

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

技術分野

[0001] 本開示の例示的实施形態は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関するものである。

背景技術

[0002] プラズマ処理装置が、基板に対するプラズマ処理において用いられている。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持部、アンテナ、ガス供給部及び高周波電源を備える。チャンバは、誘電体窓を含む。基板支持部は、チャンバ内に設けられている。アンテナは、チャンバの外部に設けられている。誘電体窓は、基板支持部とアンテナとの間に配置されている。ガス供給部は、チャンバ内にガスを供給するように構成されている。高周波電源は、アンテナに電氣的に接続されている。高周波電源は、高周波電力をアンテナに供給する。下記の特許文献1は、このようなプラズマ処理装置を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2011-119658号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示は、誘電体窓の消耗を抑制する技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 一つの例示的实施形態において、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持部、少なくとも一つのアンテナ、ガス供給部及びRF生成部を備える。チャンバは、誘電体窓を含む。基板支持部は、チャンバ内に設けられている。少なくとも一つのアンテナは、チャンバの外部に設けられている。誘電体窓は、基板支持部と少なくとも一つのアンテナとの間に配置されている。ガス供給部は、チャンバ内にガスを供給するよ

うに構成されている。RF生成部は、少なくとも一つのアンテナに電氣的に接続されている。RF生成部は、第1の高周波電力と第2の高周波電力とを発生するように構成されている。第1の高周波電力は、第1の周波数を有する。第2の高周波電力は、第2の周波数を有する。第2の周波数に対する誘電体窓における誘電損失は、第1の周波数に対する誘電体窓における誘電損失よりも大きい。

発明の効果

[0006] 一つの例示的实施形態によれば、誘電体窓の消耗を抑制できる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]誘導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2]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置における電源系及び制御系の構成を示す図である。

[図3]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置における第1の高周波電力及び第2の高周波電力のタイミングチャートである。

[図4]別の例示的实施形態に係るプラズマ処理装置における電源系及び制御系の構成を示す図である。

[図5]図5の(a)は、一つの例示的实施形態に係るアンテナの平面図である。図5の(b)は、別の例示的实施形態に係るアンテナの平面図である。図5の(c)は、更に別の例示的实施形態に係るアンテナの平面図である。

[図6]図6の(a)は、複数の周波数成分を有する高周波電力のパワースペクトルの一例を示す図である。図6の(b)は、図6の(a)の複数の周波数成分のプラズマへの結合効率を表す複数の測定値の一例を示す図である。図6の(c)は、複数の周波数成分を有する高周波電力のパワースペクトルの一例を示す図である。図6の(d)は、図6の(c)の複数の周波数成分のプラズマへの結合効率を表す複数の測定値の一例を示す図である。

[図7]図7の(a)は、複数の周波数成分を有する第2の高周波電力のパワースペクトルの一例を示す図である。図7の(b)は、図7の(a)の複数の周波数成分のプラズマへの結合効率を表す複数の測定値の一例を示す図であ

る。図 7 の (c) は、複数の周波数成分を有する第 2 の高周波電力のパワースペクトルの一例を示す図である。

[図8]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、図面を参照して種々の例示的实施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附することとする。

[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、誘導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、誘導結合型のプラズマ処理装置 1 及び制御部 2 を含む。誘導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。プラズマ処理チャンバ 10 は、誘電体窓 101 を含む。また、プラズマ処理装置 1 は、基板支持部 11、ガス導入部及びアンテナ 14 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。アンテナ 14 は、チャンバ 10 の外部に設けられる。アンテナ 14 は、鉛直方向に延びる軸線の周りで巻かれたコイルから構成されていてもよい。アンテナ 14 は、例えばプラズマ処理チャンバ 10 上又はその上方（すなわち誘電体窓 101 上又はその上方）に配置される。誘電体窓 101 は、基板支持部 11 とアンテナ 14 との間に配置される。プラズマ処理チャンバ 10 は、誘電体窓 101、プラズマ処理チャンバ 10 の側壁 102 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。

[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 1 1 1 の環状領域 1 1 1 b は、平面視で本体部 1 1 1 の中央領域 1 1 1 a を囲んでいる。基板 W は、本体部 1 1 1 の中央領域 1 1 1 a 上に配置され、リングアセンブリ 1 1 2 は、本体部 1 1 1 の中央領域 1 1 1 a 上の基板 W を囲むように本体部 1 1 1 の環状領域 1 1 1 b 上に配置される。従って、中央領域 1 1 1 a 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 1 1 1 b は、リングアセンブリ 1 1 2 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 1 1 1 は、基台 1 1 1 0 及び静電チャック 1 1 1 1 を含む。基台 1 1 1 0 は、導電性部材を含む。基台 1 1 1 0 の導電性部材はバイアス電極として機能し得る。静電チャック 1 1 1 1 は、基台 1 1 1 0 の上に配置される。静電チャック 1 1 1 1 は、セラミック部材 1 1 1 1 a とセラミック部材 1 1 1 1 a 内に配置される静電電極 1 1 1 1 b とを含む。セラミック部材 1 1 1 1 a は、中央領域 1 1 1 a を有する。一実施形態において、セラミック部材 1 1 1 1 a は、環状領域 1 1 1 b 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 1 1 1 1 を囲む他の部材が環状領域 1 1 1 b を有してもよい。この場合、リングアセンブリ 1 1 2 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 1 1 1 1 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 3 1 及び／又は DC (Direct Current) 電源 3 2 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 1 1 1 1 a 内に配置されてもよい。この場合、少なくとも 1 つの RF／DC 電極がバイアス電極として機能する。なお、基台 1 1 1 0 の導電性部材と少なくとも 1 つの RF／DC 電極とが複数のバイアス電極として機能してもよい。また、静電電極 1 1 1 1 b がバイアス電極として機能してもよい。従って、基板支持部 1 1 は、少なくとも 1 つのバイアス電極を含む。

[0013] リングアセンブリ 1 1 2 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。

[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1111のセラミック部材1111a内に配置される。また、基板支持部11は、基板Wの裏面と中央領域111a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] ガス導入部は、ガス供給部20からの少なくとも1つの処理ガスをプラズマ処理空間10s内に導入するように構成される。一実施形態において、ガス導入部は、中央ガス注入部（CGI：Center Gas Injector）13を含む。中央ガス注入部13は、基板支持部11の上方に配置され、誘電体窓101に形成された中央開口部に取り付けられる。中央ガス注入部13は、少なくとも1つのガス供給口13a、少なくとも1つのガス流路13b、及び少なくとも1つのガス導入口13cを有する。ガス供給口13aに供給された処理ガスは、ガス流路13bを通過してガス導入口13cからプラズマ処理空間10s内に導入される。なお、ガス導入部は、中央ガス注入部13に加えて又はその代わりに、側壁102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20は、少なくとも1つのガスソース21及び少なくとも1つの流量制御器22を含んでもよい。一実施形態において、ガス供給部20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21からそれぞれに対応の流量制御器22を介してガス導入部に供給するように構成される。各流量制御器22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20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30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10に結合されるRF電源31を含む。RF電源31は、少なくとも1つのRF信号(RF電力)を少なくとも1つのバイアス電極及びアンテナ14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10s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31は、プラズマ処理チャンバ10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つのバイアス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(RF生成部)は、アンテナ14に結合され、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、アンテナ14に供給される。

