

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6842443号
(P6842443)

(45) 発行日 令和3年3月17日(2021.3.17)

(24) 登録日 令和3年2月24日(2021.2.24)

(51) Int.Cl.

F 1

H05H 1/46 (2006.01)

H05H 1/46

R

H01L 21/3065 (2006.01)

H01L 21/302

101B

C23C 16/505 (2006.01)

C23C 16/505

請求項の数 10 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2018-119084 (P2018-119084)

(73) 特許権者 000219967

(22) 出願日 平成30年6月22日 (2018.6.22)

東京エレクトロン株式会社

(65) 公開番号 特開2019-220435 (P2019-220435A)

東京都港区赤坂五丁目3番1号

(43) 公開日 令和1年12月26日 (2019.12.26)

(74) 代理人 100088155

審査請求日 令和2年12月17日 (2020.12.17)

弁理士 長谷川 芳樹

早期審査対象出願

(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 久保田 純治

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

審査官 大門 清

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマを生成する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

チャンバと、

前記チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、パルス状の高周波電力又は合成高周波電力を出力するように構成された高周波電源部であり、該合成高周波電力は、該パルス状の高周波電力と該パルス状の高周波電力に対する反射波に対して逆位相で振動する補正高周波電力との合成電力である、該高周波電源部と、

前記パルス状の高周波電力に対する前記反射波を表す反射波モニタ信号に対して逆位相で振動する補正信号を生成するよう構成された補正信号生成部と、
を備え、

前記高周波電源部は、第1の期間において前記パルス状の高周波電力を出力するように構成されており、

前記補正信号生成部は、前記第1の期間における前記反射波モニタ信号から前記補正信号を生成するように構成されており、

前記高周波電源部は、前記第1の期間の後の一以上の第2の期間の各々において、前記補正信号を用いて生成した前記合成高周波電力を出力するように構成されており、前記第1の期間における前記パルス状の高周波電力の出力と前記一以上の第2の期間における前記合成高周波電力の出力を交互に繰り返すように構成されている、
プラズマ処理装置。

【請求項 2】

10

20

前記高周波電源部から出力された前記パルス状の高周波電力及び前記合成高周波電力がその上で伝送される電気経路上に設けられた方向性結合器を更に備え、

前記補正信号生成部は、前記方向性結合器によって出力された前記反射波モニタ信号から前記補正信号を生成するよう構成されており、

前記高周波電源部は、

パルス状の高周波信号を発生するよう構成された高周波信号発生器と、

前記パルス状の高周波信号に前記補正信号を加算することにより合成高周波信号を生成するように構成された加算器と、

前記パルス状の高周波信号を増幅することにより前記パルス状の高周波電力を生成し、前記合成高周波信号を増幅することにより前記合成高周波電力を生成するように構成された増幅器と、

を有し、

前記第1の期間では、前記補正信号が前記パルス状の高周波信号に加算されない、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】

前記補正信号生成部は、前記反射波モニタ信号の逆相信号を生成し、前記増幅器の入力信号の振幅に対する増幅率の依存性を解消するように前記逆相信号を補正することにより前記補正信号を生成するように構成されている、請求項2に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】

前記第1の期間及び前記一以上の第2の期間は、所定の周波数で規定される連続する複数の周期とそれ同一の期間である、請求項1～3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】

該プラズマ処理装置は、前記高周波電源部を第1の高周波電源部として備え、

下部電極を有し、前記チャンバの中で基板を支持するように構成された支持台と、

前記支持台に電気的に接続されており、別の高周波電力を出力するように構成された第2の高周波電源部であり、該別の高周波電力の周波数は、前記パルス状の高周波電力の周波数よりも低い、該第2の高周波電源部と、

前記別の高周波電力に同期した同期信号を発生するように構成された同期信号発生器と、

を更に備え、

前記第1の期間及び前記一以上の第2の期間は、前記別の高周波電力の連続する複数の周期とそれ同一であり、

前記第1の高周波電源部は、前記同期信号に応じて前記第1の期間において前記パルス状の高周波電力を生成し、前記同期信号に応じて前記一以上の第2の期間の各々において前記合成高周波電力を生成するように構成されている、

請求項1～3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】

プラズマ処理装置のチャンバ内でプラズマを生成する方法であって、

前記チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、第1の期間においてパルス状の高周波電力を出力する工程と、

前記パルス状の高周波電力に対する反射波を表す反射波モニタ信号に対して逆位相で振動する補正信号を生成する工程と、

前記チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、前記第1の期間の後の一以上の第2の期間の各々において、合成高周波電力を出力する工程であり、該合成高周波電力は、該パルス状の高周波電力と該パルス状の高周波電力に対する反射波に対して逆位相で振動する補正高周波電力との合成電力であり、前記補正信号を用いて生成される、該工程と、

を含み、

パルス状の高周波電力を出力する前記工程及び合成高周波電力を出力する前記工程は、

10

20

30

40

50

前記第1の期間における前記パルス状の高周波電力の出力と前記一以上の第2の期間における前記合成高周波電力の出力が交互に繰り返されるように、実行される、
プラズマを生成する方法。

【請求項7】

前記反射波モニタ信号は、前記パルス状の高周波電力及び前記合成高周波電力がその上で伝送される電気経路上に設けられた方向性結合器によって出力され、

前記補正信号は、前記方向性結合器によって出力された前記反射波モニタ信号からを生成され、

前記パルス状の高周波電力は、高周波信号発生器によって発生されるパルス状の高周波信号を増幅器によって加算することによって生成され、

前記合成高周波電力は、加算器によって前記パルス状の高周波信号に前記補正信号を加算することにより生成される合成高周波信号を前記増幅器によって増幅することにより生成され、

