

(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2020-181651
(P2020-181651A)

(43) 公開日 令和2年11月5日(2020.11.5)

(51) Int. Cl. F I テーマコード(参考)
H05H 1/46 (2006.01) H05H 1/46 R 2G084
 H05H 1/46 B

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2019-82216 (P2019-82216)
 (22) 出願日 平成31年4月23日(2019.4.23)

(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
 (74) 代理人 100161425
 弁理士 大森 鉄平
 (72) 発明者 金子 和史
 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

最終頁に続く

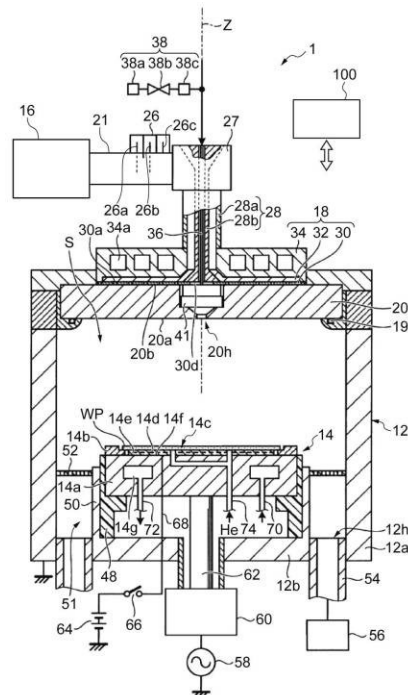
(54) 【発明の名称】 補正関数を決定する方法

(57) 【要約】

【課題】パルス変調されたマイクロ波を検波する検波部の誤差を補正する補正値を容易に決定することができる方法を提供する。

【解決手段】方法は、パルスの設定デューティ比を第1設定デューティ比に設定し、マイクロ波のパワーの測定値を校正用測定器を用いて設定パワーごとに測定し、設定パワーごとに設定パワーに対するパワーの測定値の誤差を算出する測定工程と、誤差に基づいてパワーの補正値を設定パワーごとに算出し、設定パワーと補正値との関係に対数近似して第1設定デューティ比における設定パワーと補正値との関係を示す第1関数を決定する近似工程と、第1関数により定まる第1設定デューティ比における補正値と、設定デューティ比100%における予め定められた補正値とを一次関数で近似することにより、設定デューティ比と設定パワーと補正値との関係を示す補正関数を決定する決定工程とを有する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

マイクロ波発生部から出力されパルス変調されたマイクロ波のパワーを検波部を用いて測定し、測定結果が設定パワーとなるようにマイクロ波発生部を制御するマイクロ波出力装置において、前記検波部の誤差を補正するための補正関数を決定する方法であって、

パルスの設定デューティ比を予め定められた第 1 設定デューティ比に設定し、マイクロ波発生部から出力されたマイクロ波のパワーの測定値を校正用測定器を用いて少なくとも 2 つの設定パワーに関して設定パワーごとに測定し、前記設定パワーごとに前記設定パワーに対するパワーの測定値の誤差を算出する測定工程と、

前記誤差に基づいてパワーの補正値を前記設定パワーごとに算出し、前記設定パワーと前記補正値との関係を示す第 1 関数を決定する近似工程と、

前記第 1 関数により定まる前記第 1 設定デューティ比における前記補正値と、設定デューティ比 100% における予め定められた前記補正値とを一次関数で近似することにより、前記設定デューティ比と前記設定パワーと前記補正値との関係を示す前記補正関数を決定する決定工程と、

を有する補正関数を決定する方法。

【請求項 2】

前記予め定められた設定デューティ比 100% の前記補正値は 0 である請求項 1 に記載の補正関数を決定する方法。

【請求項 3】

前記補正関数は、前記第 1 設定デューティ比以上のデューティ比における補正値を決定する関数であり、

前記決定工程では、前記第 1 設定デューティ比以下の補正関数を別途決定する、請求項 1 又は 2 に記載の補正関数を決定する方法。

【請求項 4】

前記マイクロ波は単一周波数ピークを有する請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の補正関数を決定する方法。

【請求項 5】

前記測定工程、前記近似工程及び前記決定工程を単一周波数ピークを有するマイクロ波を用いて実行することで単一周波数ピークを有するマイクロ波にかかる前記補正関数を決定し、

パルスの設定デューティ比を予め定められた第 2 設定デューティ比に設定し、マイクロ波発生部から出力された帯域幅を有するマイクロ波のパワーの測定値を校正用測定器を用いて少なくとも 2 つの設定パワーに関して設定パワーごとに測定し、前記設定パワーごとに前記設定パワーに対するパワーの測定値の誤差を算出する第 2 測定工程と、

単一周波数ピークを有するマイクロ波にかかる前記誤差と帯域幅を有するマイクロ波にかかる前記誤差との差分を前記設定パワーごとに算出する算出工程と、

単一周波数ピークを有するマイクロ波のパワーの前記補正値に対する修正値を前記差分に基づいて前記設定パワーごとに算出し、前記設定パワーと前記修正値との関係を示す第 2 関数を決定する第 2 近似工程と、

前記第 2 関数により定まる前記第 2 設定デューティ比における前記修正値と、設定デューティ比 100% における予め定められた前記修正値とを一次関数で近似することにより、前記設定デューティ比と前記設定パワーと前記修正値との関係を示す修正項を決定する第 2 決定工程と、

前記修正項と単一周波数ピークを有するマイクロ波にかかる前記補正関数とに基づいて、帯域幅を有するマイクロ波にかかる前記補正関数を決定する第 3 決定工程と、をさらに有する、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の補正関数を決定する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、補正関数を決定する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1は、プラズマ励起用のマイクロ波をパルス変調する装置を開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平6 - 267900号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、パワーがON/OFFするようにパルス変調されたマイクロ波を検波する検波部の誤差を補正する補正値を容易に決定することができる方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一態様においては、検波部の誤差を補正するための補正関数を決定する方法が提供される。マイクロ波出力装置は、マイクロ波発生部から出力されパルス変調されたマイクロ波のパワーを検波部を用いて測定し、測定結果が設定パワーとなるようにマイクロ波発生部を制御する。この方法は、測定工程と、近似工程と、決定工程とを有する。測定工程では、パルスの設定デューティ比を予め定められた第1設定デューティ比に設定する。そして、マイクロ波発生部から出力されたマイクロ波のパワーの測定値を校正用測定器を用いて少なくとも2つの設定パワーに関して設定パワーごとに測定する。そして、設定パワーごとに設定パワーに対するパワーの測定値の誤差を算出する。近似工程では、誤差に基づいてパワーの補正値を設定パワーごとに算出する。そして、設定パワーと補正値との関係に対数近似することにより、第1設定デューティ比における設定パワーと補正値との関係を示す第1関数を決定する。決定工程では、第1関数により定まる第1設定デューティ比における補正値と、設定デューティ比100%における予め定められた補正値とを一次関数で近似する。これにより、設定デューティ比と設定パワーと補正値との関係を示す補正関数を決定する。

20

30

【発明の効果】

【0006】

本開示の一態様によれば、パワーがON/OFFするようにパルス変調されたマイクロ波を検波する検波部の誤差を補正する補正値を容易に決定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】一実施形態に係る方法の一例を示すフローチャートである。

【図2】図1に示される方法の実行に用いることが可能なプラズマ処理装置を例示する図である。

40

【図3】マイクロ波出力装置の一例を示す図である。

【図4】補正係数を準備する際のマイクロ波出力装置を含むシステムの構成を示す図である。

【図5】波形発生器におけるマイクロ波の生成原理の一例を説明する図である。

【図6】測定部の一例を示す図である。

【図7】パワーがパルス変調されたマイクロ波の一例である。

【図8】ON/OFF制御に関する信号波形の一例である。

【図9】パワーの精度の定義を説明する一例の図である。

【図10】一実施形態に係る他の方法の一例を示すフローチャートである。

【図11】決定された補正値を用いて動作するマイクロ波出力装置の一例を示す図である

50

。

【図12】単一周波数ピークを有するマイクロ波の設定デューティ比とパワー精度との関係をシミュレーションした結果である。

【図13】単一周波数ピークを有するマイクロ波にかかる補正関数を決定するシミュレーション結果である。

【図14】測定部のパワー精度のシミュレーション結果である。

【図15】モード間のパワー精度差平均値のシミュレーション結果である。

【図16】モード間のパワー精度差ばらつきのシミュレーション結果である。

【図17】帯域幅を有するマイクロ波にかかる補正関数を決定するシミュレーション結果である。

10

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、種々の例示的实施形態について説明する。

【0009】

電子デバイスの製造分野において、被処理体へのダメージを一層低減させるために、マイクロ波の低パワー化が進んでいる。しかしながら、マイクロ波のパワーを小さくし過ぎるとプラズマが不安定となったり失火したりするおそれがある。このため、特許文献1に記載の装置のように、マイクロ波のパワーをパルス変調することが考えられる。このようなパルス変調をするにあたっては、マイクロ波出力装置から出力された進行波のパワーが精度よくパルス変調される必要がある。

20

【0010】

マイクロ波出力装置が検波部の測定結果を用いてパワーの制御をする場合、検波部の測定結果の精度がマイクロ波のパワーの精度に影響を与える。このため、装置出荷前において校正用測定器を用いて検波部の誤差を測定して補正することができれば、パワーの精度を向上させたマイクロ波出力装置を提供することができる。しかしながら、検波部の誤差は、設定パワーやパルス条件などによって異なるという知見を得た。このため、任意のプロセスに対応するためには、全てのプロセス条件に対して校正用測定器で測定されたパワーと比較して補正値を決定することが必要となる。

【0011】

本開示は、パワーがON/OFFするようにパルス変調されたマイクロ波を検波する検波部の誤差を補正する補正値を容易に決定することができる方法を提供する。

30

【0012】

本開示の一態様においては、検波部の誤差を補正するための補正関数を決定する方法が提供される。マイクロ波出力装置は、マイクロ波発生部から出力されパルス変調されたマイクロ波のパワーを検波部を用いて測定し、測定結果が設定パワーとなるようにマイクロ波発生部を制御する。この方法は、測定工程と、近似工程と、決定工程とを有する。測定工程では、パルスの設定デューティ比を予め定められた第1設定デューティ比に設定する。そして、マイクロ波発生部から出力されたマイクロ波のパワーの測定値を校正用測定器を用いて少なくとも2つの設定パワーに関して設定パワーごとに測定する。そして、設定パワーごとに設定パワーに対するパワーの測定値の誤差を算出する。近似工程では、誤差に基づいてパワーの補正値を設定パワーごとに算出する。そして、設定パワーと補正値との関係に対数近似することにより、第1設定デューティ比における設定パワーと補正値との関係を示す第1関数を決定する。決定工程では、第1関数により定まる第1設定デューティ比における補正値と、設定デューティ比100%における予め定められた補正値とを一次関数で近似する。これにより、設定デューティ比と設定パワーと補正値との関係を示す補正関数を決定する。

40

【0013】

この方法では、少なくとも2つの設定パワーに関して、設定パワーと校正用測定器で測定されたパワーの測定値との誤差が測定される。そして、誤差に基づいてパワーの補正値が設定パワーごとに算出される。そして、設定パワーと補正値との関係が対数近似され、

50

第1設定デューティ比における設定パワーと補正值との関係を示す第1関数が決定される。決定工程では、第1関数により定まる第1設定デューティ比における補正值と、設定デューティ比100%における予め定められた補正值とが一次関数で近似される。これにより、設定デューティ比と設定パワーと補正值との関係を示す補正関数が決定される。このように、この方法によれば、少なくとも2点の測定パワーに関して誤差を計測するだけで、任意のプロセス条件においてパワーの誤差を補正することができる補正関数を決定することができる。よって、この方法は、全てのプロセス条件に対して校正用測定器で測定されたパワーと比較して補正值を決定する方法と比べて、補正值を容易に決定することができる。

【0014】

一実施形態においては、予め定められた設定デューティ比100%の補正值は0としてもよい。これにより、補正関数を容易に一次関数で近似することができる。

【0015】

一実施形態においては、補正関数は、第1設定デューティ比以上のデューティ比における補正值を決定する関数であり、決定工程では、第1設定デューティ比以下の補正関数を別途決定してもよい。第1設定デューティより小さいデューティ比となるプロセス条件では補正関数の精度が低下する。このため、第1設定デューティより小さいデューティ比における補正関数を別個に決定することで、全ての範囲の設定デューティ比において精度良く補正関数を決定することができる。

