

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6334369号
(P6334369)

(45) 発行日 平成30年5月30日 (2018.5.30)

(24) 登録日 平成30年5月11日 (2018.5.11)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

H O 5 H 1/46 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 1 D

H O 5 H 1/46 C

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-228527 (P2014-228527)
 (22) 出願日 平成26年11月11日 (2014.11.11)
 (65) 公開番号 特開2016-92342 (P2016-92342A)
 (43) 公開日 平成28年5月23日 (2016.5.23)
 審査請求日 平成29年6月28日 (2017.6.28)

(73) 特許権者 501387839
 株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目24番14号
 (74) 代理人 100091720
 弁理士 岩崎 重美
 (72) 発明者 園田 靖
 東京都港区西新橋一丁目24番14号
 株式会社 日立ハイ
 テクノロジーズ内
 (72) 発明者 田中 基裕
 東京都港区西新橋一丁目24番14号
 株式会社 日立ハイ
 テクノロジーズ内
 審査官 鈴木 聡一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料がプラズマ処理される処理室と、前記処理室内にプラズマを生成させるための第一の高周波電力を供給する第一の高周波電源と、前記試料が載置される試料台と、前記試料台に第二の高周波電力を供給する第二の高周波電源と、前記処理室内にガスを供給するガス供給装置とを備えるプラズマ処理装置において、
 一方のプロセスパラメータに規定された一方のガスから他方のプロセスパラメータに規定された他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化に基づいて前記第一の高周波電力を前記一方のプロセスパラメータに規定された前記第一の高周波電力の値から前記他方のプロセスパラメータに規定された前記第一の高周波電力の値へ変化させるように前記第一の高周波電源を制御する制御装置をさらに備えることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】

試料がプラズマ処理される処理室と、前記処理室内にプラズマを生成させるための第一の高周波電力を供給する第一の高周波電源と、前記試料が載置される試料台と、前記試料台に第二の高周波電力を供給する第二の高周波電源と、前記処理室内にガスを供給するガス供給装置とを備えるプラズマ処理装置において、
 一方のプロセスパラメータに規定された一方のガスから他方のプロセスパラメータに規定された他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化に基づいて前記第二の高周波電力を前記一方のプロセスパラメータに規定された前記第二の高周

10

20

波電力の値から前記他方のプロセスパラメータに規定された前記第二の高周波電力の値へ変化させるように前記第二の高周波電源を制御する制御装置をさらに備えることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理装置において、
前記一方のプロセスパラメータに規定された一方のガスから他方のプロセスパラメータに規定された他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化は、前記第一の高周波電源から印加される高周波電圧のピーク間の電圧における変化を用いて検知されることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】

請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理装置において、
前記一方のプロセスパラメータに規定された一方のガスから他方のプロセスパラメータに規定された他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化は、前記第二の高周波電源から印加される高周波電圧のピーク間の電圧における変化を用いて検知されることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】

請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理装置において、
前記一方のプロセスパラメータに規定された一方のガスから他方のプロセスパラメータに規定された他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化は、前記第一の高周波電力の反射波を用いて検知されることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】

請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理装置において、
前記一方のプロセスパラメータに規定された一方のガスから他方のプロセスパラメータに規定された他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化は、前記第二の高周波電力の反射波を用いて検知されることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 7】

一方のガスが規定された一方のプロセスパラメータから他方のガスが規定された他方のプロセスパラメータへ切り替えて試料をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、
前記一方のガスから前記他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化を検知後、プラズマを生成するための高周波電力の値を前記一方のプロセスパラメータに規定された値から前記他方のプロセスパラメータに規定された値へ変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 8】

一方のガスが規定された一方のプロセスパラメータから他方のガスが規定された他方のプロセスパラメータへ切り替えて試料をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、
前記一方のガスから前記他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化を検知後、前記試料が載置される試料台へ供給される高周波電力の値を前記一方のプロセスパラメータに規定された値から前記他方のプロセスパラメータに規定された値へ変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に係り、特に半導体基板等の表面加工をプラズマ処理中に周期的にガスを入れ換えながら行うプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年の半導体技術の微細化により、マスク形状を下層膜に転写するエッチング工程には、

10

20

30

40

50

より高い形状制御性が要求されている。アスペクト比の高い垂直形状をエッチングする方法には様々な方法が知られているが、そのひとつにエッチングガスと、そのエッチングガスに対してエッチング耐性の高い保護膜を形成するデポジションガスとをプラズマを生成した状態のまま周期的に交互に処理室に導入し、プラズマエッチング処理を行うガスチョッピングの方法が知られている。

【0003】

例えば、特許文献1には、交互にガスを導入する際、それぞれのガスの効果をより高めるために、エッチングガスを導入しているプロセスとデポジションガスを導入しているプロセスでセルフバイアスを発生させるために試料台へ供給する高周波電力をガスの導入と同期させて変えることも行われていることが開示されている。

10

【0004】

ガスチョッピング法を用いてエッチングと保護膜形成を交互に行いながらエッチング処理を行った場合、スカロッピングとよばれる望ましくない微小な段差形状がエッチング後の加工穴側面に形成される。この微小な段差形状を改善するためには交互に導入するガスのそれぞれの導入時間を短くして1～3秒とすることが有効である。

