

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6449260号
(P6449260)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int.Cl.	F 1
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46 L
H01L 21/3065 (2006.01)	H05H 1/46 M
C23C 16/505 (2006.01)	H01L 21/302 1 O 1 G C23C 16/505

請求項の数 14 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2016-519526 (P2016-519526)
(86) (22) 出願日	平成26年5月29日 (2014.5.29)
(65) 公表番号	特表2016-528667 (P2016-528667A)
(43) 公表日	平成28年9月15日 (2016.9.15)
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/039965
(87) 国際公開番号	W02014/204627
(87) 国際公開日	平成26年12月24日 (2014.12.24)
審査請求日	平成29年4月28日 (2017.4.28)
(31) 優先権主張番号	61/835,847
(32) 優先日	平成25年6月17日 (2013.6.17)
(33) 優先権主張国	米国(US)
(31) 優先権主張番号	14/287,480
(32) 優先日	平成26年5月27日 (2014.5.27)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド A P P L I E D M A T E R I A L S, I N C O R P O R A T E D アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 054 サンタ クララ バウアーズ ア ベニュー 3050
(74) 代理人	100101502 弁理士 安齋 嘉章
(72) 発明者	ビシャラ ワヘブ アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 025 メンロ パーク メナルト アベ ニュー 1946エー

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマチャンバ内での高速で再現性のあるプラズマの点火及び同調のための装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

処理チャンバ内でプラズマ処理するための装置であって、
周波数同調を有する第1RF電源と、
第1RF電源に結合された第1整合ネットワークと、
第1RF電源及び第1整合ネットワークを制御するためのコントローラを含み、コントローラは、

処理チャンバにRF電力を供給するようにRF電源に指示すること、処理チャンバに送出されるRF電力のレベルを変更するようにRF電源に指示すること、又は処理チャンバ内の圧力を変化させることのうちの少なくとも1つによってプラズマの遷移を開始し、
RF電源は、第1周波数で動作し、整合ネットワークは、ホールドモードにあり、
10

プラズマを点火するために第1期間の間に第1周波数を第2周波数に調整するようにRF電源に指示し、

プラズマを維持しながら、第2期間の間に第2周波数を既知の第3周波数に調整するためにRF電源に指示し、

第2の期間の間に、RF電源によって供給されるRF電力の反射電力を低減するため、整合ネットワークの動作モードを自動同調モードに変更するように構成された装置。

【請求項 2】

第1整合ネットワークは、第1RF電源内に組み込まれており、コントローラは、第1RF電源の出力で測定されるように共通センサによって提供される共通の反射電力の測定

値に基づいて、第1整合ネットワークの同調並びにR Fサイクルを備えた周波数の両方を制御する、請求項1記載の装置。

【請求項3】

反射電力は、R F電源によって供給される順方向電力の約0%～20%の間に低減される、請求項1記載の装置。

【請求項4】

プラズマが、第1期間の間、R F電源からの反射電力を低減するために点火された後に、第1周波数が第2周波数に調整される、請求項1記載の装置。

【請求項5】

反射電力の大きさは、到達時に第1期間の終了を意味する所定の閾値に対してチェックされる、請求項4記載の装置。 10

【請求項6】

第1期間は、既知の所定値である、請求項1～5のいずれか1項記載の装置。

【請求項7】

処理チャンバ内でプラズマ処理するためのシステムであって、
アンテナアセンブリ及び基板支持台を有する処理チャンバと、
アンテナアセンブリに結合された第1整合ネットワークと、
第1整合ネットワークに結合された第1R F電源と、
基板支持台に結合された第2整合ネットワークと、
第2整合ネットワークに結合された第2R F電源と、 20

第1R F電源、第1整合ネットワーク、第2R F電源、及び第2整合ネットワークを制御するためのコントローラとを含み、コントローラは、

処理チャンバにR F電力を供給するように第1R F電源に指示し、第1電源は、第1周波数で動作し、第1整合ネットワークは、ホールドモードにあり、

プラズマを点火するために第1期間の間に第1周波数を第2周波数に調整するように第1R F電源に指示し、

プラズマを維持しながら、第2期間の間に第2周波数を既知の第3周波数に調整するように第1R F電源に指示し、

第2の期間の間に、第1R F電源によって供給されるR F電力の反射電力を低減するために、第1整合ネットワークの動作モードを自動同調モードに変更するように構成されたシステム。 30

【請求項8】

整合ネットワークを介して処理チャンバに結合されたR F電源を用いて、処理チャンバ内でプラズマ処理するための方法であって、

処理チャンバにR F電力を供給すること、処理チャンバに送出されるR F電力のレベルを変更すること、又は処理チャンバ内の圧力を変更することのうちの少なくとも1つによって、プラズマ遷移を開始する工程であって、R F電源は、第1周波数で動作し、整合ネットワークは、ホールドモードにある工程と、