【0016】

一実施形態においては、マイクロ波は単一周波数ピークを有してもよい。この場合、単一周波数ピークを有するマイクロ波のパワーの精度を向上させることができる。

【0017】

一実施形態においては、測定工程、近似工程及び決定工程を単一周波数ピークを有するマイクロ波を用いて実行することで単一周波数ピークを有するマイクロ波にかかる補正関数を決定してもよい。さらに、方法は、第2測定工程と、算出工程と、第2近似工程と、第2決定工程と、第3決定工程とを有してもよい。第2測定工程では、パルスの設定デューティ比を予め定められた第2設定デューティ比に設定する。そして、マイクロ波発生部から出力された帯域幅を有するマイクロ波のパワーの測定値を校正用測定器を用いて少なくとも2つの設定パワーに関して設定パワーごとに測定する。そして、設定パワーごとに設定パワーに対するパワーの測定値の誤差を算出する。算出工程では、単一周波数ピークを有するマイクロ波にかかる誤差と帯域幅を有するマイクロ波にかかる誤差との差分を設定パワーごとに算出する。第2近似工程では、単一周波数ピークを有するマイクロ波のパワーの補正值に対する修正値を差分に基づいて設定パワーごとに算出する。そして、設定パワーと修正値との関係に対数近似することにより、第2設定デューティ比における設定パワーと修正値との関係を示す第2関数を決定する。第2決定工程では、第2関数により定まる第2設定デューティ比における修正値と、設定デューティ比100%における予め定められた修正値とを一次関数で近似する。これにより、設定デューティ比と設定パワーと修正値との関係を示す修正項を決定する。第3決定工程では、修正項と単一周波数ピークを有するマイクロ波にかかる補正関数とに基づいて、帯域幅を有するマイクロ波にかかる補正関数を決定する。この方法によれば、単一周波数ピークを有するマイクロ波の補正関数を修正して、帯域幅を有するマイクロ波の補正関数を得ることができる。

【0018】

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、以下の説明及び各図面において、同一又は相当要素には同一符号を付し、重複する説明は繰り返さない。図面の寸法比率は、説明のものとは必ずしも一致していない。「上」「下」「左」「右」の語は、図示する状態に基づくものであり、便宜的なものである。

【0019】

図1は、一実施形態に係る方法の一例を示すフローチャートである。図1に示される方法MT1は、検波部の誤差を補正するための補正関数を決定する方法である。方法MT1

10

20

30

40

50

により決定される補正関数は、マイクロ波発生部から出力されパルス変調されたマイクロ波のパワーを検波部を用いて測定し、測定結果が設定パワーとなるようにマイクロ波発生部を制御するマイクロ波出力装置に適用される。方法MT1の実行には、一例としてプラズマ処理装置が用いられる。図2は、方法MT1の実行に用いることが可能な一例のプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図2に示されるように、プラズマ処理装置1は、チャンバ本体12、及び、マイクロ波出力装置16を備える。プラズマ処理装置1は、ステージ14、アンテナ18、及び、誘電体窓20を更に備え得る。

【0020】

チャンバ本体12は、その内部に処理空間Sを提供する。チャンバ本体12は、側壁12a及び底部12bを有する。側壁12aは、略筒形状に形成される。この側壁12aの中心軸線は、鉛直方向に延びる軸線Zに略一致する。底部12bは、側壁12aの下端側に設けられる。底部12bには、排気用の排気孔12hが設けられる。また、側壁12aの上端部は開口である。

10

【0021】

側壁12aの上端部の上には誘電体窓20が設けられる。この誘電体窓20は、処理空間Sに対向する下面20aを有する。誘電体窓20は、側壁12aの上端部の開口を閉じている。この誘電体窓20と側壁12aの上端部との間にはリング19が介在する。このリング19により、チャンバ本体12がより確実に密閉される。

【0022】

ステージ14は、処理空間S内に收容される。ステージ14は、鉛直方向において誘電体窓20と対面するように設けられる。また、ステージ14は、誘電体窓20と当該ステージ14との間に処理空間Sを挟むように設けられる。このステージ14は、その上に載置される被加工物WP（例えば、ウエハ）を支持するように構成される。

20

【0023】

一実施形態において、ステージ14は、基台14a及び静電チャック14cを含む。基台14aは、略円盤形状を有しており、アルミニウムといった導電性の材料から形成されている。基台14aの中心軸線は、軸線Zに略一致する。この基台14aは、筒状支持部48によって支持される。筒状支持部48は、絶縁性の材料から形成されており、底部12bから垂直上方に延びる。筒状支持部48の外周には、導電性の筒状支持部50が設けられる。筒状支持部50は、筒状支持部48の外周に沿ってチャンバ本体12の底部12bから垂直上方に延びる。この筒状支持部50と側壁12aの間には、環状の排気路51が形成される。

30

【0024】

排気路51の上部には、バッフル板52が設けられる。バッフル板52は、環形状を有する。バッフル板52には、当該バッフル板52を板厚方向に貫通する複数の貫通孔が形成される。このバッフル板52の下方には上述した排気孔12hが設けられる。排気孔12hには、排気管54を介して排気装置56が接続される。排気装置56は、自動圧力制御弁（APC：Automatic Pressure Control valve）と、ターボ分子ポンプといった真空ポンプとを有する。この排気装置56により、処理空間Sを所望の真空度まで減圧することができる。

40

【0025】

基台14aは、高周波電極を兼ねる。基台14aには、給電棒62及びマッチングユニット60を介して、高周波バイアス用の高周波電源58が電氣的に接続される。高周波電源58は、被加工物WPに引き込むイオンのエネルギーを制御するのに適した一定の周波数、例えば、13.56MHzの高周波を、設定されたパワーで出力する。

【0026】

さらに、高周波電源58は、パルス生成器を有し、高周波パワー（RFパワー）をパルス変調して基台14aに印加してもよい。この場合、高周波電源58は、HighレベルのパワーとLowレベルのパワーとが周期的に繰り返される高周波パワーとなるようにパルス変調する。高周波電源58は、パルス生成器により生成された同期信号PSS-Rに

50

基づいてパルス調整する。同期信号 P S S - R は、高周波パワーの周期及びデューティ比を決定する信号である。パルス変調時の設定の一例として、パルス周波数は 1 0 H z ~ 2 5 0 k H z であり、パルスのデューティ比（パルス周期に対する H i g h レベルパワー時間の比）は 1 0 % ~ 9 0 % である。

【 0 0 2 7 】

マッチングユニット 6 0 は、高周波電源 5 8 側のインピーダンスと、主に電極、プラズマ、チャンバ本体 1 2 といった負荷側のインピーダンスとの間で整合をとるための整合器を収容する。この整合器の中には自己バイアス生成用のブロッキングコンデンサが含まれる。マッチングユニット 6 0 は、高周波パワーがパルス変調される場合、同期信号 P S S - R に基づいて整合をとるように動作する。

10

【 0 0 2 8 】

基台 1 4 a の上面には、静電チャック 1 4 c が設けられる。静電チャック 1 4 c は、被加工物 W P を静電吸着力で保持する。静電チャック 1 4 c は、電極 1 4 d、絶縁膜 1 4 e、及び、絶縁膜 1 4 f を含んでおり、概ね円盤形状である。静電チャック 1 4 c の中心軸線は軸線 Z に略一致する。この静電チャック 1 4 c の電極 1 4 d は、導電膜によって構成されており、絶縁膜 1 4 e と絶縁膜 1 4 f との間に設けられる。電極 1 4 d には、直流電源 6 4 がスイッチ 6 6 及び被覆線 6 8 を介して電氣的に接続される。静電チャック 1 4 c は、直流電源 6 4 より印加される直流電圧により発生するクーロン力によって、被加工物 W P を吸着保持することができる。また、基台 1 4 a 上には、フォーカスリング 1 4 b が設けられる。フォーカスリング 1 4 b は、被加工物 W P 及び静電チャック 1 4 c を囲むように配置される。

20

【 0 0 2 9 】

基台 1 4 a の内部には、冷媒室 1 4 g が設けられる。冷媒室 1 4 g は、例えば、軸線 Z を中心に延在するように形成される。この冷媒室 1 4 g には、チラーユニットからの冷媒が配管 7 0 を介して供給される。冷媒室 1 4 g に供給された冷媒は、配管 7 2 を介してチラーユニットに戻される。この冷媒の温度がチラーユニットによって制御されることにより、静電チャック 1 4 c の温度、ひいては被加工物 W P の温度が制御される。

【 0 0 3 0 】

また、ステージ 1 4 には、ガス供給ライン 7 4 が形成される。このガス供給ライン 7 4 は、伝熱ガス、例えば、H e ガスを、静電チャック 1 4 c の上面と被加工物 W P の裏面との間に供給するために設けられる。

30

【 0 0 3 1 】

マイクロ波出力装置 1 6 は、チャンバ本体 1 2 内に供給される処理ガスを励起させるためのマイクロ波を出力する。マイクロ波出力装置 1 6 は、マイクロ波の周波数、パワー、及び、帯域幅を可変に調整するよう構成される。マイクロ波出力装置 1 6 は、例えば、マイクロ波の帯域幅を略 0 に設定することによって、単一周波数のマイクロ波を発生することができる。また、マイクロ波出力装置 1 6 は、その中に複数の周波数成分を有する帯域幅を有したマイクロ波を発生することができる。これら複数の周波数成分のパワーは同一のパワーであってもよく、帯域内の中央周波数成分のみが他の周波数成分のパワーよりも大きいパワーを有していてもよい。一例において、マイクロ波出力装置 1 6 は、マイクロ波のパワーを 0 W ~ 5 0 0 0 W の範囲内で調整することができる。マイクロ波出力装置 1 6 は、マイクロ波の周波数又は中央周波数を 2 4 0 0 M H z ~ 2 5 0 0 M H z の範囲内で調整することができる。マイクロ波出力装置 1 6 は、マイクロ波の帯域幅を 0 M H z ~ 4 0 0 M H z の範囲で調整することができる。また、マイクロ波出力装置 1 6 は、帯域内におけるマイクロ波の複数の周波数成分の周波数のピッチ（キャリアピッチ）を 0 ~ 2 5 k H z の範囲内で調整することができる。

40

【 0 0 3 2 】

マイクロ波出力装置 1 6 は、パルス生成器を有し、マイクロ波のパワーをパルス変調して出力してもよい。この場合、マイクロ波出力装置 1 6 は、H i g h レベルのパワーと L o w レベルのパワーとが周期的に繰り返されるパワーとなるようにマイクロ波をパルス変

50

調する。マイクロ波出力装置 16 は、パルス生成器により生成された同期信号 P S S - M に基づいてパルス調整する。同期信号 P S S - M は、マイクロ波パワーの周期及びデューティ比を決定する信号である。パルス変調時の設定の一例として、パルス周波数は 1 H z ~ 5 0 k H z であり、パルスのデューティ比（パルス周期に対する H i g h レベルパワー時間の比）は 1 0 % ~ 9 0 % である。マイクロ波出力装置 16 は、高周波電源 5 8 により出力される、パルス変調させた高周波パワーと同期させるように、マイクロ波パワーをパルス変調してもよい。

【 0 0 3 3 】

プラズマ処理装置 1 は、導波管 2 1、チューナ 2 6、モード変換器 2 7、及び、同軸導波管 2 8 を更に備える。マイクロ波出力装置 16 の出力部は、導波管 2 1 の一端に接続される。導波管 2 1 の他端は、モード変換器 2 7 に接続される。導波管 2 1 は、例えば、矩形導波管である。導波管 2 1 には、チューナ 2 6 が設けられる。チューナ 2 6 は、スタブ 2 6 a , 2 6 b , 2 6 c を有する。スタブ 2 6 a , 2 6 b , 2 6 c の各々は、導波管 2 1 の内部空間に対するその突出量を調整可能なように構成される。チューナ 2 6 は、基準位置に対するスタブ 2 6 a , 2 6 b , 2 6 c の各々の突出位置を調整することにより、マイクロ波出力装置 16 のインピーダンスと負荷、例えば、チャンバ本体 1 2 のインピーダンスとを整合させる。

