

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7675954号
(P7675954)

(45)発行日 令和7年5月13日(2025.5.13)

(24)登録日 令和7年5月1日(2025.5.1)

(51)国際特許分類

F I

H 0 5 H 1/46 (2006.01)

H 0 5 H 1/46

L

請求項の数 16 (全22頁)

(21)出願番号	特願2024-570142(P2024-570142)	(73)特許権者	000219967
(86)(22)出願日	令和5年12月25日(2023.12.25)		東京エレクトロン株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/046507		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(87)国際公開番号	WO2024/150666	(74)代理人	100088155
(87)国際公開日	令和6年7月18日(2024.7.18)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	令和6年12月25日(2024.12.25)	(74)代理人	100113435
(31)優先権主張番号	特願2023-2993(P2023-2993)		弁理士 黒木 義樹
(32)優先日	令和5年1月12日(2023.1.12)	(74)代理人	100122507
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 柏岡 潤二
早期審査対象出願		(74)代理人	100208878
			弁理士 吉田 弘智
		(72)発明者	樋口 龍太
			宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
			東京エレクトロン宮城株式会社内
		(72)発明者	齊藤 武尚

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57)【特許請求の範囲】

【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R F生成部と、
を備え、
前記R F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R F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 R F 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 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、

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。

10

【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 R F 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 R F 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 R F 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。

20

【請求項 12】

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、

30

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、
請求項 9 又は 10 に記載のプラズマ処理方法。

40

【請求項 13】

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、
請求項 9 又は 10 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 14】

50

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。

【発明の詳細な説明】

【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】

【文献】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

10

20

30

40

50

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

10

20

30

40

50

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 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 の導電性部材はバイアス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 電極がバイアス電極として機能する。なお、基台 1110 の導電性部材と少なくとも 1 つの RF／DC 電極とが複数のバイアス電極として機能してもよい。また、静電電極 1111b 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 11 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 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。

【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

10

20

30

40

50

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 13 a、少なくとも 1 つのガス流路 13 b、及び少なくとも 1 つのガス導入口 13 c を有する。ガス供給口 13 a に供給された処理ガスは、ガス流路 13 b を通過してガス導入口 13 c からプラズマ処理空間 10 s 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 10 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 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 31 a 及び第 2 の RF 生成部 31 b を含む。第 1 の RF 生成部 31 a (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、10 MHz ~ 150 MHz 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 31 a 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 31 b 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、100 kHz ~ 60 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 31 b 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 32 a を含む。一実施形態において、バイアス DC 生成部 32 a 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。

10

【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。

20

30

【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。

40

【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

50

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。

10

【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34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。

20

【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35、インピーダンス変換器36及び第2のフィルタ37を更に備えてもよい。第1のフィルタ35は、第1の高周波電力RF1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37は、第2の高周波電力RF2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35及び第2のフィルタ37の各々は、整合器34とアンテナ14との間で並列に接続されている。整合器34、第1のフィルタ35及びアンテナ14は、第1の電氣的パスを構成する。第1の高周波電力RF1は、第1の電氣的パスを介してアンテナ14に供給される。整合器34、第2のフィルタ37及びアンテナ14は、第2の電氣的パスを構成する。第2の高周波電力RF2は、第2の電氣的パスを介してアンテナ14に供給される。

30

【0030】

インピーダンス変換器36は、第1のフィルタ35及び第2のフィルタ37のうち一方のフィルタとアンテナ14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36は、第1のフィルタ35とアンテナ14との間で接続されている。

【0031】

整合器34は、第1のフィルタ35及び第2のフィルタ37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てもよい。図2に示す例では、整合器34は、第2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。

40

【0032】

インピーダンス変換器36は、第1のフィルタ35及び第2のフィルタ37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。図2に示す例では、インピーダンス変換器36は、第1のフィルタ35が選択的に通過させる第1の高周波電力RF1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

50

、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の電氣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の電氣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101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