プラズマを点火するために、第1期間の間、R F電源を用いて第1周波数を第2周波数に調整する工程と、 40

プラズマを維持しながら、第2期間の間、R F電源を用いて第2周波数を既知の第3周波数に調整する工程と、

第2の期間の間に、R F電源によって供給されるR F電力の反射電力を低減させるために、整合ネットワークの動作モードを自動同調モードに変更する工程とを含む方法。

【請求項9】

整合ネットワークは、第1期間の間、ホールドモードに維持される、請求項8記載の方法。

【請求項10】

整合ネットワークの動作モードは、反射電力を低減するために、自動同調モードに変更され、一方、第2周波数は、第2期間の間に既知の第3周波数に調整される、請求項8記 50

載の方法。

【請求項 1 1】

第 1 期間の間に R F 電源からの反射電力を低減するためにプラズマが点火された後に、第 1 周波数が第 2 周波数に調整される、請求項 8 記載の方法。

【請求項 1 2】

反射電力の大きさは、到達時に第 1 期間の終了を意味する所定の閾値に対してチェックされる、請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 3】

反射電力は、R F 電源によって供給される順方向電力の約 0 % ~ 20 % の間に低減される、請求項 8 ~ 1 2 のいずれか 1 項記載の方法。

10

【請求項 1 4】

第 1 期間は、既知の所定値である、請求項 8 ~ 1 2 のいずれか 1 項記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【分野】

【0 0 0 1】

本開示の実施形態は、概して、基板処理システムに関し、より具体的には、プラズマチャンバ内の高速で再現性のあるプラズマの点火及び同調のための方法及び装置に関する。

【背景】

【0 0 0 2】

集積回路の製造において、プラズマチャンバは、基板を処理するために使用される。プラズマチャンバは、典型的には、基板の処理中にプラズマを点火及び／又は維持するためのエネルギーを供給するために、高周波 (R F) 電源に結合される。R F エネルギーをチャンバに効果的に結合するために、整合ネットワーク（同調可能な整合回路又は整合ボックスとも呼ばれる）が、R F 電源とプラズマチャンバとの間に接続される。

20

【0 0 0 3】

プラズマチャンバ内のプラズマの点火（すなわち、打つこと）又はプラズマの遷移全体に亘る同調のための過去の技術は、プラズマを点火するために、電動式可変コンデンサを有する整合ボックスの使用を含む。しかしながら、この方法は、コンデンサのステッピングモータの低い速度に起因して遅い可能性がある（例えば、0.5 ~ 2.0 秒の範囲内）ことを、本発明者らは観察してきた。また、この方法は、乏しい再現性に悩まされる。具体的には、本発明者らは、プラズマを点火するために高電圧を必要とするプラズマチャンバ内で、これらの高電圧は、整合ボックスを使用することによって到達可能ではない可能性があることを観察してきた。整合ボックスの特性に応じて、整合コンデンサの位置の軌跡は、高電圧点を逃す可能性があり、又は変化する遅延と共にそれに達する可能性がある。

30

【0 0 0 4】

プラズマの点火又はプラズマの遷移全体に亘る同調のための別の技術は、プラズマを打つのを支援するために、プラズマチャンバ内で高電圧に到達するために、R F 電力発生器の周波数掃引を使用することである。本発明者らは、この方法は、プラズマを点火するのを速くすることができる (< 0.5 秒) が、発生器の周波数の変動が、オンウェハのプロセスの結果のばらつき及び R F 測定結果のばらつきにつながる可能性があることを観察してきた。

40

【0 0 0 5】

したがって、本発明者らは、プラズマチャンバ内でプラズマの遷移全体に亘る高速かつ再現性のあるプラズマ点火及び／又は同調のための改良された方法及び装置に対する技術的な必要性があると考えている。

【概要】

【0 0 0 6】

本開示の実施形態は、整合ネットワークを介して処理チャンバに結合された R F 電源を

50

用いて、処理チャンバ内でプラズマ処理するための方法及び装置を含む。いくつかの実施形態では、処理チャンバ内でプラズマ処理するための装置は、周波数同調を有する第1RF電源と、第1RF電源に結合された第1整合ネットワークと、第1RF電源及び第1整合ネットワークを制御するためのコントローラを含むことができ、コントローラは、処理チャンバにRF電力を供給するようにRF電源に指示すること、処理チャンバに送出されるRF電力のレベルを変更するようにRF電源に指示すること、又は処理チャンバ内の圧力を変化させることのうちの少なくとも1つによってプラズマの遷移を開始し、RF電源は、第1周波数で動作し、整合ネットワークは、ホールドモードにあり、プラズマを点火するために第1期間の間に第1周波数を第2周波数に調整するようにRF電源に指示し、プラズマを維持しながら、第2期間の間に第2周波数を既知の第3周波数に調整するためにRF電源に指示し、RF電源によって供給されるRF電力の反射電力を低減するために、整合ネットワークの動作モードを自動同調モードに変更するように構成される。

【0007】

いくつかの実施形態では、本方法は、処理チャンバにRF電力を供給すること、処理チャンバに送出されるRF電力のレベルを変更すること、又は処理チャンバ内の圧力を変更することのうちの少なくとも1つによって、プラズマ遷移を開始する工程であって、RF電源は、第1周波数で動作し、整合ネットワークは、ホールドモードにある工程と、プラズマを点火するために、第1期間の間、RF電源を用いて第1周波数を第2周波数に調整する工程と、プラズマを維持しながら、第2期間の間、RF電源を用いて第2周波数を既知の第3周波数に調整する工程と、RF電源によって供給されるRF電力の反射電力を低減するために、整合ネットワークの動作モードを自動同調モードに変更する工程とを含む。