前記第1の期間では、前記補正信号が前記パルス状の高周波信号に加算されない、
請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記補正信号は、前記反射波モニタ信号の逆相信号を生成し、前記増幅器の入力信号の振幅に対する増幅率の依存性を解消するように前記逆相信号を補正することによりを生成される、請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記第1の期間及び前記一以上の第2の期間は、所定の周波数で規定される連続する複数の周期とそれぞれ同一の期間である、請求項6～8の何れか一項に記載の方法。

【請求項10】

前記プラズマ処理装置は、

前記パルス状の高周波電力又は前記合成高周波電力を出力するように構成された第1の高周波電源部と、

下部電極を有し、前記チャンバの中で基板を支持するように構成された支持台と、

前記支持台に電気的に接続されており、別の高周波電力を出力するように構成された第2の高周波電源部であり、該別の高周波電力の周波数は、前記パルス状の高周波電力の周波数よりも低い、該第2の高周波電源部と、

前記別の高周波電力に同期した同期信号を発生するように構成された同期信号発生器と、

を更に備え、

前記第1の期間及び前記一以上の第2の期間は、前記別の高周波電力の連続する複数の周期とそれぞれ同一であり、

前記第1の高周波電源部は、前記同期信号に応じて前記第1の期間において前記パルス状の高周波電力を生成し、前記同期信号に応じて前記一以上の第2の期間の各々において前記合成高周波電力を生成するように構成されている、

請求項6～8の何れか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【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を生成する方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電子デバイスの製造のために、プラズマ処理が行われている。プラズマ処理では、プラズマ処理装置が用いられる。プラズマ処理装置は、チャンバ及び高周波電源を備える。高周波電源は、チャンバ内のガスからプラズマを生成するために、高周波電力を出力するように構成されている。

10

20

30

40

50

【0003】

プラズマ処理装置では、高周波電力に対する反射波を低減するために、整合器が高周波電源と負荷との間に設けられている。整合器については、特許文献1～3に記載されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献1】特開平10-241895号公報

【特許文献2】特表2018-504864号公報

【特許文献3】特許第3629705号明細書

10

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

プラズマ処理装置では、プラズマの生成のためにパルス状の高周波電力が利用されることがある。パルス状の高周波電力が利用される場合においても、反射波を低減することが求められる。

【課題を解決するための手段】**【0006】**

一つの例示的実施形態によれば、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、高周波電源部、及び補正信号生成部を備える。高周波電源部は、チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、パルス状の高周波電力又は合成高周波電力を出力するように構成されている。合成高周波電力は、パルス状の高周波電力と補正高周波電力との合成電力である。補正高周波電力は、パルス状の高周波電力に対する反射波に対して逆位相で振動する電力である。補正信号生成部は、補正信号を生成するよう構成されている。補正信号は、パルス状の高周波電力に対する反射波を表す反射波モニタ信号に対して逆位相で振動する信号である。高周波電源部は、第1の期間においてパルス状の高周波電力を出力するように構成されている。補正信号生成部は、第1の期間における反射波モニタ信号から補正信号を生成するように構成されている。高周波電源部は、第1の期間の後の一以上の第2の期間の各々において、補正信号を用いて生成した合成高周波電力を出力するように構成されている。高周波電源部は、第1の期間におけるパルス状の高周波電力の出力と一以上の第2の期間における合成高周波電力の出力を交互に繰り返すように構成されている。

20

【発明の効果】**【0007】**

パルス状の高周波電力が利用される場合において、反射波を低減することが可能となる。

30

【図面の簡単な説明】**【0008】**

【図1】一つの例示的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】図1に示すプラズマ処理装置の高周波電源部の構成の一例及び補正信号生成部の構成の一例を示す図である。

40

【図3】図1に示すプラズマ処理装置におけるプラズマの生成に関連するタイミングチャートの一例を示す図である。

【図4】図1に示すプラズマ処理装置において生成される反射波モニタ信号の一例及び逆相信号の一例を示す図である。

【図5】一つの例示的実施形態に係るプラズマを生成する方法を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】**【0009】**

以下、種々の例示的実施形態について説明する。

【0010】

50

一つの例示的実施形態においては、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、高周波電源部、及び補正信号生成部を備える。高周波電源部は、チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、パルス状の高周波電力又は合成高周波電力を出力するように構成されている。合成高周波電力は、パルス状の高周波電力と補正高周波電力との合成電力である。補正高周波電力は、パルス状の高周波電力に対する反射波に対して逆位相で振動する電力である。補正信号生成部は、補正信号を生成するよう構成されている。補正信号は、パルス状の高周波電力に対する反射波を表す反射波モニタ信号に対して逆位相で振動する信号である。高周波電源部は、第1の期間においてパルス状の高周波電力を出力するように構成されている。補正信号生成部は、第1の期間における反射波モニタ信号から補正信号を生成するよう構成されている。高周波電源部は、第1の期間の後の一以上の第2の期間の各々において、補正信号を用いて生成した合成高周波電力を出力するように構成されている。高周波電源部は、第1の期間におけるパルス状の高周波電力の出力と一以上の第2の期間における合成高周波電力の出力を交互に繰り返すように構成されている。10

【0011】

一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理装置では、一以上の第2の期間の各々において、合成高周波電力が出力される。合成高周波電力に含まれる補正高周波電力は、反射波モニタ信号に対して逆位相で振動する補正信号を用いて生成されている。したがって、このプラズマ処理装置によれば、一以上の第2の期間の各々において、反射波が低減される。また、第1の期間においてパルス状の高周波電力を出力することにより補正信号が生成された後に、一以上の第2の期間の各々において当該補正信号を用いて合成高周波電力が生成される。第1の期間と一以上の第2の期間とは交互に繰り返す。したがって、反射波の低減に適した合成高周波電力を適時に更新することができる。20

