は、プラズマ源100及びプラズマ処理装置によって実施する場合についてのみ表記したが、被処理物15を移動することで、プラズマ処理装置となす距離や相対位置を変更させてもよい。

【0212】

また、前記種々の実施形態において、内部にパターンを形成する層の材料としてSiを用いた場合についてのみ表記したが、 $10^{-1} \sim 1 \text{ cm}$ 以下の体積抵抗率である材料が望ましい。体積抵抗率が $10^{-1} \sim 1 \text{ cm}$ を超えると、所望の負荷以外の場所での電力損失が大きくなり、不必要な熱を発生させる、又は所望の負荷と整合がし難くなる場合がある。従って、半導体の一部もしくは金属材料であることが望ましい。

【0213】

また、第1ガス噴出口を有する面をコーティングする材料を変更する例、積層部材の形状を変更する例、電力を引火する電極を変更する例、プラズマの生成とプラズマ処理装置の移動を交互にする例など、前記種々の実施形態に示した幾つかの装置又は方法を組み合わせて用いることにより、より垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することが可能である。

【0214】

また、前記種々の実施形態において、第1ガス噴出口を有する第1ガス噴出面1a-1のコーティングに用いた材料として、 SiO_x 及び Ni を使用した例のみ表記したが、第1ガス噴出口から噴出する反応ガスに対するエッチング耐性が、内部にパターンを形成する層の材料より良好であることが好ましい。エッチング耐性の低い材料を用いた場合、被10
処理物に到達するプラズマ活性種の数が少なくなり、処理速度が低下してしまう、又はプラズマ源のメンテナンス周期が短くなる場合がある。従って、内部にパターンを形成する層の材料が Si の場合、 Ag 、 Al 、 Au 、 Co 、 Cr 、 Cu 、 Fe 、 Mg 、 Mo 、 Ni 、 Pt 、 Si 、 Ti 、 Ta 、 W の少なくとも1つを主成分とする金属材料、あるいは、これらの元素を含む酸化物、窒化物、若しくは、弗化物からなる絶縁材料を用いることで、本発明の前記種々の実施形態と同等の効果を得ることが可能である。

【0215】

また、前記種々の実施形態において、一例として、第1ガス噴出口及び第2ガス噴出口の開口長さが $30\mu\text{m}$ とした例のみ表記したが、開口長さは概ね 200nm 以上 $50\mu\text{m}$ 以下であるとよい。第1ガス噴出口及び第2ガス噴出口の開口長さは、開口長さが小さいほど面内のガス均一性が向上し、プラズマが均一になりやすい、又はアーク放電(火花)の発生を抑制しやすいなどの理由から小さいほどよい。一般的な機械加工では $50\mu\text{m}$ 20
程度の加工が限界であり、本発明の種々の実施形態のような複雑な構成を実現することが困難になる。また、開口長さが 200nm 未満であると、プラズマ源の製作に真空ドライエッチング技術やレーザー加工技術を用いてもプラズマ源作製時の加工が困難になり、また加工によるコストが増大する。従って、概ね 200nm 以上 $50\mu\text{m}$ 以下が望ましい。

【0216】

また、前記種々の実施形態において、一例として、第1ガス噴出口より噴出するガスを、不活性ガスである He と反応性ガスである CF_4 の例のみ表記したが、 He に限らず、 Ar 、 Kr 、 Ne 、若しくは Xe といった不活性ガスが80%以上含有されていること、30
また CF_4 に限らず、 SF_6 、若しくは C_4F_8 などの C_xF_y (x 及び y は自然数)、 NF_3 、 Cl_2 、若しくは HBr 等のハロゲン含有ガス、 N_2 、又は O_2 といった反応性ガスが含有されていることが望ましい。不活性ガスが80%以下であると、アーク放電(火花)が発生しやすく、被処理面が酸化するなどして所望のプラズマ処理が実施できない場合がある。また、被処理物に適した反応性ガスが含有されていないと、所望のプラズマ処理が実施できない場合がある。

【0217】

また、前記種々の実施形態において、第2ガス噴出口より噴出するガスを O_2 として、被処理面の側壁の酸化を目論んだ例のみについて表記したが、 O_2 に限らず、被処理物もしくは目論見の改質内容に応じてガスを選定することができる。例えば、窒化であれば N 40
 $_2$ や空気をを用いてもよい、あるいは弗化であれば、 SF_6 、若しくは CF_4 などの C_xF_y (x 及び y は自然数)、 NF_3 、又は、弗素含有ガスを用いてもよい。

