

(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 I
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46 R
H01L 21/3065 (2006.01)	H01L 21/302 I O I B
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 紳治
			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に構成されており、

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に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ぞ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、

前記支持台に電氣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 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、

前記支持台に電氣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】

本開示の例示的实施形態は、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。

【 0 0 0 3 】

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 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開平 1 0 - 2 4 1 8 9 5 号公報

【 特許文献 2 】 特表 2 0 1 8 - 5 0 4 8 6 4 号公報

【 特許文献 3 】 特許第 3 6 2 9 7 0 5 号明細書

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

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 】

【 0 0 0 6 】

一つの例示的实施形態によれば、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

30

【 発明の効果 】

【 0 0 0 7 】

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。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 8 】

【 図 1 】 一つの例示的实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 】 一つの例示的实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 】

【 0 0 0 9 】

以下、種々の例示的实施形態について説明する。

【 0 0 1 0 】

50

一つの例示的实施形態においては、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】

一つの例示的实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】

一つの例示的实施形態において、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、方向性結合器によっ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】

一つの例示的实施形態において、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ってもよい。

【0014】

一つの例示的实施形態において、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に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】

一つの例示的实施形態において、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、支持台に電氣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】

別の例示的实施形態においては、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。

10

【００１７】

以下、図面を参照して種々の例示的实施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

20

【００１８】

図１は、一つの例示的实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チング装置である。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。

30

【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。

40

【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に電氣的に接続されている。

50

【 0 0 2 3 】

静電チャック 2 0 は、下部電極 1 8 上に設けられている。静電チャック 2 0 の上面の上には、基板 W が載置される。静電チャック 2 0 は、本体及び電極を有する。静電チャック 2 0 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 2 0 の電極は、膜状の電極であり、静電チャック 2 0 の本体内に設けられている。静電チャック 2 0 の電極は、スイッチ 2 0 s を介して直流電源 2 0 p に接続されている。静電チャック 2 0 の電極に直流電源 2 0 p からの電圧が印加されると、静電チャック 2 0 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 2 0 に引き付けられ、静電チャック 2 0 によって保持される。

【 0 0 2 4 】

下部電極 1 8 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 F R が配置される。フォーカスリング F R 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 F R 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。

【 0 0 2 5 】

下部電極 1 8 の内部には、流路 1 8 f が設けられている。流路 1 8 f には、チャンバ 1 0 の外部に設けられているチラーユニット 2 2 から配管 2 2 a を介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。流路 1 8 f に供給された熱交換媒体は、配管 2 2 b を介してチラーユニット 2 2 に戻される。プラズマ処理装置 1 では、静電チャック 2 0 上に載置された基板 W の温度が、熱交換媒体と下部電極 1 8 との熱交換により、調整される。

【 0 0 2 6 】

プラズマ処理装置 1 には、ガス供給ライン 2 4 が設けられている。ガス供給ライン 2 4 は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス（例えば H e ガス）を、静電チャック 2 0 の上面と基板 W の裏面との間に供給する。

【 0 0 2 7 】

プラズマ処理装置 1 は、上部電極 3 0 を更に備えている。上部電極 3 0 は、支持台 1 4 の上方に設けられている。上部電極 3 0 は、部材 3 2 を介して、チャンバ本体 1 2 の上部に支持されている。部材 3 2 は、絶縁性を有する材料から形成されている。上部電極 3 0 と部材 3 2 は、チャンバ本体 1 2 の上部開口を閉じている。

【 0 0 2 8 】

上部電極 3 0 は、天板 3 4 及び支持体 3 6 を含み得る。天板 3 4 の下面は、内部空間 1 0 s の側の下面であり、内部空間 1 0 s を画成している。天板 3 4 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 3 4 には、複数のガス吐出孔 3 4 a が形成されている。複数のガス吐出孔 3 4 a は、天板 3 4 をその板厚方向に貫通している。

【 0 0 2 9 】

支持体 3 6 は、天板 3 4 を着脱自在に支持する。支持体 3 6 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 3 6 の内部には、ガス拡散室 3 6 a が設けられている。支持体 3 6 には、複数のガス孔 3 6 b が形成されている。複数のガス孔 3 6 b は、ガス拡散室 3 6 a から下方に延びている。複数のガス孔 3 6 b は、複数のガス吐出孔 3 4 a にそれぞれ連通している。支持体 3 6 には、ガス導入口 3 6 c が形成されている。ガス導入口 3 6 c は、ガス拡散室 3 6 a に接続している。ガス導入口 3 6 c には、ガス供給管 3 8 が接続されている。