【0012】

一つの例示的実施形態において、プラズマ処理装置は、方向性結合器を更に備える。方向性結合器は、高周波電源部から出力されたパルス状の高周波電力及び合成高周波電力がその上で伝送される電気経路上に設けられている。補正信号生成部は、方向性結合器によつて出力された反射波モニタ信号から補正信号を生成するよう構成されている。高周波電源部は、高周波信号発生器、加算器、及び増幅器を有する。高周波信号発生器は、パルス状の高周波信号を発生するよう構成されている。加算器は、パルス状の高周波信号に補正信号を加算することにより合成高周波信号を生成するよう構成されている。増幅器は、パルス状の高周波信号を増幅することによりパルス状の高周波電力を生成し、合成高周波信号を増幅することにより合成高周波電力を生成するよう構成されている。第1の期間では、補正信号がパルス状の高周波信号に加算されない。30

【0013】

一つの例示的実施形態において、第1の期間及び一以上の第2の期間は、所定の周波数で規定される連続する複数の周期とそれぞれ同一の期間であつてもよい。

【0014】

一つの例示的実施形態において、補正信号生成部は、反射波モニタ信号の逆相信号を生成し、増幅器の入力信号の振幅に対する増幅率の依存性を解消するよう逆相信号を補正することにより補正信号を生成するよう構成されている。増幅器の増幅率は、入力信号の振幅に対して依存性、即ち増幅率の振幅依存性を有することがある。この実施形態によれば、増幅器の増幅率の振幅依存性を予め打ち消すように補正信号が生成される。40

【0015】

一つの例示的実施形態において、プラズマ処理装置は、上記高周波電源部を第1の高周波電源部として備える。プラズマ処理装置は、支持台、第2の高周波電源部、及び同期信号発生器を更に備える。支持台は、下部電極を有する。支持台は、チャンバの中で基板を支持するように構成されている。第2の高周波電源部は、支持台に電気的に接続されており、別の高周波電力を出力するように構成されている。別の高周波電力の周波数は、パルス状の高周波電力の周波数よりも低い。同期信号発生器は、別の高周波電力に同期した同50

期信号を発生するように構成されている。第1の期間及び一以上の第2の期間は、別の高周波電力の連続する複数の周期とそれぞれ同一である。第1の高周波電源部は、同期信号に応じて第1の期間においてパルス状の高周波電力を生成し、同期信号に応じて一以上の第2の期間の各々において合成高周波電力を生成するように構成されている。

【0016】

別の例示的実施形態においては、プラズマ処理装置のチャンバ内でプラズマを生成する方法が提供される。この方法は、(i) チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、第1の期間においてパルス状の高周波電力を出力する工程と、(ii) パルス状の高周波電力に対する反射波を表す反射波モニタ信号に対して逆位相で振動する補正信号を生成する工程と、(iii) チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、第1の期間の後の一以上の第2の期間の各々において、合成高周波電力を出力する工程と、を含む。合成高周波電力は、パルス状の高周波電力と補正高周波電力との合成電力である。補正高周波電力は、パルス状の高周波電力に対する反射波に対して逆位相で振動する電力である。補正高周波電力は、補正信号を用いて生成される。パルス状の高周波電力を出力する工程及び合成高周波電力を出力する工程は、第1の期間におけるパルス状の高周波電力の出力と一以上の第2の期間における合成高周波電力の出力が交互に繰り返されるように、実行される。

【0017】

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。

【0018】

図1は、一つの例示的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1に示すプラズマ処理装置1は、容量結合型プラズマエッティング装置である。プラズマ処理装置1は、チャンバ10を備えている。チャンバ10は、その中に内部空間10sを提供している。

【0019】

チャンバ10は、チャンバ本体12を含んでいる。チャンバ本体12は、略円筒形状を有している。内部空間10sは、チャンバ本体12の内側に提供されている。チャンバ本体12は、例えばアルミニウムから形成されている。チャンバ本体12の内壁面上には、耐腐食性を有する膜が設けられている。耐腐食性を有する膜は、酸化アルミニウム、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。

【0020】

チャンバ本体12の側壁には、通路12pが形成されている。基板Wは、内部空間10sとチャンバ10の外部との間で搬送されるときに、通路12pを通過する。通路12pは、ゲートバルブ12gにより開閉可能となっている。ゲートバルブ12gは、チャンバ本体12の側壁に沿って設けられている。

【0021】

チャンバ本体12の底部上には、支持部13が設けられている。支持部13は、絶縁材料から形成されている。支持部13は、略円筒形状を有している。支持部13は、内部空間10sの中で、チャンバ本体12の底部から上方に延在している。支持部13は、支持台14を支持している。支持台14は、内部空間10sの中に設けられている。支持台14は、チャンバ10内、即ち内部空間10sの中で、基板Wを支持するように構成されている。

【0022】

支持台14は、下部電極18及び静電チャック20を有している。支持台14は、電極プレート16を更に有し得る。電極プレート16は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極18は、電極プレート16上に設けられている。下部電極18は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極18は、電極プレート16に電気的に接続されている。

10

20

30

40

50

【0023】

静電チャック20は、下部電極18上に設けられている。静電チャック20の上面の上には、基板Wが載置される。静電チャック20は、本体及び電極を有する。静電チャック20の本体は、略円盤形状を有し、誘電体から形成されている。静電チャック20の電極は、膜状の電極であり、静電チャック20の本体内に設けられている。静電チャック20の電極は、スイッチ20sを介して直流電源20pに接続されている。静電チャック20の電極に直流電源20pからの電圧が印加されると、静電チャック20と基板Wとの間で静電引力が発生する。発生した静電引力により、基板Wは、静電チャック20に引き付けられ、静電チャック20によって保持される。

【0024】

下部電極18の周縁部上には、基板Wのエッジを囲むように、フォーカスリングFRが配置される。フォーカスリングFRは、基板Wに対するプラズマ処理の面内均一性を向上させるために設けられている。フォーカスリングFRは、限定されるものではないが、シリコン、炭化シリコン、又は石英から形成され得る。

