(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年7月25日(25.07.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/154612 A1

(51) 国際特許分類:
H05H 1/46 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/000187

(22) 国際出願日： 2024年1月9日(09.01.2024)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2023-005664 2023年1月18日(18.01.2023) JP

(71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(**TOKYO ELECTRON LIMITED**) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目３番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 樋口 龍太(**HIGUCHI Ryuta**); 〒9813629 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 Miyagi (JP). 中島 俊希(**NAKAJIMA Toshiki**); 〒9813629 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 Miyagi (JP).

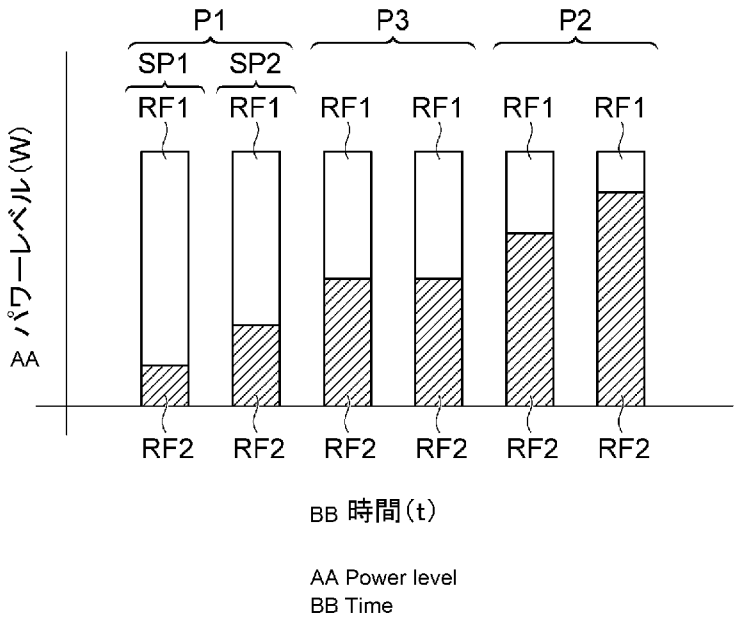
(74) 代理人: 長谷川 芳樹，外(**HASEGAWA Yoshiki** et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号丸の内 ＭＹ ＰＬＡＺＡ（明治安田生命ビル） ９階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,

WO 2024/154612 A1

(54) **Title:** PLASMA-PROCESSING DEVICE AND PLASMA-PROCESSING METHOD

(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) **Abstract:** A plasma-processing device according to the present invention comprises a chamber, a substrate support, an antenna, an RF generation unit, and a control unit. The RF generation unit is configured to generate a RF signal. The control unit is configured to control the RF generation unit to set a power level of a first frequency component of the RF signal to be greater than a power level of a second frequency component of the RF signal in order to ignite a plasma in the chamber in a first period, and, in order to maintain the ignited plasma, set the power level of the second frequency component to be greater than the power level of the first frequency component in a second period.

［続葉有］

KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能):ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持部、アンテナ、ＲＦ生成部、及び制御部を備える。ＲＦ生成部は、ＲＦ信号を発生するように構成されている。制御部は、ＲＦ生成部を制御して、第１の期間において、チャンバ内でプラズマを着火するために、ＲＦ信号の第１の周波数成分のパワーレベルを、ＲＦ信号の第２の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定し、着火されたプラズマを維持するために、第２の期間において第２の周波数成分のパワーレベルを、第１の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定する、ように構成されている。

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]　本開示の例示的実施形態は、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、高周波信号を供給することによりチャンバ内でプラズマを着火する。下記の特許文献１は、高周波信号のパワーレベル及び高周波信号の周波数の少なくとも一方を変調する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２０２１－６４４８２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、プラズマの着火を高速化し、かつ、着火されたプラズマを効率的に維持する技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0005]　一つの例示的実施形態において、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、アンテナ、ＲＦ生成部、及び制御部を備える。基板支持部は、チャンバ内に配置されている。アンテナは、基板支持部の上方に配置されている。ＲＦ生成部は、アンテナに電気的に接続されている。ＲＦ生成部は、ＲＦ信号を発生するように構成されている。ＲＦ信号は、第１の周波数成分及び第２の周波数成分のうち一方又は双方を含んでいる。第１の周波数成分は、チャンバ内でプラズマを着火するための周波数成分である。第２の周波数成分は、着火された該プラズマを維持するため

の周波数成分である。第１の周波数成分は、第１の周波数を有する。第２の周波数成分は、第１の周波数とは異なる第２の周波数を有する。第２の周波数は、整合周波数である。制御部は、ＲＦ生成部を制御して、第１の期間において、チャンバ内でプラズマを着火するために、ＲＦ信号の第１の周波数成分のパワーレベルを、ＲＦ信号の第２の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定し、着火されたプラズマを維持するために、第２の期間において第２の周波数成分のパワーレベルを、第１の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定する、ように構成されている。

発明の効果

[0006] 一つの例示的実施形態によれば、プラズマの着火を高速化し、着火されたプラズマを効率的に維持することが可能である。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]プラズマ処理システムの構成例を説明するための図である。

[図2]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3]一つの例示的実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4]一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理装置の第１のＲＦ生成部の構成を示す図である。

[図5]一つの例示的実施形態において第１のＲＦ生成部が発生するソースＲＦ信号の複数の周波数成分の時間変化を示す図である。

[図6]別の例示的実施形態において第１のＲＦ生成部が発生するソースＲＦ信号の複数の周波数成分の時間変化を示す図である。

[図7]更に別の例示的実施形態において第１のＲＦ生成部が発生するソースＲＦ信号の複数の周波数成分の時間変化を示す図である。

[図8]一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。

[図9]別の例示的実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実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こととする。

[0009] 図１は、プラズマ処理システムの構成例を説明するための図である。一実施形態において、プラズマ処理システムは、プラズマ処理装置１及び制御部２を含む。プラズマ処理システムは、基板処理システムの一例であり、プラズマ処理装置１は、基板処理装置の一例である。プラズマ処理装置１は、プラズマ処理チャンバ１０、基板支持部１１及びプラズマ生成部１２を含む。プラズマ処理チャンバ１０は、プラズマ処理空間を有する。また、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。ガス供給口は、後述するガス供給部２０に接続され、ガス排出口は、後述する排気システム４０に接続される。基板支持部１１は、プラズマ処理空間内に配置され、基板を支持するための基板支持面を有する。

[0010] プラズマ生成部１２は、プラズマ処理空間内に供給された少なくとも１つの処理ガスからプラズマを生成するように構成される。プラズマ処理空間において形成されるプラズマは、容量結合プラズマ（ＣＣＰ；Ｃａｐａｃｉｔｉｖｅｌｙ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｐｌａｓｍａ）、誘導結合プラズマ（ＩＣＰ；Ｉｎｄｕｃｔｉｖｅｌｙ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｐｌａｓｍａ）、ＥＣＲプラズマ（Ｅｌｅｃｔｒｏｎ－Ｃｙｃｌｏｔｒｏｎ－ｒｅｓｏｎａｎｃｅ ｐｌａｓｍａ）、ヘリコン波励起プラズマ（ＨＷＰ：Ｈｅｌｉｃｏｎ Ｗａｖｅ Ｐｌａｓｍａ）、又は、表面波プラズマ（ＳＷＰ：Ｓｕｒｆａｃｅ Ｗａｖｅ Ｐｌａｓｍａ）等であってもよい。また、ＡＣ（Ａｌｔｅｒｎａｔｉｎｇ Ｃｕｒｒｅｎｔ）プラズマ生成部及びＤＣ（Ｄｉｒｅｃｔ Ｃｕｒｒｅｎｔ）プラズマ生成部を含む、種々のタイプのプラズマ生成部が用いられてもよい。一実施形態において、ＡＣプラズマ生成部で用いられるＡＣ信号（ＡＣ電力）は、１００ｋＨｚ～１０ＧＨｚの範囲内の周波数を有する。従って、ＡＣ信号は、ＲＦ（Ｒａｄｉｏ Ｆｒｅｑｕｅｎｃｙ）信号及びマイクロ波信号を含

む。一実施形態において、ＲＦ信号は、１００ｋＨｚ～１５０ＭＨｚの範囲内の周波数を有する。

[0011] 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。

[0012] 以下に、プラズマ処理装置１の一例としての誘導結合型のプラズマ処理装置の構成例について説明する。図２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。

[0013] 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１

０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、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。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は接地される。

[0014] 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。

[0015] 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電源３１及び／又はＤＣ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。

[0016] 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。

[0017] 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。

[0018] 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。

[0019] 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少なくとも１つの流量変調デバイスを含んでもよい。

[0020] 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、プラズマ生成部１２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。

[0021] 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アンテナ１４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、アンテナ１４に供給される。

[0022] 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いてもよい。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。

[0023] 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。

[0024] 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。

[0025] アンテナ１４は、１又は複数のコイルを含む。一実施形態において、アンテナ１４は、同軸上に配置された外側コイル及び内側コイルを含んでもよい。この場合、ＲＦ電源３１は、外側コイル及び内側コイルの双方に接続されてもよく、外側コイル及び内側コイルのうちいずれか一方に接続されてもよい。前者の場合、同一のＲＦ生成部が外側コイル及び内側コイルの双方に接続されてもよく、別個のＲＦ生成部が外側コイル及び内側コイルに別々に接続されてもよい。