[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つのバイアス電極に結合され、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~6

0 MHz 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つのバイアス電極に供給される。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。

[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、バイアスDC生成部32aを含む。一実施形態において、バイアスDC生成部32aは、少なくとも1つのバイアス電極に接続され、バイアスDC信号を生成するように構成される。生成されたバイアスDC信号は、少なくとも1つのバイアス電極に印加される。

[0021] 種々の実施形態において、バイアスDC信号は、パルス化されてもよい。この場合、電圧パルスのシーケンスが少なくとも1つのバイアス電極に印加される。電圧パルスは、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信号から電圧パルスのシーケンスを生成するための波形生成部がバイアスDC生成部32aと少なくとも1つのバイアス電極との間に接続される。従って、バイアスDC生成部32a及び波形生成部は、電圧パルス生成部を構成する。電圧パルスは、正の極性を有してもよく、負の極性を有してもよい。また、電圧パルスのシーケンスは、1周期内に1又は複数の正極性電圧パルスと1又は複数の負極性電圧パルスとを含んでもよい。なお、バイアスDC生成部32aは、RF電源31に加えて設けられてもよく、第2のRF生成部31bに代えて設けられてもよい。

[0022] 排気システム40は、例えばプラズマ処理チャンバ10の底部に設けられたガス排出口10eに接続され得る。排気システム40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10s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。

[0023] 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2a1、記憶部2a2及び通信インターフェース2a3を含んでもよい。制御部2は、例えばコンピュータ2aにより実現される。処理部2a1は、記憶部2a2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2a2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2a2に格納され、処理部2a1によって記憶部2a2から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ2aに読み取り可能な種々の記憶媒体であってもよく、通信インターフェース2a3に接続されている通信回線であってもよい。処理部2a1は、CPU (Central Processing Unit) であってもよい。記憶部2a2は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive)、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2a3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。

[0024] 以下、図2を参照する。図2は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置における電源系及び制御系の構成を示す図である。図2に示すように、プラズマ処理装置1は、制御部2を含んでもよい。プラズマ処理装置1において、第1のRF生成部31aは、制御部2によって制御されてもよい。一実施形態において、第1のRF生成部31aは、単一の高周波電源300から構成されていてもよい。高周波電源300は、信号発生器及び増幅器を有してもよい。信号発生器は、制御部2から指定された周波数を有する

信号を増幅器に出力する。増幅器は、信号発生器から入力された信号を、増幅することにより、高周波電力を生成し、当該高周波電力を出力する。増幅器の増幅率は、制御部2から指定され得る。

[0025] 第1のRF生成部31aは、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2を発生するように構成されている。第1の高周波電力RF1は、第1の周波数を有している。第2の高周波電力は、第2の周波数を有している。第1の周波数と第2の周波数とは、互いに異なる周波数である。例えば、第2の周波数は、第1の周波数よりも1%以上高い周波数であってもよい。

[0026] 第1のRF生成部31aは、方向性結合器310、センサ33及び整合器34を介してアンテナ14に電氣的に接続されていてもよい。方向性結合器310は、第1のRF生成部31aから出力される高周波電力（第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2の各々）の進行波のパワーレベルと、当該高周波電力の反射波のパワーレベルとを測定する。方向性結合器310は、例えば、高周波電源300から出力される高周波電力（第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2の各々）の反射係数を特定してもよい。反射係数は、進行波のパワーレベルと反射波のパワーレベルとから特定される。当該反射係数は、方向性結合器310から制御部2に通知される。方向性結合器310は、高周波電源300と一体であってもよい。

[0027] センサ33は、例えば、電圧電流センサである。センサ33は、アンテナ14に供給される高周波電力（第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2の各々）の電圧及び電流を測定する。センサ33は、測定した電圧及び電流から高周波電力（第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2の各々）の反射係数を特定してもよい。センサ33は、当該反射係数を制御部2に通知してもよい。

[0028] 整合器34は、可変インピーダンスを有するインピーダンス整合回路を含む。整合器34は、第1のRF生成部31aとアンテナ14との間で接続されている。整合器34は、第1のRF生成部31aの負荷インピーダンスを、第1のRF生成部31aの出力インピーダンスに整合させるように構成さ

れている。整合器 3 4 の可変インピーダンスは、制御部 2 によって制御され得る。

[0029] 一実施形態において、プラズマ処理装置 1 は、第 1 のフィルタ 3 5、インピーダンス変換器 3 6 及び第 2 のフィルタ 3 7 を更に備えてもよい。第 1 のフィルタ 3 5 は、第 1 の高周波電力 R F 1 を選択的に通過させるように構成されている。第 2 のフィルタ 3 7 は、第 2 の高周波電力 R F 2 を選択的に通過させるように構成されている。第 1 のフィルタ 3 5 及び第 2 のフィルタ 3 7 の各々は、整合器 3 4 とアンテナ 1 4 との間で並列に接続されている。整合器 3 4、第 1 のフィルタ 3 5 及びアンテナ 1 4 は、第 1 の電氣的パスを構成する。第 1 の高周波電力 R F 1 は、第 1 の電氣的パスを介してアンテナ 1 4 に供給される。整合器 3 4、第 2 のフィルタ 3 7 及びアンテナ 1 4 は、第 2 の電氣的パスを構成する。第 2 の高周波電力 R F 2 は、第 2 の電氣的パスを介してアンテナ 1 4 に供給される。

[0030] インピーダンス変換器 3 6 は、第 1 のフィルタ 3 5 及び第 2 のフィルタ 3 7 のうち一方のフィルタとアンテナ 1 4 との間で接続されている。図 2 に示す例では、インピーダンス変換器 3 6 は、第 1 のフィルタ 3 5 とアンテナ 1 4 との間で接続されている。

[0031] 整合器 3 4 は、第 1 のフィルタ 3 5 及び第 2 のフィルタ 3 7 のうち他方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、第 1 の R F 生成部 3 1 a の出力インピーダンスに整合させるように構成されていてもよい。図 2 に示す例では、整合器 3 4 は、第 2 の周波数に対する負荷インピーダンスを、第 1 の R F 生成部 3 1 a の出力インピーダンスに整合させるように構成されている。

