(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7282037号
(P7282037)

(45)発行日　令和5年5月26日(2023.5.26)

(24)登録日　令和5年5月18日(2023.5.18)

(51)国際特許分類		FI		
H05H	*1/46 (2006.01)*	H05H	1/46	R
H03H	*7/40 (2006.01)*	H03H	7/40	
H01L	*21/3065(2006.01)*	H01L	21/302	101B

請求項の数　29　（全42頁）

(21)出願番号　特願2019-544004(P2019-544004)
(86)(22)出願日　平成30年2月20日(2018.2.20)
(65)公表番号　特表2020-510959(P2020-510959A)
(43)公表日　令和2年4月9日(2020.4.9)
(86)国際出願番号　PCT/US2018/018720
(87)国際公開番号　WO2018/156486
(87)国際公開日　平成30年8月30日(2018.8.30)
審査請求日　令和3年2月19日(2021.2.19)
(31)優先権主張番号　62/462,300
(32)優先日　平成29年2月22日(2017.2.22)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　15/878,222
(32)優先日　平成30年1月23日(2018.1.23)
最終頁に続く

(73)特許権者　592010081
ラム リサーチ コーポレーション
ＬＡＭ ＲＥＳＥＡＲＣＨ ＣＯＲＰＯＲＡＴＩＯＮ
アメリカ合衆国，カリフォルニア ９４５３８，フレモント，クッシング パークウェイ ４６５０
(74)代理人　110000028
弁理士法人明成国際特許事務所
(72)発明者　マケズニー・ジョン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州９４５３８ フレモント，クッシング・パークウェイ，４６５０
(72)発明者　パターソン・アレクサンダー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州９４
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするためのシステムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするための方法であって、

インピーダンス整合回路を介したプラズマチャンバへのデジタルパルス信号の第１状態中に、電力を高周波（ＲＦ）発生器によって供給する工程と、

前記第１状態中に前記ＲＦ発生器の出力に反射される電力の量を測定する工程と、

前記インピーダンス整合回路を介した前記プラズマチャンバへの前記デジタルパルス信号の第２状態中に、電力を前記ＲＦ発生器によって供給する工程と、

前記第２状態中に前記ＲＦ発生器の前記出力に反射される電力の量を測定する工程と、

前記第１状態および前記第２状態中に測定される前記電力の量を第１最小値に低減するように、前記インピーダンス整合回路のパラメータを制御する工程と、

を備え、

前記第１状態および前記第２状態の前記第１最小値は、前記第１状態の電力の量の第２最小値よりも小さく、前記第１状態の電力の量の前記第２最小値は、前記パラメータが第１値を有する時に達成され、前記第１状態および前記第２状態の前記第１最小値は、前記パラメータが第２値を有する時に達成される、方法。

【請求項２】

請求項１に記載の方法であって、

前記第１状態の電力の量の前記第２最小値は、前記電力の量の前記第１最小値よりも大きく、

前記パラメータが前記第１値を有する時に、前記第２状態の電力の量の第３最小値が達成され、
前記第２状態の電力の量の前記第３最小値は、前記電力の量の前記第１最小値よりも小さい、方法。
【請求項３】
請求項１に記載の方法であって、
前記パラメータを制御する工程は、前記インピーダンス整合回路のキャパシタまたはインダクタを制御する工程を含み、
前記第１および第２状態の前記第１最小値は、前記第１および第２状態の前記パラメータの一定値に対応する、方法。
【請求項４】
請求項１に記載の方法であって、
前記パラメータは、前記インピーダンス整合回路の直列回路のパラメータまたは前記インピーダンス整合回路のシャント回路のパラメータであり、
前記パラメータを制御する工程は、機械学習処理を用いて実行される、方法。
【請求項５】
複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするためのシステムであって、
デジタルパルス信号の第１状態中に電力を供給するよう構成された高周波（ＲＦ）発生器と、
ＲＦケーブルを介して前記ＲＦ発生器に接続されたインピーダンス整合回路と、
ＲＦ伝送ラインを介して前記インピーダンス整合回路に接続されたプラズマチャンバと、
前記ＲＦ発生器の出力に接続されたセンサであって、前記第１状態中に前記ＲＦ発生器の前記出力に反射される電力の量を測定するよう構成された、センサと、
を備え、
前記ＲＦ発生器は、前記インピーダンス整合回路を介して前記プラズマチャンバへ前記デジタルパルス信号の第２状態中に電力を供給するよう構成され、
前記センサは、前記第２状態中に前記ＲＦ発生器の前記出力に反射される電力の量を測定するよう構成され、
前記システムは、さらに、
前記インピーダンス整合回路のパラメータを制御するために前記インピーダンス整合回路に接続されたプロセッサを備え、
前記パラメータは、前記第１状態および前記第２状態中に測定される前記電力の量を第１最小値に低減すると共に前記第２状態中に測定される前記電力の量を最小値に低減するように制御され、
前記第１状態および前記第２状態の前記第１最小値は、前記第１状態の電力の量の第２最小値よりも小さく、前記第１状態の電力の量の前記第２最小値は、前記パラメータが第１値を有する時に達成され、前記第１状態および前記第２状態の前記第１最小値は、前記パラメータが第２値を有する時に達成される、システム。
【請求項６】
請求項５に記載のシステムであって、
前記第１最小値は、予め定められたレベルよりも小さい、システム。
【請求項７】
請求項５に記載のシステムであって、
前記第１状態の電力の量の前記第２最小値は、前記電力の量の前記第１最小値よりも大きく、
前記パラメータが前記第１値を有する時に、前記第２状態の電力の量の第３最小値が達成され、
前記第２状態の電力の量の前記第３最小値は、前記電力の量の前記第１最小値よりも小さい、システム。
【請求項８】

請求項５に記載のシステムであって、
前記パラメータは、前記インピーダンス整合回路のキャパシタまたはインダクタのパラメータである、システム。
【請求項９】
請求項５に記載のシステムであって、
前記パラメータは、前記インピーダンス整合回路の直列回路のパラメータまたは前記インピーダンス整合回路のシャント回路のパラメータである、システム。
【請求項１０】
高周波（ＲＦ）発生器に反射される電力を最適化するための方法であって、
複数のパルス状態の間にパルス化するように前記ＲＦ発生器を制御する工程と、
前記複数のパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される電力を低減するための集合最適化のため、前記ＲＦ発生器に接続されたインピーダンス整合回路の複数の回路パラメータのうちの１または複数の回路パラメータを制御する工程と、を含み、
前記ＲＦ発生器に反射される前記電力を低減するための前記集合最適化は、前記複数のパルス状態の組み合わせについて反射される総集合電力を低減するための前記集合最適化のために、前記複数のパルス状態のうちの１または複数のパルス状態について反射される前記電力の最適化未満の低減を達成するために、前記複数の回路パラメータのうちの前記１または複数の回路パラメータの１または複数の設定を含む、方法。
【請求項１１】
請求項１０に記載の方法であって、
前記集合最適化の間に、前記複数のパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の平均量が、前記複数のパルス状態の前記１つのパルス状態中に前記ＲＦ発生器に反射される電力量よりも大きいときに、前記電力の前記最適化未満の低減は、前記集合最適化のために達成される、方法。
【請求項１２】
請求項１１に記載の方法であって、
前記集合最適化の間に、前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の前記平均量が、前記複数のパルス状態の別の１つのパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される電力量よりも小さいときは、前記電力の前記最適化未満の低減は、前記集合最適化のために達成される、方法。
【請求項１３】
請求項１１に記載の方法であって、
前記集合最適化の間に、前記複数のパルス状態の前記別の１つのパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される前記電力量、および電力の前記平均量が所定の閾値内であるときは、前記電力の前記最適化未満の低減は、前記集合最適化のために達成される、方法。
【請求項１４】
請求項１１に記載の方法であって、
前記集合最適化の間に、前記複数のパルス状態の前記別の１つのパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される前記電力量、および電力の前記平均量が所定の限度未満であるときは、前記電力の前記最適化未満の低減は、前記集合最適化のために達成される、方法。
【請求項１５】
請求項１０に記載の方法であって、
前記集合最適化の間に、前記複数のパルス状態の前記１つのパルス状態中の前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の第１量は、前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の第２量よりも大きく、前記電力の前記第２量は、前記１または複数の設定が変更されて１または複数の変更設定が出力されるときに反射され、前記集合最適化の間に、前記複数のパルス状態の別のパルス状態中に前記ＲＦ発生器に反射される電力の前記第１量は、前記ＲＦ発生器に反射される電力の第３量よりも小さく、電力の前記第２量および前記第３量は、前記複数の回路パラメータのうちの前記１または複数の回路パラメータの前記１または複数の変更設定が前記インピーダンス整合回路に利用されるときに前記ＲＦ発生器に反射される

、方法。
【請求項１６】
請求項１０に記載の方法であって、
前記複数のパルス状態の前記組みあわせは、前記複数のパルス状態の全てを含む、方法。
【請求項１７】
請求項１０に記載の方法であって、
前記１または複数の設定は、複数の設定を含み、前記複数の設定は、前記インピーダンス整合回路の直列回路の静電容量値またはインダクタンス値を含み、前記インピーダンス整合回路のシャント回路の静電容量値またはインダクタンス値を含む、方法。
【請求項１８】
請求項１０に記載の方法であって、
前記複数の回路パラメータのうちの前記１または複数の回路パラメータを制御する工程は、前記インピーダンス整合回路の直列回路の静電容量もしくはインダクタンスをさらに変更するようにモータを制御する工程、または、前記インピーダンス整合回路のシャント回路の静電容量もしくはインダクタンスをさらに変更するように別のモータを制御する工程、または、これらの組みあわせを含む、方法。
【請求項１９】
高周波（ＲＦ）発生器に反射される電力を最適化するためのコントローラであって、
複数のパルス状態の間でパルス化するように前記ＲＦ発生器を制御するよう構成されたプロセッサと、
前記プロセッサに接続されたメモリデバイスと、を備え、
前記プロセッサは、前記複数のパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される電力を低減するための集合最適化のために、前記ＲＦ発生器に接続されたインピーダンス整合回路の複数の回路パラメータのうちの１または複数の回路パラメータを制御するよう構成され、
前記ＲＦ発生器に反射される前記電力を低減するための前記集合最適化は、前記複数のパルス状態の組みあわせについて反射される総集合電力を低減するための前記集合最適化のために、前記複数のパルス状態の１または複数のパルス状態について反射される前記電力において最適化未満の低減を達成するため、前記複数の回路パラメータのうちの前記１または複数の回路パラメータの１または複数の設定を含む、コントローラ。
【請求項２０】
請求項１９に記載のコントローラであって、
前記集合最適化のために前記電力の前記最適化未満の低減を達成するため、前記プロセッサは、前記複数のパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の平均量が、前記複数のパルス状態の前記１つのパルス状態中に前記ＲＦ発生器に反射される電力量よりも大きいことを決定するよう構成されている、コントローラ。
【請求項２１】
請求項２０に記載のコントローラであって、
前記集合最適化のために前記電力の前記最適化未満の低減を達成するため、前記プロセッサは、前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の前記平均量が、前記複数のパルス状態の別の１つのパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される電力量よりも小さいことを決定するよう構成されている、コントローラ。
【請求項２２】
請求項２０に記載のコントローラであって、
前記集合最適化のために前記電力の前記最適化未満の低減を達成するため、前記プロセッサは、前記複数のパルス状態の前記別の１つのパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される前記電力量および電力の前記平均量が所定の閾値内であることを決定するよう構成されている、コントローラ。
【請求項２３】
請求項２０に記載のコントローラであって、

前記集合最適化のために前記電力の前記最適化未満の低減を達成するため、前記プロセッサは、前記複数のパルス状態の前記別の１つのパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される前記電力量および電力の前記平均量が所定の限度未満であることを決定するよう構成されている、コントローラ。

【請求項２４】

請求項１９に記載のコントローラであって、

前記集合最適化のために前記電力の前記最適化未満の低減を達成するため、前記プロセッサは、前記複数のパルス状態の前記１つのパルス状態中に前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の第１量が、前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の第２量よりも大きいことを決定するよう構成され、前記電力の前記第２量が反射されていることを決定するため、前記プロセッサは、１または複数の変更設定を達成するように前記インピーダンス整合回路を制御するよう構成され、前記プロセッサは、前記複数のパルス状態の別の１つのパルス状態中に前記ＲＦ発生器に反射される電力の前記第１量が前記ＲＦ発生器に反射される電力の第３量よりも小さいことを決定するよう構成され、電力の前記第２量および前記第３量は、前記インピーダンス整合回路が前記１または複数の変更設定を達成したときに前記ＲＦ発生器に反射される、コントローラ。

【請求項２５】

請求項１９に記載のコントローラであって、

前記複数のパルス状態の前記組みあわせは、前記複数のパルス状態の全てを含む、コントローラ。

【請求項２６】

請求項１９に記載のコントローラであって、

前記１または複数の設定は、複数の設定を含み、前記複数の設定は、前記インピーダンス整合回路の直列回路の静電容量値またはインダクタンス値を含み、前記インピーダンス整合回路のシャント回路の静電容量値またはインダクタンス値を含む、コントローラ。

【請求項２７】

請求項１９に記載のコントローラであって、

前記複数の回路パラメータのうちの前記１または複数の回路パラメータを制御するため、前記プロセッサは、前記インピーダンス整合回路の直列回路の静電容量またはインダクタンスをさらに変更するようにモータを制御し、前記インピーダンス整合回路のシャント回路の静電容量またはインダクタンスをさらに変更するように別のモータを制御するよう構成されている、コントローラ。

【請求項２８】

高周波（ＲＦ）発生器に反射される電力を最適化するためのプラズマシステムであって、

ＲＦ信号を生成するよう構成された前記ＲＦ発生器と、

前記ＲＦ発生器に接続されたインピーダンス整合回路であって、前記ＲＦ信号を受信し、前記ＲＦ信号を変調して変調ＲＦ信号を出力するよう構成された、インピーダンス整合回路と、

前記インピーダンス整合回路に接続されたプラズマチャンバであって、前記変調ＲＦ信号を受信してプラズマを生成または維持するよう構成された、プラズマチャンバと、

前記インピーダンス整合回路に接続されたホストコンピュータであって、

複数のパルス状態の間でパルス化するように前記ＲＦ発生器を制御し、

前記複数のパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される電力を低減するための集合最適化を達成するように前記インピーダンス整合回路の複数の回路パラメータのうちの１または複数の回路パラメータを制御するよう構成された、ホストコンピュータと、を備え、

前記ＲＦ発生器に反射される前記電力を低減するための前記集合最適化は、前記複数のパルス状態の組みあわせについて反射される総集合電力を低減するための前記集合最適化のために、前記複数のパルス状態の１または複数のパルス状態について反射される前記電力の最適化未満の低減を達成するため、前記複数の回路パラメータのうちの前記１または

複数の回路パラメータの１または複数の設定を含む、プラズマシステム。
【請求項２９】
請求項２８に記載のプラズマシステムであって、
前記集合最適化のために前記電力の最適化未満の低減を達成するため、前記ホストコンピュータは、前記複数のパルス状態について前記ＲＦ発生器に反射される前記電力の平均量が、前記複数のパルス状態の前記１つのパルス状態中に前記ＲＦ発生器に反射される電力量よりも大きいことを決定するよう構成されている、プラズマシステム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本実施形態は、複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするためのシステムおよび方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
一般に、プラズマツールは、高周波発生器、インピーダンス整合回路網、および、プラズマチャンバを備える。高周波発生器は、インピーダンス整合回路網を介してプラズマチャンバへ電力を供給する。電力が供給されると、プラズマチャンバ内でプラズマを生成するために、１または複数のガスもプラズマチャンバに提供される。プラズマは、プラズマチャンバ内でウエハに実行される様々な洗浄動作およびその他の動作に用いられる。
【０００３】
しかしながら、電力が供給される時、プラズマの電力が、ＲＦ発生器に向かって反射される。この反射電力は、ソースと負荷との間の伝送ライン上に定在波を発生させ、定在波は、ＲＦ発生器の出力ドライブの破損につながりうる。
【０００４】
本開示に記載の実施形態は、このような背景から生まれたものである。
【発明の概要】
【０００５】
本開示の実施形態は、複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするためのシステムおよび方法を提供する。本実施形態は、処理、装置、システム、デバイス、または、コンピュータ読み取り可能な媒体に記録された方法など、種々の形態で実施できることを理解されたい。以下に、いくつかの実施形態を記載する。
【０００６】
半導体プラズマ処理中に、印加される高周波（ＲＦ）電力が、１ヘルツ～５０キロヘルツの間の周波数でパルス化される。チューニングされた整合回路網が、ＲＦ発生器とプラズマとの間の効率的な結合を保証するようにＲＦ電力をプラズマに結合するために利用される。連続波（ＣＷ）またはシングルレベルパルス化の間、整合回路網は固定される。しかしながら、一部の例では、２以上のレベルのパルス化が利用され、その場合、２以上の整合回路網ポジション、例えば、キャパシタの値、インダクタの値などが用いられる。整合回路網は、可変の反応構成要素、例えばキャパシタおよびインダクタなどを用いる。これらの可変の反応構成要素は、機械部品を有しており、機械部品は、マルチレベルパルス化に比べて動きが遅い。機械部品の遅い反応により、マルチレベルパルス化の複数レベルの電力レベルについていくことが困難になる。これは、複数の電力レベルに間での周波数チューニングを用いることによって部分的に軽減されうる。しかしながら、周波数チューニングだけでは、大きく異なる電力レベルに対応できない。方法およびシステムは、マルチレベルパルス化のための処理にわたって整合効率を最大化するように整合回路網ポジションをどのように最適化するのかを記載する。整合効率は改善され、ＲＦ発生器に向かって反射される電力が低減される。ＲＦ発生器に向かう平均反射ＲＦ電力が低減されることで、より幅広い作動空間が可能になる。
【０００７】
いくつかの実施形態において、複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングす

るための方法が記載されている。その方法は、インピーダンス整合回路を介したプラズマチャンバへのデジタルパルス信号の第１状態中に、電力をＲＦ発生器によって供給する工程を備える。方法は、さらに、第１状態中にＲＦ発生器の出力に反射される電力の量を測定する工程を備える。方法は、インピーダンス整合回路を介したプラズマチャンバへのデジタルパルス信号の第２状態中に、電力をＲＦ発生器によって供給する工程を備える。方法は、さらに、第２状態中にＲＦ発生器の出力に反射される電力の量を測定する工程を備える。方法は、第１状態中に測定される電力の量を最小値に低減すると共に第２状態中に測定される電力の量を最小値に低減するように、インピーダンス整合回路のパラメータを制御する工程を備える。

【０００８】

様々な実施形態において、複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするためのシステムが記載されている。システムは、デジタルパルス信号の第１状態中に電力を供給するよう構成されたＲＦ発生器を備える。システムは、さらに、ＲＦケーブルを介してＲＦ発生器に接続されたインピーダンス整合回路と、ＲＦ伝送ラインを介してインピーダンス整合回路に接続されたプラズマチャンバと、を備える。システムは、ＲＦ発生器の出力に接続されたセンサを備える。センサは、第１状態中にＲＦ発生器の出力に反射される電力の量を測定するよう構成されている。ＲＦ発生器は、インピーダンス整合回路を介してプラズマチャンバへデジタルパルス信号の第２状態中に電力を供給するよう構成されている。センサは、第２状態中にＲＦ発生器の出力に反射される電力の量を測定するよう構成されている。システムは、インピーダンス整合回路のパラメータを制御するためにインピーダンス整合回路に接続されたプロセッサを備える。パラメータは、第１状態中に測定される電力の量を最小値に低減すると共に第２状態中に測定される電力の量を最小値に低減するように制御される。

【０００９】

様々な実施形態において、コンピュータに方法を実行させるプログラムを格納する非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体が記載されている。その方法は、インピーダンス整合回路を介したプラズマチャンバへのデジタルパルス信号の第１状態中に、電力をＲＦ発生器によって供給する工程を備える。方法は、さらに、第１状態中にＲＦ発生器の出力に反射される電力の量の測定値を受信する工程を備える。方法は、インピーダンス整合回路を介したプラズマチャンバへのデジタルパルス信号の第２状態中に、電力をＲＦ発生器によって供給する工程を備える。方法は、第２状態中にＲＦ発生器の出力に反射される電力の量の測定値を受信する工程を備える。方法は、第１状態中に測定される電力の量を最小値に低減すると共に第２状態中に測定される電力の量を最小値に低減するように、インピーダンス整合回路のパラメータを制御する工程を備える。

【００１０】

複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするための本明細書に記載のシステムおよび方法のいくつかの利点。例えば、インピーダンス整合回路の直列回路が値Ａを有する、および／または、インピーダンス整合回路のシャント回路が値Ｂを有する場合に、直列回路が値Ｃを有するおよび／またはシャント回路が値Ｄを有する状態Ｓ０、Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３などの内の任意の１状態に対してＲＦ発生器に向かって反射される電力に比べて、ＲＦ発生器に向かって反射される電力が、複数の状態Ｓ０、Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３などに対して低減される。複数の状態に対する反射電力のかかる低減は、電力が反射される先のＲＦ発生器の寿命を延ばす。さらに、複数の状態は、様々な動作を基板に実行するために利用される。例えば、複数の状態の内の１状態の間に、材料（酸化物など）が基板上に蒸着され、複数の状態の内の別の状態の間に、基板または材料がエッチングされる。別の例として、複数の状態の内の１状態の間に、蒸着動作が基板に実行され、複数の状態の内の別の状態の間に、基板が洗浄される。さらに別の例として、複数の状態の内の１状態の間に、蒸着動作が基板に実行され、複数の状態の内の別の状態の間に、基板が洗浄され、複数の状態の内のさらに別の状態の間に、エッチング動作が基板に実行される。インピーダンス整合回路が値ＡおよびＢを有し、複数の状態で電力が低減される場合、ＲＦ発生器の

構成要素を保護すると同時に、様々な動作が基板に実行される。
【００１１】
　また、状態Ｓ０、Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３などに対して反射電力が低減されると、インピーダンス整合回路の効率が改善される。インピーダンス整合回路は、インピーダンス整合回路の直列回路が値Ａを有する、および／または、インピーダンス整合回路のシャント回路が値Ｂを有する場合に、より高い電力量がプラズマチャンバに供給されることを許容する。より高い電力量の供給は、ＲＦ発生器によって供給される低振幅のＲＦ信号にとって重要である。
【００１２】
　添付の図面を参照して行う以下の詳細な説明から、別の態様が明らかになる。
【図面の簡単な説明】
【００１３】
　実施形態は、添付の図面に関連して行う以下の説明を参照することによって最も良好に理解できる。
【００１４】
【図１Ａ】複数の状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）でｘメガヘルツ（ＭＨｚ）高周波（ＲＦ）発生器に向かって反射される電力を削減するための直列回路のパラメータおよびシャント回路のパラメータの決定を説明するシステムの一実施形態の図。
【００１５】
【図１Ｂ】状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）でのｘＭＨｚＲＦ発生器への反射電力の削減およびｙＭＨｚＲＦ発生器への反射電力の削減を説明するためのシステムの一実施形態の図。
【００１６】
【図１Ｃ】状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）でのｘＭＨｚＲＦ発生器への反射電力の削減、ｙＭＨｚＲＦ発生器への反射電力の削減、および、ｚＭＨｚＲＦ発生器への反射電力の削減を説明するためのシステムの一実施形態の図。
【００１７】
【図２Ａ】ＲＦ信号の２つの状態を説明するために、デジタルパルス信号のグラフおよびＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号のグラフを示す図。
【００１８】
【図２Ｂ】３つの状態を有するＲＦ信号のグラフの一実施形態を示す図。
【００１９】
【図２Ｃ】４つの状態を有するＲＦ信号のグラフの一実施形態を示す図。
【００２０】
【図３Ａ】状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中のインピーダンス整合回路の直列回路およびシャント回路の制御を説明するためのシステムの一実施形態の図。
【００２１】
【図３Ｂ】状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中の直列回路およびシャント回路の制御を説明するためのシステムの一実施形態の図。
【００２２】
【図３Ｃ】任意の数の直列回路および任意の数のシャント回路を備えたインピーダンス整合回路を説明するためのシステムの一実施形態の図。
【００２３】
【図３Ｄ】Ｌネットワークであるインピーダンス整合回路を説明するためのシステムの一実施形態の図。
【００２４】
【図３Ｅ】Πネットワークであるインピーダンス整合回路を説明するためのシステムの一実施形態の図。
【００２５】
【図３Ｆ】２つのＬネットワークを含むΠネットワークであるインピーダンス整合回路を説明するためのシステムの一実施形態の図。

【００２６】
【図４】ＲＦ発生器に向かって反射された電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して削減されるインピーダンス整合回路の１または複数のパラメータの値の決定を説明するための方法の一実施形態の図。
【００２７】
【図５Ａ】状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対してＲＦ発生器の出力での反射電力を削減するためにインピーダンス整合回路の直列回路の静電気容量Ｃｓｅｒｉｅｓと、インピーダンス整合回路のシャント回路の静電容量Ｃｓｈｕｎｔとを決定する方法を説明するための図。
【００２８】
【図５Ｂ】状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）において反射電力を削減するようにチューニングする方法を適用する技術的利点を説明するためのグラフの一実施形態の図。
【００２９】
【図６】状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する変数の値が最小値になる１または複数のパラメータの値を決定するための機械学習ネットワークの一実施形態の図。
【発明を実施するための形態】
【００３０】
以下の実施形態は、複数の状態で反射電力を低減するためのチューニングシステムおよび方法について記載する。本実施形態は、これらの具体的な詳細事項の一部またはすべてがなくとも実施可能であることが明らかである。また、本実施形態が不必要に不明瞭となることを避けるため、周知の処理動作の詳細な説明は省略した。
【００３１】
図１Ａは、ｘメガヘルツ（ＭＨｚ）高周波（ＲＦ）発生器に向かって反射される電力を削減するための直列回路１０２のパラメータおよびシャント回路１０４のパラメータの決定を説明するシステム１００の一実施形態の図である。システム１００は、ｘメガヘルツのＲＦ発生器、インピーダンス整合回路（ＩＭＣ）１０６、プラズマチャンバ１０８、ホストコンピュータ１１１、モータＭ１、モータＭ２、ドライバ（ＤＲＶＲ）Ｄ１、および、ドライバＤ２を備える。
【００３２】
ｘメガヘルツのＲＦ発生器の一例は、２ＭＨｚのＲＦ発生器である。インピーダンス整合回路１０６は、１または複数の直列回路、例えば直列回路１０２と、１または複数のシャント回路、例えばシャント回路１０４とを備える。各シャント回路の出力は、接地、例えば、ゼロ電位、非ゼロ基準電位などに接続されている。各シャント回路または各直列回路は、１または複数の電気構成要素、例えば、１または複数のキャパシタ、もしくは、１または複数の抵抗器、もしくは、１または複数のインダクタ、もしくは、１または複数のキャパシタと１または複数の抵抗器との組みあわせ、もしくは、１または複数のキャパシタと１または複数のインダクタとの組みあわせ、もしくは、１または複数の抵抗器と１または複数のインダクタとの組みあわせ、もしくは、１または複数のキャパシタと１または複数の抵抗器と１または複数のインダクタとの組みあわせを備える。１または複数の電気構成要素の一部は、直列または並列で互いに接続されている。直列回路１０２の端部は、インピーダンス整合回路１０６の入力１３２に接続され、直列回路１０２の別の端部は、インピーダンス整合回路１０６の出力１３４に接続されている。さらに、シャント回路１０４の端部は、直列回路１０２とインピーダンス整合回路１０６の出力１３４とに接続され、シャント回路１０４の別の端部は、接地に接続されている。
【００３３】
プラズマチャンバ１０８は、チャック１１０、例えば基板１１２を上に配置される静電チャック（ＥＳＣ））と、上側電極１１４と、その他の部品（図示せず）、例えば上側電極１１４を取り囲む上側誘電体リング、上側誘電体リングを取り囲む上側電極延長部、チャック１１０の下側電極を取り囲む下側誘電体リング、下側誘電体リングを取り囲む下側電極延長部、上側プラズマ排除区域（ＰＥＺ）リング、下側ＰＥＺリングなどと、を備え

る。基板１１２の例は、集積回路が加工されたまたは加工されるウエハを含む。上側電極１１４およびチャック１１０の各々は、金属、例えば、アルミニウム、アルミニウム合金、銅、銅およびアルミニウムの組みあわせ、などで形成される。

【００３４】

ホストコンピュータ１１１の例は、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、タブレット、スマートフォン、などを含む。ホストコンピュータ１１１は、１または複数のプロセッサ、例えばプロセッサ１１６と、１または複数のメモリデバイス、例えばメモリデバイス１１８と、を備える。本明細書で用いられるプロセッサは、特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ）、プログラム可能論理デバイス、マイクロプロセッサ、または、中央処理装置（ＣＰＵ）である。さらに、本明細書で用いられるメモリデバイスは、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、リードオンリーメモリ（ＲＯＭ）、もしくは、ＲＡＭおよびＲＯＭの組みあわせ、である。本明細書に記載されるモータの例は、電気エネルギを機械的エネルギに変換する電気機械を含む。例えば、モータは、ロータおよびステータを備える。ロータは、電気エネルギを機械的エネルギに変換するために電流がステータの巻線に供給された時に回転する。本明細書に記載されるドライバの例は、プロセッサ１１６から制御信号を受信すると電流信号を生成する１または複数のトランジスタを含む。

【００３５】

ｘメガヘルツＲＦ発生器は、ＲＦケーブル１２６を介して、インピーダンス整合回路１０６に接続されている。さらに、インピーダンス整合回路１０６は、ＲＦ伝送ライン１２８を介してチャック１１０に接続されている。ＲＦ伝送ライン１２８は、ＲＦシリンダ、例えばトンネルである。ＲＦシリンダの空洞内には、絶縁体およびＲＦロッドがある。ＲＦロッドは絶縁体に取り囲まれており、絶縁体はＲＦシリンダによって取り囲まれている。

【００３６】

ｘメガヘルツＲＦ発生器は、制御システム１２０、センサ１２２、および、ＲＦ電源１２４を備える。本明細書に記載される制御システムの例は、１または複数の電力コントローラ、１または複数の自動周波数調整器（ＡＦＴ）、もしくは、１または複数の電力コントローラと１または複数の自動周波数調整器との組みあわせ、を含む。制御システムは、さらに、１または複数の電力コントローラならびに１または複数の自動周波数調整器に接続されたデジタル信号プロセッサ（ＤＳＰ）を備える。本明細書に記載されるセンサの例は、電力センサ、もしくは、複素電圧および電流センサを含む。本明細書に記載されるＲＦ電源の例は、互いに接続されたドライバおよびＲＦオシレータを含む。ドライバからの電流信号を受信すると、ＲＦオシレータは、高周波振動信号（例えば、正弦波ＲＦ信号）を生成する。

【００３７】

本明細書に記載されるセンサは、データケーブル、例えばシリアル転送ケーブル、パラレル転送ケーブル、または、ユニバーサルシリアルバス（ＵＳＢ）ケーブルなどを介してプロセッサ１１６に接続される。同様に、本明細書に記載される制御システム（例えば、制御システムのＤＳＰ）は、データケーブルを介してプロセッサ１１６に接続される。本明細書に記載されるモータは、１または複数の接続メカニズム、例えば、１または複数のロッド、１または複数のロッドと１または複数のギアとの組みあわせ、などを介して直列回路またはシャント回路に接続される。

【００３８】

プロセッサ１１６は、デジタルパルス信号１３０を生成し、そのデジタルパルス信号１３０を制御システム１２０に提供する。デジタルパルス信号１３０は、２以上の状態（例えば、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～状態Ｓ（ｎ））を有し、ここで、ｎは１以上の整数であり、Ｎも１以上の整数であり、ｎはＮよりも大きい。例えば、Ｓ（ｎ）がＳ２である場合、Ｓ（ｎ－Ｎ）はＳ１である。別の例として、Ｓ（ｎ）がＳ３である場合、Ｓ（ｎ－Ｎ）はＳ１であり、２つの状態Ｓ１およびＳ３の間に、中間状態Ｓ２がある。

【００３９】

制御システム１２０、例えばＤＳＰは、デジタルパルス信号１３０を受信し、デジタル

パルス信号１３０が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）を有するのかまたは状態Ｓ（ｎ）を有するのかを、デジタルパルス信号１３０のロジックレベルに基づいて判定する。例えば、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）がロジックレベル０を有し、状態Ｓ（ｎ）がロジックレベル１を有する。別の例として、状態Ｓ０がロジックレベルＬ１を有し、状態Ｓ１がロジックレベルＬ２を有し、状態Ｓ２がロジックレベルＬ３を有し、状態Ｓ３がロジックレベルＬ４を有する。ロジックレベルＬ４はロジックレベルＬ３よりも大きく、ロジックレベルＬ３はロジックレベルＬ２よりも大きい。ロジックレベルＬ２は、ロジックレベルＬ１よりも大きい。

【００４０】

デジタルパルス信号１３０の状態がＳ（ｎ－Ｎ）であると判定すると、制御システム１２０は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する周波数レベルを特定し、その電力レベルおよび周波数レベルをＲＦ電源１２４に提供する。例えば、電力コントローラの内の状態Ｓ（ｎ－Ｎ）のためのコントローラは、デジタルパルス信号１３０の状態がＳ（ｎ－Ｎ）であるとの示唆を制御システム１２０のデジタル信号プロセッサから受信すると、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルを特定し、その電力レベルをＲＦ電源１２４へ提供する。さらに、この例において、自動周波数調整器の内の状態Ｓ（ｎ－Ｎ）のための調整器は、デジタルパルス信号１３０の状態がＳ（ｎ－Ｎ）であるとの示唆を制御システム１２０のデジタル信号プロセッサから受信すると、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する周波数レベルを特定し、周波数レベルをＲＦ電源１２４へ提供する。一例として、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルは、制御システム１２０によってプロセッサ１１６から受信される。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを受信すると、ＲＦ電源１２４は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成し、出力１３６およびＲＦケーブル１２６を介してインピーダンス整合回路１０６に状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対するＲＦ信号を供給する。出力１３６は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の出力である。

【００４１】

同様に、デジタルパルス信号１３０の状態がＳ（ｎ）であると判定すると、制御システム１２０は、状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび状態Ｓ（ｎ）に対する周波数レベルを特定し、その電力レベルおよび周波数レベルをＲＦ電源１２４に提供する。例えば、電力コントローラの内の状態Ｓ（ｎ）のためのコントローラは、デジタルパルス信号１３０の状態がＳ（ｎ）であるとの示唆を制御システム１２０のデジタル信号プロセッサから受信すると、状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルを特定し、その電力レベルをＲＦ電源１２４へ提供する。さらに、この例において、自動周波数調整器の内の状態Ｓ（ｎ）のための調整器は、デジタルパルス信号１３０の状態がＳ（ｎ）であるとの示唆を制御システム１２０のデジタル信号プロセッサから受信すると、状態Ｓ（ｎ）に対する周波数レベルを特定し、周波数レベルをＲＦ電源１２４へ提供する。一例として、状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルは、制御システム１２０によってプロセッサ１１６から受信される。状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを受信すると、ＲＦ電源１２４は、状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成し、ＲＦケーブル１２６を介してインピーダンス整合回路１０６に状態Ｓ（ｎ）に対するＲＦ信号を送信する。