[0026] 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。

[0027] 以下、図３を参照して、第１のＲＦ生成部３１ａ及び制御部２について説明する。図３は、一つの例示的実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。第１のＲＦ生成部３１ａは、チャンバ１０内でプラズマを生成するために供給されるＲＦ信号、即ちソースＲＦ信号を発生するように構成されている。第１のＲＦ生成部３１ａによって生成されるソースＲＦ信号の詳細については、後述する。図３に示すように、第１のＲＦ生成部３１ａは、整合器３３ｃを介してアンテナ１４に電気的に接続されている。

[0028] 整合器３３ｃ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３３ｃ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３３ｃは、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３３ｃのインピーダンス整合回路のインピーダンスは、制御部２によって制御され得る。

[0029] プラズマ処理装置１は、プラズマ状態モニタ３３を更に備えてもよい。プラズマ状態モニタ３３は、チャンバ１０内で生成されているプラズマの状態を監視するように構成されている。プラズマ状態モニタ３３は、方向性結合器３３ａ及び／又は電圧電流センサ３３ｂを含んでいてもよい。

[0030] 方向性結合器３３ａは、例えば、第１のＲＦ生成部３１ａが発生するソースＲＦ信号の進行波のパワーレベルと、ソースＲＦ信号の反射波のパワーレベルとを特定する。方向性結合器３３ａは、ソースＲＦ信号の反射率を特定してもよい。反射率は、進行波のパワーレベルに対する反射波のパワーレベルの割合として特定される。方向性結合器３３ａは、進行波及び反射波の各々のパワーレベル、及び反射率を制御部２に通知し得る。反射波のパワーレベル及び反射率の各々は、チャンバ１０内でプラズマが消失している場合に大きくなる。したがって、反射波のパワーレベル及び反射率の各々は、プラズマの状態を表す。なお、方向性結合器３３ａは、第１のＲＦ生成部３１ａと整合器３３ｃとの間に接続されていてもよい。方向性結合器３３ａは、第１のＲＦ生成部３１ａと一体化されていてもよい。

[0031] 電圧電流センサ３３ｂは、アンテナ１４に供給されるソースＲＦ信号の電圧及び電流を測定する。電圧電流センサ３３ｂは、測定した電圧及び電流からソースＲＦ信号の反射係数を特定してもよい。電圧電流センサ３３ｂは、特定した反射係数を制御部２に通知し得る。反射係数は、チャンバ１０内でプラズマが消失している場合に大きくなる。したがって、反射係数は、プラズマの状態を表す。

[0032] 第１のＲＦ生成部３１ａが発生するソースＲＦ信号は、第１の周波数成分ＲＦ１及び第２の周波数成分ＲＦ２のうち一方又は双方を含む。第１の周波数成分ＲＦ１は、チャンバ１０内でプラズマを着火するための周波数成分である。第２の周波数成分ＲＦ２は、着火されたプラズマを維持するための周波数成分である。

[0033] 第１の周波数成分ＲＦ１は、第１の周波数ｆ１を有する。第１の周波数ｆ１は、チャンバ１０内でプラズマが着火されていない状態でのアンテナ１４

の共振周波数であり得る。第１の周波数ｆ１は、チャンバ１０内でプラズマが着火されていない状態でソースＲＦ信号の反射を抑制するよう最適化された周波数であってもよい。第１の周波数ｆ１は、チャンバ１０内でプラズマが着火されていない状態で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設定された周波数であってもよい。第１の周波数ｆ１は、プラズマ処理装置１の設計及びチャンバ１０内に導入されるガス種に基づいて設定されてもよい。

[0034] 第２の周波数成分ＲＦ２は、第２の周波数ｆ２を有する。第２の周波数ｆ２は、生成されたプラズマがチャンバ１０内に存在している状態でのアンテナ１４の共振周波数であり得る。第２の周波数ｆ２は、生成されたプラズマがチャンバ１０内でプラズマに存在している状態でソースＲＦ信号の反射を抑制するよう最適化された周波数であってもよい。第２の周波数ｆ２は、生成されたプラズマがチャンバ１０内に存在している状態で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設定された周波数であってもよい。

[0035] 第１の例において、第２の周波数ｆ２は、チャンバ１０内でプラズマが着火された後に、ソースＲＦ信号の周波数を掃引することによって求められてもよい。第１の例において、第２の周波数ｆ２は、ソースＲＦ信号の周波数の掃引の結果、反射の度合いを最小化する周波数として求められ得る。反射の度合いは、反射波のパワーレベル、反射率、又は反射係数によって評価され得る。

[0036] 第２の例において、第２の周波数ｆ２は、チャンバ１０内でプラズマが着火された後に、複数の周波数成分を含むソースＲＦ信号をアンテナ１４に供給することによって求められてもよい。複数の周波数成分は、互いに異なる複数の周波数を有している。第２の例において、第２の周波数ｆ２は、複数の周波数成分のうち反射の度合いを最小化する周波数として求められ得る。反射の度合いは、反射波のパワーレベル、反射率、又は反射係数によって評価され得る。

[0037] 第３の例において、第２の周波数ｆ２は、既知のデータから設定されてもよい。例えば、第２の周波数ｆ２は、現在のプラズマ処理の条件に最も近い条件を有するプラズマ処理において用いられていた第２の周波数ｆ２の近傍の周波数範囲において、上述の第１の例の処理又は第２の例の処理を行うことにより、特定されてもよい。

[0038] 一実施形態において、第１の周波数ｆ１と第２の周波数ｆ２との間の差は、第１の周波数ｆ１の５％以内であってもよい。一実施形態において、第１の周波数ｆ１と第２の周波数ｆ２との間の差は、１ＭＨｚ以内であってもよい。

[0039] 以下、図４を参照しつつ、第１のＲＦ生成部３１ａの構成例について説明する。図４は、一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理装置の第１のＲＦ生成部の構成を示す図である。例えば、第１のＲＦ生成部３１ａは、少なくとも一つのＲＦ生成ユニット５０を含んでいる。第１のＲＦ生成部３１ａは、少なくとも一つのＲＦ生成ユニット５０として、複数のＲＦ生成ユニット５０を含んでいてもよい。複数のＲＦ生成ユニット５０の各々は、信号発生器５ａ、ミキサ５ｂ、フィルタ５ｃ、及び増幅器５ｄを含んでいる。

[0040] 信号発生器５ａは、互いに異なる周波数を有する二つの信号をミキサ５ｂに出力する。二つの信号の周波数は、制御部２から信号発生器５ａに指定されてもよい。ミキサ５ｂは、信号発生器５ａから出力された二つの信号のミキシングにより、二つの周波数成分を有する別の信号を生成する。二つの周波数成分それぞれの周波数は、信号発生器５ａから出力された二つの信号それぞれの周波数の和の周波数及び差の周波数である。フィルタ５ｃは、ミキサ５ｂによって生成された信号の二つの周波数成分のうち一方を選択的に通過させる。フィルタ５ｃを通過した周波数成分の信号は、増幅器５ｄに入力される。増幅器５ｄは、フィルタ５ｃから入力された信号を増幅することにより、ソースＲＦ信号の一つの周波数成分を生成する。増幅器５ｄの増幅率は、制御部２から増幅器５ｄに指定され得る。これにより、ソースＲＦ信号の一つの周波数成分のパワーレベルが調整される。

[0041] 第１のＲＦ生成部３１ａは、複数のＲＦ生成ユニット５０として、第１のＲＦ生成ユニット５１及び第２のＲＦ生成ユニット５２を含んでいてもよい。第１のＲＦ生成ユニット５１は、第１の周波数成分ＲＦ１を発生してもよい。第２のＲＦ生成ユニット５２は、第２の周波数成分ＲＦ２を発生してもよい。第１の周波数成分ＲＦ１及び第２の周波数成分ＲＦ２のうち一方又は双方を含むソースＲＦ信号は、方向性結合器３３ａ、電圧電流センサ３３ｂ、及び整合器３３ｃを介してアンテナ１４に供給される。一実施形態において、第１のＲＦ生成部３１ａは、複数のＲＦ生成ユニット５０として、第３のＲＦ生成ユニット５３を更に含んでいてもよい。第３のＲＦ生成ユニット５３の詳細については後述する。

[0042] 以下、第１のＲＦ生成部３１ａが発生するソースＲＦ信号の複数の周波数成分の時間変化を示す幾つかの実施形態について説明する。図５は、一つの例示的実施形態において第１のＲＦ生成部が発生するソースＲＦ信号（ＲＦ信号）の複数の周波数成分の時間変化を示す図である。なお、図５においては、ソースＲＦ信号のパワーレベルは一定であるが、ソースＲＦ信号のパワーレベルは変化してもよい。

[0043] 図５に示すように、制御部２は、チャンバ１０内でプラズマを着火するために、第１の期間Ｐ１においてソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルを、ソースＲＦ信号の第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定する。第１の期間Ｐ１における、第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルは、ゼロより大きくてもよい。この場合、第２の周波数成分ＲＦ２は、第１の期間Ｐ１において、ゼロより大きいパワーレベルを有する。第１の期間Ｐ１における、第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルは、ゼロであってもよい。この場合、第２の周波数成分ＲＦ２は、第１の期間Ｐ１において、ゼロパワーレベルを有する。

[0044] プラズマ処理装置１では、プラズマを着火するのに適した第１の周波数ｆ１を有する第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルが比較的大きいパワーレベルに設定される。したがって、プラズマ処理装置１によれば、プラズマを

