(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2016-152252
(P2016-152252A)
(43)公開日　平成28年8月22日(2016.8.22)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01L 21/3065	***(2006.01)***	H01L	21/302	101G	5F004
H01L 21/683	***(2006.01)***	H01L	21/68	R	5F131
H05H 1/46	***(2006.01)***	H05H	1/46	A	
		H05H	1/46	R	
		H05H	1/46	M	

審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 29 頁）

(21)出願番号　特願2015-27433(P2015-27433)
(22)出願日　平成27年2月16日(2015.2.16)

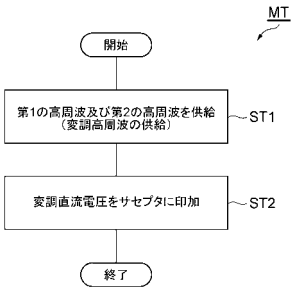
(71)出願人　000219967
東京エレクトロン株式会社
東京都港区赤坂五丁目３番１号
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川　芳樹
(74)代理人　100113435
弁理士　黒木　義樹
(74)代理人　100122507
弁理士　柏岡　潤二
(72)発明者　永海　幸一
東京都港区赤坂五丁目３番１号　赤坂Ｂｉｚタワー　東京エレクトロン株式会社内

Ｆターム(参考)　5F004 BA09 BB11 BB22 BB23 BB25 BB28 CA06 CA08

最終頁に続く

(54)【発明の名称】プラズマ処理装置のサセプタの電位を制御する方法

(57)【要約】
【課題】基板とサセプタとの間の空間を介した異常放電を抑制する。
【解決手段】
一実施形態に係る方法では、第１の高周波電源及び第２の高周波電源の少なくとも一方からパルス変調された変調高周波がサセプタに供給される。また、電圧印加部から、変調高周波に同期してパルス変調された変調直流電圧がサセプタに印加される。変調直流電圧の電圧値は、静電チャック上に載置された基板の電位とサセプタの電位との差を減少させるように設定されている。
【選択図】図４



【特許請求の範囲】
【請求項１】
プラズマ処理装置のサセプタの電位を制御する方法であって、
該プラズマ処理装置は、
処理容器と、
導体から構成され、前記処理容器内に設けられたサセプタと、
前記サセプタ上に設けられた静電チャックと、
イオン引き込みのための第１の高周波を発生する第１の高周波電源と、
プラズマ生成用の第２の高周波を発生する第２の高周波電源と、
前記静電チャックの電極に正極性の直流電圧を印加するための直流電源と、
前記サセプタに電圧を印加するための電圧印加部と、
を備え、
前記第１の高周波電源及び前記第２の高周波電源の少なくとも一方からパルス変調された変調高周波を前記サセプタに供給する工程と、
前記電圧印加部から、前記変調高周波に同期してパルス変調された変調直流電圧であり、前記静電チャック上に載置された基板の電位と前記サセプタの電位との差を減少させるように電圧値が設定された該変調直流電圧を前記サセプタに印加する工程と、
を含む方法。
【請求項２】
前記電圧印加部は、前記変調高周波に同期したパルス信号であって、前記変調高周波が第１のパワーを有する第１の期間において第１の信号レベルを有し、前記変調高周波が第１のパワーよりも小さい第２のパワーを有する第２の期間において第２の信号レベルを有する該パルス信号を、前記第１の高周波電源及び前記第２の高周波電源の前記少なくとも一方から受け、該パルス信号に同期して変調された前記変調直流電圧を前記サセプタに印加する、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記変調高周波を前記サセプタに供給する前記工程では、前記第１の高周波がパルス変調されることにより、該変調高周波が前記サセプタに供給され、
前記変調直流電圧を前記サセプタに印加する前記工程において、前記電圧印加部は、前記第１の期間において前記サセプタに直流電圧を印加し、前記第２の期間において前記サセプタに直流電圧を印加しない、
請求項２に記載の方法。
【請求項４】
前記電圧印加部は、前記変調高周波が前記サセプタに供給される伝送路上での電圧振幅が大きいほど絶対値が大きくなる電圧値を有する直流電圧を、前記第１の期間において前記サセプタに印加する、請求項３に記載の方法。
【請求項５】
前記電圧印加部は、前記第１の高周波のパワー、前記第２の高周波のパワー、及び前記変調高周波の変調周波数にデータテーブル中で対応付けられている電圧値を有する直流電圧を前記第１の期間において前記サセプタに印加する、請求項３に記載の方法。
【請求項６】
前記電圧印加部は、前記基板の自己バイアス電位の測定値に応じた直流電圧を前記第１の期間において前記サセプタに印加する、請求項３に記載の方法。
【請求項７】
前記変調高周波を前記サセプタに供給する前記工程では、前記第２の高周波がパルス変調されることにより、該変調高周波が前記サセプタに供給され、
前記変調直流電圧を前記サセプタに印加する前記工程において、前記電圧印加部は、前記第１の期間において前記サセプタに第１の電圧値を有する第１の直流電圧を印加し、前記第２の期間において前記第１の電圧値の絶対値よりも大きい絶対値を有する第２の電圧値を有する第２の直流電圧を前記サセプタに印加する、

請求項２に記載の方法。
【請求項８】
前記電圧印加部は、前記第１の期間及び前記第２の期間の各々において、前記変調高周波が前記サセプタに供給される伝送路上での電圧振幅が大きいほど絶対値が大きくなる電圧値を有する直流電圧を、前記サセプタに印加する、請求項７に記載の方法。
【請求項９】
前記電圧印加部は、前記第１の期間及び前記第２の期間の各々において、前記第１の高周波のパワー、前記第２の高周波のパワー、及び前記変調高周波の変調周波数にデータテーブル中で対応付けられている電圧値を有する直流電圧を前記サセプタに印加する、請求項７に記載の方法。
【請求項１０】
前記電圧印加部は、前記第１の期間及び前記第２の期間の各々において、前記基板の自己バイアス電位の測定値に応じた直流電圧を前記サセプタに印加する、請求項７に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明の実施形態は、プラズマ処理装置のサセプタの電位を制御する方法に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
半導体デバイスといった種々の電子デバイスの製造においては、基板に対するプラズマ処理によって、ドライエッチング、酸化、成膜といった種々のプラズマ処理が施される。このようなプラズマ処理では、処理ガスのプラズマを生成するプラズマ処理装置が用いられる。
【０００３】
プラズマ処理装置は、典型的に、処理容器、サセプタ、静電チャック、第１及び第２の高周波電源、及びガス供給部を備えている。処理容器は、真空排気可能な内部空間を提供している。ガス供給部は、処理容器内の空間に処理ガスを供給する。サセプタ及び静電チャックは、処理容器内に設けられている。
【０００４】
静電チャックは、サセプタ上に設けられている。静電チャックは、その上に載置された基板を吸着して保持するよう構成されている。具体的に、静電チャックは、誘電体膜中に電極を有している。この電極に正極性の直流電圧が印加されることによって発生する静電力によって、基板は静電チャックに保持される。
【０００５】
また、サセプタ及び静電チャックには、リフトピンを昇降移動させるための貫通孔が形成されている。リフトピンは、その先端が静電チャックの上方に突き出た状態で、当該リフトピンの先端に処理前の基板を支持する。しかる後に、リフトピンが下降することにより基板が静電チャック上に載置される。また、基板のプラズマ処理後には、リフトピンが上昇することにより、基板が静電チャックから引き離される。
【０００６】
また、サセプタの内部には、プラズマ処理の実行中の基板の温度を制御するために、冷媒用の第１流路が設けられている。また、静電チャックには、基板を加熱するためのヒータ素子等が設けられている。さらに、サセプタの温度を基板に効率よく伝達するために、サセプタ及び静電チャックには、伝熱用のバックサイドガス（一般にＨｅガス）を基板の裏面と静電チャックの上面との間に供給するための第２流路が形成されている。
【０００７】
また、一般的に、サセプタは、高周波電極、即ち下部電極を兼ねている。プラズマ処理の実行中には、第１の高周波電源及び第２の高周波電源から整合器を介して高周波（Ｈｉ

ｇｈ　Ｆｒｅｑｕｅｎｃｙ　Ｗａｖｅ）がサセプタに供給される。なお、第１の高周波電源は、プラズマ生成用の第１の高周波を発生し、第２の高周波電源は、イオン引き込み用の第２の高周波を発生する。プラズマ処理の実行中には、基板が静電チャックに吸着された状態で、ガス供給部からの処理ガスが処理容器内に供給され、第１及び第２の高周波電源からの高周波がサセプタに供給されることにより、処理ガスのプラズマが生成される。

【０００８】

ところで、上記のプラズマ処理装置では、静電チャック内の電極に正極性で高圧の直流電圧を印加すると、基板とサセプタとの間で異常放電が発生し、基板がダメージを受ける現象が発生することがある。ここで、図１を参照して、かかる現象を具体的に説明する。図１に示すように、一般的には、静電チャックＥＳＣは、サセプタＬＥ上に接着剤ＡＨを介して設けられている。基板Ｗは、静電チャックＥＳＣ上に載置され、また、当該基板Ｗ及び静電チャックＥＳＣの周囲には、フォーカスリングＦＲが配置される。

【０００９】

基板Ｗは、静電チャックＥＳＣの電極ＣＥに直流電源ＤＣＰから正極性の直流電圧が与えられることによって発生する静電力により、静電チャックＥＳＣに吸着される。図１に示す状態では、静電チャックＥＳＣは、図１において静電チャックＥＳＣに重畳して描かれた「＋」で示すように、正極性の高い電位、例えば、１０００Ｖ以上の電位を有する。また、サセプタＬＥは、接地された処理容器に対して電気的にフローティング状態にあり、サセプタＬＥと処理容器との間には、容量（図中、参照符号ＣＡで示す）が存在するものと見なすことができる。また、サセプタＬＥと静電チャックＥＳＣの電極ＣＥとの間にも容量（図中、参照符号ＣＢで示す）が存在するものと見なすことができる。したがって、サセプタＬＥは、図１においてサセプタＬＥに重畳して描かれた「＋」で示すように、静電チャックＥＳＣと同極性の電位、即ち正極性の電位を有する。そして、プラズマの生成のために、第１及び第２の高周波電源からの高周波がサセプタに与えられると、基板Ｗはプラズマに晒され、当該基板Ｗの電位は、図１において、基板Ｗに重畳して描かれた「－」で示すように、自己バイアスに等しい負極性の電位（例えば、－５００Ｖ）以下に下がる。その結果、基板Ｗとサセプタ ＬＥとの間には、大きな電位差が生じることになる。

【００１０】

また、上述したように、サセプタＬＥ及び静電チャックＥＳＣには、バックサイドガス用の第２流路、リフタピン用の貫通孔といった空間ＤＳが形成されている。この空間ＤＳ内にはガスが存在し得るので、上述した電位差により基板Ｗとサセプタ ＬＥとの間で異常放電（図中の矢印Ａを参照）が発生し得る。

【００１１】

このような異常放電を抑制するために、特許文献１には、基板と略同電位のフォーカスリングとサセプタとの間に電流制限素子を設けて、当該電流制限素子を介してサセプタとフォかスリングとの間で電荷を移動させ、サセプタの電位と基板の電位とを近づける技術が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【００１２】

【特許文献１】特開２０１１－２１０９５８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１３】

上記のようにサセプタとフォーカスリングとを電流制限素子によって電気的に接続するプラズマ処理装置においては、フォーカスリングが消耗性の交換部品であるので、現実的には、電流制限素子をフォーカスリングに溶接やハンダ付け等で接合することはできず、バネ加圧等の接触式によって電気的接続を得る構成を採らざるを得ない。しかし、接触式では、フォーカスリングと電流制限素子との間で良好な電気伝導を得るのが難しく、接触界面で大きな電位差が発生しやすい。このため、電流制限素子に本来の機能を発揮させる

のが困難である。そこで、本願発明者は、サセプタに直接的に電圧を印加することにより、サセプタの電位と基板の電位との差を低減し、異常放電の発生を抑制する技術の開発を行っている。

【００１４】

ところで、プラズマ処理では、パルス変調された高周波をサセプタに供給することがある。即ち、サセプタに供給すべき高周波を交互にＯＮ／ＯＦＦさせることがある。このようにパルス変調された高周波がサセプタに供給されると、基板の電位が変動する。したがって、パルス変調された高周波が用いられる場合であっても、サセプタに直接的に電圧を印加することにより、サセプタの電位と基板の電位との差を低減し、異常放電の発生を抑制することが必要である。

【課題を解決するための手段】

【００１５】

一態様においては、プラズマ処理装置のサセプタの電位を制御する方法が提供される。この方法で使用されるプラズマ処理装置は、処理容器、サセプタ、静電チャック、第１の高周波電源、第２の高周波電源、及び電圧印加部を備えている。サセプタは、導体から構成され、処理容器内に設けられている。静電チャックは、サセプタ上に設けられている。第１の高周波電源は、イオン引き込みのための第１の高周波を発生する。第２の高周波電源は、プラズマ生成用の第２の高周波を発生する。直流電源は、静電チャックの電極に正極性の直流電圧を印加する。電圧印加部は、サセプタに電圧を印加する。本方法は、（ａ）第１の高周波電源及び第２の高周波電源の少なくとも一方からパルス変調された変調高周波をサセプタに供給する工程（以下、「変調高周波供給工程」という）と、（ｂ）電圧印加部から、変調高周波に同期してパルス変調された変調直流電圧であり、静電チャック上に載置された基板の電位とサセプタの電位との差を減少させるように電圧値が設定された該変調直流電圧をサセプタに印加する工程「以下、変調直流電圧印加工程」という）と、を含む。

【００１６】

一態様に係る方法では、パルス変調された高周波、即ち変調高周波に同期して変調されており、且つ、基板の電位とサセプタの電位との差を減少させる電圧値を有する直流電圧、即ち、変調直流電圧がサセプタに印加される。したがって、第１の高周波及び第２の高周波のうち少なくとも一方に変調高周波が用いられる場合であっても、サセプタの電位と基板の電位との差を低減し、異常放電の発生を抑制することが可能となる。

【００１７】

一実施形態では、電圧印加部は、変調高周波に同期したパルス信号を第１の高周波電源又は第２の高周波電源から受ける。このパルス信号は、変調高周波が第１のパワーを有する第１の期間において第１の信号レベルを有し、変調高周波が第１のパワーよりも小さい第２のパワーを有する第２の期間において第２の信号レベルを有する該パルス信号である。電圧印加部は、当該パルス信号に同期して変調された変調直流電圧をサセプタに印加する。

【００１８】

一実施形態では、変調高周波供給工程において、第１の高周波がパルス変調されることにより、該変調高周波が前記サセプタに供給される。この実施形態の変調直流電圧印加工程において、電圧印加部は、第１の期間においてサセプタに直流電圧を印加し、第２の期間において前記サセプタに直流電圧を印加しない。即ち、この実施形態では、第１の高周波のパルス変調に同期した直流電圧のＯＮ／ＯＦＦ制御によって変調高周波電圧が生成され、当該変調高周波電圧がサセプタに印加される。