【0025】

下部電極18の内部には、流路18fが設けられている。流路18fには、チャンバ10の外部に設けられているチラーユニット22から配管22aを介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。流路18fに供給された熱交換媒体は、配管22bを介してチラーユニット22に戻される。プラズマ処理装置1では、静電チャック20上に載置された基板Wの温度が、熱交換媒体と下部電極18との熱交換により、調整される。

【0026】

プラズマ処理装置1には、ガス供給ライン24が設けられている。ガス供給ライン24は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス（例えばHeガス）を、静電チャック20の上面と基板Wの裏面との間に供給する。

【0027】

プラズマ処理装置1は、上部電極30を更に備えている。上部電極30は、支持台14の上方に設けられている。上部電極30は、部材32を介して、チャンバ本体12の上部に支持されている。部材32は、絶縁性を有する材料から形成されている。上部電極30と部材32は、チャンバ本体12の上部開口を閉じている。

【0028】

上部電極30は、天板34及び支持体36を含み得る。天板34の下面は、内部空間10sの側の下面であり、内部空間10sを画成している。天板34は、ジュール熱の少ない低抵抗の導電体又は半導体から形成され得る。天板34には、複数のガス吐出孔34aが形成されている。複数のガス吐出孔34aは、天板34をその板厚方向に貫通している。

【0029】

支持体36は、天板34を着脱自在に支持する。支持体36は、アルミニウムといった導電性材料から形成される。支持体36の内部には、ガス拡散室36aが設けられている。支持体36には、複数のガス孔36bが形成されている。複数のガス孔36bは、ガス拡散室36aから下方に延びている。複数のガス孔36bは、複数のガス吐出孔34aにそれぞれ連通している。支持体36には、ガス導入口36cが形成されている。ガス導入口36cは、ガス拡散室36aに接続している。ガス導入口36cには、ガス供給管38が接続されている。

【0030】

ガス供給管38には、バルブ群41、流量制御器群42、及びバルブ群43を介して、ガスソース群40が接続されている。ガスソース群40は、複数のガスソースを含んでいる。バルブ群41及びバルブ群43の各々は、複数の開閉バルブを含んでいる。流量制御器群42は、複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群42の複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器である。ガスソース群40の複数のガスソースの各々は、バルブ群41の対応の開閉バルブ、流量制御器群42の対応

10

20

30

40

50

の流量制御器、及びバルブ群43の対応の開閉バルブを介して、ガス供給管38に接続されている。

【0031】

プラズマ処理装置1では、チャンバ本体12の内壁面に沿って、シールド46が着脱自在に設けられている。シールド46は、支持部13の外周にも設けられている。シールド46は、チャンバ本体12にエッティング副生物が付着することを防止する。シールド46は、例えば、アルミニウムから形成された部材の表面に耐腐食性を有する膜を形成することにより構成される。耐腐食性を有する膜は、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。

【0032】

10

支持部13とチャンバ本体12の側壁との間には、バッフルプレート48が設けられている。バッフルプレート48は、例えば、アルミニウムから形成された部材の表面に耐腐食性を有する膜を形成することにより構成される。耐腐食性を有する膜は、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。バッフルプレート48には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート48の下方、且つ、チャンバ本体12の底部には、排気口12eが設けられている。排気口12eには、排気管52を介して排気装置50が接続されている。排気装置50は、圧力調整弁及びターボ分子ポンプといった真空ポンプを有している。

【0033】

20

プラズマ処理装置1は、高周波電源部61を更に備えている。高周波電源部61は、一例の第1の高周波電源部である。高周波電源部61は、チャンバ10内でガスからプラズマを生成するために、高周波電力HFを出力するように構成されている。高周波電力HFの基本周波数は、例えば27MHz～100MHzの範囲内の周波数である。一例では、高周波電力HFの基本周波数は、40.68MHzである。

【0034】

30

高周波電源部61は、整合器63を介して下部電極18に電気的に接続されている。整合器63は、整合回路を有している。整合器63の整合回路は、高周波電源部61の負荷側（下部電極側）のインピーダンスを、高周波電源部61の出力インピーダンスに整合させるよう構成されている。別の実施形態では、高周波電源部61は、整合器63を介して上部電極30に電気的に接続されていてもよい。

【0035】

一実施形態において、プラズマ処理装置1は、方向性結合器65を更に備え得る。方向性結合器65は、電気経路EP1上に設けられている。高周波電力HFは、高周波電源部61によって出力されて電気経路EP1上で伝送される。一実施形態において、方向性結合器65は、高周波電源部61と整合器63との間に設けられている。方向性結合器65は、高周波電力HFに対する反射波の一部を電気経路EP1から分岐させる。方向性結合器65は、当該反射波の一部を反射波モニタ信号MSとして出力する。

【0036】

40

一実施形態において、プラズマ処理装置1は、高周波電源部62を更に備え得る。高周波電源部62は、第2の高周波電源部の一例である。高周波電源部62は、高周波電力LFを出力するように構成されている。高周波電力LFは、主としてイオンを基板Wに引き込むことに適した周波数を有する。高周波電力LFの基本周波数は、例えば400kHz～13.56MHzの範囲内の周波数である。一例では、高周波電力LFの基本周波数は、400kHzである。

【0037】

高周波電源部62は、整合器64を介して下部電極18に電気的に接続されている。整合器64は、整合回路を有している。整合器64の整合回路は、高周波電源部62の負荷側（下部電極側）のインピーダンスを、高周波電源部62の出力インピーダンスに整合させるよう構成されている。