【0218】

また、前記種々の実施形態において、エッチング処理の例についてのみ表記したが、エッチングに限らず様々なプラズマ処理に用いることができる。例えば、撥水、親水、酸化、還元、弗化、若しくは窒化等の表面処理及びドーピング、又は、 CVD 、若しくはスパッタリングなどの薄膜堆積に適用することも可能である。

【0219】

なお、前記様々な実施形態のうちの任意の実施形態を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏するようになすことができる。

10

20

30

40

50

【産業上の利用可能性】

【0220】

本発明のプラズマ処理装置によれば、数百nm～数百μmオーダーの深さの所望の微細加工部分において、垂直性の良好なエッチング形状が得られ、且つ深さ方向へのエッチングを停止させることなく、プラズマ処理することができる。従って、特にMEMS(Micro Electro Mechanical System)デバイス等のエッチングに利用できが、他にもプラズマを発生させて表面改質、薄膜堆積、エッチングなどを行うための構成要素として、広範囲に適用することができ、半導体や、液晶、FED(Field Emission Display)、PDPなどのディスプレイ、あるいは、電子部品、プリント基板の製造に利用できる。

【0221】

本発明は、添付図面を参照しながら好ましい実施形態に関連して十分に記載されているが、この技術の熟練した人々にとっては種々の変形や修正は明白である。そのような変形や修正は、添付した請求の範囲による本発明の範囲から外れない限りにおいて、その中に含まれると理解されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【0222】

本発明のこれらと他の目的と特徴は、添付された図面についての好ましい実施形態に関連した次の記述から明らかになる。

【図1】図1は、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置の外観構成図である。

【図2A】図2Aは、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置の拡大平面図である。

【図2B】図2Bは、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置のプラズマ源の拡大平面図である。

【図2C】図2Cは、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置のプラズマ源の先端面の拡大平面図である。

【図3】図3は、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置の外観構成図の断面図である。

【図4】図4は、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置における第1積層部材の断面図である。

【図5】図5は、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置における第2積層部材の断面図である。

【図6】図6は、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置における第3積層部材の断面図である。

【図7A】図7Aは、本発明の第1、3、4、5及び7実施形態で用いるプラズマ処理装置の概観図である。

【図7B】図7Bは、本発明の第1、3、4、5及び7実施形態で用いるプラズマ処理装置のプラズマ源の部分拡大断面図である。

【図7C】図7Cは、本発明の第1、3、4、5及び7実施形態で用いるプラズマ処理装置によりプラズマ源と被処理物の被加工部と間にプラズマを発生させた状態の断面図である。

【図7D】図7Dは、本発明の第1、3、4、5及び7実施形態で用いるプラズマ処理装置のプラズマ源と被処理物の被加工部と間にプラズマを発生させてエッチングを行っている状態の断面図である。

【図7E】図7Eは、本発明の第1実施形態などで用いるプラズマ処理装置の電極間隙間調整装置の具体的な例としての電極間隙間調整装置を示す説明図である。

【図7F】図7Fは、本発明の第1実施形態などで用いるプラズマ処理装置の電極間隙間調整装置の具体的な別の例としての電極間隙間調整装置を示す説明図である。

【図7G】図7Gは、本発明の第1実施形態などで用いるプラズマ処理装置の電極間隙間調整装置の具体的なさらに別の例としての電極間隙間調整装置を示す説明図である。

【図8】図8は、本発明の第1実施形態で用いたプラズマ処理装置により加工したエッチ

10

20

30

40

50

ング形状の模式図である。

【図 9 A】図 9 A は、本発明の第 2 実施形態で用いたプラズマ処理装置の概観図である。

【図 9 B】図 9 B は、本発明の第 2 実施形態で用いたプラズマ処理装置のプラズマ源の部分拡大断面図である。

【図 1 0】図 1 0 は、本発明の第 1 ～ 8 実施形態で用いたプラズマ処理装置により加工した被加工部であるエッチング溝部のエッチング形状の形状データを示した一覧表を示す図である。