[0032] インピーダンス変換器 3 6 は、第 1 のフィルタ 3 5 及び第 2 のフィルタ 3 7 のうち一方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、第 1 の R F 生成部 3 1 a の出力インピーダンスに整合させるように構成されている。図 2 に示す例では、インピーダンス変換器 3 6 は、第 1 のフィルタ 3 5 が選択的に通過させる第 1 の高周波電力 R F 1

の周波数に対する負荷インピーダンスを、第1のRF生成部31aの出力インピーダンスに整合させるように構成されている。インピーダンス変換器36は、トランスから構成されていてもよい。

[0033] 誘電体窓101は、第2の周波数に対する誘電体窓101における誘電損失が、第1の周波数に対する誘電体窓101における誘電損失よりも大きくなる材料によって構成されている。すなわち、第2の周波数は、第1の周波数よりも誘電体窓101における誘電損失が大きい周波数である。第1の周波数及び第2の周波数の各々は、誘電体窓101の材料に応じて設定されてもよい。例えば、誘電体窓101は、第2の周波数に対して誘電損失が最大になる材料によって構成されていてもよい。当該材料の誘電損失が最大になる周波数は、該材料が含むドーパントの種類及び濃度のそれぞれによって調整され得る。

[0034] 第1のRF生成部31aは、第1の高周波電力RF1を発生するように構成されている。一実施形態において、第1のRF生成部31aは、チャンバ10内でプラズマを着火するために第1の高周波電力RF1を発生するように構成されていてもよい。第1の高周波電力RF1は、第1の電気的パスを介してアンテナ14に供給され得る。第1のRF生成部31aは、第2の高周波電力RF2を発生するように構成されている。一実施形態において、第1のRF生成部31aは、チャンバ10内で着火された当該プラズマを維持するために第2の高周波電力RF2を発生するように構成されていてもよい。第2の高周波電力RF2は、第2の電気的パスを介してアンテナ14に供給され得る。

[0035] 誘電体窓101における誘電損失が小さい場合には、プラズマに結合する電気エネルギーの損失が抑制される。したがって、プラズマを着火するために第1の高周波電力RF1をアンテナ14に供給することにより、チャンバ10内でプラズマを効率的に着火することが可能である。

[0036] 誘電体窓101における誘電損失が大きいと、誘電体窓101の下面の電位とプラズマの電位との間の電位差が小さくなる。したがって、誘電体窓1

01における誘電損失が大きい場合には、プラズマから誘電体窓101に衝突するイオンのエネルギーが低く抑えられる。故に、プラズマが着火された後、その維持のために第2の高周波電力RF2を用いることにより、誘電体窓101の消耗を抑制することが可能である。

[0037] また、プラズマ処理装置1では、第1の周波数及び第2の周波数のうち一方の周波数に対する負荷インピーダンスの整合が整合器34によって行われ、他方の周波数に対する負荷インピーダンスの整合がインピーダンス変換器36によって行われる。したがって、プラズマ処理装置1は、その電源系の構成として簡易な構成を有し得る。

[0038] 以下、図3を参照する。図3は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置における第1の高周波電力及び第2の高周波電力のタイミングチャートである。第1のRF生成部31aは、第1の高周波電力RF1のみを生成した後、第2の高周波電力RF2のみを生成する前に、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2を同時に生成するように構成されていてもよい。一実施形態において、第1のRF生成部31aは、第1の高周波電力RF1のみをアンテナ14に供給した後、第2の高周波電力RF2のみをアンテナ14に供給する前に、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2をアンテナ14に同時に供給するように構成されている。第1の高周波電力RF1のみをアンテナ14に供給する期間T1の後、第2の高周波電力RF2のみをアンテナ14に供給する期間T2の前に、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2をアンテナ14に同時に供給する期間T3があってもよい。

[0039] 別の実施形態では、第1のRF生成部31aは、期間T1において、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2の双方をアンテナ14に供給してもよい。但し、期間T1における第2の高周波電力RF2のパワーレベルは、期間T2における第2の高周波電力RF2のパワーレベルよりも低い。また、第1のRF生成部31aは、期間T2において、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2の双方をアンテナ14に供給してもよ

い。但し、期間T2における第1の高周波電力RF1のパワーレベルは、期間T1における第1の高周波電力RF1のパワーレベルよりも低い。また、第1のRF生成部31aは、期間T1と期間T2との間の期間T3において、期間T2におけるそのパワーレベルよりも高いパワーレベルを有する第1の高周波電力RF1をアンテナ14に供給してもよい。期間T3における第1の高周波電力RF1のパワーレベルは、期間T1における第1の高周波電力RF1のパワーレベルと同一であってもよい。また、第1のRF生成部31aは、期間T3において、期間T1におけるそのパワーレベルよりも高いパワーレベルを有する第2の高周波電力RF2をアンテナ14に供給してもよい。期間T3における第2の高周波電力RF2のパワーレベルは、期間T2における第2の高周波電力RF2のパワーレベルと同一であってもよい。

[0040] 以下、図4を参照する。図4は、別の例示的实施形態に係るプラズマ処理装置における電源系及び制御系の構成を示す図である。以下、図4に示すプラズマ処理装置1Aについて、プラズマ処理装置1Aの電源系及び制御系の構成とプラズマ処理装置1の電源系及び制御系の構成との相違点の観点から説明する。

[0041] プラズマ処理装置1Aの第1のRF生成部31aは、複数の高周波電源301、302を含んでいる。高周波電源301（第1の高周波電源）は、第1の高周波電力RF1を発生するように構成されている。高周波電源302（第2の高周波電源）は、第2の高周波電力RF2を発生するように構成されている。プラズマ処理装置1Aは、第1のフィルタ35、インピーダンス変換器36及び第2のフィルタ37を備えていなくてもよい。プラズマ処理装置1Aは、方向性結合器311、センサ331、整合器341、方向性結合器312、センサ332及び整合器342を更に備える。

[0042] 高周波電源301は、方向性結合器311、センサ331及び整合器341を介してアンテナ14に電氣的に接続されている。整合器341は、第1の周波数に対する負荷インピーダンスを高周波電源301の出力インピーダンスに整合させるように構成されている。