【0008】

いくつかの実施形態では、処理チャンバ内でプラズマ処理するためのシステムは、アンテナアセンブリ及び基板支持台を有する処理チャンバと、アンテナアセンブリに結合された第1整合ネットワークと、第1整合ネットワークに結合された第1RF電源と、整合ネットワークと、基板支持台に結合された第2整合ネットワークと、第2整合ネットワークに結合された第2RF電源と、第1RF電源、第1整合ネットワーク、第2RF電源、及び第2コントローラを制御するためのコントローラとを含み、コントローラは、処理チャンバにRF電力を供給するように第1RF電源に指示し、第1電源は、第1周波数で動作し、第1整合ネットワークは、ホールドモードにあり、プラズマを点火するために第1期間の間に第1周波数を第2周波数に調整するように第1RF電源に指示し、プラズマを維持しながら、第2期間の間に第2周波数を既知の第3周波数に調整するように第1RF電源に指示し、第1RF電源によって供給されるRF電力の反射電力を低減するために、第1整合ネットワークの動作モードを自動同調モードに変更するように構成される。

【0009】

他の実施形態及び更なる実施形態は、以下の詳細な説明において提供される。

【図面の簡単な説明】

【0010】

本開示の上述した構成を詳細に理解することができるように、上記に簡単に要約した本開示の実施形態のより具体的な説明を、実施形態を参照して行う。実施形態のいくつかは添付図面に示されている。しかしながら、添付図面は本開示の典型的な実施形態を示しているに過ぎず、したがってこの範囲を制限していると解釈されるべきではなく、本開示は他の等しく有効な実施形態を含み得ることに留意すべきである。

【図1】本開示のいくつかの実施形態に係る半導体ウェハ処理システムの概略図である。

【図2】本開示のいくつかの実施形態に関連して使用するのに適した例示的な整合ネットワークである。

【図3】本開示のいくつかの実施形態に係る整合ネットワーク及びRF発生器のタイミング構成を示す概略図である。

【図4】本開示のいくつかの実施形態に係る整合ネットワーク及びRF発生器によって提

10

20

30

40

50

供される周波数のタイミング図を示す概略図である。

【図5】プラズマを点火し、処理チャンバ内の反射電力を低減するための方法のフロー図を示す。

【0011】

理解を促進するために、図面に共通する同一の要素を示す際には可能な限り同一の参照番号を使用している。図面は、比例して描かれているわけではなく、明確にするために簡素化されているかもしれない。一実施形態の要素及び構成を更なる説明なしに他の実施形態に有益に組み込んでもよいと理解される。

【詳細な説明】

【0012】

本開示の実施形態は、プラズマを点火する及び／又はプラズマの遷移全体に亘って処理チャンバ内の反射電力を低減するための方法及び装置を含む。本開示の例示的な実施形態は、タイミングルールのセットによって機械的な整合ネットワークと可変周波数RF電力発生器を組み合わせた方法及び装置を提供する。適切な順序及びタイミングで2つの同調技法を操作することによって、高速かつ再現性のあるプラズマ点火及び／又は同調が、再現性のある終了周波数及びプラズマ分布によって可能となる。いくつかの実施形態では、高速かつ再現性のあるプラズマ点火及び／又は同調のための複合システムは、オンウェハのプロセス結果の実行間及びウェハ間の再現性の点で、より良好な処理性能を促進することができる。本開示の実施形態は、動的な整合ネットワークと組み合わせて、周波数同調（周波数掃引とも呼ばれる）を有するRF発生器を使用するための操作の、再現性があり安定したウィンドウを可能にする手順を提供する。プラズマを点火させる及び／又はシステムを同調するのに必要とされる時間は、例えば、エッチングプロセスの間、重要であるので、これらの手順の1つの利点は、約0.5秒未満の中でプラズマを点火して同調できることであり、これによって基板が不安定なプラズマ又は良好に制御されないプラズマに曝露される時間を最小化する。以下の説明は、特定のプロセス、RF周波数、及びRF電力を参照しているかもしれないが、本明細書に提供される教示は、一般的に、他のプロセス、他の周波数、及び他の電力レベルに有利に利用することができる。

【0013】

図1は、いくつかの実施形態では、半導体ウェハ122（又は他の基板及びワーカピース）を処理するために使用されるプラズマ強化基板処理システム100である。本開示の開示された実施形態は、エッチングリアクタ及び半導体ウェハのエッチングプロセスの文脈で説明されているが、本開示は、プラズマ強化処理中にRF電力を使用し、他の基板が使用される任意の形態のプラズマ処理に適用可能である。このようなリアクタは、誘導結合プラズマ（ICP）リアクタ、容量結合プラズマ（CCP）リアクタ、及びプラズマアーナー、プラズマ強化化学蒸着、物理蒸着、プラズマ洗浄などのためのリアクタを含む。