【0038】

50

一実施形態において、プラズマ処理装置1は、方向性結合器66を更に備え得る。方向性結合器66は、電気経路EP2上に設けられている。高周波電力LFは、高周波電源部62によって出力されて電気経路EP2上で伝送される。一実施形態において、方向性結合器66は、高周波電源部62と整合器64との間に設けられている。方向性結合器66は、高周波電力LFに対する反射波の一部を電気経路EP2から分岐させる。方向性結合器66は、当該反射波の一部を反射波モニタ信号として出力する。方向性結合器66からの反射波モニタ信号は、例えば高周波電力LFのパワー制御のために利用される。

【0039】

プラズマ処理装置1は、制御部80を更に備え得る。制御部80は、プロセッサ、メモリといった記憶部、入力装置、表示装置、信号の入出力インターフェイス等を備えるコンピュータであり得る。制御部80は、プラズマ処理装置1の各部を制御する。制御部80では、入力装置を用いて、オペレータ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ことができる。また、制御部80では、表示装置により、プラズマ処理装置1の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、制御部80の記憶部には、制御プログラム及びレシピデータが格納されている。制御プログラムは、プラズマ処理装置1で各種処理を実行するために、制御部80のプロセッサによって実行される。制御部80のプロセッサが、制御プログラムを実行し、レシピデータに従ってプラズマ処理装置1の各部を制御することにより、後述する方法MTがプラズマ処理装置1で実行される。

【0040】

以下、図1に加えて、図2、図3、及び図4を参照する。図2は、図1に示すプラズマ処理装置の電源部の構成の一例及び補正信号生成部の構成の一例を示す図である。図3は、図1に示すプラズマ処理装置におけるプラズマの生成に関連するタイミングチャートの一例を示す図である。図4は、図1に示すプラズマ処理装置において生成される反射波モニタ信号の一例及び逆相信号の一例を示す図である。

【0041】

高周波電源部61は、図3に示すように、高周波電力HFとして、パルス状の高周波電力PHF又は合成高周波電力SHFを出力するように構成されている。パルス状の高周波電力PHFは、ある期間内での電力レベルが当該期間の前後の期間内での電力レベルよりも高くなるようにその電力レベルが設定された高周波電力である。一例では、パルス状の高周波電力PHFは、ある期間においてON状態に設定され、当該期間の前後の期間においてOFF状態に設定される。即ち、一例では、パルス状の高周波電力PHFは、ある期間においてプラズマを生成するための電力レベルを有し、当該期間の前後の期間において0Wに設定される。

【0042】

合成高周波電力SHFは、パルス状の高周波電力PHFと補正高周波電力との合成電力である。補正高周波電力は、パルス状の高周波電力PHFに対する反射波に対して逆位相で振動する電力である。

【0043】

高周波電源部61は、第1の期間P1においてパルス状の高周波電力PHFを出力するように構成されている。第1の期間P1内でパルス状の高周波電力PHFの出力が開始されるタイミング及び第1の期間P1内でパルス状の高周波電力PHFが出力される時間長は、制御部80から高周波電源部61に指定される。高周波電源部61は、一以上の第2の期間P2の各々において、合成高周波電力SHFを出力するように構成されている。一以上の第2の期間P2は、第1の期間P1の後の期間である。一以上の第2の期間P2は、第1の期間P1に順に続いてもよい。一以上の第2の期間P2の各々の時間長は、第1の期間P1の時間長と同一であり得る。第1の期間P1及び一以上の第2の期間P2は、所定の周波数で規定される連続する複数の周期とそれぞれ同一の期間であってもよい。

【0044】

高周波電源部61は、第1の期間P1におけるパルス状の高周波電力PHFの出力と一

10

20

30

40

50

以上の第2の期間P2における合成高周波電力SHFの出力を交互に繰り返すように構成されている。なお、図3に示す例では、第1の期間P1の後に四つの第2の期間P2が続いているが、第1の期間P1の後の第2の期間の数は限定されるものではない。

【0045】

高周波電源部61は、補正信号CSを用いて合成高周波電力SHFを生成するように構成されている。補正信号CSは、補正信号生成部70によって生成される。補正信号生成部70は、第1の期間P1における反射波モニタ信号MSから補正信号CSを生成するように構成されている。反射波モニタ信号MSは、方向性結合器65によって出力される。補正信号CSは、反射波モニタ信号MSに対して逆位相で振動する信号である。

【0046】

一実施形態において、補正信号生成部70は、A/D変換器70a、演算器70b、及び、D/A変換器70cを有する。A/D変換器70aは、反射波モニタ信号MSに対してA/D変換を実行して、デジタル信号を生成する。A/D変換器70aによって生成されたデジタル信号は、反射波モニタデジタル信号として、演算器70bに与えられる。演算器70bは、例えばプロセッサである。演算器70bは、反射波モニタデジタル信号の逆相信号RSを生成する。図4に示すように、逆相信号RSは、反射波モニタ信号MSに対して逆位相で振動する信号であり、逆相信号RSは、反射波モニタ信号MSに対する180°の位相反転処理のみによって生成される。

【0047】

一実施形態では、補正信号CSは、逆相信号RSのD/A変換により生成されるアナログ信号であってもよい。即ち、演算器70bは、逆相信号RSを補正デジタル信号として出力してもよい。別の実施形態では、補正信号生成部70は、逆相信号RSを補正することにより補正信号を生成するように構成されていてもよい。具体的には、演算器70bは、増幅器61cの入力信号の振幅に対する増幅率の依存性（非線形の依存性）を解消するように逆相信号RSの振幅を補正することにより、補正デジタル信号を生成してもよい。

【0048】

演算器70bによって生成された補正デジタル信号は、D/A変換器70cに与えられる。D/A変換器70cは、入力された補正デジタル信号に対してD/A変換を実行して、補正信号CS（アナログ信号）を生成する。D/A変換器70cによって生成された補正信号CSは、高周波電源部61に与えられる。

【0049】

補正信号生成部70は、第1の期間P1においては補正信号CSを高周波電源部61に与えない。一方、補正信号生成部70は、第1の期間P1の後のー以上の第2の期間P2の各々においては、補正信号CSを高周波電源部61に与える。