- [0043] 方向性結合器311は、第1の高周波電力RF1の進行波のパワーレベルと、第1の高周波電力RF1の反射波のパワーレベルとを測定する。方向性結合器311は、第1の高周波電力RF1の反射係数を特定してもよい。反射係数は、進行波のパワーレベルと反射波のパワーレベルとから特定される。当該反射係数は、方向性結合器311から制御部2に通知される。方向性結合器311は、高周波電源301と一体であってもよい。
- [0044] センサ331は、例えば、電圧電流センサである。センサ331は、アンテナ14に供給される第1の高周波電力RF1の電圧及び電流を測定する。センサ331は、測定した電圧及び電流から第1の高周波電力RF1の反射係数を特定してもよい。センサ331は、当該反射係数を制御部2に通知してもよい。
- [0045] 高周波電源302は、方向性結合器312、センサ332及び整合器342を介してアンテナ14に電氣的に接続されている。整合器342は、第2の周波数に対する負荷インピーダンスを高周波電源302の出力インピーダンスに整合させるように構成されている。
- [0046] 方向性結合器312は、第2の高周波電力RF2の進行波のパワーレベルと、第2の高周波電力RF2の反射波のパワーレベルとを測定する。方向性結合器312は、第2の高周波電力RF2の反射係数を特定してもよい。反射係数は、進行波のパワーレベルと反射波のパワーレベルとから特定される。当該反射係数は、方向性結合器312から制御部2に通知される。方向性結合器312は、高周波電源302と一体であってもよい。
- [0047] センサ332は、例えば、電圧電流センサである。センサ332は、アンテナ14に供給される第2の高周波電力RF2の電圧及び電流を測定する。センサ332は、測定した電圧及び電流から第2の高周波電力RF2の反射係数を特定してもよい。センサ332は、当該反射係数を制御部2に通知してもよい。
- [0048] 以下、図5の(a)～(c)を参照する。これらの図に示すように、種々の例示的实施形態に係るプラズマ処理装置において、アンテナは、複数のア

ンテナから構成されていてもよい。

[0049] 図5の(a)は、一つの例示的实施形態におけるアンテナの平面図である。図5の(b)は、別の例示的实施形態におけるアンテナの平面図である。図5の(c)は、更に別の例示的实施形態におけるアンテナの平面図である。種々の例示的实施形態に係るプラズマ処理装置は、アンテナ14に代えて、図5の(a)に示すアンテナ14A、図5の(b)に示すアンテナ14B、又は図5の(c)に示すアンテナ14Cを備えていてもよい。

[0050] アンテナ14A、アンテナ14B、及びアンテナ14Cの各々は、第1のアンテナ141及び第2のアンテナ142を含んでいる。第1のアンテナ141及び第2のアンテナ142の各々は、鉛直方向に延びる軸線の周りで巻かれたコイルから構成されていてもよい。第1のアンテナ141及び第2のアンテナ142の各々は、平面視では円形状を有する。第2のアンテナ142の中心軸線は、チャンバ10の中心軸線上に位置していてもよい。第1のアンテナ141は、第2のアンテナ142よりも小さい。

[0051] アンテナ14Aでは、第1のアンテナ141及び第2のアンテナ142は、平面視で互いに重ならないように配置されている。アンテナ14Aでは、第1のアンテナ141の外周及び第2のアンテナ142の外周が、平面視で外接するように配置されていてもよい。

[0052] アンテナ14Bでは、第1のアンテナ141及び第2のアンテナ142は、平面視で互いに重なるように配置されている。図5の(b)に示すように、第1のアンテナ141及び第2のアンテナ142は、互いに中心軸線を共有していてもよい。

[0053] アンテナ14Cでは、第1のアンテナ141及び第2のアンテナ142は、平面視で互いに重なるように配置されている。図5の(c)に示すように、第1のアンテナ141の中心軸線は、第2のアンテナ142の中心軸線からずれた位置に設けられていてもよい。第1のアンテナ141の外周及び第2のアンテナ142の内周が、平面視で内接するように配置されていてもよい。

- [0054] アンテナ 14 A、アンテナ 14 B、及びアンテナ 14 C の各々において、第 1 のアンテナ 14 1 には、第 1 の高周波電力 R F 1 及び第 2 の高周波電力 R F 2 のうち第 1 の高周波電力 R F 1 のみが供給されてもよい。第 2 のアンテナ 14 2 には、第 1 の高周波電力 R F 1 及び第 2 の高周波電力 R F 2 のうち、第 2 の高周波電力 R F 2 のみが供給されてもよい。なお、第 1 のアンテナ 14 1 及び第 2 のアンテナ 14 2 のうち少なくとも一方に、第 1 の高周波電力 R F 1 及び第 2 の高周波電力 R F 2 の双方が供給されてもよい。
- [0055] 一実施形態において、制御部 2 は、第 1 の周波数を特定して、特定した第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力 R F 1 をプラズマの着火のために用いるように構成されていてもよい。以下では、図 6 の (a) ~ 図 6 の (d) を参照して、制御部 2 が第 1 の周波数を特定する処理について説明する。
- [0056] 図 6 の (a) は、複数の周波数成分を有する高周波電力のパワースペクトルの一例を示す図である。第 1 の R F 生成部 3 1 a は、図 6 の (a) に示すように、複数の周波数成分を有する高周波電力を発生するように構成されていてもよい。図 6 の (a) に示す高周波電力は、複数の周波数成分 $S a 1 \sim S a n$ を有している。n は、2 以上の整数である。複数の周波数成分 $S a 1 \sim S a n$ の各々のパワーレベルは、所定のパワーレベル P である。制御部 2 は、複数の周波数成分を有する高周波電力をアンテナ 14 に供給するよう、第 1 の R F 生成部 3 1 a を制御する。なお、プラズマ処理装置 1 A においては、複数の周波数成分を有する高周波電力は、高周波電源 3 0 1 によって発生されてもよい。
- [0057] 図 6 の (b) は、図 6 の (a) の複数の周波数成分のプラズマへの結合効率を表す複数の測定値の一例を示す図である。制御部 2 は、第 1 の周波数の特定のために、複数の測定値を用いる。複数の測定値は、複数の周波数成分 $S a 1 \sim S a n$ それぞれのプラズマへの結合効率を表す。複数の測定値は、例えば、方向性結合器 3 1 0 若しくはセンサ 3 3、又は方向性結合器 3 1 1 若しくはセンサ 3 3 1 によって取得される複数の周波数成分 $S a 1 \sim S a n$ それぞれの反射係数であってもよい。或いは、複数の測定値は、センサ 3 3

又はセンサ 331 によって取得される複数の周波数成分 $S_{a1} \sim S_{an}$ それぞれのロードパワーレベルであってもよい。ロードパワーレベルは、複数の周波数成分 $S_{a1} \sim S_{an}$ の各々の進行波のパワーレベルと反射波のパワーレベルの差である。

[0058] 制御部 2 は、複数の測定値を用いて、複数の周波数成分 $S_{a1} \sim S_{an}$ のうち最大の結合効率を有する成分の周波数を第 1 の周波数として特定する。図 6 の (b) に示す例では、複数の周波数成分 $S_{a1} \sim S_{an}$ のうち最大の結合効率を有する周波数成分は、周波数成分 S_{a2} である。

