

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置、制御方法、及び制御プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、プラズマ処理装置、制御方法、及び制御プログラムに関する。

背景技術

[0002] プラズマ処理装置は、基板のプラズマ処理に用いられている。プラズマ処理装置のチャンバ内において、基板は、エッジリング若しくはフォーカスリングと呼ばれる環状部材によって囲まれた領域内に配置される。

[0003] プラズマ処理装置によりプラズマ処理が実行されると、環状部材が消耗してその厚さが減少する。環状部材の厚さの減少に伴い、環状部材の上方でのシースの上端位置が低くなる。環状部材の上方でのシースの上端位置が低くなると、プラズマからのイオンが基板のエッジに対して傾斜した角度で衝突する。その結果、基板のエッジにおいて形成される凹部が傾斜する。特許文献1には、基板のエッジに形成される凹部の傾斜を抑制するために、環状部材に直流電圧を印加する構成が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2007-258417号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本開示は、装置内に配置される環状部材の消耗に伴うプロセス特性の低下を抑制するプラズマ処理装置、制御方法、及び制御プログラムを提供する。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一形態に係るプラズマ処理装置は、載置台に載置された基板にプラズマ処理を施すプラズマ処理装置であって、前記基板の周囲に配置される環状部材と、前記環状部材上のシース厚を調整する調整部と、前記環状部材の電位を計測する計測部と、前記プラズマ処理における複数種の制御パラメ

ータの値を制御する制御部とを備え、前記制御部は、前記調整部における調整量を変更した場合の前記電位の変動量を示すデータと、前記制御パラメータの値を制御パラメータ毎に変化させた場合の前記電位の変動量を示すデータとを取得し、取得したデータに基づき、前記調整量の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータの種類を決定し、前記調整量の変更に伴う前記電位の変動量を抑制するよう、前記制御パラメータの値を計算する。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、装置内に配置される環状部材の消耗に伴うプロセス特性の低下を抑制できる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]容量結合型のプラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。
[図2A]エッジリングの消耗によるチルティングの変動を説明するための図である。
[図2B]エッジリングの消耗によるチルティングの変動を説明するための図である。
[図3]F R D C __ %を変更したときの作用を説明する説明図である。
[図4]実施の形態におけるR F __ p wの制御手法を説明する説明図である。
[図5]R F __ p w変更量の計算手法を説明する説明図である。
[図6]制御部が実行する処理の手順を説明するフローチャートである。
[図7]特定のステップでのシミュレーション結果を示すグラフである。
[図8]別のステップでのシミュレーション結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0009] 以下に、プラズマ処理システムの構成例について説明する。図1は、容量結合型のプラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。

[0010] プラズマ処理システムは、容量結合型のプラズマ処理装置1及び制御部2を含む。容量結合型のプラズマ処理装置1は、プラズマ処理チャンバ10、ガス供給部20、電源30及び排気システム40を含む。また、プラズマ処理装置1は、基板支持部11及びガス導入部を含む。ガス導入部は、少なく

とも1つの処理ガスをプラズマ処理チャンバ10内に導入するように構成される。ガス導入部は、シャワーヘッド13を含む。基板支持部11は、プラズマ処理チャンバ10内に配置される。シャワーヘッド13は、基板支持部11の上方に配置される。一実施形態において、シャワーヘッド13は、プラズマ処理チャンバ10の天部（ceiling）の少なくとも一部を構成する。プラズマ処理チャンバ10は、シャワーヘッド13、プラズマ処理チャンバ10の側壁10a及び基板支持部11により規定されたプラズマ処理空間10sを有する。プラズマ処理チャンバ10は、少なくとも1つの処理ガスをプラズマ処理空間10sに供給するための少なくとも1つのガス供給口と、プラズマ処理空間からガスを排出するための少なくとも1つのガス排出口とを有する。プラズマ処理チャンバ10は接地される。シャワーヘッド13及び基板支持部11は、プラズマ処理チャンバ10の筐体とは電氣的に絶縁される。

[0011] 基板支持部11は、本体部111及びリングアセンブリ112を含む。本体部111は、基板Wを支持するための中央領域111aと、リングアセンブリ112を支持するための環状領域111bとを有する。ウェハは基板Wの一例である。本体部111の環状領域111bは、平面視で本体部111の中央領域111aを囲んでいる。基板Wは、本体部111の中央領域111a上に配置され、リングアセンブリ112は、本体部111の中央領域111a上の基板Wを囲むように本体部111の環状領域111b上に配置される。従って、中央領域111aは、基板Wを支持するための基板支持面とも呼ばれ、環状領域111bは、リングアセンブリ112を支持するためのリング支持面とも呼ばれる。

[0012] 一実施形態において、本体部111は、基台1110及び静電チャック1111を含む。基台1110は、導電性部材を含む。基台1110の導電性部材は下部電極として機能し得る。静電チャック1111は、基台1110の上に配置される。静電チャック1111は、セラミック部材1111aとセラミック部材1111a内に配置される静電電極1111bとを含む。セ