【0005】

ガスの処理室への導入量の制御は、一般にガス供給装置(Mass Flow Controller: MFC)に所望のガス流量を流すための制御信号を与えることにより行われている。しかしながら、ガス供給装置に流量の信号を与えた後、処理室にガスが導入されるまでには、ガス供給装置の応答時間、ガス配管やシャワープレート、処理室内の圧力やガスの流れ等が影響して1秒程度の遅延が発生し、また、その遅延は、0.2～0.3秒ほどのばらつきをもっている。

20

【0006】

そのため、ガス導入時間を1～3秒程度の時間とする場合、ガス供給装置への制御信号を与えてからガスが実際に処理室に導入されるまでの遅延を考慮して制御を行わないと、処理室内にエッチングまたは保護膜形成を行うプロセスのガスが導入されているタイミングと、バイアスやプラズマを発生させる電力などのプロセスパラメータをそれぞれのプロセスに適した値に制御しているタイミングに無視できない時間のずれが生じ、最適な処理が実現されなくなる。

【0007】

30

また、ガス導入の遅延時間のばらつきの影響を低減するため、処理室へのガス導入の正確な時間をリアルタイムで把握しながらその他のプロセスパラメータの制御を行う必要がある。エッチングガスとデポジションガスの交換を判定する方法としては、特許文献2に開示された方法のように発光スペクトル・質量分析計を用いてガス比を検出することによりエッチングガスとデポジションガスの入れ変わり時間を求め、高周波電力を同期させる方法が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開昭60-50923号公報

40

【特許文献2】特開平2-105413号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら上記従来技術では、以下の点についての考慮が十分になされていなかった。特許文献2に開示された方法では、プラズマからの発光を基にしてガスの入れ替わりを判定するため、エッチングの進行に伴う発光の変化や処理室内のプラズマからの発光を取り出す窓がエッチング雰囲気中に晒されて表面が劣化したり、反応生成物の付着などにより透過率が下がることによりガスの入れ替わりを判定する精度が下がってしまう。

【0010】

50

また、質量分析計を用いる場合、エッチング処理を乱さないように処理室から離し、例えば、処理室より下流の真空排気装置付近に設置するのが望ましいが、処理室より離す必要がある分、処理室内のガスの組成分析が遅れてしまい、ガスの導入周期が短い場合、処理室内のガスの組成分析がガスの導入周期に追従できない。

【0011】

以上、上記課題を鑑みて本発明は、ガスを周期的に切り替えながらプラズマ処理を行うプラズマ処理装置において、安定性が良くかつ形状制御性の高いプラズマエッチングを行うことができるプラズマ処理装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、試料がプラズマ処理される処理室と、前記処理室内にプラズマを生成させるための第一の高周波電力を供給する第一の高周波電源と、前記試料が載置される試料台と、前記試料台に第二の高周波電力を供給する第二の高周波電源と、前記処理室内にガスを供給するガス供給装置とを備えるプラズマ処理装置において、一方のプロセスパラメータに規定された一方のガスから他方のプロセスパラメータに規定された他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化に基づいて前記第一の高周波電力を前記一方のプロセスパラメータに規定された前記第一の高周波電力の値から前記他方のプロセスパラメータに規定された前記第一の高周波電力の値へ変化させるように前記第一の高周波電源を制御する制御装置をさらに備えることを特徴とする。

【0013】

また、本発明は、一方のガスが規定された一方のプロセスパラメータから他方のガスが規定された他方のプロセスパラメータへ切り替えて試料をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、前記一方のガスから前記他方のガスへ切り替える過程にて誘発されるプラズマインピーダンスの変化を検知後、プラズマを生成するための高周波電力の値を前記一方のプロセスパラメータに規定された値から前記他方のプロセスパラメータに規定された値へ変化させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明は、ガスを周期的に切り替えながらプラズマ処理を行うプラズマ処理装置において、安定性が良いかつ形状制御性の高いプラズマエッチングを行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明に係るプラズマ処理装置の構成を示す縦断面図である。

【図2】本発明の制御を示すフローチャートである。

【図3】ガス供給装置に流量制御信号を送信した際のガス供給装置から供給されるガス流量を示す図である。

【図4】 N_2 ガスをパルス的に処理室に2秒間供給することと2秒間供給を停止することを繰り返した場合のVppおよび反射波を示す図である。

【図5】ガス供給装置の制御信号による N_2 ガスのパルスを10回繰り返し処理室に導入した際におけるVppの応答状態を示す図である。

【図6】 N_2 ガスの流量制御信号の変化に対するVppとVppの1次微分および2次微分を示す図である。

【図7】 SF_6 ガスと $SiCl_4$ ガスを交互に処理室に導入した場合のVppの変化を示す図である。

【図8】2次微分値を用いてガス導入を検知することにより高周波電源113の高周波電力を同期させて変化させた場合のVppおよび高周波電力の変化を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0017】

本発明は、半導体基板をエッチングガスとデポジションガス(堆積性ガス)を交互に処理室に導入しながらエッチング処理を行う際、エッチングガスとデポジションガスとの切替えに伴うプラズマインピーダンスの変化よりそれぞれのガスが処理室に導入されたことを検知し、ガス以外のセルフバイアス発生用の高周波電力などのプロセスパラメータをそれに同期して変化させることを特徴とした発明である。以下、本発明について説明する。

