

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-193565
(P2004-193565A)

(43) 公開日 平成16年7月8日(2004.7.8)

(51) Int. Cl.⁷

H01L 21/3065
B01J 3/00
B01J 19/08
H01L 21/304
H05H 1/46

F I

H01L 21/302 101B
B01J 3/00 J
B01J 19/08 E
H01L 21/304 645C
H05H 1/46 M

テーマコード(参考)

4G075
5F004

審査請求 未請求 請求項の数 50 O L (全 40 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-358417(P2003-358417)
(22) 出願日 平成15年10月17日(2003.10.17)
(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)

(71) 出願人 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6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

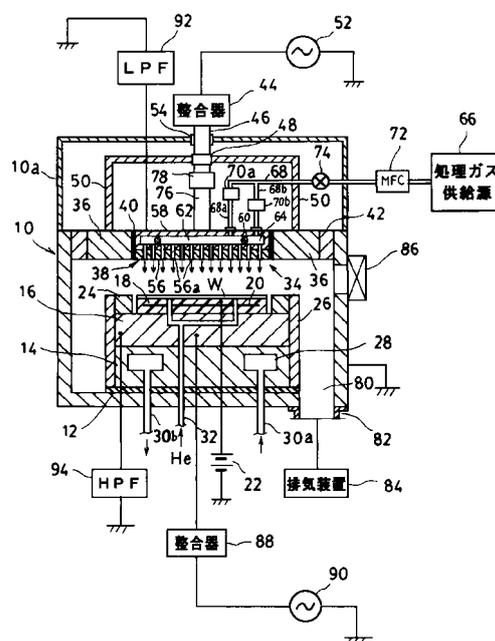
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置、プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置の電極板

(57) 【要約】

【課題】 プラズマ処理装置において高周波エネルギーの損失を少なくしてプラズマ密度の均一化を容易に、しかも精確に行うこと。

【解決手段】 処理容器10内において、リング状の外側上部電極36には、高周波電源52からの高周波がコネクタ48と給電筒50を通して供給される。外側上部電極36の内側に配置された円盤状の内側上部電極38には、高周波電源52からの高周波がコネクタ48と給電棒76を通して供給される。ここで、外側上部電極36に供給される高周波電力の値は内側上部電極38に供給される高周波電力の値よりも大きいという関係がある。両上部電極36, 38と対向して配置されるサセプタ(下部電極)16の上面に被処理基板Wが載置され、基板Wの上で処理ガスのプラズマが生成される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空可能な処理容器と、
 前記処理容器内で所定位置に配置される被処理基板と対向するようにリング状に設置される 1 つまたは複数の第 1 の上部電極と、
 前記第 1 の上部電極の半径方向内側に絶縁して配置される第 2 の上部電極と、
 前記処理容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給部と、
 第 1 の高周波を出力する第 1 の高周波電源と、
 前記第 1 の高周波電源からの前記第 1 の高周波を前記第 1 の上部電極に印加する第 1 の給電部と、
 前記第 1 の高周波電源からの前記第 1 の高周波を前記第 1 の給電部から分岐して前記第 2 の上部電極に供給する第 2 の給電部と
 を有し、前記第 1 の高周波電源から前記第 1 の上部電極に印加される高周波電力の値が、前記第 1 の高周波電源から前記第 2 の上部電極に印加される高周波電力の値よりも大きいプラズマ処理装置。

10

【請求項 2】

前記第 1 の上部電極が低抵抗の導電体または半導体で構成される請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記第 1 の上部電極が前記第 2 の上部電極の約 1 / 4 倍 ~ 約 1 倍の面積を有する請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項 4】

前記第 1 の上部電極が、前記第 1 の給電部に接続される第 1 の電極部材と、前記基板と対向するように前記第 1 の電極部材の下面に着脱可能に固着される第 2 の電極部材とを有する請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記第 1 の電極部材が冷媒を通すための冷媒通路を有する請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記第 1 の電極部材と前記第 2 の電極部材との間に熱抵抗を低くするための膜またはシートを設ける請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 7】

前記第 2 の給電部が分岐する箇所から前記第 1 の上部電極までの区間における前記第 1 の給電部のインダクタンスが前記第 2 の給電部のインダクタンスよりも小さくなるように構成する請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】

前記第 1 の給電部が、前記第 1 の上部電極に周回方向で連続的に接続される第 1 の筒状導電部材を有する請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 9】

前記第 1 の筒状導電部材の径方向外側にグランド電位に接続された第 2 の筒状導電部材を設ける請求項 8 に記載のプラズマ処理装置。

40

【請求項 10】

前記第 1 の筒状導電部材の径サイズに対する第 2 の筒状導電部材の径サイズの比が 1 . 2 ~ 2 . 0 の範囲内に選ばれる請求項 9 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】

前記径サイズの比が 1 . 5 ~ 1 . 7 の範囲内に選ばれる請求項 10 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 12】

前記第 1 の上部電極が 1 つのリング形電極で構成される請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

50

【請求項 13】

前記第2の給電部が可変コンデンサを有する請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 14】

前記第1の高周波電源の出力インピーダンスと負荷インピーダンスとを整合させるために前記第1の高周波電源の出力端子に接続される第1の整合器を有し、前記第1の整合器の出力端子からみた前記第1の高周波電源に対する負荷インピーダンスのリアクタンスが容量性である請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 15】

前記第1の上部電極と前記第2の上部電極との間に形成される隙間に誘電体が設けられる請求項1に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 16】

前記第2の給電部の周囲に導体部材を設ける請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 17】

前記第2の給電部の周囲に、前記第2の給電部のインダクタンスを小さくするための誘導電流が流れる導体部材を設ける請求項16に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 18】

前記導体部材が、前記第2の給電部の周囲で、前記第2の給電部を流れる電流によって生成される磁束と鎖交する閉回路を形成する請求項17に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 19】

前記導体部材が、前記第2の給電部の回りを囲むように環状に配置される請求項18に記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項 20】

前記導体部材が1つのリング形導体で構成される請求項19に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 21】

前記第1の筒状導電部材と前記第1の上部電極とで囲まれる空間の $1/10 \sim 1/3$ を埋める導体部材を有する請求項8に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 22】

前記第1の上部電極が、前記第2の上部電極の下面よりも下方に突出する突出部を有する請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 23】

前記第1の上部電極における前記突出部の突出量が25mm以下に選ばれる請求項22に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 24】

前記第1の上部電極における前記突出部の内径部分が、前記所定位置に配置される前記基板の外周端よりも半径方向外側に24mm~30mm離れた位置に設けられる請求項22に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 25】

前記第1の上部電極の下面の一部を覆うシールド部材を有する請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 26】

前記突出部の下面を覆うシールド部材を有する請求項22に記載のプラズマ処理装置。

40

【請求項 27】

前記シールド部材が導体または半導体で構成される請求項25に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 28】

前記シールド部材が前記第1の上部電極の下から前記処理容器の内壁まで延びる請求項25に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 29】

前記シールド部材が、前記第1の上部電極から電氣的に分離し、グラウンドに接地されている前記処理容器に電氣的に接続される請求項25に記載のプラズマ処理装置。

50

【請求項 30】

前記所定位置に配置される前記基板側からみて前記第2の上部電極の背部または背後に前記処理ガス供給部からの前記処理ガスを導入するためのガス導入室が設けられ、前記第2の上部電極に前記ガス導入室から前記基板に向けて前記処理ガスを噴出するための多数のガス噴出孔が形成される請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 31】

前記ガス導入室が、環状の隔壁部材により内側の中心ガス室と外側の外周ガス室とに分割され、前記中心ガス室と前記外周ガス室とに前記処理ガス供給部からの前記処理ガスが所望の流量比で導入される請求項30に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 32】

前記第2の上部電極が、少なくとも直流を通す第1のローパスフィルタを介してグラウンド電位に電氣的に接続される請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 33】

前記第1のローパスフィルタが、前記第2の上部電極に生成される直流電位を調節するための抵抗を有する請求項32に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 34】

前記抵抗が可変抵抗器を含む請求項33に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 35】

前記可変抵抗器の抵抗値は、前記第1および第2の上部電極に供給される高周波電力の値に応じて可変される請求項34に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 36】

前記第2の上部電極が、可変直流電源を介してグラウンド電位に接続される請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 37】

前記処理容器内の前記所定位置で前記基板を載置するために前記第1および第2の上部電極と対向して配置される下部電極が設けられ、

前記下部電極に、前記第1の高周波よりも周波数の低い第2の高周波電源からの第2の高周波が印加され、

前記第2の上部電極が、前記第1の高周波を通さずに前記第2の高周波を通す第2のローパスフィルタを介してグラウンド電位に電氣的に接続される請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 38】

真空可能な処理容器内で所定位置に被処理基板を配置する工程と、

前記処理容器内で前記所定位置の前記基板と対向してリング状に設置された1つまたは複数の第1の上部電極に第1の給電部を介して第1の高周波電源からの第1の高周波を印加するとともに、前記第1の上部電極の半径方向内側に絶縁して設置された第2の上部電極に前記第1の給電部から分岐した第2の給電部を介して前記第1の高周波電源からの前記第1の高周波を印加し、前記第1の高周波電源から前記第1の上部電極に印加される高周波電力の値を、前記第1の高周波電源から前記第2の上部電極に印加される高周波電力の値よりも大きくする工程と、

