

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4753276号
(P4753276)

(45) 発行日 平成23年8月24日 (2011. 8. 24)

(24) 登録日 平成23年6月3日 (2011. 6. 3)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006. 01)
C 2 3 F 4/00 (2006. 01)
HO 1 L 21/304 (2006. 01)
HO 5 H 1/46 (2006. 01)

HO 1 L 21/302 1 O 1 B
C 2 3 F 4/00 A
HO 1 L 21/304 6 4 5 C
HO 5 H 1/46 M

請求項の数 13 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2003-358432 (P2003-358432)
(22) 出願日 平成15年10月17日 (2003. 10. 17)
(65) 公開番号 特開2004-193567 (P2004-193567A)
(43) 公開日 平成16年7月8日 (2004. 7. 8)
審査請求日 平成18年10月16日 (2006. 10. 16)
(31) 優先権主張番号 特願2002-341949 (P2002-341949)
(32) 優先日 平成14年11月26日 (2002. 11. 26)
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

前置審査

(73) 特許権者 000219967
東京エレクトロン株式会社
東京都港区赤坂五丁目3番1号
(74) 代理人 100086564
弁理士 佐々木 聖孝
(72) 発明者 奥石 公
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放
送センター 東京エレクトロン株式会社内
(72) 発明者 廣瀬 潤
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放
送センター 東京エレクトロン株式会社内
(72) 発明者 小笠原 正宏
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放
送センター 東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定のプラズマ生成空間で処理ガスをプラズマ化し、前記プラズマ生成空間に配置した被処理体に所望の微細加工を施すプラズマ処理方法であって、

前記被処理体と対向する対向面に、前記プラズマの密度の空間分布を制御するための第1および第2の高周波放電領域と、前記プラズマ中のラジカル密度の空間分布を制御するための第1および第2の処理ガス噴出領域とを独立したレイアウトで設定し、

前記対向面側から前記被処理体に対して前記プラズマの密度の空間分布と前記プラズマ中のラジカルの密度の空間分布とを独立に制御して、前記被処理体の被処理面全体にわたって所望の処理状態を得る、

プラズマ処理方法。

【請求項 2】

前記被処理体の中心部を通る垂線を中心とする径方向において前記対向面を周辺側の領域と中心側の領域とに2分割して、前記周辺側領域および前記中心側領域をそれぞれ前記第1および第2の高周波放電領域とし、

前記第2の高周波放電領域内で前記対向面を前記径方向で周辺側の領域と中心側の領域とに2分割して、前記周辺側領域および前記中心側領域をそれぞれ前記第1および第2の処理ガス噴出領域とする、

請求項1に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 3】

前記第 1 の高周波放電領域を前記被処理体の外周端よりも径方向外側に配置する、請求項 2 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4】

単一の高周波電源より出力される高周波を所望の割合で分割して前記第 1 の高周波放電領域と前記第 2 の高周波放電領域とから放電させる、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 5】

単一の処理ガス供給源より送出される処理ガスを所望の割合で分割して前記第 1 の処理ガス噴出領域と前記第 2 の処理ガス噴出領域とから噴出させる、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 6】

前記第 1 および第 2 の処理ガス噴出領域より単位面積当たりの流量を異ならせて前記処理ガスを噴出させる、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 7】

前記第 1 の処理ガス噴出領域より前記処理ガスを第 1 のガス混合比で噴出させ、前記第 2 の処理ガス噴出領域より前記処理ガスを第 2 のガス混合比で噴出させる、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 8】

前記被処理体の被処理面の各部における加工速度が主として前記プラズマ密度の空間分布にしたがって制御され、前記被処理体の被処理面の各部における加工の選択性および加工形状の少なくとも 1 つが主として前記ラジカル密度の空間分布にしたがって制御される、請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 9】

真空可能な処理容器内に設定された所定のプラズマ生成空間で処理ガスをプラズマ化し、前記プラズマ生成空間に配置した被処理体に所望の微細加工を施すプラズマ処理装置であって、

前記被処理体と対向して前記プラズマ生成空間と接する対向面に、第 1 および第 2 の高周波放電領域をそれぞれ形成する第 1 および第 2 の電極と、第 1 および第 2 の処理ガス噴出領域をそれぞれ形成する第 1 および第 2 のシャワーヘッドとを独立したレイアウトで設け、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間で高周波電界の強度または投入電力の比を制御することにより前記プラズマの密度の空間分布を制御するために、一定周波数の高周波を出力する高周波電源と、前記高周波電源からの前記高周波を所望の割合で分割して前記第 1 および第 2 の電極に伝送する高周波分配部とを備え、

前記第 1 のシャワーヘッドと前記第 2 のシャワーヘッドとの間で処理ガスの流量比または混合比を制御することにより前記プラズマ中のラジカルの密度の空間分布を制御するために、前記処理ガスを供給するための処理ガス供給源と、前記処理ガス供給源からの前記処理ガスを所望の割合で分割して前記第 1 および第 2 のシャワーヘッドに送る処理ガス分配部とを備える、

プラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記被処理体の中心部を通る垂線を中心とする径方向において前記対向面を周辺側の領域と中心側の領域とに 2 分割して、前記周辺側領域および前記中心側領域をそれぞれ前記第 1 および第 2 の高周波放電領域とし、

前記処理容器内で前記被処理体と対向するようにリング状に設置される外側電極および前記外側電極の半径方向内側に絶縁して配置される内側電極をそれぞれ前記第 1 および第 2 の電極とし、

前記第 2 の高周波放電領域内で前記対向面を前記径方向で周辺側の領域と中心側の領域とに 2 分割して、前記周辺側領域および前記中心側領域をそれぞれ前記第 1 および第 2 の処理ガス噴出領域とし、

10

20

30

40

50

前記内側電極を多数のガス噴出孔を有するシャワーヘッド兼用型とし、前記内側電極に環状の隔壁部材を介して分割して設けられた中心および周辺シャワーヘッドをそれぞれ前記第 1 および第 2 のシャワーヘッドとする、

請求項 9 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 1】

前記第 1 の電極を前記被処理体の外周端よりも径方向外側に配置する、請求項 1 0 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 2】

前記第 1 のシャワーヘッドより前記処理ガスを第 1 のガス混合比で噴出させ、前記第 2 のシャワーヘッドより前記処理ガスを第 2 のガス混合比で噴出させる、請求項 9 ~ 1 1 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 1 3】

前記高周波分配部が、前記高周波電源から前記第 1 の電極までの第 1 の給電回路のインピーダンスと前記高周波電源から前記第 2 の電極までの第 2 の給電回路のインピーダンスの少なくとも 1 つを可変制御するためのインピーダンス制御部を有する、請求項 9 ~ 1 2 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、被処理基板にプラズマ処理を施す技術に係り、特にプラズマ中のラジカルとイオンを用いて加工するプラズマ処理技術に関する。

20

【背景技術】

【0 0 0 2】

半導体デバイスや F P D (Flat Panel Display) の製造プロセスにおけるエッチング、堆積、酸化、スパッタリング等の処理では、処理ガスに比較的低温で良好な反応を行わせるためにプラズマが多く利用されている。従来より、枚葉式のプラズマ処理装置の中では、容量結合型平行平板プラズマ処理装置が主流になっている。

【0 0 0 3】

一般に、容量結合型平行平板プラズマ処理装置は、減圧可能な処理容器または反応室内に上部電極と下部電極とを平行に配置し、下部電極を接地してその上に被処理基板（半導体ウエハ、ガラス基板等）を載置し、上部電極および/または下部電極に整合器を介して高周波を印加するとともに、上部電極に設けたシャワーヘッドより処理ガスを噴射させる。そうすると、上部電極と下部電極との間に生成された電界により電子が加速され、電子と処理ガスとの衝突電離によってプラズマが発生し、プラズマ中の中性ラジカルやイオン等によって基板上表面に所望の微細加工が施される。

30

【0 0 0 4】

プラズマ中のイオンの殆どは正イオンであり、電子とほぼ同数だけ存在する。もっとも、イオンまたは電子の密度は中性粒子またはラジカルの密度よりはるかに小さい。一般に、プラズマエッチングでは、基板表面にラジカルとイオンを同時に作用させ、ラジカルには化学反応による等方性のエッチングを行わせるとともに、イオンにはこれを電界により基板表面に垂直に入射して垂直性（異方性）のエッチングを促進させるようにしている。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 5】

従来のプラズマ処理装置では、プラズマ中で生成されたラジカルとイオンとが同様の密度分布で基板表面に作用していた。つまり、ラジカルの密度が基板周辺部よりも基板中心部で高くなっているときは、イオンの密度（つまり電子密度またはプラズマ密度）も基板周辺部よりも基板中心部で高くなるという関係があった。特に、上記のような平行平板プラズマ処理装置では、上部電極に印加する高周波の周波数が高くなると、高周波電源から給電棒を通して電極背面に印加される高周波が表皮効果により電極表面を伝わって電極下

50

面（プラズマ接触面）の中心部に集中し、電極下面の中心部の電界強度がエッジ部の電界強度よりも高くなって、ラジカル密度およびイオン密度（電子密度）のいずれも電極中心部の方が電極エッジ部より高くなる傾向があった。しかし、このようにラジカルとイオンとが同様の密度分布で基板表面に作用する関係に拘束ないし律則されるのでは、基板に対して所望のプラズマ処理を施すのは難しく、特に処理状態ないし処理結果の均一性を向上させるのは難しい。

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記の問題点を解決するものであり、被処理体にラジカルとイオンとを同時に作用させるプラズマ処理の最適化を図れるようにしたプラズマ処理方法およびプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記の目的を達成するために、本発明のプラズマ処理方法は、所定のプラズマ生成空間で処理ガスをプラズマ化し、前記プラズマ生成空間に配置した被処理体に所望の微細加工を施すプラズマ処理方法であって、前記被処理体と対向する対向面に、前記プラズマの密度の空間分布を制御するための第 1 および第 2 の高周波放電領域と、前記プラズマ中のラジカル密度の空間分布を制御するための第 1 および第 2 の処理ガス噴出領域とを独立したレイアウトで設定し、前記対向面側から前記被処理体に対して前記プラズマの密度の空間分布と前記プラズマ中のラジカル密度の空間分布とを独立に制御して、前記被処理体の被処理面全体にわたって所望の処理状態を得る。

【 0 0 0 8 】

本発明のプラズマ処理装置は、真空可能な処理容器内に設定された所定のプラズマ生成空間で処理ガスをプラズマ化し、前記プラズマ生成空間に配置した被処理体に所望の微細加工を施すプラズマ処理装置であって、前記被処理体と対向して前記プラズマ生成空間と接する対向面に、第 1 および第 2 の高周波放電領域をそれぞれ形成する第 1 および第 2 の電極と、第 1 および第 2 の処理ガス噴出領域をそれぞれ形成する第 1 および第 2 のシャワーヘッドとを独立したレイアウトで設け、前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間で高周波電界の強度または投入電力の比を制御することにより前記プラズマの密度の空間分布を制御するために、一定周波数の高周波を出力する高周波電源と、前記高周波電源からの前記高周波を所望の割合で分割して前記第 1 および第 2 の電極に伝送する高周波分配部とを
備え、前記第 1 のシャワーヘッドと前記第 2 のシャワーヘッドとの間で処理ガスの流量比または混合比を制御することにより前記プラズマ中のラジカル密度の空間分布を制御するために、前記処理ガスを供給するための処理ガス供給源と、前記処理ガス供給源からの前記処理ガスを所望の割合で分割して前記第 1 および第 2 のシャワーヘッドに送る処理ガス分配部とを備える。

【 0 0 0 9 】

本発明では、被処理体に対してプラズマ密度（つまり電子密度またはイオン密度）の空間分布とラジカル密度の空間分布とを独立に制御することにより、ラジカルベースのエッチングとイオンベースのエッチングとのバランスや相乗作用を最適化することができる。

【 0 0 1 0 】

本発明においては、被処理体と対向する対向面に、プラズマ密度の空間分布を制御するための第 1 および第 2 の高周波放電領域と、ラジカル密度の空間分布を制御するための第 1 および第 2 の処理ガス噴出領域とが独立したレイアウトで設定される。第 1 および第 2 の高周波放電領域の間で投入電力（または高周波電界の強度）のバランス（比）を可変することでプラズマ密度（イオン密度）の空間分布を制御できるとともに、第 1 および第 2 の処理ガス噴出領域の間でガス流量（またはガス混合比）のバランス（比）を可変することでラジカル密度の空間分布を制御できる。ここで、第 1 および第 2 の高周波放電領域がそれぞれ第 1 および第 2 の処理ガス噴出領域に一致または対応していると、投入電力比の変化がラジカル密度の空間分布に影響し、逆にガス流量比の変化がプラズマ密度（イオン密度）の空間分布に影響する。高周波放電領域の分割レイアウトと処理ガス噴出領域の分

10

20

30

40

50

割レイアウトとを独立させることで、そのような相互作用の関係を絶ち、プラズマ密度分布とラジカル密度分布の独立制御が可能となる。

【0011】

このような独立型レイアウトの好適な一態様は、被処理体の中心部を通る垂線を中心とする径方向において対向面を周辺側の領域と中心側の領域とに2分割して、周辺側領域および中心側領域をそれぞれ第1および第2の高周波放電領域とし、第2の高周波放電領域内で対向面を径方向で周辺側の領域と中心側の領域とに2分割して、周辺側領域および中心側領域をそれぞれ第1および第2の処理ガス噴出領域とするものである。より好ましくは、第1の高周波放電領域を被処理体の外周端よりも径方向外側に配置してよい。

【0012】

かかるレイアウトにおいては、第1および第2の高周波放電領域との間で電界強度または投入電力の比率を可変することによって行なわれるプラズマ密度空間分布の制御が、第1および第2の処理ガス噴出領域の間で処理ガスの流量の比率を可変することによって行なわれるラジカル密度空間分布の制御に実質的な影響を及ぼさない。つまり、第1および第2の処理ガス噴出領域より噴出される処理ガスの解離が第2の高周波放電領域のエリア内で行なわれるため、第1および第2の高周波放電領域の間で電界強度または投入電力のバランスを変えても、第1および第2の処理ガス噴出領域間のラジカル生成量ないし密度のバランスには実質的に影響しない。これによって、プラズマ密度の空間分布とラジカル密度の空間分布とを独立に制御することができる。