【0018】

図1は、本実施例に係るプラズマ処理装置の全体構成の概略を示す縦断面図である。真空容器101の上部に、真空容器101内にエッチングガスを導入するためのシャワープレート102、処理室上部を気密に封止するための誘電体窓103を設置し処理室104を構成する。シャワープレート102には、ガス配管105を介して複数のガス供給装置(MFC)106が接続され、各ガス供給装置106にはそれぞれプラズマエッチング処理を行うための SF_6 ガスや O_2 ガスなどの処理用ガス(図示省略)が接続されている。

10

【0019】

上記の複数のガス供給装置によりエッチング処理を行うための第1のプロセスガス(エッチングガス)と保護膜形成処理を行うための第2のプロセスガス(デポジションガス)とが一定の周期で交互にガス配管105およびシャワープレート102を介して処理室104に導入できるものとする。尚、エッチングガスおよびデポジションガスは、単一のガスでも良いし、複数のガスの組み合わせでもよい。また、ガスの切り換え時の放電不安定性を低減するためには、エッチングガスおよびデポジションガスにはArガスやHeガスなどの各プロセスの特性を大きく変えない希ガスを共通のガスとして添加させた方がよい。また、真空容器101には、真空排気口114を介して真空排気装置(図示省略)が接続されており、処理室104内の圧力を制御できるものとする。

20

【0020】

このプラズマ処理装置によるプラズマ発生機構は、マイクロ波と呼ばれる2.45GHzの電磁波を発生する電磁波発生用電源(マグネトロン)107、マイクロ波整合器108および磁場発生コイル109により構成され、第一の高周波電源である電磁波発生用電源107から発振された電磁波と磁場発生コイル109により形成された磁場との電子サイクロトロン共鳴(Electron Cyclotron Resonance: ECR)により処理室104にプラズマを生成する。

【0021】

30

また、シャワープレートに対向した処理室104下部には試料である半導体基板110を載置する試料台111が設置されている。試料台111には高周波整合器112を介して第二の高周波電源である高周波電源113が接続される。試料台111に接続された高周波電源113から高周波電力を供給することにより、一般的にセルフバイアスとよばれる負の電圧が試料台111上に発生し、セルフバイアスによってプラズマ中のイオンが加速されて半導体基板110に垂直に入射することにより、半導体基板110がエッチングされる。

【0022】

制御装置115は、上述したこれらの装置をプロセス条件に基づいて制御する。また、制御装置115は、以下に説明する方法により処理室へのガスの導入を整合器からのセンサよりデータを受け取って処理室へのガス導入を検知し、検知後にガス以外のプロセスパラメータを変化させるタイミングの制御を行う。

40

【0023】

プロセスパラメータが一定に維持される場合、プラズマインピーダンスは大きく変化しない。しかし、ガスチョッピングの方法のように処理室104内のガスをプラズマ生成中に入れ換えた場合、ガスの種類によって解離や電離が異なるため、プラズマの基礎量である電子密度・電子温度が変化する。この変化によってプラズマインピーダンスもガスの入れ替えに伴って変化する。本発明は、この現象を利用し、ガスチョッピングの方法による処理室内のガスの入れ替わりをプラズマインピーダンスの変化により検知し、ガス入れ替わりを検知した後、エッチング処理および保護膜形成処理のそれぞれに適したプロセスパ

50

ラメータに変化させる。

【 0 0 2 4 】

高周波整合器 1 1 2 およびマイクロ波整合器 1 0 8 の機能は一般に知られるように、それぞれ高周波電源 1 1 3 または電磁波発生用電源 1 0 7 のインピーダンスとそれぞれの電源から見たプラズマインピーダンスを含む回路のインピーダンスとを整合させることにより、反射波を低減させて電力を効率よく負荷であるプラズマに供給することである。

【 0 0 2 5 】

そのため、プラズマインピーダンスの変化は、高周波整合器 1 1 2 およびマイクロ波整合器 1 0 8 内の複数のセンサにより検知可能である。検知可能なセンサの例としては高周波電力のピーク間電圧である V_{pp} や反射波電力等が挙げられる。

10

【 0 0 2 6 】

また、高周波電力のピーク間電圧 (V_{pp}) は、高周波電力を一定として制御した場合、プラズマインピーダンスの変化とともに変化する。また、プラズマインピーダンスの変化は、整合ポイントが変わり、瞬間的に不整合となったことを意味するため、反射波の発生として現れる。以下、これらの現象を用いて処理室内へのガス入れ換えを判定した例について説明する。

【 0 0 2 7 】

図 2 は、ガス供給装置および高周波電源 1 1 3 の制御方法を示すフローチャートである。ステップ 2 0 1 において、最初に第 1 のプロセスガスをガス供給装置に制御信号を送信することにより処理室 1 0 4 に導入し目標の処理圧力になるよう制御する。ステップ 2 0 2 において、プラズマ生成用のマイクロ波を処理室に供給するとともに磁場を発生させることによりプラズマを生成し、次に高周波電力を試料台に供給しセルフバイアスを発生させるなど、装置各部を第 1 のプロセスパラメータに制御することでエッチング処理を開始する。