ラミック部材 1111a は、中央領域 111a を有する。一実施形態において、セラミック部材 1111a は、環状領域 111b も有する。なお、環状静電チャックや環状絶縁部材のような、静電チャック 1111 を囲む他の部材が環状領域 111b を有してもよい。この場合、リングアセンブリ 112 は、環状静電チャック又は環状絶縁部材の上に配置されてもよく、静電チャック 1111 と環状絶縁部材の両方の上に配置されてもよい。また、後述する RF (Radio Frequency) 電源 31 及び／又は DC (Direct Current) 電源 32 に結合される少なくとも 1 つの RF / DC 電極がセラミック部材 1111a 内に配置されてもよい。この場合、少なくとも 1 つの RF / DC 電極が下部電極として機能する。後述するバイアス RF 信号及び／又は DC 信号が少なくとも 1 つの RF / DC 電極に供給される場合、RF / DC 電極はバイアス電極とも呼ばれる。なお、基台 1110 の導電性部材と少なくとも 1 つの RF / DC 電極とが複数の下部電極として機能してもよい。また、静電電極 1111b が下部電極として機能してもよい。従って、基板支持部 11 は、少なくとも 1 つの下部電極を含む。

[0013] リングアセンブリ 112 は、1 又は複数の環状部材を含む。一実施形態において、1 又は複数の環状部材は、1 又は複数のエッジリングと少なくとも 1 つのカバーリングとを含む。エッジリングは、導電性材料又は絶縁材料で形成され、カバーリングは、絶縁材料で形成される。エッジリングは、フォーカスリング (FR) と呼ばれる。図 1 に例示したリングアセンブリ 112 は、環状のエッジリング 112a と、エッジリング 112a の周囲に配置される環状のカバーリング 112b とを備える。

[0014] また、基板支持部 11 は、静電チャック 1111、リングアセンブリ 112 及び基板のうち少なくとも 1 つをターゲット温度に調節するように構成される温調モジュールを含んでもよい。温調モジュールは、ヒータ、伝熱媒体、流路 1110a、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。流路 1110a には、ブラインやガスのような伝熱流体が流れる。一実施形態において、流路 1110a が基台 1110 内に形成され、1 又は複数のヒータが静電チ

ャック 1 1 1 1 のセラミック部材 1 1 1 1 a 内に配置される。また、基板支持部 1 1 は、基板 W の裏面と中央領域 1 1 1 a との間の間隙に伝熱ガスを供給するように構成された伝熱ガス供給部を含んでもよい。

[0015] シャワーヘッド 1 3 は、ガス供給部 2 0 からの少なくとも 1 つの処理ガスをプラズマ処理空間 1 0 s 内に導入するように構成される。シャワーヘッド 1 3 は、少なくとも 1 つのガス供給口 1 3 a、少なくとも 1 つのガス拡散室 1 3 b、及び複数のガス導入口 1 3 c を有する。ガス供給口 1 3 a に供給された処理ガスは、ガス拡散室 1 3 b を通過して複数のガス導入口 1 3 c からプラズマ処理空間 1 0 s 内に導入される。また、シャワーヘッド 1 3 は、少なくとも 1 つの上部電極を含む。なお、ガス導入部は、シャワーヘッド 1 3 に加えて、側壁 1 0 a に形成された 1 又は複数の開口部に取り付けられる 1 又は複数のサイドガス注入部 (SGI: Side Gas Injector) を含んでもよい。

[0016] ガス供給部 2 0 は、少なくとも 1 つのガスソース 2 1 及び少なくとも 1 つの流量制御器 2 2 を含んでもよい。一実施形態において、ガス供給部 2 0 は、少なくとも 1 つの処理ガスを、それぞれに対応のガスソース 2 1 からそれぞれに対応の流量制御器 2 2 を介してシャワーヘッド 1 3 に供給するように構成される。各流量制御器 2 2 は、例えばマスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器を含んでもよい。さらに、ガス供給部 2 0 は、少なくとも 1 つの処理ガスの流量を変調又はパルス化する 1 又はそれ以上の流量変調デバイスを含んでもよい。

[0017] 電源 3 0 は、少なくとも 1 つのインピーダンス整合回路を介してプラズマ処理チャンバ 1 0 に結合される RF 電源 3 1 を含む。RF 電源 3 1 は、少なくとも 1 つの RF 信号 (RF 電力) を少なくとも 1 つの下部電極及び／又は少なくとも 1 つの上部電極に供給するように構成される。これにより、プラズマ処理空間 1 0 s に供給された少なくとも 1 つの処理ガスからプラズマが形成される。従って、RF 電源 3 1 は、プラズマ処理チャンバ 1 0 において 1 又はそれ以上の処理ガスからプラズマを生成するように構成されるプラズ

マ生成部の少なくとも一部として機能し得る。また、バイアスRF信号を少なくとも1つの下部電極に供給することにより、基板Wにバイアス電位が発生し、形成されたプラズマ中のイオン成分を基板Wに引き込むことができる。