前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する工程と、

前記第1の上部電極の直下付近で前記処理ガスをプラズマ化して、生成されたプラズマを拡散させるとともに、前記第2の上部電極の直下付近でも前記処理ガスをプラズマ化する工程と、

前記プラズマの下で前記基板に所望のプラズマ処理を施す工程と

を有するプラズマ処理方法。

【請求項 39】

前記第1の給電手段として、前記第1の上部電極に周回方向で連続的に接続される第1の筒状導電部材を用いる請求項38に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 40】

10

20

30

40

50

前記第 2 の給電手段が分岐する箇所から前記第 1 の上部電極までの区間における前記第 1 の給電部のインダクタンスが前記第 2 の給電部のインダクタンスよりも小さい請求項 3 8 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4 1】

前記第 1 の筒状導電部材と前記第 1 の筒状導電部材の径方向外側に設けられたグランド電位の第 2 の筒状導電部材とで前記第 1 の筒状導電部材を導波路とする同軸線路が構成される請求項 4 0 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4 2】

前記第 2 の給電部に可変コンデンサを設け、前記第 1 の高周波電源から前記第 1 および第 2 の上部電極にそれぞれ供給される電力の比率を調整する請求項 3 8 に記載のプラズマ処理方法。

10

【請求項 4 3】

前記第 2 の給電部の周囲に導電部材が設けられ、前記第 2 の給電部のインダクタンスを小さくする誘導電流が前記導電部材で流れる請求項 3 8 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4 4】

前記第 1 の上部電極に突出部が設けられ、前記突出部が前記第 2 の上部電極の下面よりも下方に突出している請求項 3 8 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4 5】

前記突出部の下面をシールド部材で覆う請求項 4 4 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4 6】

前記所定位置に配置される前記基板側からみて前記第 2 の上部電極の背部または背後に設けられるガス導入室に前記処理ガスを導入し、前記第 2 の上部電極に形成された多数の通気孔を介して前記ガス導入室から前記基板に向けて前記処理ガスを吐出させる請求項 3 8 に記載のプラズマ処理方法。

20

【請求項 4 7】

前記ガス導入室を、環状の隔壁部材により内側の中心ガス室と外側の外周ガス室とに分割し、前記中心ガス室と前記外周ガス室とに前記処理ガスを所望の流量比で導入する請求項 4 6 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4 8】

前記第 2 の上部電極を抵抗を介してグランド電位に接続し、前記第 2 の上部電極に生成される直流電位が高すぎることによる前記処理容器内の異常放電を防止し、かつ前記直流電位が低すぎることによる前記第 2 の上部電極の消耗を抑制するように、前記抵抗の抵抗値を選定または調整して前記直流電位の値を適切な範囲内に設定する請求項 3 8 に記載のプラズマ処理方法。

30

【請求項 4 9】

プラズマ処理装置の処理容器内でプラズマを生成するための電極板であって、前記処理容器内で所定位置に載置される被処理基板と対向してリング状に設置される 1 つまたは複数の第 1 の上部電極と、

前記第 1 の上部電極の半径方向内側に絶縁して設置される第 2 の上部電極とを有し、

40

高周波電源からの高周波が、第 1 の給電部を介して前記第 1 の上部電極に印加されるとともに、前記第 1 の給電手段から分岐する第 2 の給電手段を介して前記第 2 の上部電極に印加されるプラズマ処理装置の電極板。

【請求項 5 0】

前記第 2 の上部電極が、前記基板側に向けて処理ガスを吐出するための多数の通気孔を有する請求項 4 9 に記載の電極板。

【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、特に高周波を電極に印加して

50

プラズマを生成する方式のプラズマ処理技術に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスやFPD(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。

【0003】

一般に、容量結合型平行平板プラズマ処理装置は、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、上部電極に整合器を介して高周波電圧を印加する。この高周波電圧によって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する。ここで、両電極はコンデンサとして作用する。

10

【0004】

最近では、製造プロセスにおけるデザインルールの微細化につれてプラズマ処理に低圧下での高密度プラズマが要求されており、上記のような容量結合型平行平板プラズマ処理装置では上部電極に対して従来(一般に27MHz以下)よりも格段に高い高周波数領域(たとえば50MHz以上)の高周波を印加するようになってきている。しかしながら、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外周部の電界強度よりも高くなって、生成されるプラズマの密度も電極中心部の方が電極外周部より高くなる。さらに、プラズマが径方向で高密度空間から低密度空間へ拡散するため、プラズマ密度はますます電極中心部で相対的に高く電極外周部で相対的に低い分布になってしまう。

20

【0005】

この問題を解消するために、上部電極の下面中心部を高抵抗部材で構成するものが知られている(たとえば特許文献1)。この技法は、上部電極の下面中央部を高抵抗部材で構成し、そこでより多くの高周波電力をジュール熱として消費させることで、上部電極の下面(プラズマ接触面)の電界強度を電極外周部よりも電極中心部で相対的に低下させ、上記のようなプラズマ密度の不均一性を補正するものである。

30

【特許文献1】特開2000-323456号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記のように上部電極の下面中心部を高抵抗部材で構成するものにおいては、ジュール熱による高周波電力の消費(エネルギー損失)が多くなってしまいう可能性がある。また、上部電極に対する給電ラインを構成する給電棒等の誘導性リアクタンス成分の影響がRF周波数を高くするほど大きくなり、給電ラインないし上部電極の不定な箇所共振ポイントを生じさせ、その共振ポイント付近で異常に大きな電流が流れてしまいう可能性も出てくる。

40

【0007】

また、最近のプラズマ処理装置では、上部電極が多数のガス通気孔を有し、これらの通気孔から処理ガスを下部電極側に向けて噴射するいわゆるシャワーヘッドを兼ねることが多い。このようなシャワーヘッド兼用型の上部電極は、プラズマからのイオンのアタックを受けてスパッタされるため、消耗品として扱われている。特に、ガス通気孔の吐出口(角部)が電界を集中させるためスパッタされやすく、ガスがラップ状に広がってしまうと、プラズマを安定に生成することができなくなるため、ガス吐出口のスパッタ進行度(広がり具合)が電極寿命の指標となっている。このようなシャワーヘッド構造の上部電極にあっては、上記のようにプラズマの高密度化を図ろうとすると、電極寿命がますます短くなってしまいう可能性がある。

50

【0008】

本発明は、かかる従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、プラズマ生成用高周波の伝送効率を向上させるプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供することを目的とする。

【0009】

本発明の別の目的は、プラズマ密度の均一化を容易に実現できるようにしたプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供することにある。

【0010】

本発明の別の目的は、プラズマ生成用の高周波が印加される高周波電極の寿命を延ばすようにしたプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法ならびにプラズマ処理装置の電極板を提供することにある。

10

【0011】

本発明の別の目的は、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適宜組み合わせ合わせてプラズマ処理の最適化をはかれるようにしたプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記の目的を達成するために、本発明のプラズマ処理装置は、真空可能な処理容器と、前記処理容器内で所定位置に配置される被処理基板と対向するようにリング状に設置される1つまたは複数の第1の上部電極と、前記第1の上部電極の半径方向内側に絶縁して配置される第2の上部電極と、前記処理容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給部と、第1の高周波電圧を出力する第1の高周波電源と、前記第1の高周波電源からの前記第1の高周波電圧を前記第1の上部電極に印加する第1の給電部と、前記第1の高周波電源からの前記第1の高周波電圧を前記第1の給電部から分岐して前記第2の上部電極に印加する第2の給電部とを有し、前記第1の高周波電源から前記第1の上部電極に印加される高周波電力の値が、前記第1の高周波電源から前記第2の上部電極に印加される高周波電力の値よりも大きい構成とする。

20

【0013】

また、本発明のプラズマ処理方法は、真空可能な処理容器内で所定位置に被処理基板を載置する工程と、前記処理容器内で前記所定位置の前記基板と対向してリング状に設置された1つまたは複数の第1の上部電極に第1の給電部を介して第1の高周波電源からの第1の高周波を印加するとともに、前記第1の上部電極の半径方向内側に絶縁して配置された第2の上部電極に前記第2の給電部から分岐した第2の給電部を介して前記第1の高周波電源からの前記第1の高周波を印加し、前記第1の高周波電源から前記第1の上部電極に印加される高周波電力の値を、前記第1の高周波電源から前記第2の上部電極に印加される高周波電力の値よりも大きくする工程と、前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する工程と、前記第1の上部電極の直下付近で前記処理ガスをプラズマ化して、生成されたプラズマを拡散させるとともに、前記第2の上部電極の直下付近でも前記処理ガスをプラズマ化する工程と、前記プラズマの下で前記基板に所望のプラズマ処理を施す工程とを有する。

30

40

【0014】

また、本発明のプラズマ処理装置の電極板は、プラズマ処理装置の処理容器内でプラズマを生成するための電極板であって、前記処理容器内で所定位置に載置される被処理基板と対向してリング状に設置される1つまたは複数の第1の上部電極と、前記第1の上部電極の半径方向内側に絶縁して配置される第2の上部電極とを有し、高周波電源からの高周波が、第1の給電部を介して前記第1の上部電極に印加されるとともに、前記第1の給電部から分岐する第2の給電部を介して前記第2の上部電極に印加されるプラズマ処理装置の電極板とした。