【 0 0 3 4 】

モード変換器 2 7 は、導波管 2 1 からのマイクロ波のモードを変換して、モード変換後のマイクロ波を同軸導波管 2 8 に供給する。同軸導波管 2 8 は、外側導体 2 8 a 及び内側導体 2 8 b を含む。外側導体 2 8 a は、略円筒形状を有しており、その中心軸線は軸線 Z に略一致する。内側導体 2 8 b は、略円筒形状を有しており、外側導体 2 8 a の内側で延在する。内側導体 2 8 b の中心軸線は、軸線 Z に略一致する。この同軸導波管 2 8 は、モード変換器 2 7 からのマイクロ波をアンテナ 1 8 に伝送する。

【 0 0 3 5 】

プラズマ処理装置 1 は、導波管 2 1 にパワーメータ（校正用測定器の一例）を備えることができる。パワーメータは、一例としてマイクロ波のパワーを検出する熱電対式のセンサである。パワーメータは、導波管 2 1 において、チューナ 2 6 とモード変換器 2 7 との間、あるいは、マイクロ波出力装置 16 とチューナ 2 6 との間における進行波及び反射波を計測する。パワーメータの配置の一例については後述する。

【 0 0 3 6 】

アンテナ 1 8 は、誘電体窓 2 0 の下面 2 0 a の反対側の面 2 0 b 上に設けられる。アンテナ 1 8 は、スロット板 3 0、誘電体板 3 2、及び、冷却ジャケット 3 4 を含む。

【 0 0 3 7 】

スロット板 3 0 は、誘電体窓 2 0 の面 2 0 b 上に設けられる。このスロット板 3 0 は、導電性を有する金属から形成されており、略円盤形状を有する。スロット板 3 0 の中心軸線は軸線 Z に略一致する。スロット板 3 0 には、複数のスロット孔 3 0 a が形成される。複数のスロット孔 3 0 a は、一例においては、複数のスロット対を構成する。複数のスロット対の各々は、互いに交差する方向に延びる略長孔形状の二つのスロット孔 3 0 a を含む。複数のスロット対は、軸線 Z 周りの一以上の同心円に沿って配列される。また、スロット板 3 0 の中央部には、後述する導管 3 6 が通過可能な貫通孔 3 0 d が形成される。

【 0 0 3 8 】

誘電体板 3 2 は、スロット板 3 0 上に設けられる。誘電体板 3 2 は、石英といった誘電体材料から形成されており、略円盤形状である。この誘電体板 3 2 の中心軸線は軸線 Z に略一致する。冷却ジャケット 3 4 は、誘電体板 3 2 上に設けられる。誘電体板 3 2 は、冷却ジャケット 3 4 とスロット板 3 0 との間に設けられる。

【 0 0 3 9 】

冷却ジャケット 3 4 の表面は、導電性を有する。冷却ジャケット 3 4 の内部には、流路 3 4 a が形成される。この流路 3 4 a には、冷媒が供給されるように構成される。冷却ジャケット 3 4 の上部表面には、外側導体 2 8 a の下端が電氣的に接続される。また、内側

10

20

30

40

50

導体 28 b の下端は、冷却ジャケット 34 及び誘電体板 32 の中央部分に形成された孔を
通って、スロット板 30 に電氣的に接続される。

【0040】

同軸導波管 28 からのマイクロ波は、誘電体板 32 内を伝搬して、スロット板 30 の複
数のスロット孔 30 a から誘電体窓 20 に供給される。誘電体窓 20 に供給されたマイク
ロ波は、処理空間 S に導入される。

【0041】

同軸導波管 28 の内側導体 28 b の内孔には、導管 36 が通っている。また、上述した
ように、スロット板 30 の中央部には、導管 36 が通過可能な貫通孔 30 d が形成される
。導管 36 は、内側導体 28 b の内孔を通して延在しており、ガス供給系 38 に接続され
る。

10

【0042】

ガス供給系 38 は、被加工物 W P を処理するための処理ガスを導管 36 に供給する。ガ
ス供給系 38 は、ガス源 38 a、弁 38 b、及び、流量制御器 38 c を含み得る。ガス源
38 a は、処理ガスのガス源である。弁 38 b は、ガス源 38 a からの処理ガスの供給及
び供給停止を切り替える。流量制御器 38 c は、例えば、マスフローコントローラであり
、ガス源 38 a からの処理ガスの流量を調整する。

【0043】

プラズマ処理装置 1 は、インジェクタ 41 を更に備え得る。インジェクタ 41 は、導管
36 からのガスを誘電体窓 20 に形成された貫通孔 20 h に供給する。誘電体窓 20 の貫
通孔 20 h に供給されたガスは、処理空間 S に供給される。そして、誘電体窓 20 から処
理空間 S に導入されるマイクロ波によって、当該処理ガスが励起される。これにより、処
理空間 S 内でプラズマが生成され、当該プラズマからのイオン及びノ又はラジカルとい
った活性種により、被加工物 W P が処理される。

20

【0044】

プラズマ処理装置 1 は、制御器 100 を更に備える。制御器 100 は、プラズマ処理装
置 1 の各部を統括制御する。制御器 100 は、CPU といったプロセッサ、ユーザインタ
フェース、及び、記憶部を備え得る。

【0045】

プロセッサは、記憶部に記憶されたプログラム及びプロセスレシピを実行することによ
り、マイクロ波出力装置 16、ステージ 14、ガス供給系 38、排気装置 56 等の各部を
統括制御する。

30

【0046】

ユーザインタフェースは、工程管理者がプラズマ処理装置 1 を管理するためにコマンド
の入力操作等を行うキーボード又はタッチパネル、プラズマ処理装置 1 の稼働状況等を可
視化して表示するディスプレイ等を含んでいる。

【0047】

記憶部には、プラズマ処理装置 1 で実行される各種処理をプロセッサの制御によって実
現するための制御プログラム（ソフトウェア）、及び、処理条件データ等を含むプロセス
レシピ等が保存される。プロセッサは、ユーザインタフェースからの指示等、必要に応じ
て、各種の制御プログラムを記憶部から呼び出して実行する。このようなプロセッサの制
御下で、プラズマ処理装置 1 において所望の処理が実行される。

40

【0048】

[マイクロ波出力装置 16 の構成例]

図 2 は、マイクロ波出力装置の一例を示す図である。図 2 に示されるように、マイクロ
波出力装置 16 は、演算装置 100 a に接続されている。演算装置 100 a は、制御器 1
00、波形発生器 101、第 1 パルス生成器 102、第 2 パルス生成器 103、第 3 パル
ス生成器 104、及び、第 4 パルス生成器 105 を有する。

【0049】

波形発生器 101 は、マイクロ波の波形を発生する。波形発生器 101 は、制御器 10

50

0により指定された設定周波数及び設定帯域幅にそれぞれ応じた中央周波数及び帯域幅を有するマイクロ波の波形を発生する。波形発生器101は、マイクロ波の波形をマイクロ波出力装置16へ出力する。

【0050】

第1パルス生成器102は、マイクロ波出力装置16にてマイクロ波パワーをパルス変調する際に利用される同期信号を生成する。第1パルス生成器102は、制御器100によって設定された設定プロファイルにおけるマイクロ波パワーの設定パルス周波数及び設定デューティ比に基づいて、同期信号PSS-Mを生成する。第1パルス生成器102は、同期信号PSS-Mをマイクロ波出力装置16へ出力する。

【0051】

第2パルス生成器103は、パワーがパルス変調されたマイクロ波をチューナ26にてインピーダンス整合する際に利用される同期信号を生成する。第2パルス生成器103は、第1パルス生成器102と同様に、制御器100によって設定された設定プロファイルにおけるマイクロ波パワーの設定パルス周波数及び設定デューティ比に基づいて、同期信号PSS-MTを生成する。同期信号PSS-MTは、同期信号PSS-Mと同一のパルス周波数及びデューティ比を有する。第2パルス生成器103は、同期信号PSS-MTをチューナ26へ出力する。

【0052】

第3パルス生成器104は、高周波電源58にて高周波パワーをパルス変調する際に利用される同期信号を生成する。第3パルス生成器104は、制御器100によって設定された設定プロファイルにおける高周波パワーの設定パルス周波数及び設定デューティ比に基づいて、同期信号PSS-Rを生成する。第3パルス生成器104は、同期信号PSS-Rを高周波電源58へ出力する。

【0053】

第4パルス生成器105は、パワーがパルス変調された高周波をマッチングユニット60にてインピーダンス整合する際に利用される同期信号を生成する。第4パルス生成器105は、第3パルス生成器104と同様に、制御器100によって設定された設定プロファイルにおける高周波パワーの設定パルス周波数及び設定デューティ比に基づいて、同期信号PSS-RMを生成する。同期信号PSS-RMは、同期信号PSS-Rと同一のパルス周波数及びデューティ比を有する。第4パルス生成器105は、同期信号PSS-RMをマッチングユニット60へ出力する。

【0054】

第1パルス生成器102は、同期信号PSS-Rと同期した同期信号PSS-Mを生成してもよい。この場合、マイクロ波パワーのパルス変調と高周波パワーのパルス変調とを同期させることができるので、安定したプラズマ生成が可能となる。

【0055】

マイクロ波出力装置16は、波形発生器101により発生されたマイクロ波の波形を、制御器100の設定に応じてパルス変調し、マイクロ波として出力する。マイクロ波出力装置16は、マイクロ波発生部16a、導波管16b、サーキュレータ16c、導波管16d、導波管16e、第1の方向性結合器16f、第2の方向性結合器16h、測定部16k(検波部の一例)、及び、ダミーロード16jを有する。

【0056】

マイクロ波発生部16aは、パワーがパルス変調されたマイクロ波を発生する。マイクロ波発生部16aは、制御器100から指示された設定パルス周波数、設定デューティ比、Highレベルの設定パワー及びLowレベルの設定パワーを取得する。マイクロ波発生部16aは、制御器100から指示された設定に応じたパルス周波数、デューティ比、Highレベル及びLowレベルとなるようにパワーがパルス変調されたマイクロ波を発生する。なお、Lowレベルの設定パワーが0Wの場合、パワーがON/OFFするようにパルス変調される。以下では、パワーがON/OFFするようにパルス変調される例を説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

マイクロ波発生部 1 6 a は、パワー制御部 1 6 2、減衰器 1 6 3、増幅器 1 6 4、増幅器 1 6 5、及び、モード変換器 1 6 6 を有する。

【 0 0 5 8 】

波形発生器 1 0 1 は、減衰器 1 6 3 に接続される。減衰器 1 6 3 は、一例として、印加電圧値によって減衰量（減衰率）を変更可能な機器である。減衰器 1 6 3 には、パワー制御部 1 6 2 が接続される。パワー制御部 1 6 2 は、印加電圧値を用いて減衰器 1 6 3 におけるマイクロ波の減衰率（減衰量）を制御する。マイクロ波の減衰率（減衰量）は、波形発生器 1 0 1 により出力されたマイクロ波が、制御器 1 0 0 により指示された設定パルス周波数、設定デューティ比及び ON レベルの設定パワーに応じたパワーを有するマイクロ波となるように制御される。

10

【 0 0 5 9 】

パワー制御部 1 6 2 は、一例として、制御部 1 6 2 a を有する。制御部 1 6 2 a は、プロセッサであり得る。制御部 1 6 2 a は、制御器 1 0 0 から設定プロファイルを取得する。制御部 1 6 2 a は、第 1 パルス生成器 1 0 2 から同期信号 P S S - M を取得する。制御部 1 6 2 a は、同期信号 P S S - M、及び、制御器 1 0 0 によって設定された設定プロファイルに基づいてマイクロ波の減衰率（減衰量）を決定する。

【 0 0 6 0 】

減衰器 1 6 3 の出力は、増幅器 1 6 4 及び増幅器 1 6 5 を介してモード変換器 1 6 6 に接続される。増幅器 1 6 4 及び増幅器 1 6 5 は、マイクロ波をそれぞれに所定の増幅率で増幅する。モード変換器 1 6 6 は、増幅器 1 6 5 から出力されるマイクロ波の伝搬モードを T E M から T E 0 1 に変換する。このモード変換器 1 6 6 におけるモード変換によって生成されたマイクロ波は、マイクロ波発生部 1 6 a の出力マイクロ波として出力される。