[0018] 一実施形態において、RF電源31は、第1のRF生成部31a及び第2のRF生成部31bを含む。第1のRF生成部31aは、少なくとも1つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に結合され、プラズマ生成用のソースRF信号（ソースRF電力）を生成するように構成される。一実施形態において、ソースRF信号は、10MHz～150MHzの範囲内の周波数を有する。一実施形態において、第1のRF生成部31aは、異なる周波数を有する複数のソースRF信号を生成するように構成されてもよい。生成された1又は複数のソースRF信号は、少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に供給される。以下、ソースRF電力（ソース電力）は、HF__pwとも表記される。

[0019] 第2のRF生成部31bは、少なくとも1つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも1つの下部電極に結合され、バイアスRF信号（バイアスRF電力）を生成するように構成される。バイアスRF信号の周波数は、ソースRF信号の周波数と同じであっても異なってもよい。一実施形態において、バイアスRF信号は、ソースRF信号の周波数よりも低い周波数を有する。一実施形態において、バイアスRF信号は、100kHz～60MHzの範囲内の周波数を有する。一実施形態において、第2のRF生成部31bは、異なる周波数を有する複数のバイアスRF信号を生成するように構成されてもよい。生成された1又は複数のバイアスRF信号は、少なくとも1つの下部電極に供給される。また、種々の実施形態において、ソースRF信号及びバイアスRF信号のうち少なくとも1つがパルス化されてもよい。以下、バイアスRF電力（バイアス電力）は、LF__pwとも表記される。また、ソースRF電力及びバイアスRF電力は、これらを区別して説明がす

る必要がない場合、RF__pwとも表記される。

[0020] また、電源30は、プラズマ処理チャンバ10に結合されるDC電源32を含んでもよい。DC電源32は、第1のDC生成部32a及び第2のDC生成部32bを含む。一実施形態において、第1のDC生成部32aは、少なくとも1つの下部電極に接続され、第1のDC信号を生成するように構成される。生成された第1のバイアスDC信号は、少なくとも1つの下部電極に印加される。一実施形態において、第2のDC生成部32bは、少なくとも1つの上部電極に接続され、第2のDC信号を生成するように構成される。生成された第2のDC信号は、少なくとも1つの上部電極に印加される。

[0021] 種々の実施形態において、第1及び第2のDC信号のうち少なくとも1つがパルス化されてもよい。この場合、パルス電圧のシーケンスが少なくとも1つの下部電極及び／又は少なくとも1つの上部電極に印加される。パルス電圧は、矩形、台形、三角形又はこれらの組み合わせのパルス波形を有してもよい。一実施形態において、DC信号からパルス電圧のシーケンスを生成するための波形生成部が第1のDC生成部32aと少なくとも1つの下部電極との間に接続される。従って、第1のDC生成部32a及び波形生成部は、パルス電圧生成部を構成する。第2のDC生成部32b及び波形生成部がパルス電圧生成部を構成する場合、パルス電圧生成部は、少なくとも1つの上部電極に接続される。パルス電圧は、正の極性を有してもよく、負の極性を有してもよい。また、パルス電圧のシーケンスは、1周期内に1又は複数の正極性パルス電圧と1又は複数の負極性パルス電圧とを含んでもよい。なお、第1及び第2のDC生成部32a、32bは、RF電源31に加えて設けられてもよく、第1のDC生成部32aが第2のRF生成部31bに代えて設けられてもよい。

[0022] プラズマ処理システムは、エッジリング112aに結合される可変直流電源33、及びエッジリング112aの電位を計測する電位計34を備える。一実施形態において、可変直流電源33は、エッジリング112aに接続され、第3のDC信号を生成するように構成される。生成されたDC信号は、

エッジリング 1 1 2 a に印加される。以下、エッジリング 1 1 2 a に印加される第 3 の D C 信号の電圧は F R D C とともに表記され、第 3 の D C 信号の調整量は F R D C _ % とともに表記される。電位計 3 4 は、接触式若しくは非接触式の電位計であり、エッジリング 1 1 2 a の電位を計測する。電位計 3 4 で計測される電位のデータは、制御部 2 へ出力される。

[0023] 排気システム 4 0 は、例えばプラズマ処理チャンバ 1 0 の底部に設けられたガス排出口 1 0 e に接続され得る。排気システム 4 0 は、圧力調整弁及び真空ポンプを含んでもよい。圧力調整弁によって、プラズマ処理空間 1 0 s 内の圧力が調整される。真空ポンプは、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ又はこれらの組み合わせを含んでもよい。

[0024] 制御部 2 は、本開示において述べられる種々の工程をプラズマ処理装置 1 に実行させるコンピュータ実行可能な命令を処理する。制御部 2 は、ここで述べられる種々の工程を実行するようにプラズマ処理装置 1 の各要素を制御するように構成され得る。一実施形態において、制御部 2 の一部又は全てがプラズマ処理装置 1 に含まれてもよい。制御部 2 は、処理部 2 a 1、記憶部 2 a 2 及び通信インターフェース 2 a 3 を含んでもよい。制御部 2 は、例えばコンピュータ 2 a により実現される。処理部 2 a 1 は、記憶部 2 a 2 からプログラムを読み出し、読み出されたプログラムを実行することにより種々の制御動作を行うように構成され得る。このプログラムは、予め記憶部 2 a 2 に格納されていてもよく、必要なときに、媒体を介して取得されてもよい。取得されたプログラムは、記憶部 2 a 2 に格納され、処理部 2 a 1 によって記憶部 2 a 2 から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ 2 a に読み取り可能な種々の記憶媒体 M であってもよく、通信インターフェース 2 a 3 に接続されている通信回線であってもよい。処理部 2 a 1 は、C P U (C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t) であってもよい。記憶部 2 a 2 は、R A M (R a n d o m A c c e s s M e m o r y) 、R O M (R e a d O n l y M e m o r y) 、H D D (H a r d D i s k D r i v e) 、S S D (S o l i d S t a t e D r i v e) 、又はこれ

