

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6526377号
(P6526377)

(45) 発行日 令和1年6月5日 (2019. 6. 5)

(24) 登録日 令和1年5月17日 (2019. 5. 17)

(51) Int. Cl.

F I

H 0 5 H 1 / 4 6 (2 0 0 6 . 0 1)

H 0 5 H 1 / 4 6 R

H 0 5 H 1 / 4 6 M

請求項の数 23 外国語出願 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2013-189960 (P2013-189960)	(73) 特許権者	592010081
(22) 出願日	平成25年9月13日 (2013. 9. 13)		ラム リサーチ コーポレーション
(65) 公開番号	特開2014-89945 (P2014-89945A)		LAM RESEARCH CORPOR
(43) 公開日	平成26年5月15日 (2014. 5. 15)		ATION
審査請求日	平成28年9月5日 (2016. 9. 5)		アメリカ合衆国, カリフォルニア 945
(31) 優先権主張番号	61/701, 547		38, フレモント, クッシング パークウ
(32) 優先日	平成24年9月14日 (2012. 9. 14)		エイ 4650
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	110000028
(31) 優先権主張番号	13/659, 102		特許業務法人明成国際特許事務所
(32) 優先日	平成24年10月24日 (2012. 10. 24)	(74) 代理人	100113527
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 堀 研一
		(72) 発明者	ジョン・シー・バルコア・ジュニア
			アメリカ合衆国 カリフォルニア州945
			38 フレモント, クッシング・パークウ
			エイ, 4650

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エッジランピング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

システムであって、
第 1 の R F 信号を生成するためのベース R F 生成器であって、前記第 1 の R F 信号は、ある状態から別の状態へ遷移し、前記第 1 の R F 信号のある状態から別の状態への遷移は、プラズマインピーダンスの変化をもたらす、ベース R F 生成器と、
第 2 の R F 信号を生成するための二次 R F 生成器であって、前記第 2 の R F 信号は、前記プラズマインピーダンスの変化を安定化させるために、ある状態から別の状態へ遷移する、二次 R F 生成器と、
一つの電極を備えるプラズマチャンバであって、前記ベース R F 生成器と前記二次 R F 生成器とは、前記一つの電極に接続されるように構成されるプラズマチャンバと、
前記二次 R F 生成器につながれたコントローラであって、前記第 2 の R F 信号がある状態から別の状態へ遷移するときに前記第 2 の R F 信号の遷移の速度を変更するために、前記二次 R F 生成器にパラメータ値を提供するためのものであるコントローラであって、前記第 2 の R F 信号の遷移の速度は、前記第 1 の R F 信号の遷移の速度とは異なるように変更される、コントローラと、
を備えるシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシステムであって、
前記第 2 の R F 信号の遷移の速度は、正または負の傾きを有し、

前記第 2 の R F 信号の遷移の速度が正の傾きを有する場合とは、前記第 2 の R F 信号のロウ電力レベルが、時間の経過により、ハイ電力レベルに移行する場合のことを意味し、

前記第 2 の R F 信号の遷移の速度が負の傾きを有する場合とは、前記第 2 の R F 信号の前記ハイ電力レベルが、時間の経過により、前記ロウ電力レベルに移行する場合のことを意味する、システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記パラメータ値は、周波数値、電力値、またはそれらの組み合わせを含む、システム。

【請求項 4】

無線周波数 (R F) 信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するためのシステムであって、

一次生成器と、

二次生成器と、を備え、

前記一次生成器は、

一次 R F 信号を生成するための一次駆動・増幅器と、

デジタルパルス信号の状態を識別するための一次デジタル信号プロセッサ (D S P) であって、前記状態は、第 1 の状態と、第 2 の状態とを含み、前記一次 D S P は、前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときの第 1 の一次周波数入力を識別するため、および前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときの第 2 の一次周波数入力を識別するため、のものである、一次 D S P と、

前記一次 D S P において前記一次駆動・増幅器につながれた第 1 の一次自動周波数調整器 (A F T) であって、前記第 1 の一次 A F T は、前記一次 D S P から前記第 1 の一次周波数入力を受信するため、および前記第 1 の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 R F 信号を調整するため、のものである、第 1 の一次 A F T と、

前記一次 D S P において前記一次駆動・増幅器につながれた第 2 の一次 A F T であって、前記第 2 の一次 A F T は、前記一次 D S P から前記第 2 の一次周波数入力を受信するため、および前記第 2 の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 R F 信号を調整するため、のものである、第 2 の一次 A F T と、を含み、

前記一次 R F 信号は、前記第 1 の一次周波数入力から前記第 2 の一次周波数入力への一次遷移速度を有し、

前記二次生成器は、

二次 R F 信号を生成するための二次駆動・増幅器と、

前記デジタルパルス信号の状態を識別するための二次デジタル信号プロセッサ (D S P) であって、前記二次 D S P は、前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときの第 1 の二次周波数入力を識別するため、および前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときの第 2 の二次周波数入力を識別するため、のものである、二次 D S P と、