【００１９】

一実施形態では、電圧印加部は、変調高周波がサセプタに供給される伝送路上での電圧振幅が大きいほど絶対値が大きくなる電圧値を有する直流電圧を、第１の期間においてサセプタに印加し得る。上記伝送路上での電圧振幅は、自己バイアスによる基板の電位の絶対値が大きいほど大きくなる。この実施形態では、基板とサセプタとの電位差を抑制し得

る変調直流電圧の電圧値が、かかる電圧振幅に基づいて決定される。

【００２０】

一実施形態では、電圧印加部は、第１の高周波のパワー、第２の高周波のパワー、及び変調高周波の変調周波数にデータテーブル中で対応付けられている電圧値を有する直流電圧を第１の期間においてサセプタに印加してもよい。この実施形態では、サセプタに与える電圧の電圧値が、基板の電位に影響を与えるパラメータに対応付けてデータテーブルのレコードとして予め準備される。このデータテーブルを用いることにより、サセプタに印加される直流電圧の電圧値が決定される。

【００２１】

一実施形態では、電圧印加部は、基板の自己バイアス電位の測定値に応じた直流電圧を第１の期間においてサセプタに印加してもよい。

【００２２】

一実施形態では、変調高周波供給工程において、第２の高周波がパルス変調されることにより、該変調高周波がサセプタに供給される。この実施形態では、変調直流電圧印加工程において、電圧印加部は、第１の期間においてサセプタに第１の電圧値を有する第１の直流電圧を印加し、第２の期間において前記第１の電圧値の絶対値よりも大きい絶対値を有する第２の電圧値を有する第２の直流電圧をサセプタに印加し得る。例えば第１の高周波がサセプタに供給された状態で、パルス変調された第２の高周波がサセプタに与えられる場合には、第２の高周波がサセプタに与えられている第１の期間には、基板の電位の絶対値は比較的小さくなる。一方、第２の高周波がサセプタに与えられていない第２の期間には、基板の電位の絶対値は比較的大きくなる。したがって、第１の期間において第１の電圧値を有する第１の直流電圧をサセプタに印加し、第２の期間において第２の電圧値を有する第２の直流電圧をサセプタに印加することで、異常放電を抑制することが可能となる。

【００２３】

一実施形態では、電圧印加部は、第１の期間及び第２の期間の各々において、変調高周波がサセプタに供給される伝送路上での電圧振幅が大きいほど絶対値が大きくなる電圧値を有する直流電圧を、サセプタに印加してもよい。

【００２４】

一実施形態では、電圧印加部は、第１の期間及び第２の期間の各々において、第１の高周波のパワー、第２の高周波のパワー、及び変調高周波の変調周波数にデータテーブル中で対応付けられている電圧値を有する直流電圧をサセプタに印加してもよい。

【００２５】

一実施形態では、電圧印加部は、第１の期間及び第２の期間の各々において基板の自己バイアス電位の測定値に応じた直流電圧をサセプタに印加してもよい。

【発明の効果】

【００２６】

以上説明したように、パルス変調された高周波が用いられる場合であっても、サセプタに直接的に電圧を印加することにより、サセプタの電位と基板の電位との差を低減し、異常放電の発生を抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【００２７】

【図１】サセプタと基板との間の異常放電の発生原理を説明するための図である。

【図２】一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

【図３】基板の電位の時間変化の測定結果を例示する図である。

【図４】一実施形態に係るプラズマ処理装置のサセプタの電位を制御する方法を示す流れ図である。

【図５】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第１例を示す図である。

【図６】変調高周波、パルス信号、基板の電位、及び電圧印加部の変調直流電圧のタイミングチャートを例示する図である。

【図７】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第２例を示す図である。
【図８】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第３例を示す図である。
【図９】変調高周波、パルス信号、基板の電位、及び電圧印加部の変調直流電圧のタイミングチャートを例示する図である。
【図１０】データテーブルの一例を示す図である。
【図１１】別の実施形態に係るプラズマ処理装置を示す図である。
【図１２】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第５例を示す図である。
【図１３】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第６例を示す図である。
【図１４】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第７例を示す図である。
【図１５】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第８例を示す図である。
【図１６】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第９例を示す図である。
【図１７】マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第１０例を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００２８】
以下、図面を参照して種々の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。
【００２９】
まず、一実施形態のプラズマ処理装置について説明する。図２は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図２に示すプラズマ処理装置１は、下部２周波印加方式の容量結合型プラズマ処理装置として構成されている。このプラズマ処理装置１は、処理容器１０を備えている。処理容器１０は、略円筒形状を有しており、例えば、アルミニウム又はステンレス鋼といった金属から構成されている。この処理容器１０は、接地されている。
【００３０】
処理容器１０内には、サセプタ１２が設けられている。このサセプタ１２は、高周波電極、即ち下部電極を構成している。サセプタ１２は、例えばアルミニウム製である。サセプタ１２は、支持部１４によって支持されている。支持部１４は、例えば円筒形状を有しており、処理容器１０の底部から上方に延在している。支持部１４は、セラミックといった絶縁体から構成されている。したがって、サセプタ１２は、非接地状態にある。
【００３１】
また、処理容器１０の底部からは、支持部１６が支持部１４の外周に沿って上方に延在している。支持部１６は導電性であり、略円筒形状を有し得る。この支持部１６と処理容器１０の内壁面との間には、排気路１８が形成されている。排気路１８には、排気管２２によって提供される排気口２０が接続している。排気管２２には、排気装置２４が接続されている。排気装置２４は、ターボ分子ポンプといった真空ポンプを有しており、処理容器１０内の空間を所望の真空度まで減圧することができる。また、処理容器１０の側壁には、基板Ｗの搬入出口を開閉するゲートバルブ２６が取り付けられている。
【００３２】
サセプタ１２には、第１の高周波電源２８及び第２の高周波電源３０が、マッチングユニット３２及び給電棒３４を介して電気的に接続されている。第１の高周波電源２８は、主としてサセプタ１２上の基板Ｗに対するイオンの引き込みに寄与する周波数（例えば、１３．５６ＭＨｚ）の第１の高周波ＬＦを出力する。一方、第２の高周波電源３０は、主としてプラズマの生成に寄与する周波数（例えば、１００ＭＨｚ）の第２の高周波ＨＦを出力する。
【００３３】
マッチングユニット３２には、第１の高周波電源２８及び第２の高周波電源３０と負荷（主にプラズマ）との間でインピーダンスの整合をとるための整合器が主要されている。なお、整合器については、後述する。給電棒３４は、円筒形又は円柱形の導体から構成されている。給電棒３４の上端は、サセプタ１２の下面中心部に接続されており、当該給電棒３４の下端はマッチングユニット３２内の整合器の高周波出力端子に接続されている。

また、処理容器１０の底部とマッチングユニット３２との間には、給電棒３４の周りを囲む円筒形の導体カバー３５が設けられている。

【００３４】

サセプタ１２は基板Ｗよりも一回り大きな直径又は口径を有している。サセプタ１２の上面は、略水平な面であり、中央領域と周辺領域を含んでいる。この中央領域上には、静電チャック３８が設けられている。また、周辺領域上には、静電チャック３８及び基板Ｗを囲むように、フォーカスリング３６が設けられる。フォーカスリング３６は、リング状の誘電体１３５を介して、周辺領域上に設けられている。このフォーカスリング３６は、基板Ｗ表面の材料（例えば、被エッチング材）に応じて、例えば、Ｓｉ，ＳｉＣ，Ｃ，SiO_2の中の何れかの材質で構成される。

【００３５】

静電チャック３８は、サセプタ１２の上面の中央領域上に設けられている。静電チャック３８は、サセプタ１２に対して一体形成されていてもよく、或いは、当該中央領域に対して接着剤等を介して接合されていてもよい。静電チャック３８は、誘電体層４０及び内部電極４２を有している。内部電極４２は、誘電体層４０内に設けられている。この内部電極４２には、処理容器１０の外に設けられた直流電源４４が、スイッチ４６、抵抗器４８、及び高圧線５０を介して電気的に接続されている。直流電源４４から正極性で高圧（例えば、２０００～３０００Ｖ）の直流電圧A_{DC}が静電チャック３８の内部電極４２に印加されることにより、基板Ｗが静電力で静電チャック３８に吸着されるようになっている。なお、高圧線５０は、被覆線であり、サセプタ１２を下から貫通して静電チャック３８の内部電極４２に接続されている。

【００３６】

サセプタ１２の内部には、冷媒流路５２が形成されている。冷媒流路５２は、例えば、サセプタ１２の内部において、環状又は螺旋状に延在している。この冷媒流路５２には、チラーユニットから冷媒供給管５４を介して所定温度の冷媒、例えば冷却水ＣＷが循環供給される。このように供給される冷媒の温度によってサセプタ１２の温度を制御することができる。また、サセプタ１２及び静電チャック３８には、ガス流路５６が形成されている。このガス流路５６には、ガス供給管を介してバックサイドガス供給部から、Ｈｅガスといったバックサイドガスが供給される。バックサイドガスは、ガス流路５６を介して基板Ｗと静電チャック３８との間に供給される。これにより、基板Ｗと静電チャック３８とが熱的に結合される。

【００３７】

サセプタ１２及び静電チャック３８には、当該サセプタ１２及び静電チャック３８を貫通する複数の貫通孔が形成されている。これら、複数の貫通孔には、複数本（例えば、３本）のリフトピン５８が挿入されている。なお、図２においては、各々に一本のリフトピンが挿入された二つの貫通孔６０及び貫通孔６２が描かれている。リフトピン５８は、例えば、樹脂又はセラミックス等の絶縁体から構成されている。これらリフトピン５８は、リング状の水平昇降板６４に支持されている。水平昇降板６４は、エアシリンダ又はボールねじ機構等からなるアクチエータ６６の昇降駆動軸６８に結合されている。リフトピン５８は、その先端が静電チャック３８の上方に突き出た状態で、当該リフトピン５８の先端に基板Ｗを支持する。しかる後に、リフトピン５８が下降することにより基板Ｗが静電チャック３８上に載置される。また、基板Ｗのプラズマ処理後には、リフトピン５８が上昇することにより、基板Ｗが静電チャック３８から引き離される。即ち、リフトピン５８は、基板Ｗのローディング及びアンローディングのために用いられる。

【００３８】

処理容器１０の天井には、シャワーヘッド７０が設けられている。シャワーヘッド７０は、サセプタ１２と空間を介して設けられている。このシャワーヘッド７０は、上部電極を兼ねている。シャワーヘッド７０は、電極板７２、及び電極支持体７４を有している。電極板７２は、例えば、Ｓｉ、ＳｉＣ、又はＣから構成されている。電極板７２は、処理容器１０内の空間Ｓに接している。電極板７２とサセプタ１２との間の空間Ｓはプラズマ

生成空間又は処理空間となる。電極支持体は、電極板７２をその背面側（上側）から着脱可能に支持している。電極支持体７４は、例えば、アルマイト処理されたアルミニウムから構成されている。電極支持体７４の内部には、ガス室７６が形成されている。電極支持体７４及び電極板７２には、ガス室７６からサセプタ１２側に貫通する多数のガス吐出孔７８が形成されている。ガス室７６の上部には、ガス導入口７６ａが設けられている。このガス導入口７６ａには、ガス供給管８２を介して処理ガス供給部８０が接続されている。

【００３９】

プラズマ処理装置１は、更に主制御部８４を備えている。主制御部８４は、マイクロコンピュータ及び各種インタフェースを含み、外部メモリ又は内部メモリに格納されるソフトウェア（プログラム）及びレシピ情報にしたがって、プラズマ処理装置１内の各部、例えば、排気装置２４、第１の高周波電源２８、第２の高周波電源３０、マッチングユニット３２、スイッチ４６、リフト機構のアクチエータ６６、チラーユニット、バックサイドガス供給部、及び、処理ガス供給部８０等の個々の動作及び装置全体の動作（シーケンス）を制御する。

【００４０】

なお、この実施形態では、主制御部８４が一つの制御ユニットとして示されているが、複数の制御ユニットが主制御部８４の機能を並列的又は階層的に分担する形態を採っていてもよい。

【００４１】

プラズマ処理装置１では、第１の高周波電源２８及び第２の高周波電源３０の少なくとも一方が、パルス変調された高周波、即ち変調高周波を生成し、当該変調高周波をサセプタ１２に供給するようになっている。

【００４２】

パルス変調は、第１の高周波ＬＦ及び第２の高周波ＨＦのうち少なくとも一方の高周波を、第１の高周波ＬＦの周波数及び第２の高周波ＨＦの周波数よりも低い周波数（以下、「変調周波数」という）で交互にＯＮ／ＯＦＦさせる変調である。なお、パルス変調は、当該少なくとも一方の高周波のパワーを交互に増減させる変調であってもよい。このパルス変調の変調周波数は、プラズマ処理の目的に応じて任意に設定される。変調周波数によって規定される１周期は、当該少なくとも一方の高周波がＯＮとなる期間（以下、「第１の期間」という）、及び、当該少なくとも一方の高周波がＯＦＦとなる期間（以下、第２の期間」という）を含む。パルス変調の１周期において第１の期間が占める割合（％）、即ち、デューティーも、プラズマ処理の目的に応じて任意に設定される。

【００４３】

ここで、図３を参照して、第１の高周波ＬＦのパルス変調の有無、及び第１の高周波ＬＦのパルス変調の変調周波数が基板Ｗの電位に与える影響を説明する。図３の（ａ）には、第１の高周波ＬＦ（１０００Ｗ）及び第２の高周波ＨＦ（１５００Ｗ）が共にパルス変調されず連続的にサセプタ１２に与えられたときの基板Ｗの電位の時間変化の測定結果が示されている。図３の（ｂ）には、変調周波数１ｋＨｚ且つデューティー５０％で変調された第１の高周波ＬＦ（１０００Ｗ）、即ち変調高周波がサセプタ１２に与えられ、第２の高周波ＨＦ（１５００Ｗ）がパルス変調されず連続的にサセプタ１２に与えられたときの基板Ｗの電位の時間変化の測定結果が示されている。図３の（ｃ）には、変調周波数０．５ｋＨｚ且つデューティー５０％で変調された第１の高周波ＬＦ（１０００Ｗ）、即ち変調高周波がサセプタ１２に与えられ、第２の高周波ＨＦ（１５００Ｗ）がパルス変調されず連続的にサセプタ１２に与えられたときの基板Ｗの電位の時間変化の測定結果が示されている。また、図３の（ｄ）には、変調周波数０．１ｋＨｚ且つデューティー５０％で変調された第１の高周波ＬＦ（１０００Ｗ）、即ち変調高周波がサセプタ１２に与えられ、第２の高周波ＨＦ（１５００Ｗ）がパルス変調されず連続的にサセプタ１２に与えられたときの基板Ｗの電位の時間変化の測定結果が示されている。図３に示す基板Ｗの電位の時間変化は何れも、第１の高周波の周波数以上の電位の時間変化を除去するためのフィル

タを介して、基板Ｗの電位を測定して得たものである。なお、図３において、「ＧＮＤ」は、グランド電位を示している。

【００４４】

図３の（ａ）に示すように、第１の高周波ＬＦ及び第２の高周波ＨＦの双方が連続的にサセプタ１２に与えられる場合には、基板Ｗの電位は、略一定の負極性の電位となる。したがって、基板Ｗとサセプタ１２との間の空間、例えば、ガス流路５６、貫通孔６０、及び貫通孔６２といった空間を介した異常放電は、略一定の負極性の直流電圧をサセプタ１２に与えることにより、抑制される。