【0015】

本発明では、主としてリング状の第1の上部電極の直下でプラズマを生成し、生成した

50

プラズマを主に内側または中心側に拡散させることによりプラズマの密度を径方向で均して、下部電極上の基板の被処理面にプラズマを用いた所望の処理を施す。基板に対する第1の上部電極のサイズ、下部電極との電極間距離、プラズマ生成率等を適宜調整することによって、更なるプラズマ密度の均一化をはかることができる。

【0016】

第1の上部電極の材質は、第1の高周波電源からの第1の高周波電圧に対して電圧降下または電力損失の小さい低抵抗の導電体または半導体が好ましい。また、第1の上部電極の面積は、第2の上部電極の面積の約1/4倍～約1倍に選ばれるのが好ましい。

【0017】

本発明では、第1の上部電極に第1の高周波電源からの第1の高周波を効率よく給電するための第1の給電部が設けられる。この第1の給電部の好適な一形態は、第1の上部電極に周回方向で連続的に接続される第1の筒状導電部材を有する構成である。この場合、第1の筒状導電部材を同軸線路の導波路とするために、その径方向外側にグランド電位に接続された第2の筒状導電部材を設けるのが好ましい。この第2の筒状導電部材は処理容器と一体に構成することができる。

10

【0018】

また、本発明では、プラズマ密度の均一化をより正確に行うために、処理容器内で被処理基板と対向して第1の上部電極の半径方向内側に絶縁して第2の上部電極を配置し、第1の給電部から分岐した第2の給電部を介して第2の上部電極に第1の高周波電源からの第1の高周波電圧を印加して、第2の上部電極の直下付近でも処理ガスをプラズマ化する。この第2の上部電極によるプラズマ生成を補助的なものとするために、第2の給電部が分岐する箇所から第1の上部電極までの区間における第1の給電部のインダクタンスが第2の給電部のインダクタンスよりも小さくなるように構成するのが好ましい。

20

【0019】

本発明では、第2の給電部に可変コンデンサを設けるのが好ましい。この可変コンデンサのキャパシタンスを調整することで、第1の上部電極付近の電界強度または電力投入量(P_1)と第2の上部電極付近の電界強度または電力投入量(P_2)との比率($P_1:P_2$)を一定条件($P_1 > P_2$)の下で自在に制御し、それによって第1の上部電極付近のプラズマ生成量(または生成率)と第2の上部電極付近のプラズマ生成量(または生成率)との比率を自在に制御することができる。

30

【0020】

本発明でも、第1の高周波電源の出力インピーダンスと負荷インピーダンスとを第1の整合器を用いて整合させてよい。好ましくは、第1の整合器の出力端子より第1の高周波電圧を第1の給電部と第2の給電部とに分岐させて並列に第1の上部電極と前記第2の上部電極とに供給してよい。この場合、第1の整合器の出力端子からみた第1の高周波電源に対する負荷インピーダンスのリアクタンスを容量性にするすることで、負荷回路を構成する導波路内に共振ポイントが発生するのを回避できる。

【0021】

また、シャワーヘッド方式を採用する場合、好ましくは、被処理基板側からみて第2の上部電極の背部または背後に処理ガス供給手段からの処理ガスを導入するためのガス導入室を設け、第2の上部電極にガス導入室から下部電極に向けて処理ガスを吐出するための多数の通気孔を形成してよい。本発明では、主に第1の上部電極がプラズマ生成に寄与し、第2の上部電極はプラズマイオンから受けるアタックが少ないため、シャワーヘッドを兼用しても電極寿命を延ばすことができる。好ましくは、上記ガス導入室を、環状の隔壁部材により内側の中心ガス室と外側の外周ガス室とに分割し、中心ガス室と外周ガス室とに処理ガスを所望の流量比で導入してよい。これにより、中心部と外周部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することができる。このようにしてラジカル密度分布を制御する機能を、上記のような第1の上部電極と第2の上部電極との間でプラズマ生成比率を制御してプラズマ密度分布を制御する機能と組み合わせて、プラズマ処理の最適化をはかることもできる。

40

50

【0022】

本発明の好適な一態様によれば、第2の給電部の周囲に、導体部材、好ましくは第2の給電部のインダクタンスを小さくするための誘導電流が流れる導体部材が設けられる。第2の給電手段のインダクタンスを小さくすることで、上記可変コンデンサによる第1および第2の上部電極間の電界強度または投入電力バランス調整のレンジを向上させることができる。インダクタンス低減効果を高めるために、この導体部材を第2の給電部の回りを囲むように環状に、かつ第1の給電部よりも径方向内側に配置するのが好ましい。

【0023】

本発明の好適な一態様によれば、第1の上部電極が、第2の上部電極の下面よりも下方に突出する突出部を有する。この第1の上部電極における突出部により、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てプラズマ密度の向上と均一化を効果的に実現することができる。特に、第1の上部電極における突出部の突出量と径方向における基板との相対位置関係は、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となる。好ましくは、突出部の突出量を25mm以下に選んでよい。また、基板の外周端よりも半径方向外側に24mm～30mm離れた位置に突出部の内径部分を設けるのが好ましい。

10

【0024】

本発明の好適な一態様によれば、第1の上部電極の下面の一部を覆うシールド部材が設けられる。上記のように第1の上部電極に突出部を設ける場合は、この突出部の下面を覆うようにシールド部材を配置してよい。このシールド部材によれば、プラズマ生成空間の外側で第1の上部電極付近の高周波放電路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が可能となり、プラズマを基板直上に閉じ込める効果を一層高められるとともに、処理容器への不所望な重合膜の堆積を効果的に防止できる。

20

【0025】

本発明の好適な一態様によれば、第2の上部電極が、少なくとも直流を通すローパスフィルタを介してグラウンド電位に電氣的に接続される。このローパスフィルタは、第2の上部電極に生成される直流電位を調節するための抵抗を有する。この抵抗を可変抵抗器で構成する場合は、第1および第2の上部電極の全体に供給される高周波電力の値に応じてその抵抗値を可変するのが好ましい。また、第2の上部電極を可変直流電源を介してグラウンドに接地し、電源電圧によって第2の上部電極の直流電位を直接制御することも可能である。

30

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、上記のような構成と作用により、上部電極に供給するプラズマ生成用高周波の伝送効率を向上させることができる。また、プラズマ密度の均一化を容易に実現できる。また、プラズマ生成用の高周波が印加される高周波電極の寿命を延ばすこともできる。さらには、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適宜組み合わせることでプラズマ処理の最適化をはかることもできる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

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。

40

【実施例1】

【0028】

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。

【0029】

チャンバ10の底部には、セラミックなどの絶縁板12を介して円柱状のサセプタ支持台14が配置され、このサセプタ支持台14の上にたとえばアルミニウムからなるサセプ

50

タ 16 が設けられている。サセプタ 16 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。

【0030】

サセプタ 16 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 18 が設けられている。この静電チャック 18 は導電膜からなる電極 20 を一对の絶縁層または絶縁シートの中に挟み込んだものであり、電極 20 には直流電源 22 が電氣的に接続されている。直流電源 22 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 18 に吸着保持されるようになっている。静電チャック 18 の周囲でサセプタ 16 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 24 が配置されている。サセプタ 16 およびサセプタ支持台 14 の側面にはたとえば石英からなる円筒状の内壁部材 26 が貼り付けられている。

10

【0031】

サセプタ支持台 14 の内部には、たとえば円周方向に延在する冷媒室 28 が設けられている。この冷媒室 28 には、外付けのチラーユニット（図示せず）より配管 30a, 30b 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 16 上の半導体ウエハ W の処理温度を制御できる。

【0032】

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 32 を介して静電チャック 18 の上面と半導体ウエハ W の裏面との間に供給される。

【0033】

サセプタ 16 の上方には、このサセプタと平行に対向して上部電極 34 が設けられている。両電極 16, 34 の間の空間はプラズマ生成空間である。上部電極 34 は、サセプタ（下部電極）16 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 34 は、サセプタ 16 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 36 と、この外側上部電極 36 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 38 とで構成される。これら外側上部電極 36 と内側上部電極 38 とは、プラズマ生成に関して、前者 (36) が主で、後者 (38) が補助の関係を有している。

20

【0034】

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 36 と内側上部電極 38 との間にはたとえば 0.25 ~ 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 40 が設けられる。また、このギャップにセラミック 96 を設けることもできる。この誘電体 40 を挟んで両電極 36, 38 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 C40 は、ギャップのサイズと誘電体 40 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 36 とチャンバ 10 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 42 が気密に取り付けられている。

30

【0035】

外側上部電極 36 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 36 には、整合器 44、上部給電棒 46、コネクタ 48 および給電筒 50 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。第 1 の高周波電源 52 は、13.5 MHz 以上の周波数たとえば 60 MHz の高周波電圧を出力する。整合器 44 は、高周波電源 52 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 50 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 44 の出力端子は上部給電棒 46 の上端に接続されている。