20

【 0 0 6 1 】

マイクロ波発生部 1 6 a の出力は導波管 1 6 b の一端に接続される。導波管 1 6 b の他端は、サーキュレータ 1 6 c の第 1 ポート 2 6 1 に接続される。サーキュレータ 1 6 c は、第 1 ポート 2 6 1、第 2 ポート 2 6 2 A、及び、第 3 ポート 2 6 3 A を有する。サーキュレータ 1 6 c は、第 1 ポート 2 6 1 に入力されたマイクロ波を第 2 ポート 2 6 2 A から出力し、第 2 ポート 2 6 2 A に入力したマイクロ波を第 3 ポート 2 6 3 A から出力するように構成される。サーキュレータ 1 6 c の第 2 ポート 2 6 2 A には導波管 1 6 d の一端が接続される。導波管 1 6 d の他端は、マイクロ波出力装置 1 6 の出力部 1 6 t である。

30

【 0 0 6 2 】

サーキュレータ 1 6 c の第 3 ポート 2 6 3 A には、導波管 1 6 e の一端が接続される。導波管 1 6 e の他端はダミーロード 1 6 j に接続される。ダミーロード 1 6 j は、導波管 1 6 e を伝搬するマイクロ波を受けて、当該マイクロ波を吸収する。ダミーロード 1 6 j は、例えば、マイクロ波を熱に変換する。

【 0 0 6 3 】

第 1 の方向性結合器 1 6 f は、導波管 1 6 b の一端と他端との間に設けられる。第 1 の方向性結合器 1 6 f は、マイクロ波発生部 1 6 a から出力されて、出力部 1 6 t に伝搬するマイクロ波（即ち、進行波）の一部を分岐させて、当該進行波の一部を出力するように構成される。

40

【 0 0 6 4 】

第 2 の方向性結合器 1 6 h は、導波管 1 6 e の一端と他端との間に設けられる。第 2 の方向性結合器 1 6 h は、出力部 1 6 t に戻されたマイクロ波（即ち、反射波）について、サーキュレータ 1 6 c の第 3 ポート 2 6 3 A に伝送された反射波の一部を分岐させて、当該反射波の一部を出力するように構成される。

【 0 0 6 5 】

測定部 1 6 k は、導波管内のマイクロ波を測定する機器である。測定部 1 6 k は、マイクロ波発生部 1 6 a の出力側に設けられ、測定制御部 1 6 7、第 1 検波部 1 6 8 及び第 2 検波部 1 6 9 を有する。

50

【 0 0 6 6 】

第1検波部168は、導波管内のマイクロ波の進行波パワーに応じた測定値を検出する。第1検波部168は、第1の方向性結合器16fから出力された進行波を入力する。第2検波部169は、導波管内のマイクロ波の反射波パワーに応じた測定値を検出する。第2検波部169は、第2の方向性結合器16hから出力された反射波を入力する。

【 0 0 6 7 】

測定制御部167は、第1検波部168により検出された測定値に基づいて、平均的な進行波パワーを取得する。測定制御部167は、第2検波部169により検出された測定値に基づいて、平均的な反射波パワーを取得する。

【 0 0 6 8 】

測定部16kは、パワー制御部162に接続される。測定部16kは、測定値をパワー制御部162に出力する。パワー制御部162は、平均的な進行波パワーと平均的な反射波パワーに対してそれぞれをPSS-Mのデューティで割り、パルスON時の進行波パワーと反射波パワーとする。進行波と反射波とのパワーの差、即ちロードパワー（実効パワー）が、制御器100によって指定される設定パワーに一致するように、減衰器163を制御する（パワーフィードバック制御）。

【 0 0 6 9 】

チューナ26は、チューナ制御部260及びチューナ検波部264を有する。チューナ制御部260は、制御器100の信号及びチューナ検波部264の検出結果に基づいて、マイクロ波出力装置16側のインピーダンスとアンテナ18側のインピーダンスとを整合するようにスタブ26a、26b、26cの突出位置を調整する。チューナ検波部264は、一例として三探針検波器であり、3本のダイオード付きプローブを有する。チューナ制御部260は、図示しないドライバ回路及びアクチュエータにより、スタブ26a、26b、26cを動作させる。

【 0 0 7 0 】

チューナ制御部260は、第2パルス生成器103により生成されたマイクロ波パワー用の同期信号PSS-MTを取得する。チューナ制御部260は、同期信号を考慮して、スタブ26a、26b、26cを動作させる。高周波電源58は、第3パルス生成器104により生成された高周波パワー用の同期信号PSS-Rを取得する。高周波電源58は、同期信号PSS-Rに基づいて高周波パワーをパルス変調する。マッチングユニット60は、第4パルス生成器105により生成された高周波パワー用の同期信号PSS-MTを取得する。マッチングユニット60は、同期信号PSS-MTに基づいて、パルス変調された高周波パワーを整合する。

【 0 0 7 1 】

[パワーメータの配置の一例]

図4は、補正係数を準備する際のマイクロ波出力装置を含むシステムの構成を示す図である。図4に示されるように、複数の第1の補正係数を準備する際には、マイクロ波出力装置16の出力部16tに、導波管WG1の一端が接続される。導波管WG1の他端には、ダミーロードDL1が接続される。また、導波管WG1の一端と他端との間には、第3の方向性結合器180が設けられる。この第3の方向性結合器180には、センサSD1が接続される。センサSD1には、パワーメータ181が接続される。第3の方向性結合器180は、導波管WG1を伝搬する進行波の一部を分岐させる。第3の方向性結合器180によって分岐された進行波の一部は、センサSD1に入力される。センサSD1は、例えば、熱電対式センサであり、受けたマイクロ波のパワーに比例した起電力を発生して、直流出力を提供する。パワーメータ181は、センサSD1の直流出力から、出力部16tにおける進行波のパワーを決定する。

【 0 0 7 2 】

[波形発生器の詳細]

図5は、波形発生器におけるマイクロ波の生成原理を説明する図である。図5に示されるように、波形発生器101は、例えば、基準周波数と位相を同期させたマイクロ波を発

10

20

30

40

50

振することが可能なPLL (Phase Locked Loop) 発振器と、PLL発振器に接続されたIQデジタル変調器とを有する。波形発生器101は、PLL発振器において発振されるマイクロ波の周波数を制御器100により指定された設定周波数に設定する。そして、波形発生器101は、PLL発振器からのマイクロ波と、当該PLL発振器からのマイクロ波とは90°の位相差を有するマイクロ波とを、IQデジタル変調器を用いて変調する。これにより、波形発生器101は、帯域内において複数の周波数成分を有するマイクロ波、又は、単一周波数のマイクロ波を生成する。

【0073】

波形発生器101は、例えば、N個の複素データシンボルに対する逆離散フーリエ変換を行って連続信号を生成することにより、複数の周波数成分を有するマイクロ波を生成することが可能である。この信号の生成方法は、デジタルテレビ放送等で用いられるOFDMA (Orthogonal Frequency - Division Multiple Access) 変調方式と同様の方法であり得る。

10

【0074】

一例では、波形発生器101は、予めデジタル化された符号の列で表された波形データを有する。波形発生器101は、波形データを量子化し、量子化したデータに対して逆フーリエ変換を適用することにより、IデータとQデータとを生成する。そして、波形発生器101は、Iデータ及びQデータの各々に、D/A (Digital/Analog) 変換を適用して、二つのアナログ信号を得る。波形発生器101は、これらアナログ信号を、低周波成分のみを通過させるLPF (ローパスフィルタ) へ入力する。波形発生器101は、LPFから出力された二つのアナログ信号を、PLL発振器からのマイクロ波、PLL発振器からのマイクロ波とは90°の位相差を有するマイクロ波とそれぞれミキシングする。そして、波形発生器101は、ミキシングによって生成されたマイクロ波を合成する。これにより、波形発生器101は、一又は複数の周波数成分を有するマイクロ波を生成する。

20

【0075】

[測定部の詳細]

図6は、測定部16kの一例を示す図である。測定部16kは、第1検波部168に対応するマイクロ波の進行波の処理を行う回路と、第2検波部169に対応するマイクロ波の反射波の処理を行う回路とを有する。最初に、マイクロ波の進行波の処理から説明する。測定部16kは、マイクロ波の進行波パワーPfをポートを介して入力する。測定部16kは、ローパスフィルタLPFを用いて、進行波パワーPfの不要な周波数成分を除去する。続いて、測定部16kは、アッテネータATTを用いて、進行波パワーPfを後続の回路ICに適した信号レベルに減衰する。続いて、測定部16kは、回路ICにより、進行波パワーPfを、パワーに応じたアナログ電圧に変換する。続いて、測定部16kは、回路を用いて、進行波パワーPfを平均化してノイズ成分を除去する。測定部16kは、ノイズ成分を除去したのち、A/D変換器を用いて、進行波パワーPfをデジタル信号へと変換する。ここまでの処理が第1検波部168の機能となる。続いて、測定部16kは、CPUによってデジタル信号に対してリニアライズや検波特性を用いた補正を行い、ポートから出力する。出力先の一例はパワー制御部162である。このCPUの処理が測定制御部167の機能となる。このように、測定部16kは進行波パワーを検出し、パワー制御部162へと出力することができる。反射波の処理についても進行波の処理と同一である。測定部16kは、ローパスフィルタLPFを用いて、反射波パワーPrの不要な周波数成分を除去する。続いて、測定部16kは、アッテネータATTを用いて、反射波パワーPrを後続の回路ICに適した信号レベルに減衰する。続いて、測定部16kは、回路ICにより、反射波パワーPrを、パワーに応じたアナログ電圧に変換する。続いて、測定部16kは、回路を用いて、反射波パワーPrを平均化してノイズ成分を除去する。測定部16kは、ノイズ成分を除去したのち、A/D変換器を用いて、反射波パワーPrをデジタル信号へと変換する。ここまでの処理が第2検波部169の機能となる。続いて、測定部16kは、CPUによってデジタル信号に対してリニアライズや検波特性を用

30

40

50

いた補正を行い、ポートから出力する。出力先の一例はパワー制御部 162 である。この CPU の処理が測定制御部 167 の機能となる。このように、測定部 16k は反射波パワーを検出し、パワー制御部 162 へと出力することができる。

【0076】

[マイクロ波の一例]

マイクロ波発生部 16a から出力されるマイクロ波パワーは、ON レベルのパワーと OFF レベルのパワー (0W) とを繰り返すようにパルス状に変調された波形となる。図7は、パワーがON/OFF するようにパルス変調されたマイクロ波の一例である。図7に示されるように、マイクロ波は、制御器 100 から指示された設定周波数及び設定帯域幅にそれぞれ応じた中央周波数及び帯域幅 (BB幅) を有する。マイクロ波は、制御器 100 から指示された設定パルス周波数、設定デューティ比、ON レベルの設定パワーにそれぞれ応じたパルス周波数 PT1、デューティ比 HT、ON レベルのパワーを有する。単一周波数ピークのマイクロ波の場合には、図7に示される同一時間帯におけるONレベルの複数の波形が中心周波数を中心とした1つの波形となり、ON/OFF を繰り返す波形となる。

10

【0077】

[パワーのON/OFF制御に関する信号波形]

図8は、ON/OFF制御に関する信号波形の一例である。図8に示される複数の波形は、時間軸のタイミングを一致させている。図8の信号(A)は、第1パルス生成器 102 により生成された同期信号 PSS-M の波形である。図8の信号(B)は、波形発生器 101 により生成されたマイクロ波の波形である。図8の信号(C)は、信号(A)及び信号(B)に基づいて変調されたマイクロ波の波形である。図8の信号(D)は、信号(C)を検波して得られた波形であり、測定部 16k におけるA/D変換器へ入力される信号の波形である。つまり、測定部 16k において平均化されたアナログ電圧の波形である。それぞれの横軸は時間である。信号(B)は、パワー制御部 162 及び減衰器 163 によって、信号(A)に基づいて減衰される。例えば、信号(B)は、同期信号 PSS-M のOFF時間において0Wに減衰される。減衰された信号は、増幅器 164 及び増幅器 165 によって増幅され、信号(C)となる。信号(C)は、ON状態のパワーが設定パワー Pset となるように増幅される。信号(C)のON状態は、信号(A)に示される同期信号 PSS-M のON時間と一致する。信号(C)を検波すると、平均化された信号(D)の波形となる。信号(D)は、A/D変換器でデジタル信号へと変換され、CPUにより電力に換算される。この電力がON/OFF制御時における測定部 16k によるパワーの測定値となる。