【００４２】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対するＲＦ信号が、ｘＭＨｚＲＦ発生器からインピーダンス整合回路１０６によって受信されると、インピーダンス整合回路１０６は、インピーダンス整合回路１０６の出力１３４に接続された負荷、例えばＲＦ伝送ライン１２８およびプラズマチャンバ１０８のインピーダンスを、インピーダンス整合回路１０６の入力１３２に接続されたソース、例えばＲＦケーブル１２６およびｘメガヘルツＲＦ発生器のインピーダンスと整合する。インピーダンス整合回路１０６は、インピーダンスを整合して、インピーダンス整合回路１０６から出力１３４およびＲＦ伝送ライン１２８を介してチャック１１０へ提供される状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する変調ＲＦ信号を生成する。

【００４３】

同様に、状態Ｓ（ｎ）に対するＲＦ信号が、ｘＭＨｚＲＦ発生器からインピーダンス整合回路１０６によって受信されると、インピーダンス整合回路１０６は、インピーダンス整合回路１０６の出力１３４に接続された負荷のインピーダンスを、インピーダンス整合回路１０６の入力１３２に接続されたソースのインピーダンスと整合する。インピーダンス整合回路１０６は、インピーダンスを整合して、インピーダンス整合回路１０６からＲＦ伝送ライン１２８を介してチャック１１０へ提供される状態Ｓ（ｎ）に対する変調ＲＦ信号を生成する。

【００４４】

変調ＲＦ信号がチャック１１０に供給されると、基板１１２を処理するための１または複数の処理ガスが、プラズマチャンバ１０８へ供給される。処理ガスの例としては、酸素含有ガスおよびフッ素含有ガスが挙げられる。フッ素含有ガスの例は、テトラフルオロメタン（CF_4）、六フッ化硫黄（SF_6）、ヘキサフルオロエタン（C_2F_6）などを含む。変調ＲＦ信号がチャック１１０に供給され、１または複数の処理ガスが、例えば、上側電極１１４の１または複数の孔を通して、プラズマチャンバ１０８に供給されると、プラズマがプラズマチャンバ１０８内で点火され、プラズマは基板１１２を処理するために用いられる。基板１１２の処理の例は、基板１１２上に１または複数の集積回路チップを加工するための、基板１１２のエッチング、基板１１２への材料、例えば、酸化物層、金属層、銅層などの蒸着、基板１１２のスパッタリング、基板１１２の洗浄、などを含む。

【００４５】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に、ｘＭＨｚＲＦ発生器の出力１３６に接続されたセンサ１２２は、変数、例えば、複素電圧および電流、複素電力、複素反射電力などの値を検知する。反射電力は、プラズマチャンバ１０８のプラズマから、ＲＦ伝送ライン１２８、インピーダンス整合回路１０６、および、ＲＦケーブル１２６を介して、ｘＭＨｚＲＦ発生器の出力１３６に向かって反射される電力である。同様に、状態Ｓ（ｎ）中に、センサ１２２は、変数の値を検知する。

【００４６】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）（例えば、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の複数回の発生、状態Ｓ（ｎ－Ｎ））およびＳ（ｎ）の複数のサイクル、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）およびＳ（ｎ）の複数回など）の間に検知された変数の値は、データケーブルを介してセンサ１２２からプロセッサ１１６へ連続的に提供される。プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の内の１つの状態に対しては削減されるが状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の他の状態に対しては削減されない反射電力と比較して、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して同時に削減されるようになるまで、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に検知された変数からインピーダンス整合回路１０６の１または複数の電気構成要素の１または複数のパラメータの値を決定する。例えば、１または複数のパラメータの値は、すべての状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）について出力１３６に反射される電力の量が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の任意の１状態について出力１３６に反射される電力の量より小さくなるように決定される。さらに説明すると、直列回路１０２の静電容量の値がＣ１であり、シャント回路１０４の静電容量の値がＣ２である場合、状態Ｓ１中に出力１３６に向かって反射される電力の量は、Ｐｒ１である。しかしながら、状態Ｓ２に対して同じ値のＣ１およびＣ２が用いられる場合、状態Ｓ２中に出力１３６に向かって反射される電力の量はＰｒ２であり、これは、Ｐｒ１よりも実質的に大きい。同じ値のＣ１およびＣ２は、１または複数の電気構成要素、例えば、キャパシタ、インダクタなどの物理的制限を理由に用いられ、それらの値は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の変化ほど迅速には変更できない。構成要素は、インピーダンス整合回路１０６の構成要素である。反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して同時に削減されるように、インピーダンス整合回路１０６の１または複数の電気構成要素の１または複数のパラメータの値、例えば、直列回路１０２のパラメータの値Ｃ３およびシャント回路１０４のパラメータの値Ｃ４が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に検知された変数から決定された場合、反射電力は、量Ｐｒ３の電力である。値Ｐｒ３は、値Ｐｒ２より小さいが、値Ｐｒ１よりは大きい。いくつかの実施形態において、値Ｐｒ

３は、値Ｐｒ１以下である。パラメータの例は、インダクタンスおよび静電容量を含む。
【００４７】
別の例として、直列回路１０２の静電容量の値がＣ１であり、シャント回路１０４の静電容量の値がＣ２である場合、状態Ｓ１中に出力１３６に向かって反射される電力の量は、Ｐｒ１である。値Ｐｒ１は、状態Ｓ１に対する後に詳述する最小値である。さらに、直列回路１０２のキャパシタの値がＣ５であり、シャント回路１０４のキャパシタの値がＣ６である場合、状態Ｓ２中に出力１３６に向かって反射される電力の量は、Ｐｒ４である。値Ｐｒ４は、状態Ｓ２に対する後に詳述する最小値である。状態Ｓ１およびＳ２について、値Ｃ１およびＣ５の平均が、直列回路１０２に対する静電容量として用いられる。さらに、状態Ｓ１およびＳ２について、値Ｃ２およびＣ６の平均が、シャント回路１０４に対する静電容量として用いられる。値Ｃ１およびＣ５の平均ならびに値Ｃ２およびＣ６の平均については、ｘＭＨｚＲＦ発生器向かって反射される電力は、状態Ｓ１およびＳ２に対して削減される。
【００４８】
さらに別の例として、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して同時に削減されるように、インピーダンス整合回路１０６の１または複数のパラメータの値（例えば、直列回路１０２のパラメータの値Ｃ３およびシャント回路１０４のパラメータの値Ｃ４）が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に検知された変数から決定された場合、反射電力は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対しては量Ｐｒ３の電力であり、状態Ｓ（ｎ）に対してはＰｒ４の量の電力である。値Ｐｒ３は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する反射電力の値の中の状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値である。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する反射電力の複数の値は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の周波数および／またはｘＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号の電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に変えられた時に達成される。値Ｐｒ４は、状態Ｓ（ｎ）に対する反射電力の値の中の状態Ｓ（ｎ）に対する最小値である。状態Ｓ（ｎ）に対する反射電力の複数の値は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の周波数および／またはｘＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号の電力が状態Ｓ（ｎ）中に変えられた時に達成される。様々な実施形態において、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値は、状態Ｓ（ｎ）に対する最小値の所定の閾値内にある。いくつかの実施形態において、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値は、状態Ｓ（ｎ）に対する最小値の所定の閾値内にあり、それらの最小値は共に、反射電力の所定のレベルより小さい。いくつかの実施形態において、所定のレベルおよび所定の限度という用語は、本明細書では交換可能に用いられる。値Ｐｒ２は所定のレベルより大きく、値Ｐｒ１は所定のレベルより小さい。
【００４９】
状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に、プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対するパラメータの値を示す制御信号をドライバＤ１に送信し、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で減少するまで送信し続ける。 制御信号を受信すると、モータＭ１は、モータＭ１を直列回路１０２に接続する１または複数の接続メカニズムを介して直列回路１０２のパラメータの値を変更するように回転する。同様に状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に、プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対するパラメータの値を示す制御信号をドライバＤ２に送信し、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で減少するまで送信し続ける。制御信号を受信すると、モータＭ２は、モータＭ２をシャント回路１０４に接続する１または複数の接続メカニズムを介してシャント回路１０４のパラメータの値を変更するように回転する。
【００５０】
出力１３６での反射電力の減少は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の寿命を延ばす。反射電力は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の構成要素、例えば、制御システム１２０、ＲＦ電源１２４などへの損傷を引き起こす。出力１３６での状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する反射電力の減少は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の構成要素が損傷を受ける可能性を減らして、構成要素の寿命を延ばす。
【００５１】

いくつかの実施形態において、ｘメガヘルツＲＦ発生器の代わりに、ｙメガヘルツＲＦ発生器またはｚメガヘルツＲＦ発生器が用いられる。ｙメガヘルツＲＦ発生器の一例は、２７ＭＨｚＲＦ発生器であり、ｚメガヘルツＲＦ発生器の一例は、６０ＭＨｚＲＦ発生器である。様々な実施形態において、ｘメガヘルツＲＦ発生器の代わりに、ａｋＨｚＲＦ発生器、例えば４００ｋＨｚＲＦ発生器が用いられる。

【００５２】

様々な実施形態において、デジタルパルス信号１３０がプロセッサ１１６によって生成される代わりに、デジタルパルス信号１３０を生成するためにデジタルクロックソースが用いられる。デジタルクロックソースは、ホストコンピュータ１１１の中または外に配置される。

【００５３】

デジタルパルス信号１３０が２よりも多い状態を有するいくつかの実施形態において、複数のクロックソースが、デジタルパルス信号１３０を生成するために用いられる。例えば、２よりも多い状態を有するデジタルパルス信号１３０を生成するために、複数のクロックソースからのクロック信号が、例えば、加算回路、プロセッサ１１６などによって合計される。クロック信号は、互いに位相がずれている。

【００５４】

様々な実施形態において、制御信号は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるまで、制御するために直列回路１０２に送信されるが、シャント回路１０４には送信されない。様々な実施形態において、制御信号は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるまで、制御するためにシャント回路１０４に送信されるが、直列回路１０２には送信されない。

【００５５】

いくつかの実施形態において、本明細書に記載のセンサは、ＲＦ発生器の出力に接続され、ＲＦ発生器の外側に配置される。

【００５６】

いくつかの実施形態において、最小（ｍｉｎｕｍａおよびｍｉｎｉｍｕｍ）という用語は、本明細書では交換可能に用いられる。

【００５７】

図１Ｂは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）についてｘＭＨｚＲＦ発生器およびｙＭＨｚＲＦ発生器への反射電力の削減を説明するためのシステム１５０の一実施形態の図である。システム１５０は、ｘＭＨｚＲＦ発生器、ｙＭＨｚＲＦ発生器、ホストコンピュータ１１１、インピーダンス整合回路１５２、プラズマチャンバ１０８、モータＭ１およびＭ２、ドライバＤ１およびＤ２、モータＭ３、モータＭ４、ドライバＤ３、ならびに、ドライバＤ４を備える。インピーダンス整合回路１５２は、互いに接続された直列回路１６６およびシャント回路１６８を備える。インピーダンス整合回路１５２は、直列回路１０２およびシャント回路１０４も備える。

【００５８】

ｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８は、ＲＦケーブル１６２を介してインピーダンス整合回路１５２の入力１６０に接続されている。ｙＭＨｚＲＦ発生器は、制御システム１５３、ＲＦ電源１５４、および、センサ１５６を備える。センサ１５６は、ｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８に接続されている。さらに、センサ１５６は、データケーブルを介してプロセッサ１１６に接続されており、プロセッサ１１６は、データケーブルを介して制御システム１５３に接続されている。

【００５９】

プロセッサ１１６は、ドライバＤ３に接続されており、ドライバＤ３は、モータＭ３に接続されている。モータＭ３は、１または複数の接続メカニズムを介して直列回路１６６に接続されている。さらに、プロセッサ１１６は、ドライバＤ４に接続されており、ドライバＤ４は、モータＭ４に接続されている。モータＭ４は、１または複数の接続メカニズムを介してシャント回路１６８に接続されている。

【００６０】
直列回路１６６の端部は、入力１６０に接続され、直列回路１６６の別の端部は、出力１３４に接続されている。さらに、シャント回路１６８の端部は、直列回路１６６とインピーダンス整合回路１５２の出力１３４とに接続され、シャント回路１６８の別の端部は、接地に接続されている。
【００６１】
プロセッサ１１６は、データケーブルを介してｙＭＨｚＲＦ発生器の制御システム１５３へデジタルパルス信号１３０を送信する。デジタルパルス信号１３０を受信すると、制御システム１５３は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の制御システム１２０が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルをｘＭＨｚＲＦ発生器のＲＦ電源１２４へ提供する上述の方法で、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルをＲＦ電源１５４へ提供する。ＲＦ電源１５４は、ｘＭＨｚＲＦ発生器のＲＦ電源１２４が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成する方法で、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成する。ＲＦ電源１５４は、ＲＦケーブル１６２を介してインピーダンス整合回路１５２の入力１６０にＲＦ信号を供給する。
【００６２】
同様に、デジタルパルス信号１３０を受信すると、制御システム１５３は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の制御システム１２０が状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルをｘＭＨｚＲＦ発生器のＲＦ電源１２４へ提供する上述の方法で、状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルをＲＦ電源１５４へ提供する。ＲＦ電源１５４は、ｘＭＨｚＲＦ発生器のＲＦ電源１２４が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成する方法で、状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成する。ＲＦ電源１５４は、ＲＦケーブル１６２を介してインピーダンス整合回路１５２の入力１６０にＲＦ信号を供給する。
【００６３】
ｘＭＨｚＲＦ発生器からの状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対するＲＦ信号に加えて、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対するＲＦ信号が、ｙＭＨｚＲＦ発生器からインピーダンス整合回路１５２によって受信されると、インピーダンス整合回路１５２は、インピーダンス整合回路１５２の出力１３４に接続された負荷、例えばＲＦ伝送ライン１２８およびプラズマチャンバ１０８のインピーダンスを、インピーダンス整合回路１５２の入力１３２および１６０に接続されたソース、例えば、ＲＦケーブル１２６、ｘメガヘルツＲＦ発生器、ＲＦケーブル１６２、および、ｙＭＨｚＲＦ発生器と整合する。インピーダンス整合回路１５２は、インピーダンスを整合し、さらに、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中にインピーダンス整合回路１５２の分岐回路１６５および分岐回路１７０を介して伝送されたＲＦ信号を組みあわせることで、例えば合計することで、インピーダンス整合回路１５２から出力１３４およびＲＦ伝送ライン１２８を介してチャック１１０へ提供される状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する変調ＲＦ信号を生成する。回路１６５は、直列回路１０２およびシャント回路１０４を備える。
【００６４】
同様に、ｘＭＨｚＲＦ発生器からの状態Ｓ（ｎ）に対するＲＦ信号に加えて、状態Ｓ（ｎ）に対するＲＦ信号が、ｙＭＨｚＲＦ発生器からインピーダンス整合回路１５２によって受信されると、インピーダンス整合回路１５２は、インピーダンス整合回路１５２の出力１３４に接続された負荷のインピーダンスを、インピーダンス整合回路１５２の入力１３２および１６０に接続されたソースのインピーダンスと整合する。インピーダンス整合回路１５２は、インピーダンスを整合し、さらに、状態Ｓ（ｎ）中にインピーダンス整合回路１５２の分岐回路１６５および分岐回路１７０を介して伝送されたＲＦ信号を組みあわせることで（例えば、合計することで）、インピーダンス整合回路１５２から出力１３４およびＲＦ伝送ライン１２８を介してチャック１１０へ提供される状態Ｓ（ｎ）に対する変調ＲＦ信号を生成する。基板１１２は、１または複数の処理ガスに加えて変調ＲＦ信号がＲＦ伝送ライン１２８を介してインピーダンス整合回路１５２から受信された時に処

理される。

【００６５】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に、ｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８に接続されたセンサ１５６は、出力１５８での変数、例えば反射電力の値を検知する。反射電力は、プラズマチャンバ１０８のプラズマから、ＲＦ伝送ライン１２８、直列回路１６６およびシャント回路１６８を備えた分岐回路１７０、ならびに、ＲＦケーブル１６２を介して、ｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８に向かって反射される電力である。同様に、状態Ｓ（ｎ）中に、センサ１５６は、ｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８に向かって反射された変数の値を検知する。

【００６６】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）、例えば状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の複数回の発生の間に検知された変数の値は、データケーブルを介してセンサ１５６からプロセッサ１１６へ連続的に提供される。プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の内の１つの状態に対しては出力１５８で削減されるが状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の他の状態に対しては削減されない反射電力と比較して、ｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して同時に削減されるようになるまで、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に検知された変数からインピーダンス整合回路１５２の１または複数の電気構成要素の１または複数のパラメータの値を決定する。例えば、１または複数のパラメータの値は、すべての状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）についてｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８に反射される電力の量が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の任意の１状態について出力１５８に反射される電力の量より小さくなるように決定される。さらに説明すると、直列回路１６６の静電容量の値がＣＡであり、シャント回路１６８の静電容量の値がＣＢである場合、電力の量ＰｒＡが、状態Ｓ１中にｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８に向かって反射される。しかしながら、状態Ｓ２に対して同じ値のＣＡおよびＣＢが用いられる場合、状態Ｓ２中に出力１５８に向かって反射される電力の量はＰｒＢであり、これは、ＰｒＡよりも実質的に大きい。出力１５８における反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して同時に削減されるように、インピーダンス整合回路１５２の１または複数の電気構成要素の１または複数のパラメータの値、例えば、直列回路１６６のパラメータの値ＣＣおよびシャント回路１６８のパラメータの値ＣＤが、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中にセンサ１５６によって検知された変数から決定された場合、反射電力は、量ＰｒＣの電力である。値ＰｒＣは、値ＰｒＢより小さいが、値ＰｒＡよりは大きい。いくつかの実施形態において、値ＰｒＣは、値ＰｒＡ以下である。