【0014】

この例示的なプラズマ強化基板処理システム100は、プラズマリアクタ101、処理ガス供給源126、コントローラ114、第1RF電源112、第2RF電源116、第1整合ネットワーク110（チューナブル整合回路又は整合ボックスとも呼ばれる）、及び第2整合ネットワーク118を含む。第1及び第2RF電源112、116のいずれか又は両方は、高速プラズマ点火及び高速周波数同調用に構成することができる（例えば、電源は、反射電力を最小化するために、感知された反射電力測定に応じて、約±5%以内で周波数を変化させることができる）。このような周波数の点火及び同調は、プラズマを点火し、プラズマからの反射電力を特定の定常状態に最小化するために、約100マイクロ秒又ははるかに少ない時間を必要とすることができる。本明細書に記載されるいくつかの実施形態では、順方向電力が、RF電源112、116によって供給され、反射電力は、RF電源112、116に反射して戻るRF電力である。

【0015】

プラズマリアクタ101又は処理チャンバは、ウェハ122のための台座を形成する陰極台座120を含む真空容器102を含む。処理チャンバの天井又は蓋103は、蓋10

10

20

30

40

50

3に近接した少なくとも1つのアンテナアセンブリ104を有する。蓋103は、誘電体材料から作製することができる。アンテナアセンブリ104は、本開示のいくつかの実施形態では、1組のアンテナ106と108を含む。本開示の他の実施形態は、RFエネルギーをプラズマに結合させるために、1以上のアンテナを使用することができる、又はアンテナの代わりに電極を使用することができる。この特定の例示的な実施形態では、アンテナ106と108は、処理ガス供給源126によって容器102の内部に供給される1又は複数の処理ガスにエネルギーを誘導結合する。アンテナ106と108によって供給されるRFエネルギーは、処理ガスに誘導結合され、これによってウェハ122の上方の反応ゾーン内でプラズマ124を形成する。反応性ガスは、ウェハ122上の材料をエッティングする。

10

【0016】

いくつかの実施形態では、アンテナアセンブリ104に供給される電力は、プラズマ124を点火し、陰極台座120に結合された電力は、プラズマ124を制御する。このように、RFエネルギーは、アンテナアセンブリ104及び陰極台座120の両方に結合される。第1RF電源112(ソースRF電源とも呼ばれる)は、エネルギーを第1整合ネットワーク110に供給し、第1整合ネットワーク110は、その後、エネルギーをアンテナアセンブリ104に結合する。同様に、第2RF電源116(バイアスRF電源とも呼ばれる)は、エネルギーを第2整合ネットワーク118に供給し、第2整合ネットワーク118は、エネルギーを陰極台座120に結合する。コントローラ114は、RF電源112と116を活性化及び不活性化するタイミング及びレベル、並びに第1及び第2整合ネットワーク110と118を同調させるタイミング及びレベルを制御する。アンテナアセンブリ104に結合された電力は、ソース電力として知られ、陰極台座120に結合された電力は、バイアス電力として知られる。

20

【0017】

いくつかの実施形態では、リンク140は、第1及び第2RF電源112、116を結合するために提供され、これによって一方の電源の動作を他方に同期させるのを促進することができる。いずれか一方のRF電源は、リード又はマスターRF発生器とすることができる、他方の発生器は従う、又はスレーブである。リンク140は、第1及び第2RF電源112、116を、完全に同期して、又は所望のオフセット又は位相差で操作するのを更に促進することができる。

30

【0018】

第1指示装置又はセンサ150及び第2指示装置又はセンサ152は、いくつかの実施形態では、プラズマ124に整合する整合ネットワーク110、118の能力の有効性を判断するために使用される。いくつかの実施形態では、指示装置150及び152は、それぞれの整合ネットワーク110、118から反射された反射電力を監視する。これらの装置は、一般的に、整合ネットワーク110、118、又は電源112、115内に統合される。しかしながら、説明の目的のために、それらは整合ネットワーク110とは別個のものとしてここでは示されている。反射電力が指標として使用される場合、装置150及び152は、電源112、116と整合ネットワーク110及び118との間に結合される。反射電力を示す信号を生成するために、装置150及び152は、整合有効性指示信号が反射電力の大きさを表す電圧となるようにRF検出器に結合された方向性結合器である。大きな反射電力は、不整合状況を示す。装置150及び152によって生成された信号は、コントローラ114に結合される。指示信号に応答して、コントローラ114は、整合ネットワーク110、118に結合された同調信号(整合ネットワーク制御信号)を生成する。この信号は、整合ネットワーク110、118内のコンデンサ又はインダクタを同調させるために使用される。同調プロセスは、指示信号に表されるように、例えば、反射電力の特定のレベルを最小化又は達成するように努める。整合ネットワーク110、118は、通常、プラズマからの反射電力を特定の定常状態に最小化するために、約100マイクロ秒～約数ミリ秒を必要とする可能性がある。