高速に着火することが可能である。

[0045] 一実施形態において、第１の期間Ｐ１は、第１の副期間ＳＰ１及び第２の副期間ＳＰ２を含んでいてもよい。第２の副期間ＳＰ２は、第１の副期間ＳＰ１の後の期間である。制御部２は、第２の副期間ＳＰ２における第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルを第１の副期間ＳＰ１における第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定してもよい。

[0046] 一実施形態において、第１の副期間ＳＰ１における第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルは、ゼロよりも大きくてもよい。この場合、第２の周波数成分ＲＦ２は、第１の副期間ＳＰ１において、ゼロよりも大きいパワーレベルを有する。第１の副期間ＳＰ１における第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルは、ゼロであってもよい。この場合、第２の周波数成分ＲＦ２は、第１の副期間ＳＰ１において、ゼロパワーレベルを有する。

[0047] 制御部２は、着火されたプラズマを維持するために、第２の期間Ｐ２において第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルを、第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定する。

[0048] 一実施形態において、第２の期間Ｐ２における、第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、ゼロよりも大きくてもよい。この場合、第１の周波数成分ＲＦ１は、第２の期間Ｐ２において、ゼロよりも大きいパワーレベルを有する。一実施形態において、第２の期間Ｐ２における、第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、チャンバ１０内でプラズマを着火するために必要な最小のパワーレベルであってもよい。この場合、第１の周波数成分ＲＦ１は、第２の期間Ｐ２において、チャンバ１０内でプラズマを着火するために必要な最小のパワーレベルを有する。チャンバ１０内でプラズマを着火するために必要な最小のパワーレベルは、予め定められ得る。チャンバ１０内でプラズマを着火するために必要な最小のパワーレベルは、例えば、第１の期間Ｐ１における第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルの最大値の５％～５０％の範囲内にある。

[0049] プラズマ処理装置１では、着火されたプラズマが存在する状態で当該プラ

ズマを維持するのに適した第２の周波数ｆ２を有する第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルが比較的大きいパワーレベルに設定される。したがって、プラズマ処理装置１によれば、プラズマを効率的に維持することが可能である。

[0050] また、プラズマ処理装置１では、第１の期間Ｐ１におけるソースＲＦ信号から第２の期間Ｐ２におけるソースＲＦ信号へと遷移期間を介することなく、アンテナ１４に供給するソースＲＦ信号を変化させることが可能である。したがって、プラズマ処理装置１は、プラズマの着火とプラズマの維持を高速に切り替えることが可能である。

[0051] 一実施形態において、制御部２は、第１の期間Ｐ１と第２の期間Ｐ２の間の期間Ｐ３における第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルを、第１の期間Ｐ１における第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルより小さいパワーレベルに設定してもよい。期間Ｐ３は、チャンバ１０内のプラズマが着火されてから安定して維持されるまでの過渡期間である。当該期間Ｐ３における第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、ゼロよりも大きいパワーレベルである。制御部２は、期間Ｐ３における第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルを、第２の期間Ｐ２における第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルより小さいパワーレベルに設定してもよい。期間Ｐ３における第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルは、ゼロよりも大きいパワーレベルである。

[0052] 図６は、別の例示的実施形態において第１のＲＦ生成部が発生するソースＲＦ信号の複数の周波数成分の時間変化を示す図である。一実施形態において、制御部２は、プラズマ状態モニタ３３が監視しているプラズマの状態から、チャンバ１０内のプラズマの消失を判定してもよい。制御部２は、プラズマ状態モニタ３３によって監視されたプラズマの状態から、第１の期間Ｐ１の後にプラズマが消失していると判定される場合に、チャンバ１０内でプラズマを再び着火するよう、第１のＲＦ生成部３１ａを制御してもよい。例えば、制御部２は、プラズマが消失していると判定される場合に、第１の周波数成分ＲＦ１を含むソースＲＦ信号を供給する。

[0053] 制御部２は、プラズマを再び着火するために、ソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルをソースＲＦ信号の第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルより大きいパワーレベルに設定してもよい。図６に示す例では、制御部２は、時点Ｔ１においてプラズマが消失していると判定している。時点Ｔ１の前の時点Ｔ１０では、ソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、ソースＲＦ信号の第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベル以下である。時点Ｔ１０は、第１の期間Ｐ１と第２の期間Ｐ２の間の期間Ｐ３に含まれる。時点Ｔ１の後の時点Ｔ１１では、ソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、ソースＲＦ信号の第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルより大きい。時点Ｔ１１は、第１の期間Ｐ１に含まれる。

[0054] 図６に例示したように、プラズマ処理装置１では、プラズマが消失していると判定される場合に、プラズマを着火するのに適した第１の周波数ｆ１を有する第１の周波数成分ＲＦ１を含むソースＲＦ信号が供給される。したがって、プラズマ処理装置１によれば、プラズマが消失した後にプラズマを高速に再着火することが可能である。

[0055] 図７は、更に別の例示的実施形態において第１のＲＦ生成部が発生するソースＲＦ信号の複数の周波数成分の時間変化を示す図である。一実施形態において、制御部２は、第１のＲＦ生成部３１ａを制御して、第３の周波数成分ＲＦ３を含むソースＲＦ信号を発生させてもよい。第３の周波数成分ＲＦ３は、第３のＲＦ生成ユニット５３によって発生される。第３の周波数成分ＲＦ３を含むソースＲＦ信号は、方向性結合器３３ａ、電圧電流センサ３３ｂ、及び整合器３３ｃを介してアンテナ１４に供給される。第３の周波数成分ＲＦ３の周波数ｆ３は、第１の周波数ｆ１及び第２の周波数ｆ２とは異なる。周波数ｆ３は、第２の周波数ｆ２と同様に、着火されたプラズマを維持するのに適した周波数である。周波数ｆ３は、第１の周波数ｆ１より高く、かつ、第２の周波数ｆ２より低くてもよい。

[0056] 一実施形態において、制御部２は、プラズマ状態モニタ３３によって監視

されたプラズマの状態から、第１の期間Ｐ１の後にプラズマが消失していると判定される場合に、チャンバ１０内でプラズマを再び着火させてもよい。制御部２は、チャンバ１０内でプラズマを再び着火させた後、第３の周波数成分ＲＦ３を含むソースＲＦ信号を供給するよう、第１のＲＦ生成部３１ａを制御してもよい。

[0057] 制御部２は、第１の期間Ｐ１の後にプラズマが消失していると判定される場合に、第２の周波数成分ＲＦ２に代えて第３の周波数成分ＲＦ３を含むソースＲＦ信号を供給するよう、第１のＲＦ生成部３１ａを制御してもよい。図７に示す例では、制御部２は、第１の期間Ｐ１の後の時点Ｔ１においてプラズマが消失していると判定している。時点Ｔ１の前の時点Ｔ１０では、ソースＲＦ信号は、第１の周波数成分ＲＦ１及び第２の周波数成分ＲＦ２を含んでいる。時点Ｔ１の後の時点Ｔ１１では、ソースＲＦ信号は、第２の周波数成分ＲＦ２に代えて第３の周波数成分ＲＦ３を含んでいる。

[0058] 時点Ｔ１１は、第１の期間Ｐ１に含まれる。制御部２は、チャンバ１０内でプラズマを着火するために、第１の期間Ｐ１においてソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルを、ソースＲＦ信号の第３の周波数成分ＲＦ３のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定してもよい。図７に示す例では、第１の期間Ｐ１における第３の周波数成分ＲＦ３のパワーレベルは、ゼロよりも大きい。制御部２は、チャンバ１０内でプラズマを再び着火させた後、着火されたプラズマを維持するために、第２の期間Ｐ２における第３の周波数成分ＲＦ３のパワーレベルを、第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定してもよい。

[0059] プラズマ処理装置１では、プラズマが消失した後に第３の周波数成分ＲＦ３を含むソースＲＦ信号が供給される。第３の周波数成分ＲＦ３は、プラズマが消失したときに比較的に大きなパワーレベルが設定されている第２の周波数成分の第２の周波数ｆ２とは異なる周波数を有する。したがって、プラズマ処理装置１は、プラズマが消失した後に、プラズマを再着火しやすい。

[0060] 以下、図８を参照して、一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理方法に

ついて説明する。図８は、一つの例示的実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ＭＴＡ」という）は、基板支持部１１上に基板が載置されている状態で行われ得る。方法ＭＴＡの各工程を行うために、プラズマ処理装置１の各部は制御部２によって制御され得る。

[0061] 方法ＭＴＡは、工程ＳＴａで開始する。工程ＳＴａでは、チャンバ１０内でプラズマを着火するために、第１の期間Ｐ１において第１のＲＦ生成部３１ａからアンテナ１４に第１の周波数成分ＲＦ１を含むソースＲＦ信号が供給される。工程ＳＴａにおいて、ソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、ソースＲＦ信号の第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルより大きい。

[0062] 一実施形態において、方法ＭＴＡは、工程ＳＴｂを含んでいてもよい。工程ＳＴｂは、工程ＳＴａの後に行われる。工程ＳＴｂでは、プラズマ状態モニタ３３によって監視されたプラズマの状態から第１の期間Ｐ１の後にプラズマが消失しているか否かが判定される。プラズマが消失していると判定される場合には、第１のＲＦ生成部３１ａからアンテナ１４に第１の周波数成分ＲＦ１を含むソースＲＦ信号が供給される。プラズマが消失していると判定される場合には、工程ＳＴａが再び行われてもよい。