【0013】

本発明の好ましい一態様においては、単一の高周波電源より出力される高周波を所望の割合で分割して第1の高周波放電領域と第2の高周波放電領域とから放電させる。また、単一の処理ガス供給源より送出される処理ガスを所望の割合で分割して第1の処理ガス噴出領域と第2の処理ガス噴出領域とから噴出させる。この場合、第1および第2の処理ガス噴出領域よりほぼ単位面積当たりの流量を異ならせて処理ガスを噴出させてもよい。さらには、第1の処理ガス噴出領域より処理ガスを第1のガス混合比で噴出させ、第2の処理ガス噴出領域より処理ガスを第2のガス混合比で噴出させることも可能である。

【0014】

本発明の好ましい一態様によれば、被処理体の被処理面の各部における加工速度が主としてプラズマ密度の空間分布にしたがって制御され、被処理体の被処理面の各部における加工の選択性および加工形状の少なくとも1つが主としてラジカル密度の空間分布にしたがって制御される。

【0015】

本発明のプラズマ処理装置においては、好ましい一態様として、高周波分配部が、高周波電源から第1の電極までの第1の給電回路のインピーダンスと高周波電源から第2の電極までの第2の給電回路のインピーダンスの少なくとも1つを可変制御するためのインピーダンス制御部を有する。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、上記のような構成と作用により、被処理体にラジカルとイオンとを同時に作用させるプラズマ処理の最適化を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、添付図を参照して本発明の好適な実施形態を説明する。

【実施例1】

【0018】

図1に、本発明の第1の実施例におけるプラズマエッチング装置の構成を示す。このプラズマエッチング装置は、容量結合型平行平板プラズマエッチング装置として構成されており、たとえば表面がアルマイト処理（陽極酸化処理）されたアルミニウムからなる円筒形のチャンバ（処理容器）10を有している。チャンバ10は保安接地されている。

【 0 0 1 9 】

チャンバ 1 0 の底部には、セラミックなどの絶縁板 1 2 を介して円柱状のサセプタ支持台 1 4 が配置され、このサセプタ支持台 1 4 の上にたとえばアルミニウムからなるサセプタ 1 6 が設けられている。サセプタ 1 6 は下部電極を構成し、この上に被処理基板としてたとえば半導体ウエハ W が載置される。

【 0 0 2 0 】

サセプタ 1 6 の上面には半導体ウエハ W を静電吸着力で保持するための静電チャック 1 8 が設けられている。この静電チャック 1 8 は導電膜からなる電極 2 0 を一对の絶縁層または絶縁シートの上に挟み込んだものであり、電極 2 0 には直流電源 2 2 が電氣的に接続されている。直流電源 2 2 からの直流電圧により、半導体ウエハ W がクーロン力で静電チャック 1 8 に吸着保持されるようになっている。静電チャック 1 8 の周囲でサセプタ 1 6 の上面には、エッチングの均一性を向上させるためのたとえばシリコンからなるフォーカスリング 2 4 が配置されている。サセプタ 1 6 およびサセプタ支持台 1 4 の側面にはたとえば石英からなる円筒状の内壁部材 2 6 が貼り付けられている。

10

【 0 0 2 1 】

サセプタ支持台 1 4 の内部には、たとえば円周方向に延在する冷媒室 2 8 が設けられている。この冷媒室 2 8 には、外付けのチラーユニット（図示せず）より配管 3 0 a , 3 0 b を介して所定温度の冷媒たとえば冷却水が循環供給される。冷媒の温度によってサセプタ 1 6 上の半導体ウエハ W の処理温度を制御できる。

【 0 0 2 2 】

さらに、伝熱ガス供給機構（図示せず）からの伝熱ガスたとえば He ガスがガス供給ライン 3 2 を介して静電チャック 1 8 の上面と半導体ウエハ W の裏面との間に供給される。

20

【 0 0 2 3 】

サセプタ 1 6 の上方には、このサセプタと平行に対向して上部電極 3 4 が設けられている。両電極 1 6 , 3 4 の間の空間はプラズマ生成空間である。上部電極 3 4 は、サセプタ（下部電極）1 6 上の半導体ウエハ W と対向してプラズマ生成空間と接する面つまり対向面を形成する。上部電極 3 4 は、サセプタ 1 6 と所望の間隔を置いて対向配置されているリング形状またはドーナツ形状の外側 (outer) 上部電極 3 6 と、この外側上部電極 3 6 の半径方向内側に絶縁して配置されている円板形状の内側 (inner) 上部電極 3 8 とで構成される。これら外側上部電極 3 6 と内側上部電極 3 8 とは、プラズマ生成に関して、前者（3 6）が主で、後者（3 8）が補助の関係を有している。

30

【 0 0 2 4 】

図 2 に、この実施例におけるプラズマエッチング装置の要部の構成を示す。図 2 に明示するように、外側上部電極 3 6 と内側上部電極 3 8 との間にはたとえば 0 . 2 5 ~ 2 . 0 mm の環状ギャップ（隙間）が形成され、このギャップにたとえば石英からなる誘電体 4 0 が設けられる。また、このギャップにセラミック 9 6 を設けることもできる。この誘電体 4 0 を挟んで両電極 3 6 , 3 8 の間にコンデンサが形成される。このコンデンサのキャパシタンス C 40 は、ギャップのサイズと誘電体 4 0 の誘電率に応じて所望の値に選定または調整される。外側上部電極 3 6 とチャンバ 1 0 の側壁との間には、たとえばアルミナ（ Al_2O_3 ）からなるリング形状の絶縁性遮蔽部材 4 2 が気密に取り付けられている。

40

【 0 0 2 5 】

外側上部電極 3 6 は、ジュール熱の少ない低抵抗の導電体または半導体たとえばシリコンで構成されるのが好ましい。外側上部電極 3 6 には、整合器 4 4、上部給電棒 4 6、コネクタ 4 8 および給電筒 5 0 を介して第 1 の高周波電源 5 2 が電氣的に接続されている。第 1 の高周波電源 5 2 は、1 3 . 5 MHz 以上の周波数たとえば 6 0 MHz の高周波電圧を出力する。整合器 4 4 は、高周波電源 5 2 の内部（または出力）インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させるためのもので、チャンバ 1 0 内にプラズマが生成されている時に高周波電源 5 0 の出力インピーダンスと負荷インピーダンスが見かけ上一致するように機能する。整合器 4 4 の出力端子は上部給電棒 4 6 の上端に接続されている。

【 0 0 2 6 】

50

給電筒 50 は、円筒状または円錐状あるいはそれらに近い形状の導電板たとえばアルミニウム板または銅板からなり、下端が周回方向で連続的に外側上部電極 36 に接続され、上端がコネクタ 48 によって上部給電棒 46 の下端部に電氣的に接続されている。給電筒 50 の外側では、チャンバ 10 の側壁が上部電極 34 の高さ位置よりも上方に延びて円筒状の接地導体 10a を構成している。この円筒状接地導体 10a の上端部は筒状の絶縁部材 54 により上部給電棒 46 から電氣的に絶縁されている。かかる構成においては、コネクタ 48 からみた負荷回路において、給電筒 50 および外側上部電極 36 と円筒状接地導体 10a とで前者 (36, 50) を導波路とする同軸線路が形成される。

【0027】

再び図 1 において、内側上部電極 38 は、多数のガス通気孔 56a を有するたとえば Si、SiC などの半導体材料からなる電極板 56 と、この電極板 56 を着脱可能に支持する導電材料たとえば表面がアルマイト処理されたアルミニウムからなる電極支持体 58 とを有する。電極支持体 58 の内部には、たとえばリングからなる環状隔壁部材 60 で分割された 2 つのガス導入室つまり中心ガス導入室 62 と周辺ガス導入室 64 とが設けられている。中心ガス導入室 62 とその下面に設けられている多数のガス噴出孔 56a とで中心シャワーヘッドが構成され、周辺ガス導入室 64 とその下面に設けられている多数のガス噴出孔 56a とで周辺シャワーヘッドが構成されている。

【0028】

これらのガス導入室 62, 64 には、共通の処理ガス供給源 66 からの処理ガスが所望の流量比で供給されるようになっている。より詳細には、処理ガス供給源 66 からのガス供給管 68 が途中で 2 つに分岐してガス導入室 62, 64 に接続され、それぞれの分岐管 68a, 68b に流量制御弁 70a, 70b が設けられている。処理ガス供給源 66 からガス導入室 62, 64 までの流路のコンダクタンスは等しいので、流量制御弁 70a, 70b の調整により、両ガス導入室 62, 64 に供給する処理ガスの流量比を任意に調整できるようになっている。なお、ガス供給管 68 にはマスフローコントローラ (MFC) 72 および開閉バルブ 74 が設けられている。このように、中心ガス導入室 62 と周辺ガス導入室 64 とに導入する処理ガスの流量比を調整することで、中心ガス導入室 62 に対応する電極中心部のガス通気孔 56a つまり中心シャワーヘッドより噴出されるガスの流量 F_C と周辺ガス導入室 64 に対応する電極周辺部のガス通気孔 56a つまり周辺シャワーヘッドより噴出されるガスの流量 F_E との比率 (F_C / F_E) を任意に調整できるようになっている。なお、中心シャワーヘッドおよび周辺シャワーヘッドよりそれぞれ噴出させる処理ガスの単位面積当たりの流量を異ならせることも可能である。さらに、中心シャワーヘッドおよび周辺シャワーヘッドよりそれぞれ噴出させる処理ガスのガス種またはガス混合比を独立または別個に選定することも可能である。

【0029】

内側上部電極 38 の電極支持体 58 には、整合器 44、上部給電棒 46、コネクタ 48 および下部給電筒 76 を介して第 1 の高周波電源 52 が電氣的に接続されている。下部給電筒 76 の途中には、キャパシタンスを可変調整できる可変コンデンサ 78 が設けられている。

【0030】

図示省略するが、外側上部電極 36 および内側上部電極 38 にも適当な冷媒室または冷却ジャケット (図示せず) を設けて、外部のチラーユニットにより冷媒を介して電極の温度を制御できるように構成してもよい。

【0031】

チャンバ 10 の底部には排気口 80 が設けられ、この排気口 80 に排気管 82 を介して排気装置 84 が接続されている。排気装置 84 は、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、チャンバ 10 内のプラズマ処理空間を所望の真空度まで減圧できるようになっている。また、チャンバ 10 の側壁には半導体ウエハ W の搬入出口を開閉するゲートバルブ 86 が取り付けられている。

【0032】

この実施例のプラズマエッチング装置では、下部電極としてのサセプタ 16 に整合器 88 を介して第 2 の高周波電源 90 が電氣的に接続されている。この第 2 の高周波電源 90 は、2 ~ 27 MHz の範囲内の周波数、たとえば 2 MHz の高周波電圧を出力する。整合器 88 は、高周波電源 90 の内部（または出力）インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させるためのもので、チャンバ 10 内にプラズマが生成されている時に高周波電源 90 の内部インピーダンスと負荷インピーダンスが見かけ上一致するように機能する。

【0033】

内側上部電極 38 には、第 1 の高周波電源 52 からの高周波（60 MHz）を通さずに第 2 の高周波電源 98 からの高周波（2 MHz）をグランドへ通すためのローパスフィルタ（LPF）92 が電氣的に接続されている。このローパスフィルタ（LPF）92 は、好適には LR フィルタまたは LC フィルタで構成されてよいが、1 本の導線だけでも第 1 の高周波電源 52 からの高周波（60 MHz）に対しては十分大きなリアクタンスを与えることができるので、それで済ますこともできる。一方、サセプタ 16 には、第 1 の高周波電源 52 からの高周波（60 MHz）をグランドへ通すためのハイパスフィルタ（HPF）94 が電氣的に接続されている。

【0034】

このプラズマエッチング装置において、エッチングを行なうには、まずゲートバルブ 86 を開状態にして加工対象の半導体ウエハ W をチャンバ 10 内に搬入して、サセプタ 16 の上に載置する。そして、処理ガス供給源 66 よりエッチングガス（一般に混合ガス）を所定の流量および流量比でガス導入室 62, 64 に導入し、排気装置 84 によりチャンバ 10 内の圧力つまりエッチング圧力を設定値（たとえば数 mTorr ~ 1 Torr の範囲内）とする。さらに、第 1 の高周波電源 52 よりプラズマ生成用の高周波（60 MHz）を所定のパワーで上部電極 34（36, 38）に印加するとともに、第 2 の高周波電源 90 より高周波（2 MHz）を所定のパワーでサセプタ 16 に印加する。また、直流電源 22 より直流電圧を静電チャック 18 の電極 20 に印加して、半導体ウエハ W をサセプタ 16 に固定する。内側上部電極 38 のガス通気孔 56a より吐出されたエッチングガスは上部電極 34（36, 38）とサセプタ 16 間のグロー放電中でプラズマ化し、このプラズマで生成されるラジカルやイオンによって半導体ウエハ W の被処理面がエッチングされる。

【0035】

このプラズマエッチング装置では、上部電極 34 に対して高い周波数領域（イオンが動けない 5 ~ 10 MHz 以上）の高周波を印加することにより、プラズマを好ましい解離状態で高密度化し、より低圧の条件下でも高密度プラズマを形成することができる。

【0036】

また、上部電極 34 において、半導体ウエハ W と真正面に対向する内側上部電極 38 をシャワーヘッド兼用型とし、中心シャワーヘッド（62, 56a）と周辺シャワーヘッド（64, 56a）とでガス吐出流量の比率を任意に調整できるので、ガス分子またはラジカル密度の空間分布を径方向で制御し、ラジカルベースによるエッチング特性の空間的な分布特性を任意に制御することもできる。

【0037】

一方、上部電極 34 においては、後述するように、プラズマ生成のための高周波電極として外側上部電極 36 を主、内側上部電極 38 を副とし、両高周波電極 36, 38 より電極直下の電子に与える電界強度の比率を調整可能にしているので、プラズマ密度の空間分布を径方向で制御し、反応性イオンエッチングの空間的な特性を任意かつ精細に制御することができる。

【0038】

ここで、重要なことは、外側上部電極 36 と内側上部電極 38 との間で電界強度または投入電力の比率を可変することによって行なわれるプラズマ密度空間分布の制御が、中心シャワーヘッド（62, 56a）と周辺シャワーヘッド（64, 56a）との間で処理ガスの流量やガス密度またはガス混合比の比率を可変することによって行なわれるラジカル密度空間分布の制御に実質的な影響を及ぼさないことである。つまり、中心シャワーヘッ

10

20

30

40

50

ド(62, 56a)と周辺シャワーヘッド(64, 56a)より噴出される処理ガスの解離が内側上部電極38直下のエリア内で行なわれるため、内側上部電極38と外側上部電極36との間で電界強度のバランスを変えても、内側上部電極38内(同一エリア内)の中心シャワーヘッド(62, 56a)と周辺シャワーヘッド(64, 56a)との間のラジカル生成量ないし密度のバランスにはさほど影響しない。このように、プラズマ密度の空間分布とラジカル密度の空間分布とを実質上独立に制御することができる。