40

【0036】

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

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。

【0037】

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。

10

【0038】

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。

20

30

【0039】

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。

【0040】

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。

40

【0041】

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。

【0042】

この実施例のプラズマエッチング装置では、反応性イオンエッチング(RIE)を行うために、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、2~27MHzの範囲内の周波数

50

、たとえば2MHz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。

【0043】

内側上部電極38には、第1の高周波電源52からの高周波（60MHz）を通さずに第2の高周波電源98からの高周波（2MHz）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（60MHz）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（60MHz）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。

10

【0044】

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～1Torr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（60MHz）を所定の

20

【0045】

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5～10MHz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

30

【0046】

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。

【0047】

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。

40

【0048】

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

50

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、本発明によれば、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。

【0049】

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。

【0050】

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）の構成を省略している。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。

【0051】

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 は導電路の移動度および誘電率で決まる定数である。

【0052】

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 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。

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

【0053】

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。

【0054】

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

10

20

30

40

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。

【0055】

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。 10

【0056】

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 J_0 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。

【0057】

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 J_i 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 J_o の電圧降下と内側導波路 J_i 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。 20

【0058】

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。 30

【0059】

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。 40

【0060】

図4に示すように、外側上部電極36直下の外側電界強度 E_o の方が内側上部電極38直下の内側電界強度 E_i よりも大きく、両電極36, 38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36直下の外側電界強度 E_o は内側上部電極38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78のキャパシタンス C_{78} を180~350 pF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10%~40%の範囲内で連続的に制御できることがわかる。なお、 $C_{78} = 125 \sim 180$ pF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78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38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

【0061】

この実施例においては、給電筒50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44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44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值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

【0062】

図6A、図6Bおよび図7A、図7B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78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38の半径を100 mm、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。主なエッチング条件は下記のとおりである。

ウエハ口径 = 200 mm

チャンバ内の圧力 = 15 mTorr、

温度(上部電極/チャンバ側壁/下部電極) = 60/50/20°C、

電熱ガス(Heガス)供給圧力(センター部/エッジ部) = 15/25 Torr、

上部及び下部電極間距離 = 50 mm

プロセスガス(C_5F_8 /Ar/ O_2) 流量20/380/20 sccm

高周波電力(60 MHz/2 MHz) 2200 W/1500 W ($C_{78} = 500$ pF, 1000 pF), 1800 W ($C_{78} = 120$ pF)

30

【0063】

図6Aおよび図6Bにおいて、可変コンデンサ78のキャパシタンス C_{78} を120 pF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 を高めを選んだ場合であり、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36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38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

【0064】

一方、キャパシタンス C_{78} を1000 pF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140 mmの位置付近)で電子密度を極大化させ、ウエハの内側(0~100 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。

【0065】

また、下部電極 16 に R I E 用の高周波バイアス (2 M H z) 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。つまり、この実施形態においてはプラズマ発生効率やプラズマ密度分布が R I E によってほとんど影響を受けないことがわかる。

10

【0066】

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。

【0067】

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。

20

【実施例 2】

【0068】

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。

【0069】

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、板材製のものと比べて 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、R F 接面を低減できるため、R F 損失を少なくすることができる。

30

【0070】

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 ($S i O_2$) 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 (P R) 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。

40

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 M H z / 2 M H z) 3300 W / 3800 W

測定時間 = 120 秒

【0071】

50

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。

【0072】

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6A, 図6B, 図7A, 図7B）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からも明らかの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。

【0073】

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。

【0074】

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。

【0075】

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。

【0076】

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1/10~1/3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。

【0077】

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、この種の平行平板形プラズマ装置では、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自己バイアス 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 20
 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
 精細に制御することができる。

【0078】

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15A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(60MHz)を通さず、バイアス用の高周波(2MHz)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 30
 自己バイアス電圧 V_{dc} を調整できる。

【0079】

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-150V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-450V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 40
 のいずれも防止ないし抑制できる適性範囲(-450V~-150V)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(-450V~-150V)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、3000Wの高周波パワーに対して、下限抵抗値 $R_a =$ 約1Mの実験結果が得られている。

【0080】

また、図15B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 50

流電源 97 は、バイポーラ電源で構成するのが好ましい。

【0081】

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。交換部材の下部電極部材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

【0082】

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。

【0083】

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プ(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 $r = 329\text{ mm}$ 、 $H = 15\text{ mm}$ 、図19Bの実験例では $r = 329\text{ mm}$ 、 $H = 20\text{ mm}$ 、図19Cの実験例では $r = 339\text{ mm}$ 、 $H = 20\text{ mm}$ 、図19Dの実験例では $r = 349\text{ mm}$ 、 $H = 20\text{ mm}$ 、図19Eの実験例では $r = 359\text{ mm}$ 、 $H = 25\text{ mm}$ 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

【0084】

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($r = 349\text{ mm}$ 、 $H = 20\text{ mm}$)、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

【0085】

図20Aに、 r 、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

【0086】

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

50

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 $24\text{ mm} \sim 30\text{ mm}$ 離れた位置に配置されることを意味する。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】

【0087】

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。

【0088】

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 ϕ は上記第2実施例と同様の数値条件で選ばれてよい。

【0089】

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。

【0090】

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(150 mm)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。

【0091】

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(150 mm)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

【0092】

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て構成してもよい。

【0093】

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。

10

【0094】

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ウ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。

20

【実施例4】

【0095】

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() $0.22 \mu\text{m}$ 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

チャンパ内の圧力 = 20 mTorr

温度(上部電極/チャンパ側壁/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

30

【0096】

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。

40

【0097】

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

50

影響は非常に少ないことが確認された。

【0098】

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。

【0099】

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】

【0100】

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、プランケット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。



【0101】

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

チャンパ内の圧力 = 50 mTorr

温度(上部電極/チャンパ側壁/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

【0102】

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。

【0103】

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

10

20

30

40

50

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つ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。

10

【実施例6】

【0104】

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 () $0.12 \mu\text{m}$ 、フォトレジストの膜厚 350nm 、BARCの膜厚 80nm 、 SiO_2 の膜厚 700nm 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 5mm 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。

20

ウエハ口径 = 300mm

チャンバ内の圧力 = 150mTorr

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 = 30mm

外側上部電極の突出量 (H) = 15mm

プロセスガス (CF_4) 200sccm

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秒

30

【0105】

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。

【0106】

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。

40

【0107】

このように、本発明によれば、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

50

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、上記と同様の測定結果が得られる。

【実施例7】

【0108】

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（ ϕ ） $0.22 \mu\text{m}$ 、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

【0109】

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。

【0110】

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。

【0111】

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。

【0112】

上記のように、本発明によれば、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。

【0113】

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

10

20

30

40

50

能である。

【0114】

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

10

【図面の簡単な説明】

【0115】

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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

50

を示す図である。

【図 2 3】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。 10

【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。

【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。 20

【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。

【図 3 4】本発明による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。

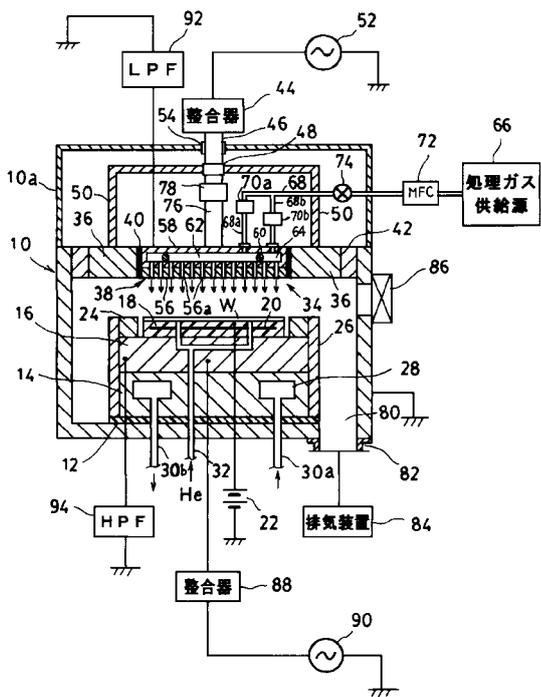
【符号の説明】

【0116】

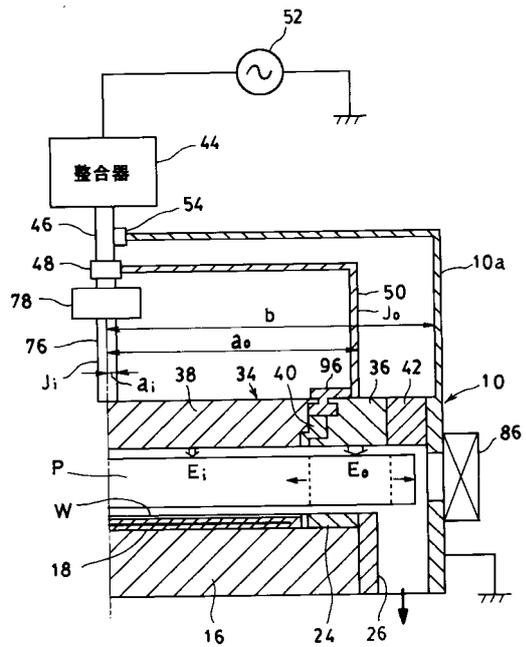
10	チャンバ（処理容器）	
16	サセプタ（下部電極）	
34	上部電極	30
36	外側上部電極	
36A	上部電極部材	
36B	下部電極部材	
38	内側上部電極	
40	誘電体	
44	整合器	
48	コネクタ	
50	給電筒	
52	第 1 の高周波電源	
56	電極板	40
58	電極支持板	
60	環状隔壁部材	
62	中心ガス導入室	
(62, 56a)	中心シャワーヘッド	
64	周辺ガス導入室	
(64, 56a)	周辺シャワーヘッド	
66	処理ガス供給源	
68	ガス供給管	
70a, 70b	流量制御弁	
84	排気装置	50