前記二次 D S P において前記二次駆動・増幅器につながれた第 1 の二次 A F T であって、前記第 1 の二次 A F T は、前記二次 D S P から前記第 1 の二次周波数入力を受信するため、および前記第 1 の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 R F 信号を調整するため、のものである、第 1 の二次 A F T と、

前記二次 D S P において前記二次駆動・増幅器につながれた第 2 の二次 A F T であって、前記第 2 の二次 A F T は、前記二次 D S P から前記第 2 の二次周波数入力を受信するため、および前記第 2 の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 R F 信号を調整するため、のものである、第 2 の二次 A F T と、を含み、

前記二次 D S P は、前記第 1 の二次周波数入力から前記第 2 の二次周波数入力への二次遷移速度を決定するように構成され、前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度と異なる、システム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のシステムであって、

前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度未満である、システム。

【請求項 6】

請求項 4 に記載のシステムであって、

前記第 1 の二次周波数入力から前記第 2 の二次周波数入力への遷移にかかる第 1 の時間の長さは、前記第 1 の一次周波数入力から前記第 2 の一次周波数入力への遷移にかかる第 2 の時間の長さよりも長い、システム。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のシステムであって、

前記第 1 の時間の長さは、プラズマインピーダンスが安定化するためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、システム。

【請求項 8】

請求項 6 に記載のシステムであって、

前記第 1 の時間の長さは、インピーダンス整合回路が前記二次生成器の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスをプラズマチャンバの 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスに一致させるためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、システム。

【請求項 9】

請求項 4 に記載のシステムであって、

前記第 1 の状態は、ハイの状態であり、前記第 2 の状態は、ロウの状態である、システム。

【請求項 10】

請求項 4 に記載のシステムであって、

前記第 1 の状態は、オン状態であり、前記第 2 の状態は、オフ状態である、システム。

【請求項 11】

無線周波数 (RF) 信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するためのシステムであって、

一次生成器と、

二次生成器と、を備え、

前記一次生成器は、

一次 RF 信号を生成するための一次駆動・増幅器と、

前記一次駆動・増幅器につながれた 1 つまたはそれ以上の一次コントローラであって、

デジタルパルス信号の状態を識別することであって、前記状態は、第 1 の状態と、第 2 の状態とを含む、前記デジタルパルス信号の状態の識別と、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときに、第 1 の一次電力入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 RF 信号を調整することと、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときに、第 2 の一次電力入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 RF 信号を調整することと、を行うように構成された 1 つまたはそれ以上の一次コントローラと、を含み、

前記一次 RF 信号は、前記第 1 の一次電力入力から前記第 2 の一次電力入力への一次遷移速度を有し、

前記二次生成器は、

二次 RF 信号を生成するための二次駆動・増幅器と、

前記二次駆動・増幅器につながれた 1 つまたはそれ以上の二次コントローラであって、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときに、第 1 の二次電力入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 RF 信号を調整することと、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときに、第 2 の二次電力入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 RF 信号を調整することと、

前記第 1 の二次電力入力から前記第 2 の二次電力入力への二次遷移速度を決定する

10

20

30

40

50

ことと、を行うように構成された１つまたはそれ以上の二次コントローラと、を含み、
前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度と異なる、システム。

【請求項１２】

請求項１１に記載のシステムであって、
前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度未満である、システム。

【請求項１３】

請求項１１に記載のシステムであって、
前記第１の二次電力入力から前記第２の二次電力入力への遷移にかかる第１の時間の長さは、前記第１の一次電力入力から前記第２の一次電力入力への遷移にかかる第２の時間の長さよりも長い、システム。

10

【請求項１４】

請求項１３に記載のシステムであって、
前記第１の時間の長さは、プラズマインピーダンスが前記第２の状態で安定化するためにかかる第３の時間の長さよりも短い、システム。

【請求項１５】

請求項１３に記載のシステムであって、
前記第１の時間の長さは、インピーダンス整合回路が前記二次生成器の１つまたはそれ以上の部分のインピーダンスをプラズマチャンバの１つまたはそれ以上の部分のインピーダンスに一致させるためにかかる第３の時間の長さよりも短い、システム。

20

【請求項１６】

請求項１１に記載のシステムであって、
前記第１の状態は、ハイの状態であり、前記第２の状態は、ロウの状態である、システム。

【請求項１７】

請求項１１に記載のシステムであって、
前記第１の状態は、オン状態であり、前記第２の状態は、オフ状態である、システム。

【請求項１８】

無線周波数（ＲＦ）信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するための方法であって、

デジタルパルス信号の状態を識別することであって、前記状態は、第１の状態と、第２の状態とを含む、前記デジタルパルス信号の状態の識別と、

30

前記デジタルパルス信号が前記第１の状態にあるときの第１の一次周波数入力を識別することと、

前記デジタルパルス信号が前記第２の状態にあるときの第２の一次周波数入力を識別することと、

前記デジタルパルス信号が前記第１の状態にあるときに、前記第１の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように一次ＲＦ信号を調整することと、

前記デジタルパルス信号が前記第２の状態にあるときに、前記第２の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次ＲＦ信号を調整することであって、前記一次ＲＦ信号は、前記第１の一次周波数入力から前記第２の一次周波数入力への一次遷移速度を有する、前記一次ＲＦ信号の調整と、