【図 1 1】図 1 1 は、本発明の第 4 実施形態で用いたプラズマ処理装置の拡大平面図である。

【図 1 2】図 1 2 は、本発明の第 5 実施形態で用いたプラズマ処理装置のプラズマ源の拡大平面図である。

10

【図 1 3 A】図 1 3 A は、本発明の第 6 実施形態で用いたプラズマ処理装置の概観図である。

【図 1 3 B】図 1 3 B は、本発明の第 6 実施形態で用いたプラズマ処理装置のプラズマ源の部分拡大断面図である。

【図 1 4】図 1 4 は、本発明の第 7 実施形態で用いたプラズマ処理方法の概略図である。

【図 1 5】図 1 5 は、本発明の第 8 実施形態で用いたプラズマ処理装置の概観図である。

【図 1 6 A】図 1 6 A は、従来技術におけるレジストプロセスを用いたパターニング加工の模式図である。

【図 1 6 B】図 1 6 B は、従来技術におけるレジストプロセスを用いたパターニング加工の模式図である。

20

【図 1 6 C】図 1 6 C は、従来技術におけるレジストプロセスを用いたパターニング加工の模式図である。

【図 1 6 D】図 1 6 D は、従来技術におけるレジストプロセスを用いたパターニング加工の模式図である。

【図 1 7】図 1 7 は、従来技術におけるマイクロプラズマ源を搭載したプラズマ処理装置の分解図である。

【図 1 8】図 1 8 は、従来技術におけるマイクロプラズマ源を搭載したプラズマ処理装置の平面図である。

【図 1 9】図 1 9 は、従来技術におけるマイクロプラズマ源を搭載したプラズマ処理装置の断面図である。

30

【図 2 0】図 2 0 は、従来技術におけるプラズマ処理装置により加工したエッチング形状の模式図である。

【図 2 1】図 2 1 は、従来技術におけるプラズマ処理装置により加工した、エッチング時間に対するエッチング深さの依存性を示す図である。

【図 2 2】図 2 2 は、本発明の第 9 実施形態で用いたプラズマ処理装置における第 2 積層部材の拡大断面図である。

【符号の説明】

【 0 2 2 3 】

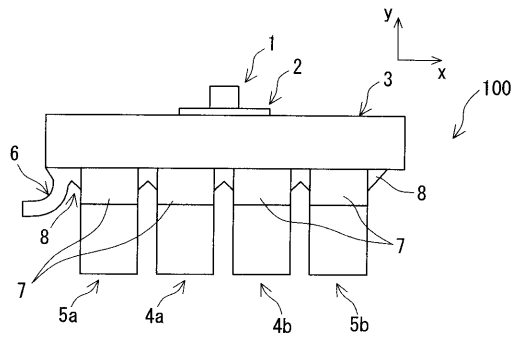
- | | |
|---------|-----------|
| 1 | 第 1 積層部材 |
| 1 a | 第 1 層 |
| 1 b | 第 2 層 |
| 1 c | 第 3 層 |
| 1 d | 第 4 層 |
| 1 a - 1 | 第 1 ガス噴出面 |
| 2 | 第 2 積層部材 |
| 3 | 第 3 積層部材 |
| 3 a | 層 |
| 3 b | 層 |
| 4 a | 第 1 ガス配管 |