[0059] 一実施形態において、制御部 2 は、複数の周波数成分 $S_{a1} \sim S_{an}$ の周波数ピッチよりも狭い周波数ピッチを有する複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bm}$ を含む高周波電力を第 1 の RF 生成部 31a に発生させて、第 1 の周波数を更新してもよい。制御部 2 は、更新した第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力 RF1 をプラズマの着火のために用いるように構成されていてもよい。なお、プラズマ処理装置 1A においては、複数の周波数成分を有する高周波電力は、高周波電源 301 によって発生されてもよい。

[0060] 図 6 の (c) は、複数の周波数成分を有する高周波電力のパワースペクトルの一例を示す図である。図 6 の (c) に示す高周波電力は、複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bm}$ を有している。m は、2 以上の整数である。複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bn}$ の各々のパワーレベルは、所定のパワーレベル P である。複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bm}$ を含む帯域は、複数の周波数成分 $S_{a1} \sim S_{an}$ を含む帯域よりも狭い。複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bm}$ を含む帯域は、複数の周波数成分 $S_{a1} \sim S_{an}$ のうち最大の結合効率を有する周波数成分（例えば、周波数成分 S_{a2} ）を含む。周波数成分 S_{a2} は、複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bm}$ を含む帯域の中心周波数であってもよい。

[0061] 図 6 の (d) は、図 6 の (c) の複数の周波数成分のプラズマへの結合効率を表す複数の測定値の一例を示す図である。制御部 2 は、第 1 の周波数の更新のために、複数の測定値を用いる。複数の測定値は、複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bn}$ それぞれのプラズマへの結合効率を表す。複数の測定値は、

例えば、方向性結合器 3 1 0 若しくはセンサ 3 3、又は方向性結合器 3 1 1 又はセンサ 3 3 1 によって取得される複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bn}$ それぞれの反射係数であってもよい。或いは、複数の測定値は、センサ 3 3 又はセンサ 3 3 1 によって取得される複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bn}$ それぞれのロードパワーレベルであってもよい。ロードパワーレベルは、複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bn}$ の各々の進行波のパワーレベルと反射波のパワーレベルの差である。

[0062] 制御部 2 は、複数の測定値を用いて、複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bn}$ のうち最大の結合効率を有する成分の周波数を特定し、特定した周波数を用いて第 1 の周波数を更新してもよい。図 6 の (d) の例では、複数の周波数成分 $S_{b1} \sim S_{bm}$ のうち最大の結合効率を有する周波数成分は、周波数成分 S_{b4} である。

[0063] 一実施形態において、制御部 2 は、プラズマの着火後に、複数の周波数成分を含む第 2 の高周波電力 RF_2 を用いてプラズマを維持してもよく、また、第 2 の高周波電力 RF_2 の複数の周波数成分のロードパワー制御を行ってもよい。以下では、図 7 の (a) ~ 図 7 の (c) を参照して、制御部 2 が第 2 の高周波電力 RF_2 の複数の周波数成分のロードパワー制御を行う処理について説明する。

[0064] 図 7 の (a) は、複数の周波数成分を有する第 2 の高周波電力のパワースペクトルの一例を示す図である。第 1 の RF 生成部 3 1 a は、プラズマの着火後に、図 7 の (a) に示すように、複数の周波数成分を有する第 2 の高周波電力を発生するように構成されていてもよい。図 7 の (a) に示す第 2 の高周波電力は、複数の周波数成分 $S_1 \sim S_n$ を有している。 n は、2 以上の整数である。複数の周波数成分 $S_1 \sim S_n$ の各々のパワーレベルは、所定のパワーレベル P である。制御部 2 は、複数の周波数成分を有する第 2 の高周波電力をアンテナ 1 4 に供給するよう、第 1 の RF 生成部 3 1 a を制御する。なお、プラズマ処理装置 1 A においては、複数の周波数成分を有する第 2 の高周波電力は、高周波電源 3 0 2 によって発生されてもよい。

- [0065] 図7の(b)は、図7の(a)の複数の周波数成分に対応したプラズマへの結合効率を表す複数の測定値の一例を示す図である。制御部2は、第2の高周波電力RF2の複数の周波数成分のロードパワー制御のために、複数の測定値を用いる。複数の測定値は、複数の周波数成分S1～Snそれぞれのプラズマへの結合効率を表す。複数の測定値は、例えば、方向性結合器310若しくはセンサ33、又は方向性結合器312若しくはセンサ332によって取得される複数の周波数成分S1～Snそれぞれの反射係数であってもよい。或いは、複数の測定値は、センサ33又はセンサ332によって取得される複数の周波数成分S1～Snそれぞれのロードパワーレベルであってもよい。ロードパワーレベルは、複数の周波数成分S1～Snの各々の進行波のパワーレベルと反射波のパワーレベルの差である。
- [0066] 図7の(c)は、複数の周波数成分を有する第2の高周波電力のパワースペクトルの一例を示す図である。制御部2は、第2の高周波電力RF2の複数の周波数成分のロードパワーレベルをそれぞれの指定レベルに近づけるように、複数の測定値を用いて、図7の(c)に示すように、第2の高周波電力RF2の複数の周波数成分それぞれのパワーレベルを調整する。一例では、制御部2は、第2の高周波電力RF2の複数の周波数成分のロードパワーレベルが略同一となるように、第2の高周波電力RF2の複数の周波数成分それぞれのパワーレベルを調整してもよい。
- [0067] 以下、図8を参照して、プラズマ処理方法の一例について説明する。図8は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。図8に示すプラズマ処理方法（以下、「方法MT」という）は、プラズマ処理装置1又は1Aを用いて行われ得る。以下では、一実施形態として、プラズマ処理装置1を用いて行われる方法MTについて説明する。
- [0068] 方法MTは、工程STa及び工程STbを含む。工程STaでは、第1のRF生成部31aからアンテナ14に第1の高周波電力RF1が供給される。一実施形態において、工程STaでは、プラズマ処理装置1のチャンバ10内でプラズマを着火するために、第1のRF生成部31aからアンテナ1

4に第1の高周波電力RF1が供給されてもよい。工程STbでは、第1のRF生成部31aからアンテナ14に第2の高周波電力RF2が供給される。一実施形態において、工程STbでは、チャンバ10内で着火されたプラズマを維持するために、第1のRF生成部31aからアンテナ14に第2の高周波電力RF2が供給されてもよい。

[0069] 一実施形態において、方法MTがプラズマ処理装置1を用いて行われる場合には、工程STaでは、高周波電源300から第1の高周波電力RF1が供給されてもよい。工程STbでは、高周波電源300から第2の高周波電力RF2が供給されてもよい。