40

前記デジタルパルス信号が前記第１の状態にあるときの第１の二次周波数入力を識別することと、

前記デジタルパルス信号が前記第２の状態にあるときの第２の二次周波数入力を識別することと、

前記デジタルパルス信号が前記第１の状態にあるときに、前記第１の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように二次ＲＦ信号を調整することと、

前記デジタルパルス信号が前記第２の状態にあるときに、前記第２の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次ＲＦ信号を調整することと、

前記第１の二次周波数入力から前記第２の二次周波数入力への二次遷移速度を決定する

50

ことであって、前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度と異なる、二次遷移速度の決定と、を備える方法。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の方法であって、

前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度未満である、方法。

【請求項 20】

請求項 18 に記載の方法であって、

前記第 1 の二次周波数入力から前記第 2 の二次周波数入力への遷移にかかる第 1 の時間の長さは、前記第 1 の一次周波数入力から前記第 2 の一次周波数入力への遷移にかかる第 2 の時間の長さよりも長い、方法。

10

【請求項 21】

請求項 20 に記載の方法であって、

前記第 1 の時間の長さは、プラズマインピーダンスが前記第 2 の状態で安定化するためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、方法。

【請求項 22】

請求項 20 に記載の方法であって、

前記第 1 の時間の長さは、二次 R F 信号を生成する生成器の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスをプラズマチャンバの 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスに一致させるためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、方法。

20

【請求項 23】

請求項 20 に記載の方法であって、

前記第 1 の状態は、ハイの状態であり、前記第 2 の状態は、ロウの状態である、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本実施形態は、プラズマインピーダンスの変化に対する応答を向上させることに関するものであり、より具体的には、エッジランピングを実施するための装置、方法、およびコンピュータプログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

一部のプラズマ処理システムでは、プラズマチャンバ内の 1 つまたはそれ以上の電極に、複数の無線周波数 (R F) 信号が提供される。R F 信号は、プラズマチャンバ内にプラズマを発生させるのに役立つ。プラズマは、例えば、下方電極上に置かれた基板をクリーニングする、基板をエッチングする、基板をベベルエッチングするなどの、多様な動作に使用される。

30

【0003】

R F 信号の 1 つに電力値の変化があると、プラズマインピーダンスが変化し、プラズマ内に乱れが生じる。上記の多様な動作にプラズマが使用されるときは、このような乱れを制御することが重要である。

【0004】

本開示で説明される実施形態が考え出されたのは、このような状況においてである。

40

【発明の概要】

【0005】

本開示の実施形態は、エッジランピングのための装置、方法、およびコンピュータプログラムを提供する。本実施形態は、例えばプロセス、装置、システム、デバイス、またはコンピュータ可読媒体に記録された方法などの、数々の形態で実現可能であることがわかる。以下で、幾つかの実施形態が説明される。

【0006】

一実施形態では、システムは、第 1 の R F 信号を生成するためのベース R F 生成器を含む。第 1 の R F 信号は、ある状態から別の状態へ遷移する。第 1 の R F 信号のある状態が

50

ら別の状態への遷移は、プラズマインピーダンスの変化をもたらす。システムは、さらに、第2のRF信号を生成するための二次RF生成器を含む。第2のRF信号は、プラズマインピーダンスの変化を安定化させるために、ある状態から別の状態へ遷移する。システムは、二次RF生成器につながれたコントローラを含む。コントローラは、第2のRF信号がある状態から別の状態へ遷移するときに第2のRF信号のエッジランピングを実施するために、二次RF生成器にパラメータ値を提供するために使用される。

【0007】

一実施形態では、無線周波数(RF)信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するためのシステムが説明される。システムは、一次生成器を含む。一次生成器は、一次RF信号を生成するための一次駆動・増幅器と、デジタルパルス信号の状態を識別するための一次デジタル信号プロセッサ(DSP)とを含む。状態は、第1の状態と、第2の状態とを含む。一次DSPは、デジタルパルス信号が第1の状態にあるときの第1の一次周波数入力を識別するために、およびデジタルパルス信号が第2の状態にあるときの第2の一次周波数入力を識別するために使用される。一次生成器は、さらに、一次DSPならびに一次駆動・増幅器につながれた第1の一次自動周波数調整器(AFT:auto frequency tuner)を含む。第1の一次AFTは、一次DSPから第1の一次周波数入力を受信するために、および第1の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように一次RF信号を調整するために使用される。一次生成器は、一次DSPならびに一次駆動・増幅器につながれた第2の一次AFTを含む。第2の一次AFTは、一次DSPから第2の一次周波数入力を受信するために、および第2の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように一次RF信号を調整するために、使用される。一次RF信号は、第1の一次周波数入力から第2の一次周波数入力への一次遷移速度を有する。