【００６７】

別の例として、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して同時に削減されるように、インピーダンス整合回路１５２の１または複数のパラメータの値、例えば直列回路１６６のパラメータの値ＣＣおよび分岐回路１６８のパラメータの値ＣＤが、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に検知された変数から決定された場合、反射電力は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対しては量ＰｒＤの電力であり、状態Ｓ（ｎ）に対してはＰｒＥの量の電力である。値ＰｒＤは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する反射電力の値の中の状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値である。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する反射電力の複数の値は、ｙＭＨｚＲＦ発生器の周波数および／またはｙＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号の電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に変えられた時に達成される。値ＰｒＤは、状態Ｓ（ｎ）に対する反射電力の値の中の状態Ｓ（ｎ）に対する最小値である。状態Ｓ（ｎ）に対する反射電力の複数の値は、ｙＭＨｚＲＦ発生器の周波数および／またはｙＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号の電力が状態Ｓ（ｎ）中に変えられた時に達成される。様々な実施形態において、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値は、状態Ｓ（ｎ）に対する最小値の所定の閾値内にある。いくつかの実施形態において、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値は、状態Ｓ（ｎ）に対する最小値の所定の閾値内にあり、それらの最小値は共に、反射電力の所定のレベルより小さい。値ＰｒＢは所定のレベルより大きく、値ＰｒＡは所定のレベルより小さい。

【００６８】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に、プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）

に対するパラメータの値を示す制御信号をドライバＤ３に送信し、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対してｙＭＨｚＲＦ発生器の出力１５８で減少するまで送信し続ける。 制御信号を受信すると、モータＭ３は、モータＭ３を直列回路１６６に接続する１または複数の接続メカニズムを介して直列回路１６６のパラメータの値を変更するように回転する。同様に状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に、プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対するパラメータの値を示す制御信号をドライバＤ４に送信し、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１５８で減少するまで送信し続ける。制御信号を受信すると、モータＭ４は、モータＭ４をシャント回路１６８に接続する１または複数の接続メカニズムを介してシャント回路１６８のパラメータの値を変更するように回転する。出力１５８での反射電力の減少も、ｙＭＨｚＲＦ発生器の寿命を延ばす。

【００６９】

いくつかの実施形態において、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１５８での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ～Ｓ（ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、および、シャント回路１６８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。例えば、出力１５８での値ＰｒＣは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ３から所定の範囲内にある。

【００７０】

様々な実施形態において、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１５８での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ～Ｓ（ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、および、シャント回路１６８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。さらに、プロセッサ１１６は、出力１３６での反射電力および出力１５８での反射電力が所定の限度未満になるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、および、シャント回路１６８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。例えば、出力１５８での値ＰｒＣは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ３から所定の範囲内にあり、値ＰｒＣおよびＰｒ３は、反射電力の所定の限度より小さい。所定の範囲および所定の限度は、プロセッサ１１６によるアクセスに向けてメモリデバイス１１８に格納される。

【００７１】

いくつかの実施形態において、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１５８での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、および、シャント回路１６８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。さらに、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１５８での反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、および、シャント回路１６８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。例えば、出力１５８での値ＰｒＤは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ４から所定の範囲内にあり、出力１５８での値ＰｒＥは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ５から所定の範囲内にある。

【００７２】

様々な実施形態において、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１５８での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、および、シャント回路１６８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。さらに、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１５８での反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、および、シャント回路１６８の内の１または複数の回路の

１または複数のパラメータの値を同時に制御する。さらに、プロセッサ１１６は、出力１３６での反射電力および出力１５８での反射電力が所定の限度未満になるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、および、シャント回路１６８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。例えば、出力１５８での値ＰｒＤは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ４から所定の範囲内にあり、値ＰｒＤおよびＰｒ４は、反射電力の所定の限度より小さい。さらに、出力１５８での値ＰｒＥは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ５から所定の範囲内にあり、値ＰｒＥおよびＰｒ５は、反射電力の所定の限度より小さい。

【００７３】

図１Ｃは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）でのｘＭＨｚＲＦ発生器、ｙＭＨｚＲＦ発生器、および、ｚＭＨｚＲＦ発生器への反射電力の削減を説明するためのシステム１８０の一実施形態の図である。システム１８０は、ｘＭＨｚＲＦ発生器、ｙＭＨｚＲＦ発生器、ｚＭＨｚＲＦ発生器、ホストコンピュータ１１１、インピーダンス整合回路１８２、プラズマチャンバ１０８、モータＭ１～Ｍ４、ドライバＤ１～Ｄ４、モータＭ５、モータＭ６、ドライバＤ５、および、ドライバＤ６を備える。インピーダンス整合回路１８２は、互いに接続された直列回路１９６およびシャント回路１９８を備える。

【００７４】

ｚＭＨＲＦ発生器の出力１８４は、ＲＦケーブル１８８を介してインピーダンス整合回路１８２の入力１８６に接続されている。ｚＭＨｚＲＦ発生器は、制御システム１９０、ＲＦ電源１９２、および、センサ１９４を備える。センサ１９４は、ｚＭＨｚＲＦ発生器の出力１８４に接続されている。さらに、センサ１９４は、データケーブルを介してプロセッサ１１６に接続されており、プロセッサ１１６は、データケーブルを介して制御システム１９０に接続されている。

【００７５】

プロセッサ１１６は、ドライバＤ５に接続されており、ドライバＤ５は、モータＭ５に接続されている。モータＭ５は、１または複数の接続メカニズムを介して直列回路１９６に接続されている。さらに、プロセッサ１１６は、ドライバＤ６に接続されており、ドライバＤ６は、モータＭ６に接続されている。モータＭ６は、１または複数の接続メカニズムを介してシャント回路１９８に接続されている。

【００７６】

インピーダンス整合回路１８２は、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６４、シャント回路１６６、直列回路１９６、および、シャント回路１９８を備える。直列回路１９６の端部は、入力１８６に接続され、直列回路１９６の別の端部は、出力１３４に接続されている。さらに、シャント回路１９８の端部は、直列回路１９６とインピーダンス整合回路１８２の出力１３４とに接続され、シャント回路１９８の別の端部は、接地に接続されている。

【００７７】

プロセッサ１１６は、データケーブルを介してｚＭＨｚＲＦ発生器の制御システム１９０へデジタルパルス信号１３０を送信する。デジタルパルス信号１３０を受信すると、制御システム１９０は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の制御システム１２０が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルをｘＭＨｚＲＦ発生器のＲＦ電源１２４へ提供する上述の方法で、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルをＲＦ電源１９２へ提供する。ＲＦ電源１９２は、ｘＭＨｚＲＦ発生器のＲＦ電源１２４が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成する方法で、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成する。ＲＦ電源１９２は、ＲＦケーブル１８８を介してインピーダンス整合回路１８２の入力１８６にＲＦ信号を供給する。

【００７８】

同様に、デジタルパルス信号１３０を受信すると、制御システム１９０は、ｘＭＨｚＲＦ発生器の制御システム１２０が状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを

ｘＭＨｚＲＦ発生器のＲＦ電源１２４へ提供する上述の方法で、状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルをＲＦ電源１９２へ提供する。ＲＦ電源１９２は、ｘＭＨｚＲＦ発生器のＲＦ電源１２４が状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成する方法で、状態Ｓ（ｎ）に対する電力レベルおよび周波数レベルを有するＲＦ信号を生成する。ＲＦ電源１９２は、ＲＦケーブル１６２を介してインピーダンス整合回路１８２の入力１８６にＲＦ信号を供給する。

【００７９】

ｘおよびｙＭＨｚＲＦ発生器からの状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対するＲＦ信号に加えて、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対するＲＦ信号が、ｚＭＨｚＲＦ発生器からインピーダンス整合回路１８２によって受信されると、インピーダンス整合回路１８２は、インピーダンス整合回路１８２の出力１３４に接続された負荷、例えばＲＦ伝送ライン１２８およびプラズマチャンバ１０８のインピーダンスを、インピーダンス整合回路１８２の入力１３２、１６０、および、１８６に接続されたソース、例えば、ＲＦケーブル１２６、ｘメガヘルツＲＦ発生器、ＲＦケーブル１６２、ｙＭＨｚＲＦ発生器、ＲＦケーブル１８８、および、ｚＭＨｚＲＦ発生器と整合する。インピーダンス整合回路１８２は、インピーダンスを整合し、分岐回路１６５（図１Ｂ）、１７０、および、１９９を介して送信されたＲＦ信号を組み合わせることで、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する変調ＲＦ信号を生成する。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する変調ＲＦ信号は、インピーダンス整合回路１８２から出力１３４およびＲＦ伝送ライン１２８を介してチャック１１０へ提供される。分岐回路１９９は、直列回路１９６およびシャント回路１９８を備える。

【００８０】

同様に、ｘおよびｙＭＨｚＲＦ発生器からの状態Ｓ（ｎ）に対するＲＦ信号に加えて、状態Ｓ（ｎ）に対するＲＦ信号が、ｚＭＨｚＲＦ発生器からインピーダンス整合回路１８２によって受信されると、インピーダンス整合回路１８２は、インピーダンス整合回路１８２の出力１３４に接続された負荷のインピーダンスを、インピーダンス整合回路１８２の入力１３２、１６０、および、１８６に接続されたソースのインピーダンスと整合する。インピーダンス整合回路１８２は、インピーダンスを整合し、分岐回路１６５（図１Ｂ）、１７０、および、１９９を介して送信されたＲＦ信号を組み合わせることで、状態Ｓ（ｎ）に対する変調ＲＦ信号を生成する。状態Ｓ（ｎ）に対する変調ＲＦ信号は、インピーダンス整合回路１８２からＲＦ伝送ライン１２８を介してチャック１１０へ提供される。基板１１２は、１または複数の処理ガスに加えて変調ＲＦ信号がＲＦ伝送ライン１２８を介してインピーダンス整合回路１８２から受信された時に処理される。

【００８１】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に、ｚＭＨｚＲＦ発生器の出力１８４に接続されたセンサ１９４は、出力１８４での変数、例えば反射電力の値を検知する。反射電力は、プラズマチャンバ１０８のプラズマから、ＲＦ伝送ライン１２８、インピーダンス整合回路１８２の分岐回路１９９、および、ＲＦケーブル１８８を介して、ｚＭＨｚＲＦ発生器の出力１８４に向かって反射される電力である。同様に、状態Ｓ（ｎ）中に、センサ１９４は、ｚＭＨｚＲＦ発生器の出力１８４に向かって反射された変数の値を検知する。

【００８２】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）、例えば状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の複数回の発生の間に検知された変数の値は、データケーブルを介してセンサ１９４からプロセッサ１１６へ連続的に提供される。プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の内の１つの状態に対しては出力１８４で削減されるが状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の他の状態に対しては削減されない反射電力と比較して、出力１８４での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して同時に削減されるようになるまで、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に検知された変数からインピーダンス整合回路１８２の１または複数の電気構成要素の１または複数のパラメータの値を決定する。例えば、１または複数のパラメータの値は、すべての状態　Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）について出力１８４に反射される電力の量が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の任意の１状態について削減されるが状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の残り

の状態については削減されない出力１８４に反射される電力の量に比べて削減されるように決定される。さらに説明すると、直列回路１９６の静電容量の値がＣａであり、シャント回路１９８の静電容量の値がＣｂである場合、電力の量Ｐｒａが、状態Ｓ１中に出力１８４に向かって反射される。しかしながら、状態Ｓ２に対して同じ値のＣａおよびＣｂが用いられる場合、状態Ｓ２中に出力１８４に向かって反射される電力の量はＰｒｂであり、これは、Ｐｒａよりも実質的に大きい。出力１８４における反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）およびＳ（ｎ）に対して同時に削減されるように、インピーダンス整合回路１８２の１または複数の電気構成要素の１または複数のパラメータの値、例えば直列回路１９６のパラメータの値ＣｃおよびシャントＣ回路１９８のパラメータの値Ｃｄが、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）およびＳ（ｎ）中にセンサ１９４によって検知された変数から決定された場合、反射電力は、量Ｐｒｃの電力である。値Ｐｒｃは、値Ｐｒｂより小さいが、値Ｐｒａよりは大きい。いくつかの実施形態において、値Ｐｒｃは、値Ｐｒａ以下である。

【００８３】

別の例として、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して同時に削減されるように、インピーダンス整合回路１８２の１または複数のパラメータの値、例えば直列回路１９６のパラメータの値ＣｃおよびＣ分岐回路１９８のパラメータの値Ｃｄが、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に検知された変数から決定された場合、反射電力は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対しては量Ｐｒｄの電力であり、状態Ｓ（ｎ）に対してはＰｒｅの量の電力である。値Ｐｒｄは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する反射電力の値の中の状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値である。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する反射電力の複数の値は、ｚＭＨｚＲＦ発生器の周波数および／またはｚＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号の電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に変えられた時に達成される。値Ｐｒｄは、状態Ｓ（ｎ）に対する反射電力の値の中の状態Ｓ（ｎ）に対する最小値である。状態Ｓ（ｎ）に対する反射電力の複数の値は、ｚＭＨｚＲＦ発生器の周波数および／またはｚＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号の電力が状態Ｓ（ｎ）中に変えられた時に達成される。様々な実施形態において、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値は、状態Ｓ（ｎ）に対する最小値の所定の閾値内にある。いくつかの実施形態において、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する最小値は、状態Ｓ（ｎ）に対する最小値の所定の閾値内にあり、それらの最小値は共に、反射電力の所定のレベルより小さい。値Ｐｒｂは所定のレベルより大きく、値Ｐｒａは所定のレベルより小さい。

【００８４】

状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に、プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対するパラメータの値を示す制御信号をドライバＤ５に送信し、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対してｚＭＨｚＲＦ発生器の出力１８４で減少するまで送信し続ける。 制御信号を受信すると、モータＭ５は、モータＭ５を直列回路１９６に接続する１または複数の接続メカニズムを介して直列回路１９６のパラメータの値を変更するように回転する。同様に状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に、プロセッサ１１６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対するパラメータの値を示す制御信号をドライバＤ６に送信し、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１８４で減少するまで送信し続ける。 制御信号を受信すると、モータＭ６は、モータＭ６をシャント回路１９８に接続する１または複数の接続メカニズムを介してシャント回路１９８のパラメータの値を変更するように回転する。出力１８４での反射電力の減少も、ｚＭＨｚＲＦ発生器の寿命を延ばす。

【００８５】

いくつかの実施形態において、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルと、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１５８で削減されるレベルとから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１８４での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、シャント回路１６８、直列回路１９６、および、シャント回路１９８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。例えば、出力１８４での値Ｐｒｃは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ３と、出力１５８での反射電力の値ＰｒＣとから所定の範囲内にある。

【００８６】
様々な実施形態において、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルと、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して出力１５８で削減されるレベルとから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１８４での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、シャント回路１６８、直列回路１９６、および、シャント回路１９８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。さらに、プロセッサ１１６は、出力１３６での反射電力、出力１５８での反射電力、および、出力１８４での反射電力が所定の限度未満になるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、シャント回路１６８、直列回路１９６、および、シャント回路１９８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。例えば、出力１５８での値ＰｒＣは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ３と、出力１８４での値Ｐｒｃとから所定の範囲内にあり、値ＰｒＣ、Ｐｒ３、および、Ｐｒｃは、反射電力の所定の限度より小さい。

【００８７】
いくつかの実施形態において、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルと、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して出力１５８で削減されるレベルとから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１８４での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、シャント回路１６８、直列回路１９６、および、シャント回路１９８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。さらに、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルと、反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して出力１５８で削減されるレベルとから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１８４での反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、シャント回路１６８、直列回路１９６、および、シャント回路１９８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。例えば、出力１８４での値Ｐｒｄは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ４と、出力１５８での反射電力の値ＰｒＤとから所定の範囲内にある。また、出力１８４での値Ｐｒｅは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ５と、出力１５８での反射電力の値ＰｒＥとから所定の範囲内にある。

【００８８】
様々な実施形態において、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルと、反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して出力１５８で削減されるレベルとから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１８４での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、シャント回路１６８、直列回路１９６、および、シャント回路１９８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。さらに、プロセッサ１１６は、反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して出力１３６で削減されるレベルと、反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して出力１５８で削減されるレベルとから所定の範囲内にあるレベルへと、出力１８４での反射電力が状態Ｓ（ｎ）に対して削減されるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、シャント回路１６８、直列回路１９６、および、シャント回路１９８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。さらに、プロセッサ１１６は、出力１３６での反射電力、出力１５８での反射電力、および、出力１８４での反射電力が所定の限度未満になるまで、直列回路１０２、シャント回路１０４、直列回路１６６、シャント回路１６８、直列回路１９６、および、シャント回路１９８の内の１または複数の回路の１または複数のパラメータの値を同時に制御する。例えば、出力１８４での値Ｐｒｄは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ４と、出力１５８での反射電力の値ＰｒＤとから所定の範囲内にある。また、出力１８４での値Ｐｒｅは、出力１３６での反射電力の値Ｐｒ５と、出力１５８での反射電力の値ＰｒＥとから所定の範囲内にある。すべての値Ｐｒｄ、Ｐｒ４、ＰｒＤ、Ｐｒｅ、Ｐｒ５、および