40

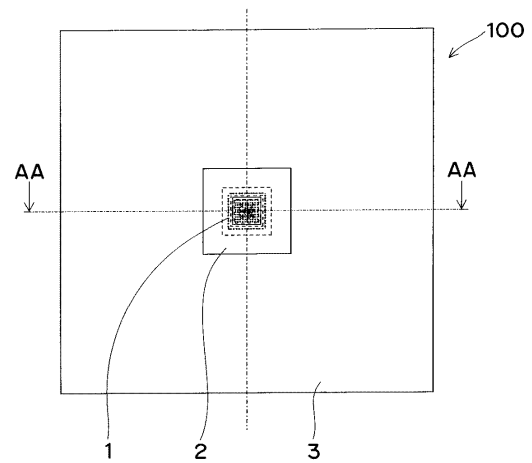
50

4 b	第 2 ガス配管	
5 a	給水管	
5 b	排水管	
6	導線	
7	絶縁管	
8	接着剤	
9	第 1 のガス流路	
9 a - a	第 2 ガス流路	
9 a - b	第 3 ガス流路	
9 b - a	第 4 ガス流路	10
9 b - b	第 5 ガス流路	
9 c - a	第 6 ガス流路	
9 c - b	第 7 ガス流路	
1 0	第 1 1 ガス流路	
1 0 b - a	第 1 2 ガス流路	
1 0 c - a	第 1 3 ガス流路	
1 1 a	水路	
1 1 b	水路	
1 2 a	第 1 ガス噴出口	
1 2 b	第 2 ガス噴出口	20
1 3 a - a	第 1 バッファ層	
1 3 a - b	第 2 バッファ層	
1 3 a - c	第 3 バッファ層	
1 3 b - a	第 4 バッファ層	
1 3 b - b	第 5 バッファ層	
1 5	被処理物	
1 6 a	第 1 ガス供給装置	
1 6 b	第 2 ガス供給装置	
1 7	高周波電源	
1 8	恒温水循環装置	30
2 0	電極間隙間調整装置	
2 0 A	電極間隙間調整装置	
2 0 B	電極間隙間調整装置	
2 0 C	電極間隙間調整装置	
1 0 0	プラズマ源	
1 1 0	制御装置	
1 2 0	電極間隙間調整機構	