【0008】

この実施形態では、システムは、さらに、二次生成器を含む。二次生成器は、二次RF信号を生成するための二次駆動・増幅器と、デジタルパルス信号の状態を識別するための二次デジタル信号プロセッサ(DSP)とを含む。二次DSPは、デジタルパルス信号が第1の状態にあるときの第1の二次周波数入力を識別するために、およびデジタルパルス信号が第2の状態にあるときの第2の二次周波数入力を識別するために、使用される。二次生成器は、さらに、二次DSPならびに二次駆動・増幅器につながれた第1の二次AFTを含む。第1の二次AFTは、二次DSPからの第1の二次周波数入力を受信するために、および第1の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように二次RF信号を調整するために、使用される。二次生成器は、二次DSPならびに二次駆動・増幅器につながれた第2の二次AFTを含む。第2の二次AFTは、二次DSPから第2の二次周波数入力を受信するために、および第2の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように二次RF信号を調整するために、使用される。二次DSPは、第1の二次周波数入力から第2の二次周波数入力への二次遷移速度を決定するように構成される。二次遷移速度は、一次遷移速度と異なる。

【0009】

一実施形態では、無線周波数(RF)信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するためのシステムが説明される。システムは、一次生成器を含む。一次生成器は、一次RF信号を生成するための一次駆動・増幅器と、一次駆動・増幅器につながれた1つまたはそれ以上の一次コントローラとを含む。1つまたはそれ以上の一次コントローラは、デジタルパルス信号の状態を識別するように構成される。状態は、第1の状態と、第2の状態とを含む。1つまたはそれ以上の一次コントローラは、さらに、デジタルパルス信号が第1の状態にあるときの第1の一次電力入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように一次RF信号を調整するように構成される。また、1つまたはそれ以上の一次コントローラは、デジタルパルス信号が第2の状態にあるときの第2の一次電力入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように一次RF信号を調整するように構成される。一次RF信号は、第1の一次電力入力から第2の一次電力入力へ

の一次遷移速度を有する。

【 0 0 1 0 】

この実施形態では、システムは、さらに、二次生成器を含む。二次生成器は、二次 R F 信号を生成するための二次駆動・増幅器を含む。二次生成器は、また、二次駆動・増幅器につながれた 1 つまたはそれ以上の二次コントローラを含む。1 つまたはそれ以上の二次コントローラは、デジタルパルス信号が第 1 の状態にあるときの第 1 の二次電力入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように二次 R F 信号を調整するように構成される。1 つまたはそれ以上の二次コントローラは、さらに、デジタルパルス信号が第 2 の状態にあるときの第 2 の二次電力入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように二次 R F 信号を調整するように構成される。1 つまたはそれ以上の二次コントローラは、第 1 の二次電力入力から第 2 の二次電力入力への二次遷移速度を決定するように構成される。二次遷移速度は、一次遷移速度と異なる。

10

【 0 0 1 1 】

一実施形態では、無線周波数 (R F) 信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するための方法が説明される。方法は、デジタルパルス信号の状態を識別することを含む。状態は、第 1 の状態と、第 2 の状態とを含む。方法は、デジタルパルス信号が第 1 の状態にあるときの第 1 の一次周波数入力を識別すること、およびデジタルパルス信号が第 2 の状態にあるときの第 2 の一次周波数入力を識別することを含む。方法は、また、デジタルパルス信号が第 1 の状態にあるときの第 1 の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように一次 R F 信号を調整すること、およびデジタルパルス信号が第 2 の状態にあるときの第 2 の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように一次 R F 信号を調整することを含む。一次 R F 信号は、第 1 の一次周波数入力から第 2 の一次周波数入力への一次遷移速度を有する。方法は、デジタルパルス信号が第 1 の状態にあるときの第 1 の二次周波数入力を識別すること、およびデジタルパルス信号が第 2 の状態にあるときの第 2 の二次周波数入力を識別することを含む。方法は、さらに、デジタルパルス信号が第 1 の状態にあるときの第 1 の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように二次 R F 信号を調整すること、およびデジタルパルス信号が第 2 の状態にあるときの第 2 の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように二次 R F 信号を調整することを含む。方法は、第 1 の二次周波数入力から第 2 の二次周波数入力への二次遷移速度を決定することを含む。二次遷移速度は、一次遷移速度と異なる。

20

30

【 0 0 1 2 】

上述された実施形態の幾つかの利点として、例えば 2 メガヘルツ (M H z) 信号や 2 7 M H z 信号などのベース信号が高電力値から低電力値にまたは低電力値から高電力値に変化するときのプラズマインピーダンスのリングングすなわちシュートを軽減させられることが挙げられる。一実施形態では、リングングすなわちシュートが回避される。一実施形態では、ベース信号が例えば高電力値または低電力値などの第 1 の電力値から例えば低電力値または高電力値などの第 2 の電力値に変化するとき、別の R F 信号のある電力値から別の電力値への遷移を制御するために、その別の R F 信号がエッジランピングされる。別の一実施形態では、ベース信号が第 1 の電力値から第 2 の電力値に変化するとき、別の信号のある周波数値から別の周波数値への遷移を制御するために、その別の R F 信号がエッジランピングされる。さらに別の一実施形態では、ベース信号が第 1 の電力値から第 2 の電力値に変化するとき、別の信号のある周波数値から別の周波数値への遷移を制御するために、および別の R F 信号のある電力値から別の電力値への遷移を制御するために、その別の信号がエッジランピングされる。

40

【 0 0 1 3 】

添付の図面との関連のもとで成される以下の詳細な説明から、その他の態様が明らかになる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