、ＰｒＥは、所定の限度より小さい。
【００８９】
いくつかの実施形態において、本明細書に記載のインピーダンス整合回路の各回路構成要素、例えば、インダクタ、キャパシタなどは、電子的に制御される。例えば、回路構成要素を制御するために、モータは利用されない。
【００９０】
図２Ａは、デジタルパルス信号２０６のグラフ２０２の一実施形態と、ＲＦ発生器、例えば、ｘＭＨｚＲＦ発生器、またはｙＭＨｚＲＦ発生器、またはｚＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号２０８の一実施形態を示すグラフ２０４とを示す図である。デジタルパルス信号２０６は、デジタルパルス信号１３０（図１Ａ～図１Ｃ）の一例である。グラフ２０２は、時間に対してロジックレベルをプロットしたものである。さらに、グラフ２０４は、時間に対してＲＦ信号２０８の電力レベルをプロットしたものである。一例として、ＲＦ信号の電力レベルは、ＲＦ信号のエンベロープ（例えば、ゼロからピークまでの振幅など）である。別の例として、ＲＦ信号の電力レベルは、ＲＦ信号の振幅の二乗平均平方根値である。
【００９１】
状態Ｓ０中、デジタルパルス信号２０６のロジックレベルが０である時、ＲＦ信号２０８の電力レベルはＰ１であり、ｐ１は、ゼロまたは正の量である。さらに、状態Ｓ１中、デジタルパルス信号２０６のロジックレベルが１である時、ＲＦ信号２０８の電力レベルはＰ２である。電力レベルＰ２は、電力レベルＰ１よりも大きい。また、デジタルパルス信号２０６が状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する時、ＲＦ信号２０８は、電力レベルＰ１から電力レベルＰ２に遷移する。デジタルパルス信号２０６が状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する時、ＲＦ信号２０８は、電力レベルＰ２から電力レベルＰ１に遷移する。このように、デジタルパルス信号２０６は、ＲＦ信号２０８と同期される。
【００９２】
デジタルパルス信号２０６の状態Ｓ０は、クロックサイクルの期間ｔ１中に発生することに注意されたい。さらに、デジタルパルス信号２０６の状態Ｓ１は、クロックサイクルの期間ｔ２中に発生する。
【００９３】
図２Ｂは、３つの状態Ｓ０、Ｓ１、および、Ｓ２を有するＲＦ信号２１２のグラフ２１０の一実施形態である。ＲＦ信号２１２は、ｘＭＨｚＲＦ発生器またはｙＭＨｚＲＦ発生器またはｚＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号の一例である。状態Ｓ０中、ＲＦ信号２１２は、電力レベルＰ１を有する。さらに、状態Ｓ１中、ＲＦ信号２１２は、電力レベルＰ３を有する。また、状態Ｓ２中、ＲＦ信号２１２は、電力レベルＰ２を有する。電力レベルＰ３は、電力レベルＰ２よりも低いが、電力レベルＰ１よりも高い。デジタルパルス信号１３０（図１Ａ～図１Ｃ）が状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する時、ＲＦ信号２１２は、電力レベルＰ１から電力レベルＰ３へ遷移する。さらに、デジタルパルス信号１３０が状態Ｓ１から状態Ｓ２へ遷移する時、ＲＦ信号２１２は、電力レベルＰ３から電力レベルＰ２に遷移する。また、デジタルパルス信号１３０が状態Ｓ２から状態Ｓ０へ戻る時、ＲＦ信号２１２は、電力レベルＰ２から電力レベルＰ１に戻る。ＲＦ信号２１２の状態Ｓ０～Ｓ２は、期間ｔ１およびｔ２の合計であるクロックサイクル中に発生する。
【００９４】
図２Ｃは、４つの状態Ｓ０、Ｓ１、Ｓ２、および、Ｓ３を有するＲＦ信号２１６のグラフ２１４の一実施形態である。ＲＦ信号２１６は、ｘＭＨｚＲＦ発生器またはｙＭＨｚＲＦ発生器またはｚＭＨｚＲＦ発生器によって供給されるＲＦ信号の一例である。状態Ｓ０中、ＲＦ信号２１６は、電力レベルＰ１を有する。さらに、状態Ｓ１中、ＲＦ信号２１６は、電力レベルＰ２を有する。また、状態Ｓ２中、ＲＦ信号２１６は、電力レベルＰ３を有する。状態Ｓ３中、ＲＦ信号２１６は、電力レベルＰ４を有する。電力レベルＰ４は、電力レベルＰ３よりも低いが、電力レベルＰ１よりも高い。デジタルパルス信号１３０（図１Ａ～図１Ｃ）が状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する時、ＲＦ信号２１６は、電力レベル

Ｐ１から電力レベルＰ２へ遷移する。さらに、デジタルパルス信号１３０が状態Ｓ１から状態Ｓ２へ遷移する時、ＲＦ信号２１６は、電力レベルＰ２から電力レベルＰ３に遷移する。また、デジタルパルス信号１３０が状態Ｓ２から状態Ｓ３へ遷移する時、ＲＦ信号２１６は、電力レベルＰ３から電力レベルＰ４に遷移する。また、デジタルパルス信号１３０が状態Ｓ３から状態Ｓ０へ戻る時、ＲＦ信号２１６は、電力レベルＰ４から電力レベルＰ１に戻る。ＲＦ信号２１６の状態Ｓ０～Ｓ３は、期間ｔ１およびｔ２の合計であるクロックサイクル中に発生する。

【００９５】

図３Ａは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中の直列回路３０６およびシャント回路３０８の制御を説明するためのシステム３００の一実施形態の図である。直列回路３０６は、直列回路１０２、１６６、または、１９６（図１Ｃ）の一例である。さらに、シャント回路３０８は、シャント回路１０４、１６８、または、１９８（図１Ｃ）の一例である。システム３００は、ｘＭＨｚＲＦ発生器またはｙＭＨｚＲＦ発生器またはｚＭＨｚＲＦ発生器などのＲＦ発生器３０２を備える。ＲＦ発生器３０２は、出力３７０を有しており、出力３７０は、出力１３６、出力１５８、または、出力１８４（図１Ｃ）の一例である。さらに、システム３００は、インピーダンス整合回路３０４を備えており、インピーダンス整合回路３０４は、インピーダンス整合回路１０６（図１）、分岐回路１７０（図１Ｂ）、または、分岐回路１９９（図１Ｃ）の一例である。

【００９６】

ＲＦ発生器３０２は、ＲＦケーブル３１０を介してインピーダンス整合回路３０４に接続されており、ＲＦケーブル３１０は、ＲＦケーブル１２６、ＲＦケーブル１６２、または、ＲＦケーブル１８８（図１Ｃ）の一例である。インピーダンス整合回路３０４の出力１３４は、ＲＦ伝送ライン１２８を介してプラズマチャンバ１０８に接続されている。

【００９７】

システム３００は、さらに、モータ３１２およびモータ３１４を備える。モータ３１２は、モータＭ１、モータＭ３、または、モータＭ５（図１Ｃ）の一例である。さらに、モータ３１４は、モータＭ２、モータＭ４、または、モータＭ６（図１Ｃ）の一例である。

【００９８】

直列回路３０６は、インピーダンス整合回路３０４の入力３１６を介してＲＦケーブル３１０に接続されている。入力３１６は、入力１３２、入力１６０、または、入力１８６（図１Ｃ）の一例である。直列回路は、可変であるキャパシタＣ１と直列のインダクタＬ１を備える。インダクタＬ１の端部は、入力３１６に接続され、インダクタＬ１の別の端部は、キャパシタＣ１に接続されている。シャント回路３０８は、これも可変であるキャパシタＣ２と直列のインダクタＬ２を備える。インダクタＬ２の端部は、出力１３４に接続され、出力１３４は、キャパシタＣ１の端部に接続されている。さらに、インダクタＬ２の別の端部は、キャパシタＣ２に接続され、キャパシタＣ２は、他の端部で接地に接続されている。インダクタＬ１およびＬ２は、可変ではなく固定である。

【００９９】

モータ３１２は、１または複数の接続メカニズムを介してキャパシタＣ１に接続されており、キャパシタＣ１の平行板の間の距離または面積を変化させるように回転する。例えば、キャパシタの平行板は、平行板の間の距離または面積を変化させるように、互いに対して移動、例えば回転する。距離または面積の変化は、キャパシタの静電容量を変化させる、例えば増減させる。同様に、モータ３１４は、１または複数の接続メカニズムを介してキャパシタＣ２に接続されており、キャパシタＣ２の平行板の間の距離または面積を変化させるように回転する。

【０１００】

図３Ｂは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中の直列回路３２４およびシャント回路３２６の制御を説明するためのシステム３２０の一実施形態の図である。直列回路３２４は、直列回路１０２、１６６、または、１９６（図１Ｃ）の一例である。さらに、シャント回路３２６は、シャント回路１０４、１６８、または、１９８（図１Ｃ）の一例である。シス

テム３２０は、ＲＦ発生器３０２を備える。さらに、システム３２０は、インピーダンス整合回路３２２を備えており、インピーダンス整合回路３２２は、インピーダンス整合回路１０６（図１）、分岐回路１７０（図１Ｂ）、または、分岐回路１９９（図１Ｃ）の一例である。

【０１０１】

ＲＦ発生器３０２は、ＲＦケーブル３１０を介してインピーダンス整合回路３２２に接続されている。インピーダンス整合回路３２２の出力１３４は、ＲＦ伝送ライン１２８を介してプラズマチャンバ１０８に接続されている。

【０１０２】

システム３２０は、さらに、モータ３１２、モータ３１４、モータ３２８、および、モータ３３０を備える。モータ３２８は、モータＭ１、モータＭ３、または、モータＭ５（図１Ｃ）の一例である。さらに、モータ３３０は、モータＭ２、モータＭ４、または、モータＭ６（図１Ｃ）の一例である。

【０１０３】

直列回路３２４は、インピーダンス整合回路３２２の入力３３２を介してＲＦケーブル３１０に接続されている。入力３３２は、入力１３２、入力１６０、または、入力１８６（図１Ｃ）の一例である。直列回路は、キャパシタＣ１と直列のインダクタＬ３を備える。インダクタＬ３の端部は、入力３３２に接続され、別の端部は、キャパシタＣ１に接続されている。シャント回路３２６は、キャパシタＣ２と直列のインダクタＬ４を備える。インダクタＬ４の端部は、出力１３４とキャパシタＣ１の端部とに接続されている。さらに、インダクタＬ４の別の端部は、キャパシタＣ２に接続され、キャパシタＣ２は、他の端部で接地に接続されている。インダクタＬ３およびＬ４は、可変である。

【０１０４】

モータ３２８は、１または複数の接続メカニズムを介してインダクタＬ３に接続されており、インダクタＬ３のコアとインダクタＬ３のコイルとの間の重複面積を変化させるように回転する。例えば、インダクタのコイルによって取り巻かれたインダクタのコアは、インダクタのインダクタンスを変化させるために、コイルに対して移動される。重複面積の変化は、インダクタのインダクタンスを、例えば、増減させる。同様に、モータ３３０は、１または複数の接続メカニズムを介してインダクタＬ４に接続されており、インダクタＬ４のコアとインダクタＬ４のコイルとの間の重複面積を変化させるように回転する。

【０１０５】

いくつかの実施形態において、インダクタＬ１およびＬ２は、インダクタのインダクタンスを変化させるように制御され、キャパシタＣ１およびＣ２の代わりに、固定キャパシタが、インピーダンス整合回路３２２で用いられる。様々な実施形態において、キャパシタＣ１、キャパシタＣ２、インダクタＬ１、および、インダクタＬ２の内の１または複数は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する出力３７０での反射電力を減少させるように制御される。

【０１０６】

図３Ｃは、任意の数の直列回路および任意の数のシャント回路を備えたインピーダンス整合回路３５２を説明するためのシステム３５０の一実施形態の図である。システム３５０は、ＲＦ発生器３０２、インピーダンス整合回路３５２、プラズマチャンバ１０８、モータ３１２および３１４、モータ３６２、ならびに、モータ３６４を備える。

【０１０７】

ＲＦ発生３０２は、ＲＦケーブル３１０を介してインピーダンス整合回路３５２の入力３６６に接続されている。インピーダンス整合回路３５２は、直列回路３５４、シャント回路３５６、別の直列回路３５８、および、別のシャント回路３６０を備える。直列回路３５４の端部は、入力３６６に接続され、直列回路３５４の別の端部は、シャント回路３５６の端部に接続されている。さらに、直列回路３５４の別の端部は、直列回路３５８の端部に接続されている。シャント回路３５６の別の端部は、接地に接続されている。さらに、直列回路３５８の別の端部は、シャント回路３６０の端部とインピーダンス整合回路

３５２の出力１３４とに接続されている。シャント回路３６０の別の端部は、接地に接続されている。

【０１０８】

モータ３１２は、１または複数の接続メカニズムを介して直列回路３５４に接続されている。さらに、またモータ３１４は、１または複数の接続メカニズムを介してシャント回路３５６に接続されている。また、モータ３６２は、１または複数の接続メカニズムを介して直列回路３５８に接続されている。モータ３６４は、１または複数の接続メカニズムを介してシャント回路３６０に接続されている。

【０１０９】

モータ３１２、３１４、３６２、および、３６４に接続されたドライバ（図示せず）からの電流信号を受信すると、モータ３１２は、直列回路３５４のパラメータを変更するよう動作し、モータ３１４は、シャント回路３５６のパラメータを変更するよう動作し、モータ３６２は、直列回路３５８のパラメータを変更するよう動作し、モータ３６４は、シャント回路３６０のパラメータを変更するよう動作する。回路３５４、３５６、３５８、および、３６０のパラメータは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の内の１つの状態に対しては削減されるが状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の他の状態に対しては削減されない反射電力と比較して、ＲＦ発生器３０２の出力３７０での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して削減されるように、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して制御される。

【０１１０】

いくつかの実施形態において、インピーダンス整合回路３５２は、図３Ｃに示したよりも多い数の直列回路および図３Ｃに示したよりも多い数のシャント回路を備える。例えば、直列回路３５８に接続されたシャント回路３６０の端部が、別の直列回路（図示せず）に接続され、別の直列回路は、別のシャント回路（図示せず）に接続される。シャント回路（図示せず）の端部は、出力１３４に接続される。別のシャント回路（図示せず）の別の端部は、接地に接続される。

【０１１１】

図３Ｄは、Ｌネットワークであるインピーダンス整合回路３８２を説明するためのシステム３８０の一実施形態の図である。インピーダンス整合回路３８２は、インダクタＸ１およびキャパシタＸ２を備える。本明細書に記載するＸは、回路構成要素、例えば、インダクタ、キャパシタなどのリアクタンスを表すことに注意されたい。例えば、Ｘ１は、インダクタＸ１のリアクタンスであり、Ｘ２は、キャパシタＸ２のリアクタンスである。インダクタＸ１は、可変または固定である。同様に、キャパシタＸ２は、可変または固定である。キャパシタＸ２の端部は、接地に接続され、キャパシタＸ２の端部は、インダクタＸ１の端部とインピーダンス整合回路３８２の入力３８４とに接続されている。インダクタＸ１の別の端部は、インピーダンス整合回路３８２の出力１３４に接続されている。

【０１１２】

インピーダンス整合回路３８２は、本明細書に記載の任意の他のインピーダンス整合回路の代わりに用いられることに注意されたい。例えば、インピーダンス整合回路３８２は、インピーダンス整合回路１０６、分岐回路１７０、または、分岐回路１９９（図Ｃ）の代わりに用いられる。インピーダンス整合回路３８２は、入力３８４を有しており、入力３８４は、入力１３２、入力１６０、または、入力１８６（図１Ｃ）の一例である。

【０１１３】

ＲＦ電源が図３Ｂに示されており、そのＲＦ電源は、入力３８４に接続されたソースの抵抗である抵抗器Ｒｓに接続されている様子が図示されていることに注意されたい。さらに、抵抗器Ｒｐが、図３Ｂに示されている。抵抗器Ｒｐは、出力１３４に接続された負荷の抵抗を有する。

【０１１４】

図３Ｅは、Πネットワークであるインピーダンス整合回路３８８を説明するためのシステム３８６の一実施形態の図である。インピーダンス整合回路３８６は、インダクタＸ２、キャパシタＸ３、および、キャパシタＸ４を備える。インダクタＸ２は、可変または固

定である。同様に、キャパシタＸ３およびＸ４の各々は、可変または固定である。キャパシタＸ３の端部は、接地に接続され、キャパシタＸ３の別の端部は、インダクタＸ２の端部とインピーダンス整合回路３８８の入力３９０とに接続されている。さらに、インダクタＸ２の別の端部は、キャパシタＸ４の端部に接続され、キャパシタＸ４の別の端部は、接地に接続されている。インダクタＸ２の別の端部は、インピーダンス整合回路３８８の出力１３４に接続されている。さらに、抵抗器ＲＩが、図３Ｃに示されている。抵抗器ＲＩは、出力１３４に接続された負荷の抵抗を有する。

【０１１５】

図３Ｆは、Πネットワークであるインピーダンス整合回路３９２の一実施形態の図である。Πネットワークは、２つのＬネットワークによって表される。インピーダンス整合回路３９２は、インダクタＸ２１、キャパシタＸ３、抵抗器Ｒｘ、別のインダクタＸ２２、および、キャパシタＸ４を備える。キャパシタＸ２１およびＸ２２の各々は、可変または固定である。同様に、キャパシタＸ３およびＸ４の各々は、可変または固定である。キャパシタＸ３の端部は、接地に接続され、キャパシタＸ３の別の端部は、インダクタＸ２１の端部とインピーダンス整合回路３９２の入力３９４とに接続されている。さらに、インダクタＸ２１の別の端部は、抵抗器Ｒｘの端部に接続され、抵抗器Ｒｘの別の端部は、接地に接続されている。また、インダクタＸ２１の別の端部は、インダクタＸ２２の端部に接続され、インダクタＸ２２の別の端部は、キャパシタＸ４の端部に接続されている。キャパシタＸ４の別の端部は、接地に接続されている。インダクタＸ２２の別の端部およびキャパシタＸ４の端部は、インピーダンス整合回路３９２の出力１３４に接続されている。