らの組み合わせを含んでもよい。通信インターフェース2 a 3は、LAN (Local Area Network) 等の通信回線を介してプラズマ処理装置1との間で通信してもよい。

[0025] 次に、エッジリング1 1 2 aの消耗によって生じるシースの変化と、チルティング (t i l t i n g) の発生について説明する。図2 A及び図2 Bは、エッジリング1 1 2 aの消耗によるチルティングの変動を説明するための図である。

[0026] 図2 Aは、エッジリング1 1 2 aが消耗していない状態を示している。エッジリング1 1 2 aは、リングアセンブリ1 1 2の一部として基板支持部1 1の環状領域1 1 1 bに配置される。エッジリング1 1 2 aの厚みは、環状領域1 1 1 bに配置されたときに、エッジリング1 1 2 aの上面の高さとウェハWの上面の高さとが一致するように設計される。エッジリング1 1 2 aに消耗が発生していない場合、プラズマ処理中に生成されるウェハW上のシースとエッジリング1 1 2 a上のシースとは同じ厚さとなり、段差は生じていない。

[0027] このとき、ウェハW及びエッジリング1 1 2 aに対するイオンの照射角度は、これらの表面に対して略垂直になる。この結果、ウェハWに形成される凹部の形状 (エッチング形状) は、ウェハWの中央領域及び周縁領域のいずれであっても略垂直となり、凹部の形状が斜めになるチルティングは発生しない。

[0028] プラズマ処理において、エッジリング1 1 2 aはプラズマに曝露されて徐々に消耗する。図2 Bは、エッジリング1 1 2 aが消耗した状態を示している。消耗によってエッジリング1 1 2 aの厚みが薄くなると、エッジリング1 1 2 aの上面はウェハWの上面よりも低くなる。この結果、図2 Bに示すように、エッジリング1 1 2 aの上方のシースとウェハWの上方のシースとの間に段差が生じる。

[0029] シースに段差が生じた結果、図中の矢符で示すように、ウェハWの周縁領域においてイオンの照射方向が斜めになり、ウェハWに形成される凹部の形

状が斜めになるチルティングが発生する。

[0030] このようなエッジリング 1 1 2 a の消耗に伴うチルティングを解消する手法の 1 つとして、R F 印加時間に応じて F R D C __ % を変更し、エッジリング 1 1 2 a の上方に形成されるシースの厚みを調整する手法が知られている。

[0031] 図 3 は F R D C __ % を変更したときの作用を説明する説明図である。図 3 の最上段に示すグラフは F R D C __ % の時間変化を示している。グラフの横軸は R F 印加時間、縦軸は F R D C __ % である。ここで、R F 印加時間は、R F 電源 3 1 からプラズマ生成源及び下部電極に R F __ p w を供給している時間を表す。F R D C __ % は、F R D C 印加量を、セルフバイアス (V o f f) に対して更に何 % 追加するのかという比率指標を表す。図 3 の最上段のグラフは、R F 印加時間が T 4, T 7 に達したタイミングで、それぞれ F R D C __ % を所要の増加幅だけ増加させた例を示している。可変直流電源 3 3 よりエッジリング 1 1 2 a に印加する電圧 (F R D C) を F R D C __ % に従って変更することにより、エッジリング 1 1 2 a の上方に形成されるシースの厚みを調整することができる。

本実施の形態では、比率指標 (F R D C __ %) を用いて F R D C 印加量を調整する構成について説明するが、比率指標に代えて電圧値の差分 (F R D C __ V) を用いて F R D C 印加量を調整する構成としてもよい。

[0032] 図 3 の上から 2 段目に示すグラフは R F __ p w の時間変化を示している。グラフの横軸は R F 印加時間、縦軸は R F __ p w である。R F __ p w は、プラズマ生成源に供給されるソース R F 電力 (若しくは下部電極に供給されるバイアス R F 電力) を表す。図 3 の上から 2 番目のグラフは、R F __ p w を変化させなかった例を示している。

[0033] 図 3 の上から 3 段目に示すグラフは V o f f の時間変化を示している。グラフの横軸は R F 印加時間、縦軸は V o f f である。V o f f はエッジリング 1 1 2 a の電位を表し、電位計 3 4 によって計測される値である。図 3 の上から 3 番目のグラフは、R F __ p w の値を変更することなく、F R D C __