- 90 第2の高周波電源
- 92 ローパスフィルタ
- 93 可変抵抗器
- 94 ハイパスフィルタ
- 100 導体部材
- 102 シールド部材

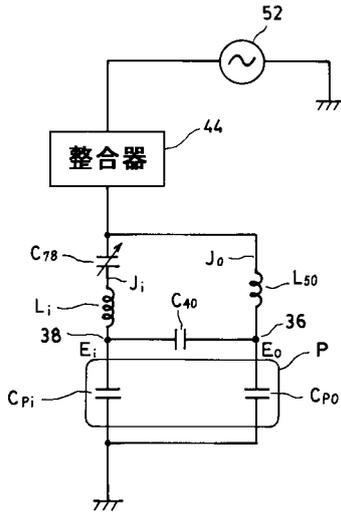
【図1】



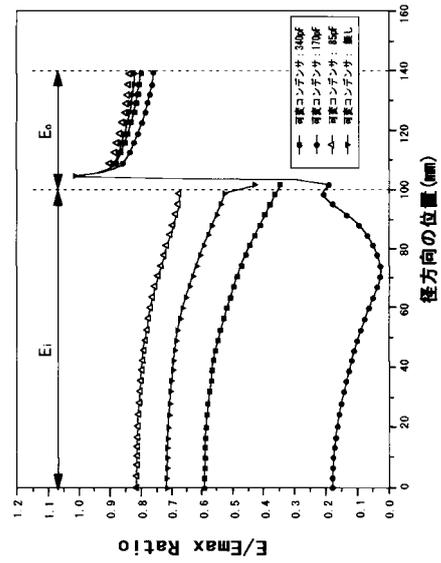
【図2】



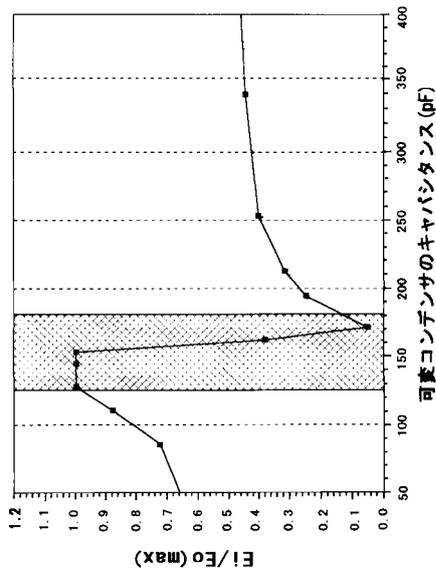
【 図 3 】



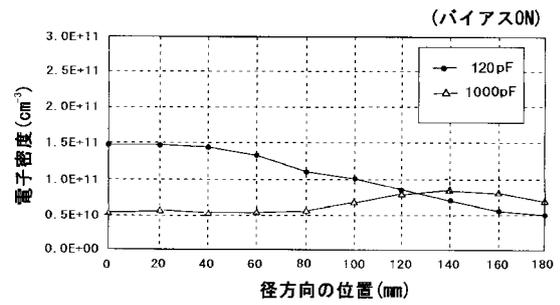
【 図 4 】



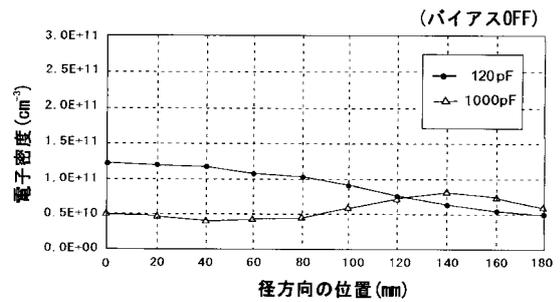
【 図 5 】



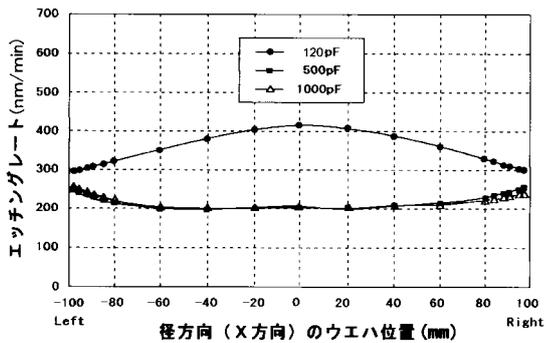
【 図 6 A 】



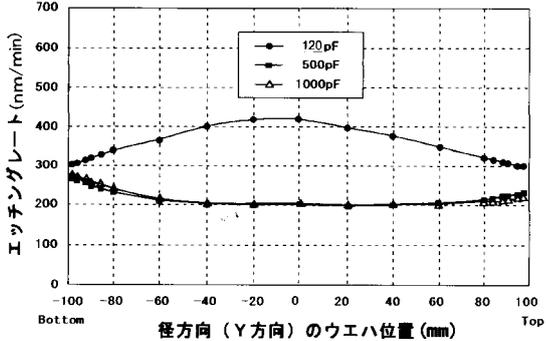
【 図 6 B 】



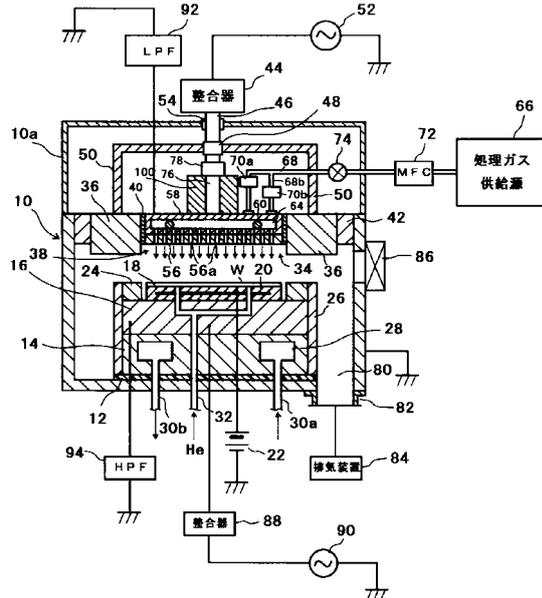
【 図 7 A 】



【 図 7 B 】

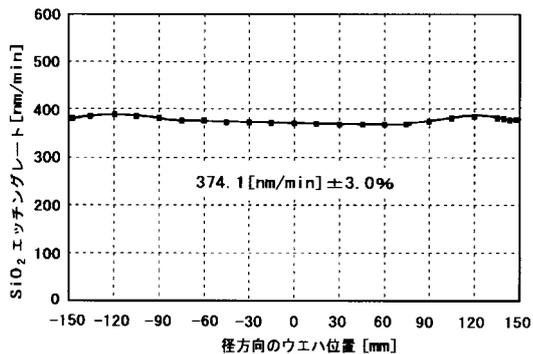


【 図 8 】



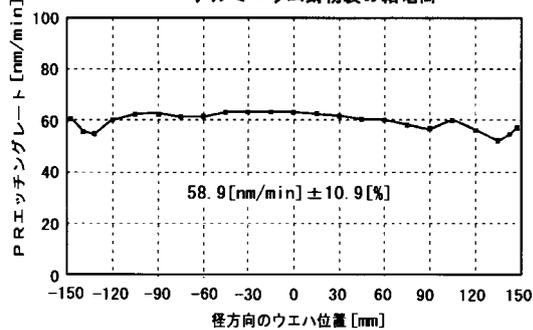
【 図 9 A 】

アルミニウム鋳物製の給電筒



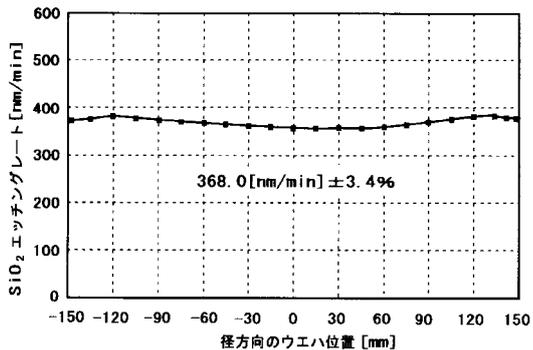
【 図 10 A 】

アルミニウム鋳物製の給電筒



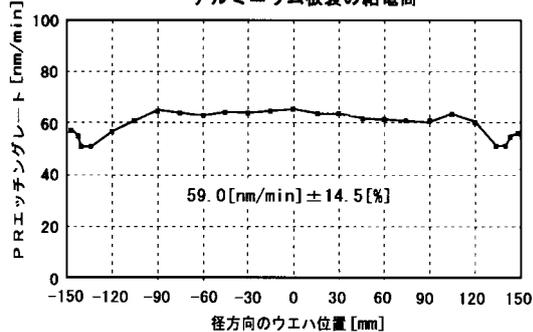
【 図 9 B 】

アルミニウム板製の給電筒

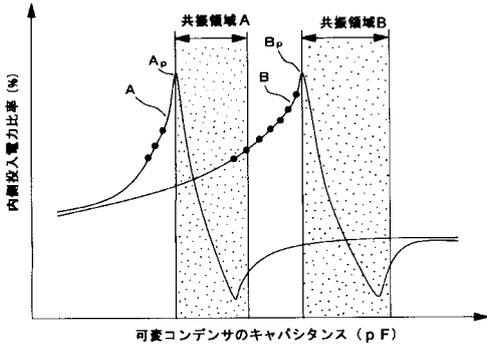


【 図 10 B 】

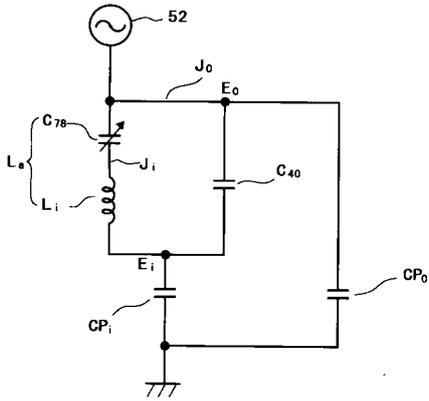
アルミニウム板製の給電筒



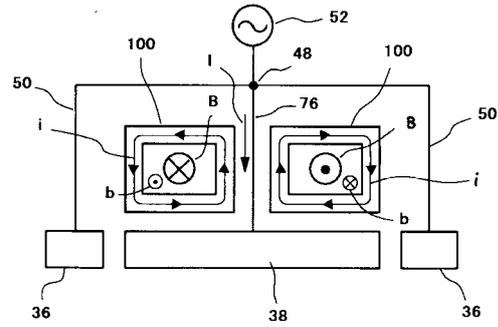
【図11】



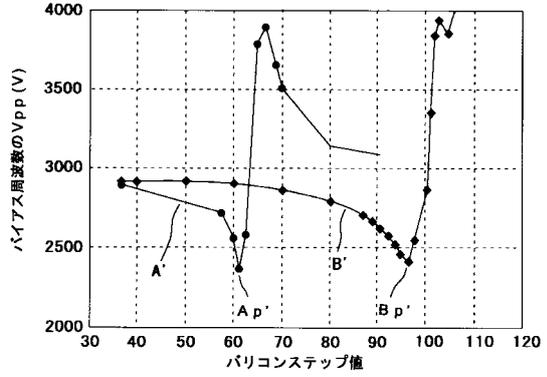
【図12】



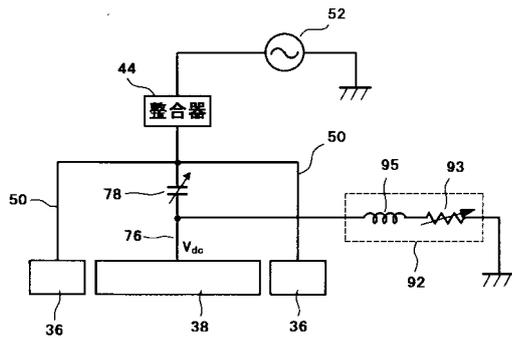
【図13】



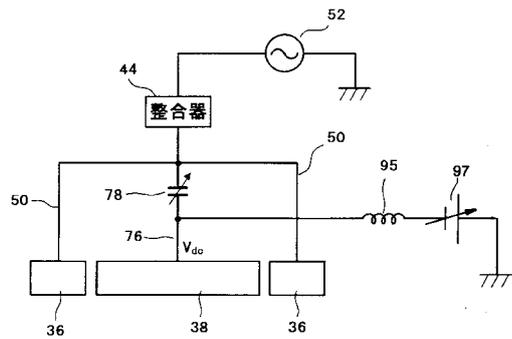
【図14】



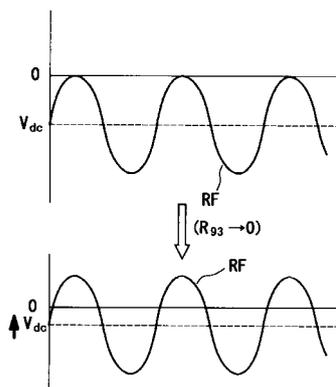
【図15A】



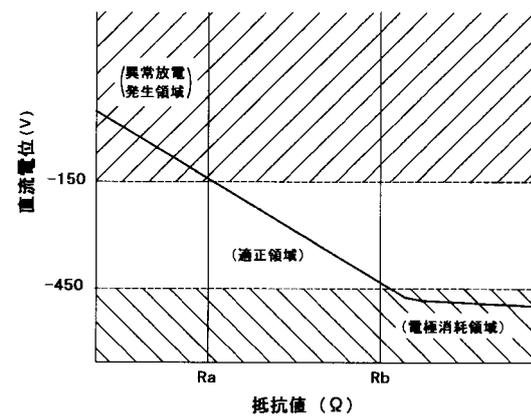
【図15B】



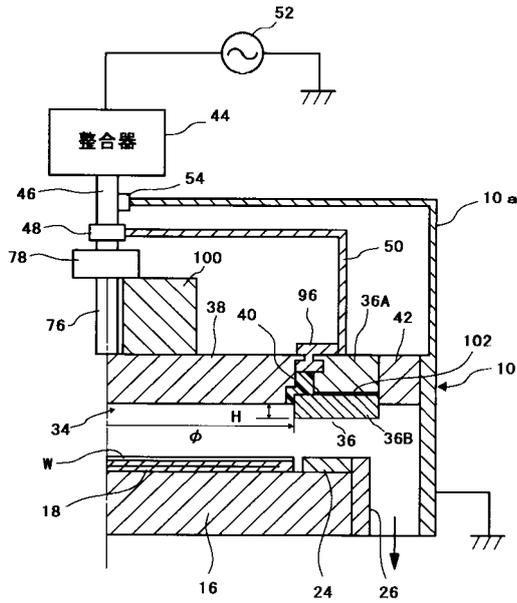
【図16】



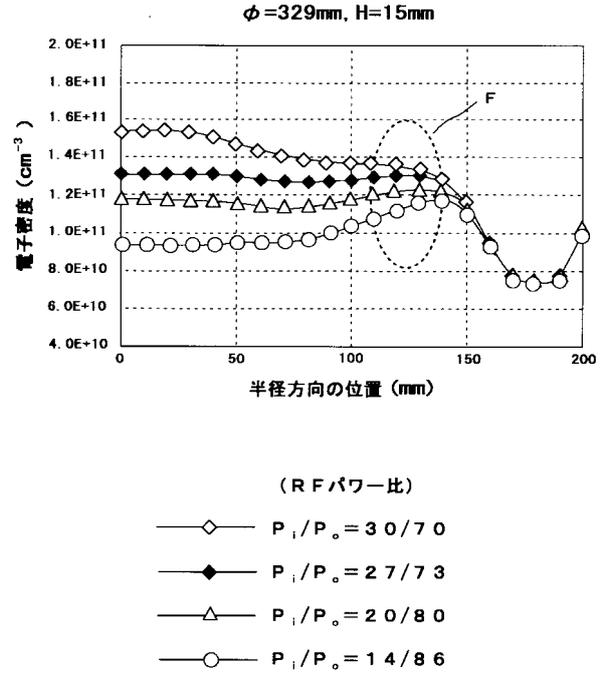
【図17】



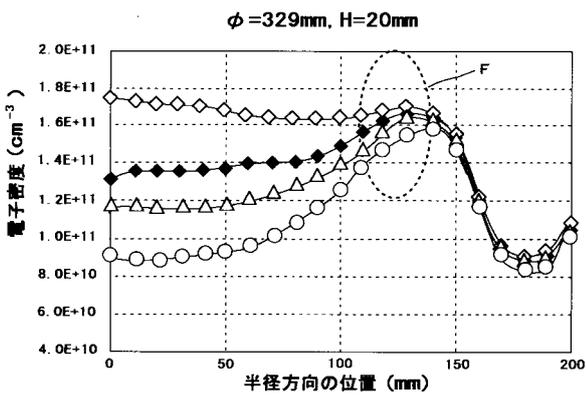
【図18】



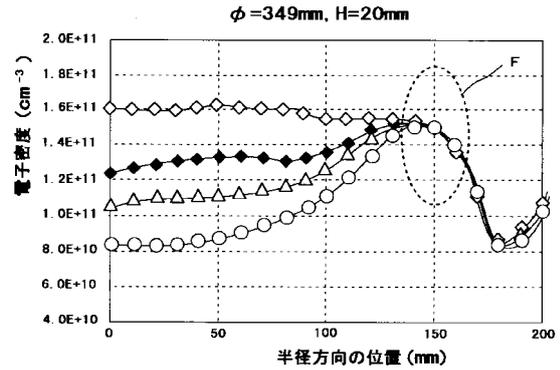
【図19A】



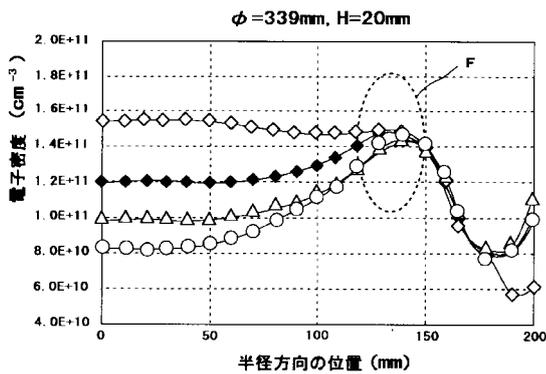
【図19B】



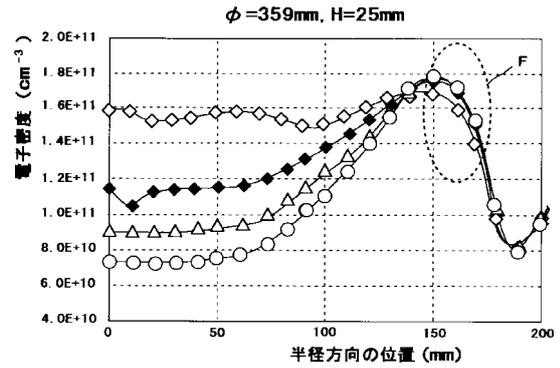
【図19D】



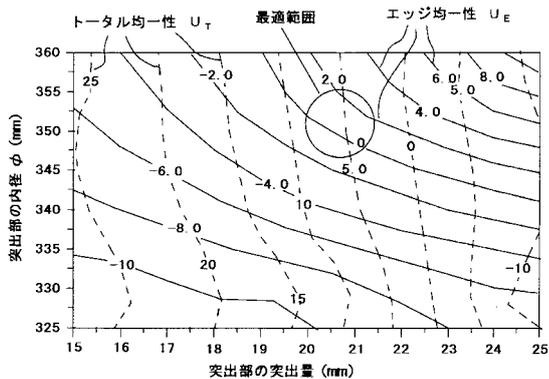
【図19C】



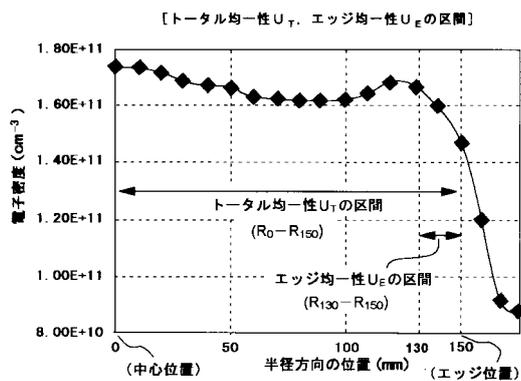
【図19E】



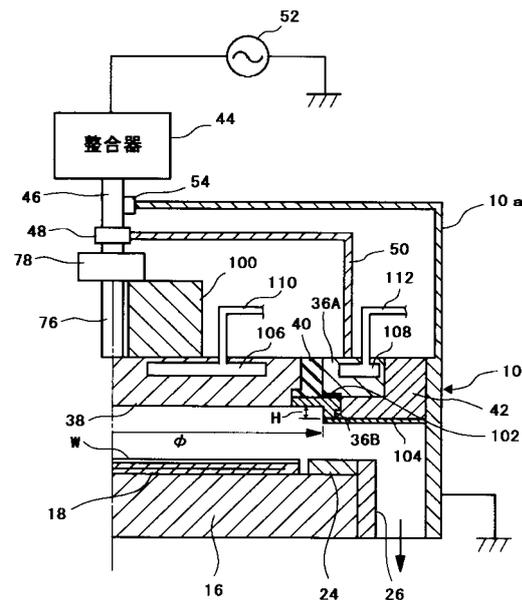
【図 20 A】



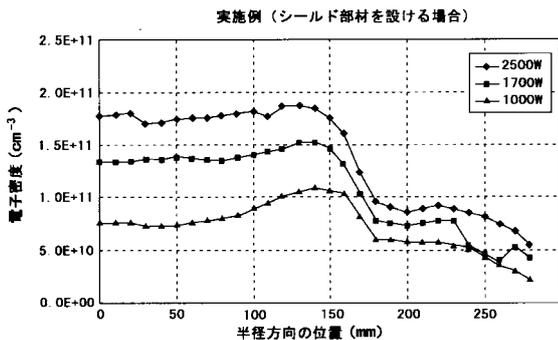
【図 20 B】



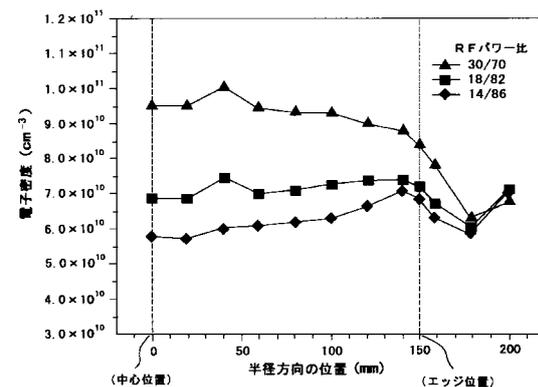
【図 21】



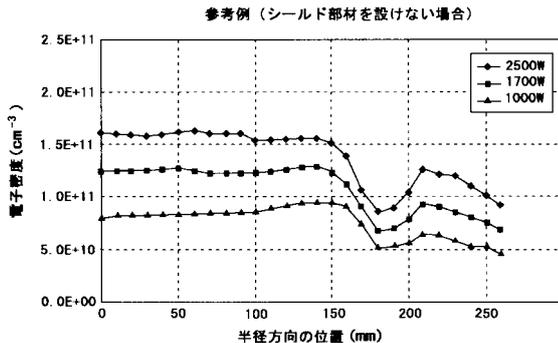
【図 22 A】



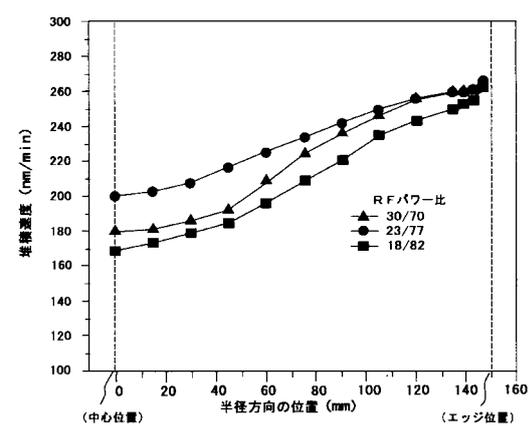
【図 23】



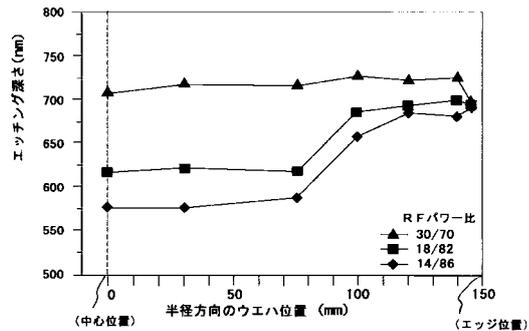
【図 22 B】



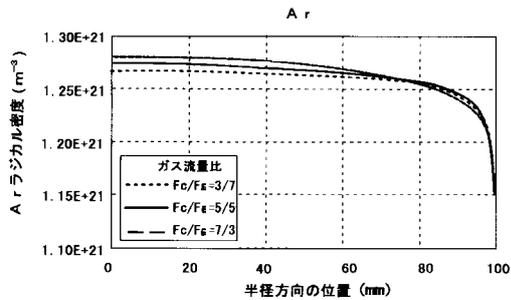
【図 24】



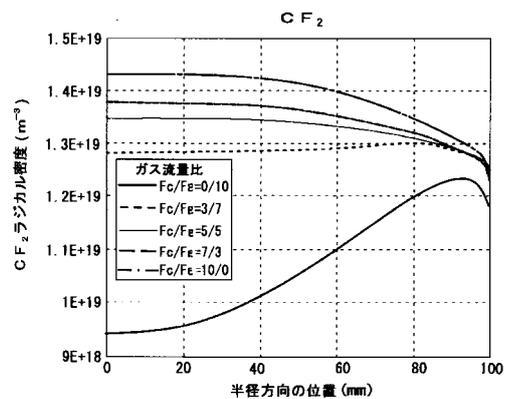
【 図 2 5 】



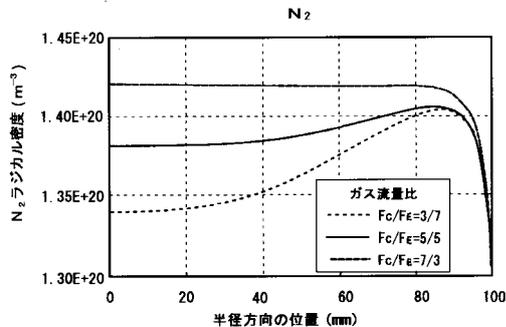