40

【0019】

50

図2は、例えば、第1RF整合ネットワーク110又は第2RF整合ネットワーク118として使用される例示的な整合ネットワークの概略図を示す。図2に示される整合ネットワークは、本開示の実施形態で使用することができる整合ネットワークの1つのタイプの单なる一例である。整合ネットワークの他の設計が、本開示の実施形態で使用されてもよい。図2の特定の実施形態は、シングル入力200及びデュアル出力(すなわち、メイン出力202及び補助出力204)を有する。各出力は、2つのアンテナのうちの一方を駆動するために使用される。整合回路206は、C1、C2、及びL1によって形成され、容量性電力分配器208は、C3及びC4によって形成される。容量性分配器の値は、各アンテナに供給される電力の特定の量を確立するために設定される。機械的又は自動同調モードでは、コンデンサC1及びC2の値は、ネットワーク110の整合を調整するよう、自動的に同調される。いくつかの実施形態では、自動同調モードの間、コンデンサは、反射電力を最小化するように調整することができる。値は、C1とC2のいずれか又は両方の位置を調整することによって同調させることができる。C1又はC2のいずれか又は両方は、ネットワークの動作を調整するように同調させることができる。ホールドモードでは、位置、すなわちC1とC2の値は、固定保持される。

10

【0020】

整合ネットワークの他の実施形態は、同調可能なインダクタ、又は、可変又は固定要素(例えば、コンデンサ及びインダクタ)の異なるトポロジーを有することができる。ネットワーク110によって整合されたソース電力は、約13.56MHzであり、最大約3000ワットの電力レベルを有する。このような整合ネットワークは、コロラド州フォートコリンズのAE社(AE, Inc.)製のモデルNAVIGATOR 3013-ICP85の下で利用可能である。整合ネットワークの更に他の様々な構成は、本明細書に提供される教示に従って利用することができる。図1を再び参照すると、コントローラ114は、中央処理装置(CPU)130と、メモリ132と、サポート回路134を含む。コントローラ114は、プラズマ強化基板処理システム100の様々なコンポーネントに結合され、これによってプロセス(例えば、エッティングプロセス又は他の適切なプラズマ強化基板処理)の制御を促進する。コントローラ114は、アナログ、デジタル、ワイヤ、ワイヤレス、光学、及び光ファイバインターフェースとして広く記述することができるインターフェースを介して処理チャンバ内の処理を調節し監視する。以下に説明するよう、処理チャンバの制御を容易にするために、CPU130は、様々なチャンバ及びサブプロセッサを制御するための工業環境で使用可能な汎用コンピュータプロセッサの任意の形態のうちの1つとすることができます。メモリ132は、CPU130に結合される。メモリ132又はコンピュータ可読媒体は、1以上の容易に入手可能なメモリ装置(例えば、ランダムアクセスメモリ、リードオンリーメモリ、フロッピー(商標名)ディスク、ハードディスク、又は任意の他の形態のローカル又はリモートのデジタルストレージ)とすることができます。サポート回路134は、従来の方法でプロセッサをサポートするためにCPU130に結合される。これらの回路は、キャッシュ、電源、クロック回路、入力/出力回路、及び関連するサブシステム等を含む。

20

【0021】

エッティング又は他のプロセス命令は、一般的に、典型的にプロセスレシピとして知られるソフトウェアルーチンとしてメモリ132内に格納されている。ソフトウェアルーチンはまた、CPU130によって制御されるハードウェアから離れて位置する第2のCPU(図示せず)によって格納及び/又は実行されることができる。ソフトウェアルーチンは、CPU130によって実行されると、基板処理(例えば、エッティング処理)中にプラズマを制御するようにシステム動作を制御する特定の目的のコンピュータ(コントローラ)114に汎用コンピュータを変える。本開示のプロセスは、ソフトウェアルーチンとして実装することができるが、本明細書内で開示される方法ステップのいくつかは、ハードウェア内で、並びにソフトウェアコントローラによって実行されてもよい。このように、本開示の実施形態は、コンピュータシステム上で実行されるようにソフトウェア内に実装されてもよく、特定用途向け集積回路又は他のタイプのハードウェア実装としてハードウェ

30

40

50

ア内に実装されてもよく、又はソフトウェアとハードウェアとの組み合わせであってもよい。

【0022】

従来の整合ネットワーク及び発生器は、典型的には、各々が独立しているそれぞれのシステムを同調するために使用される制御アルゴリズムを含む。したがって、各々のアルゴリズムは、それらの両方が発生器への反射電力を低減させることを目的とすべき時間又は方法に関して、他にリンクされない。そのようなリンクの欠如は、2つの同調アルゴリズム間に重大な競合を引き起こす可能性があるため、システムの不安定性を引き起こす可能性がある。この問題を克服するために、本開示のいくつかの実施形態では、統合された整合ネットワークは、周波数同調機能を有するRF発生器（例えば、第1又は第2RF電源112又は116）の中に組み込むことができ、一方、整合ネットワーク並びにRFサイクルを備えた周波数を同調するために用いられるアルゴリズムは、両方とも発生器の出力で（例えば、共用センサを用いて）測定されるのと同じ測定値に基づいて制御することができる。そうすることによって、2つの独立したアルゴリズム間の競合を解消することができ、プラズマリアクタのための操作のウィンドウを増加させることができる。いくつかの実施形態では、第1RF電源112及び第1整合ネットワーク110（及び/又は第2RF電源116及び第2整合ネットワーク118）は、物理的に統合する、又は単に装置の組に対して同調プロセスを指示するコントローラを共有し、これによって2つの間の同調競合を解消し、システム全体の同調効率を最大にすることができる。いくつかの実施形態では、第1RF電源112及び第1整合ネットワーク110（及び/又は第2RF電源116及び第2整合ネットワーク118）は、反射電力を読み取るための共通のセンサを単に共有することができ、これによってそれらは少なくとも同調して、同じ読みの反射電力を最小限に抑える。