%を増加させた場合、FRDC__%の増加に応じて、エッジリング112aの電位が上昇することを示している。

[0034] 図3の最下段に示すグラフはC__ERの時間変化を示している。グラフの横軸はRF印加時間、縦軸はC__ERである。C__ERは基板中心部のエッチングレートを表す。エッチングレートは、例えば、基板表面のパターン形状を光学的に計測する計測器によって計測される値である。図3の最下段のグラフは、RF__pwの値を変更することなく、FRDC__%を増加させた場合、FRDC__%の増加に応じて、基板中心部のエッチングレートが上昇することを示している。

[0035] 図3の実験結果からは、エッジリング112aの消耗に伴うチルティングを解消するために、RF__pwの値を変更することなく、RF印加時間に応じてFRDC__%を増加させた場合、基板中心部のエッチングレートが上昇することが分かる。また、図3の実験結果から、基板中心部のエッチングレートとエッジリング112aの電位との間に相関があることが分かる。

[0036] そこで、本願発明者らは、基板中心部のエッチングレートと相関のあるエッジリング112aの電位に着目し、FRDC__%の変更時にエッジリング112aの電位が変動しないようRF__pwを計算し、RF__pwを制御することによって、基板中心部におけるエッチングレートの上昇を抑制する手法を提案する。

[0037] 図4は実施の形態におけるRF__pwの制御手法を説明する説明図である。図4の最上段に示すグラフはFRDC__%の時間変化を示している。グラフの横軸はRF印加時間、縦軸はFRDC__%である。図4の最上段のグラフは、RF印加時間がT4、T7に達したタイミングで、それぞれFRDC__%を所要の増加幅だけ増加させた例を示している。

[0038] 図4の上から2番目に示すグラフはRF__pwの時間変化を示している。グラフの横軸はRF印加時間、縦軸はRF__pwである。図4の上から2番目のグラフは、FRDC__%を増加させたタイミング(T4、T7)と同じタイミングで、RF__pwを減少させた例を示している。

[0039] 図4の上から3番目に示すグラフは V_{off} の時間変化を示している。グラフの横軸はRF印加時間、縦軸は V_{off} である。 V_{off} が変動しないように、 RF_{pw} の値を計算して制御した場合、図4の上から3番目のグラフに示すように、 V_{off} の時間変動は抑えられる。

[0040] 図4の最下段に示すグラフは C_{ER} の時間変化を示している。グラフの横軸はRF印加時間、縦軸は C_{ER} である。 V_{off} が変動しないように、 RF_{pw} の値を計算して制御した場合、図4の最下段のグラフに示すように、 V_{off} と相関のある基板中央部のエッチングレート(C_{ER})についてもその時間変動が抑えられる。

[0041] 以下、 RF_{pw} 変更量の計算手法について説明する。

図5は RF_{pw} 変更量の計算手法を説明する説明図である。プラズマ処理システムの制御部2は、消耗品の交換などのパーツメンテナンス、処理室内のドライクリーニング、処理室内を量産安定時の状態に近づけるシーズニング等を終えた後、ダミー基板を用いたチェックレシピを実行する。チェックレシピは、 RF_{pw} を段階的に振り、そのときの V_{off} (エッジリング112aの電位)を計測するステップを含む。制御部2は、チェックレシピの実行時に得られるデータを用いて RF_{pw} 変更量を計算する。計算に用いるデータは、有機膜を切断するステップ、シリコン膜を切断するステップといったステップの種別毎に収集されることが望ましい。

[0042] 制御部2は、エッジリング112aの消耗に伴うチルティングを対策するために、設定時間毎に $FRDC\%$ を所要の増加幅だけ増加させる。例えば、RF印加時間が200時間を経過するまでの間、50時間毎に $FRDC\%$ を10%だけ増加させ、200時間経過後、50時間毎に $FRDC\%$ を15%だけ増加させるといったように、RF印加時間に応じて $FRDC\%$ の増加幅を定めることができる。 $FRDC\%$ を増加させるタイミング、及び $FRDC\%$ を補正する際の増加幅は、上記に限定されず、基板Wに形成されるチルティングの度合いに応じて、事前に設計することが可能である。

[0043] 制御部2は、チェックレシピの実行時に、RF印加時間に応じて $FRDC$

__%を増加させると共に、RF__pwを段階的に振ったときのVoffのデータを収集する。図5の例は、特定のステップ（例えば有機膜を切断するステップ）について、RF印加時間に応じてFRDC__%を増加させ、HF__pwを段階的に変化させたときのVoffのデータと、LF__pwを段階的に変化させたときのVoffのデータとを収集した例を示している。

[0044] 制御部2は、収集したデータに基づき、Voffの変動を抑制するRF__pwの変更量を計算する。具体的には、制御部2は、FRDC__%、RF__pw、Voffの相関関係に基づき、FRDC__%の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータ（この例ではHF__pw又はLF__pw）と、その値とを決定することができる。

[0045] 例えば、図5のグラフで示すように、チェックレシピの実行時に得られるデータから、FRDC__%の増加に応じてVoffが上昇すると共に、HF__pwの増加に応じてVoffが上昇するという結果が得られたとする。この場合、FRDC__%の増加させたときにHF__pwを減少させると、Voffの上昇を抑えることができる。一方、FRDC__%の増加に応じてVoffは上昇し、LF__pwの増加に応じてVoffは変化しないという結果が得られたとする。この場合、FRDC__%の増加させたときにLF__pwを増減させたとしても、Voffの上昇を抑えることはできない。したがって、図5に示す例では、制御部2は、FRDC__%の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータとして、「HF__pw」を選択する。