20

【 0 0 2 8 】

プラズマエッチング処理開始時のステップ 2 0 1 およびステップ 2 0 2 においては、処理室内は、第 1 のプロセスガスが十分に導入されて処理室内の圧力が処理に好適な値になった後にプラズマの生成および高周波電源 1 1 3 から供給された高周波電力の供給を行うなど他のプロセスパラメータの制御を行えばよく、ガス導入の遅れおよびガスの切り換えを必ずしも検知する必要はない。

30

【 0 0 2 9 】

次にステップ 2 0 3 において、設定した第 1 プロセスの時間を経過した後、第 1 プロセスガスの供給を停止し、第 2 プロセスガスの供給を開始するようガス供給装置 1 0 6 に制御信号を送信する。図 3 にガス供給装置へ流量の制御信号を送信した際のそれに対する応答であるガス供給装置で測定されたガス供給流量を示す。

【 0 0 3 0 】

制御信号が送信されてからガスが流れ始めるのには約 0 . 2 秒の時間がかかり、目標値の 9 0 % 以上の流量が流れるのはガスが流れ始めてからさらに約 0 . 6 秒経過している。ガスがガス供給装置に制御信号を送信されてから処理室に到達するまでには、さらにガス配管およびシャワープレートを通過する必要があるためさらに遅延が発生する。

40

【 0 0 3 1 】

次にステップ 2 0 4 において、第 1 プロセスガスの供給が停止され、第 2 プロセスガスが処理室に導入され始めると、プラズマインピーダンスが変化し始め、高周波整合器にて V_{pp} の変化や高周波バイアス電力の反射波の発生として検知する。図 4 は、Ar ガスと N_2 ガスとの混合ガスによるプラズマを生成した際、 N_2 ガスをパルス的に処理室に 2 秒間供給することと 2 秒間供給を停止することを繰り返した場合の V_{pp} および反射波を示す図である。

【 0 0 3 2 】

本実施例においては、エッチングガスとデポジションガスを周期的に交互に切り換えながら供給するとともに処理室内のガスの切り換えを検知した後、ガス以外のプロセスパラ

50

メータを変化させるため、ガス以外のプロセスパラメータが変化することによるV p pなどの大きな変化がガスを切り換えることによる変化の後に加わることになる。尚、図4では、ガス供給装置に送信される制御信号とV p pなどの変化の時間的關係のみを調べるために周期的に制御するプロセスパラメータをN₂ガスの1つに限定し、N₂ガスの流量の変化に関わらずその他のプロセスパラメータを一定とした場合の結果を示している。

【0033】

N₂ガスの流量を変化させた際、流量制御信号よりも遅れてV p pが変化し始め、安定するまでに約1.5秒の時間がかかっている。また、反射波は、V p pの変化し始めに発生している。これらの変化は、以下のように考えられる。

【0034】

最初にガスの供給を開始するように流量制御信号を変化させた後、処理室に0.8秒ほど遅れてガスが導入され始める。導入当初の立ち上がりにおいて処理室内を流れるガスの組成が大きく変化するため、それに伴ってプラズマの電子密度が大きく変化する。電子密度が大きく変化するプラズマインピーダンスも大きく変化するため、整合ポイントがずれて反射波が発生するとともにV p pも変化し始める。

【0035】

反射波の発生後、整合器での自動再整合が行われ、また、ガス導入量の変化がゆるやかになるため反射波が0になる。一方、V p pは、ガス流量の立ち上がりにあわせて変化し始め、さらに0.7秒ほど経過してガス流量が安定するまでの間、電子密度およびインピーダンスがともに変化し続けていると考えられる。また、このV p pの変化により処理室へガスが導入されるまでの時間のばらつきがどの程度か調べることができる。

【0036】

図5は、ガス供給装置の制御信号によるN₂ガスのパルスで10回繰り返し処理室に導入した際にV p pがどのように応答するかを示した図である。破線がガス供給装置に送信された制御信号であり、実線が10回の繰り返しの際のV p pである。図5よりV p pの立下りや立ち上りに0.3秒のばらつきがあることがわかる。このばらつきは、ガスの導入時間に対し1割以上のずれをもたらすため、ステップ205にてこのばらつきを含めて、処理室へのガス導入を検知することは重要である。

【0037】

V p pを用いてガス導入の検知する方法としては、V p pの1次微分を求め、1次微分値が予め設定した閾値以上となった場合に処理室内のガスが導入されて切り換わったことを検知する。または、V p pの2次微分を求め、2次微分量が0を交差したタイミングで検知しても良い。図6は、N₂ガスの流量制御信号の変化に対するV p pとV p pの1次微分および2次微分を求めたものを示す。

【0038】

N₂ガスが供給されるとV p pが減少して1次微分値が負となる。図5の場合、ガス供給開始後の1次微分値を計算し、しきい値を-0.02程度とすることでガスの供給開始を検知することができる。また2次微分値が負から正に向かって0と交差するのはガス供給開始の信号が送信されてから1.4秒後であり、この時間は、V p pの変化がゆるやかになり始めたタイミングを表しているため、処理室内のN₂ガス流量が安定し始めたタイミングであることを検知できる。また、反射波を用いて処理室へのガスの導入を検知する場合は、しきい値を設定し、ステップ203以後にある一定値以上の反射波が発生したタイミングをガス導入が開始されたと検知することが適当である。