10

20

30

40

50

電力 RF 2 のパワーレベルよりも低い。また、第 1 の RF 生成部 31 a は、期間 T 2 において、第 1 の高周波電力 RF 1 及び第 2 の高周波電力 RF 2 の双方をアンテナ 1 4 に供給してもよい。但し、期間 T 2 における第 1 の高周波電力 RF 1 のパワーレベルは、期間 T 1 における第 1 の高周波電力 RF 1 のパワーレベルよりも低い。また、第 1 の RF 生成部 31 a は、期間 T 1 と期間 T 2 との間の期間 T 3 において、期間 T 2 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 RF 1 をアンテナ 1 4 に供給してもよい。期間 T 3 における第 1 の高周波電力 RF 1 のパワーレベルは、期間 T 1 における第 1 の高周波電力 RF 1 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 31 a は、期間 T 3 において、期間 T 1 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 RF 2 をアンテナ 1 4 に供給してもよい。期間 T 3 における第 2 の高周波電力 RF 2 のパワーレベルは、期間 T 2 における第 2 の高周波電力 RF 2 のパワーレベルと同一であってもよい。

10

【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 1 A について、プラズマ処理装置 1 A 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 1 A の第 1 の RF 生成部 31 a 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 RF 1 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 RF 2 を発生するように構成されている。プラズマ処理装置 1 A 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 1 A 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。

20

【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 1 4 に電気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 RF 1 の進行波のパワーレベルと、第 1 の高周波電力 RF 1 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 RF 1 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。

30

【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 1 4 に供給される第 1 の高周波電力 RF 1 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 RF 1 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。

40

【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 1 4 に電気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 RF 2 の進行波のパワーレベルと、第 2 の高周波電力 RF 2 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 RF 2 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。

50

【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14A、アンテナ14B、及びアンテナ14Cの各々において、第1のアンテナ141には、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2のうち第1の高周波電力RF1のみが供給されてもよい。第2のアンテナ142には、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2のうち、第2の高周波電力RF2のみが供給されてもよい。なお、第1のアンテナ141及び第2のアンテナ142のうち少なくとも一方に、第1の高周波電力RF1及び第2の高周波電力RF2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。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

10

20

30

40

50

す図である。第1のRF生成部31a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 $S_{a1} \sim S_{an}$ 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 $S_{a1} \sim S_{an}$ 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RF生成部31aを制御する。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。

【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 $S_{a1} \sim S_{an}$ 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311若しくはセンサ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。

10

【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。

20

【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】

30

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 $S_{b1} \sim S_{bm}$ 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310若しくはセンサ33、又は方向性結合器311又はセンサ331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33又はセンサ331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。

40

【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

50

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 $RF2$ 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 $RF2$ 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 $RF2$ 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31a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14に供給するよう、第1の RF 生成部31aを制御する。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第2の高周波電力は、高周波電源302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 $S_1 \sim S_n$ 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 $S_1 \sim S_n$ 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33又はセンサ332によって取得される複数の周波数成分 $S_1 \sim S_n$ 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 $S_1 \sim S_n$ 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。

【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14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

10

20

30

40

50

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14に第2の高周波電力RF2のみが供給される。

【0074】

一実施形態において、方法MTは、工程STd及び工程STeを含んでいてもよい。図8の例では、工程STd及び工程STeは、工程STaの前に行われる。工程STdでは、複数の周波数成分Sa1~Sanを有する高周波電力がアンテナ14に供給される（図6の（a）参照）。

【0075】

工程STeでは、アンテナ14に供給された複数の周波数成分Sa1~San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Sa1~San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310若しくはセンサ33、又は方向性結合器311若しくはセンサ331によって取得される複数の周波数成分Sa1~San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331によって取得される複数の周波数成分Sa1~San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Sa1~San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STaでは、工程STeで特定された第1の周波数を有する第1の高周波電力RF1が供給されてもよい。