[0046] 図5では、FRDC__%の変更と同時に変化させるべき制御パラメータとして、HF__pwが選択される例を示しているが、ステップの種別によっては、LF__pwが選択される場合もあり、HF__pw及びLF__pwの双方が選択される場合もある。

[0047] 制御部2は、選択した制御パラメータに関して、FRDC__%の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータ（図5の例ではHF__pw）の値を計算する。具体的には、制御部2は、チェックレシピの実行時に得られるデータから、RF印加時間に応じたFRDC__%の調整量aと、FRDC__%に

対して V_{off} が増加する割合（傾き） b と、 HF_pw に対して V_{off} が増加する割合（傾き） c とを求め、 $F R D C_ \%$ の調整量 a を入力として、変更後の制御パラメータ（図5の例では HF_pw ）の値を計算する計算式を導出する。上記計算式は、回帰的手法を用いて導出することが可能である。制御部2は、導出した計算式を用いて、制御パラメータの値を計算する。制御部2は、制御パラメータの値（変更後の値）を計算してもよく、制御パラメータの変更量を計算してもよい。

[0048] 計算式を用いて制御パラメータの値を計算する構成に代えて、機械学習などの学習モデルを用いて制御パラメータの値を導出する構成としてもよい。学習モデルは、チェックレシピの実行時に得られるデータを訓練データに用いて、 $F R D C_ \%$ の調整量 a を入力した場合、制御パラメータの値を出力するよう学習される。

[0049] 図6は制御部2が実行する処理の手順を説明するフローチャートである。制御部2は、パーツメンテナンス、ドライクリーニング、シーズニング等の処理を終えた後、ダミー基板を用いたチェックレシピに従って、以下の処理を実行する。

[0050] 制御部2は、ダミー基板を用いたチェックレシピの実行中に、 $F R D C_ \%$ 及び制御パラメータの値を段階的に変更させ、電位計34により計測されるエッジリング112aの電位のデータを取得する（ステップS101）。取得した電位のデータは、 $F R D C_ \%$ 及び制御パラメータの値と共に記憶部2a2に記憶される。記憶部2a2に記憶される $F R D C_ \%$ 及び制御パラメータの値は、設定値であってもよく、実測値であってもよい。

[0051] 制御部2は、取得したデータに基づき、 $F R D C_ \%$ の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータを決定する（ステップS102）。実施の形態では、 C_ER （基板中央部でのエッチング量）と相関の強い V_{off} （エッジリング112aの電位）を基準に、 $F R D C_ \%$ の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータを決定する。具体的には、制御部2は、 $F R D C_ \%$ と V_{off} との間の相関、及び制御パラメータと V_{off} との間の相関

を調べ、FEDC__Vを変更した際にVoffの変動を打ち消すことができる制御パラメータを選択する。

[0052] 制御部2は、取得したデータに基づき、FRDC__%の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータの値を計算する（ステップS103）。制御部2は、FRDC__%の調整量a、FRDC__%に対してVoffが増加する割合（傾き）b、HF__pwに対してVoffが増加する割合（傾き）cを利用して、FRDC__%の調整量aを入力として、制御パラメータの値を計算する計算式を導出する。制御部2は導出した計算式を用いて、制御パラメータの値を計算する。

[0053] 制御部2は、選択した制御パラメータの種類、及び計算した制御パラメータの値を記憶部2a2に記憶させる。代替的に、制御部2は、所望の基板を製造する製造レシピに制御パラメータの値を埋め込んでもよい。また、制御部2は、選択した制御パラメータの種類、及び計算した制御パラメータの値を、通信インターフェース2a3を通じて外部装置へ通知してもよい。通知先は、プラズマ処理装置1と同様のステップを実行する他のプラズマ処理装置であってもよく、これらのプラズマ処理装置を管理する管理サーバであってもよい。

[0054] 制御部2は、ダミー基板を用いたチェックレシピの実行後に、所望の基板を製造する製造レシピに従って、以下の処理を実行する。

[0055] 制御部2は、製造レシピに従って基板の製造処理を開始させる（ステップS104）。制御部2は、内蔵のクロックを用いてRF印加時間を経時し、設定時間が経過したか否かを判断する（ステップS105）。設定時間が経過していない場合（S105:NO）、制御部2は、設定時間が経過するまで待機する。

[0056] 設定時間が経過したと判断した場合（S105:YES）、制御部2は、FRDC__%を変更すると共に、ステップS103の計算結果に従って、FRDC__%と同時的に変化させるべき制御パラメータの値を変化させる（ステップS106）。ステップS103では、Voffの変動を打ち消すよう

に、制御パラメータの値が計算されているので、その計算結果に従って制御パラメータの値を変化させることにより、V o f f の変動を抑えることができる。その結果、V o f f と相関の強いC__E R の変動を抑えることができる。