【0050】

一実施形態において、高周波電源部61は、高周波信号発生器61a、加算器61b、及び増幅器61cを有している。高周波信号発生器61aは、パルス状の高周波信号PSを発生するように構成されている。高周波信号発生器61aは、例えばファンクションジェネレータである。高周波信号発生器61aによって発生されるパルス状の高周波信号PSの基本周波数は、高周波電力HFの基本周波数と同一である。

【0051】

高周波信号発生器61aは、第1の期間P1及びー以上の第2の期間P2の各々においてパルス状の高周波信号PSを出力するように構成されている。第1の期間P1及びー以上の第2の期間P2の各々において、高周波信号発生器61aがパルス状の高周波信号PSの出力を開始するタイミングは、制御部80から高周波信号発生器61aに指定される。また、第1の期間P1及びー以上の第2の期間P2の各々において、高周波信号発生器61aがパルス状の高周波信号PSを出力する時間長は、制御部80から高周波信号発生器61aに指定される。

【0052】

加算器61bは、高周波信号発生器61aからパルス状の高周波信号PSを受ける。ま

10

20

30

40

50

た、加算器 61b は、補正信号生成部 70 から補正信号 CS を受ける。加算器 61b は、パルス状の高周波信号 PS に補正信号 CS を加算して、合成高周波信号 AS を生成するよう構成されている。補正信号 CS が与えられない場合には、加算器 61b は、パルス状の高周波信号 PS を出力する。増幅器 61c は、パルス状の高周波信号 PS を増幅することによりパルス状の高周波電力 PHF を生成するよう構成されている。また、増幅器 61c は、合成高周波信号 AS を増幅することにより合成高周波電力 SHF を生成するよう構成されている。

【 0 0 5 3 】

一実施形態において、高周波電源部 62 は、高周波信号発生器 62a 及び増幅器 62c を有している。高周波信号発生器 62a は、高周波信号を発生するよう構成されている。高周波信号発生器 62a は、例えばファンクションジェネレータである。高周波信号発生器 62a によって発生される高周波信号の周波数は、高周波電力 LF の周波数と同一である。増幅器 62c は、高周波信号発生器 62a からの高周波信号を増幅して、高周波電力 LF を生成する。高周波信号発生器 62a は、連続的に高周波信号を発生してもよい。即ち、高周波電源部 62 は、連続的に高周波電力 LF を出力してもよい。或いは、高周波信号発生器 62a は、パルス状の高周波信号を発生してもよい。即ち、高周波電源部 62 は、パルス状の高周波電力 LF を出力してもよい。

【 0 0 5 4 】

一実施形態においては、図 3 に示すように、第 1 の期間 P1 及び一以上の第 2 の期間 P2 は、高周波電力 LF の連続する複数の周期とそれ同一である。即ち、パルス状の高周波電力 PHF 及び合成高周波電力 SHF の各々の出力は、高周波電力 LF の対応の周期内で行われる。このため、一実施形態において、プラズマ処理装置 1 は、同期信号発生器 76 を更に備え得る。

【 0 0 5 5 】

同期信号発生器 76 は、同期信号 SS を発生し、同期信号 SS を出力する。同期信号 SS は、例えば、高周波電力 LF の各周期の開始時点において同期パルスを含む。高周波電源部 62 は、同期信号発生器 76 から与えられる同期信号 SS (その同期パルス) に各周期が同期するように、高周波電力 LF を出力する。

【 0 0 5 6 】

同期信号は、補正信号生成部 70 及び高周波電源部 61 にも与えられる。補正信号生成部 70 は、第 2 の期間 P2 の各々では、同期信号 SS の同期パルスを基準として制御部 80 から与えられた遅延時間で規定されるタイミングで、補正信号 CS を高周波電源部 61 に出力する。高周波電源部 61 の高周波信号発生器 61a は、第 1 の期間 P1 及び第 2 の期間 P2 の各々において、同期信号 SS の同期パルスを基準として制御部 80 から与えられた遅延時間で規定されるタイミングで、高周波信号 PS の出力を開始する。

【 0 0 5 7 】

以上説明したプラズマ処理装置 1 によれば、一以上の第 2 の期間 P2 の各々においては、合成高周波電力 SHF が出力される。合成高周波電力 SHF に含まれる補正高周波電力は、反射波モニタ信号 MS に対して逆位相で振動する補正信号 CS を用いて生成されている。したがって、プラズマ処理装置 1 によれば、一以上の第 2 の期間 P2 の各々において、反射波が低減される。また、第 1 の期間 P1 においてパルス状の高周波電力 PHF を出力することにより補正信号 CS が生成された後に、一以上の第 2 の期間の各々において補正信号 CS を用いて合成高周波電力 SHF が生成される。第 1 の期間 P1 と一以上の第 2 の期間 P2 とは交互に繰り返す。したがって、プラズマ処理装置 1 は、反射波の低減に適した合成高周波電力 SHF を適時に更新することができる。

【 0 0 5 8 】

一実施形態においては、上述したように、増幅器 61c の増幅率の振幅依存性 (非線形の依存性) を予め打ち消すように補正信号 CS が生成される。この実施形態によれば、反射波がより低減され得る。なお、補正信号 CS は、パルス状の高周波電力 PHF に対する反射波を打ち消すように調整された遅延時間で、合成高周波電力 SHF の生成に用いられ

10

20

30

40

50

得る。一実施形態では、補正信号CSは、パルス状の高周波電力PHFに対する反射波を打ち消すように調整された遅延時間で、パルス状の高周波信号PSに対して加算され得る。

【0059】

以下、図5を参照して、一つの例示的実施形態に係るプラズマを生成する方法について説明する。図5は、一つの例示的実施形態に係るプラズマを生成する方法を示す流れ図である。以下の説明では、プラズマ処理装置1が用いられる場合を例として、方法MTを説明する。しかしながら、方法MTは、その複数の工程を実行し得る他のプラズマ処理装置を用いて実行されてもよい。