【0039】

また、このプラズマエッチング装置は、外側上部電極36の直下でプラズマの大部分ないし過半を生成して内側上部電極38の直下に拡散させる方式である。この方式によると、シャワーヘッドを兼ねる内側上部電極38においては、プラズマのイオンから受けるア
10
タックが少ないため交換部品である電極板56のガス吐出口56aのスパッタ進行度を効果的に抑制し、電極板56の寿命を大幅に延ばすことができる。一方、外側上部電極36は、電界の集中するガス吐出口を有してはいないため、イオンのアタックは少なく、内側上部電極38の代わりに電極寿命が短くなるようなことはない。

【0040】

図2は、先に述べたように、このプラズマエッチング装置の要部(特に、プラズマ生成手段を構成する要部)の構成を示している。図中、内側上部電極38のシャワーヘッド部(56a, 62, 64)の構造を省略している。図3に、プラズマ生成手段の要部の等価回路を示す。この等価回路では各部の抵抗を省略している。

【0041】

この実施例では、上記のように、コネクタ48からみた負荷回路において、外側上部電極36および給電筒50と円筒状接地導体10aとで前者(36, 50)を導波路J_oとする同軸線路が形成される。ここで、給電筒50の半径(外径)をa_o、円筒状接地導体10aの半径をbとすると、この同軸線路の特性インピーダンスまたはインダクタンスL_oは下記の式(1)で近似できる。

$$L_o = K \cdot \ln(b/a_o) \quad (1)$$

ただし、Kは導電率の移動度および誘電率で決まる定数である。

【0042】

一方、コネクタ48からみた負荷回路において、下部給電棒76と円筒状接地導体10aとの間でも前者(76)を導波路J_iとする同軸線路が形成される。内側上部電極38
30
も下部給電棒76の延長上にあるが、直径が違いすぎており、下部給電棒76のインピーダンスが支配的になる。ここで、下部給電棒76の半径(外径)をa_iとすると、この同軸線路の特性インピーダンスまたはインダクタンスL_iは下記の式(2)で近似できる。

$$L_i = K \cdot \ln(b/a_i) \quad (2)$$

【0043】

上記の式(1), (2)より理解されるように、内側上部電極38に高周波を伝える内側導波路J_iは従来一般のRFシステムと同様のインダクタンスL_iを与えるのに対して、外側上部電極36に高周波を伝える外側導波路J_oは径が大きい分だけ著しく小さなインダクタンスL_oを与えることができる。これにより、整合器44からみてコネクタ48より先の負荷回路では、低インピーダンスの外側導波路J_oで高周波が伝播しやすく(電圧
40
降下が小さく)、外側上部電極36に多めの高周波電力P_oを供給して、外側上部電極36の下面(プラズマ接触面)に強い電界強度E_oを得ることができる。一方、高インピーダンスの内側導波路J_iでは高周波が伝播しにくく(電圧降下が大きく)、内側上部電極38に外側上部電極36に供給される高周波電力P_oよりも小さい高周波電力P_iを供給して、内側上部電極38の下面(プラズマ接触面)に得られる電界強度E_iを外側上部電極36側の電界強度E_oよりも小さくすることができる。

【0044】

このように、上部電極34では、外側上部電極36の直下で相対的に強い電界E_oで電子を加速させると同時に、内側上部電極38の直下では相対的に弱い電界E_iで電子を加速させることとなり、これによって外側上部電極36の直下でプラズマPの大部分ないし
50

過半が生成され、内側上部電極 38 の直下では補助的にプラズマ P の一部が生成される。そして、外側上部電極 36 の直下で生成された高密度のプラズマが径方向の内側と外側に拡散することにより、上部電極 34 とサセプタ 16 との間のプラズマ処理空間においてプラズマ密度が径方向で均される。

【0045】

ところで、外側上部電極 36 および給電筒 50 と円筒状接地導体 10a とで形成される同軸線路における最大伝送電力 P_{\max} は、給電筒 50 の半径 a_0 と円筒状接地導体 10a の半径 b とに依存し、下記の式 (3) で与えられる。

$$P_{\max} / E_{o\max}^2 = a_0^2 [\ln (b / a_0)]^2 / 2 Z_0 \quad (3)$$

ここで、 Z_0 は整合器 44 側からみた当該同軸線路の入力インピーダンスであり、 $E_{o\max}$ は RF 伝送系の最大電界強度である。

【0046】

上記の式 (3) において、最大伝送電力 P_{\max} は $(b / a_0) = 1.65$ で極大値となる。このことから、外側導波路 Jo の電力伝送効率を向上させるには、給電筒 50 の径サイズに対して円筒状接地導体 10a の径サイズの比 (b / a_0) が約 1.65 となるように構成する (給電筒 50 および / または円筒状接地導体 10a の径サイズを選定する) のが最も好ましく、少なくとも 1.2 ~ 2.0 の範囲内に入るように構成するのが好ましく、1.5 ~ 1.7 の範囲内に入るように構成するのがさらに好ましい。

【0047】

この実施例では、プラズマ密度の空間分布を任意かつ精細に制御するために、外側上部電極 36 直下の外側電界強度 E_o (または外側上部電極 36 側への投入電力 P_o) と内側上部電極 38 直下の内側電界強度 E_i (または内側上部電極 38 側への投入電力 P_i) との比率つまりバランスを調整するための手段として、下部給電棒 76 の途中に可変コンデンサ 78 を挿入している。この可変コンデンサ 78 のキャパシタンス C_{78} を変えることにより、内側導波路 Ji のインピーダンスまたはリアクタンスを増減させ、外側導波路 Jo の電圧降下と内側導波路 Ji の電圧降下との相対比率を変えることができ、ひいては外側電界強度 E_o (外側投入電力 P_o) と内側電界強度 E_i (内側投入電力 P_i) との比率を調整することができる。

【0048】

なお、プラズマの電位降下を与えるイオンシースのインピーダンスは一般に容量性である。図 3 の等価回路では、外側上部電極 36 直下におけるシースインピーダンスのキャパシタンスを C_{po} 、内側上部電極 38 直下におけるシースインピーダンスのキャパシタンスを C_{pi} と仮定 (擬制) している。また、外側上部電極 36 と内側上部電極 38 との間に形成されるコンデンサのキャパシタンス C_{40} は、可変コンデンサ 78 のキャパシタンス C_{78} と組み合わせさせて上記のような外側電界強度 E_o (外側投入電力 P_o) と内側電界強度 E_i (内側投入電力 P_i) とのバランスを左右するものであり、可変コンデンサ 78 による電界強度 (投入電力) バランス調整機能を最適化できるような値に選定または調整されてよい。

【0049】

ここで、図 4 および図 5 に、この実施例の可変コンデンサ 78 による電界強度バランス調整機能の検証例 (シミュレーションデータ) を示す。図 4 は、可変コンデンサ 78 のキャパシタンス C_{78} をパラメータにして電極の径方向における電界強度 (相対値) の分布特性を示す。図 5 は、可変コンデンサ 78 のキャパシタンス C_{78} を変えたときの外側電界強度 E_o と内側電界強度 E_i との相対比率を示す。なお、このシミュレーションでは、半導体ウエハ W の口径を 200 mm とし、円板形状の内側上部電極 38 の半径を 100 mm、リング形状の外側上部電極 36 の内側半径および外側半径をそれぞれ 101 mm、141 mm に選んでいる。この場合、半導体ウエハ W の面積 (314 cm^2) に対して、内側上部電極 38 の面積は 314 cm^2 でウエハ W と同じであり、外側上部電極 36 の面積は 304 cm^2 でウエハ W よりも幾らか小さい。概して、外側上部電極 36 の面積は内側上部電極 38 の面積の約 1/4 倍 ~ 約 1 倍に選ばれるのが好ましい。

【 0 0 5 0 】

図 4 に示すように、外側上部電極 3 6 直下の外側電界強度 E_o の方が内側上部電極 3 8 直下の内側電界強度 E_i よりも大きく、両電極 3 6 , 3 8 の境界付近で電界強度に大きな段差が生じる。特に、外側上部電極 3 6 直下の外側電界強度 E_o は内側上部電極 3 8 との境界付近で最大になり、半径方向の外側にいくほど低くなる傾向があることがわかる。この例では、図 5 に示すように、可変コンデンサ 7 8 のキャパシタンス C_{78} を 1 8 0 ~ 3 5 0 p F の範囲内で変えると、電界強度 E_i , E_o の比率 E_i / E_o を約 1 0 % ~ 4 0 % の範囲内で連続的に制御できることがわかる。なお、 $C_{78} = 1 2 5 \sim 1 8 0$ p F は負荷回路が共振する領域であり、制御不能となっている。基本的に、安定領域では、可変コンデンサ 7 8 のキャパシタンス C_{78} を大きくするほど、内側導波路 J_i のリアクタンスを減少させて、内側上部電極 3 8 直下の内側電界強度 E_i を相対的に増大させ、外側電界強度 E_o と内側電界強度 E_i の比率 E_i / E_o を高くする方向に制御できる。

10

【 0 0 5 1 】

この実施例においては、給電筒 5 0 により構成される外側導波路 J_o のリアクタンスを著しく小さくできるため、整合器 4 4 の出力端子からみた負荷回路のインピーダンスのリアクタンスを容量性の負値にすることができる。このことは、整合器 4 4 の出力端子から容量性のイオンシースに至るまでの導波路において、リアクタンスが誘電性の正値から負値に極性反転するような共振ポイントが存在しないことを意味する。共振ポイントの発生を回避することで、共振電流の発生を回避し、高周波エネルギーの損失を低減できるとともにプラズマ密度分布制御の安定性を確保できる。

20

【 0 0 5 2 】

図 6 A、図 6 B および図 7 A、図 7 B に、この実施例のプラズマエッチング装置において得られる電子密度分布特性およびエッチングレート分布特性の一例（実験データ）を示す。図 4 および図 5 の電界強度分布特性と同様に可変コンデンサ 7 8 のキャパシタンス C_{78} をパラメータにして、プラズマ吸収プローブ（PAP）を用いて径方向の各位置における電子密度を測定するとともに、半導体ウエハ上のシリコン酸化膜をエッチングして径方向の各ウエハ位置におけるエッチング速度を測定した。この実験でも、内側上部電極 3 8 の半径を 1 0 0 mm、外側上部電極 3 6 の内側半径および外側半径をそれぞれ 1 0 1 mm、1 4 1 mm に選んでいる。主なエッチング条件は下記のとおりである。

ウエハ口径 = 2 0 0 mm

30

チャンバ内の圧力 = 1 5 mTorr、

温度（上部電極 / チャンバ側壁 / 下部電極）= 6 0 / 5 0 / 2 0 ° C、

電熱ガス（Heガス）供給圧力（センター部 / エッジ部）= 1 5 / 2 5 Torr、

上部及び下部電極間距離 = 5 0 mm

プロセスガス（ C_5F_8 / Ar / O_2 ） 流量 2 0 / 3 8 0 / 2 0 sccm

高周波電力（6 0 MHz / 2 MHz） 2 2 0 0 W / 1 5 0 0 W（ $C_{78} = 5 0 0$ p F , 1 0 0 0 p F）, 1 8 0 0 W（ $C_{78} = 1 2 0$ p F）

【 0 0 5 3 】

図 6 A および図 6 B において、可変コンデンサ 7 8 のキャパシタンス C_{78} を 1 2 0 p F に選んだときは、外側電界強度 E_o と内側電界強度 E_i の比率 E_i / E_o を高めに選んだ場合であり、この場合は、電極中心付近が最大で、径方向外側にいくほど単調に減少するような電子密度つまりプラズマ密度の分布特性を得ることができる。これは、主プラズマ生成部である外側上部電極 3 6 の直下におけるプラズマ生成率と副プラズマ生成部である内側上部電極 3 8 の直下におけるプラズマ生成率との差をプラズマの拡散率が上回って、全方向から集まる中心部のプラズマ密度が周りよりも相対的に高くなるものと考えられる。

40

【 0 0 5 4 】

一方、キャパシタンス C_{78} を 1 0 0 0 p F に選んだときは、外側電界強度 E_o と内側電界強度 E_i の比率 E_i / E_o を低めに選んだ場合であり、この場合は、径方向でウエハの内側よりも外側の位置（中心から 1 4 0 mm の位置付近）で電子密度を極大化させ、ウエハの内側（0 ~ 1 0 0 mm）ではほぼ均一な電子密度分布を得ることができる。これは、内

50

側上部電極 38 の直下におけるプラズマ生成率の増大によって半径方向外側への拡散が強まるためと考えられる。いずれにしても、可変コンデンサ 78 のキャパシタンス C_{78} を適当な範囲内で細かく可変調整することにより、電子密度つまりプラズマ密度の空間分布特性を自在かつ精細に制御できることがわかる。

【0055】

また、下部電極 16 に高周波バイアス (2 MHz) を印加した場合 (図 6 A) は、印加しない場合 (図 6 B) と比較して、各位置の電子密度がある程度増大することと、分布パターンはほとんど変わらないことがわかる。

【0056】

図 7 A および図 7 B の実験データによれば、可変コンデンサ 78 のキャパシタンス C_{78} を可変調整することで、図 6 A および図 6 B の電子密度空間分布特性に対応するパターンのエッチングレート空間分布特性が得られることがわかる。すなわち、可変コンデンサ 78 のキャパシタンス C_{78} を適当な範囲内で細かく可変調整することにより、ウエハ面内のエッチングレート空間分布特性も自在かつ精細に制御可能できることがわかる。

【0057】

また、この実施例のプラズマエッチング装置では、上記したように内側上部電極 36 のシャワーヘッド機構において中心部と外周部とでガス吐出流量の比率を可変調整する機能により、ラジカルベースでエッチングレート空間分布特性の制御を併せて行うことも可能である。

【実施例 2】

【0058】

図 8 に、本発明の第 2 の実施例におけるプラズマエッチング装置の構成を示す。図中、上記した第 1 実施例の装置 (図 1) におけるものと同様の構成または機能を有する部分には同一の符号を付してある。

【0059】

この第 2 の実施例における特徴の一つは、高周波電源 52 からの高周波を外側上部電極 36 に伝送するための伝送路つまり給電筒 50 に鋳物を用いる構成である。この鋳物の材質は導電性と加工性に優れた金属が好ましく、たとえばアルミニウムでよい。鋳物の利点の一つはコストが低いことであり、板材製のものに比べて 1/7 以下のコストに抑えることができる。別の利点として、鋳物は一体化が容易で、RF 接面を低減できるため、RF 損失を少なくすることができる。