【００４５】

一方、図３の（ｂ）、（ｃ）、及び（ｄ）に示すように、パルス変調された第１の高周波ＬＦ、即ち、変調高周波がサセプタ１２に与えられると、基板Ｗの電位が周期的に変動する。特に、パルス変調の周波数が１ｋＨｚ未満である場合には、変調高周波に追従して基板Ｗの電位が大きく変動する。したがって、負極性且つ一定の直流電圧、例えば、基板Ｗの実効電位と同等且つ一定の直流電圧をサセプタ１２に与えても、基板Ｗとサセプタ１２との間の空間を介した異常放電が生じ得る。このような現象は、第２の高周波ＨＦがパルス変調される場合、及び、第１の高周波ＬＦ及び第２の高周波ＨＦの双方がパルス変調される場合にも、生じ得る。なお、上述したように、基板Ｗの電位が変調高周波に追従する現象は、パルス変調の周波数が所定の周波数の値未満である場合において顕著となる。本実施例ではパルス変調の周波数が１ｋＨｚ未満において当該現象が顕著となる検証結果を得た。当該現象が顕著となるパルス変調の周波数は、プラズマ処理装置の浮遊容量、即ち、プラズマ処理装置において高周波が通る経路に存在する浮遊容量に依存するものであり、プラズマ処理装置によって変化し得る値である。

【００４６】

プラズマ処理装置１は、上記のように変調高周波がサセプタ１２に与えられることにより基板Ｗの電位が変動しても、基板Ｗとサセプタ１２との間の空間を介した異常放電を抑制するために、電圧印加部ＤＡを更に備えている。電圧印加部ＤＡは、変調高周波に同期してパルス変調された直流電圧、即ち変調直流電圧をサセプタ１２に印加するよう構成されている。また、変調直流電圧の電圧値は、自己バイアスによる基板Ｗの電位（負極性の電位）とサセプタ１２の電位（正極性の電位）との間の電位差を減少させるように設定される。プラズマ処理装置１では、この電圧印加部ＤＡも、主制御部８４によって制御され得る。

【００４７】

以下、図２と共に図４を参照しつつ、プラズマ処理装置１におけるプラズマ処理の実行時の動作を説明し、これと共に、一実施形態に係るプラズマ処理装置のサセプタの電位を制御する方法について説明する。図４は、一実施形態に係るプラズマ処理装置のサセプタの電位を制御する方法を示す流れ図である。

【００４８】

プラズマ処理装置１における基板Ｗのプラズマ処理では、先ず、ゲートバルブ２６が開かれて、隣室のロードロック・チャンバ又はトランスファ・チャンバから搬送アームによって基板Ｗが処理容器１０内に搬入される。

【００４９】

次いで、ローディング動作が行われる。ローディング動作では、アクチエータ６６が作動して、リフトピン５８を上昇させる。そして、リフトピン５８が、搬送アームから基板Ｗを受け取る。次いで、リフトピン５８が降下して、基板Ｗが静電チャック３８の上に載置される。

【００５０】

次いで、処理ガス供給部８０から処理ガス（一般に混合ガス）が所定の流量で処理容器１０内に導入される。また、排気装置２４によって処理容器１０内の圧力が調整される。さらに、第１の高周波電源２８から第１の高周波ＬＦが出力され、第２の高周波電源３０から第２の高周波ＨＦが出力され、第１の高周波ＬＦ及び第２の高周波ＨＦがマッチング

ユニット３２及び給電棒３４を介してサセプタ１２に供給される。また、スイッチ４６がオン状態に切り換えられることにより、基板Ｗが静電力で静電チャック３８に保持される。そして、バックサイドガス供給部より基板Ｗとの間に伝熱用のバックサイドガスが供給される。そして、シャワーヘッド７０から空間Ｓに供給された処理ガスが、高周波放電により励起されることにより、プラズマが生成される。このように生成されたプラズマから供給されるラジカルやイオンによって、基板Ｗに対するプラズマ処理、例えば、エッチングが行われる。

【００５１】

このプラズマ処理装置１においては、第１の高周波ＬＦ及び第２の高周波の少なくとも一方がパルス変調された高周波、即ち変調高周波としてサセプタ１２に供給される（図４の工程ＳＴ１）。また、電圧印加部ＤＡにより、変調高周波に同期してパルス変調された変調直流電圧がサセプタ１２に印加される（図４の工程ＳＴ２）。この変調直流電圧は、自己バイアスによる基板Ｗの電位（負極性の電位）とサセプタ１２の電位（正極性の電位）との間の電位差を減少させるように設定された電圧値を有する直流電圧である。したがって、基板Ｗとサセプタ１２の間の電位差が減少し、基板Ｗとサセプタ１２との間の空間、例えば、ガス流路５６、貫通孔６０、及び貫通孔６２といった空間を介して異常放電が発生することが抑制される。故に、基板Ｗに異常放電によるダメージが発生することが抑制され、プラズマ処理の歩留まりが向上される。

【００５２】

以下、プラズマ処理装置１のマッチングユニット３２及び電圧印加部ＤＡとして用いることができる種々のマッチングユニット及び電圧印加部について説明する。また、第１の高周波ＬＦ及び第２の高周波ＨＦのパルス変調の種々の例、及び、変調高周波に同期した変調直流電圧の印加に関する種々の例についても説明する。

【００５３】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第１例］

【００５４】

図５は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第１例を示す図である。図６は、変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$のパワー、第１の高周波電源２８によって出力されるパルス信号ＰＳ、基板の電位$Ｖ_{ＤＣ}$（０Ｖ以下）、及び電圧印加部の変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$のタイミングチャートを例示する図である。図５に示す第１例の回路構成は、第１の高周波ＬＦの電圧振幅$Ｖ_{ＰＰ_ＬＦ}$（ピーク・ツー・ピーク）に応じて変調高周波電圧の電圧値を制御するものである。ここで、第１の高周波ＬＦの電圧振幅$Ｖ_{ＰＰ_ＬＦ}$は、第１の高周波ＬＦの電圧の最大ピーク値と最小ピーク値との差である。この第１例の回路構成は、サセプタ１２における第２の高周波ＨＦの電圧振幅が無視できるほど小さい場合に利用し得るものであり、当該回路構成では、第１の高周波ＬＦのみがパルス変調されてもよく、第１の高周波ＬＦ及び第２の高周波ＨＦの双方がパルス変調されてもよい。以下、第１の高周波ＬＦのみがパルス変調される場合を例にとって、第１例の回路構成について説明する。

【００５５】

第１例の回路構成は、マッチングユニット３２１及び電圧印加部ＤＡ１を含んでいる。マッチングユニット３２１は、図２のマッチングユニット３２として用いられ、電圧印加部ＤＡ１は図２の電圧印加部ＤＡとして用いられる。マッチングユニット３２１は、第１の整合器１００、及び第２の整合器１０２を有している。第１の整合器１００は、第１の高周波電源２８から出力される第１の高周波ＬＦを、無反射又は少ない反射で効率よく処理容器１０内のプラズマ負荷に伝送するように動作する。第１の整合器１００と第１の高周波電源２８は、第１の高周波給電部１０８を形成している。第２の整合器１０２は、第２の高周波電源３０から出力される第２の高周波ＨＦを、無反射又は少ない反射で効率よく処理容器１０内のプラズマ負荷に伝送するように動作する。第２の整合器１０２と第２の高周波電源３０は、第２の高周波給電部１１０を形成している。

【００５６】

第１の整合器１００は、可変容量のコンデンサ１１２、可変容量のコンデンサ１１４、

及び、インダクタ１１６を有している。コンデンサ１１４及びインダクタ１１６は、第１の高周波電源２８の出力端子と負荷との間で直列に接続されている。コンデンサ１１２は、コンデンサ１１４の入力側端子と接地電位部材との間に接続されている。これらコンデンサ１１２、コンデンサ１１４、及びインダクタ１１６は、Ｌ型の整合回路を形成している。

【００５７】

また、第１の整合器１００は、オートマッチング機構を更に有している。このオートマッチング機構は、一例においては、ステップモータといったモータ２１２及びモータ２１４、並びに、マッチングコントローラ２１６を有している。また、第１の整合器１００は、インピーダンスセンサ２１０を更に有している。インピーダンスセンサ２１０は、第１の高周波電源２８が第１の高周波ＬＦを出力しているときに、第１の高周波電源２８側から見える負荷側のインピーダンス、即ち、負荷インピーダンスZ_{L_LH}を測定し、当該負荷インピーダンスZ_{L_LH}の測定値MZ_{L_LH}を出力する。負荷インピーダンスZ_{L_LH}は、処理容器１０内の負荷（主にプラズマ）のインピーダンスと、第１の整合器１００のＬ型の整合回路のインピーダンスとが合成されたインピーダンスである。

【００５８】

マッチングコントローラ２１６は、マイクロコンピュータを有しており、インピーダンスセンサ２１０から出力される測定値MZ_{L_LH}が第１の高周波電源２８の出力インピーダンスに相当する整合ポイント（通常５０Ω）に一致するか又は近付くように、モータ２１２及びモータ２１４の回転制御を通じてコンデンサ１１２及びコンデンサ１１４のポジション（バリコン・ステップ）PC_1，PC_2を制御する。

【００５９】

第２の整合器１０２は、一次側において、コイル１１８、及び可変容量のコンデンサ１２０を有しており、二次側において、コイル１２２、及び可変容量のコンデンサ１２４を有している。コイル１１８及びコンデンサ１２０は、第２の高周波電源３０の出力端子と接地電位部材との間で直列に接続されている。コイル１１８は、コイル１２２とトランス結合されている。コンデンサ１２４は、コイル１２２と負荷との間に直列に接続されている。これらコイル１１８、コンデンサ１２０、コイル１２２、及びコンデンサ１２４は、誘導結合型の整合回路を構成している。

【００６０】

また、第２の整合器１０２は、オートマッチング機構を更に有している。このオートマッチング機構は、一例においては、ステップモータといったモータ３１２及びモータ３１４、並びに、マッチングコントローラ３１６を有している。また、第２の整合器１０２は、インピーダンスセンサ３１０を更に有している。インピーダンスセンサ３１０は、第２の高周波電源３０が第２の高周波ＨＦを出力しているときに、第２の高周波電源３０側から見える負荷側のインピーダンス、即ち、負荷インピーダンスZ_{L_HF}を測定し、当該負荷インピーダンスZ_{L_HF}の測定値MZ_{L_HF}を出力する。負荷インピーダンスZ_{L_HF}は、処理容器１０内の負荷（主にプラズマ）のインピーダンスと、第２の整合器１０２の誘導結合型の整合回路のインピーダンスとが合成されたインピーダンスである。

【００６１】

マッチングコントローラ３１６は、マイクロコンピュータを有しており、インピーダンスセンサ３１０から出力される測定値MZ_{L_HF}が第２の高周波電源３０の出力インピーダンスに相当する整合ポイント（通常５０Ω）に一致するか又は近付くように、モータ３１２及びモータ３１４の回転制御を通じてコンデンサ１２０及びコンデンサ１２４のポジション（バリコン・ステップ）PC_3，PC_4を制御する。

【００６２】

第１の高周波給電部１０８は、第１の整合器１００と給電棒３４との間に、ローパスフィルタ１３０を有している。ローパスフィルタ１３０は、Ｌ型のローパスフィルタであり、インダクタ１２６及びコンデンサ１２８を有している。インダクタ１２６は、第１の整合器１００と給電棒３４との間に接続されており、コンデンサ１２８は、インダクタ１２

６の第１の整合器１００側の端子と接地電位部材との間に接続されている。このローパスフィルタ１３０は、第１の整合器１００からの第１の高周波ＬＦ及び電圧印加部ＤＡ１からの変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$をサセプタ１２側に通し、第２の高周波給電部１１０からの第２の高周波ＨＦを遮断する。

【００６３】

なお、第２の高周波給電部１１０内では、第２の整合器１０２内でトランス結合されているコイル１１８及びコイル１２２が、第１の高周波給電部１０８からの第１の高周波ＬＦを遮断するようになっている。

【００６４】

一実施形態では、マッチングユニット３２には、一次的には保安接地用のリレースイッチ１３２が設けられている。このリレースイッチ１３２の一方の端子は、抵抗器１３４を介して接地電位部材に接続されており、当該リレースイッチ１３２の他方の端子は、高周波遮断フィルタ１４０を介して、第１の整合器１００内の高周波伝送路（図示の例ではコンデンサ１１４とインダクタ１１６との間の接続点ＮＡ）に接続されている。高周波遮断フィルタ１４０は、インダクタ１３６及びコンデンサ１３８を有している。インダクタ１３６は、リレースイッチ１３２と接続点ＮＡとの間に接続されている。コンデンサ１３８は、インダクタ１３６のリレースイッチ１３２側の端子と接地電位部材との間に接続されている。この高周波遮断フィルタ１４０は、変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$を通過させ、第１の高周波ＬＦといった他の高周波を遮断するフィルタ特性を有している。

【００６５】

リレースイッチ１３２がオフしているときには、第１の整合器１００内の接続点ＮＡが電気的（特に直流的）にフローティング状態にある。したがって、サセプタ１２もフローティング状態に置かれる。リレースイッチ１３２がオンすると、過渡的にはそれまでサセプタ１２に蓄積されていた電荷が接続点ＮＡ、高周波遮断フィルタ１４０、リレースイッチ１３２及び抵抗器１３４を介して接地電位部材に流れるようになっている。なお、リレースイッチ１３２がオフするタイミングは、基板がサセプタ１２上に載置され、処理ガス供給部８０からの処理ガスが処理容器１０内に供給されてから、第２の高周波ＨＦが出力されるまでの間にタイミングである。また、リレースイッチ１３２がオンするタイミングは、基板を処理容器１０から搬出するために、リフトピン５８が上昇される前のタイミングである。このようなリレースイッチ１３２のオンとオフは、マッチングコントローラ２１６からリレースイッチ１３２に与えられる制御信号によって制御される。

【００６６】

第１例では、第１の高周波電源２８は、パルス変調された第１の高周波、即ち、変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$を出力する（図６参照）。パルス変調の１周期は、図６に示すように、第１の期間Ｔ１と当該第１の期間に続く第２の期間Ｔ２とに分割される。図６の変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$のタイミングチャートに示すように、第１の期間Ｔ１では、第１の高周波ＬＦがサセプタ１２に供給され（図６では「ＯＮ」）、第２の期間Ｔ２では第１の高周波ＬＦのサセプタ１２への供給が停止される（図６では「ＯＦＦ」）。なお、第１の期間Ｔ１では、第１のパワーの第１の高周波ＬＦがサセプタ１２に供給され、第２の期間Ｔ２では、第１のパワーよりも低い第２のパワーの第１の高周波ＬＦがサセプタ１２に供給されてもよい。この第１の高周波電源２８は、変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$に同期したパルス信号ＰＳを出力する。このパルス信号ＰＳは、第１の期間Ｔ１では第１の信号レベルＬＶ１を有し、第２の期間Ｔ２では第２の信号レベルＬＶ２を有する。