【0060】

方法MTは、工程ST1で開始する。工程ST1では、チャンバ10内でガスからプラズマを生成するために、高周波電源部61からパルス状の高周波電力PHFが出力される。パルス状の高周波電力PHFは、第1の期間P1において出力される。

【0061】

工程ST2では、補正信号生成部70によって補正信号CSが生成される。補正信号CSは、反射波モニタ信号MSに対して逆位相で振動する信号である。反射波モニタ信号MSは、パルス状の高周波電力PHFに対する反射波を表す信号である。反射波モニタ信号MSは、方向性結合器65によって補正信号生成部70に与えられる。

【0062】

工程ST3は、工程ST3a及び工程ST3bを含む。工程ST3aでは、チャンバ10内でガスからプラズマを生成するために、合成高周波電力SHFが出力される。合成高周波電力SHFは、第2の期間P2において出力される。合成高周波電力SHFは、パルス状の高周波電力PHFと補正高周波電力との合成電力である。補正高周波電力は、反射波に対して逆位相で振動する電力である。合成高周波電力SHFは、補正信号CSを用いて生成される。

【0063】

工程ST3bでは、停止条件が満たされるか否かが判定される。工程ST3bでは、工程ST3aの実行回数が所定回数に達している場合に停止条件が満たされていると判定される。工程ST3bにおいて停止条件が満たされていないと判定されると、工程ST3aが再び実行される。一方、工程ST3bにおいて停止条件が満たされていると判定されると、工程ST4が実行される。なお、所定回数が1回の場合には、工程ST3bは不要である。

【0064】

工程ST4では、別の停止条件が満たされるか否かが判定される。工程ST4では、工程ST1、工程ST2、及び工程ST3を含むシーケンスの実行回数が所定回数に達している場合に当該別の停止条件が満たされていると判定される。この所定回数は複数の回数である。工程ST4において当該別の停止条件が満たされていないと判定されると、上記シーケンスが再び実行される。一方、工程ST4において当該別の停止条件が満たされていると判定されると、方法MTは終了する。

【0065】

方法MTでは、工程ST1が実行されることにより、第1の期間P1においてパルス状の高周波電力PHFが出力される。工程ST3が実行されることにより、第1の期間P1の後のー以上の第2の期間P2の各々において合成高周波電力SHFが出力される。工程ST1及び工程ST3は、図3に示すように、第1の期間P1におけるパルス状の高周波電力の出力とー以上の第2の期間P2における合成高周波電力の出力が交互に繰り返されるように、実行される。

【0066】

方法MTにおいては、高周波電力LFが供給されてもよい。上述したように、第1の期間P1及びー以上の第2の期間P2の各々は、高周波電力LFの対応の周期に同期されていてもよい。

10

20

30

40

50

【0067】

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。

【0068】

例えば、別の実施形態において、プラズマ処理装置は、高周波電源部61と同様にパルス状の高周波電力を出力する単一の高周波電源部のみを備えていてもよい。単一の高周波電源部によって出力される高周波電力の基本周波数は、プラズマを生成することができれば、任意の周波数であってもよい。

【0069】

10

更に別の実施形態において、プラズマ処理装置は、誘導結合型のプラズマ処理装置であってもよい。誘導結合型のプラズマ処理装置においては、高周波電源部61は、アンテナに電気的に接続されていてもよい。アンテナは、プラズマの生成のためにチャンバ内で磁界を形成する。アンテナは、チャンバの天部の上に設けられ得る。或いは、誘導結合型のプラズマ処理装置においては、高周波電源部61及び高周波電源部62は下部電極に接続され、別の高周波電源がアンテナに接続されていてもよい。

【0070】

更に別の実施形態のプラズマ処理装置は、プラズマの生成のためにマイクロ波を用いるプラズマ処理装置であってもよい。マイクロ波は、チャンバの天部の上に設けられたアンテナから導入され得る。このタイプのプラズマ処理装置においては、高周波電源部61及び高周波電源部62は下部電極に接続される。

20

【0071】

また、プラズマ処理装置1では、上述したように、合成高周波信号ASを増幅器61cによって増幅することにより合成高周波電力SHFが生成されている。別の実施形態では、補正信号CSを別の増幅器によって増幅することによって補正高周波電力を生成してもよい。この場合には、増幅器61cの後段で、パルス状の高周波電力PHFに補正高周波電力を加算することによって、合成高周波電力SHFが生成される。

【0072】

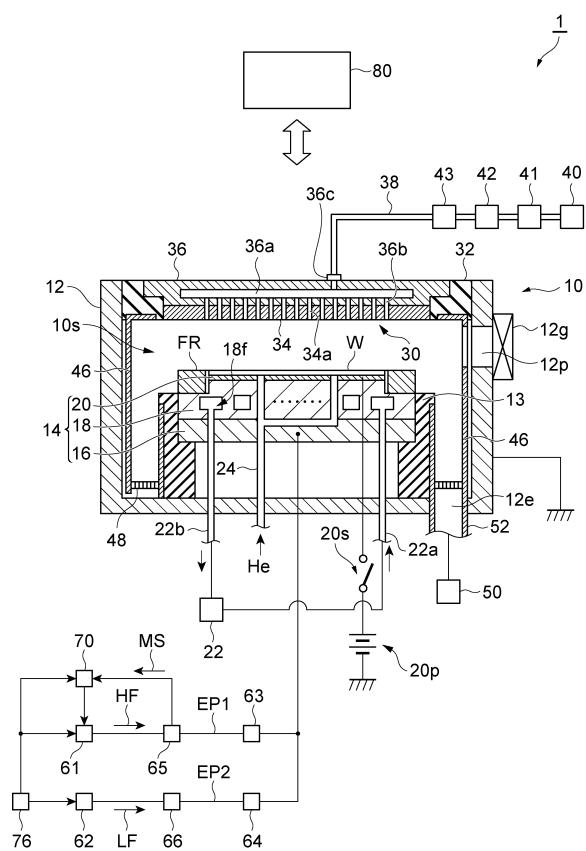
以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