50

以下の実施形態は、添付の図面との関連のもとで成される以下の説明を参照することによって、最も良く理解されるだろう。

【0015】

【図1】本開示で説明される一実施形態にしたがった、プラズマインピーダンスの変化が従属無線周波数(RF)信号に及ぼす影響を軽減するためにエッジランピングを実施するためのシステムの一実施形態を示した図である。

【0016】

【図2】本開示で説明される一実施形態にしたがった、エッジランピングを実施するためのシステムの一実施形態を示したブロック図である。

【0017】

【図3】本開示で説明される一実施形態にしたがった、エッジランピングが実施されてよい期間を例示するためのグラフの実施形態である。

【0018】

【図4】本開示で説明される一実施形態にしたがった、60MHz信号のエッジランピングを例示するためのグラフの実施形態である。

【0019】

【図5】本開示で説明される一実施形態にしたがった、エッジランピングが適用されないときにプラズマが安定化するためにかかる時間の長さ、エッジランピングが適用されるときにプラズマが安定化するためにかかる時間の長さとの差を例示するためのグラフである。

【0020】

【図6】エッジランピングが実施されないときの順方向電力と、エッジランピングが実施されるとき順方向電力との間の差を例示するためのグラフである。

【0021】

【図7】本開示で説明される一実施形態にしたがった、発光分光計によって感知される信号にエッジランピングが及ぼす影響を例示したグラフである。

【0022】

【図8】本開示で説明される一実施形態にしたがった、エッジランピングが実施されないときの順方向電力と、エッジランピングが実施されるとき順方向電力との間の差を例示するためのグラフ、およびエッジランピングが実施されるときプラズマインピーダンスと、エッジランピングが実施されないときのプラズマインピーダンスとの間の差を例示するためのグラフである。

【0023】

【図9】本開示で説明される一実施形態にしたがった、エッジランピングが実施されるときエネルギーの標準偏差と、エッジランピングが実施されないときのエネルギーの標準偏差と、の間の差を例示するために、プラズマのエネルギーをジュール単位で時間に対してプロットしたグラフである。

【0024】

【図10】本開示で説明される一実施形態にしたがった、エッジランピングの一実施形態を例示するためのグラフである。

【0025】

【図11】本開示で説明される一実施形態にしたがった、RF信号をエッジランピングするための方法の一実施形態を示したフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下の実施形態は、エッジランピングを実施するためのシステムおよび方法を説明している。これらの実施形態は、これらの具体的詳細の一部または全部を伴わずとも実施されてよいことが明らかである。また、これらの実施形態を不必要に不明瞭にしないために、周知のプロセス動作の説明は省かれている。

【0027】

10

20

30

40

50

図 1 は、プラズマインピーダンスの変化が従属無線周波数 (R F) 信号に及ぼす影響を軽減するためにエッジランピングを実施するためのシステム 1 0 0 の一実施形態を示した図である。プラズマチャンバ 1 2 4 は、下方電極 1 3 0 と、上方電極 1 2 6 と、例えば上方電極 1 2 6 を取り巻く上方誘電体リング、上方電極リングを取り巻く上方電極延長部、下方電極 1 3 0 を取り巻く下方誘電体リング、下方誘電体リングを取り巻く下方電極延長部、上方プラズマ排除区域 (P E Z) リング、下方 P E Z リングなどのその他の構成部品 (不図示) とを含む。上方電極 1 2 6 は、下方電極 1 3 0 の向かい側に、下方電極 1 3 0 の方を向くように位置付けられる。例えば半導体ウエハなどの基板 1 2 8 は、下方電極 1 3 0 の上表面 1 3 2 上で支えられる。例えば特殊用途向け集積回路 (A S I C) やプログラム可能論理デバイス (P L D) などの集積回路が、基板 1 2 8 上に展開され、例えば携帯電話、タブレット、スマートフォン、コンピュータ、ラップトップ型コンピュータ、ネットワーク機器などの多様なデバイスに使用される。下方電極 1 3 0 は、例えば陽極酸化アルミニウムやアルミニウム合金などの金属で作成される。上方電極 1 2 6 もまた、例えばアルミニウムやアルミニウム合金などの金属で作成される。

【 0 0 2 8 】

一実施形態では、上方電極 1 2 6 は、中央のガス供給部 (不図示) につながれた穴を含む。中央ガス供給部は、1 種以上のプロセスガスをガス供給部 (不図示) から受け取る。プロセスガスの例として、 O_2 などの酸素含有ガスが挙げられる。プロセスガスのその他の例として、例えば四フッ化メタン (CF_4)、六フッ化硫黄 (SF_6)、六フッ化エタン (C_2F_6) などのフッ素含有ガスが挙げられる。上方電極 1 2 6 は、接地される。下方電極 1 3 0 は、インピーダンス整合回路 1 7 6 を通じてメガヘルツ (M H z) R F 駆動・増幅システムにつながる。