【0039】

続いてステップ205において、第1プロセスガスより第2プロセスガスへの切り換わりを検知した後、プロセスパラメータを変化させ保護膜形成処理を開始する。次にステップ206において、ステップ203により設定した第2プロセスの時間を経過した後、目標の深さまでエッチングされたかどうかを判定する。ステップ210において、目標の深さまでエッチングされ更にエッチングする必要がない場合は処理を終了する。目標の深さまでエッチングが進行していない場合は、再度エッチング処理と保護膜形成処理とを目標

10

20

30

40

50

のエッチング深さになるまで繰り返し行う。

【 0 0 4 0 】

本発明においては、各処理ガスを供給するよう制御信号を送信する時間と、その処理ガスが処理室に導入されその他のプロセスパラメータを各処理に適した値へと制御している時間との2つの時間がある。ステップ206にて設定した第2のプロセスの時間にはガスを供給するための制御信号を送信する時間を用いるのが良い。設定されたガス供給時間が経過した後、所望のエッチング深さの場合、マイクロ波などの供給を停止し、処理を終了する。また、目標の深さまでエッチングが進行していない場合、ガス以外のプロセスパラメータは第2のプロセスパラメータの値となるように制御を続ける。

【 0 0 4 1 】

保護膜形成処理からエッチング処理への切り換えは、ステップ203～205と同様の手順で行う。先ずステップ207において、第2プロセスガスの供給を停止し、第1プロセスガスの供給を開始するためにガス供給装置106に制御信号を送信する。次にステップ208において、処理室内のガスが第2プロセスガスから第1プロセスガスに切り換わったことをプラズマインピーダンスの変化を検知することにより判定する。

【 0 0 4 2 】

続いてステップ209において、第2プロセスガスから第1プロセスガスへの切り替わりを検知した後、プロセスパラメータを変化させエッチング処理を開始する。次にステップ208の第1プロセスの設定した時間が経過した後、ステップ204に戻って保護膜形成処理を再度行う。このようにステップ207～209およびステップ203～205の

【 0 0 4 3 】

プロセスガスの供給を変化させる毎に処理室へのガス導入の検知を行うが、実際の処理の際にはノイズなどによりガス導入の検知を失敗することがあり得る。この懸念に対しては、プロセスガスの供給を開始してから処理室に導入されたことを検知するまでの時間に閾値を設け、その間にプラズマインピーダンス変化が検知できない場合、プロセスガスの供給から閾値以上の時間が経過した瞬間にガス以外のプロセスパラメータを変化させれば良い。

【 0 0 4 4 】

また、閾値の時間の設定には、予め各プロセスのガスを供給するためにMFCに制御信号を送信してから処理室に導入されるまでの時間のばらつきを、プラズマインピーダンスの変化を用いて測定し、このばらつきの中で最も導入されるまでの時間が長い時間を用いて設定することが有効である。次にガス導入をVppの2次微分よりガスの導入を検知してプロセスパラメータの一つである高周波電源113から供給された高周波電力を変化させた例について説明する。

【 0 0 4 5 】

また、Vppの2次微分によりガスの導入を検知する際には、エッチングガスおよびデポジションガスを処理室に導入した時にVppがどのように変化し、2次微分値の0との交差が正から負の方向であるのか、または負から正の方向であるのか等を高周波電源113からの高周波電力を一定とする条件にて調べた方がよい。

【 0 0 4 6 】

次に図7にエッチングガスとしてSF₆ガス、デポジションガスとしてSiCl₄ガス、エッチングガスおよびデポジションガスの共通ガスとしてO₂ガスおよびArガスを用い、SF₆ガスとSiCl₄ガスを交互に処理室に導入した場合のVppの変化を示す。エッチングガスの条件は、SF₆ガスの流量とO₂ガスの流量とArガスの流量をそれぞれ、90ml/min、10ml/min、50ml/minとし、デポジションガスの条件は、SiCl₄ガスの流量とO₂ガスの流量とArガスの流量をそれぞれ、30ml/min、10ml/min、50ml/minとし、それぞれのガスの導入時間を3秒として繰り返し処理室に導入した。また、マイクロ波電力は600W、処理圧力は0.3Pa、高周波電源113の高周波電力は30Wの一定とした。

【 0 0 4 7 】

図 7 の結果より 2 次微分を用いて処理室内のガスが入れ替わりを検知するタイミングは、 SF_6 ガスを導入した場合は正から負に向かって 0 と交差する時、 SiCl_4 ガスを導入する場合は逆に負から正へ向かって 0 と交差する時である。これによりガスの処理室への導入を V_{pp} の 2 次微分値より検知することができ、図 7 に SF_6 ガスおよび SiCl_4 ガスがそれぞれ処理室に導入されたと検知されたタイミングを併せて示している。