20

30

【0078】

[パワーの精度]

パワーの精度は単一周波数ピークを有するマイクロ波の連続波の各平均電力が基準となる。マイクロ波がON/OFF制御される場合には、以下のように定義する。図9は、パワーの精度の定義を説明する一例の図である。図9では、ON/OFF制御されたマイクロ波のパワーの波形が示されている。ここでは、一例として、設定パワー Pset の50%となるパワーを用いてデューティ比 Duty1 及びパルス周波数 PRF1 が決定される。つまり、設定パワー Pset の50%以上となるパワーの部分がONパワーとなる。なお、50%は所定値であり、他の値としてもよい。

40

【0079】

パワーメータ 181 の測定値である平均パワーを Pmt とすると、ONパワー Pon は以下の数式(1)で表現される。

【数1】

$$Pon = \frac{Pmt}{Duty1} \times 100 \quad (1)$$

ここでは、パワーの精度は、ONパワーと設定パワーとの差で評価する。例えば、パワー

50

の精度 E は以下の数式 (2) で表現される。

【数 2】

$$E = \frac{P_{on} - P_{set}}{P_{set}} \times 100 \quad (2)$$

式 (2) から明らかなように、パワーの精度 E の大きさが 0 に近づくほどパワーの精度が良いといえる。

【 0 0 8 0 】

[方法の詳細]

図 1 に示される方法 M T 1 は、パワーメータ 1 8 1 による測定値を用いてパワーの精度 E を評価し、精度 E が 0 となるようにパワーの補正值を決定する。方法 M T の詳細は、方法 M T がプラズマ処理装置 1 を用いる場合を例として説明される。また、以下ではマイクロ波の進行波パワーに関する補正值について説明するが、反射波パワーについても同一の手法で取得することができる。

【 0 0 8 1 】

最初に、単一周波数ピークを有するマイクロ波に係る方法 M T 1 を説明する。

【 0 0 8 2 】

図 1 に示されるように、方法 M T 1 は、測定工程 (ステップ S 1 0) 、近似工程 (ステップ S 1 2) 及び決定工程 (ステップ S 1 4) を備える。

【 0 0 8 3 】

最初に、測定工程 (ステップ S 1 0) が実行される。測定工程 (ステップ S 1 0) では、パルスの設定デューティ比を予め定められた第 1 設定デューティ比に設定する。第 1 設定デューティ比は、実験に基づいて予め設定された値である。一例として、第 1 設定デューティ比は 2 0 % 以上である。第 1 設定デューティ比は、1 0 ~ 3 0 % の範囲に設定してもよい。第 1 設定デューティ比の具体的な一例は 2 0 % である。続いて、第 1 設定デューティ比で ON / OFF 制御されるマイクロ波の設定パワーを少なくとも 2 つ決定する。例えば、設定パワーとして 1 0 0 0 W 以上のパワーが少なくとも 2 つ決定される。設定パワーは、例えば 1 0 0 0 W、2 5 0 0 W の 2 つであってもよいし、1 0 0 0 W、1 5 0 0 W、2 0 0 0 W、2 5 0 0 W の 4 つなど、複数であればよい。

【 0 0 8 4 】

マイクロ波発生部 1 6 a は、第 1 設定デューティ比で ON / OFF 制御されたマイクロ波を出力し、測定部 1 6 k で測定されたパワーが設定パワーとなるようにマイクロ波のパワーを制御する。それと同時に、パワーメータ 1 8 1 を用いてマイクロ波の平均パワーが測定される。測定工程 (ステップ S 1 0) では、決定された設定パワーに関して、設定パワーごとにパワーメータ 1 8 1 の測定値を得る。そして、設定パワーごとに設定パワーに対するパワーの測定値の誤差を算出する。上述した数式 (2) のとおり、測定部 1 6 k に誤差が無い場合には、パワーメータ 1 8 1 の測定値である平均パワー P m t に基づく ON パワー P o n は設定パワー P s e t に一致し、パワーの精度 E は 0 となる。一方、測定部 1 6 k に誤差が有る場合には、パワーメータ 1 8 1 の測定値である平均パワー P m t に基づく ON パワー P o n は設定パワー P s e t と一致せず、パワーの精度 E は値を持つこととなる。

【 0 0 8 5 】

続いて、近似工程 (ステップ S 1 2) が実行される。近似工程 (ステップ S 1 2) では、誤差に基づいてパワーの補正值を設定パワーごとに算出する。補正值は、例えば、パワーの測定値の誤差を符号反転することにより得られる。そして、設定パワーと補正值との関係を対数近似する。つまり、測定により得られた設定パワーごとの補正值を、設定パワーに依存する関数で近似することで、設定パワー全域に対して一般化する。これにより、第 1 設定デューティ比における設定パワーと補正值との関係を示す第 1 関数を決定する。第 1 設定デューティ比における第 1 関数 Y 1 は以下の数式 (3) で表現することができる。

。

10

20

30

40

50

【数 3】

$$Y1 = A \cdot \ln(Pset) + B \quad (3)$$

A 及び B は近似により定まる定数である。

【0086】

続いて、決定工程（ステップ S 1 4）が実行される。決定工程（ステップ S 1 4）では、第 1 関数 Y 1 により定まる第 1 設定デューティ比における補正值と、設定デューティ比 100% における予め定められた補正值とを一次関数で近似する。設定デューティ比 100% における予め定められた補正值は、一例として 0 である。例えば、第 1 設定デューティ比が 20% の場合であって補正值が y 1 である場合には、座標点 (20, y 1) と、座標点 (100, 0) とを結ぶ直線で近似することになる。つまり、第 1 設定デューティ比における補正值を、設定デューティ比に依存する関数で近似することで、設定デューティ比全域に対して一般化する。これにより、設定デューティ比 Duty と設定パワー Pset と補正值 Z 1 との関係を示す補正関数を決定する。補正值 Z 1 を示す補正関数は、第 1 設定デューティ比を Duty A とすると、以下の数式 (4) で表現することができる。

【数 4】

$$Z1 = Y1 \cdot \frac{Duty-100}{DutyA-100} = \frac{(A \cdot \ln(Pset) + B) \cdot (Duty-100)}{DutyA-100} \quad (4)$$

決定工程（ステップ S 1 4）が終了すると図 1 に示されるフローチャートが終了する。

【0087】

以上、図 1 に示されるフローチャートが実行されることにより、補正值 Z 1 を示す補正関数を決定することができる。補正関数を用いることで、任意の設定デューティ比、任意の設定パワーに対して補正值を決定することができる。

【0088】

なお、第 1 設定デューティ比よりも小さい範囲においては、一次関数で一般化することが適切でない場合もある。このため、上述した補正関数は、第 1 設定デューティ比以上のデューティ比における補正值を決定する関数としてもよい。つまり、数式 (4) は、 $Duty A \leq Duty$ を満たす範囲で成り立つ式としてもよい。この場合、決定工程では、第 1 設定デューティ比以下の補正関数を別途決定してもよい。例えば、第 1 設定デューティ比以下の補正值は定数としてもよい。

【0089】

また、上述したフローチャートは反射波パワーにも適用可能である。つまり、方法 M T 1 を用いて、進行波パワー及び反射波パワーの補正值を取得することができる。

【0090】

次に、帯域幅を有するマイクロ波に係る方法を説明する。帯域幅を有するマイクロ波についても、単一周波数ピークを有するマイクロ波に係る方法 M T 1 と同一の手法で補正関数を決定することができる。帯域幅を有するマイクロ波に係る別な方法は、方法 M T 1 により得られた補正関数を修正することである。これにより、より簡易に補正関数を決定することができる。以下では、帯域幅を有するマイクロ波に係る方法 M T 2 として、方法 M T 1 により得られた補正関数を修正する方法を説明する。なお、以下では、単一周波数ピークを有するマイクロ波を発生するモード（第 1 モードの一例）を S P モード (single peak mode) として説明する。また、帯域幅を有するマイクロ波を発生するモード（第 2 モードの一例）を B B モード (broad band mode) として説明する。

【0091】

図 10 は、一実施形態に係る他の方法の一例を示すフローチャートである。図 10 に示されるように、方法 M T 2 は、測定工程（ステップ S 2 0）、近似工程（ステップ S 2 2）及び決定工程（ステップ S 2 4）を備える。これらの工程は、S P モードのマイクロ波を用いて実施され、方法 M T 1 における測定工程（ステップ S 1 0）、近似工程（ステップ S 1 2）及び決定工程（ステップ S 1 4）と同一である。これらの工程により、上述し

10

20

30

40

50

た補正関数 Z_1 が得られる。

【0092】

続いて、BBモードのマイクロ波を用いて、第2測定工程（ステップS26）が実行される。第2測定工程（ステップS26）では、測定工程（ステップS20）と同様に、パルスの設定デューティ比を予め定められた第2設定デューティ比に設定する。第2設定デューティ比は、実験に基づいて予め設定された値である。一例として、第2設定デューティ比は10%以上である。第2設定デューティ比は、5～30%の範囲に設定してもよい。第2設定デューティ比の具体的な一例は10%である。続いて、第2設定デューティ比でON/OFF制御されるマイクロ波の設定パワーを少なくとも2つ決定する。例えば、設定パワーとして1000W以上のパワーが少なくとも2つ決定される。設定パワーは、例えば1000W、2500Wの2つであってもよいし、1000W、1500W、2000W、2500Wの4つなど、複数であればよい。

10

【0093】

マイクロ波発生部16aは、第2設定デューティ比でON/OFF制御されたマイクロ波を出力し、測定部16kで測定されたパワーが設定パワーとなるようにマイクロ波のパワーを制御する。それと同時に、パワーメータ181を用いてマイクロ波の平均パワーが測定される。第2測定工程（ステップS26）では、決定された設定パワーに関して、設定パワーごとにパワーメータ181の測定値を得る。そして、設定パワーごとに設定パワーに対するパワーの測定値の誤差を算出する。

【0094】

続いて、算出工程（ステップS28）が実行される。算出工程（ステップS28）では、SPモードのマイクロ波にかかる誤差とBBモードのマイクロ波にかかる誤差との差分を設定パワーごとに算出する。つまり、測定工程（ステップS20）にて得られたパワーの誤差と測定工程（ステップS26）にて得られたパワーの誤差との差分を算出する。なお、補正関数 Z_1 を用いて得られたSPモードの誤差と、測定工程（ステップS26）にて得られたパワーの誤差との差分を算出してもよい。

20

【0095】

続いて、第2近似工程（ステップS30）が実行される。第2近似工程（ステップS30）では、最初に、SPモードの補正值からBBモードへの補正值へと修正する修正値を算出する。算出工程（ステップS28）により得られた差分に基づいて修正値を設定パワーごとに算出する。そして、設定パワーと修正値との関係を対数近似する。つまり、測定により得られた設定パワーごとの修正値を、設定パワーに依存する関数で近似することで、設定パワー全域に対して一般化する。これにより、第1設定デューティ比における設定パワーと修正値との関係を示す第2関数 Y_2 を決定する。第1設定デューティ比における第2関数 Y_2 は以下の数式（5）で表現することができる。

30

【数5】

$$Y_2 = C \cdot \ln(P_{set}) + D \quad (5)$$

C及びDは近似により定まる定数である。

【0096】

続いて、第2決定工程（ステップS32）が実行される。第2決定工程（ステップS32）では、第2関数 Y_2 により定まる第1設定デューティ比における修正値と、設定デューティ比100%における予め定められた修正値とを一次関数で近似する。設定デューティ比100%における予め定められた修正値は、一例として0である。例えば、第1設定デューティ比が20%の場合であって修正値が y_2 である場合には、座標点（20, y_2 ）と、座標点（100, 0）とを結ぶ直線で近似することになる。つまり、第1設定デューティ比における修正値を、設定デューティ比に依存する関数で近似することで、設定デューティ比全域に対して一般化する。これにより、設定デューティ比 $Duty$ と設定パワー P_{set} と修正値 K との関係を示す修正項を決定する。修正値 K を示す修正項は、第2設定デューティ比を $Duty_B$ とすると、以下の数式（6）で表現することができる。