【0060】

さらに、給電筒 50 を鋳物で構成しても、高周波伝送効率が低下することはない。すなわち、図 9 A、図 9 B および図 10 A、図 10 B の実験データに示すように、給電筒 50 を板材で構成しても鋳物で構成しても、エッチングレートは殆ど変わらないことが確認されている。なお、図 9 A および図 9 B はシリコン酸化膜 (SiO_2) に係るエッチングレートの空間分布特性を示し、図 10 A および図 10 B はフォトレジスト (PR) に係るエッチングレートの空間分布特性を示す。この検証例における主なエッチング条件は下記のとおりである。

ウエハ口径 = 300 mm

チャンバ内の圧力 = 25 mTorr

温度 (上部電極 / チャンバ側壁 / 下部電極) = 60 / 60 / 20 °C

伝熱ガス (He ガス) 供給圧力 (センター部 / エッジ部) = 15 / 40 Torr

上部及び下部電極間距離 = 45 mm

プロセスガス (C_5F_8 / Ar / O_2) 流量 30 / 750 / 50 sccm

高周波電力 (60 MHz / 2 MHz) 3300 W / 3800 W

測定時間 = 120 秒

【0061】

この第 2 の実施例における第 2 の特徴は、給電筒 50 内で給電棒 76 の回りにリング状の導体部材 100 を設ける構成である。この導体部材 100 の主たる役目は、以下に述べ

るように、給電棒 76 回りのインダクタンスを小さくして、可変コンデンサ 78 による外側 / 内側投入電力バランス調整機能のレンジを改善することにある。

【0062】

このプラズマ処理装置では、上記のように、可変コンデンサ 78 のキャパシタンス C_{78} を変えることで、外側上部電極 36 に対する投入電力 P_o と内側上部電極 38 に対する投入電力 P_i の比率を任意に調節することができる。一般に、可変コンデンサ 78 におけるキャパシタンス C_{78} の可変調整は、ステップモータ等を用いてステップ的に行なわれる。このキャパシタンス可変調整では、上記のように制御不能な共振領域（図 5 では $125 \text{ pF} < C_{78} < 180 \text{ pF}$ の領域）を避ける必要があり、上記第 1 の実施例における実験検証例（図 6 A, 図 6 B, 図 7 A, 図 7 B）では主に共振領域より右側の安定領域（ $C_{78} = 180 \text{ pF}$ ）を使用した。しかしながら、右側安定領域は内側投入電力 P_i の比率を上げるのに限界があるうえ、電力の損失も大きいという側面がある。この点、図 4 および図 5 から明らかなように共振領域より左側の領域（ $C_{78} = 125 \text{ pF}$ ）は内側投入電力 P_i の比率を上げるのに有利であるうえ、電力損失も少ないという利点がある。ただし、共振領域より左側の領域では内側投入電力 P_i の比率を上げるほど共振領域に近づくため、図 11 の A のような変化率（傾斜）の大きな特性曲線の下では共振領域手前での微調整が非常に難しくなるという側面がある。

【0063】

これを解決するには、図 11 の B で示すようにキャパシタンス - 内側投入電力比率特性曲線において共振領域より左側の領域の変化率（傾斜）を小さくして調整レンジを広げることが有効である。そして、図 11 の B のような傾斜の緩いブロードの特性曲線を得るには、以下に述べるように給電棒 76 回りのインダクタンス L_i を小さくするのが有効である。

【0064】

すなわち、このプラズマエッチング装置におけるプラズマ生成用の高周波給電回路を図 12 に示すような等価回路で表すと、給電棒 76 回りのリアクタンス L_i はコンデンサ 78 のリアクタンス $1 / C_{78}$ よりも常に大きい絶対値をとることから、内側導波路 J_i の合成リアクタンス X は常に誘導性であり、 $X = L_a$ と表すことができる。この見かけ上のインダクタンス L_a とキャパシタンス C_{40} とで形成される並列回路が共振状態になるときは、インダクタンス L_a のサセプタンス $1 / L_a$ とキャパシタンス C_{40} のサセプタンス C_{40} とが相殺して零になるとき、つまり $1 / L_a = 1 / (L_i - 1 / C_{78}) = C_{40}$ が成立するときである。ここで、 L_i を小さくするほど、上記共振条件を成立させる C_{78} の値が大きくなり、図 11 の B に示すような共振領域の手前で傾斜の緩やかなブロードの特性曲線が得られる。なお、図 12 の等価回路では、説明を簡単にするために、外側導波路 J_o のインダクタンス L_o を省いている。この等価回路にインダクタンス L_o が入っていても原理は同じである。

【0065】

図 13 に、この実施例における導体部材 100 の作用を示す。給電棒 76 に時間的に変化する電流 I が流れるとき、給電棒 76 の回りにはループ状の磁束 B が生成されるとともに、電磁誘導によって導体部材 100 の内部では磁束 B と鎖交する誘導電流 i が流れる。そうすると、この誘導電流 i によって導体部材 100 の内外にループ状の磁束 b が生成され、導体部材 100 の内部では磁束 b の分だけ磁束 B が相殺される。こうして、給電棒 76 の回りに導体部材 100 を設けることで、給電棒 76 回りの正味の磁束発生量を低減してインダクタンス L_i を小さくすることができる。

【0066】

導体部材 100 の外観構造は、周回方向に連続した単一のリング形体が好ましいが、複数の導体部材を周回方向に並べて配置する構造であってもよい。また、導体部材 100 の内部構造は、図 13 に示すようなリング状の空洞を有する中空体でもよいが、図 8 に示すような内部の埋まったブロック体構造の方がより大きなインダクタンス低減効果を得ることができる。導体部材 100 の容積は大きいほど好ましく、理想的には給電筒 50 内側の

空間を埋め尽くするのが最も好ましい。実用的には、給電筒 50 と外側上部電極 36 とで囲まれる空間の $1/10 \sim 1/3$ を導体部材 100 で埋めるのが好ましい。導体部材 100 の材質は任意の導電材料でよく、たとえばアルミニウムの鋳物でもよい。なお、導体部材 100 は、付近の導体すなわち給電棒 76 や内側上部電極 38 等と電氣的に絶縁された状態で配置される。

【0067】

図 14 に、この実施例における導体部材 100 による上記ブロード効果の実証例を実験データで示す。図 14 において、特性曲線 B' はこの実施例の装置構造で得られたものであり、特性曲線 A' は導体部材 100 を設けない装置構造で得られたものである。これらの特性曲線 A'、B' はそれぞれ図 11 の特性曲線 A、B を上下にひっくり返したものに
10
対応する。すなわち、この種の平行平板型プラズマ装置では、上部電極 34 の中心部への投入電力（内側投入電力 P_i ）の比率を上げるほど、サセプタ 16 側では基板 W 近傍のプラズマ密度が高くなり、これによって（プラズマ密度と反比例する）サセプタ 16 側のバイアス周波数の V_{pp} が低くなるという関係がある。この関係から、可変コンデンサ 78 のバリコンステップ値（キャパシタンス C_{78} の値に比例する制御量）を可変して各ステップ値で得られる V_{pp} の測定値をプロットして得られる特性曲線 A'、B'（図 14）は、図 11 の特性曲線 A、B を上下にひっくり返したものにそれぞれ対応する。図 14 の特性曲線 B' から実証されるように、この実施例によれば、給電棒 76 の回りに導体部材 100 を設けることで、可変コンデンサ 78 による外側 / 内側投入電力バランス調整において内側投入電力投入電力 P_i の比率を共振領域の手前で可及的に高い値まで安定かつ精細に制御す
20
ることができる。

【0068】

この実施例における第 3 の特徴は、内側上部電極 38 とグランド電位との間に接続されるローパスフィルタ 92 に係るものである。図 15 A に示すように、この実施例におけるローパスフィルタ 92 は、可変抵抗器 93 とコイル 95 とを直列接続してなり、プラズマ生成用の高周波（60 MHz）を通さず、バイアス用の高周波（2 MHz）以下の交流周波数と直流とを通すように構成されている。このローパスフィルタ 92 によれば、可変抵抗器 93 の抵抗値 R_{93} を可変調整することによって、内側上部電極 38 の直流電位または自己バイアス電圧 V_{dc} を調整できる。

【0069】

より詳細には、図 16 に示すように、抵抗器 93 の抵抗値 R_{93} を小さくするほど、抵抗器 93 の電圧降下が小さくなり、負の直流電位 V_{dc} は上昇する（グランド電位に近づく）。逆に、抵抗器 93 の抵抗値 R_{93} を大きくするほど、抵抗器 93 の電圧降下が大きくなり、直流電位 V_{dc} は下がる。もっとも、直流電位 V_{dc} が高くなりすぎると（通常は -150 V よりも高くなると）、プラズマポテンシャルが上昇して、異常放電またはアーキングが発生する。一方、直流電位 V_{dc} が低くなりすぎると（通常は -450 V よりも低くなると）、内側上部電極 38 へのイオンのアタックが強くなって電極の消耗が早まる。別な見方をすれば、図 17 に示すように、直流電位 V_{dc} には上記のような異常放電および電極消耗のいずれも防止ないし抑制できる適性範囲（-450 V ~ -150 V）があり、この適性範囲に対応する抵抗値 R_{93} の範囲（ $R_a \sim R_b$ ）が存在する。したがって、抵抗器 93 側から抵抗値 R_{93} を上記範囲（ $R_a \sim R_b$ ）内に選定または調整することで、直流電位 V_{dc} を上記適性範囲（-450 V ~ -150 V）内に調整することができる。また、上部電極 34（外側上部電極 36 および内側上部電極 38）全体に印加する高周波電力の値によっても抵抗値 R_{93} の適性範囲（ $R_a \sim R_b$ ）が変わる。一例として、3000 W の高周波パワーに対して、下限抵抗値 $R_a =$ 約 1 M の実験結果が得られている。

【0070】

また、図 15 B に示すように、内側上部電極 38 を可変直流電源 97 を介してグランドに接地し、直流電位 V_{dc} を電源電圧によって直接的に制御することも可能である。可変直流電源 97 は、バイポーラ電源で構成するのが好ましい。

【0071】

10

20

30

40

50

この第2の実施例における第4の特徴は、上部電極34において、外側上部電極36の下面を内側上部電極38の下面よりも下方つまりサセプタ16側に突出させる構成である。図18に、この特徴部分の構成を拡大して示す。図示の例では、外側上部電極36を上部電極部材36Aと下部電極部材36Bとからなる上下2分割構造としている。本体の上部電極部材36Aは、たとえばアルマイト処理されたアルミニウムで構成され、給電筒50に接続される。交換部品の下部電極部材36Bは、たとえばシリコンで構成され、内側上部電極38の下面よりも所定値Hだけ突出した状態でボルト（図示せず）等により上部電極部材36Aに着脱可能に密着して固定される。両電極部材36A、36Bの間には、熱コンダクタンスを高めるための部材102として、シリコンラバーシート等が設けられる。また、両電極部材36A、36Bの接触面をテフロン（商品名）でコーティングすることで、熱抵抗を低くすることも可能である。

10

【0072】

外側上部電極36における突出部36Bの突出量Hおよび内径（直径）は、外側上部電極36ないし上部電極34よりプラズマ生成空間に与える電界の強度や方向等を規定し、ひいてはプラズマ密度の空間分布特性を左右する重要なファクタである。

【0073】

図19A～図19Eに、突出部36Bの突出量Hおよび内径（直径）をパラメータとする電子密度空間分布特性の一例（実験データ）を示す。この実験でもプラズマ吸収プローブ（PAP）を用いて半径方向の各位置における電子密度を測定した。ただし、半導体ウエハの口径を300mmとしている。主たるパラメータ、Hは、図19Aの実験例では $\phi = 329\text{ mm}$ 、 $H = 15\text{ mm}$ 、図19Bの実験例では $\phi = 329\text{ mm}$ 、 $H = 20\text{ mm}$ 、図19Cの実験例では $\phi = 339\text{ mm}$ 、 $H = 20\text{ mm}$ 、図19Dの実験例では $\phi = 349\text{ mm}$ 、 $H = 20\text{ mm}$ 、図19Eの実験例では $\phi = 359\text{ mm}$ 、 $H = 25\text{ mm}$ である。また、副次的なパラメータとして、内側投入電力 P_i と外側投入電力 P_o の比率 P_i / P_o （RFパワー比）を（30 / 70）、（27 / 73）、（20 / 80）、（14 / 86）の4通りに選んでいる。

20

【0074】

図19A～図19Eの実験データから、電子密度の急激にドロップする変曲点Fが、外側上部電極36における突出部36Bの内径（直径）を大きくするほど半径方向外側へ移動し、突出部36Bの突出量Hを大きくするほど上がるのがわかる。理想的な特性は、変曲点Fがウエハエッジ位置（150mm位置）の真上に位置し、かつ中心部側とのフラットな関係を高い位置で維持している分布特性である。その点では、図19Dの特性（ $\phi = 349\text{ mm}$ 、 $H = 20\text{ mm}$ ）、特にRFパワー比 P_i / P_o を30 / 70に選んだ場合の特性が最も理想値に近いといえる。

30

【0075】

図20Aに、 ϕ 、Hを二次元パラメータとする電子密度空間分布のトータル均一性 U_T およびエッジ均一性 U_E の特性を示す。ここで、トータル均一性 U_T とは、図20Bに示すように、ウエハ中心位置（ R_0 ）からウエハエッジ位置（ R_{150} ）までの半径方向全区間の面内均一性である。また、エッジ均一性 U_E は、ウエハエッジ付近の領域たとえば半径130mmの位置（ R_{130} ）からウエハエッジ位置（ R_{150} ）までの区間における面内均一性である。

40

【0076】

図20Aの特性から、突出部36Bの突出量Hはトータル均一性 U_T を大きく左右し、エッジ均一性 U_E に対しても大きな影響力を有することがわかる。一方、突出部36Bの内径（直径）は、エッジ均一性 U_E に対して作用するものの、トータル均一性 U_T には殆ど影響しないことがわかる。総じて、突出部36Bの突出量Hは、25mm以下とするのが好ましく、特に20mm付近に選ぶのが最も好ましいといえる。また、突出部36Bの内径（直径）は、348mm～360mmの範囲内に選ぶのが好ましく、特に349mm付近に選ぶのが最も好ましいといえる。なお、 $\phi = 348\text{ mm} \sim 360\text{ mm}$ は、突出部36Bがウエハのエッジよりも半径方向外側に24mm～30mm離れた位置に配置される