30

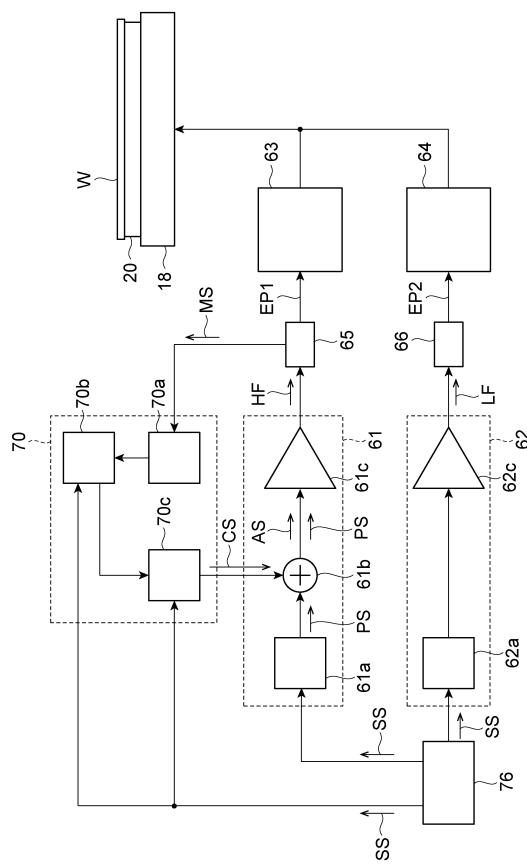
【符号の説明】**【0073】**

1... プラズマ処理装置、10... チャンバ、61... 高周波電源部、70... 補正信号生成部、P1... 第1の期間、P2... 第2の期間、PHF... パルス状の高周波電力、SHF... 合成高周波電力、CS... 補正信号、MS... 反射波モニタ信号。

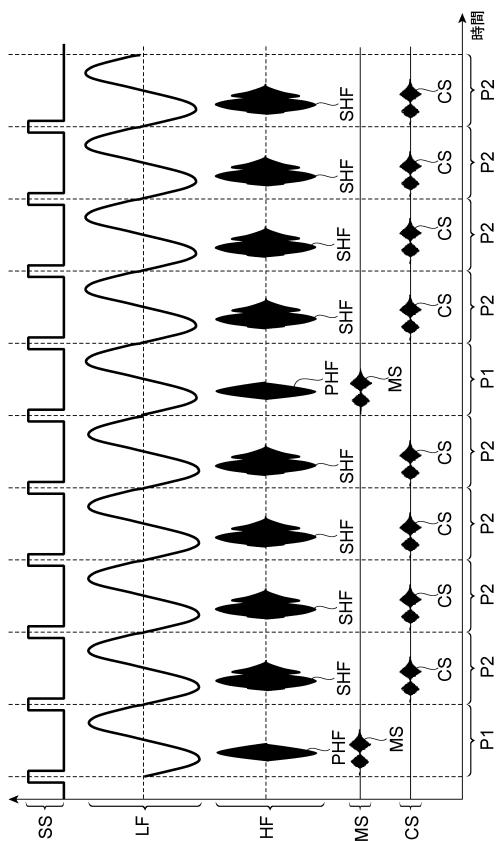
【図1】



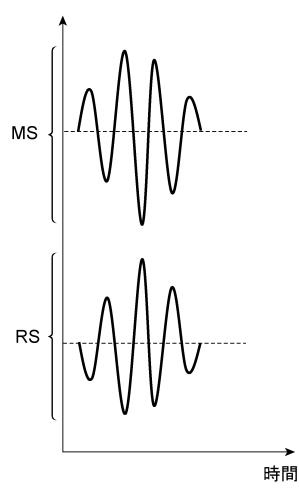
【図2】



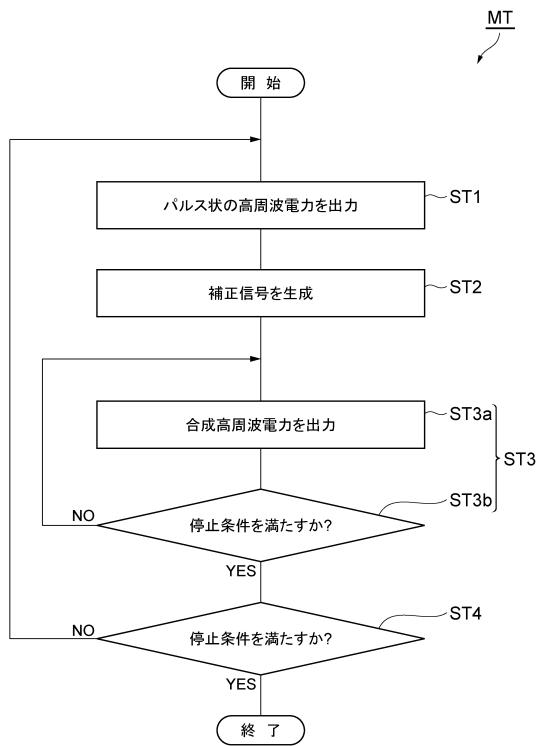
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2017/062083 (WO, A1)

特開2000-49000 (JP, A)

特開2017-228558 (JP, A)

特開2012-174736 (JP, A)

特開2013-135159 (JP, A)

特開2016-66593 (JP, A)

特開2013-125892 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/00 - 1/54

C23C 16/00 - 16/56

H01L 21/3065

H01L 21/205

H01L 21/31

H01L 21/365