[0070] 一実施形態において、方法MTがプラズマ処理装置1を用いて行われる場合には、工程STaでは、第1のフィルタ35を選択的に通過した高周波電力が供給されてもよい。工程STbでは、第2のフィルタ37を選択的に通過した高周波電力が供給されてもよい。

[0071] 一実施形態において、方法MTがプラズマ処理装置1Aを用いて行われる場合には、工程STaでは、高周波電源301から第1の高周波電力RF1が供給されてもよい。工程STbでは、高周波電源302から第2の高周波電力RF2が供給されてもよい。

[0072] 一実施形態において、方法MTがアンテナ14A、14B、14Cの何れかを備えるプラズマ処理装置を用いて行われる場合には、工程STaでは、第1のアンテナ141に第1の高周波電力RF1が供給されてもよい。工程STbでは、第2のアンテナ142に第2の高周波電力RF2が供給されてもよい。

[0073] 一実施形態において、方法MTは、工程STcを含んでいてもよい。図8の例では、工程STcは、工程STaの後、且つ、工程STbの前に行われる。この場合、工程STaでは、第1のRF生成部31aからアンテナ14に第1の高周波電力RF1のみが供給される。工程STcでは、第1のRF生成部31aから第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2が同時にアンテナ14に供給される。工程STbでは、第1のRF生成部31a

からアンテナ 1 4 に第 2 の高周波電力 R F 2 のみが供給される。

[0074] 一実施形態において、方法 M T は、工程 S T d 及び工程 S T e を含んでもよい。図 8 の例では、工程 S T d 及び工程 S T e は、工程 S T a の前に行われる。工程 S T d では、複数の周波数成分 S a 1 ~ S a n を有する高周波電力がアンテナ 1 4 に供給される（図 6 の（a）参照）。

[0075] 工程 S T e では、アンテナ 1 4 に供給された複数の周波数成分 S a 1 ~ S a n のうち最大の結合効率を有する成分の周波数が第 1 の周波数として特定される。第 1 の周波数は、複数の周波数成分 S a 1 ~ S a n のそれぞれのプラズマの結合効率を表す複数の測定値（図 6 の（b）参照）に基づいて特定される。複数の測定値は、例えば、方向性結合器 3 1 0 若しくはセンサ 3 3、又は方向性結合器 3 1 1 若しくはセンサ 3 3 1 によって取得される複数の周波数成分 S a 1 ~ S a n それぞれの反射係数であってもよい。或いは、複数の測定値は、センサ 3 3 又はセンサ 3 3 1 によって取得される複数の周波数成分 S a 1 ~ S a n それぞれのロードパワーレベルであってもよい。ロードパワーレベルは、複数の周波数成分 S a 1 ~ S a n の各々の進行波のパワーレベルと反射波のパワーレベルの差である。工程 S T a では、工程 S T e で特定された第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力 R F 1 が供給されてもよい。

[0076] 一実施形態において、工程 S T d 及び工程 S T e は、再度行われてもよい。この場合、再度行われる工程 S T d では、複数の周波数成分 S a 1 ~ S a n の周波数ピッチよりも狭い周波数ピッチを有する複数の周波数成分 S b 1 ~ S b m を含む高周波電力がアンテナ 1 4 に供給されてもよい（図 6 の（c）参照）。再度行われる工程 S T e では、アンテナ 1 4 に供給された複数の周波数成分 S b 1 ~ S b m のうち最大の結合効率を有する成分の周波数が第 1 の周波数として更新されてもよい。第 1 の周波数は、複数の周波数成分 S b 1 ~ S b m のそれぞれのプラズマの結合効率を表す複数の測定値（図 6 の（d）参照）に基づいて更新される。工程 S T a では、再度行われた工程 S T e で更新された第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力 R F 1 が供給され

てもよい。

[0077] 以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实施形態に限定されることなく、様々な追加、省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせることで他の実施形態を形成することが可能である。

[0078] ここで、本開示に含まれる種々の例示的实施形態を、以下の[E 1]～[E 16]に記載する。

[0079] [E 1]

誘電体窓を含むチャンバと、
前記チャンバ内に設けられた基板支持部と、
前記チャンバの外部に設けられた少なくとも一つのアンテナであり、前記誘電体窓は、前記基板支持部と該少なくとも一つのアンテナとの間に配置される、該少なくとも一つのアンテナと、
前記チャンバ内にガスを供給するように構成されたガス供給部と、
前記少なくとも一つのアンテナに電氣的に接続されたRF生成部と、
を備え、
前記RF生成部は、第1の周波数を有する第1の高周波電力と、第2の周波数を有する第2の高周波電力を発生するように構成されており、
前記第2の周波数に対する前記誘電体窓における誘電損失は、前記第1の周波数に対する前記誘電体窓における誘電損失よりも大きい、
プラズマ処理装置。

[E 2]

前記RF生成部は、
前記チャンバ内でプラズマを着火するために前記第1の高周波電力を発生し、
前記チャンバ内で着火された前記プラズマを維持するために前記第2の高周波電力を発生する、
ように構成されている、E 1に記載のプラズマ処理装置。

[E 3]

前記 R F 生成部は、単一の高周波電源から構成されている、E 1 又は E 2 に記載のプラズマ処理装置。

[E 4]

前記 R F 生成部と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された整合器と、

前記第 1 の高周波電力を選択的に通過させるように構成されており、前記整合器と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された第 1 のフィルタと、

前記第 2 の高周波電力を選択的に通過させるように構成されており、前記整合器と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された第 2 のフィルタと、

前記第 1 のフィルタ及び前記第 2 のフィルタのうち一方のフィルタと前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続されたインピーダンス変換器と、
を更に備え、

前記整合器は、前記第 1 のフィルタ及び前記第 2 のフィルタのうち他方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、前記 R F 生成部の出力インピーダンスに整合させるように構成されており、

前記インピーダンス変換器は、前記一方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、前記 R F 生成部の出力インピーダンスに整合させるように構成されている、E 1 ～ E 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[E 5]

前記 R F 生成部は、

前記第 1 の高周波電力を発生するように構成された第 1 の高周波電源と、
、

前記第 2 の高周波電力を発生するように構成された第 2 の高周波電源と

、
を含む、E 1 又は E 2 に記載のプラズマ処理装置。

[E 6]

前記少なくとも一つのアンテナは、
前記第 1 の高周波電力を受ける第 1 のアンテナと、
前記第 2 の高周波電力を受ける第 2 のアンテナと、
を含む、E 1 ～ E 5 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[E 7]

前記 RF 生成部は、前記第 1 の高周波電力のみを前記少なくとも一つのアンテナに供給した後、前記第 2 の高周波電力のみを前記少なくとも一つのアンテナに供給する前に、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を前記少なくとも一つのアンテナに同時に供給するように構成されている、E 1 ～ E 6 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[E 8]