[0057] 制御部2は、製造レシピを参照し、製造処理を終了するか否かを判断する（ステップS 1 0 7）。製造処理を終了しないと判断した場合（S 1 0 7 : N O）、制御部2は、処理をステップS 1 0 5 へ戻す。製造処理を終了すると判断した場合（S 1 0 7 : Y E S）、制御部2は、本フローチャートによる処理を終了する。

[0058] 図7は特定のステップでのシミュレーション結果を示すグラフである。図7は特定のステップ（例えば有機膜を切断するステップ）におけるシミュレーション結果を示している。図7に示す2つのグラフのうち、左側のグラフはF R D C__%に対するC__E R の変化を示し、右側のグラフはF R D C__%に対するH F__p w の変化を示している。各グラフにおいて黒丸はH F__p w を変化させなかった場合、白丸はH F__p w を変化させた場合のシミュレーション結果を示している。

[0059] 上記ステップでは、F R D C__%の調整に対し、H F__p w を変化させなかった場合、左側のグラフの黒丸で示すように、C__E R は大きく変動した。例えば、25%の調整量（F R D C__%）に対し、C__E R は10.3%の上昇が確認された。これに対し、制御パラメータとしてH F__p w を選択し、H F__p w を右側のグラフの白丸で示すように減少させた場合、C__E R の変動は抑制され、25%の調整量（F R D C__%）に対し、C__E R は2.9%の上昇となった。

[0060] 図8は別のステップでのシミュレーション結果を示すグラフである。図8は別のステップ（シリコン膜を切断するステップ）におけるシミュレーション結果を示している。図8に示す2つのグラフのうち、左側のグラフはF R D C__%に対するC__E R の変化を示し、右側のグラフはF R D C__%に対するL F__p w の変化を示している。各グラフにおいて黒丸はL F__p w を

変化させなかった場合、白丸は LF_pw を変化させた場合のシミュレーション結果を示している。

- [0061] 上記ステップでは、 $FRDC_%$ の調整に対し、 LF_pw を変化させなかった場合、左側のグラフの黒丸で示すように、 C_ER は大きく変動した。例えば、25% の調整量 ($FRDC_%$) に対し、 C_ER は1.9% の上昇が確認された。これに対し、制御パラメータとして LF_pw を選択し、 LF_pw を右側のグラフの白丸で示すように減少させた場合、 C_ER の変動は抑制され、25% の調整量 ($FRDC_%$) に対し、 C_ER は1.0% の下降となった。
- [0062] 以上のように、実施の形態では、RF印加時間に応じて $FRDC_%$ を増加させる際、 C_ER と相関の強いエッジリング112aの電位を基に各プロセスレシピのステップ毎に変化させるべき制御パラメータを選択し、選択した制御パラメータの値を $FRDC_%$ の調整と同時的に変化させることによって、 C_ER (基板中央部でのエッチングレート) の変動を抑えることができる。
- [0063] 実施の形態では、RFパワーを調整して C_ER (基板中央部でのエッチングレート) の変動を抑制する構成としたが、RFパワーに限らず、デューティ比、周期などのパルス信号に係るパラメータを調整して、 C_ER の変動を抑制する構成としてもよい。
- [0064] また、実施の形態では、 HF_pw 及び LF_pw の何れか1つを調整すべき制御パラメータとして選択する構成としたが、1種類のHF及び2種類のLFを用いてプラズマ処理を行うプラズマ処理システムも存在するので、3種類の制御パラメータから、調整すべき少なくとも1つの制御パラメータを選択する構成としてもよい。
- [0065] 実施の形態1では、エッジリング112aの上方のシース厚を調整する手段として可変直流電源33を開示した。代替的に、パルス直流電圧をエッジリング112aに供給して、シース厚を調整する構成としてもよい。この場合、パルス直流電圧の変更と同時的に、制御パラメータを調整して、 C_E

R（基板中央部でのエッチングレート）の変動を抑える構成とすればよい。

[0066] 更に、エッジリング112aのインピーダンスを調整する調整回路を設け、エッジリング112aのインピーダンスを調整することによって、シース厚を調整する構成としてもよい。この場合、インピーダンスの変更と同時的に、制御パラメータを調整して、C_{ER}（基板中央部でのエッチングレート）の変動を抑える構成としてもよい。

[0067] 更に、エッジリング112aの位置を上下方向に移動させて、シース厚を調整する構成としてもよい。この場合、エッジリング112aの上下駆動と同時的に、制御パラメータを調整して、C_{ER}（基板中央部でのエッチングレート）の変動を抑える構成としてもよい。

[0068] 実施の形態1では、制御部2が補正処理を実行する構成としたが、制御部2に通信可能にされたクラウドサーバなどの外部サーバにて補正処理を実行する構成としてもよい。また、制御部2にインストールされるプログラムは、プログラム製品として提供されてもよい。

[0069] 今回開示された実施形態は、全ての点において例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上述した意味ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。

[0070] 実施形態では、容量結合型のプラズマ処理装置1への適用例について説明したが、容量結合型に限らず、Inductively Coupled Plasma (ICP)、Radial Line Slot Antenna (RLSA)、Electron Cyclotron Resonance Plasma (ECR)、Helicon Wave Plasma (HWP)のどのタイプのプラズマ処理装置にも適用可能である。