40

50

【数 6】

$$K = Y2 \cdot \frac{Duty-100}{DutyB-100} = \frac{(C \cdot \ln(Pset)+D) \cdot (Duty-100)}{DutyB-100} \quad (6)$$

【0097】

続いて、第3決定工程（ステップS34）が実行される。第3決定工程（ステップS34）では、修正値Kを示す修正項と、SPモードのマイクロ波にかかる補正関数Z1とに基づいて、帯域幅を有するマイクロ波にかかる補正関数Z2を決定する。補正関数Z2は、以下の数式（7）で表現することができる。

【数 7】

$$Z2 = Z1 + K = \frac{(A \cdot \ln(Pset)+B) \cdot (Duty-100)}{DutyA-100} + \frac{(C \cdot \ln(Pset)+D) \cdot (Duty-100)}{DutyB-100} \quad (7)$$

第3決定工程（ステップS34）が終了すると図10に示されるフローチャートが終了する。

【0098】

以上、図10に示されるフローチャートが実行されることにより、補正値Z2を示す補正関数を決定することができる。補正関数を用いることで、任意の設定デューティ比、任意の設定パワーに対して補正値を決定することができる。

【0099】

なお、第2設定デューティ比よりも小さい範囲においては、一次関数で一般化することが適切でない場合もある。このため、上述した補正関数は、第2設定デューティ比以上のデューティ比における補正値を決定する関数としてもよい。つまり、数式（7）は、 $DutyA \leq Duty$ かつ $DutyB \leq Duty$ を満たす範囲で成り立つ式としてもよい。この場合、第3決定工程では、第2設定デューティ比以下の補正関数を別途決定してもよい。例えば、第2設定デューティ比以下の補正値は定数としてもよい。

20

【0100】

また、上述したフローチャートは反射波パワーにも適用可能である。つまり、方法MT2を用いて、進行波パワー及び反射波パワーの補正値を取得することができる。

【0101】

[方法に係る実施形態のまとめ]

実施形態に係る方法MT1、MT2によれば、少なくとも2点の測定パワーに関して誤差を計測するだけで、任意のプロセス条件においてパワーの誤差を補正することができる補正関数Z1、Z2を決定することができる。よって、この方法は、全てのプロセス条件に対して校正用測定器で測定されたパワーと比較して補正値を決定する方法と比べて、補正値を容易に決定することができる。このため、製品出荷時における校正作業の軽減を図ることができる。

30

【0102】

[補正関数を用いて動作するマイクロ波出力装置の一例]

図11は、決定された補正値を用いて動作するマイクロ波出力装置の一例を示す図である。図11に示されるマイクロ波出力装置16Aは、図3のマイクロ波出力装置16と比較して、記憶部171を備える点、及びパワー制御部162の一部機能が相違し、その他は同一である。以下では、相違点を中心に説明し、重複する説明は繰り返さない。

40

【0103】

図11に示されるように、プラズマ処理装置1Aは、記憶部171を備える。記憶部171は、設定デューティ比と設定パワーと補正値との関係を示す補正関数をモードごとに格納する。つまり、SPモード用の補正関数と、BBモード用の補正関数を備える。マイクロ波発生部16aのパワー制御部162は、制御器100に指定された設定モード、設定デューティ比及び設定パワーを取得する。パワー制御部162は、記憶部171を参照し、設定モードに基づいて補正関数を読み込む。パワー制御部162は、補正関数を用いて設定デューティ比及び設定パワーに対応する補正値を得る。パワー制御部162は、測

50

定部 16k によるマイクロ波のパワーの測定結果を補正值に基づいて補正し、補正された測定結果が設定パワーとなるようにマイクロ波を発生する。

【0104】

このように、補正関数を記憶部 171 に保持することにより、任意のモード、任意の設定デューティ比および任意の設定パワーに対応した補正值を取得することができる。

【0105】

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。

【0106】

上述した実施形態では、マイクロ波発生部 16a と波形発生器 101 とが分離している例を説明したが、一つの装置として構成されていてもよい。また、演算装置 100a が第 1 パルス生成器 102 ~ 第 4 パルス生成器 105 を備える例を説明したが、これに限定されない。例えば、パワー制御部 162 が第 1 パルス生成器 102 を備えてもよい。

【0107】

方法 MT1, MT2 は、演算装置 100a によって自動的に実行されてもよい。

【0108】

記憶部 171 は、測定部 16k に設けられてもよい。この場合、測定部 16k の CPU によってパワーの測定結果が補正されてもよい。

【実施例】

【0109】

以下、本開示の効果を説明するシミュレーション結果を説明する。

[第 1 設定デューティ比の決定]

第 1 設定デューティ比を決定したシミュレーションを説明する。シミュレーションの条件として、SPモードのマイクロ波とし、設定パワー P_{set} を 1000W、1500W、2000W、2500W とした。パルス変調方式は、ON/OFF 変調とした。パルス変調の設定デューティ比は 10%、15%、20%、25%、30%、40%、50%、70%、90%、100% とした。設定パルス周波数は、5kHz、10kHz、20kHz とした。上述した設定パルス周波数ごとに、設定デューティ比を 10% ~ 100% の範囲で変更してパワー精度を算出した。パワー精度は、数式 (2) を用いて算出した。結果を図 12 の (A) ~ (D) に示す。

【0110】

図 12 の (A) ~ (D) は、単一周波数ピークを有するマイクロ波の設定デューティ比とパワー精度との関係をシミュレーションした結果である。横軸は設定デューティ [%] であり、縦軸はパワー精度 [%] である。図 12 の (A) ~ (D) では、パルス周波数 5kHz、10kHz、20kHz ごとに、マイクロ波の設定デューティ比とパワー精度との関係をシミュレーションした。図 12 の (A) は、設定パワーを 1000W としたときの結果を示すグラフである。図 12 の (B) は、設定パワーを 1500W としたときの結果を示すグラフである。図 12 の (C) は、設定パワーを 2000W としたときの結果を示すグラフである。図 12 の (D) は、設定パワーを 2500W としたときの結果を示すグラフである。

【0111】

図 12 の (A) ~ (D) に示されるように、パルス周波数及び設定パワーの何れの条件においても、設定デューティ比が 20% から 100% までの範囲で、デューティ比に対するパワー精度は直線的に変化することが確認された (図中の破線の直線)。なお、20% よりも小さい 10%、15% の場合、直線的な変化ではない傾向となり、設定パルス周波数が高いほどその傾向が顕著になることが確認された。このため、第 1 設定デューティ比は、20% 以上に設定とよいことが確認された。

【0112】

[方法 MT における補正関数の決定の一例]

第 1 設定デューティ比を 20%、設定パルス周波数を 5kHz とし、当該パルス条件に

10

20

30

40

50

おける各パワーの誤差を測定し、誤差から補正値を算出した。シミュレーションの条件として、SPモードのマイクロ波とし、設定パワー P_{set} を 1000W、1500W、2000W、2500Wとした。パルス変調方式は、ON/OFF変調とした。結果を図13の(A)及び(B)に示す。

【0113】

図13の(A)及び(B)は、単一周波数ピークを有するマイクロ波にかかる補正関数を決定するシミュレーション結果である。図13の(A)は、設定パワーと補正値との関係を示すグラフである。横軸は設定パワー[W]であり、縦軸は補正値[%]である。図13の(A)に示されるように、1000W、1500W、2000W、2500Wの補正値を数式(3)で示される対数関数で近似した。これにより、定数であるA、Bを決定し、図中に示される曲線(第1関数 Y_1)を得た。

10

【0114】

図13の(B)は、設定デューティ比と補正値との関係を示すグラフである。横軸は設定デューティ比[%]であり、縦軸は補正値[%]である。図13の(B)に示されるように、第1設定デューティ比20%とそれに対応する補正値(第1関数 Y_1 により得られる補正値)と、設定デューティ比100%とそれに対応する補正値0との2点を一次近似した。これにより、数式(4)で示される補正関数 Z_1 を得た。なお、一次近似は、1000W、1500W、2000W、2500Wの何れかで行えばよい。このように、補正関数 Z_1 を決定することができることが確認された。

20

【0115】

[SPモードとBBモードとの比較]

BBモードでの補正関数の決定に先立ち、複数の測定部16kに対して、SPモードのマイクロ波の進行波パワーに対する測定と、BBモードのマイクロ波の進行波パワーに対する測定との差異を確認した。シミュレーションの条件として、設定パワー P_{set} を 300W、500W、1000W、1500W、2000W、2500W、3000Wとした。パルス変調方式は、ON/OFF変調とした。パルス変調の設定デューティ比は10%、50%、90%、連続波(100%)とした。設定パルス周波数は、20kHzとした。測定部16kは3つ用意した。各測定部16kに対して、設定デューティ比ごとに、設定パワーに対するパワー精度を算出した。そして、3つの測定部それぞれから得られたパワー精度の平均値及びばらつきを確認した。結果を図14の(A)~(D)に示す。

30

【0116】

図14の(A)~(D)は、測定部のパワー精度のシミュレーション結果である。図14の(A)及び(B)は、SPモードにおける結果である。図14の(A)の横軸は設定パワー[W]であり、縦軸はパワー精度平均[%]である。図14の(B)の横軸は設定パワー[W]であり、縦軸はパワー精度ばらつき[%]である。図14の(C)及び(D)は、BBモードにおける結果である。図14の(C)の横軸は設定パワー[W]であり、縦軸はパワー精度平均[%]である。図14の(D)の横軸は設定パワー[W]であり、縦軸はパワー精度ばらつき[%]である。

【0117】

図14の(A)と(C)とを比較することにより、BBモードに係るパワー精度平均は、SPモードに係るパワー精度平均と比べて、精度が低下することが確認された。また、デューティ比が小さくなるほどパワー精度平均が低下することが確認された。図14の(B)と(D)とを比較することにより、BBモードに係るパワー精度ばらつきは、SPモードに係るパワー精度ばらつきと比べて、デューティ比が小さくなるほどパワー精度ばらつきが低下することが確認された。このように、BBモードは、SPモードと比較して測定部の誤差の影響が大きいことが確認された。

40

【0118】

続いて、SPモードにおけるパワー精度とBBモードにおけるパワー精度との差異を確認した。シミュレーションの条件として、設定パワー P_{set} を 300W、500W、1000W、1500W、2000W、2500W、3000Wとした。パルス変調方式は

50

、ON/OFF変調とした。パルス変調の設定デューティ比は10%、50%、90%、連続波(100%)とした。設定パルス周波数は、10kHz、20kHzとした。測定部16kは3つ用意した。各測定部16kに対して、設定デューティ比ごとに、設定パワーに対するパワー精度差を算出した。そして、3つの測定部それぞれから得られたパワー精度差に基づいて、平均値及びばらつきを確認した。結果を図15の(A)~(C)及び図16の(A)~(C)に示す。

【0119】

図15の(A)~(C)は、モード間のパワー精度差平均値のシミュレーション結果である。横軸は設定パワー[W]であり、縦軸はパワー精度差平均値[%]である。図15の(A)はパルス周波数が10kHz、図15の(B)はパルス周波数が20kHz、図15の(C)はパルス周波数が10kHzと20kHzとを合わせたものである。図15の(A)~(C)に示されるように、BBモードにおけるパワー精度は、SPモードにおけるパワー精度と差分が生じていることが確認された。

10

【0120】

図16の(A)~(C)は、モード間のパワー精度差平均値のシミュレーション結果である。横軸は設定パワー[W]であり、縦軸はパワー精度差ばらつき[%]である。図16の(A)はパルス周波数が10kHz、図16の(B)はパルス周波数が20kHz、図16の(C)はパルス周波数が10kHzと20kHzとを合わせたものである。図16の(A)~(C)に示されるように、BBモードとSPモードにおいてパワー精度の差のばらつきは生じていないことが確認された。

20

【0121】

図15の(A)~(C)及び図16の(A)~(C)から、SPモードにおけるパワー精度を一律に補正してBBモードにおけるパワー精度を得られることが確認された。つまり、方法MT2の手法でBBモードにおけるパワー精度を得られることが確認された。