制御部を更に備え、
前記制御部は、
複数の周波数成分を有する高周波電力を前記少なくとも一つのアンテナに供給するよう、前記 RF 生成部を制御し、
センサによって取得される複数の測定値であり前記複数の周波数成分それぞれのプラズマへの結合効率を表す該複数の測定値に基づいて、前記複数の周波数成分のうち最大の結合効率を有する成分の周波数を前記第 1 の周波数として特定する、
ように構成されている、E 1 ～ E 7 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[E 9]

(a) プラズマ処理装置において、RF 生成部から少なくとも一つのアンテナに第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力を供給する工程であり、該プラズマ処理装置は、

誘電体窓を含む前記チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持部と、

前記チャンバの外部に設けられた位置する前記少なくとも一つのアンテナであり、前記誘電体窓は、前記基板支持部と該少なくとも一つのアンテナとの間に配置される、該少なくとも一つのアンテナと、

前記少なくとも一つのアンテナに電氣的に接続された前記RF生成部と

、

を備える、該工程と、

(b) 前記RF生成部から前記少なくとも一つのアンテナに第2の周波数を有する第2の高周波電力を供給する工程と、

を含み、

前記第2の周波数に対する前記誘電体窓における誘電損失は、前記第1の周波数に対する前記誘電体窓における誘電損失よりも大きい、
プラズマ処理方法。

[E 1 0]

前記(a)では、前記チャンバ内でプラズマを着火するために、前記RF生成部から前記少なくとも一つのアンテナに前記第1の高周波電力を供給し

、

前記(b)では、前記チャンバ内で着火された前記プラズマを維持するために、前記RF生成部から前記少なくとも一つのアンテナに前記第2の高周波電力を供給する、

E 9に記載のプラズマ処理方法。

[E 1 1]

前記RF生成部は、単一の高周波電源から構成されており、

前記(a)では、前記単一の高周波電源から前記第1の高周波電力が供給され、

前記(b)では、前記単一の高周波電源から前記第2の高周波電力が供給される、

E 9 又は E 1 0 に記載のプラズマ処理方法。

[E 1 2]

前記プラズマ処理装置は、

前記 R F 生成部と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された整合器と、

前記第 1 の高周波電力を選択的に通過させるように構成されており、前記整合器と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された第 1 のフィルタと、

前記第 2 の高周波電力を選択的に通過させるように構成されており、前記整合器と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された第 2 のフィルタと、

前記第 1 のフィルタ及び前記第 2 のフィルタのうち一方のフィルタと前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続されたインピーダンス変換器と、
を更に備え、

前記整合器は、前記第 1 のフィルタ及び前記第 2 のフィルタのうち他方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、前記 R F 生成部の出力インピーダンスに整合させるように構成されており、

前記インピーダンス変換器は、前記一方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、前記 R F 生成部の出力インピーダンスに整合させるように構成されており、

前記 (a) では、前記第 1 のフィルタを選択的に通過した前記高周波電力が供給され、

前記 (b) では、前記第 2 のフィルタを選択的に通過した前記高周波電力が供給される、

E 9 ～ E 1 1 の何れか一項に記載のプラズマ処理方法。

[E 1 3]

前記 R F 生成部は、

前記第 1 の高周波電力を発生するように構成された第 1 の高周波電源と、
前記第 2 の高周波電力を発生するように構成された第 2 の高周波電源と、
を含み、
前記（a）では、前記第 1 の高周波電源から前記第 1 の高周波電力が供給され、
前記（b）では、前記第 2 の高周波電源から前記第 2 の高周波電力が供給される、
E 9 又は E 1 0 に記載のプラズマ処理方法。

[E 1 4]

前記少なくとも一つのアンテナは、
前記第 1 の高周波電力を受ける第 1 のアンテナと、
前記第 2 の高周波電力を受ける第 2 のアンテナと、
を含み、
前記（a）では、前記第 1 のアンテナに前記第 1 の高周波電力が供給され、
前記（b）では、前記第 2 のアンテナに前記第 2 の高周波電力が供給される、
E 9 ～ E 1 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理方法。

[E 1 5]

（c）前記（a）において前記 R F 生成部から前記第 1 の高周波電力のみを前記少なくとも一つのアンテナに供給した後、且つ、前記（b）において前記 R F 生成部から前記第 2 の高周波電力のみを前記少なくとも一つのアンテナに供給する前に、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を前記少なくとも一つのアンテナに同時に供給する工程、を含む、
E 9 ～ E 1 4 の何れか一項に記載のプラズマ処理方法。

[E 1 6]

(d) 複数の周波数成分を有する高周波電力を前記少なくとも一つのアンテナに供給する工程と、

(e) センサによって取得される複数の測定値であり前記複数の周波数成分それぞれのプラズマへの結合効率を表す該複数の測定値に基づいて、前記複数の周波数成分のうち最大の結合効率を有する成分の周波数を前記第1の周波数として特定する工程と、

を更に含み、

前記(e)において特定された前記第1の周波数を有する前記第1の高周波電力が、前記(a)において前記少なくとも一つのアンテナに供給される、

E 9～E 15の何れか一項に記載のプラズマ処理方法。

[0080] 以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

符号の説明

[0081] 1, 1A…プラズマ処理装置、2…制御部、10…チャンバ、11…基板支持部、14, 14A, 14B, 14C…アンテナ、20…ガス供給部、31a…第1のRF生成部、33, 331, 332…センサ、34, 341, 342…整合器、35…第1のフィルタ、36…インピーダンス変換器、37…第2のフィルタ、101…誘電体窓、300, 301, 302…高周波電源、310, 311, 312…方向性結合器、RF1…第1の高周波電力、RF2…第2の高周波電力。

請求の範囲

- [請求項1] 誘電体窓を含むチャンバと、
前記チャンバ内に設けられた基板支持部と、
前記チャンバの外部に設けられた少なくとも一つのアンテナであり、
前記誘電体窓は、前記基板支持部と該少なくとも一つのアンテナとの間に配置される、該少なくとも一つのアンテナと、
前記チャンバ内にガスを供給するように構成されたガス供給部と、
前記少なくとも一つのアンテナに電氣的に接続されたRF生成部と、
、
を備え、
前記RF生成部は、第1の周波数を有する第1の高周波電力と、第2の周波数を有する第2の高周波電力とを発生するように構成されており、
前記第2の周波数に対する前記誘電体窓における誘電損失は、前記第1の周波数に対する前記誘電体窓における誘電損失よりも大きい、
プラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記RF生成部は、
前記チャンバ内でプラズマを着火するために前記第1の高周波電力を発生し、
前記チャンバ内で着火された前記プラズマを維持するために前記第2の高周波電力を発生する、
ように構成されている、請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記RF生成部は、単一の高周波電源から構成されている、
請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項4] 前記RF生成部と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された整合器と、
前記第1の高周波電力を選択的に通過させるように構成されており、
前記整合器と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された第