【００６７】

変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$がサセプタ１２に与えられると、図６に示すように、基板Ｗの電位$Ｖ_{ＤＣ}$は、変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$に同期して時間変動する。即ち、基板Ｗの電位$Ｖ_{ＤＣ}$は、第１の期間Ｔ１では負極性の電位となり、第２の期間では略０（Ｖ）の電位となる。このような基板Ｗの電位とサセプタ１２の電位との差を低減させるために、図５に示すように、電圧印加部ＤＡ１がリレースイッチ１３２と並列に設けられている。この電圧印加部ＤＡ１は、変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$を出力する。

【００６８】
具体的に、電圧印加部ＤＡ１は、リレースイッチ１３２と並列に、抵抗器１４２を介して高周波遮断フィルタ１４０に接続されており、当該高周波遮断フィルタ１４０を介して、接続点ＮＡに接続されている。抵抗器１４２は、前段の高周波遮断フィルタ１４０から漏れて来ることもある第１の高周波ＬＦといったその他の高周波を確実に遮断する次段の高周波遮断フィルタを構成している。
【００６９】
電圧印加部ＤＡ１は、直流電源１０４、スイッチング素子ＳＷ１、及び、時定数調整回路ＴＣ１を含んでいる。直流電源１０４は、負極性の直流電圧を発生する可変直流電源であり、出力する直流電圧の電圧値を調整可能である。この直流電源１０４は、抵抗器１４２に接続されている。スイッチング素子ＳＷ１は、第１の端子、第２の端子、及び制御端子を有している。スイッチング素子ＳＷ１は、その制御端子に入力される電気信号により第１の端子と第２の端子の間の導通状態を切り換える素子である。スイッチング素子ＳＷ１には、例えば、電界効果トランジスタを用いることができる。電界効果トランジスタによれば、メカニカルなスイッチよりも、スイッチング素子ＳＷの寿命を長くすることが可能となる。このスイッチング素子ＳＷ１の第１の端子は、抵抗器１４２と直流電源１０４との間のノードＮＡ１に、時定数調整回路ＴＣ１を介して接続されている。スイッチング素子ＳＷ１の第２の端子は、接地電位部材に接続されている。スイッチング素子ＳＷ１の制御端子には、第１の高周波電源２８から、パルス信号ＰＳが与えられるようになっている。
【００７０】
第１の期間Ｔ１において第１の信号レベルＬＶ１のパルス信号ＰＳがスイッチング素子ＳＷ１の制御端子に与えられると、スイッチング素子ＳＷ１の第１の端子と第２の端子との間の導通が切断される。したがって、直流電源１０４の直流電圧がサセプタ１２に印加される。即ち、図６に示すように、第１の期間Ｔ１における変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$の電圧値は、負極性の$Ｂ_{ＤＣ}$（Ｔ１）となる。一方、第２の期間Ｔ２において第２の信号レベルＬＶ２のパルス信号ＰＳがスイッチング素子ＳＷ１の制御端子に与えられると、スイッチング素子ＳＷ１の第１の端子と第２の端子が導通する。これにより、直流電源１０４の直流電圧のサセプタ１２に対する印加が停止される。即ち、図６に示すように、第２の期間Ｔ２における変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$の電圧値は、例えば略０（Ｖ）の$Ｂ_{ＤＣ}$（Ｔ２）となる。
【００７１】
図６に示したように、基板Ｗの電位$Ｖ_{ＤＣ}$は、変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$に同期しているものの、その立ち下がり及び立ち上がりには遅れが生じる。この遅れに対応するために、変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$の立ち下がり及び立ち上がりは、時定数調整回路ＴＣ１によって調整される。なお、時定数調整回路ＴＣ１は、例えば、ノードＮＡ１とスイッチング素子ＳＷ１との間に接続された抵抗素子であり得る。
【００７２】
この第１例の回路構成では、基板Ｗの電位$Ｖ_{ＤＣ}$が第１の高周波ＬＦの電圧振幅$Ｖ_{ＰＰ}$と比例関係にあることを利用して、変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$の電圧値が第１の高周波ＬＦ（本例では、変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$）の電圧振幅$Ｖ_{ＰＰ_ＬＦ}$に応じて制御される。このため、第１の高周波給電部１０８の高周波伝送路上には、第１の高周波ＬＦの電圧振幅$Ｖ_{ＰＰ_ＬＦ}$を測定するための振幅測定部１４６が設けられている。一実施形態において、当該高周波伝送路上には、第１の高周波ＬＦの進行波パワー$Ｐ_{ｆ_ＬＦ}$及び反射波パワー$Ｐ_{ｒ_ＬＦ}$を測定するためのＲＦパワーモニタ１４８が更に設けられていてもよい。なお、ＲＦパワーモニタ１４８は、例えば、方向性結合器を含み得る。
【００７３】
振幅測定部１４６は、上記高周波伝送路上での電圧振幅$Ｖ_{ＰＰ_ＬＦ}$の測定値$ＭＶ_{ＰＰ_ＬＦ}$を電圧制御部１４４に出力する。電圧制御部１４４は、主制御部８４の一部を構成し得る。電圧制御部１４４は、パルス信号ＰＳを受け、パルス信号ＰＳが第１の信号レベルＬＶ１を有するときに、第１の期間Ｔ１における測定値$ＭＶ_{ＰＰ_ＬＦ}$、即ち、測定値

MV_{PP_LF}（Ｔ１）から、変調直流電圧B_{DC}の電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求める。例えば、電圧制御部１４４は、下式（１）により、負値の電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求める。ここで、Ｋ１は正の係数である。

B_{DC}（Ｔ１）＝－Ｋ１×MV_{PP_LF}（Ｔ１）　　…（１）

【００７４】

電圧制御部１４４は、第１の期間Ｔ１において直流電源１０４が出力する直流電圧の電圧値が、B_{DC}（Ｔ１）になるよう、直流電源１０４を制御する。したがって、第１の期間Ｔ１では、電圧振幅V_{PP_LF}が大きいほど、変調直流電圧B_{DC}の電圧値の絶対値は大きくなる。

【００７５】

ところで、プラズマ処理の開始時やプラズマ処理の最中にプラズマの負荷が変動すると、基板Ｗの電位V_{DC}と電圧振幅V_{PP_LF}との間で比例関係が崩れ、電位V_{DC}の絶対値がＫ×V_{PP_LF}よりも小さくなることがある。この場合には、プラズマ負荷にＲＦパワーが十分に吸収されず、反射波パワーP_{r_LF}が増大する。

【００７６】

このようなプラズマ負荷の変動に対処するために、電圧制御部１４４は、測定値MV_{PP_LF}（Ｔ１）、及び、第１の期間Ｔ１におけるＲＦパワーモニタ１４８の反射波パワーの測定値MP_{r_LF}、即ちMP_{r_LF}（Ｔ１）を利用して、電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求めることができる。具体的に、電圧制御部１４４は、下式（２）又は下式（３）により、電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求めてもよい。なお、Ｊ１及びＤ１は正の係数である。

B_{DC}（Ｔ１）＝－（Ｋ１×MV_{PP_LF}（Ｔ１）－Ｊ１×MP_{r_LF}（Ｔ１））　…（２）

B_{DC}（Ｔ１）＝－（Ｋ１－Ｄ１×MP_{r_LF}（Ｔ１））×MV_{PP_LF}（Ｔ１）　…（３）

【００７７】

さらに、電圧制御部１４４は、プラズマ負荷変動に対する変調直流電圧B_{DC}の電圧値の可変制御の安定性及び精度を一層高めるために、測定値MV_{PP_LF}（Ｔ１）及び測定値MP_{r_LF}（Ｔ１）に加えて、第１の期間Ｔ１におけるＲＦパワーモニタ１４８の進行波パワーP_{f_LF}の測定値MP_{f_LF}、即ちMP_{f_LF}（Ｔ１）を用いて、電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求めてもよい。例えば、電圧制御部１４４は下式（４）により、電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求めてもよい。なお、Ｅ１は正の係数である。

B_{DC}（Ｔ１）＝－Ｋ１＊MV_{PP_LF}（Ｔ１）＊Ｅ１＊（MP_{f_LF}（Ｔ１）－MP_{r_LF}（Ｔ１））／MP_{f_LF}（Ｔ１）　…（４）

【００７８】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第２例］

【００７９】

図７は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第２例を示す図である。第２例の回路構成は、サセプタ１２における第２の高周波ＨＦの電圧振幅が無視できない場合に利用される第１例の変形例に係る回路構成である。以下、第２例の回路構成について、第１例の回路構成と異なる点について、説明する。

【００８０】

図７に示すように、第２例の回路構成のマッチングユニット３２２は、振幅測定部１４６に代えて、振幅測定部２０２が設けられている点で、マッチングユニット３２１とは異なっている。振幅測定部２０２は、ローパスフィルタ１３０と給電棒３４との間において高周波伝送路上に設けられている。振幅測定部２０２は、例えば、スーパーヘテロダイン方式のフィルタ回路を用いて第１の高周波ＬＦの電圧振幅V_{PP_LF}及び第２の高周波ＨＦの電圧振幅V_{PP_HF}を弁別して測定する。振幅測定部２０２は、電圧振幅V_{PP_LF}の測定値MV_{PP_LF}及び電圧振幅V_{PP_HF}の測定値MV_{PP_HF}を電圧制御部１４４に与える。

【００８１】

電圧制御部１４４は、パルス信号ＰＳが第１の信号レベルＬＶ１を有するときに、測定値MV_{PP_LF}（Ｔ１）、及び、第１の期間Ｔ１における測定値MV_{PP_HF}、即ち、MV_{PP_HF}（Ｔ１）から、第１の期間Ｔ１における変調直流電圧B_{DC}の電圧値B_{DC}（Ｔ１）を、下式（５）により求める。なお、Ｋ２は正の係数である。

$$B_{DC}(T1)=-K1\times MV_{PP_LF}(T1)-K2\times MV_{PP_HF}(T1) \quad \cdots(5)$$

【００８２】

一実施形態では、第２例の回路構成には、ＲＦパワーモニタ３４８が更に設けられ得る。ＲＦパワーモニタ３４８は、第２の高周波ＨＦの進行波パワーP_{f_HF}及び反射波パワーP_{r_HF}を測定する。このＲＦパワーモニタ３４８は、進行波パワーP_{f_HF}の測定値MP_{f_HF}及び反射波パワーP_{r_HF}の測定値MP_{r_HF}を電圧制御部１４４に与える。この実施形態では、電圧制御部１４４は、パルス信号ＰＳが第１の信号レベルＬＶ１を有するときに、第１の期間Ｔ１における変調直流電圧B_{DC}の電圧値B_{DC}（Ｔ１）を、下式（６）～（８）の何れかにより求める。なお、Ｊ２、Ｄ２、Ｅ２は、正の係数である。また、MP_{f_HF}（Ｔ１）は、第１の期間Ｔ１における測定値MP_{f_HF}であり、MP_{r_HF}（Ｔ１）は、第１の期間Ｔ１における測定値MP_{r_HF}である。

$$B_{DC}(T1)=-(K1\times MV_{PP_LF}(T1)-J1\times MP_{r_LF}(T1))-(K2\times MV_{PP_HF}(T1)-J2\times MP_{r_HF}(T1)) \quad \cdots(6)$$

$$B_{DC}(T1)=-(K1-D1\times MP_{r_LF}(T1))\times MV_{PP_LF}(T1)-(K2-D2\times MP_{r_HF}(T1))\times MV_{PP_HF}(T1) \quad \cdots(7)$$

$$B_{DC}(T1)=-K1*MV_{PP_LF}(T1)*E1*(MP_{f_LF}(T1)-MP_{r_LF}(T1))/MP_{f_LF}(T1)-K2*MV_{PP_HF}(T1)*E2*(MP_{f_HF}(T1)-MP_{r_HF}(T1))/MP_{f_HF}(T1) \quad \cdots(8)$$

【００８３】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第３例］

【００８４】

図８は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第３例を示す図である。図９は、変調高周波、パルス信号、基板の電位、及び電圧印加部の変調直流電圧のタイミングチャートを例示する図である。第３例の回路構成は、第２例の回路構成のマッチングユニットと同じマッチングユニット３２２を含んでいる。

【００８５】

この第３の回路構成では、第１の高周波ＬＦは、パルス変調されず連続的にサセプタ１２に与えられ、第２の高周波ＨＦのみがパルス変調される。即ち、第２の高周波電源３０は、パルス変調された第２の高周波ＨＦ、即ち、変調高周波LH_{PM}を出力する（図９参照）。第１の期間Ｔ１では、第２の高周波ＨＦがサセプタ１２に供給され（図９では「ＯＮ」）、第２の期間Ｔ２では第２の高周波ＨＦのサセプタ１２への供給が停止される（図９では「ＯＦＦ」）。なお、第１の期間Ｔ１では、第１のパワーの第２の高周波ＨＦがサセプタ１２に供給され、第２の期間Ｔ２では、第１のパワーよりも低い第２のパワーの第２の高周波ＨＦがサセプタ１２に供給されてもよい。この第２の高周波電源３０は、変調高周波HF_{PM}に同期したパルス信号ＰＳを出力する。

【００８６】

変調高周波HF_{PM}がサセプタ１２に与えられると、図９に示すように、基板Ｗの電位V_{DC}は、変調高周波HF_{PM}に同期して時間変動する。具体的に、基板Ｗの電位V_{DC}は、第１の期間Ｔ１では負極性の電位$V1_{DC}$となり、第２の期間では負極性の電位$V2_{DC}$となる。電位$V2_{DC}$の絶対値は、電位$V1_{DC}$の絶対値より大きくなる。このような基板Ｗの電位とサセプタ１２の電位との差を低減させるために、図８に示すように、第３の回路構成では、電圧印加部ＤＡ３がリレースイッチ１３２と並列に設けられている。この電圧印加部ＤＡ３は、図２のプラズマ処理装置１の電圧印加部ＤＡとして用いられる

ものであり、変調直流電圧B_{DC}を出力する。

【００８７】

電圧印加部ＤＡ３は、直流電源１０４、直流電源１０５、スイッチング素子ＳＷ１、スイッチング素子ＳＷ２、時定数調整回路ＴＣ１、及び、時定数調整回路ＴＣ２を含んでいる。直流電源１０４は、負極性の直流電圧を発生する可変直流電源であり、出力する直流電圧の電圧値を調整可能である。直流電源１０４は、第１の期間Ｔ１にサセプタ１２に与える直流電圧（電圧値B_{DC}（Ｔ１））を出力する。直流電源１０５は、負極性の直流電圧を発生する可変直流電源であり、出力する直流電圧の電圧値を調整可能である。直流電源１０５は、第２の期間Ｔ２にサセプタ１２に与える直流電圧（電圧値B_{DC}（Ｔ２））を出力する。直流電源１０４及び直流電源１０５は、抵抗器１４２に対して並列に接続されている。

【００８８】

スイッチング素子ＳＷ２は、スイッチング素子ＳＷ１と同様に、第１の端子、第２の端子、及び制御端子を有している。スイッチング素子ＳＷ２は、その制御端子に入力される電気信号により第１の端子と第２の端子の間の導通状態を切り換える素子である。スイッチング素子ＳＷ２には、例えば、電界効果トランジスタを用いることができる。スイッチング素子ＳＷ２の第１の端子は、抵抗器１４２と直流電源１０５との間のノードＮＡ２に、時定数調整回路ＴＣ２を介して接続されている。スイッチング素子ＳＷ２の第２の端子は、接地電位部材に接続されている。スイッチング素子ＳＷ２の制御端子には、第２の高周波電源３０から、パルス信号ＰＳが与えられるようになっている。