[0071] 実施形態では、処理対象の基板の一例としてウェハWを挙げて説明したが、処理対象の基板はウェハWに限らず、FPD (Flat Panel Display) に用いられる各種基板、プリント基板等であってもよい。

符号の説明

[0072] 1 プラズマ処理装置

- 2 制御部
 - 2 a コンピュータ
 - 2 a 1 処理部
 - 2 a 2 記憶部
 - 2 a 3 通信インターフェース
 - 1 0 プラズマ処理チャンバ
 - 1 1 基板支持部
 - 2 0 ガス供給部
 - 3 0 電源
 - 3 1 R F 電源
 - 3 1 a 第 1 の R F 生成部
 - 3 1 b 第 2 の R F 生成部
 - 3 2 D C 電源
 - 3 2 a 第 1 の D C 生成部
 - 3 2 b 第 2 の D C 生成部
 - 3 3 可変直流電源
 - 3 4 電位計
 - 1 1 2 リングアセンブリ
 - 1 1 2 a エッジリング
 - 1 1 2 b カバーリング

請求の範囲

- [請求項1] 載置台に載置された基板にプラズマ処理を施すプラズマ処理装置であって、
- 前記基板の周囲に配置される環状部材と、
- 前記環状部材上のシース厚を調整する調整部と、
- 前記環状部材の電位を計測する計測部と、
- 前記プラズマ処理における複数種の制御パラメータの値を制御する制御部と
- を備え、
- 前記制御部は、
- 前記調整部における調整量を変更した場合の前記電位の変動量を示すデータと、前記制御パラメータの値を制御パラメータ毎に変化させた場合の前記電位の変動量を示すデータとを取得し、
- 取得したデータに基づき、前記調整量の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータの種類を決定し、前記調整量の変更に伴う前記電位の変動量を抑制するよう、前記制御パラメータの値を計算する
- プラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記複数種の制御パラメータは、プラズマ生成源に供給するソース電力と、前記載置台に供給するバイアス電力とを含み、
- 前記制御部は、前記調整量の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータとして、前記ソース電力及び前記バイアス電力の少なくとも一方を選択する
- 請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記制御部は、前記プラズマ処理の手順を定めるプロセスレシピのステップ毎に、前記調整量の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータの種類を決定し、決定した制御パラメータの値を計算する
- 請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項4] 前記制御部は、前記調整量と前記電位の変動量との間の相関と、前

記制御パラメータの値と前記電位の変動量との間の相関とに基づき、
前記調整量の変更に伴う前記電位の変動量を抑制するよう、前記制御
パラメータの値を計算する

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項5] 前記制御部は、取得したデータを訓練データに用いて、前記調整量
の入力に応じて前記制御パラメータの値を出力するよう学習された学
習モデルを用いて、前記制御パラメータの値を計算する

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項6] 前記制御部は、ダミー基板を用いたプラズマ処理により、前記調整
部における調整量を変更した場合の前記電位の変動量を示すデータと
、前記制御パラメータの値を制御パラメータ毎に変化させた場合の前
記電位の変動量を示すデータとを取得する

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項7] 前記調整部は、前記環状部材に電力を供給する電源を備える

請求項 1 から請求項 6 の何れか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

[請求項8] 前記調整部は、前記環状部材を上下方向に駆動する駆動源を備える

請求項 1 から請求項 6 の何れか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

[請求項9] 前記調整部は、前記環状部材におけるインピーダンスを調整するイ
ンピーダンス回路を備える

請求項 1 から請求項 6 の何れか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

[請求項10] 載置台に載置された基板にプラズマ処理を施すプラズマ処理装置の
制御方法であって、

前記基板の周囲に配置される環状部材と、

前記環状部材上のシース厚を調整する調整部と、

前記環状部材の電位を計測する計測部と、

前記プラズマ処理における複数種の制御パラメータの値を制御する
制御部と

を備えるプラズマ処理装置から、

前記調整部における調整量を変更した場合の前記電位の変動量を示すデータと、前記制御パラメータの値を制御パラメータ毎に変化させた場合の前記電位の変動量を示すデータとを取得し、

取得したデータに基づき、前記調整量の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータの種類を決定し、前記調整量の変更に伴う前記電位の変動量を抑制するよう、前記制御パラメータの値を計算する

処理をコンピュータにより実行する制御方法。

[請求項11]

載置台に載置された基板にプラズマ処理を施すプラズマ処理装置の制御プログラムであって、

前記基板の周囲に配置される環状部材と、

前記環状部材上のシース厚を調整する調整部と、

前記環状部材の電位を計測する計測部と、

前記プラズマ処理における複数種の制御パラメータの値を制御する制御部と

を備えるプラズマ処理装置から、

前記調整部における調整量を変更した場合の前記電位の変動量を示すデータと、前記制御パラメータの値を制御パラメータ毎に変化させた場合の前記電位の変動量を示すデータとを取得し、

取得したデータに基づき、前記調整量の変更と同時的に変化させるべき制御パラメータの種類を決定し、前記調整量の変更に伴う前記電位の変動量を抑制するよう、前記制御パラメータの値を計算する

処理をコンピュータに実行させるための制御プログラム。