50

ことを意味する。重要なことは、外側上部電極 36 の突出部 36B は、プラズマ生成空間に対して周辺側から半径方向内向きの電界を与えることによりプラズマを閉じ込める作用を奏する点であり、このことからプラズマ密度空間分布特性の均一性を図るにはウエハのエッジよりも半径方向外側に位置することが必須といえるほど望ましい。一方で、突出部 36B の径方向の幅サイズは重要ではなく、任意の幅サイズに選んでよい。

【実施例 3】

【0077】

図 21 に、第 3 の実施例における特徴部分の構成を示す。特徴以外の部分は、上記第 2 の実施例のものと同じでよい。この第 3 の実施例の特徴は、上記第 2 の実施例における外側上部電極 36 の突出部 36B 回りにシールド部材 104 を設ける構成である。

10

【0078】

このシールド部材 104 は、たとえば表面をアルマイト処理されたアルミニウム板からなり、処理容器 10 の側壁に物理的かつ電氣的に結合され、容器側壁から外側上部電極 36 の突出部 36B の下までほぼ水平に延びており、突出部 36B およびリング形遮蔽部材 42 の下面を非接触または絶縁状態で覆っている。外側上部電極 36 の下部電極部材 36B は断面 L 形に構成され、外周側の部分が垂直下方に延びて突出部を形成している。この突出部の突出量 H および内径 は上記第 2 実施例と同様の数値条件で選ばれてよい。

【0079】

シールド部材 104 の機能は、外側上部電極 36 の突出部 36B の下面およびリング形遮蔽部材 42 の下面からの高周波放電を遮断また封印して、その直下におけるプラズマ生成を抑制することである。これにより、一次的にはプラズマをウエハ直上に閉じ込める効果を一層高めることができる。

20

【0080】

図 22A および図 22B に、シールド部材 104 によるプラズマ閉じ込め効果の実証例（実験データ）を示す。シールド部材 104 を設けない場合は、図 22B に示すように、半径方向においてプラズマ電子密度がウエハエッジ位置（150mm）の外側でいったんドロップしてから再び上昇して山を形成している。これは、外側上部電極 36 の突出部 36B の下面およびリング形遮蔽部材 42 の下面から垂直下方に高周波電力が放出されることにより、その直下でもプラズマが生成され、電子やイオンが存在しているためである。このように、ウエハエッジ位置より径方向外側に相当離れた空間内に相当量のプラズマが存在することにより、そのぶんウエハ直上のプラズマ密度が薄められている。

30

【0081】

これに対して、この実施例のようにシールド部材 104 を設けた場合は、図 22A に示すように、電子密度（プラズマ密度）はウエハエッジ位置（150mm）の外側では半径方向外側に向って実質的に単調減少し、逆にウエハ直上では全体的に増大している。これは、シールド部材 104 の存在により、外側上部電極 36 の突出部 36B の下面およびリング形遮蔽部材 42 の下面が高周波の通り路ではなくなり、その直下でのプラズマ生成が大幅に減少するためである。また、高周波電源 52 の RF パワーを大きくするほど、シールド部材 104 によるプラズマ閉じ込め効果なしプラズマ拡散防止効果も大きくなること

40

【0082】

さらに、二次的効果として、上記のようにシールド部材 104 によりウエハエッジ位置の外側でプラズマ生成を大幅に弱められることにより、その付近でのラジカルやイオン等のエッチング種も少なくし、不所望な重合膜が容器内の各部（特にシールド部材 104 付近）に付着するのを効果的に防止することができる。たとえば、従来より、Low-k 膜（低誘電率層間絶縁膜）のエッチング加工では、プラズマエッチングの後に同一チャンバ内で O_2 ガスを用いてアッシング（レジスト除去）を行う際、先のプラズマエッチングで容器内にポリマーの形態で付着していた反応種（たとえば CF、F 等）がプラズマ中の活性な酸素原子により誘起されて Low-k 膜のピアホールをボーイング形状に削ったり膜内に侵入して k 値を変える等のダメージ（Low-k ダメージ）を生ずることがあった。しかし、この

50

実施例によれば、プラズマエッチングにおける反応種の不所望な堆積をシールド部材 104 で効果的に抑止できるため、上記のようなLow-kダメージの問題も解決することができる。なお、シールド部材 104 は、任意の導電材または半導体（たとえばシリコン）を材質とすることが可能であり、異なる材質を組み合わせる構成してもよい。

【0083】

図 21 では、上部電極 34 (36, 38) に冷媒通路 106, 108 を設ける構成も示している。これらの冷媒通路 106, 108 にはそれぞれ配管 110, 112 を介してチラー装置（図示せず）より温調された冷却媒体が循環供給される。外側上部電極 36 においては、上部電極部材 36A に冷媒通路 106 が設けられる。下部電極部材 36B は、熱コンダクタンスを高めるコーティングまたはシート 102 によって上部電極部材 36A に結合されているため、冷却機構による冷却を効果的に受けることができる。

【0084】

なお、高周波電源 52, 90 をオフにしている間も、各電極には冷媒が供給される。従来より、この種のプラズマ処理装置において、たとえばガルデン等の絶縁性の冷媒を使用する場合は、冷媒が冷媒通路を流れる際に摩擦で発生する静電気によって電極が異常な高電圧状態となり、高周波電源オフ中のメンテナンス等で人の手が触れると感電するおそれがあった。しかし、本発明のプラズマ処理装置においては、ローパスフィルタ 92（図 8）内の抵抗器 93 を通して内側上部電極 38 に発生した静電気をグランドに逃がすことが可能であり、感電の危険性を防止できる。

【実施例 4】

【0085】

上記第 3 の実施例におけるプラズマエッチング装置（図 8、図 21）を使用し、シリコン酸化膜（ SiO_2 ）に開口径（ ϕ ）0.22 μm の孔を形成するエッチングにおいて、外側上部電極 36 および内側上部電極 38 に対する RF 電力の投入比率（ P_i / P_o ）をパラメータにしてエッチング特性（特にエッチングレート）を実験で評価した。他のエッチング条件は下記のとおりであり、図 23 ~ 図 25 に実験結果のデータを示す。

ウエハ口径 = 300 mm

チャンバ内の圧力 = 20 mTorr

温度（上部電極 / チャンバ側壁 / 下部電極）= 20 / 60 / 60 °C

伝熱ガス（Heガス）供給圧力（センター部 / エッジ部）= 20 / 35 Torr

上部及び下部電極間距離 = 45 mm

外側上部電極の突出量（H）= 15 mm

プロセスガス（ C_5F_8 / CH_2F_2 / N_2 / Ar / O_2 ） 10 / 20 / 110 / 560 / 10 sccm

高周波電力（60 MHz / 2 MHz） 2300 W / 3500 W

エッチング時間 = 120 秒

【0086】

図 23 に示すように、内側投入電力 P_i の比率を 14%、18%、30% と上げていくと、電子密度つまりプラズマ密度は、ウエハ中心部付近では P_i の比率に比例して高くなる一方で、ウエハエッジ部付近ではそれほど変わらない。このことから、RF 電力の投入比率（ P_i / P_o ）を可変することで、径方向におけるプラズマ密度の空間分布特性を制御できることがわかる。

【0087】

図 24 は、RF 電力の投入比率（ P_i / P_o ）を可変したときにラジカル密度の受ける影響をみるために、ラジカル密度と比例関係にある反応生成物や反応種で形成される重合膜の堆積速度を半径方向の各位置で測定した結果を示す。なお、重合膜を堆積させるサンプル基板にベアシリコンウエハを用いた。図 24 の実験データから、RF 電力の投入比率（ P_i / P_o ）を可変しても、重合膜の堆積速度つまりラジカル密度の空間分布特性に与える影響は非常に少ないことが確認された。

【0088】

図25は、上記SiO₂のエッチングにおいてウエハ上の半径方向の各位置で測定したエッチング深さを示す。図示のように、内側投入電力P_iの比率を14%、18%、30%と上げていくと、エッチング深さは、ウエハ中心部付近ではP_iの比率に比例して大きくなる一方で、ウエハエッジ部付近ではそれほど変わらない。つまり、電子密度(図24)と同様の傾向を示す。

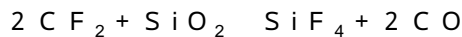
【0089】

このように、図23～図25の実験データから、本発明においては、外側上部電極36および内側上部電極38に対するRF電力の投入比率(P_i/P_o)を可変することで、ラジカル密度の空間分布特性に実質的な影響を及ぼすことなく、つまりラジカル密度の空間分布制御から独立して、径方向におけるプラズマ密度の空間分布を制御し、それによってエッチング深さつまりエッチングレートの均一性を改善できることが確認された。なお、上記第1または第2の実施例におけるプラズマエッチング装置(図1、図8、図18)を使用しても、上記と同様の実験結果が得られることは明らかである。

【実施例5】

【0090】

上記第3の実施例のプラズマエッチング装置(図8、図21)でCF系の処理ガスを使用するシリコン酸化膜(SiO₂)のエッチングにおいて、中心シャワーヘッド(62, 56a)より噴射される処理ガスの流量F_Cと周辺シャワーヘッド(64, 56a)より噴射される処理ガスの流量F_Eとの比率(F_C/F_E)をパラメータにして、各ラジカルまたは各反応生成物の分布をシミュレーションで評価した。このシミュレーションでは、ウエハ表面では反応が起こらず反応生成物や反応種の吸着も生じないものとし、ブランケットSiO₂膜上で単純に下記の反応が起きているものと仮定した。



【0091】

他の主なエッチング条件は下記のとおりであり、図26～図30に各ラジカルまたは各反応生成物についてのシミュレーション結果を示す。図31には、主エッチングガス(C₄F₈)の分子から段階的な解離によって生成されるラジカルの種類と発生率(括弧内%数字)を示している。

ウエハ口径 = 200 mm

チャンバ内の圧力 = 50 mTorr

温度(上部電極/チャンバ側壁/下部電極) = 20/60/60 °C

伝熱ガス(Heガス)供給圧力(センター部/エッジ部) = 10/35 Torr

上部及び下部電極間距離 = 30 mm

外側上部電極の突出量(H) = 15 mm

プロセスガス(C₄F₈/N₂/Ar) = 5/120/1000 sccm

高周波電力(60 MHz/2 MHz) = 1200 W/1700 W

【0092】

図26に示すように、主たる反応種であるCF₂の密度分布特性は、中心/周辺ガス流量比率(F_C/F_E)に大きく左右される。すなわち、中心ガス流量F_Cの比率を上げるほどウエハ中心部付近のCF₂密度は高くなる一方で、ウエハエッジ部付近のCF₂密度は殆ど変わらない。図28に示すように、COラジカルの密度分布特性も中心/周辺ガス流量比率(F_C/F_E)に対して同様の变化を示す。もっとも、図27に示すように、Arラジカルの密度分布特性は中心/周辺ガス流量比率(F_C/F_E)に対して殆ど変化しない。

【0093】

反応生成物についてみると、図29および図30に示すように、SiF₄密度およびCO密度のいずれも中心/周辺ガス流量比率(F_C/F_E)に大きく左右される。より詳細には、中心ガス流量F_Cの比率を下げるほどウエハ中心部付近のSiF₄、COの密度は高くなる一方で、ウエハエッジ部付近では殆ど変わらない。中心ガス流量F_Cと周辺ガス流量F_Eを同じ(F_C/F_E = 50/50)にしても、ウエハ中心部付近の方がウエハエッジ部付近よりも高くなる。このように中心部側に反応生成物が溜まりやすいのは、上方からの新鮮

なガス流で反応生成物が側方へ押しのけられる作用が周辺部よりも弱いためである。ウエハ上で反応生成物が不均一に分布すると、各位置の処理ガス供給率や化学反応の均一性に影響するだけでなく、エッチング形状や選択性等が直接影響を受けることもある。この実施例では、図29および図30からわかるように、中心ガス流量 F_C を周辺ガス流量 F_E よりも多めに（図示の例では $F_C / F_E = 70 / 30$ 近辺に）設定することで、反応生成物の空間密度分布を均一化することができた。なお、上記第1または第2の実施例におけるプラズマエッチング装置（図1、図8、図18）を使用しても、上記と同様のシミュレーション結果が得られる。

【実施例6】

【0094】

上記第3の実施例のプラズマエッチング装置（図8、図21）を使用し、BARC（反射防止膜）のエッチングにおいて中心／周辺ガス流量比率（ F_C / F_E ）をパラメータにしてエッチング形状と選択性を評価した。図32Aに評価サンプルを示す。マスク開口径（ ϕ ） $0.12\ \mu\text{m}$ 、フォトレジストの膜厚 $350\ \text{nm}$ 、BARCの膜厚 $80\ \text{nm}$ 、 SiO_2 の膜厚 $700\ \text{nm}$ であり、選択性の評価項目として「オキサイドロス」と「レジスト残量」を測定し、エッチング形状または寸法精度の評価項目として「ボトムCD」を測定した。図32Bに $F_C / F_E = 50 / 50$ に設定したときの各評価項目の測定値を示し、図32Cに $F_C / F_E = 70 / 30$ に設定したときの各評価項目の測定値を示す。測定ポイントの「センター」はウエハの中心点の位置であり、「エッジ」はウエハのノッチ端から中心点に向かって $5\ \text{mm}$ の位置である。主なエッチング条件は下記のとおりである。

ウエハ口径 = $300\ \text{mm}$

チャンバ内の圧力 = $150\ \text{mTorr}$

伝熱ガス（Heガス）供給圧力（センター部／エッジ部） = $10 / 25\ \text{Torr}$

上部及び下部電極間距離 = $30\ \text{mm}$

外側上部電極の突出量（H） = $15\ \text{mm}$

プロセスガス（ CF_4 ） $200\ \text{sccm}$

高周波電力（ $60\ \text{MHz} / 2\ \text{MHz}$ ） $500\ \text{W} / 600\ \text{W}$

エッチング時間 = $30\ \text{秒}$

【0095】

このBARCエッチングの評価項目において、「オキサイドロス」はBARCエッチングの延長として下地膜の SiO_2 を削った深さであり、この値は小さいほど好ましいが、それ以上にウエハ上のばらつき（特にセンターとエッジ間のばらつき）が小さいほど好ましい。「レジスト残量」はエッチングの終了後に残っているフォトレジストの厚さであり、この値は大きいほど好ましく、やはりばらつきが小さいほど好ましい。「ボトムCD」はBARCに形成された孔の底の直径であり、この値はマスク径に近いほど好ましいが、やはりばらつきが小さいほど好ましい。