【００８９】

第１の期間Ｔ１において第１の信号レベルＬＶ１のパルス信号ＰＳがスイッチング素子ＳＷ１の制御端子に与えられると、スイッチング素子ＳＷ１の第１の端子と第２の端子との間の導通が切断される。一方、第１の期間Ｔ１において第１の信号レベルＬＶ１のパルス信号ＰＳがスイッチング素子ＳＷ２の制御端子に与えられると、スイッチング素子ＳＷ２の第１の端子と第２の端子とが導通する。したがって、第１の期間Ｔ１においては、直流電源１０４の直流電圧のみがサセプタ１２に印加される。これにより、図９に示すように、第１の期間Ｔ１における変調直流電圧B_{DC}の電圧値は、負値のB_{DC}（Ｔ１）となる。

【００９０】

第２の期間Ｔ２において第２の信号レベルＬＶ２のパルス信号ＰＳがスイッチング素子ＳＷ１の制御端子に与えられると、スイッチング素子ＳＷ１の第１の端子と第２の端子が導通する。一方、第２の期間Ｔ２において第２の信号レベルＬＶ２のパルス信号ＰＳがスイッチング素子ＳＷ２の制御端子に与えられると、スイッチング素子ＳＷ２の第１の端子と第２の端子との間の導通が切断される。したがって、第２の期間Ｔ２においては、直流電源１０５の直流電圧のみがサセプタ１２に印加される。これにより、図９に示すように、第２の期間Ｔ２における変調直流電圧B_{DC}の電圧値は、負値のB_{DC}（Ｔ２）となる。なお、B_{DC}（Ｔ２）の絶対値は、B_{DC}（Ｔ１）の絶対値よりも大きい。

【００９１】

図９に示したように、基板Ｗの電位V_{DC}は、変調高周波HF_{PM}に同期しているものの、その立ち下がり及び立ち上がりには遅れが生じる。この遅れに対応するために、変調直流電圧B_{DC}の立ち下がり及び立ち上がりは、時定数調整回路ＴＣ１及び時定数調整回路ＴＣ２によって調整される。なお、時定数調整回路ＴＣ２は、例えば、ノードＮＡ２とスイッチング素子ＳＷ２との間に接続された抵抗素子であってもよい。

【００９２】

この第３例の回路構成では、変調直流電圧B_{DC}の電圧値が、第１の高周波ＬＦの電圧振幅V_{PP_LF}及び第２の高周波ＨＦ（本例では変調高周波HF_{PM}）の電圧振幅V_{PP_HF}に応じて制御される。このため、第３例の回路構成では、振幅測定部２０２から、電圧振幅V_{PP_LF}の測定値MV_{PP_LF}及び電圧振幅V_{PP_HF}の測定値MV_{PP_HF}が電圧制御部１４４に与えられる。

【００９３】
電圧制御部１４４は、パルス信号ＰＳを受け、パルス信号ＰＳが第１の信号レベルＬＶ１を有するときに、即ち、第１の期間Ｔ１において、（５）式に従い、B_{DC}（Ｔ１）を求める。電圧制御部１４４は、第１の期間Ｔ１において直流電源１０４が出力する直流電圧の電圧値がB_{DC}（Ｔ１）になるよう、直流電源１０４を制御する。
【００９４】
また、電圧制御部１４４は、パルス信号ＰＳを受け、パルス信号ＰＳが第２の信号レベルＬＶ２を有するときに、第２の期間Ｔ２における測定値MV_{PP_LF}及び測定値MV_{PP_HF}、即ち、測定値MV_{PP_LF}（Ｔ２）及び測定値MV_{PP_HF}（Ｔ２）から、下式（９）により、変調直流電圧B_{DC}の電圧値B_{DC}（Ｔ２）を求める。電圧制御部１４４は、第２の期間Ｔ２において直流電源１０５が出力する直流電圧の電圧値がB_{DC}（Ｔ２）になるよう、直流電源１０５を制御する。
$$B_{DC}(T2)=-K1\times MV_{PP_LF}(T2)-K2\times MV_{PP_HF}(T2) \quad \cdots(9)$$
【００９５】
なお、電圧制御部１４４は、電圧値B_{DC}（Ｔ１）を、式（６）～（８）の何れかにより、求めてもよい。また、電圧制御部１４４は、電圧値B_{DC}（Ｔ２）を、下式（１０）～（１２）の何れかにより求めてもよい。なお、MP_{f_HF}（Ｔ２）は第２の期間Ｔ２における測定値MP_{f_HF}であり、MP_{r_LF}（Ｔ２）は第２の期間Ｔ２における測定値MP_{r_LF}である。
$$B_{DC}(T2)=-(K1\times MV_{PP_LF}(T2)-J1\times MP_{r_LF}(T2))-(K2\times MV_{PP_HF}(T2)-J2\times MP_{r_HF}(T2)) \quad \cdots(10)$$
$$B_{DC}(T2)=-(K1-D1\times MP_{r_LF}(T2))\times MV_{PP_LF}(T2)-(K2-D2\times MP_{r_HF}(T2))\times MV_{PP_HF}(T2) \quad \cdots(11)$$
$$B_{DC}(T2)=-K1*MV_{PP_LF}(T2)*E1*(MP_{f_LF}(T2)-MP_{r_LF}(T2))/MP_{f_LF}(T2)-K2*MV_{PP_HF}(T2)*E2*(MP_{f_HF}(T2)-MP_{r_HF}(T2))/MP_{f_HF}(T2) \quad \cdots(12)$$
【００９６】
［マッチングユニット及び電圧印加部の第４例］
【００９７】
上述した第１例～第３例では、電圧振幅に基づき変調直流電圧B_{DC}の電圧値が求められていたが、変調直流電圧B_{DC}の電圧値としては、データテーブルに予め登録されている電圧値を用いることができる。データテーブルにおける電圧値は、放電を抑制し得る変調直流電圧の電圧値として予備実験等により求められる。このようなデータテーブルは、電圧制御部１４４が参照し得る任意の記憶装置に記憶され得る。
【００９８】
図１０は、データテーブルの一例を示す図である。図１０に示すデータテーブルＤＴには、パルス変調の変調周波数、第１の高周波ＬＦのパワー、第２の高周波ＨＦのパワーに対応付けたレコードとして変調直流電圧B_{DC}の電圧値を記録されている。図１０において、P_{LF}（ｐ）は第１の高周波ＬＦのパワーであり、P_{HF}（ｑ）は第２の高周波ＨＦのパワーである。ｐ、ｑはインデックスである。また、図１０において、B_{DC}（ｒ，ｐ，ｑ）は、変調直流電圧B_{DC}の電圧値である。ｒは、インデックスであり、変調周波数に対応したインデックスである。
【００９９】
図１０に示すデータテーブルＤＴに登録されている電圧値B_{DC}（ｒ，ｐ，ｑ）は、電圧値B_{DC}（Ｔ１）として用いることができる。電圧制御部１４４は、実際に利用されているパルス変調の変調周波数、第１の高周波ＬＦのパワー、及び第２の高周波ＨＦのパワーによって、データテーブルＤＴにおけるレコードを特定し、特定されたレコードを、電圧値B_{DC}（Ｔ１）として用いることができる。なお、電圧値B_{DC}（Ｔ２）が必要とさ

れる場合には、データテーブルＤＴに加えて、予備実験等により作成された電圧値B_{DC}（Ｔ２）用の別個のデータテーブルを利用することができる。

【０１００】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第５例］

【０１０１】

第５例は、基板Ｗの電位の測定値から変調直流電圧の電圧値を求めるものである。この第５例では、プラズマ処理装置１は、図１１に示すように変形される。図１１は、別の実施形態に係るプラズマ処理装置を示す図である。以下、プラズマ処理装置１と図１１に示すプラズマ処理装置１Ａとの相違点を説明する。なお、以下の説明では、図１１と共に図１２も参照する。図１２は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第５例を示す図である。

【０１０２】

プラズマ処理装置１Ａでは、誘電体１３５とサセプタ１２の周辺領域との間に電極板１７０が設けられている。電極板１７０は、例えば、セラミックから構成された絶縁体１７２によってサセプタ１２から電気的に絶縁されている。この電極板１７０には、棒状の導体１７４及びコンデンサ１７６を介して、接地電位部材に接続されている。導体１７４は、サセプタ１２に形成された貫通孔に通されており、当該サセプタ１２からは絶縁されている。

【０１０３】

基板Ｗ及びフォーカスリング３６の表面に自己バイアスが発生しているとき、即ち、処理容器１０内でプラズマが生成されているときには、基板Ｗ及びフォーカスリング３６の表面が自己バイアスに等しい負の電位V_{DC}になる。一般にフォーカスリング３６は、Ｓｉのように単一物質からなる物体であるので、フォーカスリング３６全体が電極板を構成する。即ち、誘電体１３５がそれらの間に介在するフォーカスリング３６と電極板１７０は、コンデンサ１８０を形成する。これにより、フォーカスリング３６の表面の電位が直列接続されているコンデンサ１８０及びコンデンサ１７６によって分圧され、コンデンサ１８０とコンデンサ１７６の間のノードＮＢにフォーカスリングの電位に比例した分圧電圧V_{NB}（負値）が得られる。ここで、コンデンサ１８０及びコンデンサ１７６の静電容量をそれぞれ、C_{180}、C_{176}とすると、ノードＮＢに得られる分圧電圧V_{NB}は、次の式（１３）で表わされる。

$$V_{NB}=V_{DC}\times C_{180}/(C_{180}+C_{176}) \quad \cdots(13)$$

【０１０４】

第５例における回路構成では、電圧測定回路１８２がノードＮＢに接続されている。なお、この第５例におけるマッチングユニット３２５の構成は、第１例のマッチングユニット３２０から振幅測定部１４６及びＲＦパワーモニタ１４８が省略された構成である。

【０１０５】

電圧測定回路１８２は、ノードＮＢの分圧電圧V_{NB}を測定し、式（１３）の関係から分圧電圧V_{NB}に基づき、電位V_{DC}の測定値MV_{DC}、即ち、自己バイアス電位の測定値MV_{DC}を算出する。電圧制御部１４４は、測定値MV_{DC}に等しい電圧値B_{DC}（Ｔ１）の直流電圧が第１の期間Ｔ１においてサセプタ１２に印加されるよう、電圧印加部ＤＡ１の直流電源１０４を制御する。なお、この第５例では、パルス変調された第１の高周波ＬＦ、即ち変調高周波LF_{PM}がサセプタ１２に供給される。第２の高周波ＨＦは連続的にサセプタ１２に与えられてもよく、或いは、第１の高周波ＬＦのパルス変調に同期してパルス変調されて、サセプタ１２に供給されてもよい。したがって、この第５例では、電圧印加部ＤＡ１が第２の期間Ｔ２において出力する直流電圧の電圧値B_{DC}（Ｔ２）は、略０Ｖに等しい値に設定され得る。

【０１０６】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第６例］

【０１０７】

図１３は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第６例を示す図である。第

６例は、第５例と同様に、基板Ｗの電位の測定値から変調直流電圧の電圧値を求めるものである。第６例では、パルス変調された第２の高周波ＨＦ、即ち、変調高周波$ＨＦ_{ＰＭ}$がサセプタ１２に供給される。第６例の回路構成におけるマッチングユニット３２６の構成は、図８に示したマッチングユニット３２２から振幅測定部２０２、ＲＦパワーモニタ１４８、及びＲＦパワーモニタ３４８を省略した構成である。

【０１０８】

第６例では、電圧制御部１４４は、第１の期間Ｔ１における電位$Ｖ_{ＤＣ}$の測定値$ＭＶ_{ＤＣ}$（Ｔ１）に等しい電圧値$Ｂ_{ＤＣ}$（Ｔ１）の直流電圧が、第１の期間Ｔ１においてサセプタ１２に印加されるよう、電圧印加部ＤＡ３の直流電源１０４を制御する。また、電圧制御部１４４は、第２の期間Ｔ２における電位$Ｖ_{ＤＣ}$の測定値$ＭＶ_{ＤＣ}$（Ｔ２）に等しい電圧値$Ｂ_{ＤＣ}$（Ｔ２）の直流電圧が、第２の期間Ｔ２においてサセプタ１２に印加されるよう、電圧印加部ＤＡ３の直流電源１０５を制御する。

【０１０９】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第７例］

【０１１０】

図１４は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第７例を示す図である。第７例では、コンデンサ１１２のポジション（バリコン・ステップ）$ＰＣ_{1}$及びコンデンサ１１４のポジション（バリコン・ステップ）$ＰＣ_{2}$から特定される第１の高周波ＬＦに対するプラズマインピーダンス$ＺＰ_{Ｌ}$に基づいて、第１の高周波ＬＦの電圧振幅$Ｖ_{ＰＰ_ＬＦ}$の計算値$ＣＶ_{ＰＰ_ＬＦ}$が求められ、当該$ＣＶ_{ＰＰ_ＬＦ}$から変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$の電圧値$Ｂ_{ＤＣ}$（Ｔ１）が求められる。この第７例では、パルス変調された第１の高周波ＬＦ、即ち変調高周波$ＬＦ_{ＰＭ}$がサセプタ１２に供給される。第２の高周波ＨＦは連続的にサセプタ１２に与えられてもよく、或いは、第１の高周波ＬＦのパルス変調に同期してパルス変調されて、サセプタ１２に供給されてもよい。

【０１１１】

第７例の回路構成に採用されているマッチングユニット３２７の構成は、図５に示したマッチングユニット３２１から振幅測定部１４６が省略された構成である。但し、マッチングコントローラ２１６には、データテーブルを記憶した記憶装置２１８が接続されている。

【０１１２】

記憶装置２１８に記憶されているデータテーブルには、コンデンサ１１２のポジション$ＰＣ_{1}$及びコンデンサ１１４のポジション$ＰＣ_{2}$に対応付けて、プラズマインピーダンス$ＺＰ_{Ｌ}$が登録されている。

【０１１３】

マッチングコントローラ２１６は、第１の期間Ｔ１におけるコンデンサ１１２のポジション$ＰＣ_{1}$及びコンデンサ１１４のポジション$ＰＣ_{2}$に対応付けられているプラズマインピーダンスをプラズマインピーダンス$ＺＰ_{Ｌ}$（Ｔ１）として取得して、当該プラズマインピーダンス$ＺＰ_{Ｌ}$（Ｔ１）を電位演算部２２０に出力する。