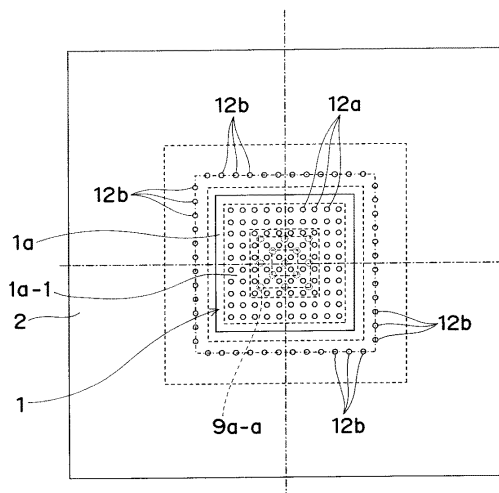
【図 1】



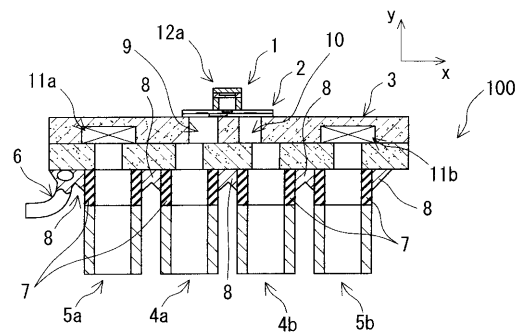
【図 2 A】



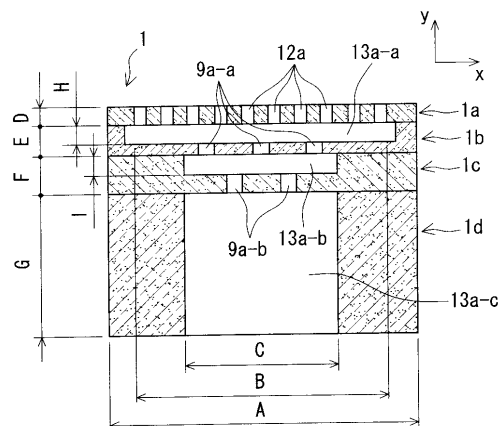
【図 2 B】



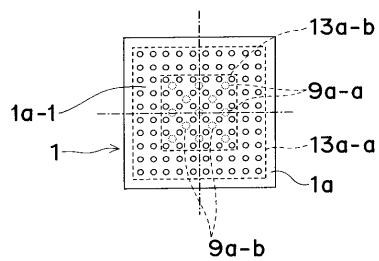
【図 3】



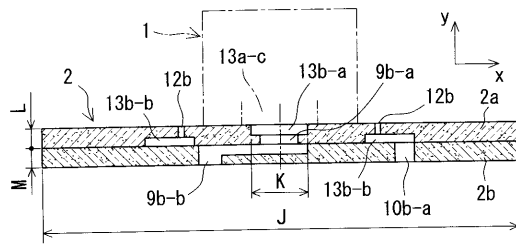
【図 4】



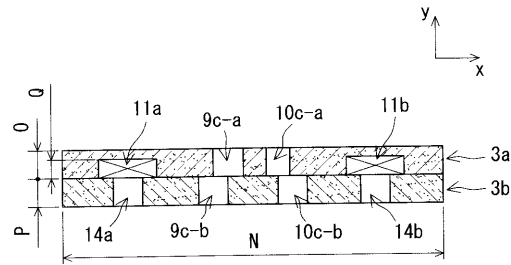
【図 2 C】



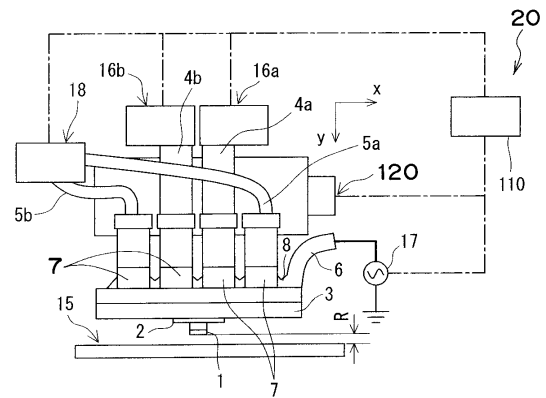
【図 5】



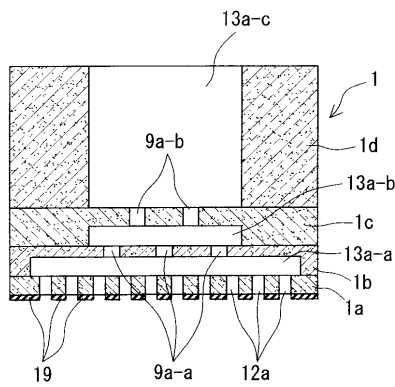