[0063] 工程ＳＴｃでは、着火されたプラズマを維持するために、第２の期間Ｐ２において、第１のＲＦ生成部３１ａからアンテナ１４に第２の周波数成分ＲＦ２を有するソースＲＦ信号が供給される。上述したように、第２の期間Ｐ２において、ソースＲＦ信号の第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルは、ソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルより大きい。

[0064] 図８の例では、工程ＳＴｂは、工程ＳＴａの後、かつ、工程ＳＴｃの前に行われている。しかしながら、工程ＳＴｂは、工程ＳＴｃと並行して行われてもよい。

[0065] 以下、図９を参照して、別の例示的実施形態に係るプラズマ処理方法について説明する。図９は、別の例示的実施形態に係るプラズマ処理方法の流れ

図である。図９に示すプラズマ処理方法（以下、「方法ＭＴＢ」という）は、方法ＭＴＡに代えて行われてもよい。以下、方法ＭＴＢについて、方法ＭＴＡに対する相違点の観点から説明する。

[0066] 方法ＭＴＢは、工程ＳＴｄ及び工程ＳＴｅを含んでいる。工程ＳＴｄ及び工程ＳＴｅは、工程ＳＴｂにおいてプラズマが消失していると判定された場合に行われる。工程ＳＴｅでは、チャンバ１０内にプラズマが再び着火される。工程ＳＴｅは、工程ＳＴｄの後に行われる。工程ＳＴｅでは、第３の周波数成分ＲＦ３を含むソースＲＦ信号が供給される。

[0067] 工程ＳＴｄでは、チャンバ１０内でプラズマを着火するために、第１の周波数成分ＲＦ１を含むソースＲＦ信号が供給される。ソースＲＦ信号は、第２の周波数成分ＲＦ２に代えて第３の周波数成分ＲＦ３を含んでいてもよい。工程ＳＴｄにおいて、ソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、ソースＲＦ信号の第３の周波数成分ＲＦ３のパワーレベルより大きい。一実施形態において、工程ＳＴｄにおけるソースＲＦ信号の第３の周波数成分ＲＦ３のパワーレベルは、ゼロよりも大きくてもよい。

[0068] 工程ＳＴｅでは、再び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３の周波数成分ＲＦ３を有するソースＲＦ信号が供給される。工程ＳＴｅにおいて、ソースＲＦ信号の第３の周波数成分ＲＦ３のパワーレベルは、ソースＲＦ信号の第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルより大きくてもよい。

[0069] 一実施形態において、工程ＳＴｅにおける、第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、ゼロよりも大きくてもよい。一実施形態において、工程ＳＴｅにおける、第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、チャンバ１０内でプラズマを着火するために必要な最小のパワーレベルであってもよい。

[0070] 以上、種々の例示的実施形態について説明してきたが、上述した例示的実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て他の実施形態を形成することが可能である。

[0071] プラズマ処理装置１は、光センサを備えていてもよい。光センサは、チャンバ１０内に配置される。光センサは、プラズマ状態モニタ３３に含まれる。光センサは、チャンバ１０内での発光強度を監視する。発光強度は、プラズマの状態を表している。プラズマ状態モニタ３３は、発光強度を制御部２に通知する。制御部２は、チャンバ１０内の発光強度からプラズマの着火及びプラズマの消失を判定する。

[0072] また、第１のＲＦ生成部３１ａは、単一のＲＦ生成ユニット５０のみを含んでいてもよい。第１のＲＦ生成部３１ａは、単一のＲＦ生成ユニット５０により、第１の期間Ｐ１において第１の周波数成分ＲＦ１のみを含むソースＲＦ信号を発生してもよい。この場合に、第１の期間Ｐ１における第２の周波数成分ＲＦ２のパワーレベルは、ゼロである。第１のＲＦ生成部３１ａは、単一のＲＦ生成ユニット５０により、第２の期間Ｐ２において第２の周波数成分ＲＦ２のみを含むソースＲＦ信号を発生してもよい。この場合に、第２の期間Ｐ２における、第１の周波数成分ＲＦ１のパワーレベルは、ゼロである。

[0073] ここで、本開示に含まれる種々の例示的実施形態を、以下の［Ｅ１］～［Ｅ１６］に記載する。

[0074] ［Ｅ１］

チャンバと、

前記チャンバ内に配置された基板支持部と、

前記基板支持部の上方に配置されたアンテナと、

前記アンテナに電気的に接続されており、前記チャンバ内でプラズマを着火するための第１の周波数成分及び着火された該プラズマを維持するための第２の周波数成分のうち一方又は双方を含むＲＦ信号を発生するように構成されたＲＦ生成部であり、該第１の周波数成分は第１の周波数を有し、該第２の周波数成分は該第１の周波数とは異なる整合周波数である第２の周波数を有する、該ＲＦ生成部と、

制御部と、

を備え、

前記制御部は、前記ＲＦ生成部を制御して、

前記チャンバ内で前記プラズマを着火するために、第１の期間において前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルを、前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定し、

着火された前記プラズマを維持するために、第２の期間において前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルを、前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定する、

ように構成されている、

プラズマ処理装置。

［Ｅ２］

チャンバと、

前記チャンバ内に配置された基板支持部と、

前記チャンバ内でプラズマを着火するための第１の周波数成分及び着火された該プラズマを維持するための第２の周波数成分のうち一方又は双方を含むＲＦ信号を発生するように構成されたＲＦ生成部であり、該第１の周波数成分は第１の周波数を有し、該第２の周波数成分は該第１の周波数とは異なる整合周波数である第２の周波数を有する、該ＲＦ生成部と、

制御部と、

を備え、

前記制御部は、前記ＲＦ生成部を制御して、

前記チャンバ内で前記プラズマを着火するために、第１の期間において前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルを、前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定し、

着火された前記プラズマを維持するために、第２の期間において前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルを、前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定する、

ように構成されている、

プラズマ処理装置。

［Ｅ３］

前記第２の周波数成分は、前記第１の期間において、ゼロよりも大きいパワーレベルを有する、

Ｅ１又はＥ２に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ４］

前記第１の周波数成分は、前記第２の期間において、ゼロよりも大きいパワーレベルを有する、Ｅ１～Ｅ３の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ５］

前記第１の周波数成分は、前記第２の期間において、前記チャンバ内でプラズマを着火するために必要な最小のパワーレベルを有する、Ｅ１～Ｅ４の何れか一項の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ６］

前記第１の期間は、

第１の副期間と、

前記第１の副期間の後の第２の副期間と、を含み、

前記制御部は、前記ＲＦ生成部を制御して、前記第２の副期間における前記第２の周波数成分のパワーレベルを前記第１の副期間における前記第２の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定するように構成されている、

Ｅ１～Ｅ５の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ７］

前記第２の周波数成分は、前記第１の副期間において、ゼロよりも大きいパワーレベルを有する、Ｅ１～Ｅ６の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ８］

前記第２の周波数成分は、前記第１の副期間において、ゼロパワーレベルを有する、Ｅ１～Ｅ６の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ９］

前記第１の周波数と前記第２の周波数との間の差は、前記第１の周波数の５％以内であるＥ１～Ｅ８の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ１０］

前記第１の周波数と前記第２の周波数との間の差は、１ＭＨｚ以内である、Ｅ１～Ｅ９の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ１１］

前記制御部は、前記ＲＦ生成部を制御して、

前記第１の期間と前記第２の期間との間の期間における前記第１の周波数成分のパワーレベルを、ゼロよりも大きく、記第１の期間における前記第１の周波数成分のパワーレベルより小さいパワーレベルに設定し、

前記第１の期間と前記第２の期間の間の期間における前記第２の周波数成分のパワーレベルを、ゼロよりも大きく、前記第２の期間における前記第２の周波数成分のパワーレベルより小さいパワーレベルに設定する、

Ｅ１～Ｅ１０の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ１２］

前記チャンバ内で生成されている前記プラズマの状態を監視するように構成されたプラズマ状態モニタを更に備え、

前記制御部は、前記プラズマ状態モニタによって監視された前記プラズマの前記状態から前記第１の期間の後に前記プラズマが消失していると判定される場合に、前記チャンバ内でプラズマを再び着火するために前記ＲＦ生成部を制御して前記第１の周波数成分を含む前記ＲＦ信号を供給するよう構成されている、

Ｅ１～Ｅ１１の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ１３］

前記制御部は、前記プラズマ状態モニタによって監視された前記プラズマの前記状態から前記第１の期間の後に前記プラズマが消失していると判定される場合に、前記チャンバ内でプラズマを再び着火させた後、前記ＲＦ生成

部を制御して第３の周波数成分を含む前記ＲＦ信号を供給するように構成されており、

前記第３の周波数成分の周波数は、前記第１の周波数及び前記第２の周波数と異なる、

Ｅ１２に記載のプラズマ処理装置。

［Ｅ１４］

（ａ）プラズマ処理装置のチャンバ内でプラズマを着火するために、第１の期間においてＲＦ生成部から前記チャンバの上方に設けられたアンテナに第１の周波数成分を含むＲＦ信号を供給する工程と、

（ｂ）着火された前記プラズマを維持するために、第２の期間において、前記ＲＦ生成部から前記アンテナに第２の周波数成分を有するＲＦ信号を供給する工程と、

を含み、

前記第１の周波数成分は第１の周波数を有し、前記第２の周波数成分は該第１の周波数とは異なる整合周波数である第２の周波数を有し、

前記（ａ）において、前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルは、前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルより大きく、