【０１１４】

電位演算部２２０は、プラズマインピーダンス$ＺＰ_{Ｌ}$（Ｔ１）を用いて、下式（１４）により、第１の期間Ｔ１における電圧振幅$Ｖ_{ＰＰ_ＬＦ}$の計算値$ＣＶ_{ＰＰ_ＬＦ}$（Ｔ１）を算出する。ここで、$Ｒ_{Ｌ}$（Ｔ１）は、プラズマインピーダンス$ＺＰ_{Ｌ}$（Ｔ１）の実部であり、$Ｘ_{Ｌ}$（Ｔ１）は、プラズマインピーダンス$ＺＰ_{Ｌ}$（Ｔ１）の虚部である。

$$ＣＶ_{ＰＰ_ＬＦ}（Ｔ１）＝\{８×（ＭＰ_{ｆ_ＬＦ}（Ｔ１）－ＭＰ_{ｒ_ＬＦ}（Ｔ１））×（Ｒ_{Ｌ}（Ｔ１）＋Ｘ_{Ｌ}（Ｔ１）^{2}／Ｒ_{Ｌ}（Ｔ１））\}^{1／2}　　…（１４）$$

【０１１５】

電圧制御部１４４は、計算値$ＣＶ_{ＰＰ_ＬＦ}$（Ｔ１）を用いて、電圧値$Ｂ_{ＤＣ}$（Ｔ１）を求める。電圧制御部１４４は、変調直流電圧$Ｂ_{ＤＣ}$が第１の期間Ｔ１において電圧値$Ｂ_{ＤＣ}$（Ｔ１）を有するよう、電圧印加部ＤＡ１の直流電源１０４を制御する。なお、電圧制御部１４４は、式（１）～（４）の何れかにおいて、測定値$ＭＶ_{ＰＰ_ＬＦ}$（Ｔ１）に

代えて計算値CV_{PP_LF}（Ｔ１）を用いることにより、電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求めることができる。また、第２の期間Ｔ２における変調直流電圧B_{DC}の電圧値B_{DC}（Ｔ２）は、略０Ｖの電圧値に設定され得る。

【０１１６】

なお、本例では、データテーブルを参照してプラズマインピーダンスZP_Lが求められているが、マッチングコントローラ２１６は、コンデンサ１１２の現時の静電容量及びコンデンサ１１４の現時の静電容量を用いて、スミスチャート上で軌跡を辿ることにより、プラズマインピーダンスZP_Lを割り出してもよい。

【０１１７】

また、マッチングコントローラ２１６は、第１の期間Ｔ１におけるコンデンサ１１２の静電容量及びコンデンサ１１４の静電容量から、第１の整合器１００のインピーダンスZ_{100}（Ｔ１）を求め、当該インピーダンスZ_{100}（Ｔ１）及び第１の期間Ｔ１における負荷インピーダンスZ_{L_LH}の測定値MZ_{L_LH}（Ｔ１）を用いて、下式（１５）により、プラズマインピーダンスZP_L（Ｔ１）を求めてもよい。

$$ZP_L(T1) = MZ_{L_LH}(T1) - Z_{100}(T1) \quad \cdots(15)$$

【０１１８】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第８例］

【０１１９】

図１５は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第８例を示す図である。第８例では、第７例と同様に、プラズマインピーダンスから高周波の電圧振幅の計算値が求められ、当該計算値から変調直流電圧B_{DC}の電圧値が求められる。但し、第８例では、第１の高周波ＬＦはパルス変調されず連続的にサセプタ１２に供給され、パルス変調された第２の高周波ＨＦ、即ち、変調高周波HF_{PM}がサセプタ１２に供給される。

【０１２０】

第８例の回路構成に採用されているマッチングユニット３２８の構成は、図８に示したマッチングユニット３２２から振幅測定部２０２が省略された構成である。但し、第７例と同様に、マッチングコントローラ２１６には、データテーブルを記憶した記憶装置２１８が接続されている。また、マッチングコントローラ３１６には、データテーブルを記憶した記憶装置２１９が接続されている。

【０１２１】

記憶装置２１９に記憶されているデータデーブルには、コンデンサ１２０のポジションPC_3及びコンデンサ１２４のポジションPC_4に対応付けて、プラズマインピーダンスZP_Hが登録されている。

【０１２２】

マッチングコントローラ２１６は、第１の期間Ｔ１におけるコンデンサ１１２のポジションPC_1及びコンデンサ１１４のポジションPC_2に対応付けられているプラズマインピーダンスZP_L（Ｔ１）を取得して、当該プラズマインピーダンスZP_L（Ｔ１）を、電位演算部２２０に出力する。また、マッチングコントローラ２１６は、第２の期間Ｔ２におけるコンデンサ１１２のポジションPC_1及びコンデンサ１１４のポジションPC_2に対応付けられているプラズマインピーダンスZP_L（Ｔ２）を取得して、当該プラズマインピーダンスZP_L（Ｔ２）を、電位演算部２２０に出力する。

【０１２３】

同様に、マッチングコントローラ３１６は、第１の期間Ｔ１におけるコンデンサ１２０のポジションPC_3及びコンデンサ１２４のポジションPC_4に対応付けられている第２の高周波ＨＦに対するプラズマインピーダンスZP_H（Ｔ１）を取得して、当該プラズマインピーダンスZP_H（Ｔ１）を、電位演算部２２０に出力する。また、マッチングコントローラ３１６は、第２の期間Ｔ２におけるコンデンサ１２０のポジションPC_3及びコンデンサ１２４のポジションPC_4に対応付けられているプラズマインピーダンスZP_H（Ｔ２）を取得して、当該プラズマインピーダンスZP_H（Ｔ２）を、電位演算部２２０に出力する。

【０１２４】
電位演算部２２０は、プラズマインピーダンスZP_L（Ｔ１）を用いて、式（１４）により、第１の期間Ｔ１における電圧振幅V_{PP_LF}の計算値CV_{PP_LF}（Ｔ１）を算出する。また、電位演算部２２０は、プラズマインピーダンスZP_H（Ｔ１）を用いて、下式（１６）により、第１の期間Ｔ１における電圧振幅V_{PP_HF}の計算値CV_{PP_HF}（Ｔ１）を算出する。ここで、R_H（Ｔ１）は、プラズマインピーダンスZP_H（Ｔ１）の実部であり、X_H（Ｔ１）は、プラズマインピーダンスZP_H（Ｔ１）の虚部である。

$$CV_{PP_HF}(T1)=\{8\times(MP_{f_HF}(T1)-MP_{r_HF}(T1))\times(R_H(T1)+X_H(T1)^2/R_H(T1))\}^{1/2} \quad \cdots(16)$$

【０１２５】
電圧制御部１４４は、計算値CV_{PP_LF}（Ｔ１）及び計算値CV_{PP_HF}（Ｔ１）を用いて、電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求める。電圧制御部１４４は、変調直流電圧B_{DC}が第１の期間Ｔ１において電圧値B_{DC}（Ｔ１）を有するよう、電圧印加部ＤＡ３の直流電源１０４を制御する。なお、電圧制御部１４４は、式（５）～（８）の何れかにおいて、測定値MV_{PP_LF}（Ｔ１）に代えて計算値CV_{PP_LF}（Ｔ１）を用い、測定値MV_{PP_HF}（Ｔ１）に代えて計算値CV_{PP_HF}（Ｔ１）を用いることにより、電圧値B_{DC}（Ｔ１）を求めることができる。

【０１２６】
また、電位演算部２２０は、プラズマインピーダンスZP_L（Ｔ２）を用いて、下式（１７）により、第２の期間Ｔ２における電圧振幅V_{PP_LF}の計算値CV_{PP_LF}（Ｔ２）を算出する。また、電位演算部２２０は、プラズマインピーダンスZP_H（Ｔ２）を用いて、下式（１８）により、第２の期間Ｔ２における電圧振幅V_{PP_HF}の計算値CV_{PP_HF}（Ｔ２）を算出する。ここで、R_L（Ｔ２）は、プラズマインピーダンスＺＰＬ（Ｔ２）の実部であり、X_L（Ｔ２）は、プラズマインピーダンスZP_L（Ｔ２）の虚部である。また、R_H（Ｔ２）は、プラズマインピーダンスZP_H（Ｔ２）の実部であり、X_H（Ｔ２）は、プラズマインピーダンスZP_H（Ｔ２）の虚部である。

$$CV_{PP_LF}(T2)=\{8\times(MP_{f_LF}(T2)-MP_{r_LF}(T2))\times(R_L(T2)+X_L(T2)^2/R_L(T2))\}^{1/2} \quad \cdots(17)$$

$$CV_{PP_HF}(T2)=\{8\times(MP_{f_HF}(T2)-MP_{r_HF}(T2))\times(R_H(T2)+X_H(T2)^2/R_H(T2))\}^{1/2} \quad \cdots(18)$$

【０１２７】
電圧制御部１４４は、計算値CV_{PP_LF}（Ｔ２）及び計算値CV_{PP_HF}（Ｔ２）を用いて、電圧値B_{DC}（Ｔ２）を求める。電圧制御部１４４は、変調直流電圧B_{DC}が第２の期間Ｔ２において電圧値B_{DC}（Ｔ２）を有するよう、電圧印加部ＤＡ３の直流電源１０４を制御する。なお、電圧制御部１４４は、式（９）～（１２）の何れかにおいて、測定値MV_{PP_LF}（Ｔ２）に代えて計算値CV_{PP_LF}（Ｔ２）を用い、測定値MV_{PP_HF}（Ｔ２）に代えて計算値CV_{PP_HF}（Ｔ２）を用いることにより、電圧値B_{DC}（Ｔ２）を求めることができる。

【０１２８】
なお、本例では、データテーブルを参照してプラズマインピーダンスZP_L及びプラズマインピーダンスZP_Hが求められているが、マッチングコントローラ２１６は、コンデンサ１１２の現時の静電容量及びコンデンサ１１４の現時の静電容量を用いて、スミスチャート上で軌跡を辿ることにより、プラズマインピーダンスZP_Lを割り出してもよく、マッチングコントローラ３１６は、コンデンサ１２０の現時の静電容量及びコンデンサ１２４の現時の静電容量を用いて、スミスチャート上で軌跡を辿ることにより、プラズマインピーダンスZP_Hを割り出してもよい。

【０１２９】
また、マッチングコントローラ２１６は、第１の期間Ｔ１におけるコンデンサ１１２の静電容量及びコンデンサ１１４の静電容量から、第１の整合器１００のインピーダンスＺ

$_{100}$（Ｔ１）を求め、当該インピーダンスＺ$_{100}$（Ｔ１）及び第１の期間Ｔ１における負荷インピーダンスＺ$_{L_LH}$の測定値ＭＺ$_{L_LH}$（Ｔ１）を用いて、プラズマインピーダンスＺＰ$_{L}$（Ｔ１）を求めてもよい。また、マッチングコントローラ２１６は、第２の期間Ｔ２におけるコンデンサ１１２の静電容量及びコンデンサ１１４の静電容量から、第１の整合器１００のインピーダンスＺ$_{100}$（Ｔ２）を求め、当該インピーダンスＺ$_{100}$（Ｔ２）及び第２の期間Ｔ２における負荷インピーダンスＺ$_{L_LH}$の測定値ＭＺ$_{L_LH}$（Ｔ２）を用いて、プラズマインピーダンスＺＰ$_{L}$（Ｔ２）を求めてもよい。また、マッチングコントローラ３１６は、第１の期間Ｔ１におけるコンデンサ１２０の静電容量及びコンデンサ１２４の静電容量から、第２の整合器１０２のインピーダンスＺ$_{102}$（Ｔ１）を求め、当該インピーダンスＺ$_{102}$（Ｔ１）及び第１の期間Ｔ１における負荷インピーダンスＺ$_{L_HF}$の測定値ＭＺ$_{L_HF}$（Ｔ１）を用いて、プラズマインピーダンスＺＰ$_{H}$（Ｔ１）を求めてもよい。さらに、マッチングコントローラ３１６は、第２の期間Ｔ２におけるコンデンサ１２０の静電容量及びコンデンサ１２４の静電容量から、第２の整合器１０２のインピーダンスＺ$_{102}$（Ｔ２）を求め、当該インピーダンスＺ$_{102}$（Ｔ２）及び第２の期間Ｔ２における負荷インピーダンスＺ$_{L_HF}$の測定値ＭＺ$_{L_HF}$（Ｔ２）を用いて、プラズマインピーダンスＺＰ$_{H}$（Ｔ２）を求めてもよい。

【０１３０】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第９例］

【０１３１】

図１６は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第９例を示す図である。第９例は、第７例の変形例である。第９例においては、電位演算部２２０は、測定されたプラズマインピーダンスＺＰ$_{L}$から電圧値Ｂ$_{DC}$（Ｔ１）を求める。

【０１３２】

具体的に、第９例の回路構成におけるマッチングユニット３２９では、高周波伝送路上で第１の整合器１００の後段にインピーダンスセンサ２２２が設けられている。インピーダンスセンサ２２２は、測定したプラズマインピーダンスＺＰ$_{L}$を電位演算部２２０に出力する。電位演算部２２０は、第１の期間Ｔ１におけるプラズマインピーダンスＺＰ$_{L}$（Ｔ１）を用いて、第７例と同様に計算値ＣＶ$_{PP_LF}$（Ｔ１）を求めることができる。

【０１３３】

［マッチングユニット及び電圧印加部の第１０例］

【０１３４】

図１７は、マッチングユニット及び電圧印加部の回路構成の第１０例を示す図である。第１０例は、第８例の変形例である。第１０例においては、電位演算部２２０は、測定されたプラズマインピーダンスＺＰ$_{L}$、及び測定されたプラズマインピーダンスＺＰ$_{H}$から、電圧値Ｂ$_{DC}$（Ｔ１）及び電圧値Ｂ$_{DC}$（Ｔ２）を求める。

【０１３５】

具体的に、第１０例の回路構成におけるマッチングユニット３２１０では、第９例と同様に高周波伝送路上で第１の整合器１００の後段にインピーダンスセンサ２２２が設けられている。さらに、高周波伝送路上で第２の整合器１０２の後段にインピーダンスセンサ２２３が設けられている。インピーダンスセンサ２２３は、測定したプラズマインピーダンスＺＰ$_{H}$を電位演算部２２０に出力する。

【０１３６】

電位演算部２２０は、第１の期間Ｔ１において測定されたプラズマインピーダンスＺＰ$_{L}$（Ｔ１）及び第１の期間Ｔ１において測定されたプラズマインピーダンスＺＰ$_{H}$（Ｔ１）を用いて、第８例と同様に計算値ＣＶ$_{PP_LF}$（Ｔ１）及び計算値ＣＶ$_{PP_HF}$（Ｔ１）を求めることができる。また、第２の期間Ｔ２において測定されたプラズマインピーダンスＺＰ$_{L}$（Ｔ１）及び第２の期間Ｔ２において測定されたプラズマインピーダンスＺＰ$_{H}$（Ｔ１）を用いて、第８例と同様に計算値ＣＶ$_{PP_LF}$（Ｔ２）及び計算値ＣＶ$_{PP_HF}$（Ｔ２）を求めることができる。