【図 6】



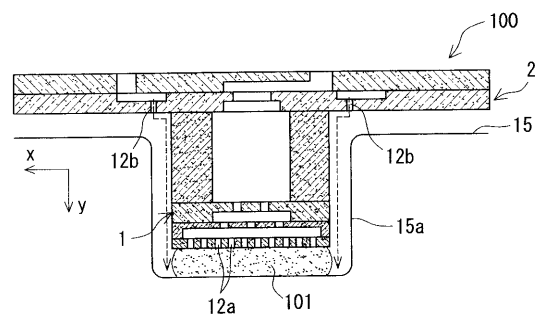
【図 7 A】



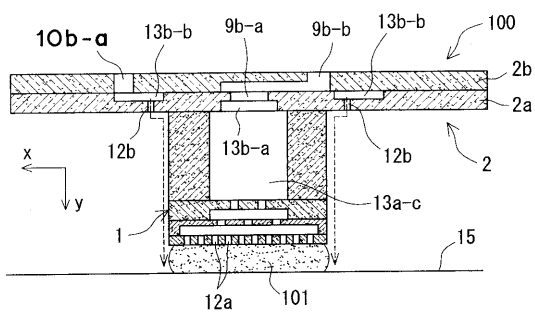
【図 7 B】



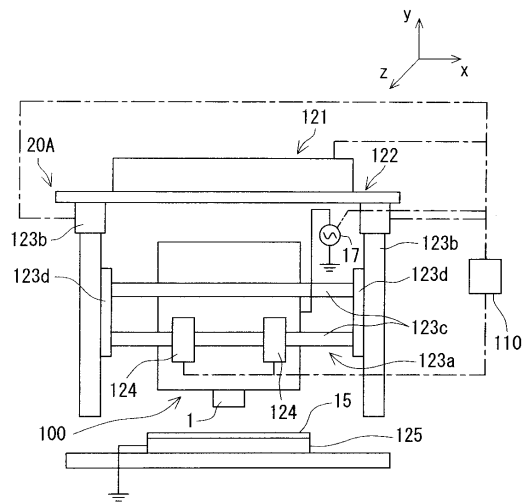
【図 7 D】



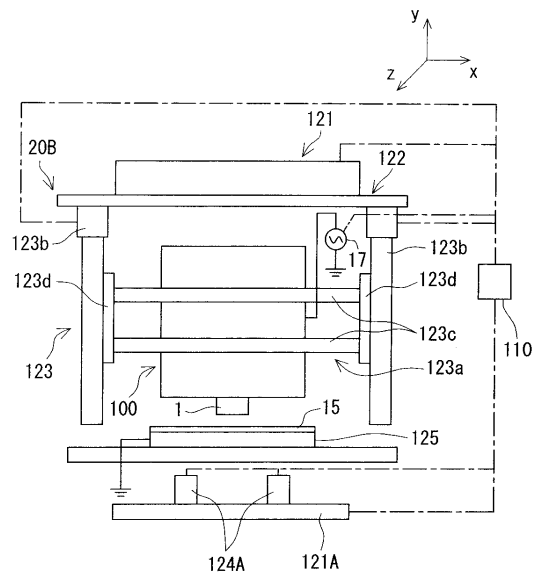
【図 7 C】



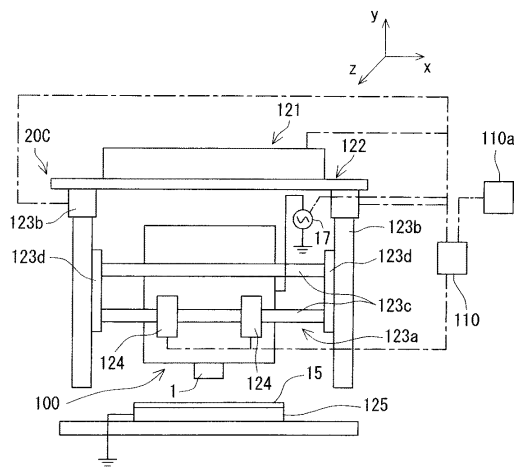
【図 7 E】



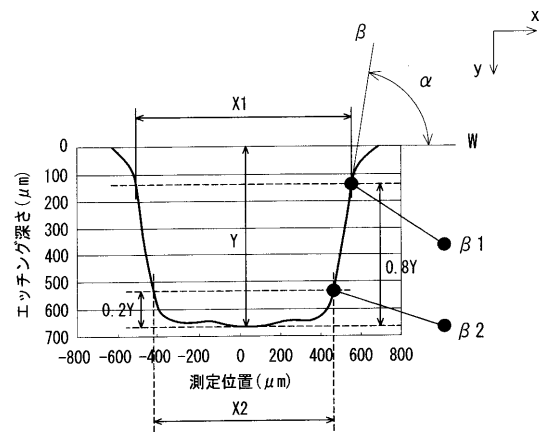
【図 7 F】



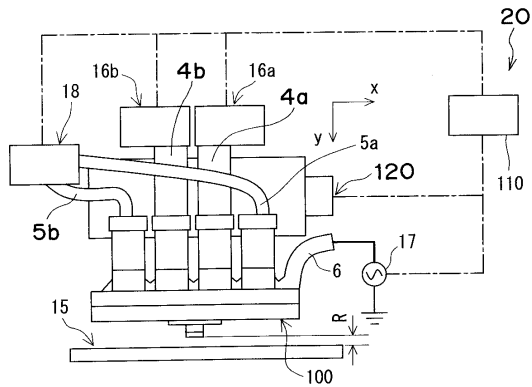
【図 7 G】



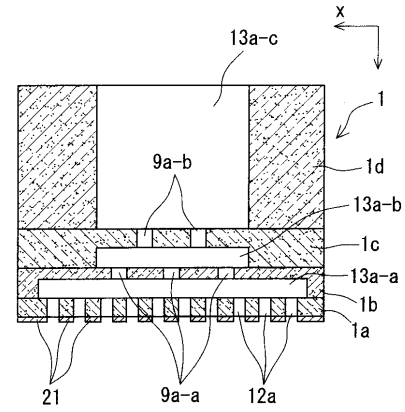