【0076】

一実施形態において、工程STd及び工程STeは、再度行われてもよい。この場合、再度行われる工程STdでは、複数の周波数成分Sa1~San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Sb1~Sbmを含む高周波電力がアンテナ14に供給されてもよい（図6の（c）参照）。再度行われる工程STeでは、アンテナ14に供給された複数の周波数成分Sb1~Sbm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Sb1

10

20

30

40

50

～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R F生成部と、
を備え、

前記R F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の高周波電力をと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R F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]

10

20

30

40

50

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 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、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 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、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、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 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。

[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 R F 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 R F 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 R F 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。

10

20

30

40

50

[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

10

20

30

40

50

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。

10

20

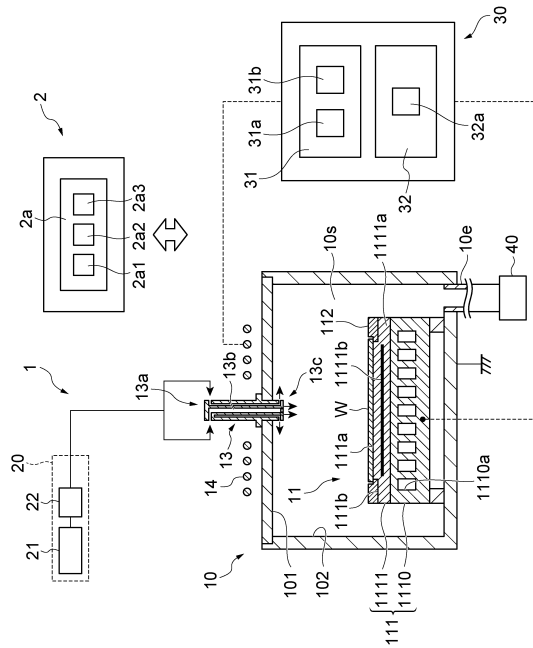
30

40

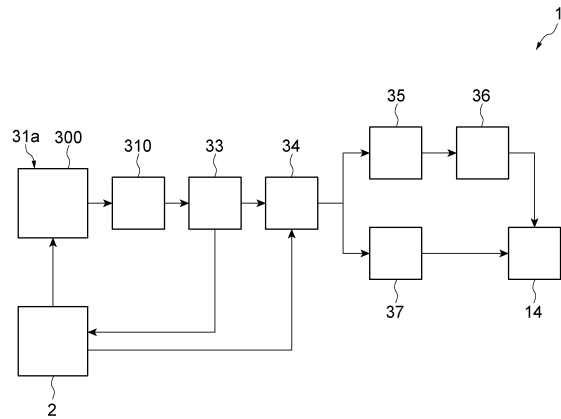
50

【図面】

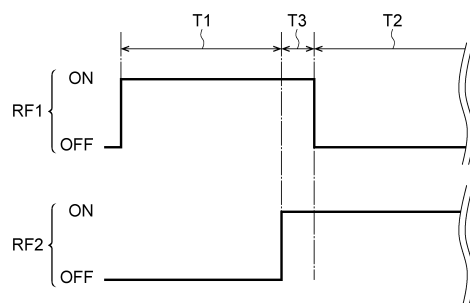
【図 1】



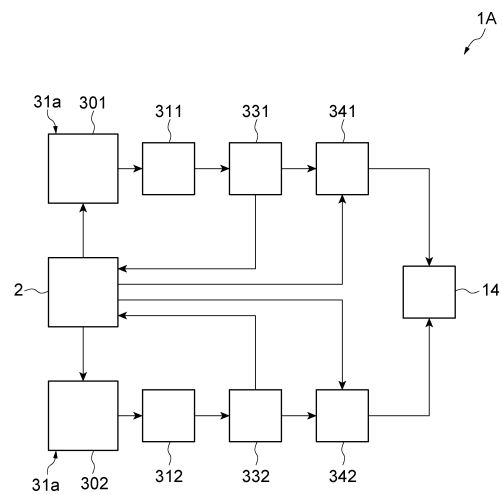
【図 2】



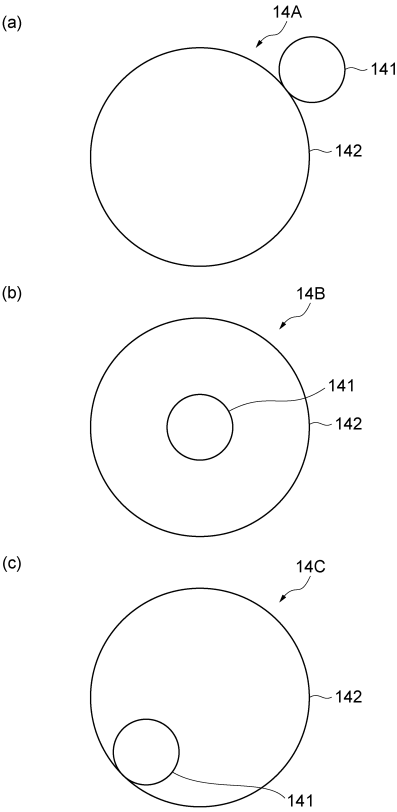
【圖 3】



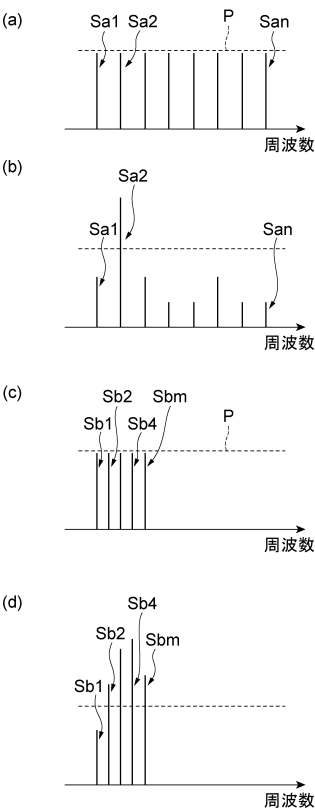
【図 4】



【図 5】



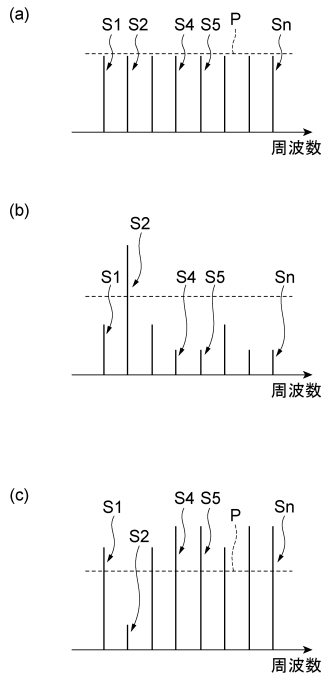
【図 6】



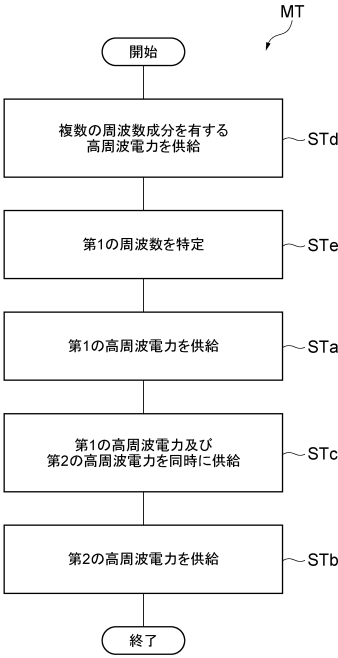
10

20

【図 7】



【図 8】



30

40

50

フロントページの続き

- 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
(72)発明者 中島 俊希
宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
(72)発明者 北邨 友志
宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
審査官 坂上 大貴
(56)参考文献 特表2016-528667 (JP, A)
特開2022-139328 (JP, A)
特開2020-155814 (JP, A)
米国特許出願公開第2019/0252153 (US, A1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H05H 1/00- 1/54