【 0 0 3 0 】

ガス供給管 3 8 には、バルブ群 4 1、流量制御器群 4 2、及びバルブ群 4 3 を介して、ガスソース群 4 0 が接続されている。ガスソース群 4 0 は、複数のガスソースを含んでいる。バルブ群 4 1 及びバルブ群 4 3 の各々は、複数の開閉バルブを含んでいる。流量制御器群 4 2 は、複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群 4 2 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 4 0 の複数のガスソースの各々は、バルブ群 4 1 の対応の開閉バルブ、流量制御器群 4 2 の対応

10

20

30

40

50

の流量制御器、及びバルブ群 4 3 の対応の開閉バルブを介して、ガス供給管 3 8 に接続されている。

【 0 0 3 1 】

プラズマ処理装置 1 では、チャンバ本体 1 2 の内壁面に沿って、シールド 4 6 が着脱自在に設けられている。シールド 4 6 は、支持部 1 3 の外周にも設けられている。シールド 4 6 は、チャンバ本体 1 2 にエッチング副生物が付着することを防止する。シールド 4 6 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。

【 0 0 3 2 】

支持部 1 3 とチャンバ本体 1 2 の側壁との間には、バッフルプレート 4 8 が設けられている。バッフルプレート 4 8 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 4 8 には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート 4 8 の下方、且つ、チャンバ本体 1 2 の底部には、排気口 1 2 e が設けられている。排気口 1 2 e には、排気管 5 2 を介して排気装置 5 0 が接続されている。排気装置 5 0 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。

【 0 0 3 3 】

プラズマ処理装置 1 は、高周波電源部 6 1 を更に備えている。高周波電源部 6 1 は、一例の第 1 の高周波電源部である。高周波電源部 6 1 は、チャンバ 1 0 内でガスからプラズマを生成するために、高周波電力 H F を出力するように構成されている。高周波電力 H F の基本周波数は、例えば $27\text{ MHz} \sim 100\text{ MHz}$ の範囲内の周波数である。一例では、高周波電力 H F の基本周波数は、 $40 \sim 68\text{ MHz}$ である。

【 0 0 3 4 】

高周波電源部 6 1 は、整合器 6 3 を介して下部電極 1 8 に電氣的に接続されている。整合器 6 3 は、整合回路を有している。整合器 6 3 の整合回路は、高周波電源部 6 1 の負荷側（下部電極側）のインピーダンスを、高周波電源部 6 1 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 6 1 は、整合器 6 3 を介して上部電極 3 0 に電氣的に接続されていてもよい。

【 0 0 3 5 】

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 6 5 を更に備え得る。方向性結合器 6 5 は、電気経路 E P 1 上に設けられている。高周波電力 H F は、高周波電源部 6 1 によって出力されて電気経路 E P 1 上で伝送される。一実施形態において、方向性結合器 6 5 は、高周波電源部 6 1 と整合器 6 3 との間に設けられている。方向性結合器 6 5 は、高周波電力 H F に対する反射波の一部を電気経路 E P 1 から分岐させる。方向性結合器 6 5 は、当該反射波の一部を反射波モニタ信号 M S として出力する。

【 0 0 3 6 】

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 6 2 を更に備え得る。高周波電源部 6 2 は、第 2 の高周波電源部の一例である。高周波電源部 6 2 は、高周波電力 L F を出力するように構成されている。高周波電力 L F 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 L F の基本周波数は、例えば $400\text{ kHz} \sim 13.56\text{ MHz}$ の範囲内の周波数である。一例では、高周波電力 L F の基本周波数は、 400 kHz である。

【 0 0 3 7 】

高周波電源部 6 2 は、整合器 6 4 を介して下部電極 1 8 に電氣的に接続されている。整合器 6 4 は、整合回路を有している。整合器 6 4 の整合回路は、高周波電源部 6 2 の負荷側（下部電極側）のインピーダンスを、高周波電源部 6 2 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。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

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 6 6 を更に備え得る。方向性結合器 6 6 は、電気経路 E P 2 上に設けられている。高周波電力 L F は、高周波電源部 6 2 によって出力されて電気経路 E P 2 上で伝送される。一実施形態において、方向性結合器 6 6 は、高周波電源部 6 2 と整合器 6 4 との間に設けられている。方向性結合器 6 6 は、高周波電力 L F に対する反射波の一部を電気経路 E P 2 から分岐させる。方向性結合器 6 6 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 6 6 からの反射波モニタ信号は、例えば高周波電力 L F のパワー制御のために利用される。

【 0 0 3 9 】

プラズマ処理装置 1 は、制御部 8 0 を更に備え得る。制御部 8 0 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 8 0 は、プラズマ処理装置 1 の各部を制御する。制御部 8 0 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 8 0 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 8 0 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 8 0 のプロセッサによって実行される。制御部 8 0 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 M T がプラズマ処理装置 1 で実行される。