【 0 0 2 9 】

上方電極 1 2 6 と下方電極 1 3 0 との間にプロセスガスが供給され、D A S 1 6 1 がインピーダンス整合回路 1 7 6 を通じて下方電極 1 3 0 に電力を供給するときに、プロセスガスは、プラズマチャンバ 1 2 4 内にプラズマを発生させるために、点火される。例えば、D A S 1 6 1 は、プロセスガスを点火してプラズマを発生させるために、インピーダンス整合回路 1 7 6 を通じて電力を供給する。

【 0 0 3 0 】

インピーダンス整合回路は、インピーダンス整合回路につながれた電源のインピーダンスを、インピーダンス整合回路につながれた負荷のインピーダンスに一致させるために、例えばインダクタやコンデンサなどの電気回路部品を含む。例えば、インピーダンス整合回路 1 7 6 は、D A S 1 6 1 のインピーダンスを、プラズマチャンバ 1 2 4 内に発生するプラズマのインピーダンスに一致させる。さらに別の一例では、インピーダンス整合回路 1 7 6 は、D A S 1 6 1 のインピーダンスを、例えばプラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマや、上方電極 1 2 6、下方電極 1 3 0、プラズマチャンバ 1 2 4 のその他の構成部品などの、1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスに一致させる。一実施形態では、インピーダンス整合回路は、インピーダンス整合回路につながれた D A S のインピーダンスと、負荷のインピーダンスとの一致を促すように調整される。電源と負荷とのインピーダンスの一致は、負荷から電源へ電力が反射される可能性を小さくする。

【 0 0 3 1 】

デジタル信号プロセッサ (D S P) 1 6 0 には、ホストコンピュータ 1 5 8 がつながれる。ホストコンピュータ 1 5 8 は、トランジスタ - トランジスタ論理 (T T L) 信号 1 0 6 を生成し、デジタル信号プロセッサ (D S P) 1 6 0 に提供する。T T L 信号 1 0 6 は、デジタルパルス信号の一例である。一実施形態では、コンピュータは、T T L 信号 1 0 6 を生成する T T L 回路を含む。本明細書では、コンピュータの代わりに、プロセッサ、コントローラ、A S I C、または P L D が使用され、これらの用語は、本明細書のなかで区別なく使用される。T T L 信号 1 0 6 は、状態 S 1 と、状態 S 0 とを含む。T T L 信号 1 0 6 は、5 0 % のデューティサイクルを有する。一実施形態では、T T L 信号 1 0 6 は、5 % から 9 5 % までの範囲のデューティサイクルを有する。状態 S 1 の例として、値 1

10

20

30

40

50

を有するオン状態、すなわちハイの状態が挙げられる。状態 S 0 の例として、値 0 を有するオフ状態、すなわちロウの状態が挙げられる。ハイの状態は、ロウの状態を上回る大きさを有する。

【 0 0 3 2 】

別の一実施形態では、アナログクロック信号を生成するために、コンピュータの代わりに例えば水晶発振器などのクロック発振器が使用される。アナログクロック信号は、アナログ - デジタル変換器によって、T T L 信号 1 0 6 に類似したデジタル信号に変換される。例えば、水晶発振器は、水晶発振器上のまたは水晶発振器近くの電極に電圧を印加することによって電場を振動させるように作成される。

【 0 0 3 3 】

T T L 信号 1 0 6 は、D S P 1 6 0 に送信される。D S P 1 6 0 は、T T L 信号 1 0 6 を受信し、T T L 信号 1 0 6 の状態 S 0 および S 1 を識別する。例えば、D S P 1 6 0 は、状態 S 0 と状態 S 1 とを見分ける。別の一例として、D S P 1 6 0 は、T T L 信号 1 0 6 が第 1 の群の期間中は例えば値 1 やハイの状態値などの第 1 の大きさを有し、第 2 の群の期間中は例えば値 0 やロウの状態値などの第 2 の大きさを有することを決定する。D S P 1 6 0 は、T T L 信号 1 0 6 が第 1 の群の期間中は状態 S 1 を有し、第 2 の群の期間中は状態 S 0 を有することを決定する。さらに別の一例として、D S P 1 6 0 は、T T L 信号 1 0 6 の大きさを事前に記憶された値と比較し、T T L 信号 1 0 6 の大きさが第 1 の群の期間中は事前記憶値を上回ること、および状態 S 0 中における T T L 信号 1 0 6 の大きさが第 2 の群の期間中は事前記憶値以下であること、を決定する。クロック発振器が使用される実施形態では、D S P 1 6 0 は、クロック発振器からアナログクロック信号を受信し、そのアナログ信号をデジタル形式に変換し、次いで、2 つの状態 S 0 および S 1 を識別する。

【 0 0 3 4 】

T T L 信号 1 0 6 の状態が S 1 であると識別されたときは、D S P 1 6 0 は、周波数 / 電力コントローラ 1 6 8 に、電力値 P 1 および / または周波数値 F 1 を提供する。さらに、T T L 信号 1 0 6 の状態が S 0 であると識別されたときは、D S P 1 6 0 は、周波数 / 電力コントローラ 1 7 0 に、電力値 P 0 および / または周波数値 F 0 を提供する。a b マイクロ秒である状態 S 1 から状態 S 0 へのまたは状態 S 0 から状態 S 1 への遷移時間 T T 中、D S P 1 6 0 は、1 つもしくはそれ以上の遷移周波数 F T および / または 1 つもしくはそれ以上の電力値 P T をコントローラ 1 6 8 に提供する。ここで、a および b は、整数である。一実施形態では、電力値 P T は、電力値 P 1 から P 0 までの範囲であり、且つ / または周波数値 F T は、周波数値 F 1 から F 0 までの範囲である。一実施形態では、D S P 1 6 0 は、遷移時間 T T を、状態 S 1 も状態 S 0 も識別されない期間であるとも見なす。