【図 8】



【図 9 A】



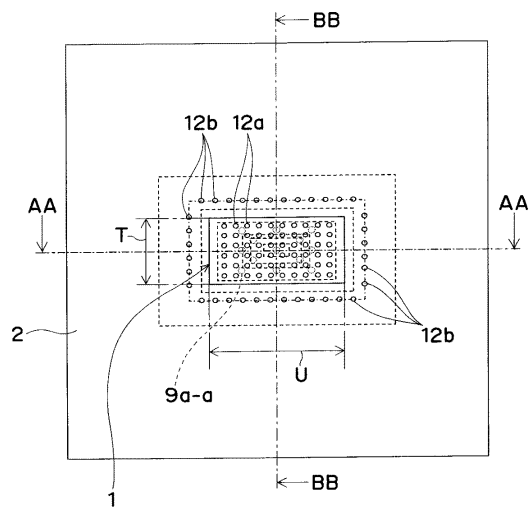
【図 9 B】



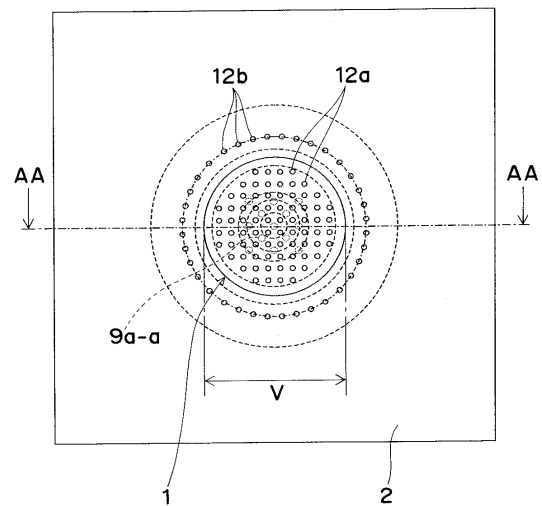
【図 10】

	エッチング深さY (μm)	エッチング溝部の 上部の線幅X1 (μm)	エッチング溝部の 底部の線幅X2 (μm)	角度 α (deg.)
第1実施形態	663	1075	868	75.4
第2実施形態	688	1120	890	74.4
第3実施形態	653	1370	870	57.5
第4実施形態	655	652	502	79.2
第5実施形態	662	999	859	80.0
第6実施形態	620	1050	762	68.8
第7実施形態	603	930	840	82.9
第8実施形態	760	952	902	86.9