前記（ｂ）において、前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルは、前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルより大きい、

プラズマ処理方法。

［Ｅ１５］

（ｃ）プラズマ状態モニタによって監視された前記プラズマの状態から前記第１の期間の後に前記プラズマが消失していると判定される場合に、前記チャンバ内でプラズマを再び着火するために、前記第１の周波数成分を含む前記ＲＦ信号を供給する工程を更に含む、Ｅ１４に記載のプラズマ処理方法。

［Ｅ１６］

（ｃ）プラズマ状態モニタによって監視された前記プラズマの状態から前記第１の期間の後に前記プラズマが消失していると判定される場合に、前記チ

ャンバ内でプラズマを再び着火させた後、第３の周波数成分を含む前記ＲＦ信号を供給する工程を更に含み、

前記第３の周波数成分の周波数は、前記第１の周波数及び前記第２の周波数と異なる、

Ｅ１５に記載のプラズマ処理方法。

[0075] 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

[0076] １…プラズマ処理装置、２…制御部、１０…チャンバ、１１…基板支持部、１４…アンテナ、３１ａ…第１のＲＦ生成部（ＲＦ生成部）、３３…プラズマ状態モニタ、ＲＦ１…第１の周波数成分、ＲＦ２…第２の周波数成分、ＲＦ３…第３の周波数成分、ｆ１…第１の周波数、ｆ２…第２の周波数、ｆ３…第３の周波数、Ｐ１…第１の期間、Ｐ２…第２の期間、ＳＰ１…第１の副期間、ＳＰ２…第２の副期間。

請求の範囲

[請求項1] チャンバと、

前記チャンバ内に配置された基板支持部と、

前記基板支持部の上方に配置されたアンテナと、

前記アンテナに電気的に接続されており、前記チャンバ内でプラズマを着火するための第１の周波数成分及び着火された該プラズマを維持するための第２の周波数成分のうち一方又は双方を含むＲＦ信号を発生するように構成されたＲＦ生成部であり、該第１の周波数成分は第１の周波数を有し、該第２の周波数成分は該第１の周波数とは異なる整合周波数である第２の周波数を有する、該ＲＦ生成部と、

制御部と、

を備え、

前記制御部は、前記ＲＦ生成部を制御して、

前記チャンバ内で前記プラズマを着火するために、第１の期間において前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルを、前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定し、

着火された前記プラズマを維持するために、第２の期間において前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルを、前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定する、

ように構成されている、

プラズマ処理装置。

[請求項2] チャンバと、

前記チャンバ内に配置された基板支持部と、

前記チャンバ内でプラズマを着火するための第１の周波数成分及び着火された該プラズマを維持するための第２の周波数成分のうち一方又は双方を含むＲＦ信号を発生するように構成されたＲＦ生成部であ

り、該第１の周波数成分は第１の周波数を有し、該第２の周波数成分は該第１の周波数とは異なる整合周波数である第２の周波数を有する、該ＲＦ生成部と、

制御部と、

を備え、

前記制御部は、前記ＲＦ生成部を制御して、

前記チャンバ内で前記プラズマを着火するために、第１の期間において前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルを、前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定し、

着火された前記プラズマを維持するために、第２の期間において前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルを、前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定する、

ように構成されている、

プラズマ処理装置。

[請求項3] 前記第２の周波数成分は、前記第１の期間において、ゼロよりも大きいパワーレベルを有する、

請求項１又は２に記載のプラズマ処理装置。

[請求項4] 前記第１の周波数成分は、前記第２の期間において、ゼロよりも大きいパワーレベルを有する、

請求項１又は２に記載のプラズマ処理装置。

[請求項5] 前記第１の周波数成分は、前記第２の期間において、前記チャンバ内でプラズマを着火するために必要な最小のパワーレベルを有する、

請求項１又は２に記載のプラズマ処理装置。

[請求項6] 前記第１の期間は、

第１の副期間と、

前記第１の副期間の後の第２の副期間と、を含み、

前記制御部は、前記ＲＦ生成部を制御して、前記第２の副期間における前記第２の周波数成分のパワーレベルを前記第１の副期間における前記第２の周波数成分のパワーレベルよりも大きいパワーレベルに設定するように構成されている、

請求項５に記載のプラズマ処理装置。

[請求項7] 前記第２の周波数成分は、前記第１の副期間において、ゼロよりも大きいパワーレベルを有する、

請求項６に記載のプラズマ処理装置。

[請求項8] 前記第２の周波数成分は、前記第１の副期間において、ゼロパワーレベルを有する、

請求項６に記載のプラズマ処理装置。

[請求項9] 前記第１の周波数と前記第２の周波数との間の差は、前記第１の周波数の５％以内である、

請求項１又は２に記載のプラズマ処理装置。

[請求項10] 前記第１の周波数と前記第２の周波数との間の差は、１ＭＨｚ以内である、

請求項１又は２に記載のプラズマ処理装置。

[請求項11] 前記制御部は、前記ＲＦ生成部を制御して、

前記第１の期間と前記第２の期間との間の期間における前記第１の周波数成分のパワーレベルを、ゼロよりも大きく、記第１の期間における前記第１の周波数成分のパワーレベルより小さいパワーレベルに設定し、

前記第１の期間と前記第２の期間の間の期間における前記第２の周波数成分のパワーレベルを、ゼロよりも大きく、前記第２の期間における前記第２の周波数成分のパワーレベルより小さいパワーレベルに設定する、

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12] 前記チャンバ内で生成されている前記プラズマの状態を監視するよ

うに構成されたプラズマ状態モニタを更に備え、

前記制御部は、前記プラズマ状態モニタによって監視された前記プラズマの前記状態から前記第１の期間の後に前記プラズマが消失していると判定される場合に、前記チャンバ内でプラズマを再び着火するために前記ＲＦ生成部を制御して前記第１の周波数成分を含む前記ＲＦ信号を供給するよう構成されている、

請求項１又は２に記載のプラズマ処理装置。

[請求項13] 前記制御部は、前記プラズマ状態モニタによって監視された前記プラズマの前記状態から前記第１の期間の後に前記プラズマが消失していると判定される場合に、前記チャンバ内でプラズマを再び着火させた後、前記ＲＦ生成部を制御して第３の周波数成分を含む前記ＲＦ信号を供給するように構成されており、

前記第３の周波数成分の周波数は、前記第１の周波数及び前記第２の周波数と異なる、

請求項１２に記載のプラズマ処理装置。

[請求項14] （ａ）プラズマ処理装置のチャンバ内でプラズマを着火するために、第１の期間においてＲＦ生成部から前記チャンバの上方に設けられたアンテナに第１の周波数成分を含むＲＦ信号を供給する工程と、

（ｂ）着火された前記プラズマを維持するために、第２の期間において、前記ＲＦ生成部から前記アンテナに第２の周波数成分を有するＲＦ信号を供給する工程と、

を含み、

前記第１の周波数成分は第１の周波数を有し、前記第２の周波数成分は該第１の周波数とは異なる整合周波数である第２の周波数を有し、

前記（ａ）において、前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルは、前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルより大きく、

前記（ｂ）において、前記ＲＦ信号の前記第２の周波数成分のパワーレベルは、前記ＲＦ信号の前記第１の周波数成分のパワーレベルより大きい、

プラズマ処理方法。

[請求項15] （ｃ）プラズマ状態モニタによって監視された前記プラズマの状態から前記第１の期間の後に前記プラズマが消失していると判定される場合に、前記チャンバ内でプラズマを再び着火するために、前記第１の周波数成分を含む前記ＲＦ信号を供給する工程を更に含む、

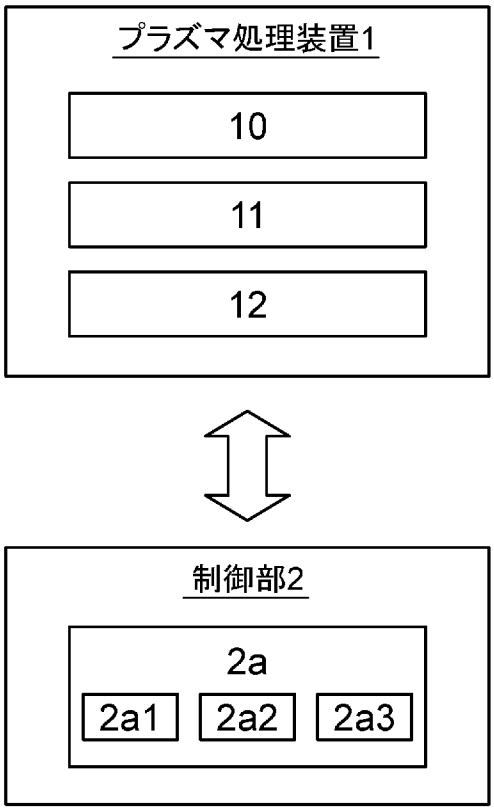
請求項１４に記載のプラズマ処理方法。

[請求項16] （ｃ）プラズマ状態モニタによって監視された前記プラズマの状態から前記第１の期間の後に前記プラズマが消失していると判定される場合に、前記チャンバ内でプラズマを再び着火させた後、第３の周波数成分を含む前記ＲＦ信号を供給する工程を更に含み、