10

20

30

【0023】

図3及び図4は、高速かつ再現性のあるプラズマ点火と、プラズマ処理の広い範囲に亘ってプラズマのインピーダンスをRFソース発生器のインピーダンスに整合するのとを容易にするために、経時的に独立して制御される、又は所定の値に設定されることが可能な変数の図を示す。図3及び図4は、RFソース発生器（例えば、第1RF電源112）及び同調可能な整合ネットワーク（すなわち、整合ボックス）（例えば、第1整合ネットワーク110）用の時間非依存の操作パラメータを示す。これらのパラメータは切り離され、独立して制御することができる。RFソース発生器は、周波数掃引（又は周波数同調）モードで動作させることができる。整合ネットワーク（すなわち、整合ボックス）は、自動同調モード又は（整合ネットワークが整合器内のコンポーネントの値/位置を固定し、反射電力を最小化するように同調しない）ホールドモードで動作させることができる。これらの各モード間の切り替えは、独立して制御することができ、これによって反射電力を最小限に抑え、広いプロセスウィンドウに亘ってプラズマ処理中にプラズマ処理を安定化するのを容易にすることができる。

【0024】

図3及び図4では、 f_0 は、 T_{start} でのRFソース発生器の開始RF周波数であり、 T_{var_freq} は、 T_{start} で開始された電源投入、電力レベルの変更、又は他の遷移後にRFソース発生器周波数の同調を可能にする間の時間であり、 T_{freq_ramp} は、RFソース発生器の周波数が f_0 又は他の既知の周波数値に遷移して戻る間の時間であり、 T_{hold} は、ホールドモードに固定される整合ネットワークに対する時間であり、 POS_0 は、整合ネットワークの初期固定値/位置（例えば、いくつかの実施形態では、整合ネットワーク内のコンデンサの固定された初期位置）である。

40

【0025】

図4では、周波数のタイミング図が、いくつかの実施形態に係る同調可能な整合回路及びRF発生器によって提供される。図4において、RF発生器は、発生器の開始RF周波数を f_0 として、時刻 T_{start} で、電力の出力を開始する、又はその出力レベルを変更する。いくつかの実施形態では、このような圧力変化としてプラズマ遷移（例えば、圧

50

力の変更)が、 T_{start} でチャンバ内で開始される。いくつかの実施形態では、開始RF周波数 f_0 は、発生器の中心周波数の5%~10%の範囲内とすることができます既知の所定の値である。いくつかの実施形態では、発生器の中心周波数は、約2MHz、13.56MHz又はそれ以上とすることができます。

【0026】

このとき、整合ボックスのコンデンサ/インダクタは、固定位置/値(P_{os_0})にホールドされ、一方、発生器の周波数は、反射電力を最小化するように同調することができます。いくつかの実施形態では、最小化された反射値は、プロセス及びハードウェアの要件に応じて、順方向電力の約0%~約20%とすることができます。いくつかの実施形態では、整合ネットワークの動作を適切に制御すれば、可能な最低反射電力を提供することができます。すなわち、2つの主モード:自動同調モード又はホールドモード(例えば、固定位置モード)のうちのいずれかに整合器を制御することができます。

【0027】

RF発生器の周波数は、 T_{var_freq} の期間の間、同調することができます。いくつかの実施形態では、 T_{var_freq} は、約1ミリ秒~約1秒とすることができます。この期間中に、発生器の周波数は、初期周波数 f_0 から離れて移動する。この期間の終了時に、発生器は、周波数 f_1 を有する。いくつかの実施形態では、周波数は、非単調な方法で f_0 から f_1 に調整することができます。いくつかの実施形態では、RF周波数 f_1 は、 f_0 とは約5%~約10%異なってもよい。 f_1 は f_0 よりも高い周波数であるように示されているが、いくつかの実施形態では、 f_1 は f_0 よりも小さくてもよい。いくつかの実施形態では、 f_0 、 f_1 、及び T_{var_freq} のうちの少なくとも1つは、点火プロセスを開始する前から既知の所定の値である。他の実施形態では、開始周波数 f_0 と T_{var_freq} は、既知の所定の値であるが、 f_1 は既知ではない。いくつかの実施形態では、反射電力は、到達時に、 T_{var_freq} 期間の終了を意味する所定の閾値とすることができます。

【0028】

時刻 $T_{start} + T_{var_freq}$ では、RFソース発生器の周波数は、RFソース発生器の開始周波数 f_0 に向かって単調に変化して戻り始める。 f_1 から f_0 に向かって戻る遷移は、直線状又は任意の他の単調な関係とすることができます、時刻 T_{freq_ramp} 以内に完了する。いくつかの実施形態では、 T_{freq_ramp} 期間は、約10ミリ秒~約1秒とすることができます。