1 のフィルタと、

前記第 2 の高周波電力を選択的に通過させるように構成されており、前記整合器と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された第 2 のフィルタと、

前記第 1 のフィルタ及び前記第 2 のフィルタのうち一方のフィルタと前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続されたインピーダンス変換器と、

を更に備え、

前記整合器は、前記第 1 のフィルタ及び前記第 2 のフィルタのうち他方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、前記 R F 生成部の出力インピーダンスに整合させるように構成されており、

前記インピーダンス変換器は、前記一方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、前記 R F 生成部の出力インピーダンスに整合させるように構成されている、請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 5]

前記 R F 生成部は、

前記第 1 の高周波電力を発生するように構成された第 1 の高周波電源と、

前記第 2 の高周波電力を発生するように構成された第 2 の高周波電源と、

を含む、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 6]

前記少なくとも一つのアンテナは、

前記第 1 の高周波電力を受ける第 1 のアンテナと、

前記第 2 の高周波電力を受ける第 2 のアンテナと、

を含む、請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 7]

前記 R F 生成部は、前記第 1 の高周波電力のみを前記少なくとも一つのアンテナに供給した後、前記第 2 の高周波電力のみを前記少なく

とも一つのアンテナに供給する前に、前記第 1 の高周波電力及び前記第 2 の高周波電力を前記少なくとも一つのアンテナに同時に供給するように構成されている、

請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 8]

制御部を更に備え、

前記制御部は、

複数の周波数成分を有する高周波電力を前記少なくとも一つのアンテナに供給するよう、前記 R F 生成部を制御し、

センサによって取得される複数の測定値であり前記複数の周波数成分それぞれのプラズマへの結合効率を表す該複数の測定値に基づいて、前記複数の周波数成分のうち最大の結合効率を有する成分の周波数を前記第 1 の周波数として特定する、

ように構成されている、請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 9]

(a) プラズマ処理装置において、R F 生成部から少なくとも一つのアンテナに第 1 の周波数を有する第 1 の高周波電力を供給する工程であり、該プラズマ処理装置は、

誘電体窓を含む前記チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持部と、

前記チャンバの外部に設けられた前記少なくとも一つのアンテナであり、前記誘電体窓は、前記基板支持部と該少なくとも一つのアンテナとの間に配置される、該少なくとも一つのアンテナと、

前記少なくとも一つのアンテナに電氣的に接続された前記 R F 生成部と、

を備える、該工程と、

(b) 前記 R F 生成部から前記少なくとも一つのアンテナに第 2 の周波数を有する第 2 の高周波電力を供給する工程と、
を含み、

前記第2の周波数に対する前記誘電体窓における誘電損失は、前記第1の周波数に対する前記誘電体窓における誘電損失よりも大きい、プラズマ処理方法。

[請求項10] 前記(a)では、前記チャンバ内でプラズマを着火するために、前記RF生成部から前記少なくとも一つのアンテナに前記第1の高周波電力を供給し、

前記(b)では、前記チャンバ内で着火された前記プラズマを維持するために、前記RF生成部から前記少なくとも一つのアンテナに前記第2の高周波電力を供給する、
請求項9に記載のプラズマ処理方法。

[請求項11] 前記RF生成部は、単一の高周波電源から構成されており、

前記(a)では、前記単一の高周波電源から前記第1の高周波電力が供給され、

前記(b)では、前記単一の高周波電源から前記第2の高周波電力が供給される、
請求項9又は10に記載のプラズマ処理方法。

[請求項12] 前記プラズマ処理装置は、

前記RF生成部と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された整合器と、

前記第1の高周波電力を選択的に通過させるように構成されており、前記整合器と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された第1のフィルタと、

前記第2の高周波電力を選択的に通過させるように構成されており、前記整合器と前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続された第2のフィルタと、

前記第1のフィルタ及び前記第2のフィルタのうち一方のフィルタと前記少なくとも一つのアンテナとの間で接続されたインピーダンス変換器と、

を更に備え、

前記整合器は、前記第1のフィルタ及び前記第2のフィルタのうち他方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、前記RF生成部の出力インピーダンスに整合させるように構成されており、

前記インピーダンス変換器は、前記一方のフィルタが選択的に通過させる高周波電力の周波数に対する負荷インピーダンスを、前記RF生成部の出力インピーダンスに整合させるように構成されており、

前記(a)では、前記第1のフィルタを選択的に通過した前記高周波電力が供給され、

前記(b)では、前記第2のフィルタを選択的に通過した前記高周波電力が供給される、

請求項9又は10に記載のプラズマ処理方法。

[請求項13]

前記RF生成部は、

前記第1の高周波電力を発生するように構成された第1の高周波電源と、

前記第2の高周波電力を発生するように構成された第2の高周波電源と、

を含み、

前記(a)では、前記第1の高周波電源から前記第1の高周波電力が供給され、

前記(b)では、前記第2の高周波電源から前記第2の高周波電力が供給される、

請求項9又は10に記載のプラズマ処理方法。

[請求項14]

前記少なくとも一つのアンテナは、

前記第1の高周波電力を受ける第1のアンテナと、

前記第2の高周波電力を受ける第2のアンテナと、

を含み、

前記（a）では、前記第1のアンテナに前記第1の高周波電力が供給され、

前記（b）では、前記第2のアンテナに前記第2の高周波電力が供給される、

請求項9又は10に記載のプラズマ処理方法。

[請求項15] （c）前記（a）において前記RF生成部から前記第1の高周波電力のみを前記少なくとも一つのアンテナに供給した後、且つ、前記（b）において前記RF生成部から前記第2の高周波電力のみを前記少なくとも一つのアンテナに供給する前に、前記第1の高周波電力及び前記第2の高周波電力を前記少なくとも一つのアンテナに同時に供給する工程、を含む、

請求項9又は10に記載のプラズマ処理方法。

[請求項16] （d）複数の周波数成分を有する高周波電力を前記少なくとも一つのアンテナに供給する工程と、

（e）センサによって取得される複数の測定値であり前記複数の周波数成分それぞれのプラズマへの結合効率を表す該複数の測定値に基づいて、前記複数の周波数成分のうち最大の結合効率を有する成分の周波数を前記第1の周波数として特定する工程と、
を更に含み、

前記（e）において特定された前記第1の周波数を有する前記第1の高周波電力が、前記（a）において前記少なくとも一つのアンテナに供給される、

請求項9又は10に記載のプラズマ処理方法。