【 図 2 7 】



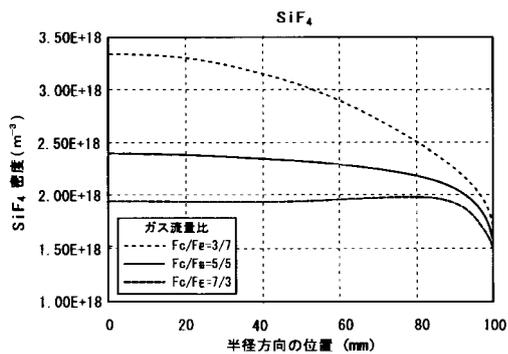
【 図 2 6 】



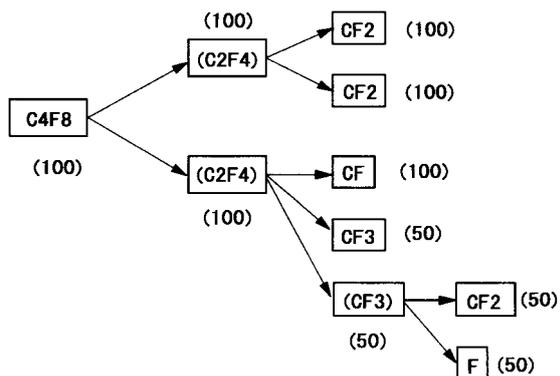
【 図 2 8 】



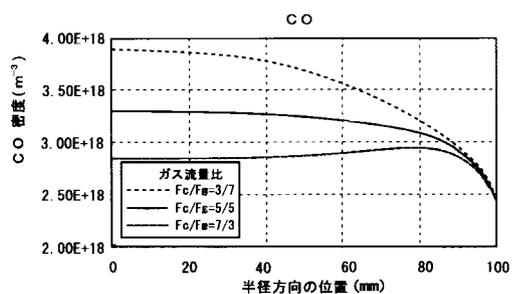
【 図 2 9 】



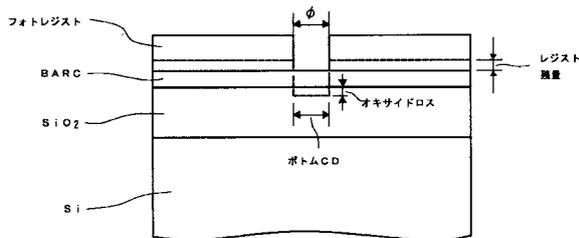
【 図 3 1 】



【 図 3 0 】



【 図 3 2 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 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 2 C 】

$F_c/F_e = 70/30$

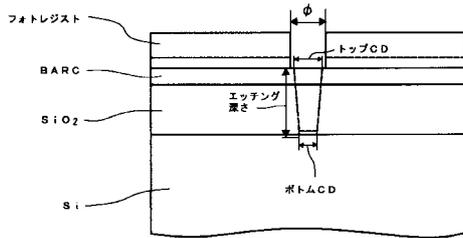
	オキサイド ロス (nm)	ボトムCD (nm)	レジスト 残量 (nm)
センター	39	125.3	216
エッジ	39	125.3	216

【 図 3 3 C 】

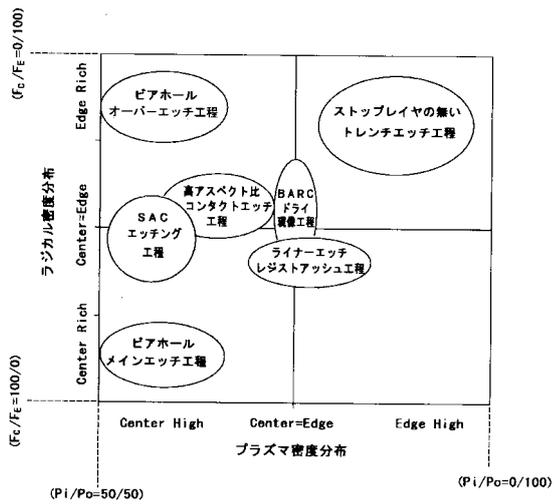
$F_c/F_e = 10/90$

	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 】



【手続補正書】

【提出日】平成15年12月4日(2003.12.4)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項39

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項39】

前記第1の給電部として、前記第1の上部電極に周回方向で連続的に接続される第1の筒状導電部材を用いる請求項38に記載のプラズマ処理方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項40

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項40】

前記第2の給電部が分岐する箇所から前記第1の上部電極までの区間における前記第1の給電部のインダクタンスが前記第2の給電部のインダクタンスよりも小さい請求項38に記載のプラズマ処理方法。

【手続補正3】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項49

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項49】

プラズマ処理装置の処理容器内でプラズマを生成するための電極板であって、前記処理容器内で所定位置に載置される被処理基板と対向してリング状に設置される1つまたは複数の第1の上部電極と、

前記第1の上部電極の半径方向内側に絶縁して設置される第2の上部電極とを有し、

高周波電源からの高周波が、第1の給電部を介して前記第1の上部電極に印加されるとともに、前記第1の給電部から分岐する第2の給電部を介して前記第2の上部電極に印加されるプラズマ処理装置の電極板。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】削除

【補正の内容】

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0026】

本発明によれば、上記のような構成と作用により、上部電極に供給するプラズマ生成用高周波の伝送効率を向上させることができる。また、プラズマ密度の均一化を容易に実現できる。また、プラズマ生成用の高周波が印加される高周波電極の寿命を延ばすこともできる。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】 0 0 4 2

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【 0 0 4 2 】

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 1 6 に整合器 8 8 を介して第 2 の高周波電源 9 0 が電氣的に接続されている。この第 2 の高周波電源 9 0 は、2 ~ 2 7 M H z の範囲内の周波数、たとえば 2 M H z の高周波電圧を出力する。整合器 8 8 は、高周波電源 9 0 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 9 0 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。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 0 4 4