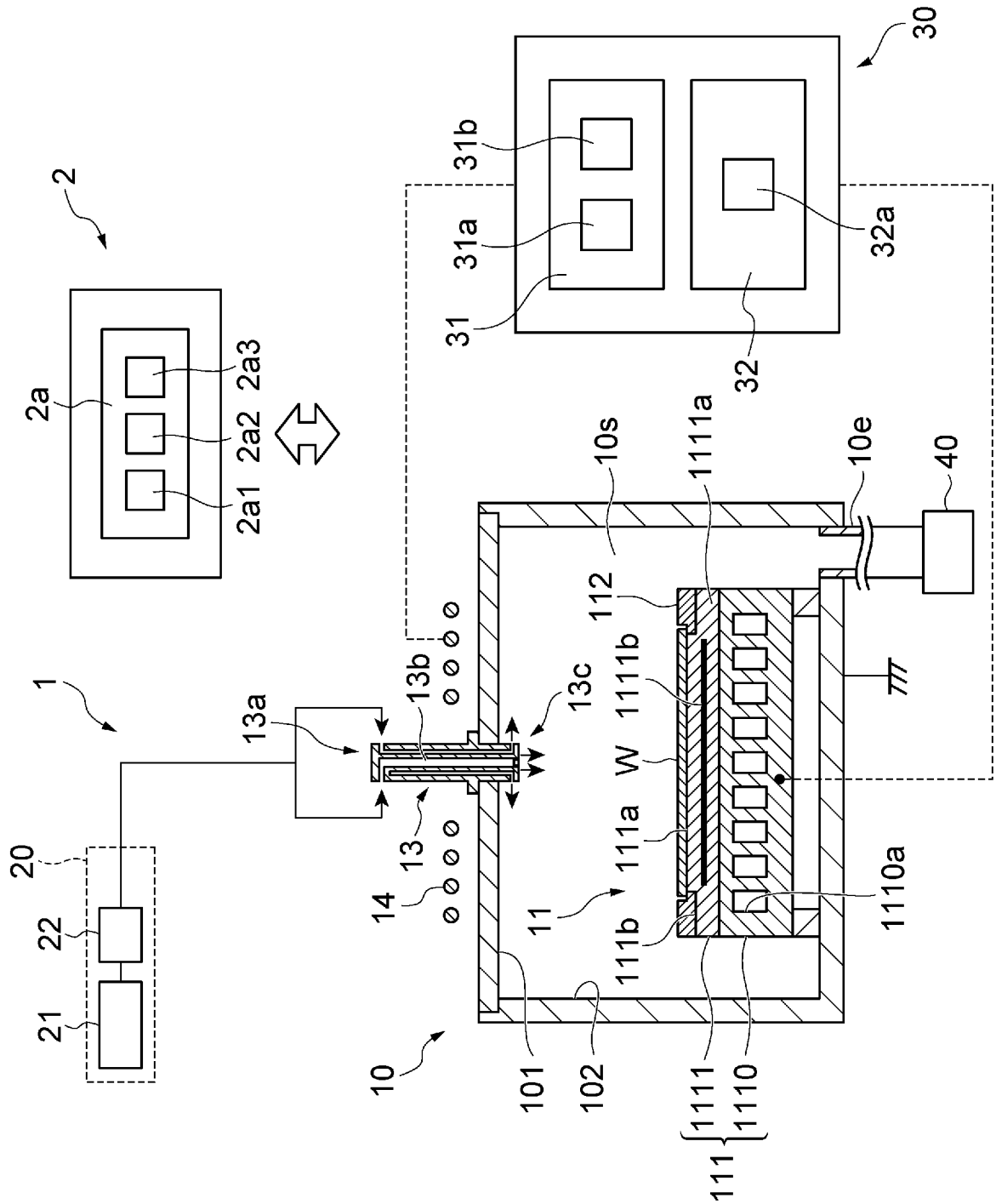
前記第３の周波数成分の周波数は、前記第１の周波数及び前記第２の周波数と異なる、

請求項１５に記載のプラズマ処理方法。

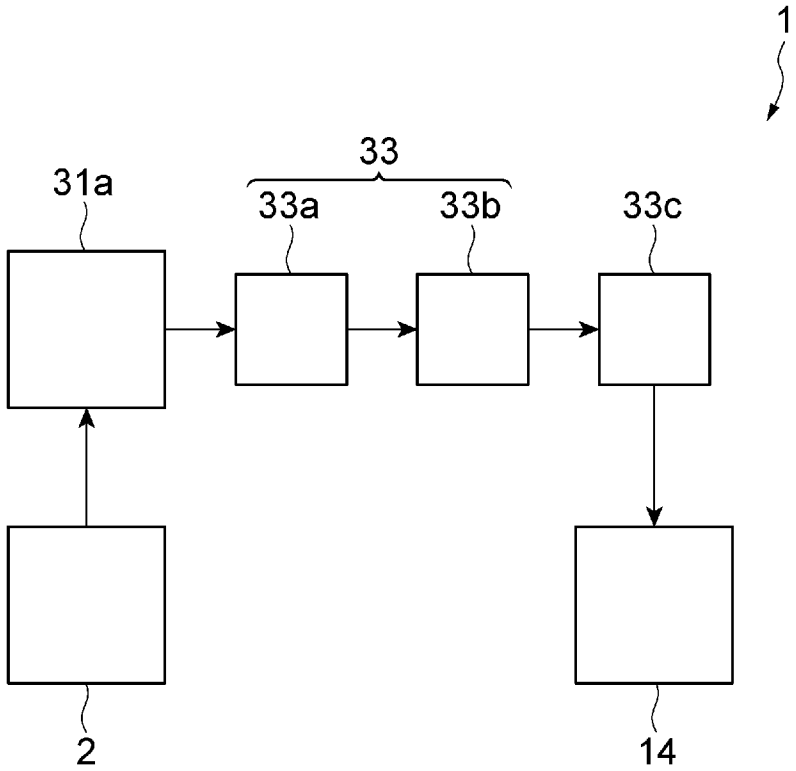
[図1]



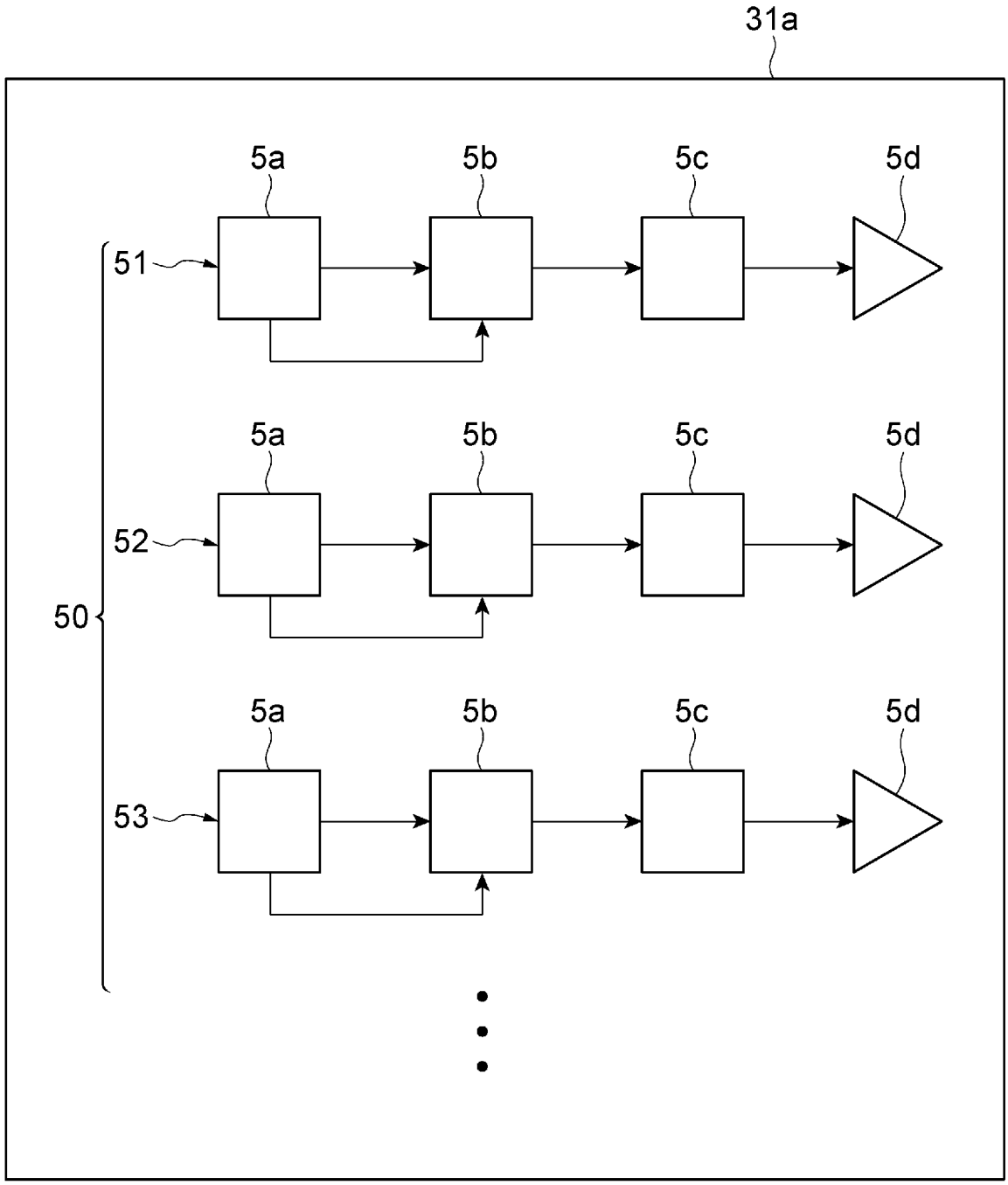
[図2]