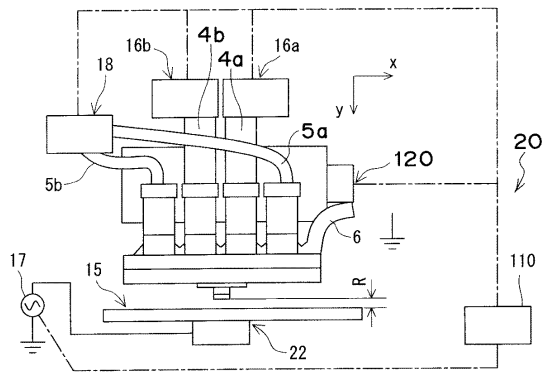
【図 11】



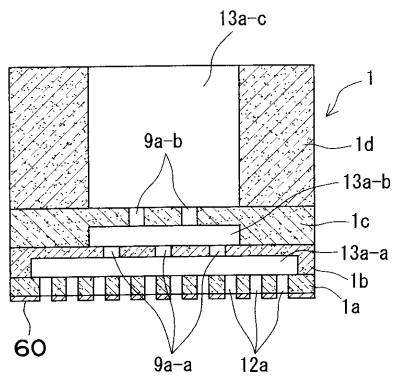
【図 12】



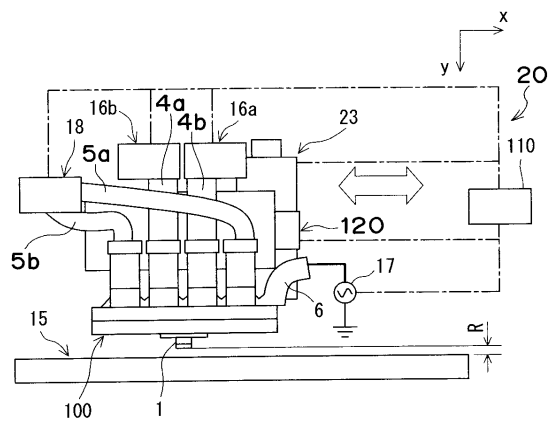
【図 13 A】



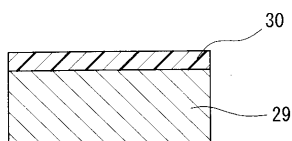
【図 13 B】



【図 15】



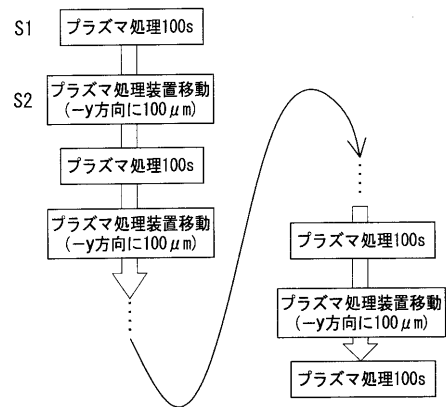
【図 16 A】



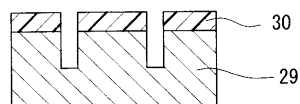
【図 16 B】



【図 14】



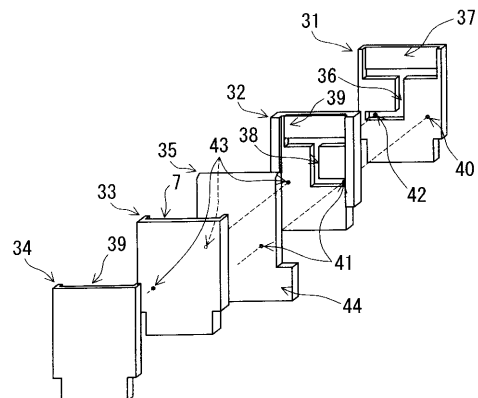
【図 16 C】



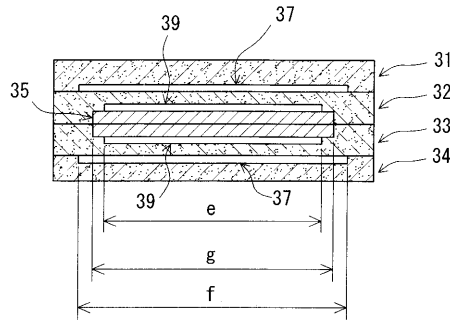
【図 16 D】



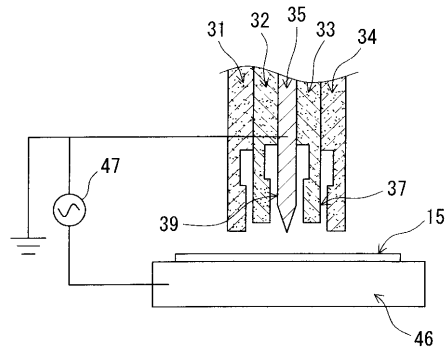
【図 17】



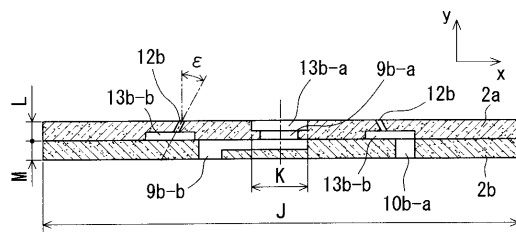
【図 18】



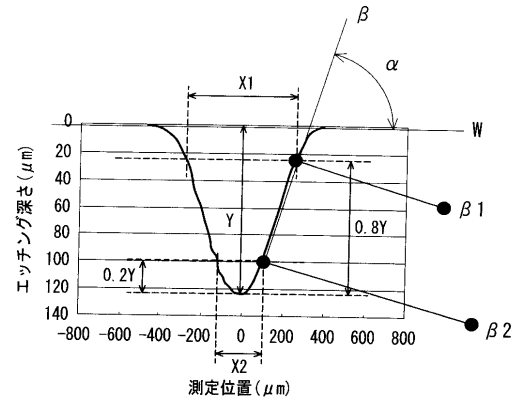
【図 19】



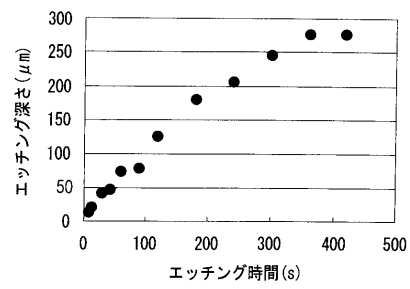
【図 22】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

審査官 関根 崇

- (56)参考文献 特開平05 - 057525 (JP, A)
特開2004 - 111949 (JP, A)
特開2004 - 259484 (JP, A)
特開平06 - 085059 (JP, A)
特開2003 - 051490 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065
H01L 21/205
H05H 1/46