【 0 0 3 5 】

遷移時間 T T 中、コントローラ 1 6 8 は、遷移周波数 F T を受信し、例えば 2 M H z D A S、2 7 M H z D A S、6 0 M H z D A S などの D A S のドライバに駆動周波数を提供する。一実施形態では、駆動周波数は、周波数 F T と同じである。駆動器は、それらの駆動周波数を有する R F 信号を生成し、その R F 信号を増幅器、伝送路 1 7 8、およびインピーダンス整合回路 1 7 6 を通じて下方電極 1 3 0 に提供する。一実施形態では、駆動周波数と、D S P 1 6 0 から受信された遷移周波数 F T との間の対応関係が、駆動周波数を受信するコントローラのメモリデバイスに記憶される。メンバデバイスの例として、ランダムアクセスメモリ (R A M) および読み出し専用メモリ (R O M) が挙げられる。メモリデバイスは、フラッシュメモリ、ハードディスク、ストレージデバイス、コンピュータ可読媒体などであってよい。

【 0 0 3 6 】

一実施形態では、駆動周波数と、D S P 1 6 0 から受信された遷移周波数 F T との間の対応関係が、駆動周波数を受信するコントローラのメモリデバイスに記憶される。この実施形態では、コントローラは、駆動器に駆動周波数を提供するために、D S P 1 6 0 から

10

20

30

40

50

受信された遷移周波数 F_T を駆動周波数に対応付けている。

【0037】

さらに、遷移時間 T_T 中、コントローラ 168 は、電力値 P_T を受信し、DAS の駆動器に駆動電力値を提供する。一実施形態では、駆動電力値は、電力値 P_T と同じである。駆動器は、駆動電力値 P_T を有する RF 信号を生成し、それらの駆動電力値を、下方電極 130 を駆動するために伝送路 178 およびインピーダンス整合回路 176 を通じて提供する。

【0038】

一実施形態では、駆動電力値と、DSP 160 から受信された遷移電力値 P_T との間の対応関係が、駆動電力値を受信するコントローラのメモリデバイスに記憶される。この実施形態では、コントローラは、駆動器に駆動電力値を提供するために、DSP 160 から受信された遷移電力値 P_T を駆動電力値に対応付けている。

10

【0039】

電力値 P_1 、 P_0 、 P_T 、電力値 P_1 と状態 S_1 との間の対応関係、電力値 P_0 と状態 S_0 との間の対応関係、電力値 P_T と遷移時間 T_T との間の対応関係、周波数値 F_1 、 F_0 、 F_T 、周波数値 F_1 と状態 S_1 との間の対応関係、周波数値 F_0 と状態 S_0 との間の対応関係、周波数値 F_T と遷移時間 T_T との間の対応関係、またはそれらの組み合わせは、ホストコンピュータ 158 のメモリデバイスに記憶される生成器パラメータセット 180 のなかにある。ホストコンピュータ 158 は、生成器パラメータセット 180 を実行するために、論理 A、B、...、N も含んでいる。例えば、ホストコンピュータ 158 は、生成器パラメータセット 180 を実行するために、例えば Linux (登録商標) オペレーティングシステムや Windows (登録商標) オペレーティングシステムなどのオペレーティングシステムと、例えばコンピュータプログラムなどの 1 つまたはそれ以上のプログラミングアプリケーションとを含んでいる。

20

【0040】

一実施形態において、電力値 P_T 、周波数値 F_T 、またはそれらの組み合わせは、パラメータ値の例である。

【0041】

図 2 は、エッジランピングを実施するためのシステム 190 の一実施形態を示したブロック図である。システム 190 は、x MHz 生成器 102 と、y MHz 生成器 112 とを含む。x MHz 生成器 102 の例として、2 MHz 生成器が挙げられ、y MHz 生成器 112 の例として、60 MHz 生成器が挙げられる。x MHz 生成器 102 の別の例として、60 MHz 生成器が挙げられ、y MHz 生成器 112 の一例として、2 MHz 生成器が挙げられる。x MHz 生成器 102 のさらに別の例として、2 MHz 生成器が挙げられ、y MHz 生成器 112 の一例として、27 MHz 生成器が挙げられる。x MHz 生成器 102 の別の例として、27 MHz 生成器が挙げられ、y MHz 生成器 112 の一例として、2 MHz 生成器が挙げられる。x MHz 生成器 102 は、ベース RF 生成器すなわち一次生成器の例であり、y MHz 生成器 112 は、二次 RF 生成器すなわち二次生成器の例である。