【0096】

図32Bに示すように、中心ガス流量 F_C と周辺ガス流量 F_E とを同量（ $5 : 5$ ）に設定したときは、全ての評価項目において、センターとエッジ間のばらつきが大きく、特に「レジスト残量」のばらつきが大きい。これに対して、中心ガス流量 F_C を周辺ガス流量 F_E よりも多め（ $7 : 3$ ）に設定した場合は、図32Cに示すように、全ての評価項目が良好な値で均一に安定し、選択性およびエッチング形状が著しく改善されている。

【0097】

このように、処理容器10内で、特に上部電極34と下部電極16との間に設定されたプラズマ生成空間において、上部電極34の内側上部電極38に設けられた中心シャワーヘッド（62, 56a）より噴射される処理ガスの流量 F_C と周辺シャワーヘッド（64, 56a）より噴射される処理ガスの流量 F_E との比率（ F_C / F_E ）を調整することで、ラジカル密度の空間分布を制御し、ラジカルベースによるエッチング特性（選択性、エッチング形状等）の均一化を達成することができる。なお、上記第1または第2の実施例におけるプラズマエッチング装置（図1、図8、図18）を使用しても、上記と同様の測定

10

20

30

40

50

結果が得られる。

【実施例 7】

【0098】

上記第3の実施例のプラズマエッチング装置(図8、図21)を使用し、 SiO_2 膜のエッチングにおいて中心/周辺ガス流量比率(F_C/F_E)をパラメータにしてエッチング形状を評価した。図33Aに評価サンプルを示す。マスク開口径() $0.22\mu\text{m}$ 、フォトレジストの膜厚 500nm 、BARCの膜厚 100nm 、 SiO_2 の膜厚 $1\mu\text{m}$ であり、エッチング形状の評価項目として「エッチング深さ」、「トップCD」、「ボトムCD」を測定した。図33Bに $F_C/F_E = 50/50$ に設定したときの各評価項目の測定値を示し、図33Cに $F_C/F_E = 10/90$ に設定したときの各評価項目の測定値を示す。主なエッチング条件は下記のとおりである。

ウエハ口径 = 300mm

チャンバ内の圧力 = 20mTorr

温度(上部電極/チャンバ側壁/下部電極) = $20/60/60^\circ\text{C}$

伝熱ガス(Heガス)供給圧力(センター部/エッジ部) = $20/35\text{Torr}$

上部及び下部電極間距離 = 45mm

外側上部電極の突出量(H) = 15mm

プロセスガス($\text{C}_5\text{F}_8/\text{CH}_2\text{F}_2/\text{N}_2/\text{Ar}/\text{O}_2$) $10/20/110/560/10\text{sccm}$

高周波電力($60\text{MHz}/2\text{MHz}$) $2300\text{W}/3500\text{W}$

RFパワー比(内側投入電力 P_i /外側投入電力 P_o) = $30:70$

エッチング時間 = 120秒

【0099】

この SiO_2 エッチングの評価項目において、「エッチング深さ」は、エッチング時間(120秒)の間に SiO_2 膜に形成された孔の深さであり、エッチング速度に相当する。「トップCD」および「ボトムCD」は、 SiO_2 膜に形成された孔の上端および下端(底)の直径であり、両者の値が近いほど垂直形状性(異方性)にすぐれている。もちろん、いずれの評価項目も、「センター」と「エッジ」との間でばらつきが小さいほど好ましい。

【0100】

図33Bに示すように、中心ガス流量 F_C と周辺ガス流量 F_E とを同量($5:5$)に設定したときは、「エッチング深さ」のばらつきがあるだけでなく各位置でボトムCD/トップCD比が小さくテーパ化の傾向が大きい。これに対して、中心ガス流量 F_C を周辺ガス流量 F_E よりも少なめ($1:9$)に設定した場合は、図33Cに示すように、「エッチング深さ」つまりエッチング速度が均一化されるとともに、垂直形状性の向上と均一化も図れた。

【0101】

このように、この実施例でも、内側ガス流量 F_C と外側ガス流量 F_E の比率(F_C/F_E)を調整することで、ラジカル密度の空間分布を制御し、ラジカルベースによるエッチング特性(特にエッチング形状)の均一化を達成できることが確認された。なお、上記第1または第2の実施例におけるプラズマエッチング装置(図1、図8、図18)を使用しても、上記と同様の測定結果が得られる。

【0102】

上記のように、処理容器10内に設定されたプラズマ生成空間においてプラズマ密度分布の制御とラジカル密度分布の制御とを独立に行える。このことにより、たとえば図34のマップに示すように多種多様なプラズマ処理のアプリケーションに2系統の独立制御で好適に対応することができる。

【0103】

以上に述べた実施の形態および実施例は、本発明の技術思想に基づいて種々の変形が可能である。

【0104】

10

20

30

40

50

たとえば、第1の高周波電源52からの高周波を整合器44や給電筒50等を介して外側上部電極36だけに供給し、内側上部電極38には供給しない構成も可能である。その場合でも、内側上部電極38はシャワーヘッドとして機能したり、第2の高周波電源90からの高周波をグラウンドへ流すための電極として機能することができる。あるいは、内側上部電極38を電極機能を有しない専用のシャワーヘッドに置き換えることも可能である。また、上記した実施形態では外側上部電極36を1つまたは単体のリング状電極で構成したが、全体でリング状に配置される複数の電極で構成することも可能である。また、外側上部電極36の内径を非常に小さくする構成や、外側上部電極36を円盤形状に構成することも可能である。また、第2の高周波電源90を省くことができる。本発明は、プラズマエッチングに限らず、プラズマCVD、プラズマ酸化、プラズマ窒化、スパッタリングなど種々のプラズマ処理に適用可能である。また、本発明における被処理基板は半導体ウエハに限るものではなく、フラットパネルディスプレイ用の各種基板や、フォトマスク、CD基板、プリント基板等も可能である。