【 0 0 4 0 】

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。

【 0 0 4 1 】

高周波電源部 6 1 は、図 3 に示すように、高周波電力 H F として、パルス状の高周波電力 P H F 又は合成高周波電力 S H F 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 P H F 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 P H F は、ある期間において O N 状態に設定され、当該期間の前後の期間において O F F 状態に設定される。即ち、一例では、パルス状の高周波電力 P H F 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 0 W に設定される。

【 0 0 4 2 】

合成高周波電力 S H F は、パルス状の高周波電力 P H F 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 P H F に対する反射波に対して逆位相で振動する電力である。

【 0 0 4 3 】

高周波電源部 6 1 は、第 1 の期間 P 1 においてパルス状の高周波電力 P H F を出力するように構成されている。第 1 の期間 P 1 内でパルス状の高周波電力 P H F の出力が開始されるタイミング及び第 1 の期間 P 1 内でパルス状の高周波電力 P H F が出力される時間長は、制御部 8 0 から高周波電源部 6 1 に指定される。高周波電源部 6 1 は、一以上の第 2 の期間 P 2 の各々において、合成高周波電力 S H F を出力するように構成されている。一以上の第 2 の期間 P 2 は、第 1 の期間 P 1 の後の期間である。一以上の第 2 の期間 P 2 は、第 1 の期間 P 1 に順に続いてよい。一以上の第 2 の期間 P 2 の各々の時間長は、第 1 の期間 P 1 の時間長と同一であり得る。第 1 の期間 P 1 及び一以上の第 2 の期間 P 2 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。

【 0 0 4 4 】

高周波電源部 6 1 は、第 1 の期間 P 1 におけるパルス状の高周波電力 P H F の出力と一

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の後の一以上の第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及び一以上の第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及び一以上の第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及び一以上の第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 6 1 b は、補正信号生成部 7 0 から補正信号 C S を受ける。加算器 6 1 b は、パルス状の高周波信号 P S に補正信号 C S を加算して、合成高周波信号 A S を生成するように構成されている。補正信号 C S が与えられない場合には、加算器 6 1 b は、パルス状の高周波信号 P S を出力する。増幅器 6 1 c は、パルス状の高周波信号 P S を増幅することによりパルス状の高周波電力 P H F を生成するように構成されている。また、増幅器 6 1 c は、合成高周波信号 A S を増幅することにより合成高周波電力 S H F を生成するように構成されている。

【 0 0 5 3 】

一実施形態において、高周波電源部 6 2 は、高周波信号発生器 6 2 a 及び増幅器 6 2 c を有している。高周波信号発生器 6 2 a は、高周波信号を発生するように構成されている。高周波信号発生器 6 2 a 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 6 2 a によって発生される高周波信号の周波数は、高周波電力 L F の周波数と同一である。増幅器 6 2 c は、高周波信号発生器 6 2 a からの高周波信号を増幅して、高周波電力 L F を生成する。高周波信号発生器 6 2 a 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 6 2 は、連続的に高周波電力 L F を出力してもよい。或いは、高周波信号発生器 6 2 a 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 6 2 は、パルス状の高周波電力 L F 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 P 1 及び一以上の第 2 の期間 P 2 は、高周波電力 L F の連続する複数の周期とそれぞれ同一である。即ち、パルス状の高周波電力 P H F 及び合成高周波電力 S H F の各々の出力は、高周波電力 L F 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 7 6 を更に備え得る。

【 0 0 5 5 】

同期信号発生器 7 6 は、同期信号 S S を発生し、同期信号 S S を出力する。同期信号 S S は、例えば、高周波電力 L F 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 6 2 は、同期信号発生器 7 6 から与えられる同期信号 S S (その同期パルス) に各周期が同期するように、高周波電力 L F を出力する。

【 0 0 5 6 】

同期信号は、補正信号生成部 7 0 及び高周波電源部 6 1 にも与えられる。補正信号生成部 7 0 は、第 2 の期間 P 2 の各々では、同期信号 S S の同期パルスを基準として制御部 8 0 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 C S を高周波電源部 6 1 に出力する。高周波電源部 6 1 の高周波信号発生器 6 1 a は、第 1 の期間 P 1 及び第 2 の期間 P 2 の各々において、同期信号 S S の同期パルスを基準として制御部 8 0 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 P S 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 P 2 の各々においては、合成高周波電力 S H F が出力される。合成高周波電力 S H F に含まれる補正高周波電力は、反射波モニタ信号 M S に対して逆位相で振動する補正信号 C S 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 P 2 の各々において、反射波が低減される。また、第 1 の期間 P 1 においてパルス状の高周波電力 P H F を出力することにより補正信号 C S 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 C S を用いて合成高周波電力 S H F が生成される。第 1 の期間 P 1 と一以上の第 2 の期間 P 2 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 S H F 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 6 1 c 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 C S 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 C S は、パルス状の高周波電力 P H F 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 S H F 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、一つの例示的实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、一つの例示的实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一以上の第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及び一以上の第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