【0122】

[方法MT2における補正関数の決定の一例]

最初に、第2設定デューティ比を決定したシミュレーションを説明する。シミュレーションの条件として、SPモード及びBBモードのマイクロ波を使用し、設定パワーPsetを1000W、1500W、2000W、2500Wとした。パルス変調方式は、ON/OFF変調とした。パルス変調の設定デューティ比は10%、50%、90%、100%とした。設定パルス周波数は、5kHzとした。各モードにおいて、設定デューティ比を10%~100%の範囲で変更してパワー精度を算出した。そして、BBモードにおけるパワー精度からSPモードにおけるパワー精度を減算し、パワー精度差とした。結果を図17の(A)に示す。

30

【0123】

図17の(A)~(C)は、帯域幅を有するマイクロ波にかかる補正関数を決定するシミュレーション結果である。図17の(A)において、横軸は設定デューティ比[%]であり、縦軸はパワー精度差[%]である。図17の(A)に示されるグラフにおいてパワー精度差がパワーごとに異なる結果となったデューティ比10%を第2設定デューティ比とする。

40

【0124】

続いて、第2設定デューティ比10%における図17の(A)の結果を座標変換して図17の(B)に示す結果を得た。図17の(B)は、設定パワーと補正值との関係を示すグラフである。図17の(B)において、横軸は設定パワー[%]であり、縦軸は補正值(修正値)[%]である。図17の(B)に示されるように、1000W、1500W、2000W、2500Wの補正值を数式(5)で示される対数関数で近似した。これにより、定数であるC、Dを決定し、図中に示される曲線(第2関数Y2)を得た。

【0125】

図17の(C)は、設定デューティ比と補正值との関係を示すグラフである。横軸は設定デューティ比[%]であり、縦軸は補正值(修正値)[%]である。図17の(C)に

50

示されるように、第2設定デューティ比10%とそれに対応する修正値(第2関数Y2により得られる修正値)と、設定デューティ比100%とそれに対応する修正値0との2点を一次近似した。これにより、数式(6)で示される修正値Kを示す修正項を得た。なお、一次近似は、1000W、1500W、2000W、2500Wの何れかで行えばよい。このように、修正項を決定することができることが確認された。

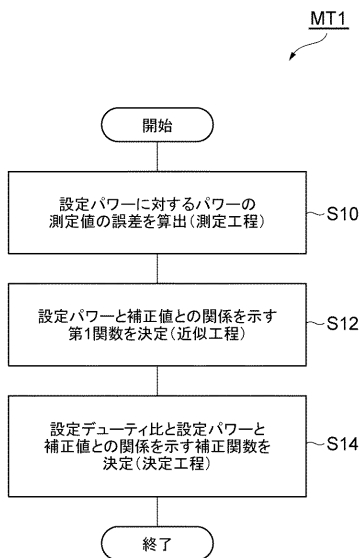
【符号の説明】

【0126】

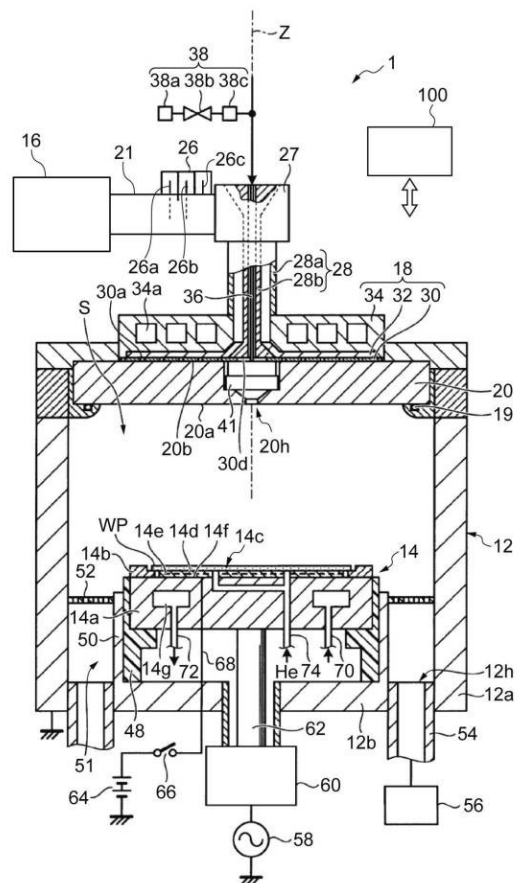
1 プラズマ処理装置、12 チャンパ本体、16 マイクロ波出力装置、16a マイクロ波発生部、16f 第1の方向性結合器、16h 第2の方向性結合器、16k 測定部、16t 出力部、18 アンテナ、20 誘電体窓、26 チューナ、27 モード変換器、28 同軸導波管、30 スロット板、32 誘電体板、34 冷却ジャケット、38 ガス供給系、58 高周波電源、60 マッチングユニット、100 制御器、101 波形発生器、102 第1パルス生成器、162 パワー制御部、163 減衰器、164 増幅器、165 増幅器、166 モード変換器、171 記憶部、180 第3の方向性結合器、181 パワーメータ。