【０１３７】

以上、種々の実施形態について説明してきたが、上述した実施形態に限定されることなく種々の変形態様を構成可能である。

【０１３８】

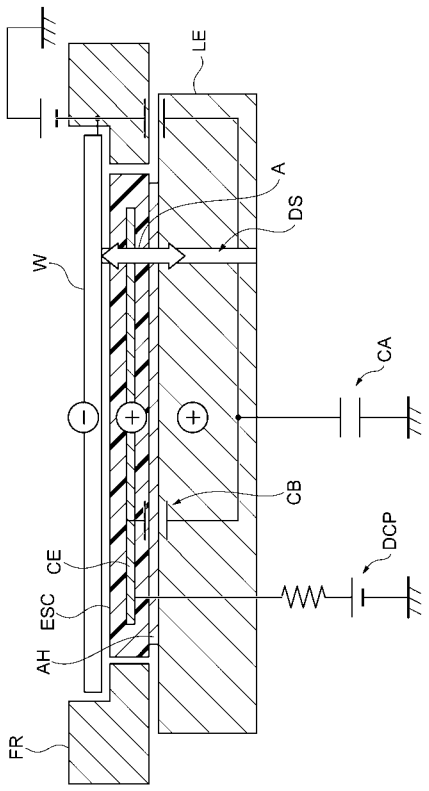
例えば、上述した電圧印加部ＤＡ１及び電圧印加部ＤＡ３は、パルス変調された直流電圧を出力できない直流電源を有しているが、パルス変調された直流電圧を出力可能な直流電源であれば、電圧印加部ＤＡ１及び電圧印加部ＤＡ３のスイッチング素子は不要となる。また、第１の整合器１００及び第２の整合器１０２の整合回路も、上述した整合回路に限定されるものではない。例えば、第１の整合器１００は、インダクタス可変の二つのインダクタと固定容量のコンデンサとからなるＴ型の整合回路を、当該第１の整合器１００の整合回路として採用することができる。

【符号の説明】

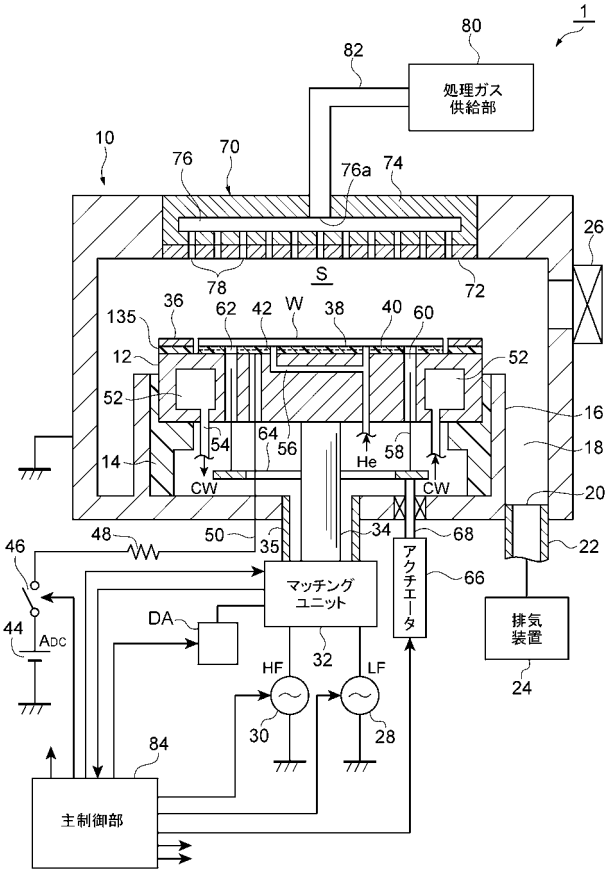
【０１３９】

１…プラズマ処理装置、１０…処理容器、１２…サセプタ、２４…排気装置、２８…第１の高周波電源、３０…第２の高周波電源、３２…マッチングユニット、３４…給電棒、３６…フォーカスリング、３８…静電チャック、４４…直流電源、７０…シャワーヘッド、８０…処理ガス供給部、８４…主制御部、１００…第１の整合器、１０２…第２の整合器、１０４…直流電源、１０５…直流電源、１０８…第１の高周波給電部、１１０…第２の高周波給電部、１４４…電圧制御部、１４６…振幅測定部、１４８…ＲＦパワーモニタ、１８２…電圧測定回路、２０２…振幅測定部、２１０…インピーダンスセンサ、２１６…マッチングコントローラ、２２０…電位演算部、２２０…電位演算部、２２２…インピーダンスセンサ、２２３…インピーダンスセンサ、３１０…インピーダンスセンサ、３１６…マッチングコントローラ、３２０，３２１，３２２，３２５，３２６，３２７，３２８，３２９，３２１０…マッチングユニット、３４８…ＲＦパワーモニタ、ＤＡ…電圧印加部、ＳＷ１…スイッチング素子、ＳＷ２…スイッチング素子。

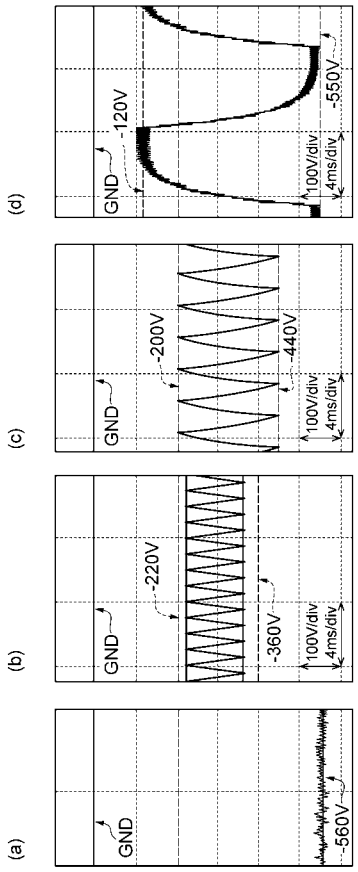
【図１】



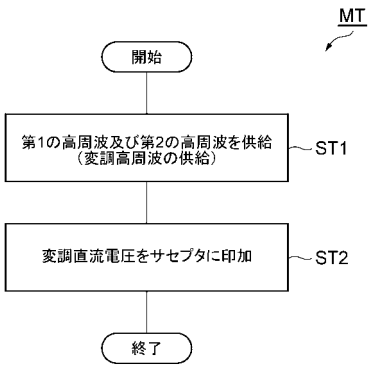
【図２】



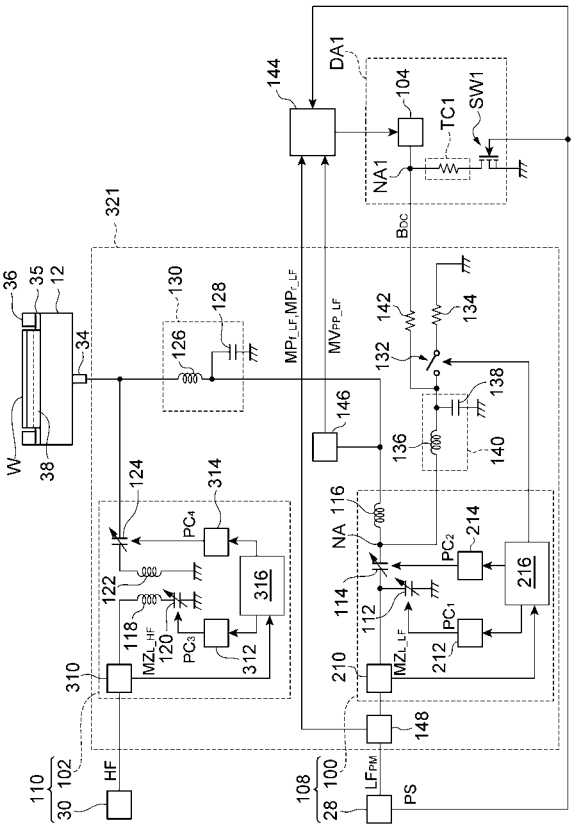
【図３】


(d)
GND
120V
-550V
100V/div
4ms/div
(c)
GND
-200V
-440V
100V/div
4ms/div
(b)
GND
-220V
-360V
100V/div
4ms/div
(a)
GND
-560V

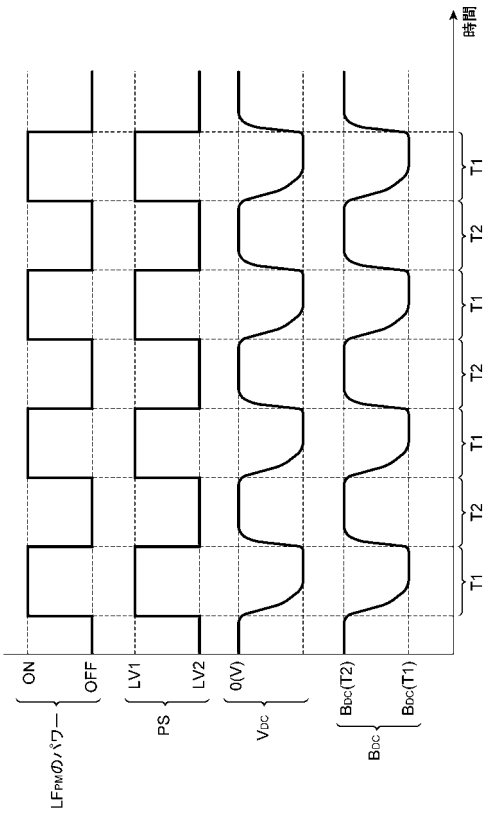
【図４】


MT
開始
第1の高周波及び第2の高周波を供給
（変調高周波の供給）
ST1
変調直流電圧をサセプタに印加
ST2
終了

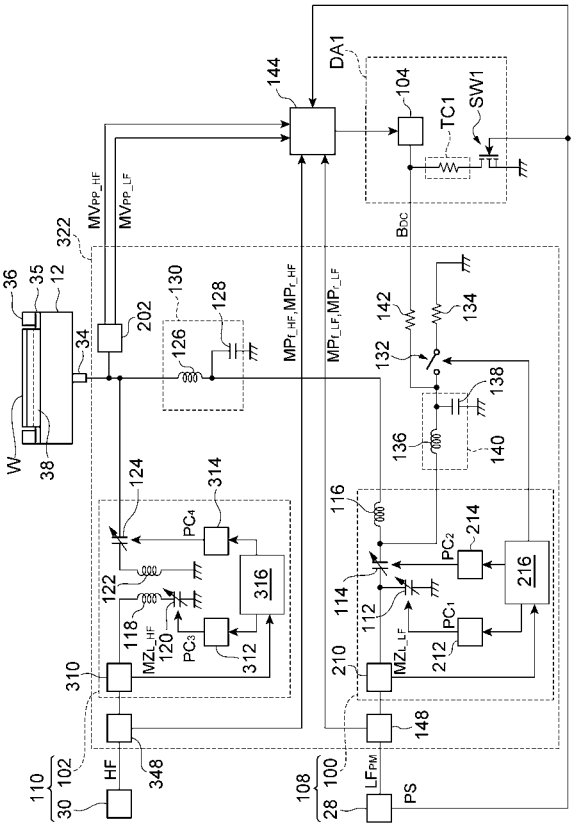
【図５】


DA1
144
104
TC1
SW1
NA1
BDC
321
36
35
12
130
128
126
34
MP_LF,MP_LF
MVP_LF
142
134
132
138
146
136
140
W
38
124
314
PC4
NA 116
214
PC2
122
316
118
MZ_HF
120
PC3
312
114
112
PC1
216
310
210
MZ_LF
212
148
110
102
30
HF
108
100
28
LFPM
PS

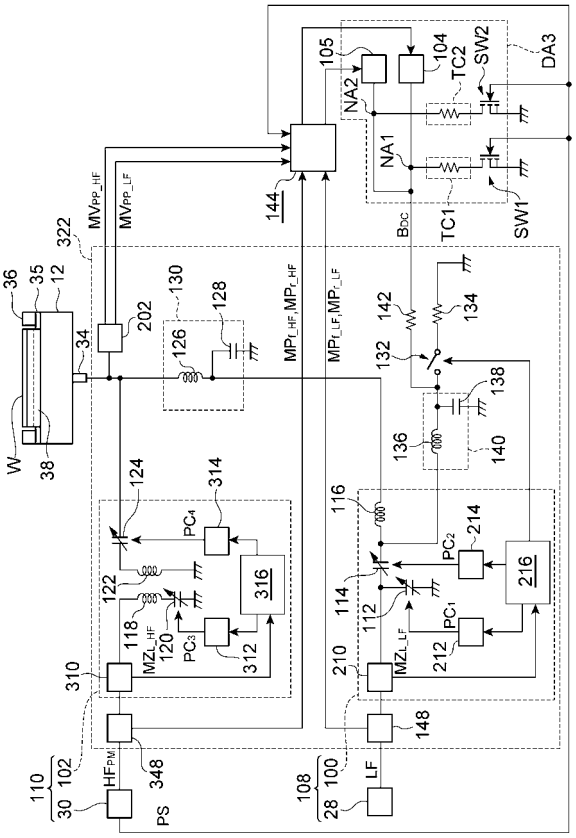
【図６】


時間
T1
T2
T1
T2
T1
T2
T1
ON
OFF
LFPMのパワー
LV1
LV2
PS
0(V)
VDC
BDC(T2)
BDC(T1)
BDC

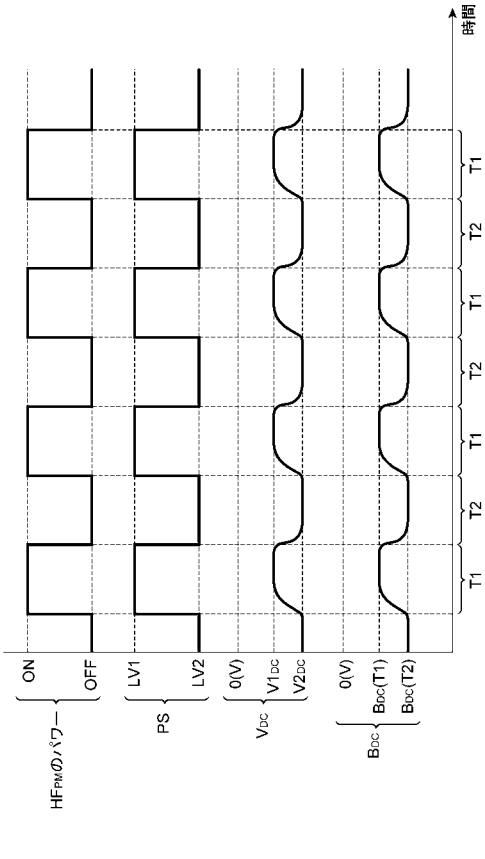
【図７】


DA1
144
104
TC1
SW1
MVPP_HF
MVPP_LF
322
36
35
12
34
202
130
128
126
MPL_HF,MPL_HF
MPL_LF,MPL_LF
132
142
134
138
136
140
W
38
124
314
PC4
122
316
118
MZL_HF
120
PC3
312
116
PC2
214
216
114
112
PC1
212
210
MZL_LF
310
148
110
30
102
HF
348
108
28
100
LFPM
PS