【0029】

T_{freq_ramp} の終わりの周波数は、 f_0 に等しくない第3の周波数 f_x とすることができます。いくつかの実施形態では、 f_x は、 f_0 に等しい又は実質的に等しくすることができます。いくつかの実施形態では、RF周波数 f_x は、 f_0 とは約5%~約10%異なってもよい。いくつかの実施形態では、第3の周波数 f_x と T_{freq_ramp} は、ある特定の時刻で明確に定義された最終的なプラズマ及びチャンバの状態に至る、既知の所定の値である。整合ネットワークは、 T_{start} から T_{hold} 後に、値を移動/調整し同調することができます。いくつかの実施形態では、 T_{hold} 期間は、約10ミリ秒~約2秒とすることができます。 T_{hold} は、 T_{var_freq} 後に終了する(すなわち、 $T_{hold} > T_{var_freq}$)ように、図3及び図4に示されているが、いくつかの実施形態では、整合ネットワークは、 T_{var_freq} の間、値を移動/調整し同調することができます(すなわち、 $T_{hold} < T_{var_freq}$)。シーケンスが完了した後に、RFソース発生器の周波数は、いくつかの実施形態では f_0 に等しくすることができます固定周波数 f_x に傾斜して戻り、整合ネットワークは自動的に同調する。

【0030】

図1~4に関連して上述した本開示の少なくとも1つの例示的な実施形態に係る方法500は、整合ネットワークを介して処理チャンバに結合されたソースRF電源を用いて、プラズマを点火する、又はプラズマの遷移全体に亘って同調する、及び処理チャンバ内の反射電力を低減させるための一連の工程を有するフローチャートを示す図5に示される。

10

20

30

40

50

詳細には、方法 500 は、502 で開始し、整合ネットワークはホールドモードにしながら、RF 電力を第 1 周波数で RF 電源によって処理チャンバに供給しながら、プラズマ条件の遷移が開始される 504 へと進む。プラズマの遷移は、RF 電力の送出、RF 電力レベルの変更、チャンバ内の化学物質又は圧力の変更、又はプラズマに影響する他の遷移によって開始することができる。図 3 及び図 4 に関して上述したように、第 1 周波数を f_0 とすることができる。ホールドモードでは、整合ネットワークの位置及び / 又は値は、固定保持される。

【0031】

506 では、RF 電源周波数が、第 1 期間（例えば、 T_{var_freq} ）の間に、第 1 周波数（例えば、 f_0 ）から第 2 周波数（例えば、 f_1 ）に調整され、これによって RF 電源を用いて、プラズマを点火する、又は遷移中に同調する、及び処理チャンバ内の反射電力を低減させる。いくつかの実施形態では、周波数は、第 1 周波数から第 2 周波数に非単調な方法で（すなわち、図 4 に示されるように、第 1 期間の間に可能な中間周波数と共に）増加又は減少し、プラズマは第 1 周波数と第 2 周波数との間のある周波数で点火させることができる。反射電力が、第 1 期間の間に一定のレベルまで最小化されるまで、周波数は、第 2 周波数に調整され続けることができる。第 1 期間の間、整合ネットワークは、ホールドモードに維持される。

【0032】

508 では、周波数が、第 2 期間（例えば、 T_{freq_ramp} ）の間に第 2 周波数（例えば、 f_1 ）から第 3 周波数（例えば、 f_x ）に調整される。第 3 周波数は、第 2 周波数とは異なり、いくつかの実施形態では、所定の既知量（例えば、目標値）とすることができます。いくつかの実施形態では、第 2 期間の間のある時点で、整合ネットワークの動作モードは、（例えば、 $T_{hold} > T_{var_freq}$ ）ホールドモードから自動同調モードに変更し、これによって 510 で RF 電源によって供給された周波数を既知の第 3 周波数に調整しながら、反射電力を更に低減する。他の実施形態では、第 1 期間の間のある時点で、整合ネットワークの動作モードは、（例えば、 $T_{hold} < T_{var_freq}$ ）ホールドモードから自動同調モードに変更し、これによって 510 で RF 電源によって供給された周波数を既知の第 3 周波数に調整する。