10

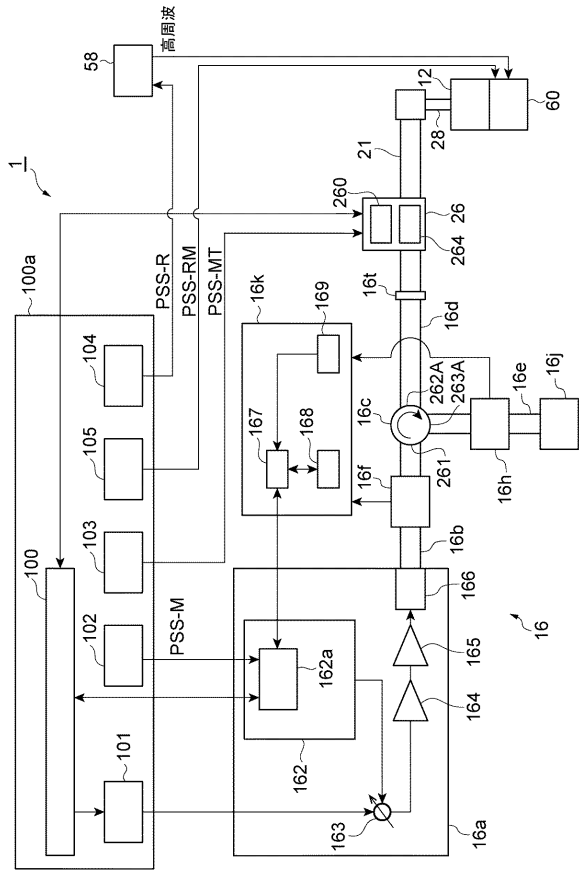
【図1】



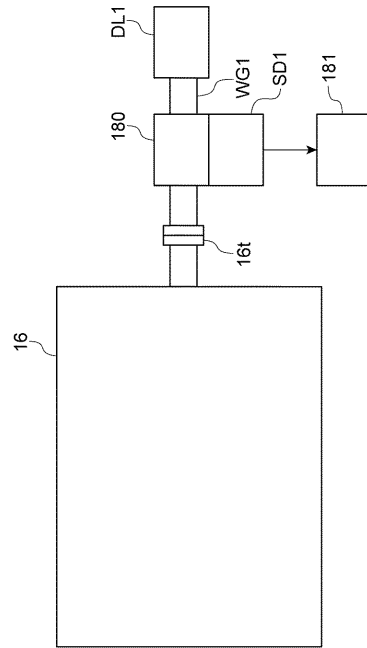
【図2】



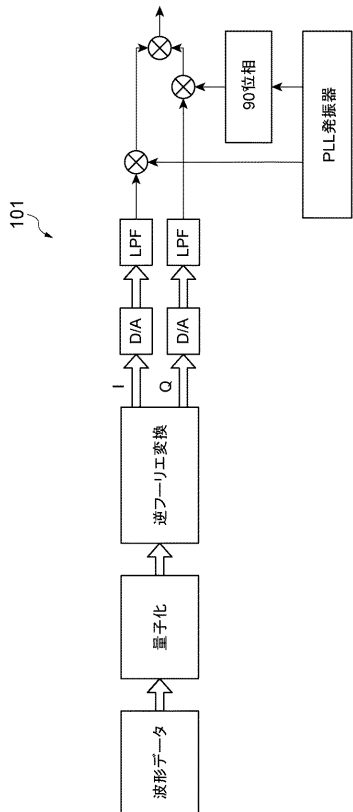
【図3】



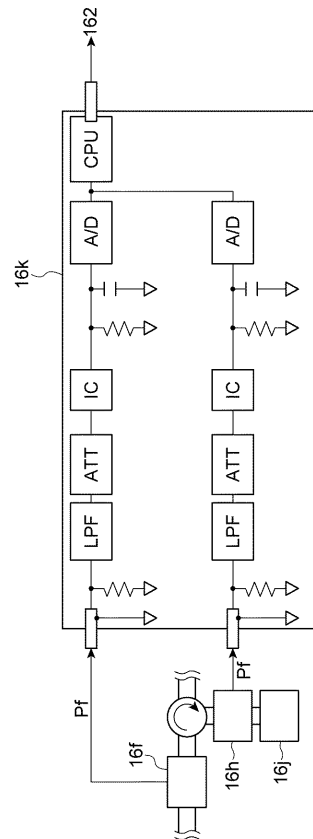
【図4】



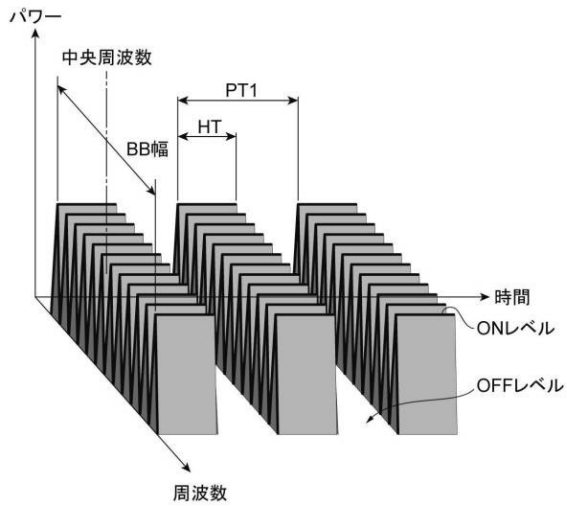
【図5】



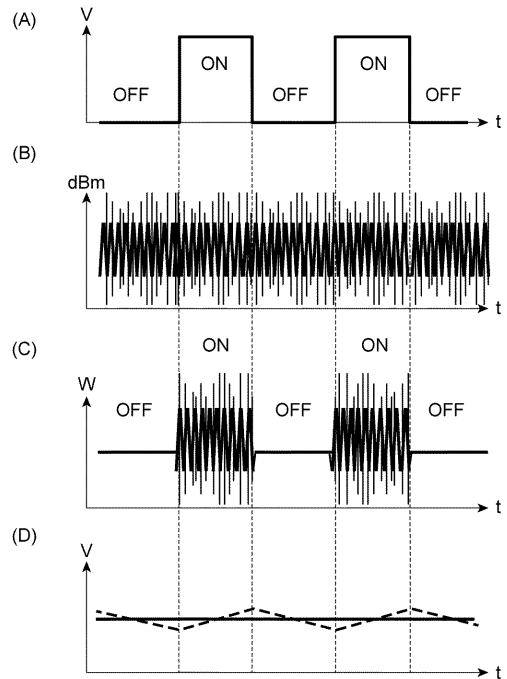
【図6】



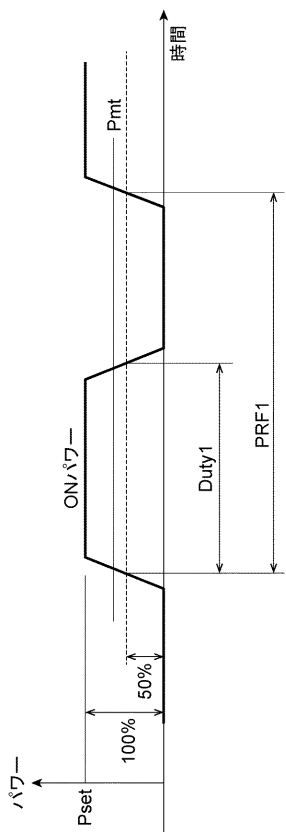
【 図 7 】



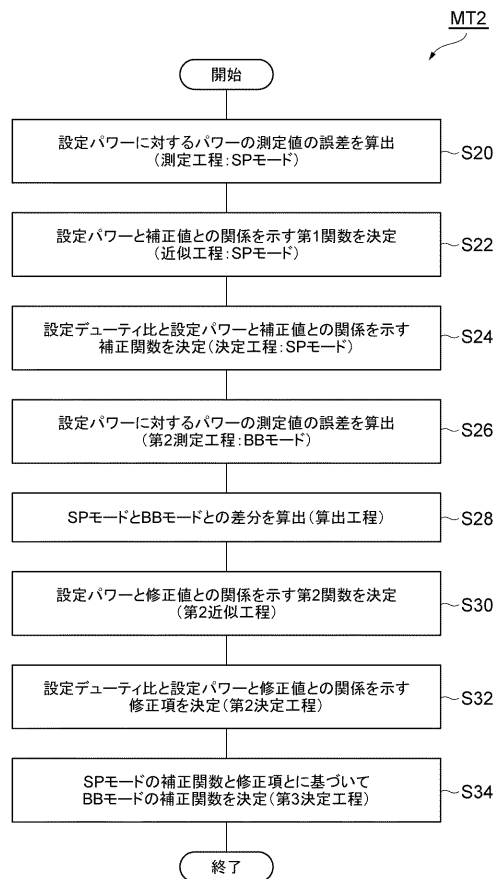
【 図 8 】



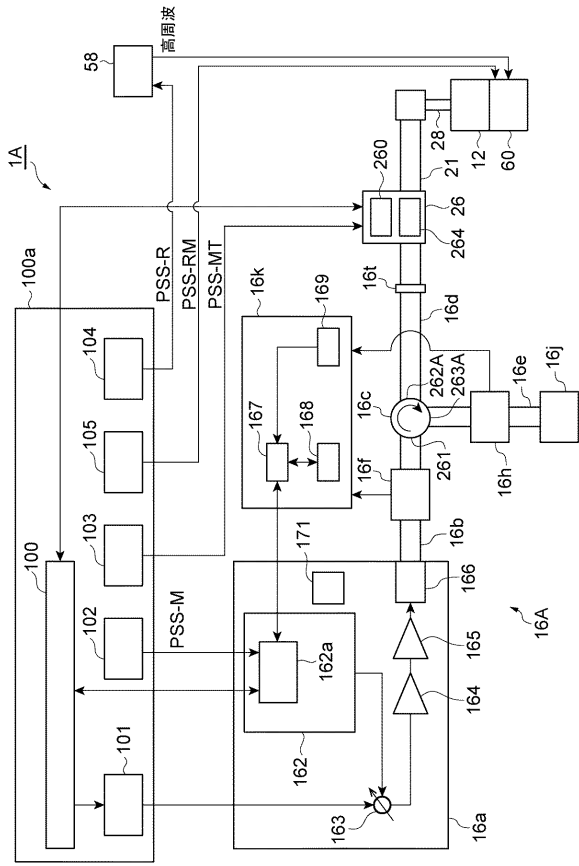
【 図 9 】



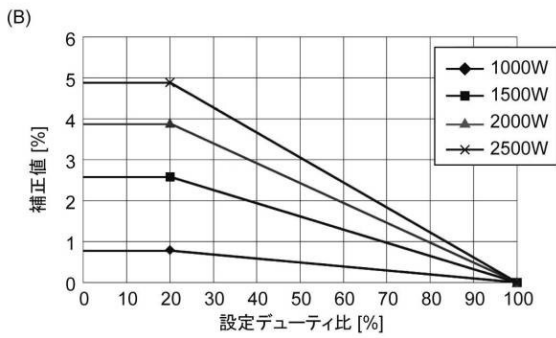
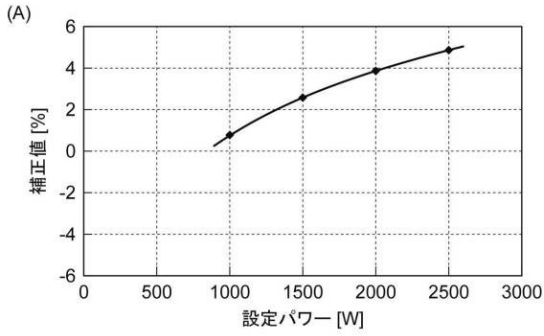
【 図 10 】



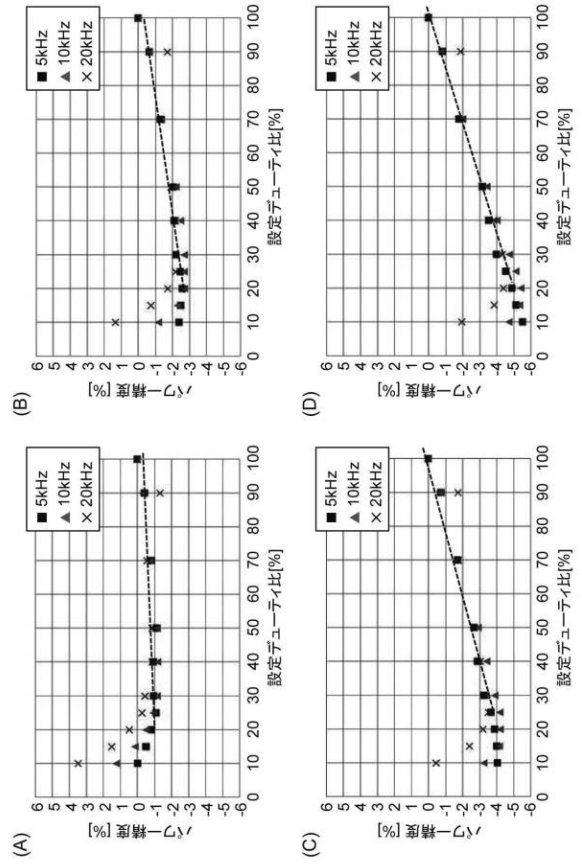
【図 1 1】



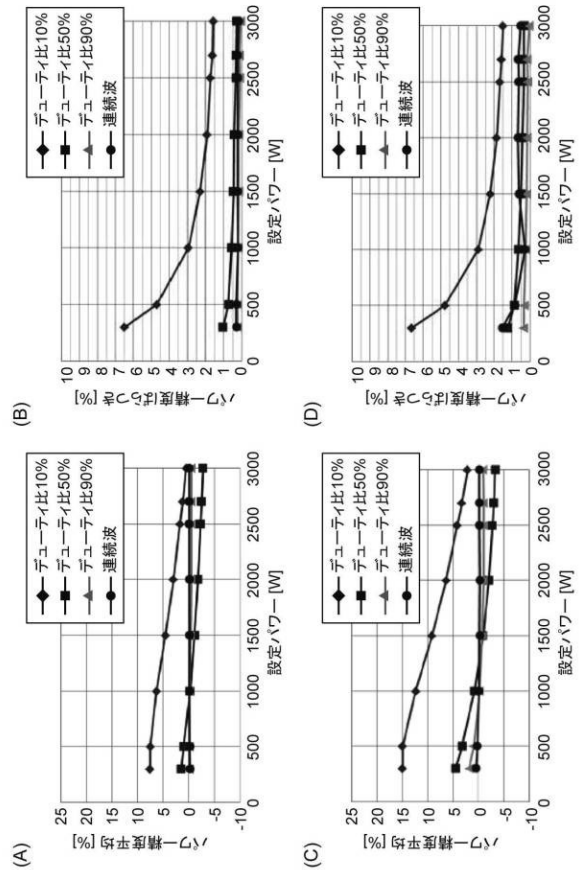
【図 1 3】



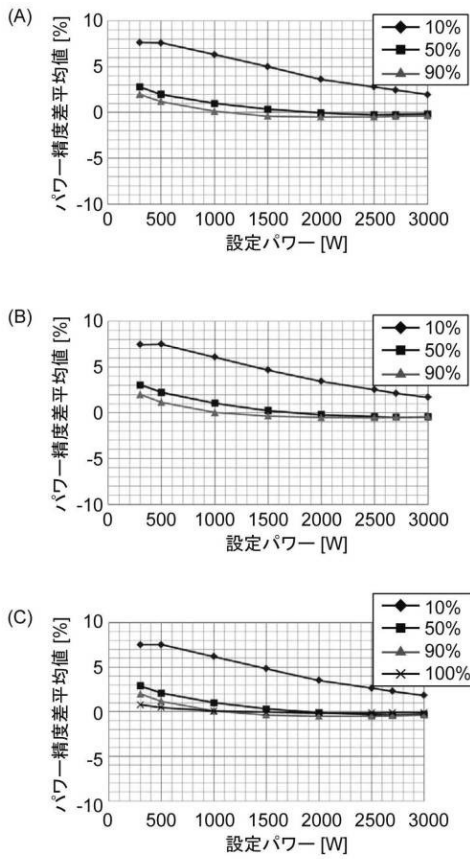
【図 1 2】



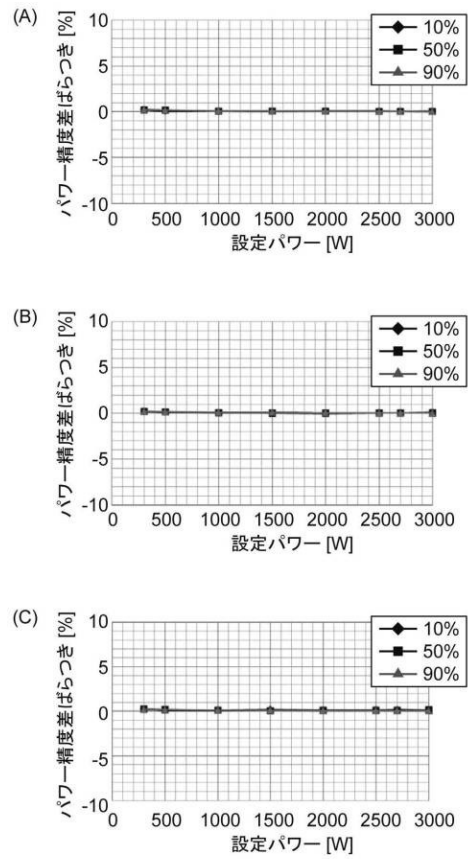
【図 1 4】



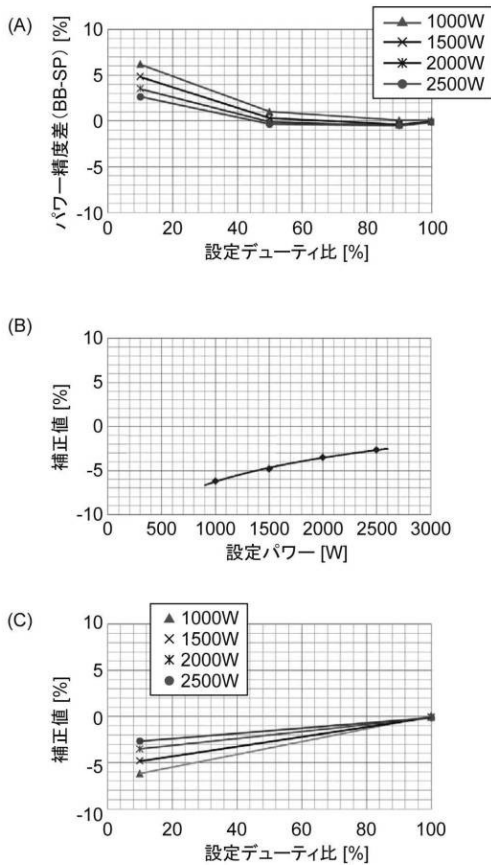
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 石田 洋平

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

Fターム(参考) 2G084 BB22 CC06 CC09 CC14 CC33 DD04 DD19 DD37 DD38 DD42
DD45 DD47 DD51 DD53 DD56 EE02 EE03 EE05 EE06 EE17
EE21 FF14 FF20 FF22 FF32 HH05 HH06 HH07 HH08 HH23
HH26 HH28 HH29 HH43 HH52 HH54 HH55