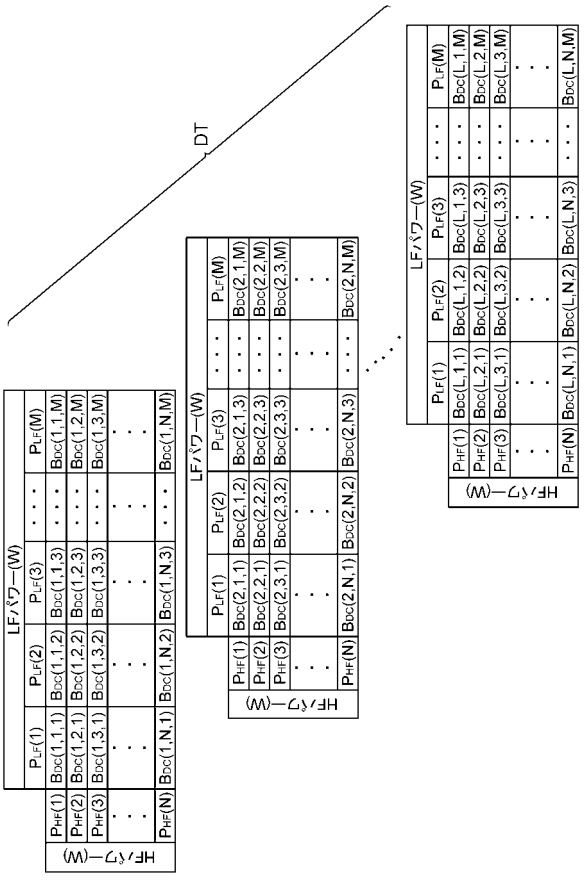
【図８】


DA3
105
NA2
104
TC2
SW2
NA1
SW1
144
MVPP_HF
MVPP_LF
322
36
35
12
34
202
130
128
126
MPL_HF,MPL_HF
MPL_LF,MPL_LF
132
142
134
138
136
140
W
38
124
314
PC4
122
316
118
MZL_HF
120
PC3
312
116
PC2
214
216
114
112
PC1
212
210
MZL_LF
310
148
110
30
102
HFPM
348
PS
108
28
100
LF

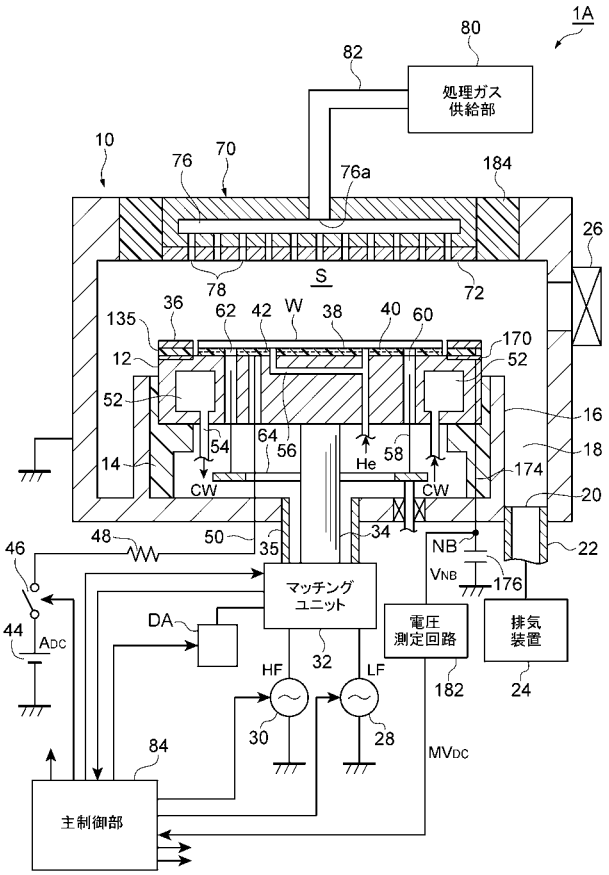
【図９】


HFPMのパワー
ON
OFF
PS
LV1
LV2
VDC
0(V)
V1DC
V2DC
BDC
0(V)
BDC(T1)
BDC(T2)
時間
T1
T2

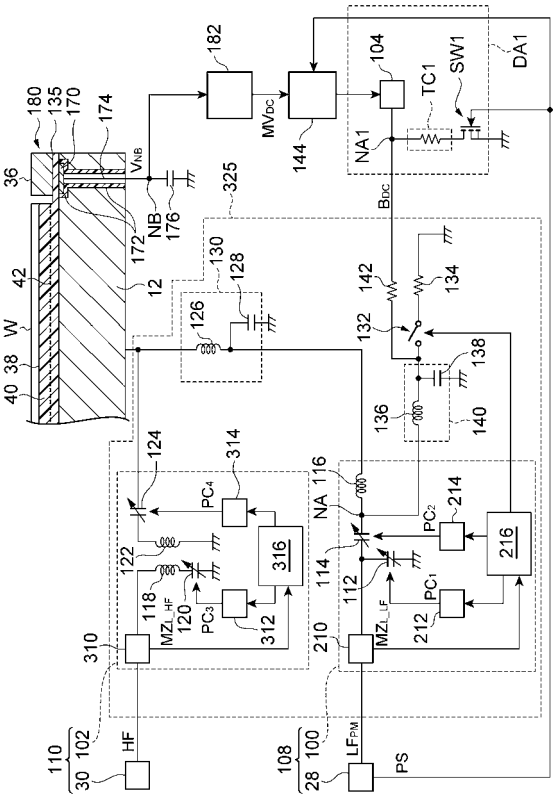
【図１０】


DT
LFパワー(W)
PLF(1)
PLF(2)
PLF(3)
PLF(M)
HFパワー(W)
PHF(1)
PHF(2)
PHF(3)
PHF(N)
BDC(1,1,1)
BDC(1,1,2)
BDC(1,1,3)
BDC(1,1,M)
BDC(1,2,1)
BDC(1,2,2)
BDC(1,2,3)
BDC(1,2,M)
BDC(1,3,1)
BDC(1,3,2)
BDC(1,3,3)
BDC(1,3,M)
BDC(1,N,1)
BDC(1,N,2)
BDC(1,N,3)
BDC(1,N,M)
BDC(2,1,1)
BDC(2,1,2)
BDC(2,1,3)
BDC(2,1,M)
BDC(2,2,1)
BDC(2,2,2)
BDC(2,2,3)
BDC(2,2,M)
BDC(2,3,1)
BDC(2,3,2)
BDC(2,3,3)
BDC(2,3,M)
BDC(2,N,1)
BDC(2,N,2)
BDC(2,N,3)
BDC(2,N,M)
BDC(L,1,1)
BDC(L,1,2)
BDC(L,1,3)
BDC(L,1,M)
BDC(L,2,1)
BDC(L,2,2)
BDC(L,2,3)
BDC(L,2,M)
BDC(L,3,1)
BDC(L,3,2)
BDC(L,3,3)
BDC(L,3,M)
BDC(L,N,1)
BDC(L,N,2)
BDC(L,N,3)
BDC(L,N,M)

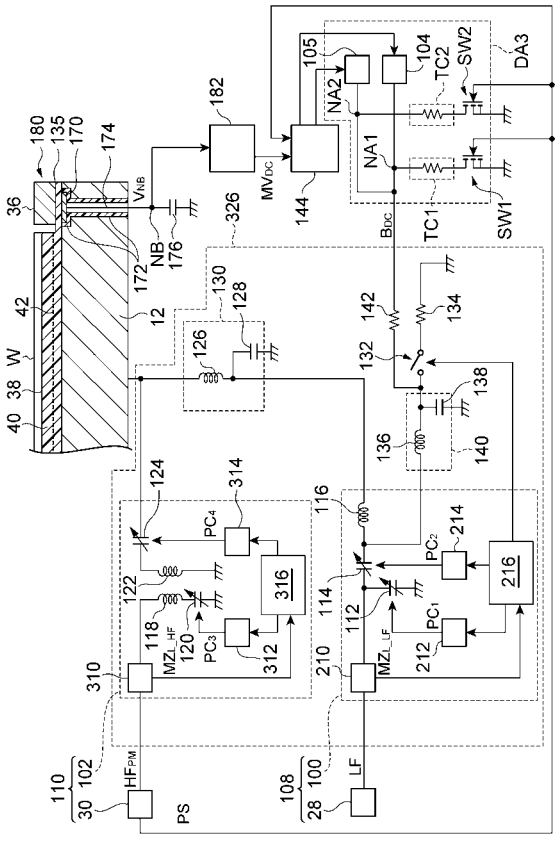
【図１１】



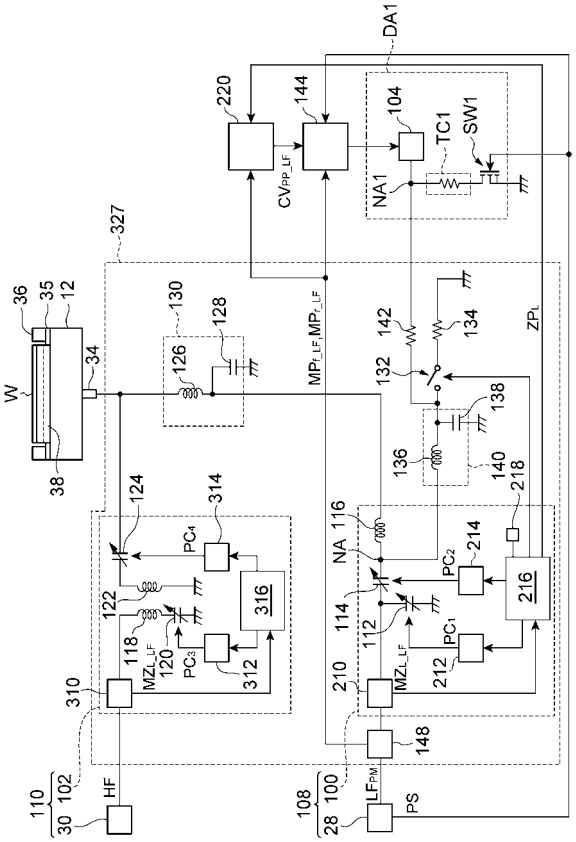
【図１２】



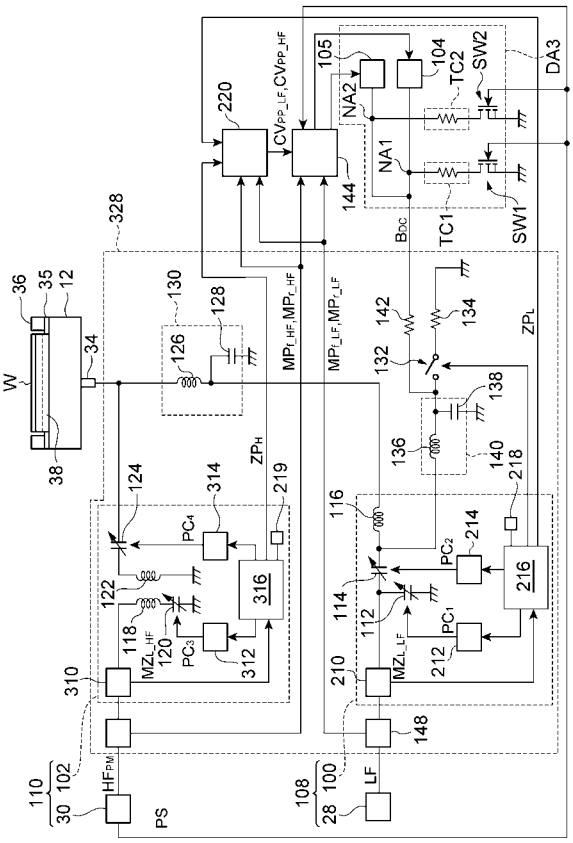
【図１３】



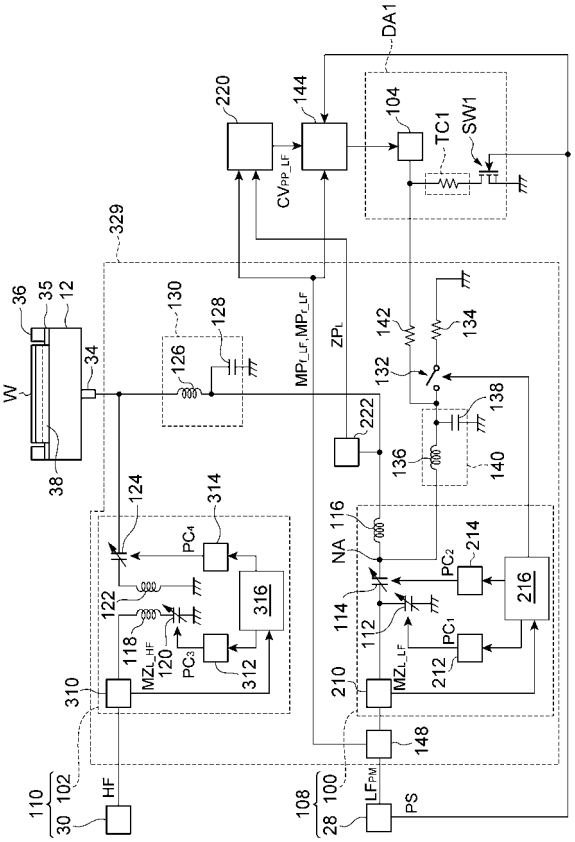
【図１４】



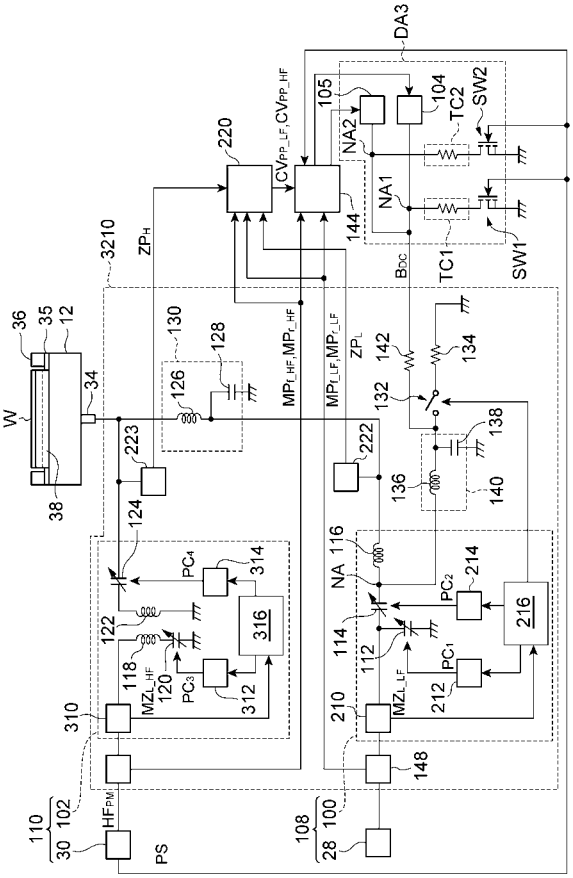
【図１５】


W
PS
HF
LF
DA3
SW1
SW2
TC1
TC2
NA1
NA2
BDC
ZPH
ZPL
MZL_HF
MZL_LF
PC1
PC2
PC3
PC4
MPL_HF,MPL_HF
MPL_LF,MPL_LF
CVPP_LF,CVPP_HF

【図１６】


W
PS
HF
LF
DA1
SW1
TC1
NA
ZPL
MZL_HF
MZL_LF
PC1
PC2
PC3
PC4
MPL_LF,MPL_LF
CVPP_LF

【図１７】


W
PS
HF
LF
DA3
SW1
SW2
TC1
TC2
NA1
NA2
BDC
ZPH
ZPL
MZL_HF
MZL_LF
PC1
PC2
PC3
PC4
MPL_HF,MPL_HF
MPL_LF,MPL_LF
CVPP_LF,CVPP_HF

フロントページの続き

Ｆターム(参考) 5F131 AA02 BA19 CA04 EA03 EA13 EB14 EB17 EB18 EB72 EB78
EB82 EB84 HA28