【０１１６】

インピーダンス整合回路３８８は、本明細書に記載の任意の他のインピーダンス整合回路の代わりに用いられることに注意されたい。例えば、インピーダンス整合回路３８８は、インピーダンス整合回路１０６、分岐回路１７０、または、分岐回路１９９（図Ｃ）の代わりに用いられる。

【０１１７】

図４は、ＲＦ発生器に向かって反射された電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して削減される１または複数のパラメータの値の決定を説明するための方法４００の一実施形態の図である。方法４００は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）についてＲＦ発生器の出力での反射電力を測定する工程４０２を備える。例えば、ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）を有する期間中に、反射電力は、ＲＦ発生器の出力で測定される。ＲＦ発生器のセンサ（例えば、ＲＦ発生器の出力に接続されたセンサ）が、反射電力を測定する。センサは、ＲＦ発生器の中または外に配置される。センサは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に測定された反射電力の値をプロセッサ１１６（図１Ｃ）に提供する。

【０１１８】

さらに、方法４００の工程４０４において、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に、ＲＦ発生器の出力に反射される電力が削減されるように、ＲＦケーブルを介してＲＦ発生器に接続されたインピーダンス整合回路の１または複数のパラメータ、例えば、インダクタンス、静電容量などの値が、プロセッサ１１６によって変更される。例えば、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に測定された反射電力がＰＲＦ１である時、インピーダンス整合回路の１または複数のパラメータの値は、ＣＶ１およびＣＶ２である。さらに、インピーダンス整合回路の１または複数のパラメータの値が、ＣＶ１からＣＶ３へ、かつ、ＣＶ２からＣＶ４へ変更されると、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中に測定される反射電力は、値ＰＲＦ１よりも小さいＰＲＦ２に下がる。

【０１１９】

方法４００の工程４０６において、反射電力は、状態Ｓ（ｎ）中にＲＦ発生器の出力で測定される。例えば、ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号が状態Ｓ（ｎ）を有する期間中に、反射電力は、ＲＦ発生器の出力でセンサによって測定される。センサは、状態Ｓ（ｎ）中に測定された反射電力の値をプロセッサ１１６に提供する。

【０１２０】

方法４００の工程４０８において、インピーダンス整合回路の１または複数のパラメー

タの値は、状態Ｓ（ｎ）およびＳ（ｎ－Ｎ）の両方の間にＲＦ発生器の出力で測定される反射電力が削減されるように、状態Ｓ（ｎ）中にプロセッサ１１６によって変更される。例えば、状態Ｓ（ｎ）中に、インピーダンスの１または複数のパラメータの値が、プロセッサ１１６によってＣＶ３からＣＶ５へ、かつ、ＣＶ４からＣＶ６へ変更されるよう制御されると、反射電力は、値ＰＲＦ１よりも小さいＰＲＦ３に下がる。値ＰＲＦ３は、値ＰＲＦ２よりも大きい。別の例において、値ＰＲＦ３は、値ＰＲＦ２以下である。一例として、値ＰＲＦ２およびＰＲＦ３は、互いに所定の閾値内にある。所定の閾値は、プロセッサ１１６によるアクセスに向けてメモリデバイス１１８（図１Ｃ）に格納される。さらに別の例として、値ＰＲＦ２およびＰＲＦ３は両方とも、所定のレベルより小さく、互いに所定の閾値内にある。所定のレベルは、プロセッサ１１６によるアクセスに向けてメモリデバイス１１８に格納される。値ＰＲＦ１は、所定のレベルより大きい。工程４０８の後、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して、インピーダンス整合回路の１または複数のパラメータの値は、ＣＶ５およびＣＶ６に維持される。

【０１２１】

いくつかの実施形態において、工程４０８の後、値ＣＶ５およびＣＶ６は、ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号の電力および／または周波数が変化した時に、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中にＲＦ発生器の出力での反射電力をさらに減少させるために、プロセッサ１１６によって調整（例えば、増減）される。

【０１２２】

様々な実施形態において、本明細書に記載のインピーダンス整合回路が、インピーダンス整合回路に接続されたＲＦ発生器の出力での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して削減されるように決定される複数のパラメータ値を含む場合、パラメータ値を決定するために、多変量解析法がプロセッサ１１６によって利用されることに注意されたい。例えば、プロセッサ１１６は、多変量解析法を利用して、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対するＲＦ発生器の出力での反射電力の最小値が、所定のレベルより小さく、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対するＲＦ発生器の出力での反射電力の最小値が、状態状態Ｓ（ｎ）に対するＲＦ発生器の出力での反射電力の最小値の所定の閾値内になるように、インピーダンス整合回路の直列回路およびシャント回路の静電容量および／またはインダクタンスの値を決定する。

【０１２３】

いくつかの実施形態において、ニューラルネットワーク、例えば、人間の脳をモデルにしたコンピュータシステム、人間の脳をモデルにしたコンピュータのネットワーク、などが、本明細書に記載のインピーダンス整合回路のパラメータの１または複数の値と、インピーダンス整合回路に接続された本明細書に記載のＲＦ発生器の出力での反射電力との間の関係性を決定する。例えば、ニューラルネットワークに入力された１または複数のパラメータの値と、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する反射電力の値とに基づいて関係性を決定するために、回帰分析がニューラルネットワークによって利用される。例えば、１または複数のパラメータの値は、ニューラルネットワークの入力ノードでの入力であり、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する反射電力は、ニューラルネットワークの出力ノードでの出力である。回帰分析は、入力と出力との間の関係性を決定するために利用される。次いで、関係性は、ＲＦ発生器の出力での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して削減される１または複数のパラメータの値を決定するために、基板１１２（図１Ａ～図１Ｃ）の処理中にプロセッサ１１６またはニューラルネットワークによって利用される。

【０１２４】

図５Ａは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して、本明細書に記載のＲＦ発生器の出力での反射電力を削減するために、本明細書に記載のインピーダンス整合回路の直列回路の静静電容量Ｃｓｅｒｉｅｓと、インピーダンス整合回路のシャント回路の静電容量Ｃｓｈｕｎｔとを決定する方法を説明するための図である。いくつかの実施形態において、インピーダンス整合回路の直列回路の静電容量は、直列回路内の複数のキャパシタの組みあわせである。例えば、直列回路の静電容量は、直列回路内で直列に互いに接続されたキャパ

シタの静電容量の積を静電容量の合計で割ったものである。別の例として、インピーダンス整合回路の直列回路の静電容量は、直列回路内で並列に互いに接続されたキャパシタの静電容量の合計である。同様に、インピーダンス整合回路のシャント回路の静電容量は、シャント回路内の複数のキャパシタの組みあわせである。

【０１２５】

ライン５０２は、静電容量Ｃｓｅｒｉｅｓの値を有し、別のライン５０４は、静電容量Ｃｓｈｕｎｔの値を有する。静電容量Ｃｓｅｒｉｅｓの値が、値ＣＳ１から下げられ、静電容量Ｃｓｈｕｎｔの値が、値ＣＳＨ１から下げられた時に、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に測定され、グラフ５０６にプロットされている。グラフ５０６は、ＲＦ発生器の出力での反射電力を時間に対してプロットしている。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５１０Ａ、値５１２Ａなどは、プロット５０８Ａで示され、状態Ｓ（ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５１０Ｂ、値５１２Ｂなどは、プロット５０８Ｂで示されている。例えば、反射電力の値５１０Ａおよび５１０Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（－２）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（－２）である時に測定される。さらに、反射電力の値５１２Ａおよび５１２Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（－３）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（－３）である時に測定される。グラフ５０４に示すように、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に所定のレベルより大きく、したがって、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対しては削減されない。

【０１２６】

さらに、静電容量Ｃｓｅｒｉｅｓの値が、値ＣＳ１から下げられ、静電容量Ｃｓｈｕｎｔの値が、値ＣＳＨ１から上げられた時に、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に測定され、グラフ５１４にプロットされている。グラフ５１４は、ＲＦ発生器の出力での反射電力を時間に対してプロットしている。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５１８Ａ、値５２０Ａ、値５２２Ａなどは、プロット５１６Ａで示され、状態Ｓ（ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５１８Ｂ、値５２０Ｂ、値５２２Ｂなどは、プロット５１６Ｂで示されている。例えば、反射電力の値５１８Ａおよび５１８Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（－２）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（２）である時に測定される。さらに、反射電力の値５２０Ａおよび５２０Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（－３）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（３）である時に測定される。また、反射電力の値５２２Ａおよび５２２Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（－４）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（４）である時に測定される。グラフ５１４に示すように、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値５２２Ａおよび５２２Ｂは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に所定のレベルより小さい。さらに、値５２２Ａおよび５２２Ｂは、互いに所定の閾値内にある。例えば、値５２２Ａは、プロット５１６Ａの絶対最小値であり、値５２２Ｂは、プロット５１６Ｂの絶対最小値である。様々な実施形態において、値５２２Ａは、プロット５１６Ａの極小値であり、値５２２Ｂは、プロット５１６Ｂの極小値である。極小値は、反射電力が測定される所定の期間中、例えば、時間ｔ１と時間ｔ２との間の反射電力の最小値である。対して、絶対最小値は、反射電力が測定される期間全体、例えば、時間ｔ１と時間ｔ３との間の反射電力の最小値である。静電容量の値ＣＳ（－４）およびＣＳＨ（４）は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の内の１つの状態に対しては削減されるが状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）の他の状態に対しては削減されない反射電力と比較して、ＲＦ発生器の出力での反射電力が状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対して削減される静電容量の値である。

【０１２７】

さらに、静電容量Ｃｓｅｒｉｅｓの値が、値ＣＳ１から上げられ、静電容量Ｃｓｈｕｎｔの値が、値ＣＳＨ１から下げられた時に、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に測定され、グラフ５２４にプロットされている。グラフ５２４は、ＲＦ発生器の出力での反射電力を時間に対してプロットしている。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５２８Ａ、値５３０Ａなどは、プ

ロット５２６Ａで示され、状態Ｓ（ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５２８Ｂ、値５３０Ｂなどは、プロット５２６Ｂで示されている。例えば、反射電力の値５２６Ａおよび５２６Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（２）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（－２）である時に測定される。さらに、反射電力の値５３０Ａおよび５３０Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（３）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（－３）である時に測定される。グラフ５２４に示すように、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に所定のレベルより大きい。

【０１２８】

さらに、静電容量Ｃｓｅｒｉｅｓの値が、値ＣＳ１から上げられ、静電容量Ｃｓｈｕｎｔの値が、値ＣＳＨ１から下げられた時に、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に測定され、グラフ５２４にプロットされている。グラフ５２４は、ＲＦ発生器の出力での反射電力を時間に対してプロットしている。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５２８Ａ、値５３０Ａなどは、プロット５２６Ａで示され、状態Ｓ（ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５２８Ｂ、値５３０Ｂなどは、プロット５２６Ｂで示されている。例えば、反射電力の値５２８Ａおよび５２８Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（２）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（－２）である時に測定される。さらに、反射電力の値５３０Ａおよび５３０Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（３）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（－３）である時に測定される。グラフ５２４に示すように、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に所定のレベルより大きく、したがって、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対しては削減されない。

【０１２９】

静電容量Ｃｓｅｒｉｅｓの値が、値ＣＳ１から上げられ、静電容量Ｃｓｈｕｎｔの値が、値ＣＳＨ１から上げられた時に、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値が、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に測定され、グラフ５３２にプロットされている。グラフ５３２は、ＲＦ発生器の出力での反射電力を時間に対してプロットしている。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５３６Ａ、値５３８Ａなどは、プロット５３４Ａで示され、状態Ｓ（ｎ）中のＲＦ発生器の出力での反射電力の値、例えば、値５３６Ｂ、値５３８Ｂなどは、プロット５３４Ｂで示されている。例えば、反射電力の値５３６Ａおよび５３６Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（２）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（２）である時に測定される。さらに、反射電力の値５３８Ａおよび５３８Ｂは、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓがＣＳ（３）であり、静電容量ＣｓｈｕｎｔがＣＳＨ（３）である時に測定される。グラフ５３２に示すように、ＲＦ発生器の出力での反射電力の値は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）中に所定のレベルより大きく、したがって、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対しては削減されない。

【０１３０】

いくつかの実施形態において、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓおよびＣｓｈｕｎｔの内の一方は、図５Ａに示した方法の間に変更され、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓおよびＣｓｈｕｎｔの内の他方は変更されない。

【０１３１】

様々な実施形態において、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓおよびＣｓｈｕｎｔを変更する代わりに、図５Ａを用いて説明された方法は、インピーダンス整合回路の直列回路のインダクタンスの変更に、および、インピーダンス整合回路のシャント回路のインダクタンスの変更に、等しく適用可能である。いくつかの実施形態において、静電容量ＣｓｅｒｉｅｓおよびＣｓｈｕｎｔを変更する代わりに、図５Ａを用いて説明された方法は、インピーダンス整合回路の直列回路の静電容量かつインダクタンスの変更に、および、インピーダンス整合回路のシャント回路の静電容量かつインダクタンスの変更に、等しく適用可能である。

【０１３２】

図５Ａを用いて説明した方法は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する反射電力の最小値を実現するための経験的なプロセスであることに注意されたい。例えば、図５Ａを用い

て説明された方法は、値ＣｓｅｒｉｅｓおよびＣｓｈｕｎｔが、２つの目標（例えば、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）中の反射電力の最小値および状態Ｓ（ｎ）中の反射電力の最小値）を実現するように決定される多変量調整方法である。

【０１３３】

さらに、値ＣＳ（－４）～ＣＳ（４）は互いに対して漸進的であることに注意されたい。例えば、値ＣＳ（－４）は、値ＣＳ（－３）より小さく、値ＣＳ（－３）は、値ＣＳ（－２）より小さい。値ＣＳ（－２）は、値ＣＳ（－１）より小さく、値ＣＳ（－１）は、値ＣＳ（０）より小さい。値ＣＳ（０）は、値ＣＳ（１）より小さく、値ＣＳ（１）は、値ＣＳ（２）より小さい。値ＣＳ（２）は、値ＣＳ（３）より小さく、値ＣＳ（３）は、値ＣＳ（４）より小さい。さらに説明すると、ＣＳ（－４）は、値ＣＳ（－３）より小さい単位、例えば、０．１ピコファラッド、０．２ピコファラッドなどであり、値ＣＳ（－３）は、値ＣＳ（－２）より小さい単位である。値ＣＳ（－２）は、値ＣＳ（－１）より小さい単位であり、値ＣＳ（－１）は、値ＣＳ（０）より小さい単位である。値ＣＳ（０）は、値ＣＳ（１）より小さい単位であり、値ＣＳ（１）は、値ＣＳ（２）より小さい単位である。値ＣＳ（２）は、値ＣＳ（３）より小さい単位であり、値ＣＳ（３）は、値ＣＳ（４）より小さい単位である。

【０１３４】

同様に、値ＣＳＨ（－４）～ＣＳＨ（４）は互いに対して漸進的であることに注意されたい。例えば、値ＣＳＨ（－４）は、値ＣＳＨ（－３）より小さく、値ＣＳＨ（－３）は、値ＣＳＨ（－２）より小さい。値ＣＳＨ（－２）は、値ＣＳＨ（－１）より小さく、値ＣＳＨ（－１）は、値ＣＳＨ（０）より小さい。値ＣＳＨ（０）は、値ＣＳＨ（１）より小さく、値ＣＳＨ（１）は、値ＣＳＨ（２）より小さい。値ＣＳＨ（２）は、値ＣＳＨ（３）より小さく、値ＣＳＨ（３）は、値ＣＳＨ（４）より小さい。さらに説明すると、ＣＳＨ（－４）は、値ＣＳＨ（－３）より小さい単位、例えば、０．１ピコファラッド、０．２ピコファラッドなどであり、値ＣＳＨ（－３）は、値ＣＳ（－２）より小さい単位である。値ＣＳＨ（－２）は、値ＣＳＨ（－１）より小さい単位であり、値ＣＳＨ（－１）は、値ＣＳＨ（０）より小さい単位である。値ＣＳＨ（０）は、値ＣＳＨ（１）より小さい単位であり、値ＣＳＨ（１）は、値ＣＳＨ（２）より小さい単位である。値ＣＳＨ（２）は、値ＣＳＨ（３）より小さい単位であり、値ＣＳＨ（３）は、値ＣＳＨ（４）より小さい単位である。

【０１３５】

図５Ｂは、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）において反射電力を削減するようにチューニングする方法を適用する技術的利点を説明するためのグラフ５５０の一実施形態の図である。グラフ５５０は、反射率をＲＦ発生器の周波数に対してプロットしている。反射率は、ＲＦ発生器に向かって反射される電力の尺度である。グラフ５５０は、プロット５５２、プロット５５４、プロット５５６、および、プロット５５８を含む。いくつかの実施形態において、反射率は、プラズマチャンバ１０８（図１Ｃ）からＲＦ発生器、例えば、ｘＭＨｚＲＦ発生器、ｙＭＨｚＲＦ発生器、または、ｚＭＨｚＲＦ発生器に向かって反射されるＲＦ信号の量を示す。例えば、反射率は、反射電力の振幅および順電力の振幅の比に等しい。順電力は、インピーダンス整合回路を介してプラズマチャンバ１０８へＲＦ発生器によって供給される電力である。

【０１３６】

プロット５５２は、反射率が、ＲＦ発生器のＦｍｉｎの動作の周波数とＦｍａｘの動作の周波数との間にあるｆ１ＭＨｚのＲＦ発生器の動作の周波数に対してゼロまたはゼロに近い時のプロットである。さらに、プロット５５４は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する反射率が最小であるパラメータの値が、状態Ｓ（ｎ）中に用いられた時のプロットである。例えば、状態Ｓ１に対する図１Ａのインピーダンス整合回路１０６の直列回路１０２およびシャント回路１０４（図１Ａ）の静電容量値は、ＣＡ１およびＣＡ２である。静電容量値ＣＡ１およびＣＡ２が状態Ｓ２中に用いられると、ｘＭＨｚＲＦ発生器の出力１３６での反射率は、プロット５５４に示すようになる。プロット５５４の反射率は、符号５６０で示