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【 0 0 4 4 】

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、先ずゲートバルブ 8 6 を開状態にして加工対象の半導体ウエハ W をチャンバ 1 0 内に搬入して、サセプタ 1 6 の上に載置する。そして、処理ガス供給源 6 6 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 6 2 , 6 4 に導入し、排気装置 8 4 によりチャンバ 1 0 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 5 2 よりプラズマ生成用の高周波（6 0 M H z ）を所定のパワーで上部電極 3 4 （3 6 , 3 8 ）に印加するとともに、第 2 の高周波電源 9 0 より高周波（2 M H z ）を所定のパワーでサセプタ 1 6 に印加する。また、直流電源 2 2 より直流電圧を静電チャック 1 8 の電極 2 0 に印加して、半導体ウエハ W をサセプタ 1 6 に固定する。内側上部電極 3 8 のガス通気孔 5 6 a より吐出されたエッチングガスは上部電極 3 4 （3 6 , 3 8 ）とサセプタ 1 6 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。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 0 4 8

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【 0 0 4 8 】

ここで、重要なことは、外側上部電極 3 6 と内側上部電極 3 8 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（6 2 , 5 6 a ）と周辺シャワーヘッド（6 4 , 5 6 a ）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、中心シャワーヘッド（6 2 , 5 6 a ）と周辺シャワーヘッド（6 4 , 5 6 a ）より噴出される処理ガスの解離が内側上部電極 3 8 直下のエリア内で行なわれるため、内側上部電極 3 8 と外側上部電極 3 6 との間で電界強度のバランスを変えても、内側上部電極 3 8 内（同一エリア内）の中心シャワーヘッド（6 2 , 5 6 a ）と周辺シャワーヘッド（6 4 , 5 6 a ）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。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 0 6 5

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【 0 0 6 5 】

また、下部電極 1 6 に高周波バイアス (2 M H z) 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。

【 手続補正 1 0 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 0 7 7

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 0 7 7 】

図 1 4 に、この実施例における導体部材 1 0 0 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 1 4 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 1 0 0 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 1 1 の特性曲線 A , B を上下にひっくり返したものに对应する。