【 0 0 4 8 】

次に図 8 は、2 次微分値が 0 と交差する時間よりガス導入を検知し、それにより高周波電源 1 1 3 の高周波電力を同期させて変化させた場合の V_{pp} および高周波電力の変化を示す。エッチングガスを導入した場合の高周波電力を 1 0 0 W、デポジションガスを導入した場合は高周波電力を 3 0 W とし、その他のエッチング処理条件は、図 7 の測定を行った条件と同じとした。 SF_6 ガスおよび SiCl_4 ガスのどちらのガスの場合においても供給開始の制御信号の変化より 1 秒ほど遅れて高周波電源 1 1 3 の高周波電力が各ガスの処理条件にあわせて変化し、エッチング処理および保護膜形成処理にそれぞれ適した高周波電力が供給されながらエッチング処理および保護膜形成処理が行われている。

【 0 0 4 9 】

本実施例では、第 1 プロセスガスをエッチングガス、第 2 プロセスガスをデポジションガスとして説明を行ったが、本発明は、この 2 つの組み合わせのみに限定されるものではない。2 つ以上のプロセスガスによる処理の放電を生成しながら順次切り替えて繰り返すことによるエッチング処理に対しても適用できる。

【 0 0 5 0 】

また、本発明を適用できる例としてエッチングや保護膜形成以外の処理の例では、保護膜形成ステップよりエッチングステップへ移行する間に保護膜形成ステップで形成した保護膜を側面は残し、底面は除去するという保護膜除去処理がある。また、エッチングに用いるガスや保護膜形成に用いるガスが繰り返し中の他の異なる処理を行う際に処理室内に残留しないように各処理と処理との間に Ar ガスなど半導体基板と反応しづらいガスによるプラズマを生成することにより処理室内から他の処理を行う際に残留していることが望ましくないガスを排気する処理などもある。さらにこれらを組み合わせて繰り返すことで形状制御性の高い処理を行うことができる。

【 0 0 5 1 】

また、本発明を適用したガスチョッピングの方法によるエッチングと他の繰り返しを用いないエッチングとを組み合わせる半導体基板のエッチング処理を組み合わせることもできる。例えば、本発明を適用したガスチョッピングの方法により所望のエッチング深さ・形状に処理するメインエッチング後に、本発明を適用したガスチョッピングの方法を用いないオーバーエッチングを行うことができる。

【 0 0 5 2 】

さらに本実施例では、高周波電源 1 1 3 から供給された高周波電力について説明したが、本発明は、プラズマを生成するための高周波電力にも適用できる。

【 0 0 5 3 】

本実施例に係るプラズマ処理装置の制御装置 1 1 5 は、複数のガス供給装置に周期的にガス供給量を変化させるために制御信号を送信するとともに V_{pp} や反射波の信号を整合器から受信してガスが処理室に導入されたタイミングを検知した後、高周波電源の出力を変化させる制御を行う。プラズマインピーダンスの変化に基づいて高周波電力を変化させるタイミングを決めることにより、ガスの導入にエッチングプロセスおよび保護膜形成プロセスそれぞれに適した高周波電力を高精度に同期させて供給することができ、形状制御性の高いプラズマエッチング処理が可能となる。

【 0 0 5 4 】

なお、本発明は上述した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、誘導結合型プラズマ (Inductively Coupled Plasma : ICP) 処理装置、容量結合型プラズマ (Capacitively Coupled

10

20

30

40

50

Plasma:CCP)処理装置などのプラズマの生成手段またはバイアスの印加に高周波電源を使用し、高周波電力をプラズマに効率よく伝えるために整合器を使用するものに対して適用可能である。

【0055】

また、上述した実施例は本発明をわかり易く説明するために詳細に説明したものであり、本発明は、必ずしも説明したすべての構成を備えるものに限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

【符号の説明】

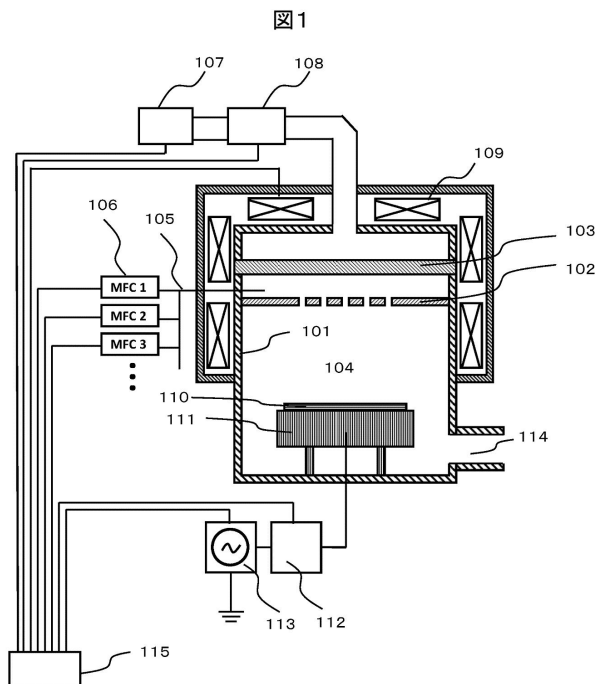
【0056】

- 101 ... 真空容器
- 102 ... シャワープレート
- 103 ... 誘電体窓
- 104 ... 処理室
- 105 ... ガス配管
- 106 ... ガス供給装置
- 107 ... 電磁波発生用電源
- 108 ... マイクロ波整合器
- 109 ... 磁場発生コイル
- 110 ... 半導体基板
- 111 ... 試料台
- 112 ... 高周波整合器
- 113 ... 高周波電源
- 114 ... 真空排気口
- 115 ... 制御装置