30
31b
31a
31
32
32a
2
2a
2a3
2a2
2a1
1
13a
13b
13c
13
14
20
22
21
10
101
102
10s
1111a
10e
40
112
1111b
W
111a
11
111b
1110a
1111
1110
111

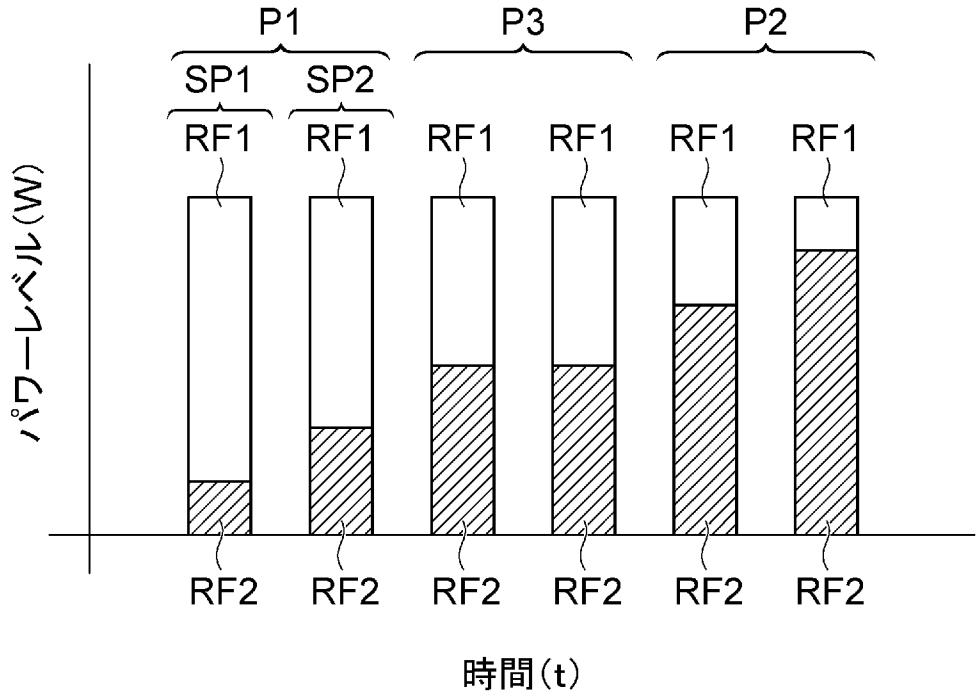
[図3]



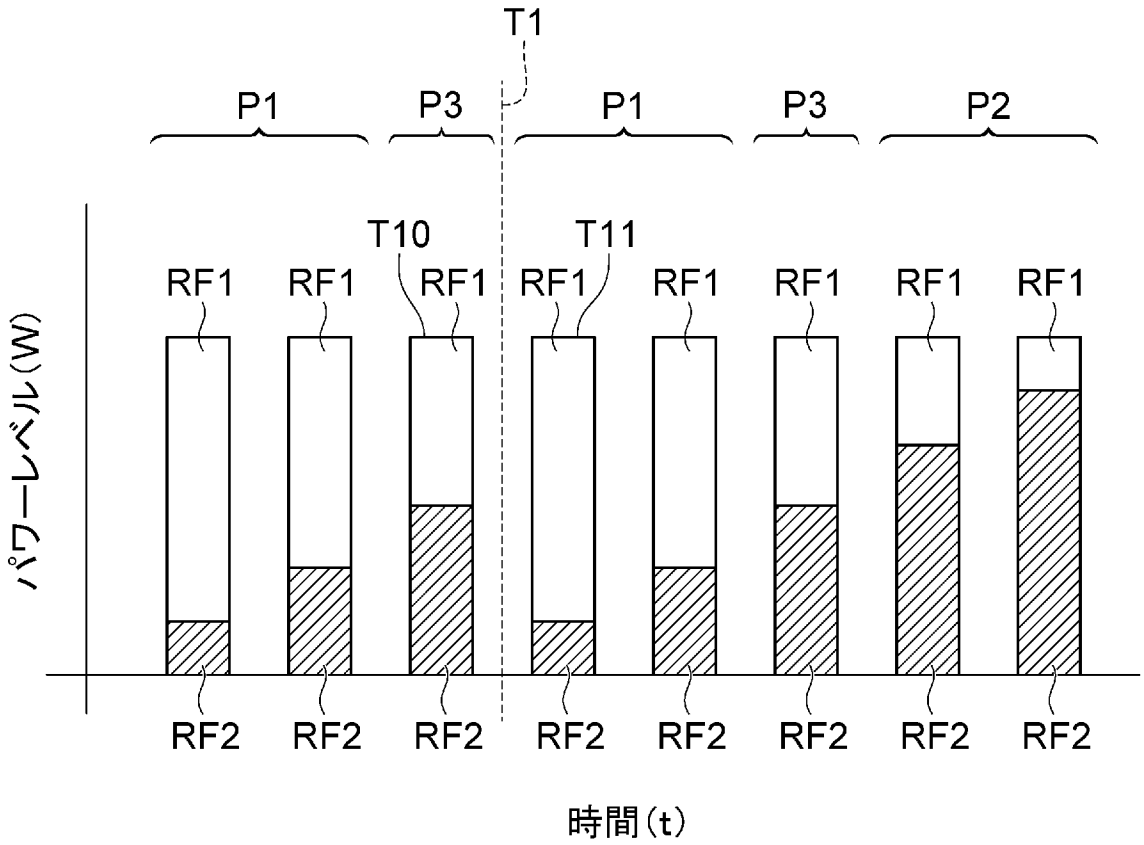
[図4]



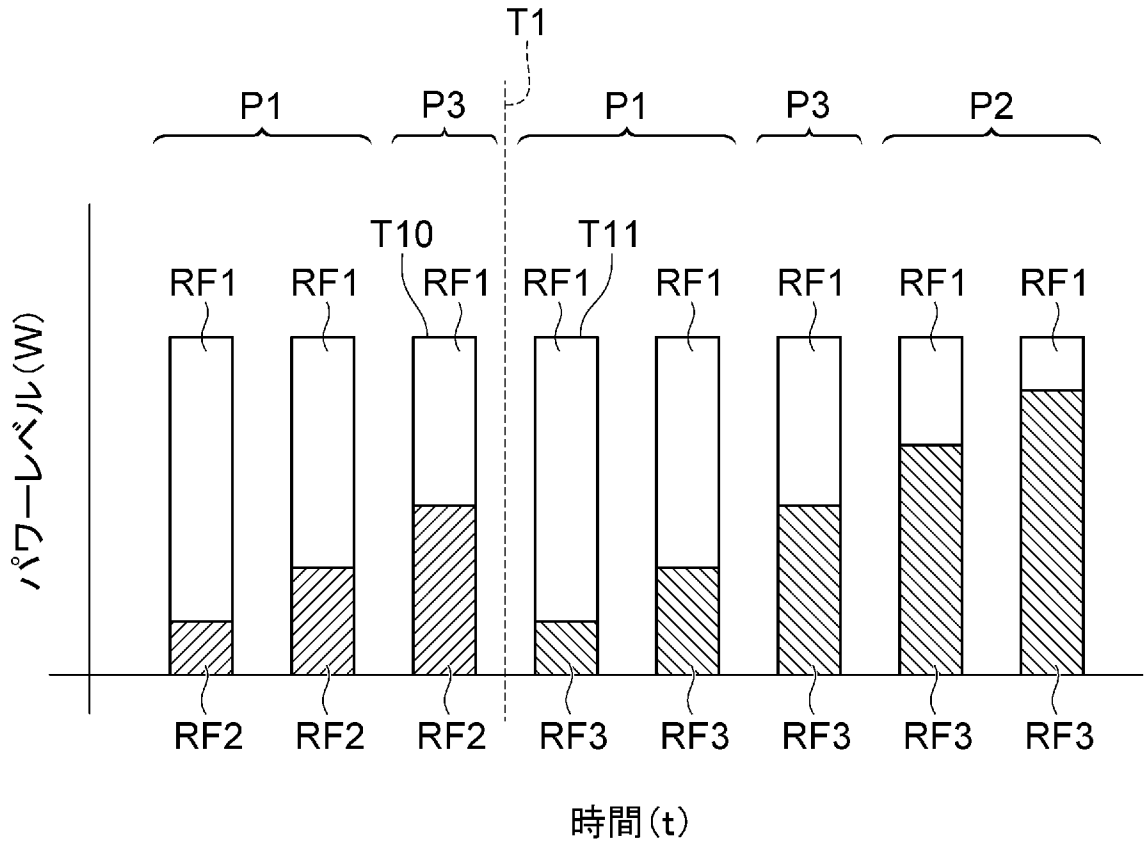
[図5]


P1
P3
P2
SP1
SP2
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
パワーレベル(W)
RF2
RF2
RF2
RF2
RF2
RF2
時間(t)