【 0 0 6 7 】

以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实施形態に限定されることなく、様々な省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせることで他の実施形態を形成することが可能である。

【 0 0 6 8 】

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 6 1 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。

【 0 0 6 9 】

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 6 1 は、アンテナに電氣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 6 1 及び高周波電源部 6 2 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。

【 0 0 7 0 】

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 6 1 及び高周波電源部 6 2 は下部電極に接続される。

20

【 0 0 7 1 】

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 A S を増幅器 6 1 c によって増幅することにより合成高周波電力 S H F が生成されている。別の実施形態では、補正信号 C S 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 6 1 c の後段で、パルス状の高周波電力 P H F 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 S H F が生成される。

【 0 0 7 2 】

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。

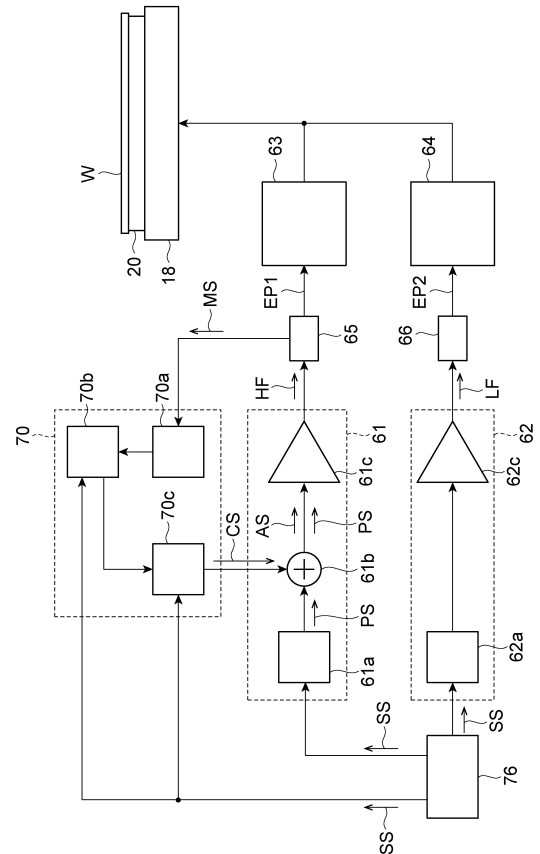
30

【 符号の説明 】

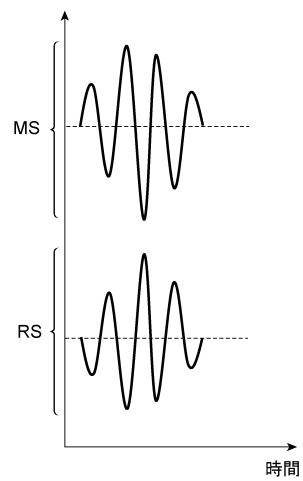
【 0 0 7 3 】

1 ... プラズマ処理装置、 1 0 ... チャンバ、 6 1 ... 高周波電源部、 7 0 ... 補正信号生成部、 P 1 ... 第 1 の期間、 P 2 ... 第 2 の期間、 P H F ... パルス状の高周波電力、 S H F ... 合成高周波電力、 C S ... 補正信号、 M S ... 反射波モニタ信号。

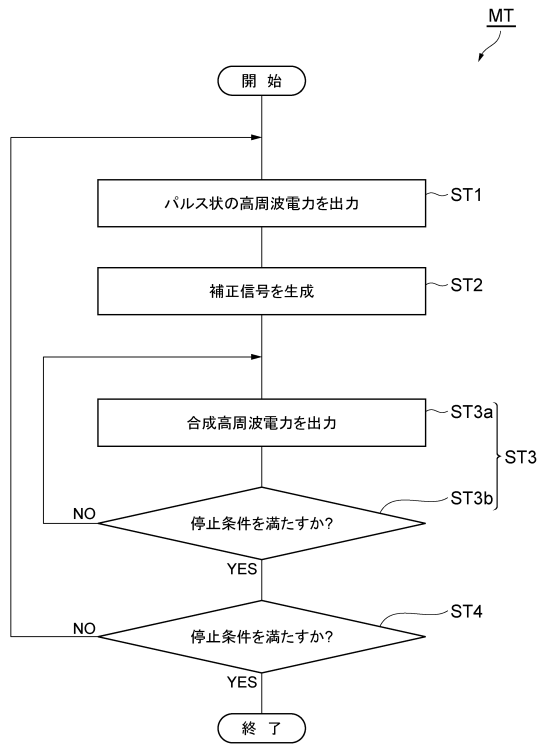
【 図 2 】



【 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