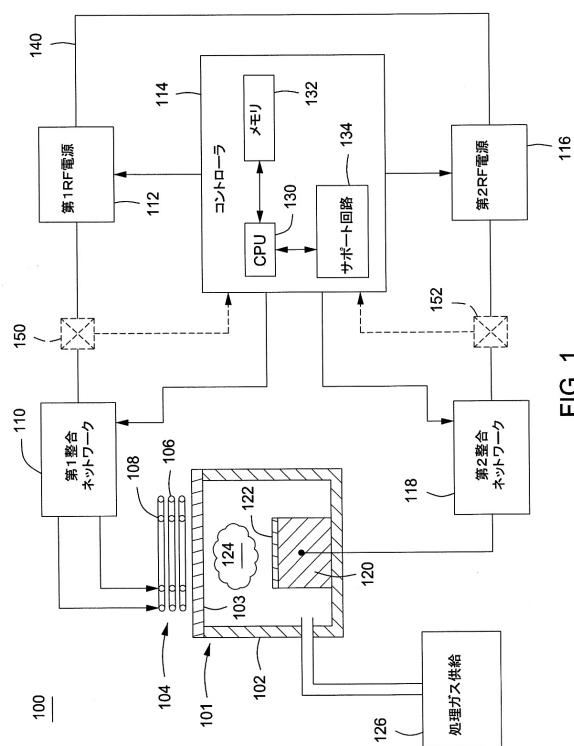
【0033】

方法 500 は、514 で終了する。

【0034】

上記は、本開示の実施形態を対象としているが、本開示の他の及び更なる実施形態は本開示の基本的範囲を逸脱することなく創作することができる。

【 図 1 】



【図2】

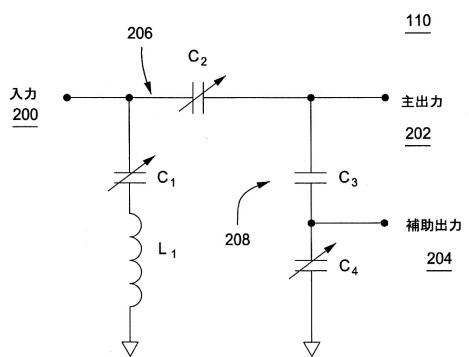
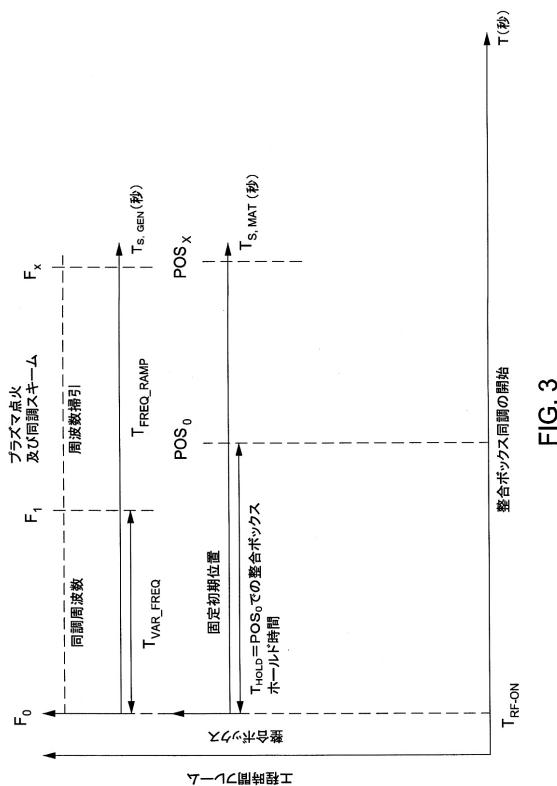


FIG. 2

【 义 3 】



【 図 4 】

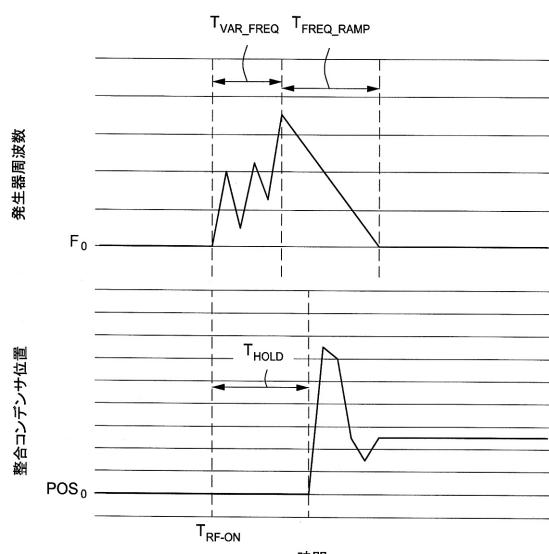


FIG. 4

【図5】

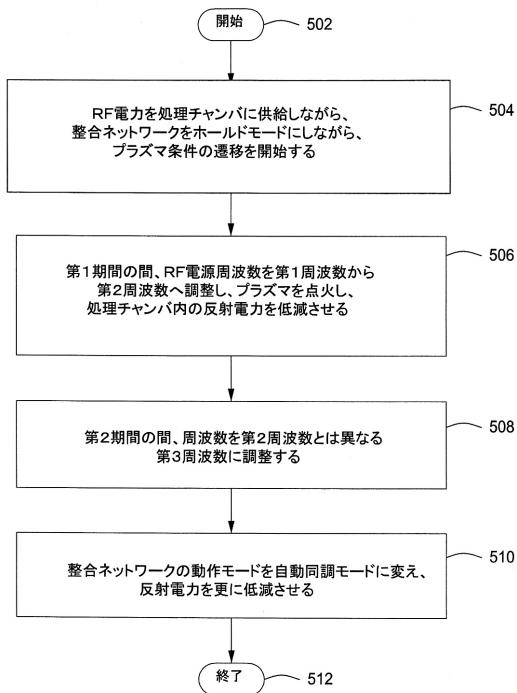


FIG. 5

フロントページの続き

(72)発明者 バンナ サマー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95138 サンノゼ バスキング レイン 861

審査官 藤本 加代子

(56)参考文献 特開平09-161994 (JP, A)

特表2011-525682 (JP, A)

特開2006-310245 (JP, A)

国際公開第2005/031839 (WO, A1)

米国特許出願公開第2009/0284156 (US, A1)

特開2000-048999 (JP, A)

米国特許出願公開第2012/0000888 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/46

C23C 16/505

H01L 21/3065