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 3 4 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 1 6 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 1 6 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 7 8 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 1 4) は、図 1 1 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 1 4 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 7 6 の回りに導体部材 1 0 0 を設けることで、可変コンデンサ 7 8 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ることができる。

【 手続補正 1 1 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 1 0 7

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 1 0 7 】

このように、処理容器 1 0 内で、特に上部電極 3 4 と下部電極 1 6 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 3 4 の内側上部電極 3 8 に設けられた中心シャワーヘッド (6 2 , 5 6 a) 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 (6 4 , 5 6 a) 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 1 8) を使用しても、上記と同様の測定結果が得られる。

【 手続補正 1 2 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 1 1 2

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 1 1 2 】

上記のように、処理容器 1 0 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 3 4 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。

【 手続補正 1 3 】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0114

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0114】

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。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0115

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0115】

【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 2 0】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 2 1】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 2 2】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 2 3】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。

【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。

【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。

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I テーマコード(参考)
H 0 5 H 1/46 R

(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

Fターム(参考) 4G075 AA22 AA30 BC02 BC06 CA03 CA25 CA47 DA02 DA18 EB01
EC21 EE01 EE12 EE31 FC11 FC13
5F004 AA01 AA16 BA04 BB13 DA00 DA15 DA23 DA25 DA26 DB03