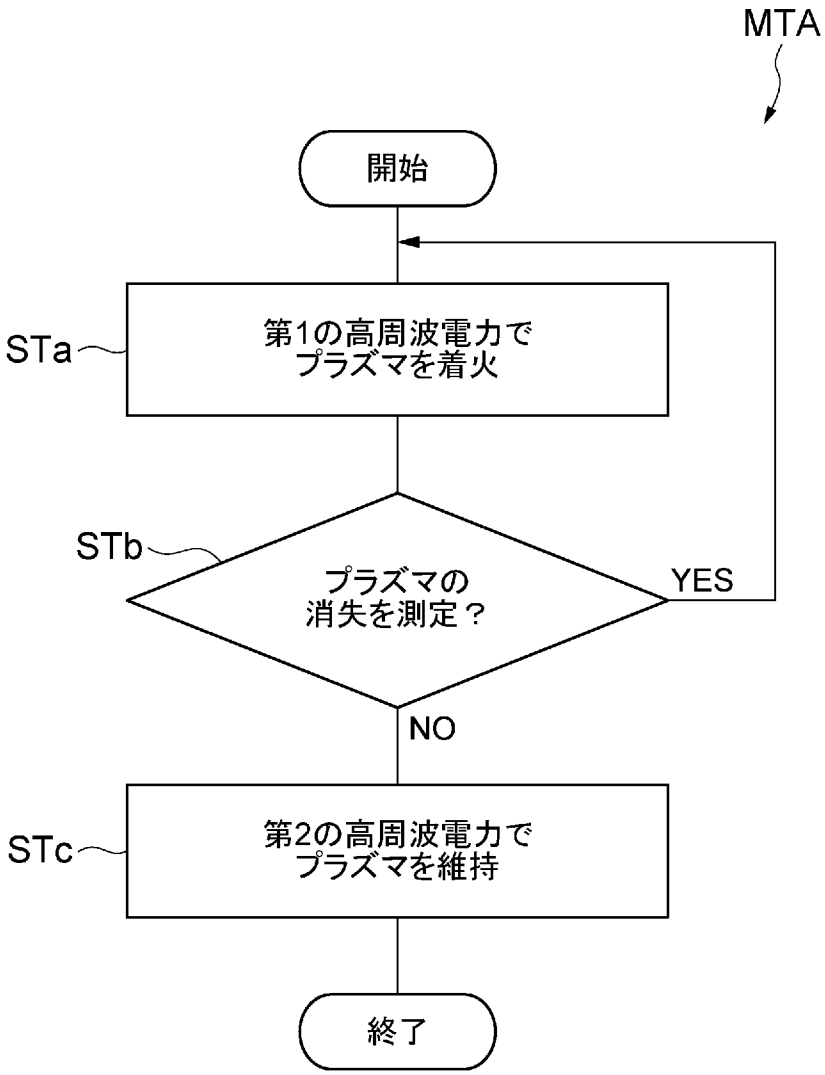
[図6]


T1
P1
P3
P1
P3
P2
T10
T11
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
RF2
RF2
RF2
RF2
RF2
RF2
RF2
RF2
パワーレベル(W)
時間(t)

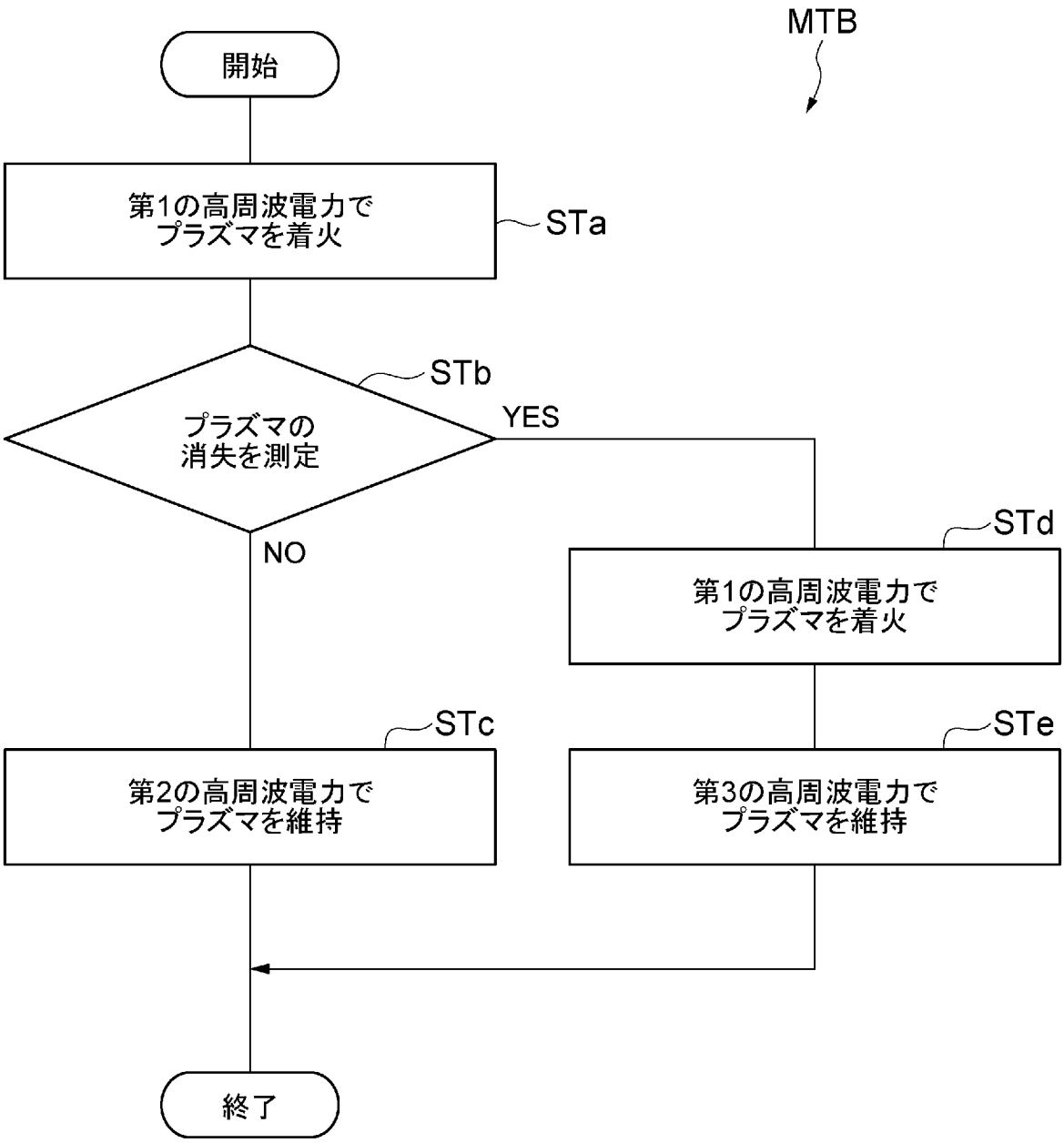
[図7]


T1
P1
P3
P1
P3
P2
T10
T11
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
RF1
パワーレベル(W)
RF2
RF2
RF2
RF3
RF3
RF3
RF3
RF3
時間(t)

[図8]


MTA
開始
STa
第1の高周波電力で
プラズマを着火
STb
プラズマの
消失を測定？
YES
NO
STc
第2の高周波電力で
プラズマを維持
終了

[図9]


MTB
開始
第1の高周波電力で
プラズマを着火
STa
STb
プラズマの
消失を測定
YES
NO
STd
第1の高周波電力で
プラズマを着火
STc
第2の高周波電力で
プラズマを維持
STe
第3の高周波電力で
プラズマを維持
終了

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/000187

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H 1/46(2006.01)i
FI: H05H1/46 R; H05H1/46 L; H05H1/46 A

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01J37/32; H05H1/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2016-528667 A (APPLIED MATERIALS, INCORPORATED) 15 September 2016 (2016-09-15) paragraph [0008]	1-16
X	WO 2005/031839 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED) 07 April 2005 (2005-04-07) fig. 1, paragraph [0082]	1-16
X	JP 10-64696 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 06 March 1998 (1998-03-06) fig. 4	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 February 2024	**27 February 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/000187

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2016-528667 A	15 September 2016	US 2014/0367043 A1 paragraph [0008] TW 201505067 A CN 105247967 A	
WO 2005/031839 A1	07 April 2005	US 2005/0069651 A1 fig. 1, paragraph [0035] CN 1860594 A	
JP 10-64696 A	06 March 1998	US 5997687 A fig. 4 KR 10-1998-0018889 A TW 355812 B	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/000187

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H05H 1/46(2006.01)i
FI: H05H1/46 R; H05H1/46 L; H05H1/46 A

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01J37/32; H05H1/46

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2016-528667 A (アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド) 15.09.2016 (2016-09-15) 段落0008	1-16
X	WO 2005/031839 A1 (東京エレクトロン株式会社) 07.04.2005 (2005-04-07) 図1; 段落0082	1-16
X	JP 10-64696 A (東京エレクトロン株式会社) 06.03.1998 (1998-03-06) 図4	1-16

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

*　引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
16.02.2024	27.02.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

右▲高▼　孝幸 2G 9808

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/000187

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2016-528667 A	15.09.2016	US 2014/0367043 A1 段落0008 TW 201505067 A CN 105247967 A	
WO 2005/031839 A1	07.04.2005	US 2005/0069651 A1 図1; 段落0035 CN 1860594 A	
JP 10-64696 A	06.03.1998	US 5997687 A 図4 KR 10-1998-0018889 A TW 355812 B	