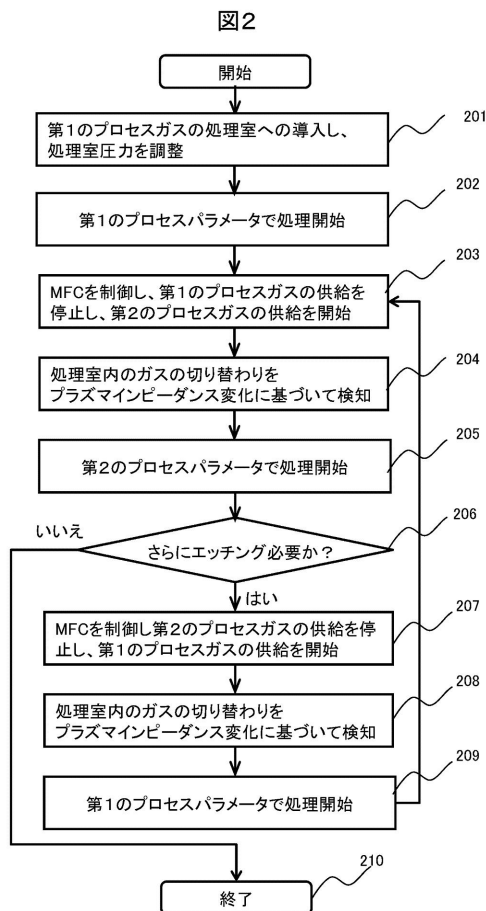
10

20

【図1】

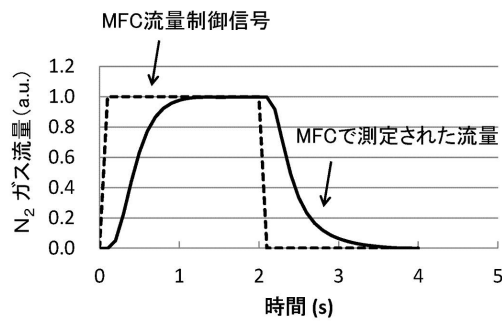


【図2】



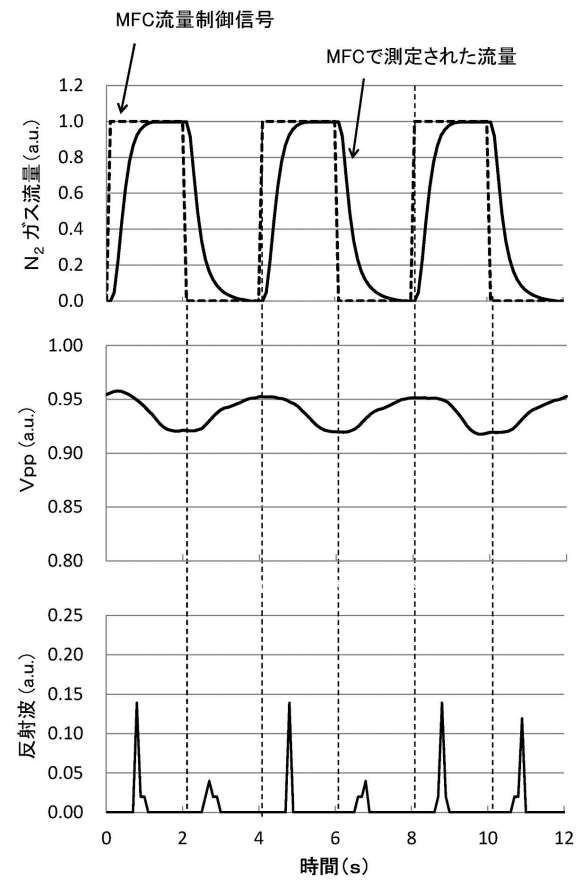
【図3】

図3



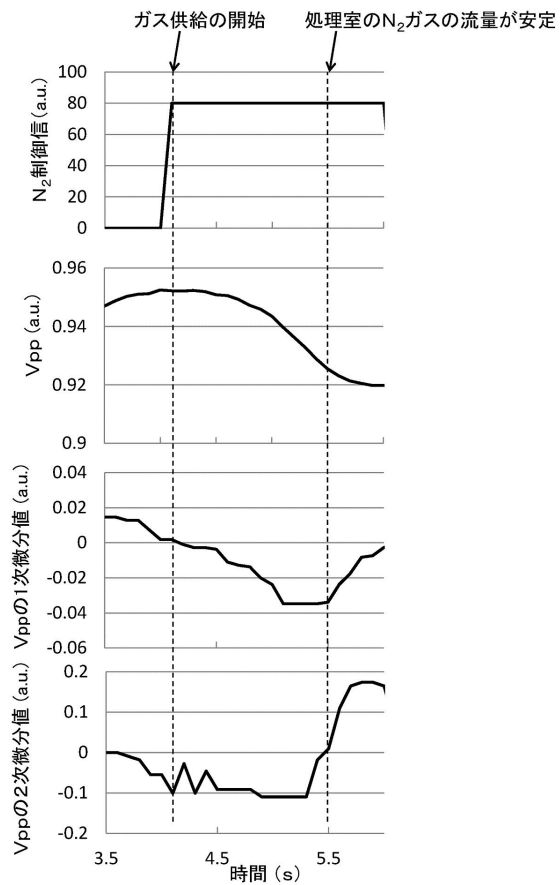
【図4】

図4



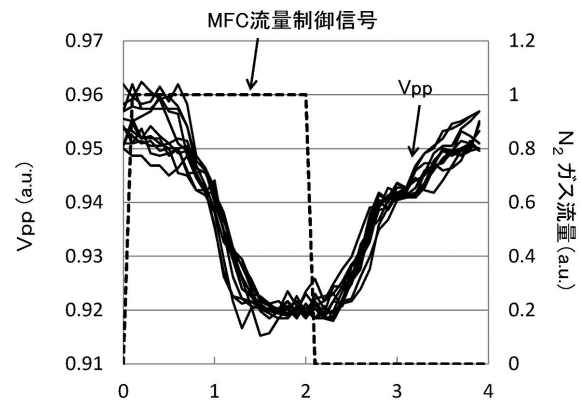
【図5】

図5

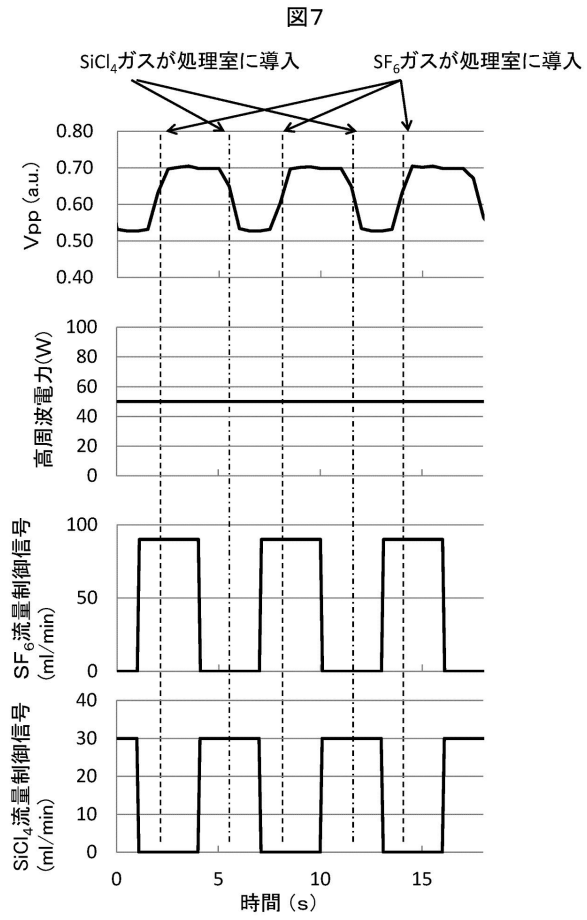


【図6】

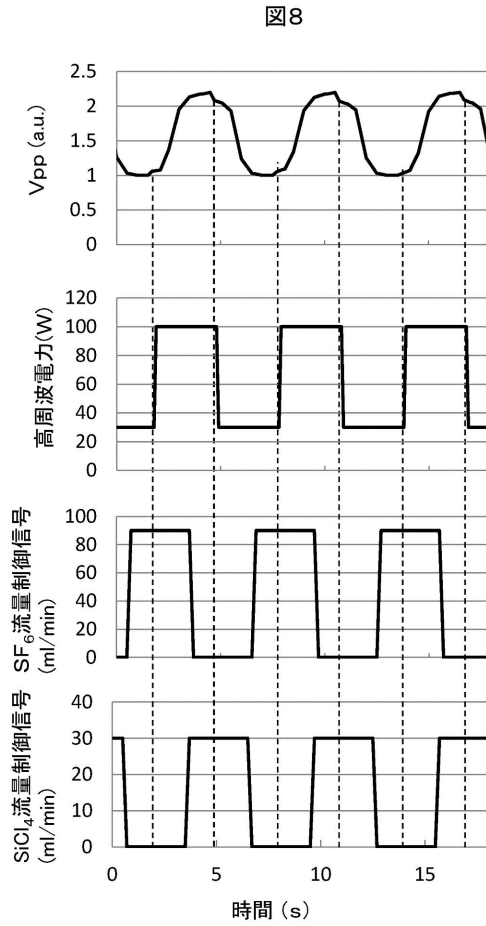
図6



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2012-060104(JP,A)
国際公開第2012/023537(WO,A1)
特開2008-118017(JP,A)
特開2008-244429(JP,A)
特開2009-206344(JP,A)
特開2007-266006(JP,A)
特開2004-096019(JP,A)
特開2001-267301(JP,A)
特開2011-155044(JP,A)
特開2005-057163(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 16/00 - 16/56
H01L 21/205
H01L 21/302
H01L 21/3065
H01L 21/31
H01L 21/312 - 21/32
H01L 21/365
H01L 21/461
H01L 21/469 - 21/475
H01L 21/86
H05H 1/00 - 1/54