す所定のレベルよりも大きい。例えば、プロット５５４の最小値は、所定のレベル５６０よりも大きい。

【０１３７】

フローチャート４００で説明した方法、図１Ａ～図１Ｃを用いて説明した方法、もしくは、図５Ａまたは後述の図６を用いて説明された方法が適用されると、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対するＲＦ発生器の出力での反射率は５５６としてプロットされ、状態Ｓ（ｎ）に対しては５５８としてプロットされる。例えば、直列回路１０２のパラメータ値がＣＡ３であり、シャント回路１０４のパラメータ値がＣＡ４である時、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対しては、プロット５５６によって示された反射率が達成され、状態Ｓ（ｎ）に対しては、プロット５５８によって示された反射率が達成される。プロット５５６は、ＲＦ発生器、例えば、ｘＭＨｚＲＦ発生器の周波数ｆ２で最小値（例えば、絶対最小値など）を有し、プロット５５８は、ＲＦ発生器の周波数ｆ３で最小値（例えば、絶対最小値など）を有することに注意されたい。プロット５５６および５５８の最小値は、所定の限度５６０より小さく、互いから所定の閾値５６２内にあり、所定の閾値５６２は、反射率の値の範囲である。周波数値ｆ２およびｆ３は、周波数値ＦｍｉｎおよびＦｍａｘの間にある。

【０１３８】

いくつかの実施形態において、反射電力を測定する代わりに、順電力および反射電力が、本明細書に記載のセンサによって測定される。順電力および反射電力は、反射率を計算するために、センサによってプロセッサ１１６に提供される。さらに、反射電力に適用できる上述の任意の情報は、反射率に適用可能である。例えば、反射電力の所定のレベルの代わりに、反射率の所定のレベルが利用される。別の例として、反射電力の所定の閾値の代わりに、反射率の所定の閾値が用いられる。さらに別の例として、反射電力の所定の範囲の代わりに、反射率の所定の範囲が用いられる。別の例として、反射電力の所定の限度の代わりに、反射率の所定の限度が用いられる。

【０１３９】

図６は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する変数の値が最小値になる１または複数のパラメータの値を決定するための機械学習ネットワーク６００の一実施形態の図である。機械学習ネットワーク６００の例は、人間の脳をモデルにしたコンピュータシステム、人間の脳をモデルにしたコンピュータのネットワーク、などを含む。本明細書に記載のインピーダンス整合回路のパラメータ（例えば、Ｃｓｅｒｉｅｓ、インダクタンスなどの内の１パラメータの値が、入力デバイス（例えば、マウス、キーボード、ボタン、タッチスクリーンなど）を介して入力として受信され、インピーダンス整合回路のパラメータ、例えばＣｓｈｕｎｔ、または別のパラメータ、例えばインダクタンスなどの値が、機械学習ネットワーク６００によって別の入力として受信される。機械学習ネットワーク６００は、入力として受信した値を処理して、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する変数の値、例えば反射電力値を出力として計算する。さらに、機械学習ネットワーク６００は、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する変数の値が最小値であるか否かを判定する。状態Ｓ（ｎ－Ｎ）に対する変数の値が最小値ではない場合、機械学習ネットワーク６００は、逆伝搬を実行して、入力として受信したパラメータの値を変更し、その後、状態Ｓ（ｎ－Ｎ）～Ｓ（ｎ）に対する変数の値が最小値であるか否かを再び判定する。機械学習ネットワーク６００は、変数の値が最小値になる１または複数のパラメータの値を見つけるために、変数の値が最小値になるまで反復する。

【０１４０】

本明細書に記載の実施形態は、ハンドヘルドハードウェアユニット、マイクロプロセッサシステム、マイクロプロセッサベースまたはプログラム可能な家電、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータなど、様々なコンピュータシステム構成で実施されてもよい。実施形態は、ネットワークを通して接続された遠隔処理ハードウェアユニットによってタスクが実行される分散コンピューティング環境で実施されてもよい。

【０１４１】

一部の実施形態において、コントローラは、システムの一部であり、システムは、上述

の例の一部であってよい。かかるシステムは、１または複数の処理ツール、１または複数のチャンバ、処理のための１または複数のプラットフォーム、および／または、特定の処理構成要素（ウエハペデスタル、ガスフローシステムなど）など、半導体処理装置を備える。これらのシステムは、半導体ウエハまたは基板の処理前、処理中、および、処理後に、システムの動作を制御するための電子機器と一体化される。電子機器は、「コントローラ」と呼ばれてもよく、１または複数のシステムの様々な構成要素または副部品を制御しうる。コントローラは、処理要件および／またはシステムのタイプに応じて、処理ガスの供給、温度設定（例えば、加熱および／または冷却）、圧力設定、真空設定、電力設定、ＲＦ発生器設定、ＲＦ整合回路設定、周波数設定、流量設定、流体供給設定、位置および動作設定、ならびに、ツールおよび他の移動ツールおよび／またはシステムと接続または結合されたロードロックの内外へのウエハ移動など、本明細書に開示の処理のいずれを制御するようプログラムされる。

【０１４２】

概して、様々な実施形態において、コントローラは、命令を受信する、命令を発行する、動作を制御する、洗浄動作を可能にする、エンドポイント測定を可能にすることなどを行う様々な集積回路、ロジック、メモリ、および／または、ソフトウェアを有する電子機器として定義される。集積回路は、プログラム命令を格納するファームウェアの形態のチップ、デジタル信号プロセッサ（ＤＳＰ）、ＡＳＩＣとして定義されるチップ、ＰＬＤ、および／または、１または複数のマイクロプロセッサ、もしくは、プログラム命令（例えば、ソフトウェア）を実行するマイクロコントローラを含む。プログラム命令は、様々な個々の設定（またはプログラムファイル）の形態でコントローラに伝えられて、半導体ウエハに対するまたは半導体ウエハのための特定の処理を実行するための動作パラメータ、もしくは、システムへの動作パラメータを定義する命令である。動作パラメータは、一部の実施形態において、ウエハの１または複数の層、材料、金属、酸化物、シリコン、二酸化シリコン、表面、回路、および／または、ダイの加工中に１または複数の処理工程を達成するために処理エンジニアによって定義されるレシピの一部である。

【０１４３】

コントローラは、一部の実施形態において、コンピュータの一部であるか、または、コンピュータに接続されており、かかるコンピュータは、システムと一体化されるか、システムに接続されるか、その他の方法でシステムとネットワーク化されるか、または、それらの組み合わせでシステムに結合されている。例えば、コントローラは、「クラウド」内にあるか、もしくは、ウエハ処理のリモートアクセスを可能にするファブホストコンピュータシステムの全部または一部である。コンピュータは、現在の処理のパラメータを変更する、現在の処理に従って処理工程を設定する、または、新たな処理を開始するために、システムへのリモートアクセスを可能にして、製造動作の現在の進捗を監視する、過去の製造動作の履歴を調べる、もしくは、複数の製造動作からの傾向または性能指標を調べる。

【０１４４】

一部の実施形態では、リモートコンピュータ（例えば、サーバ）が、ローカルネットワークまたはインターネットを含むネットワークを介してシステムに処理レシピを提供する。リモートコンピュータは、パラメータおよび／または設定の入力またはプログラミングを可能にするユーザインターフェースを備え、パラメータおよび／または設定は、リモートコンピュータからシステムに通信される。一部の例において、コントローラは、データの形式で命令を受信し、命令は、１または複数の動作中に実行される処理工程の各々のためのパラメータを指定する。パラメータは、実行される処理のタイプならびにコントローラがインターフェース接続するまたは制御するよう構成されたツールのタイプに固有であることを理解されたい。したがって、上述のように、コントローラは、ネットワーク化されて共通の目的、例えば本明細書に記載の処理および制御など、に向けて動作する１または複数の別個のコントローラを備えることなどによって分散される。かかる目的のための分散コントローラの一例は、チャンバでの処理を制御するために協働するリモートに配置された（プラットフォームレベルにある、または、リモートコンピュータの一部として配

置されるなど）１または複数の集積回路と通信するチャンバ上の１または複数の集積回路を含む。

【０１４５】

限定はしないが、様々な実施形態において、システムの例は、プラズマエッチングチャンバまたはモジュール、蒸着チャンバまたはモジュール、スピンリンスチャンバまたはモジュール、金属メッキチャンバまたはモジュール、洗浄チャンバまたはモジュール、ベベルエッジエッチングチャンバまたはモジュール、物理蒸着（ＰＶＤ）チャンバまたはモジュール、化学蒸着（ＣＶＤ）チャンバまたはモジュール、原子層堆積（ＡＬＤ）チャンバまたはモジュール、原子層エッチング（ＡＬＥ）チャンバまたはモジュール、イオン注入チャンバまたはモジュール、トラックチャンバまたはモジュール、ならびに、半導体ウエハの加工および／または製造に関連するかまたは利用されうる任意のその他の半導体処理システムを含む。

【０１４６】

一部の実施形態において、上述の動作は、いくつかのタイプのプラズマチャンバ、例えば、誘導結合プラズマ（ＩＣＰ）リアクタ、トランス結合プラズマチャンバ、容量結合プラズマリアクタ、導体ツール、誘電体ツールを備えるプラズマチャンバ、電子サイクロトロン共鳴（ＥＣＲ）リアクタを備えるプラズマチャンバなど、に適用されることにも注意されたい。例えば、１または複数のＲＦ発生器が、ＩＣＰリアクタ内のインダクタに接続される。インダクタの形状の例は、ソレノイド、ドーム形コイル、平坦形コイルなどを含む。

【０１４７】

様々な実施形態において、ＲＦ伝送ライン１２８（図１Ａ～図１Ｃ）は、チャック１１０の代わりに上側電極１１４に接続され、チャック１１０は、接地に接続される。

【０１４８】

上述のように、ツールによって実行される１または複数の処理工程に応じて、コントローラは、他のツール回路またはモジュール、他のツール構成要素、クラスタツール、他のツールインターフェース、隣接するツール、近くのツール、工場の至る所に配置されるツール、メインコンピュータ、別のコントローラ、もしくは、半導体製造工場内のツール位置および／またはロードポートに向かってまたはそこからウエハのコンテナを運ぶ材料輸送に用いられるツール、の内の１または複数と通信する。

【０１４９】

上述の実施形態を念頭に置いて、実施形態の一部は、コンピュータシステムに格納されたデータを含め、コンピュータによって実行される様々な動作を用いることを理解されたい。これらの動作は、物理量を物理的に扱う動作である。本実施形態の一部を形成する本明細書で説明した動作はいずれも、有用な機械動作である。

【０１５０】

実施形態の一部は、さらに、これらの動作を実行するためのハードウェアユニットまたは装置に関する。装置は、専用コンピュータ向けに特別に構成される。専用コンピュータとして規定された場合、コンピュータは、特定の目的に含まれない他の処理、プログラム実行、または、ルーチンを実行しつつ、特定の目的のために動作することができる。

【０１５１】

一部の実施形態において、動作は、コンピュータメモリ、キャッシュに格納されたまたはコンピュータネットワークを介して取得された１または複数のコンピュータプログラムによって選択的にアクティベートまたは構成されたコンピュータで処理されてもよい。データがコンピュータネットワークを介して取得されると、そのデータは、コンピュータネットワーク、例えばコンピューティングリソースのクラウド上の他のコンピュータによって処理されてもよい。

【０１５２】

１または複数実施形態は、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体上にコンピュータ読み取り可能なコードとして製造されてもよい。非一時的なコンピュータ読み取り可能媒

体は、データを格納する任意のデータ記憶ハードウェアユニット、例えばメモリデバイスなどであり、データは、その後、コンピュータシステムによって読み出される。非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体の例としては、ハードドライブ、ネットワーク接続ストレージ（ＮＡＳ）、ＲＯＭ、ＲＡＭ、コンパクトディスク－ＲＯＭ（ＣＤ－ＲＯＭ）、ＣＤ－レコーダブル（ＣＤ－Ｒ）、ＣＤ－リライタブル（ＣＤ－ＲＷ）、磁気テープ、および、その他の光学式および非光学式のデータ記憶ハードウェアユニットが挙げられる。一部の実施形態において、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体は、コンピュータ読み取り可能なコードが分散的に格納および実行されるように、ネットワーク接続されたコンピュータシステム上に分散されたコンピュータ読み取り可能なタンジブル媒体を含む。

【０１５３】

上述の方法動作は、特定の順序で提示されているが、様々な実施形態において、その他のハウスキーピング処理が動作の合間に実行される、もしくは、方法動作が、若干異なる時間に実行される、様々な間隔で方法動作が起きることを許容するシステムに方法動作が分散される、または、上述したのと異なる順序で実行されるように調整されることを理解されたい。

【０１５４】

さらに、一実施形態において、本開示に記載された様々な実施形態に記載された範囲を逸脱することなしに、本明細書に記載の任意の実施形態の１または複数の特徴が、任意の他の実施形態の１または複数の特徴と組み合わされることに注意されたい。

【０１５５】

理解を深めるために、本実施形態について、ある程度詳しく説明したが、添付の特許請求の範囲内でいくらかの変更および変形を行ってもよいことは明らかである。したがって、本実施形態は、例示的なものであって、限定的なものではないとみなされ、実施形態は、本明細書に示した詳細に限定されず、添付の特許請求の範囲および等価物の範囲内で変形されてよい。

本開示は以下の形態により実現されてもよい。

［形態１］

複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするための方法であって、

インピーダンス整合回路を介したプラズマチャンバへのデジタルパルス信号の第１状態中に、電力を高周波（ＲＦ）発生器によって供給する工程と、

前記第１状態中に前記ＲＦ発生器の出力に反射される電力の量を測定する工程と、

前記インピーダンス整合回路を介した前記プラズマチャンバへの前記デジタルパルス信号の第２状態中に、電力を前記ＲＦ発生器によって供給する工程と、

前記第２状態中に前記ＲＦ発生器の前記出力に反射される電力の量を測定する工程と、

前記第１状態中に測定される前記電力の量を最小値に低減すると共に前記第２状態中に測定される前記電力の量を最小値に低減するように、前記インピーダンス整合回路のパラメータを制御する工程と、

を備える、方法。

［形態２］

形態１に記載の方法であって、

前記第１状態の前記最小値は、予め定められたレベルよりも小さく、前記第２状態の前記最小値は、前記予め定められたレベルよりも小さい、方法。

［形態３］

形態２に記載の方法であって、

前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、互いから予め定められた閾値内にある、方法。

［形態４］

形態１に記載の方法であって、

前記第１状態の前記最小値は、前記第１状態の別の最小値よりも小さく、

前記第１状態の前記別の最小値は、前記パラメータが第１値を有する時に達成され、

前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、前記パラメータが第２値を有する時に達成される、方法。

［形態５］

形態１に記載の方法であって、

前記第１状態の前記最小値は、前記第１状態の別の最小値よりも大きく、

前記第１状態の前記別の最小値は、前記パラメータが第１値を有する時に達成され、

前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、前記パラメータが第２値を有する時に達成され、

前記第１状態の前記他の最小値は、予め定められたレベルよりも小さく、

前記パラメータが前記第１値を有する時に、前記第２状態の別の最小値が達成され、

前記第２状態の前記別の最小値は、前記予め定められたレベルよりも小さい、方法。

［形態６］

形態１に記載の方法であって、

前記パラメータを制御する工程は、前記インピーダンス整合回路のキャパシタまたはインダクタを制御する工程を含み、

前記第１および第２状態の前記最小値は、前記第１および第２状態の前記パラメータの一定値に対応する、方法。

［形態７］

形態１に記載の方法であって、

前記パラメータは、前記インピーダンス整合回路の直列回路のパラメータまたは前記インピーダンス整合回路のシャント回路のパラメータであり、

前記制御する工程は、機械学習処理を用いて実行される、方法。

［形態８］

複数の状態で反射電力を低減するようにチューニングするためのシステムであって、

デジタルパルス信号の第１状態中に電力を供給するよう構成された高周波（ＲＦ）発生器と、

ＲＦケーブルを介して前記ＲＦ発生器に接続されたインピーダンス整合回路と、

ＲＦ伝送ラインを介して前記インピーダンス整合回路に接続されたプラズマチャンバと、

前記ＲＦ発生器の出力に接続されたセンサであって、前記第１状態中に前記ＲＦ発生器の前記出力に反射される電力の量を測定するよう構成された、センサと、

を備え、

前記ＲＦ発生器は、前記インピーダンス整合回路を介して前記プラズマチャンバへ前記デジタルパルス信号の第２状態中に電力を供給するよう構成され、

前記センサは、前記第２状態中に前記ＲＦ発生器の前記出力に反射される電力の量を測定するよう構成され、

前記システムは、さらに、

前記インピーダンス整合回路のパラメータを制御するために前記インピーダンス整合回路に接続されたプロセッサを備え、

前記パラメータは、前記第１状態中に測定される前記電力の量を最小値に低減すると共に前記第２状態中に測定される前記電力の量を最小値に低減するように制御される、システム。

［形態９］

形態８に記載のシステムであって、

前記第１状態の前記最小値は、予め定められたレベルよりも小さく、

前記第２状態の前記最小値は、前記予め定められたレベルよりも小さい、システム。

［形態１０］

形態９に記載のシステムであって、前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、互いから予め定められた閾値内にある、システム。