【図面の簡単な説明】

【0105】

【図1】本発明の第1の実施例におけるプラズマエッチング装置の構成を示す縦断面図である。

【図2】図1のプラズマエッチング装置の要部の構成を示す部分拡大断面図である。

【図3】実施例におけるプラズマ生成手段の要部の等価回路を示す回路図である。

【図4】実施例における電界強度バランス調整機能による電界強度（相対値）分布特性を示す図である。

【図5】実施例における電界強度バランス調整機能による電界強度比率特性を示す図である。

【図6】実施例における電子密度の空間分布特性を示す図である。

【図7】実施例におけるエッチングレートの空間分布特性を示す図である。

【図8】第2の実施例におけるプラズマエッチング装置の構成を示す縦断面図である。

【図9】実施例におけるエッチングレートの空間分布特性を示す図である。

【図10】実施例におけるエッチングレートの空間分布特性を示す図である。

【図11】実施例における可変キャパシタンス - 内側投入電力特性を示す図である。

【図12】実施例におけるプラズマ生成用の高周波給電回路の等価回路を示す回路図である。

【図13】実施例において上部給電棒の回りに設けられる導体部材の作用を示す図である。

【図14】実施例で得られる可変キャパシタンス - ボトム自己バイアス電圧特性を示す図である。

【図15】実施例におけるローパスフィルタの回路構成を示す図である。

【図16】実施例におけるローパスフィルタ内の抵抗の作用を示す図である。

【図17】実施例におけるローパスフィルタ内の抵抗値の最適範囲を示す図である。

【図18】第3の実施例におけるプラズマエッチング装置の要部の構成を示す縦断面図である。

【図19】実施例における上部電極突出部の内径および突出量をパラメータとする電子密度空間分布特性を示す図である。

【図20】実施例における上部電極突出部の内径および突出量を二次元パラメータとする電子密度均一性の特性曲線を示す図である。

【図21】第4の実施例におけるプラズマエッチング装置の要部の構成を示す縦断面図である。

【図22】実施例におけるシールド部材の作用を実証するための電子密度の空間分布特性を示す図である。

【図23】実施例において内側 / 外側投入パワー比をパラメータとする電子密度の空間分布特性を示す図である。

【図 2 4】実施例において内側 / 外側投入パワー比をパラメータとする重合膜堆積速度の空間分布特性を示す図である。

【図 2 5】実施例において内側 / 外側投入パワー比をパラメータとするエッチング深さの空間分布特性を示す図である。

【図 2 6】実施例において中心 / 周辺ガス流量比をパラメータとする CF_2 ラジカル密度の空間分布特性を示す図である。

【図 2 7】実施例において中心 / 周辺ガス流量比をパラメータとする Ar ラジカル密度の空間分布特性を示す図である。

【図 2 8】実施例において中心 / 周辺ガス流量比をパラメータとする N_2 ラジカル密度の空間分布特性を示す図である。

10

【図 2 9】実施例において中心 / 周辺ガス流量比をパラメータとする SiF_4 反応生成物の空間分布特性を示す図である。

【図 3 0】実施例において中心 / 周辺ガス流量比をパラメータとする CO 反応生成物の空間分布特性を示す図である。

【図 3 1】実施例のシミュレーションにおけるラジカル生成（解離）の仕組みを示す図である。

【図 3 2】実施例における BARC エッチングの評価モデルおよび測定データを示す図である。

【図 3 3】実施例における SiO_2 エッチングの評価モデルおよび測定データを示す図である。

20

【図 3 4】プラズマ密度分布およびラジカル密度分布の 2 系統独立制御の適用例をマップ形式で示す図である。

【符号の説明】

【 0 1 0 6 】

1 0 チャンバ（処理容器）

1 6 サセプタ（下部電極）

3 4 上部電極

3 6 外側上部電極

3 6 A 上部電極部材

3 6 B 下部電極部材

30

3 8 内側上部電極

4 0 誘電体

4 4 整合器

4 8 コネクタ

5 0 給電筒

5 2 第 1 の高周波電源

5 6 電極板

5 8 電極支持板

6 0 環状隔壁部材

6 2 中心ガス導入室

40

(6 2 , 5 6 a) 中心シャワーヘッド

6 4 周辺ガス導入室

(6 4 , 5 6 a) 周辺シャワーヘッド

6 6 処理ガス供給源

6 8 ガス供給管

7 0 a , 7 0 b 流量制御弁

8 4 排気装置

9 0 第 2 の高周波電源

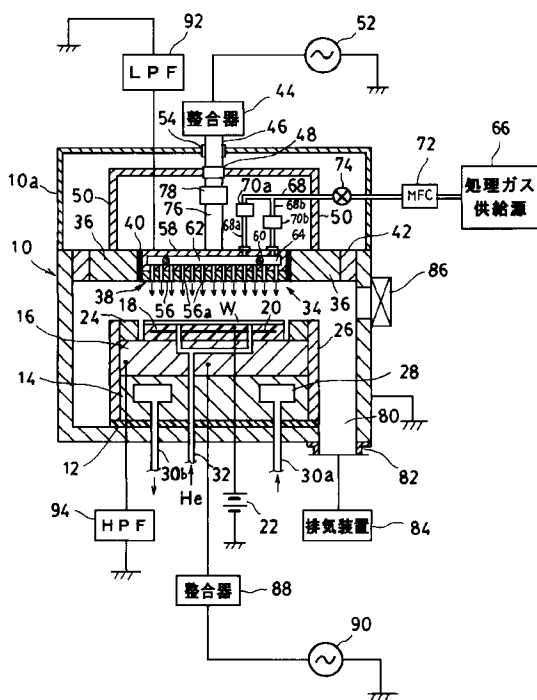
9 2 ローパスフィルタ

9 3 可変抵抗器

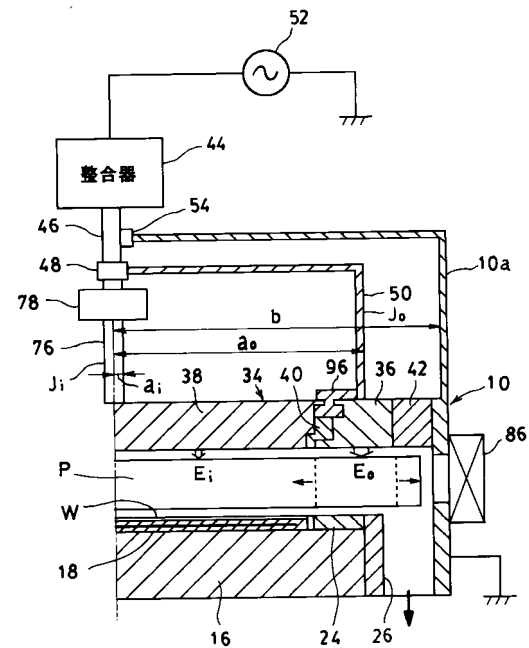
50

- 9 4 ハイパスフィルタ
 1 0 0 導体部材
 1 0 2 シールド部材

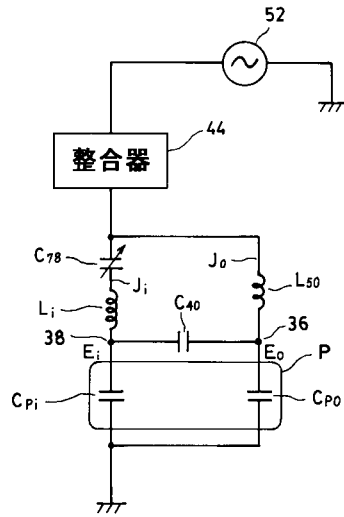
【図 1】



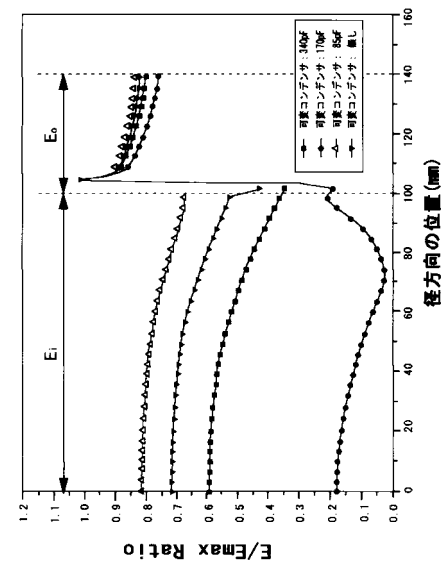
【図 2】



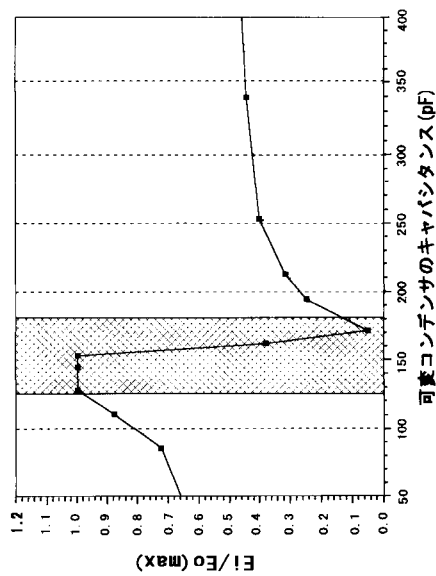
【図 3】



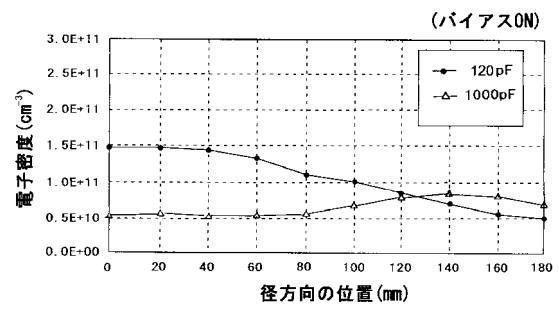
【図 4】



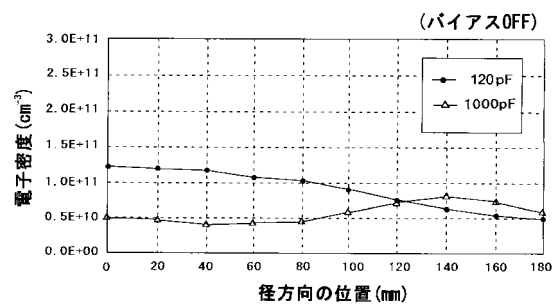
【図 5】



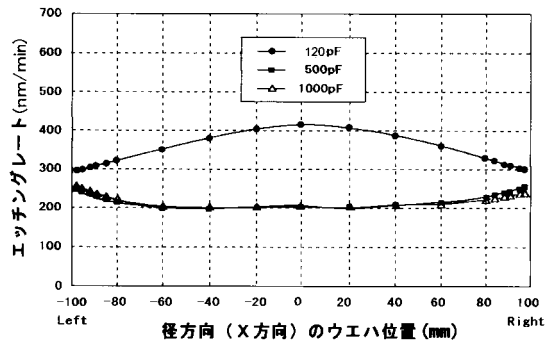
【図 6 A】



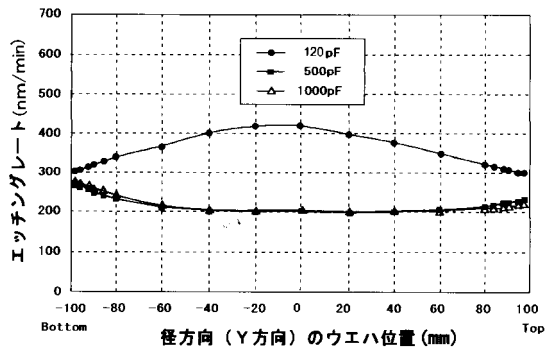
【図 6 B】



【図 7 A】

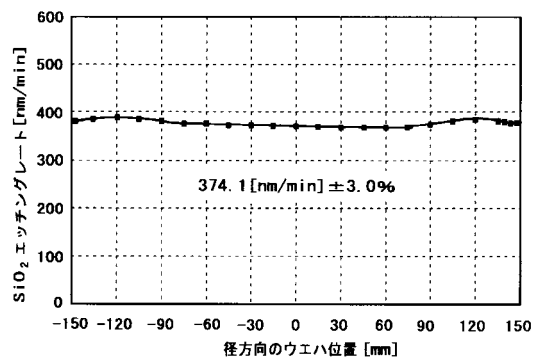


【図 7 B】



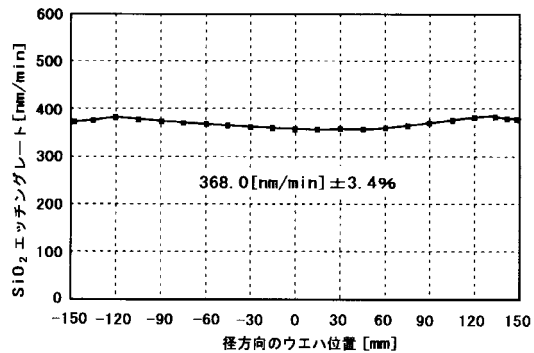
【図 9 A】

アルミニウム鋳物製の給電筒

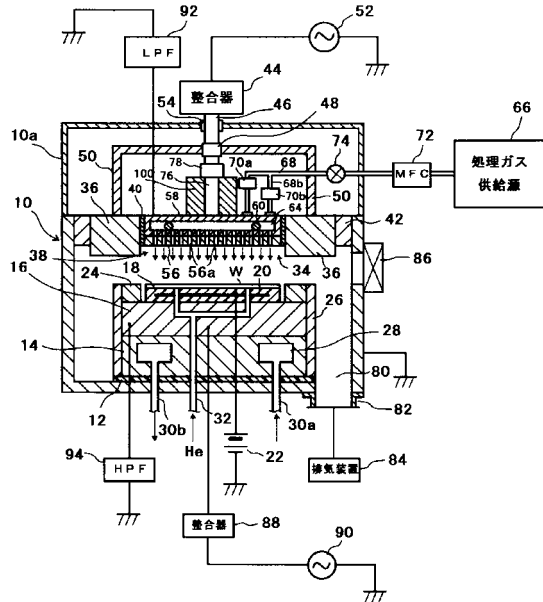


【図 9 B】

アルミニウム板製の給電筒

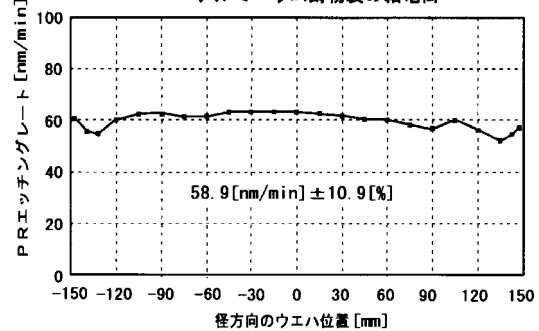


【図 8】



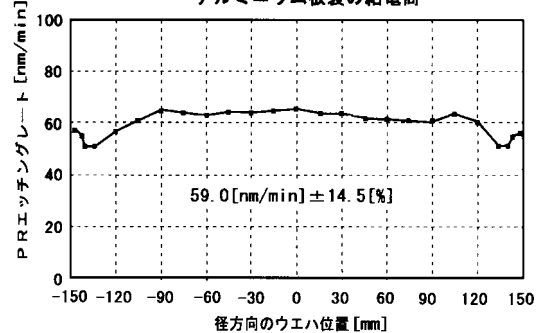
【図 10 A】

アルミニウム鋳物製の給電筒

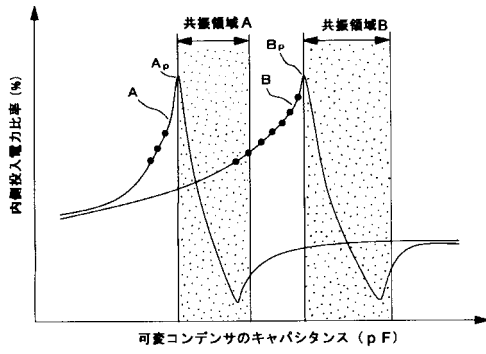


【図 10 B】

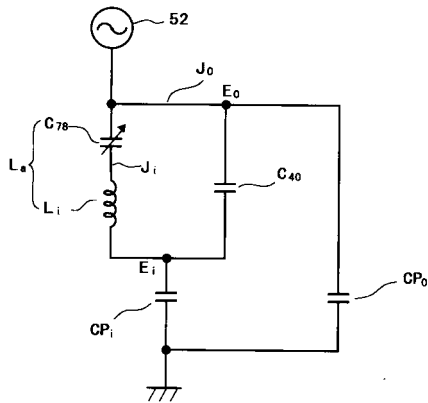
アルミニウム板製の給電筒



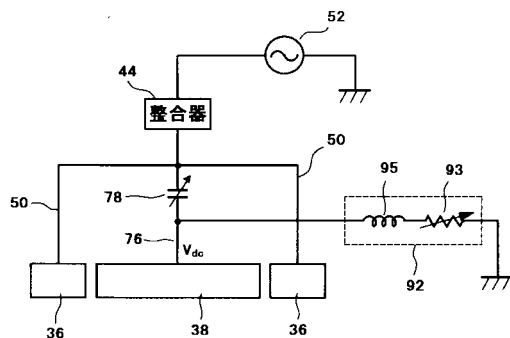
【図 1 1】



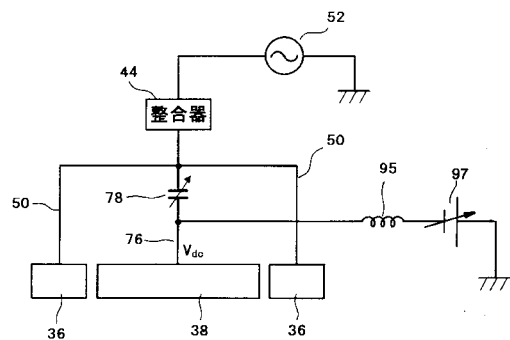
【図 1 2】



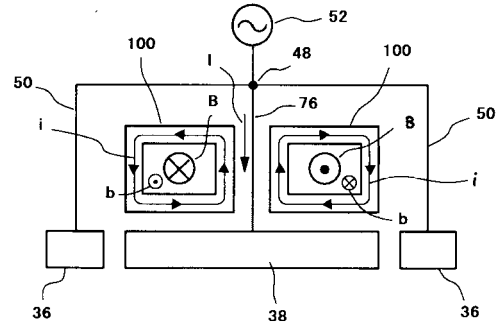
【図 1 5 A】



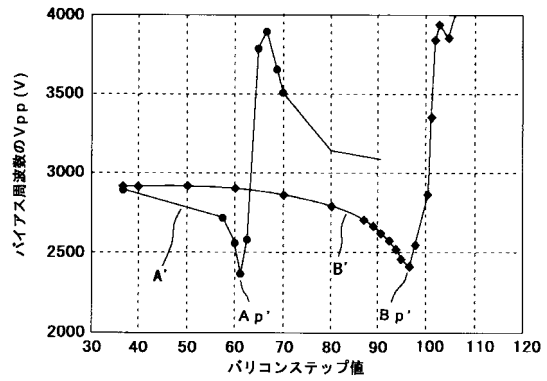
【図 1 5 B】



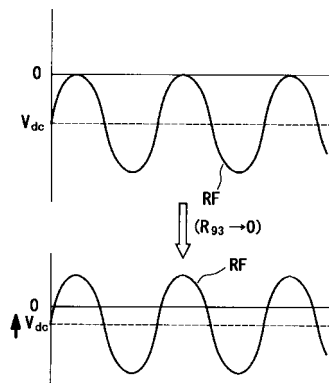
【図 1 3】



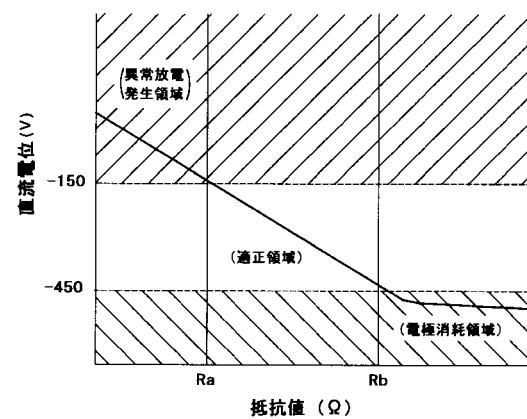
【図 1 4】



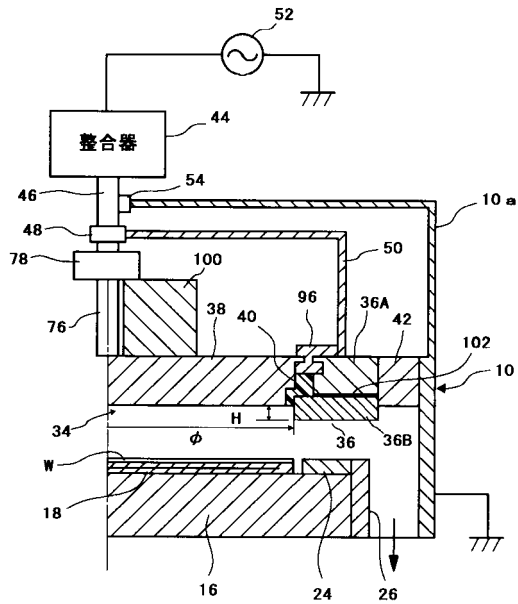
【図 1 6】



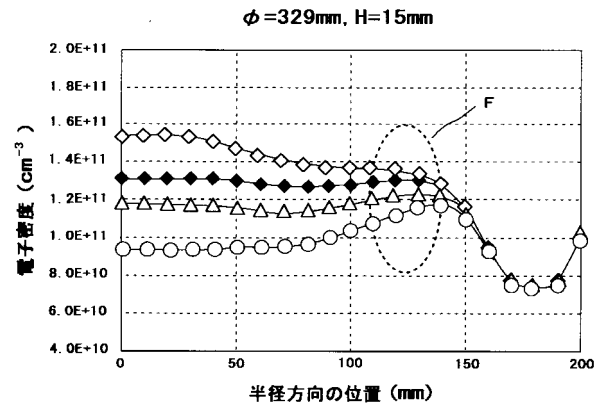
【図 1 7】



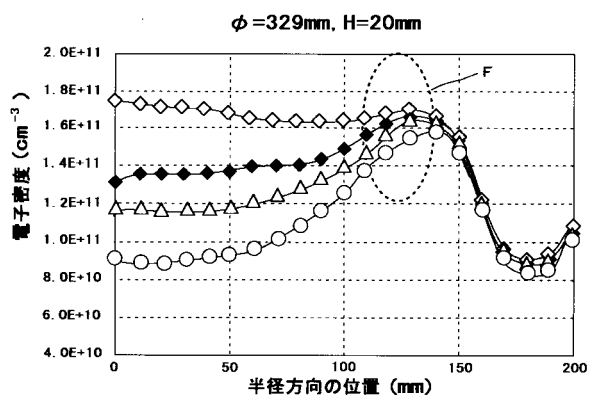
【図18】



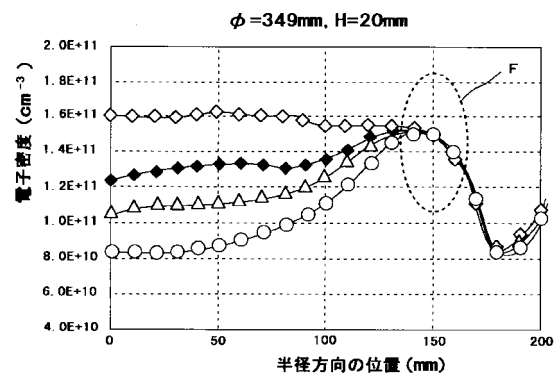
【図19A】



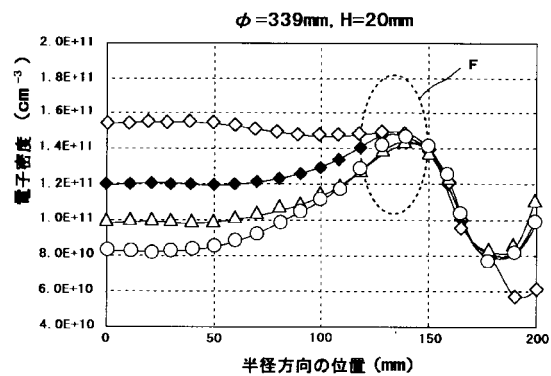
【図19B】



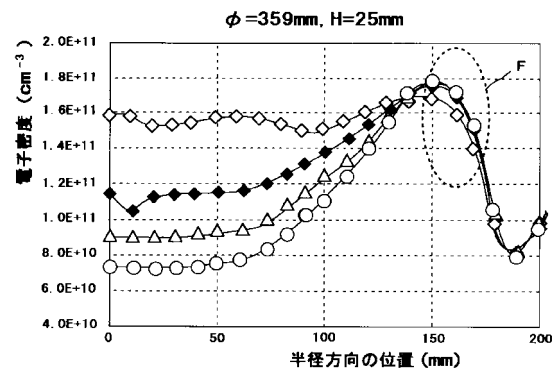
【図19D】



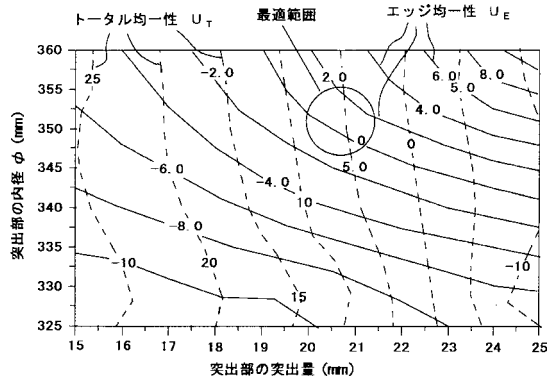
【図19C】



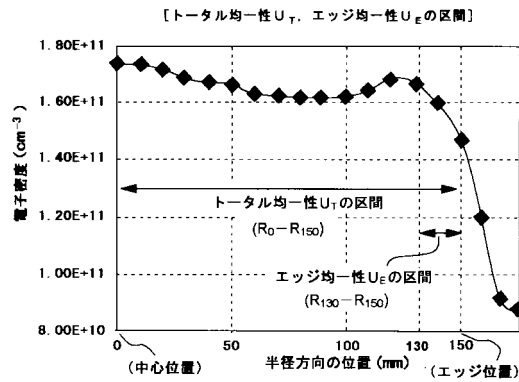
【図19E】



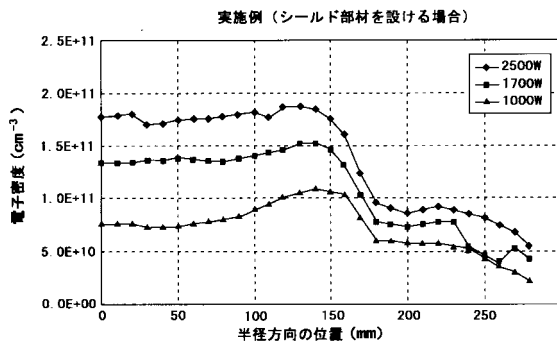
【図20A】



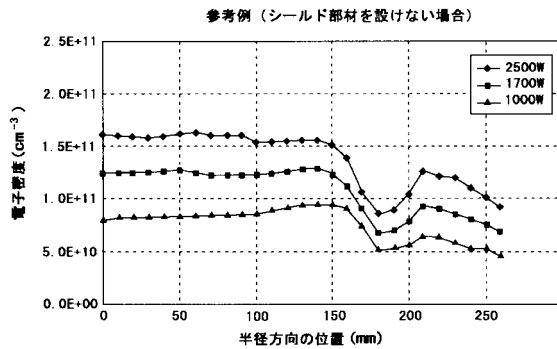
【図20B】



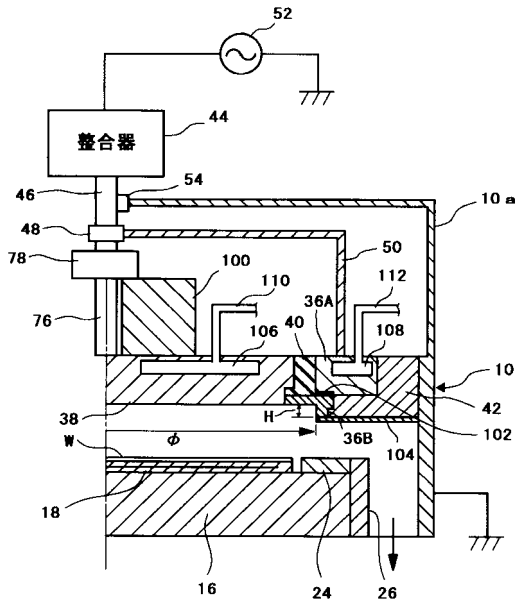
【図22A】



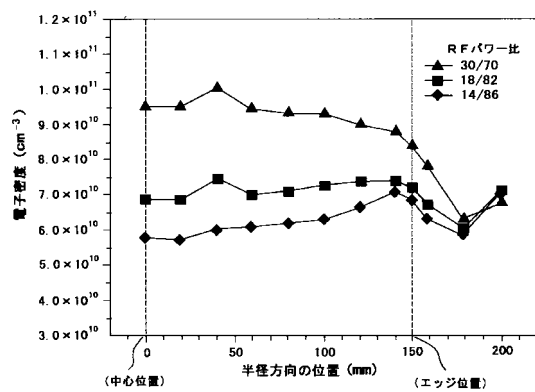
【図22B】



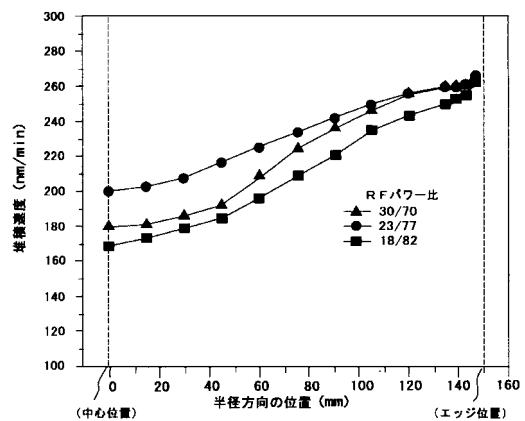
【図21】



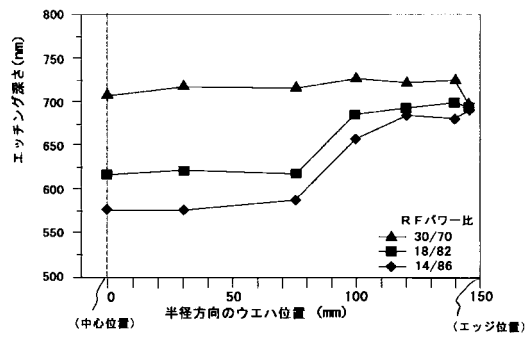
【図23】



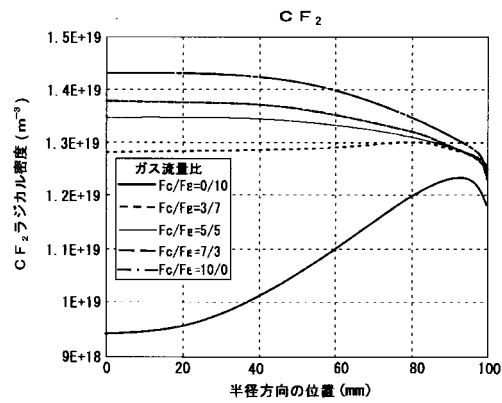
【図24】



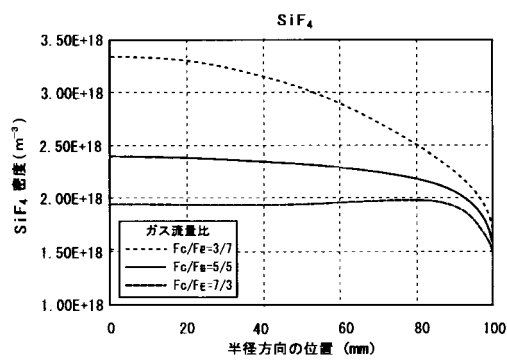
【図 25】



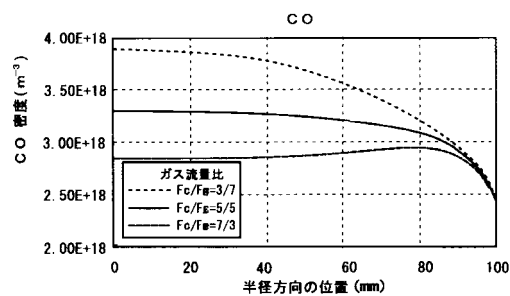
【図 26】



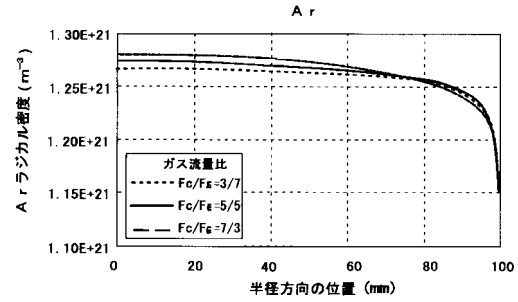
【図 29】



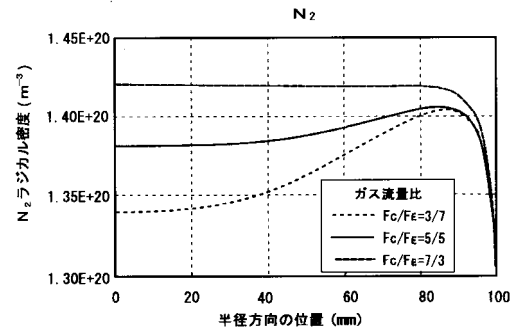
【図 30】



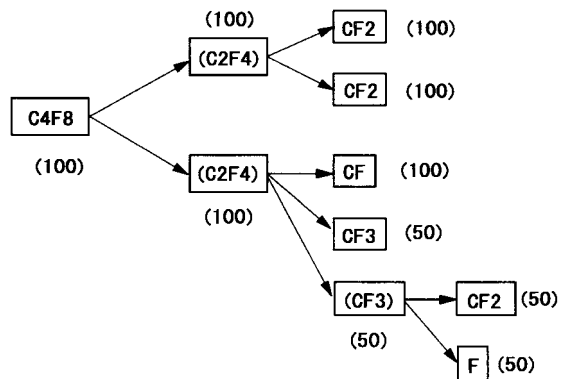
【図 27】



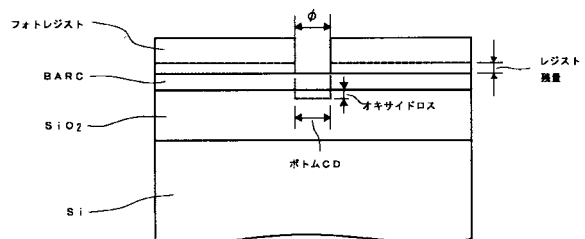
【図 28】



【図 31】



【図 32 A】



【図 3 2 B】

$$F_c/F_E = 50/50$$

	オキサイド ロス (nm)	ボトムCD (nm)	レジスト 残量 (nm)
センター	45.2	127.4	123.3
エッジ	39	199	216

【図 3 2 C】

$$F_c/F_E = 70/30$$

	オキサイド ロス (nm)	ボトムCD (nm)	レジスト 残量 (nm)
センター	39	125.3	216
エッジ	39	125.3	216

【図 3 3 B】

$$F_c/F_E = 50/50$$

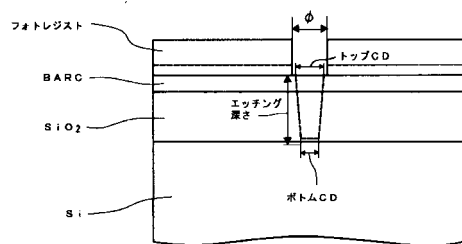
	エッチング 深さ (nm)	トップCD (μm)	ボトムCD (μm)	ボトム/ トップ比 (%)
センター	861	0.186	0.107	57.5
エッジ	762	0.181	0.110	60.8

【図 3 3 C】

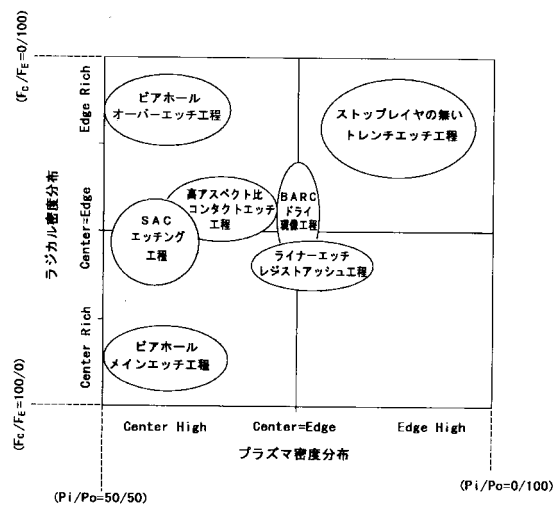
$$F_c/F_E = 10/90$$

	エッチング 深さ (nm)	トップCD (μm)	ボトムCD (μm)	ボトム/ トップ比 (%)
センター	770	0.173	0.130	75.1
エッジ	758	0.161	0.122	75.8

【図 3 3 A】



【図 3 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 平野 太一
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 佐々木 寛充
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 吉田 哲雄
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 斎藤 道茂
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 石原 博之
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 大藪 淳
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 沼田 幸治
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内

審査官 井上 猛

- (56)参考文献 国際公開第96/019096(WO,A1)
特開平06-037051(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
B08B 7/00
C23F 4/00
H01L 21/304
H05H 1/46