［形態１１］

形態８に記載のシステムであって、

前記第１状態の前記最小値は、前記第１状態の別の最小値よりも小さく、
前記第１状態の前記別の最小値は、前記パラメータが第１値を有する時に達成され、
前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、前記パラメータが第２値を有する時に達成される、システム。
［形態１２］
形態８に記載のシステムであって、
前記第１状態の前記最小値は、前記第１状態の別の最小値よりも大きく、
前記第１状態の前記別の最小値は、前記パラメータが第１値を有する時に達成され、
前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、前記パラメータが第２値を有する時に達成され、
前記第１状態の前記最小値は、予め定められたレベルよりも小さく、
前記パラメータが前記第１値を有する時に、前記第２状態の別の最小値が達成され、
前記第２状態の前記別の最小値は、前記予め定められたレベルよりも小さい、システム。
［形態１３］
形態８に記載のシステムであって、
前記パラメータは、前記インピーダンス整合回路のキャパシタまたはインダクタのパラメータである、システム。
［形態１４］
形態８に記載のシステムであって、
前記パラメータは、前記インピーダンス整合回路の直列回路のパラメータまたは前記インピーダンス整合回路のシャント回路のパラメータである、システム。
［形態１５］
コンピュータに方法を実行させるプログラムを格納する非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記方法は、
インピーダンス整合回路を介してプラズマチャンバへデジタルパルス信号の第１状態中に電力を高周波（ＲＦ）発生器によって供給する工程と、
前記第１状態中に前記ＲＦ発生器の出力に反射される電力の量の測定値を受信する工程と、
前記インピーダンス整合回路を介して前記プラズマチャンバへ前記デジタルパルス信号の第２状態中に電力を前記ＲＦ発生器によって供給する工程と、
前記第２状態中に前記ＲＦ発生器の前記出力に反射される電力の量の測定値を受信する工程と、
前記第１状態中に測定される前記電力の量を最小値に低減すると共に前記第２状態中に測定される前記電力の量を最小値に低減するように、前記インピーダンス整合回路のパラメータを制御する工程と、
を備える、媒体。
［形態１６］
形態１５に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、
前記第１状態の前記最小値は、予め定められたレベルよりも小さく、
前記第２状態の前記最小値は、前記予め定められたレベルよりも小さい、媒体。
［形態１７］
形態１６に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、
前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、互いから予め定められた閾値内にある、媒体。
［形態１８］
形態１５に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、
前記第１状態の前記最小値は、前記第１状態の別の最小値よりも小さく、
前記第１状態の前記別の最小値は、前記パラメータが第１値を有する時に達成され、
前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、前記パラメータが第２値を有する時に達成される、媒体。

［形態１９］
形態１５に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、
前記第１状態の前記最小値は、前記第１状態の別の最小値よりも大きく、
前記第１状態の前記別の最小値は、前記パラメータが第１値を有する時に達成され、
前記第１状態の前記最小値および前記第２状態の前記最小値は、前記パラメータが第２値を有する時に達成され、
前記第１状態の前記他の最小値は、予め定められたレベルよりも小さく、
前記パラメータが前記第１値を有する時に、前記第２状態の別の最小値が達成され、
前記第２状態の前記別の最小値は、前記予め定められたレベルよりも小さい、媒体。
［形態２０］
形態１５に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、
前記パラメータを制御する工程は、前記インピーダンス整合回路のキャパシタまたはインダクタを制御する工程を含む、媒体。
【図面】
【図１Ａ】

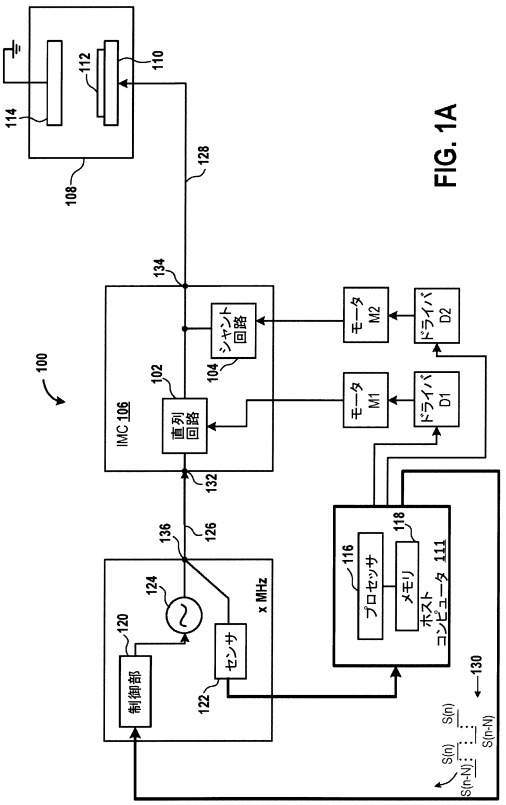


FIG. 1A

【図１Ｂ】

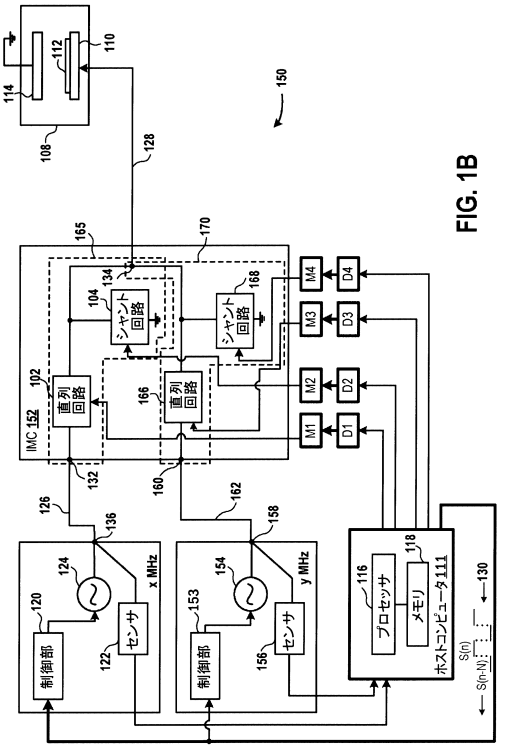


FIG. 1B

【図１Ｃ】

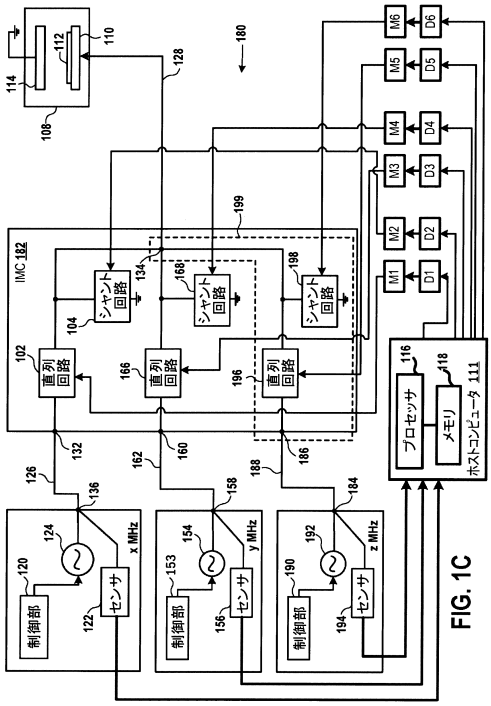


FIG. 1C

【図２Ａ】

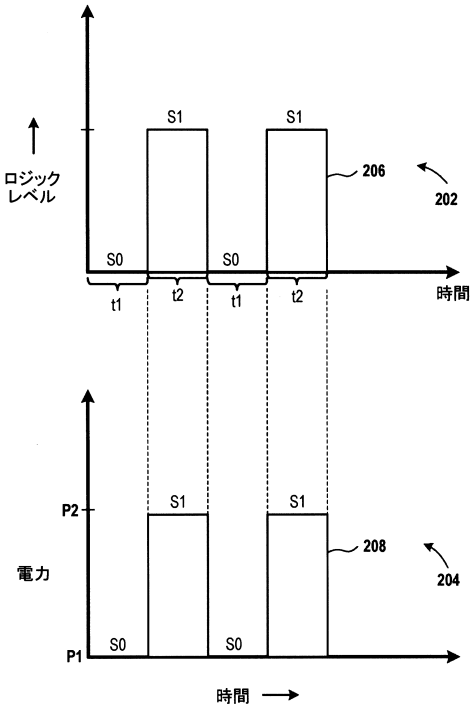


FIG. 2A

【図２Ｂ】

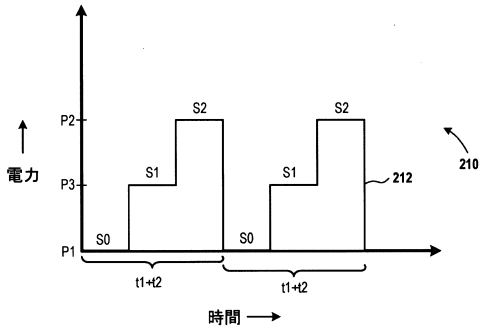


FIG. 2B

【図２Ｃ】

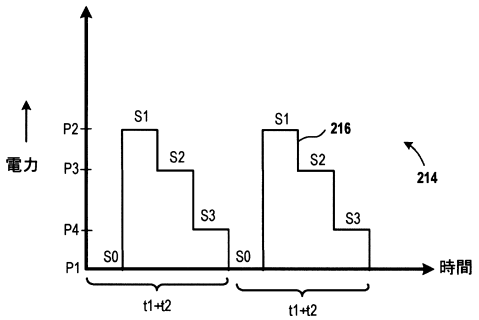


FIG. 2C

【図３Ａ】

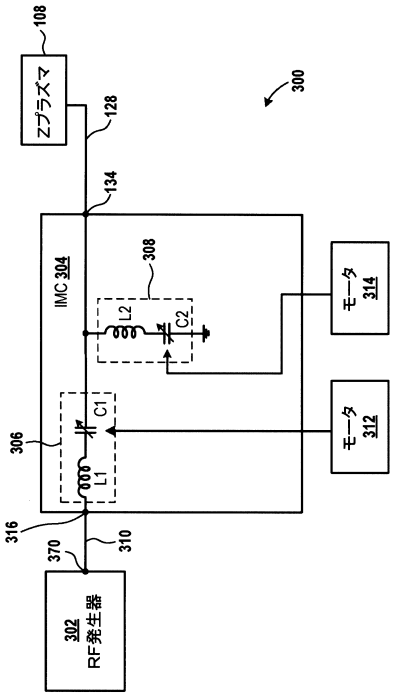


FIG. 3A

【図３Ｂ】

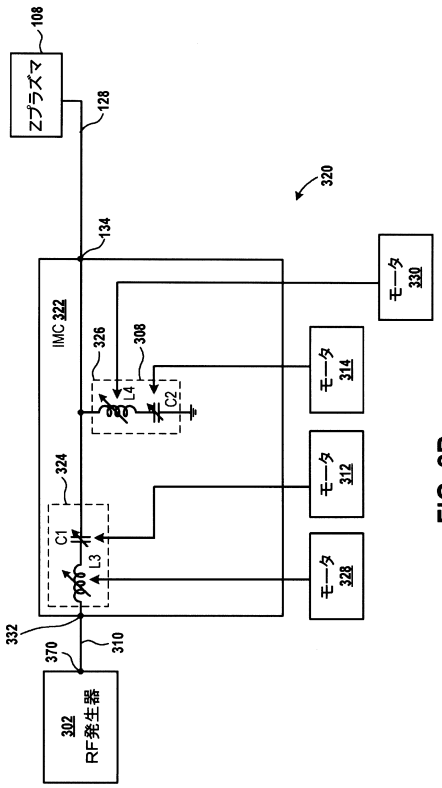


FIG. 3B

【図３Ｃ】

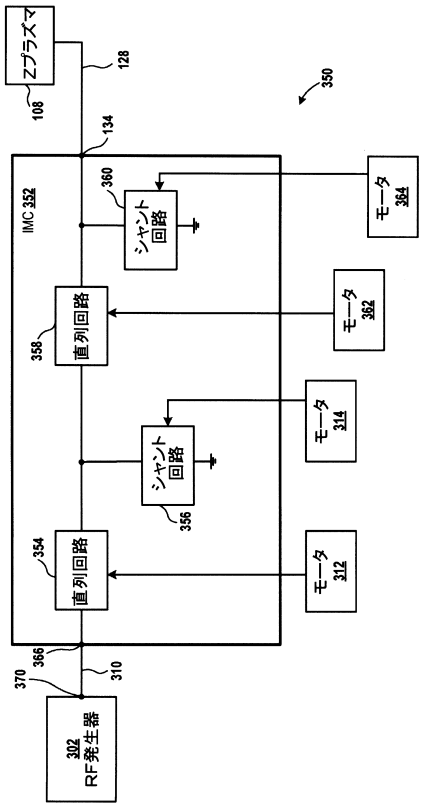


FIG. 3C

【図３Ｄ】

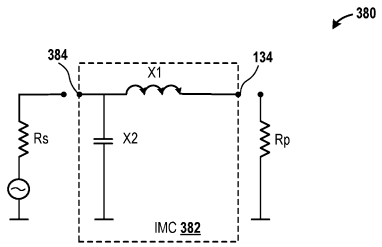


FIG. 3D

【図３Ｅ】

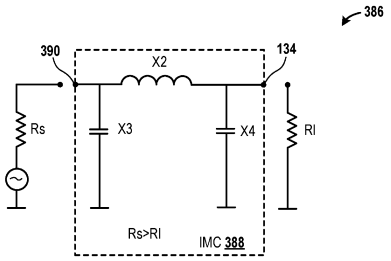


FIG. 3E

【図３Ｆ】

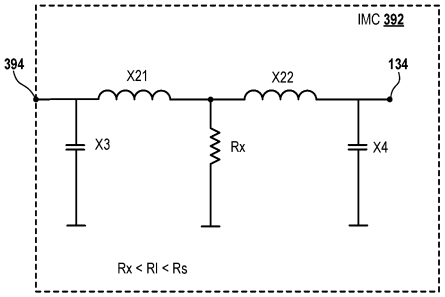


FIG. 3F

【図４】

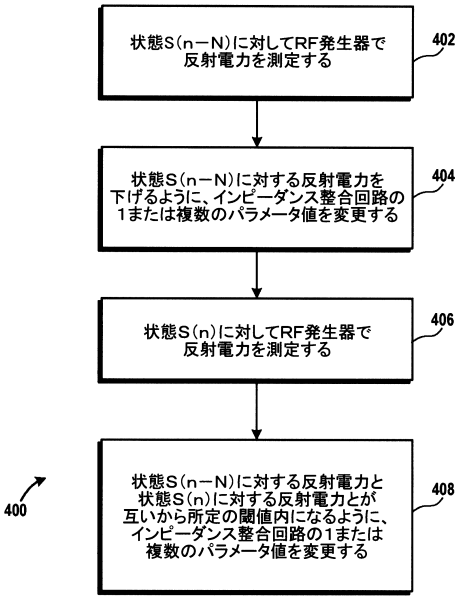


FIG. 4

【図５Ａ】

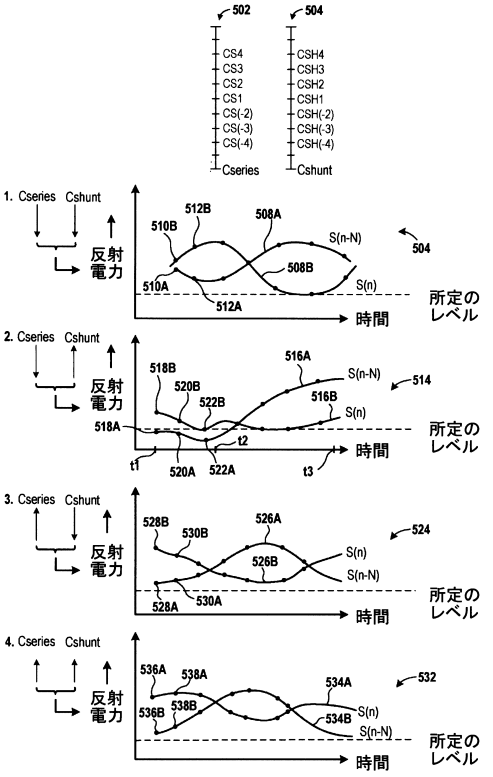


FIG. 5A

【図５Ｂ】

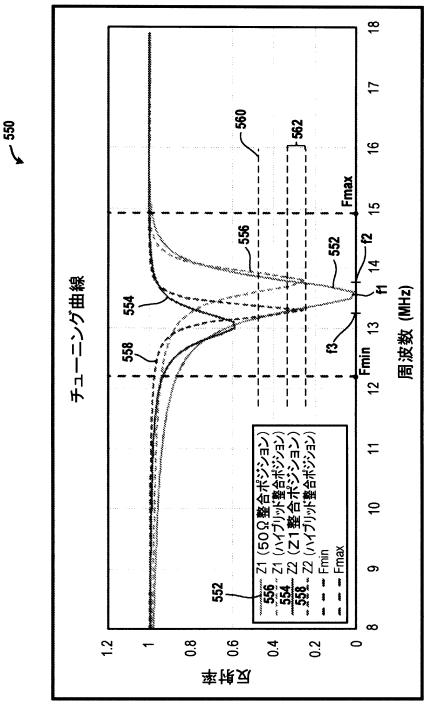


FIG. 5B

【図６】

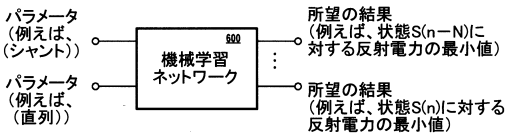


FIG. 6

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
５３８ フレモント，クッシング・パークウェイ，４６５０
審査官 藤本 加代子
(56)参考文献 米国特許出願公開第２０１６／０３０７７３６（ＵＳ，Ａ１）
特開２０１４－１４６５９３（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－１７９０３０（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－２４００４２（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０５６９９７（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０５Ｈ １／００－１／５４
Ｈ０３Ｈ ７／４０
Ｈ０１Ｌ ２１／３０６５