30

【0042】

x MHz 生成器 102 は、RF 信号を生成する DAS 116 を含む。さらに、x MHz 生成器 102 は、DSP 104 を含む。DSP 104 は、TTL 信号 106 を受信し、TTL 信号 106 の状態を識別する。TTL 信号 106 の状態が S_1 であるとき、DSP 104 は、周波数値 F_{11} を生成し、その周波数値 F_{11} を AFT 108 に提供する。AFT の一例は、参照によってその全体を本明細書に組み込まれる米国特許第 6,020,794 号で提供されている。一実施形態において、調整器およびコントローラという用語は、本明細書のなかで区別なく使用される。同様に、TTL 信号 106 の状態が S_0 であるときは、DSP 104 は、周波数値 F_{10} を生成し、その周波数値 F_{10} を AFT 110 に提供する。

40

【0043】

50

T T L 信号 1 0 6 が状態 S 1 にある間は、D S P 1 0 4 におよび D A S 1 1 6 につながれた A F T 1 0 8 は、D S P 1 0 4 から周波数値 F 1 1 を受信し、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号の周波数を、例えば収束させるなどのように調整し、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスの周波数と、周波数値 F 1 1 との間に例えば一致や所定の差などの所定の対応関係を達成する。例えば、A F T 1 0 8 は、D A S 1 1 6 の駆動器に提供するための駆動周波数を探索する。駆動周波数は、A F T 1 0 8 のメモリデバイスに記憶されている。一実施形態では、駆動周波数は、周波数値 F 1 1 と同じである。駆動周波数は、A F T 1 0 8 によって、D A S 1 1 6 の駆動器に提供される。D A S 1 1 6 の駆動器は、その駆動周波数を有する R F 信号を生成し、その信号を、D A S 1 1 6 の増幅器に提供する。D A S 1 1 6 は、その駆動周波数で下方電極 1 3 0 を駆動するために、その駆動周波数を有する R F 信号を生成し、その R F 信号を、伝送路 1 5 2 およびインピーダンス整合回路 1 4 8 を通じて下方電極 1 3 0 に送信する。

10

【 0 0 4 4 】

センサ 1 4 4 は、伝送路 1 5 2 上の反射電力を測定し、その測定された反射電力を、D S P 1 0 4 に提供する。D S P 1 0 4 は、反射電力に基づいて、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスを決定し、そのインピーダンスは、周波数を含んでいる。D S P 1 0 4 は、そのインピーダンスの周波数が周波数 F 1 1 の範囲内であるかどうかを決定する。周波数が周波数 F 1 1 の範囲内でないと決定されると、A F T 1 0 8 は、D A S 1 1 6 の駆動器に提供するための、周波数値 F 1 1 に対応する別の駆動周波数を探索する。A F T 1 0 8 は、インピーダンスの周波数が周波数 F 1 1 の範囲内になるまで、周波数値 F 1 1 に対応する様々な駆動周波数を提供し続ける。なお、この例では、A F T 1 0 8 は、A F T 1 0 8 のストレージデバイスのなかに、周波数値 F 1 1 に対応する様々な駆動周波数を記憶していることに留意されたい。同様に、T T L 信号 1 0 6 が状態 S 0 にある間は、D S P 1 0 4 におよび D A S 1 1 6 につながれた A F T 1 1 0 は、D S P 1 0 4 から周波数値 F 1 0 を受信し、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号の周波数を調整し、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスの周波数と、周波数値 F 1 0 との間に所定の対応関係を達成する。

20

【 0 0 4 5 】

T T L 信号 1 0 6 が状態 S 1 から状態 S 0 へ遷移するときは、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号の周波数は、第 1 の速度で、周波数値 F 1 1 から周波数値 F 1 0 へ遷移する。一実施形態では、第 1 の速度は、状態 S 1 から状態 S 0 への T T L 信号 1 0 6 の遷移速度と同じである。一実施形態では、第 1 の速度は、T T L 信号 1 0 6 の遷移速度に近く、例えば T T L 信号 1 0 6 の遷移速度の d e f マイクロ秒以内である。ここで、d、e、および f は、それぞれ整数である。一実施形態では、第 1 の速度は、一次遷移速度の一例である。

30

【 0 0 4 6 】

システム 1 9 0 は、さらに、y M H z 生成器 1 1 2 を含み、該生成器は、R F 信号を生成するための D A S 1 1 4 を含む。y M H z 生成器 1 1 2 は、さらに、T T L 信号 1 0 6 の状態を識別する D S P 1 1 8 を含む。D S P 1 1 8 は、T T L 信号 1 0 6 を受信し、T T L 信号 1 0 6 の状態を識別する。T T L 信号 1 0 6 の状態が S 1 であるときに、D S P 1 1 8 は、周波数値 F 2 1 を生成し、その周波数値 F 2 1 を A F T 1 2 0 に提供する。同様に、T T L 信号 1 0 6 の状態が S 0 であるときは、D S P 1 1 8 は、周波数値 F 2 0 を生成し、その周波数値 F 2 0 を A F T 1 2 2 に提供する。

40

【 0 0 4 7 】

T T L 信号 1 0 6 が状態 S 1 にある間は、D S P 1 1 8 におよび D A S 1 1 4 につながれた A F T 1 2 0 は、D S P 1 1 8 から周波数値 F 2 1 を受信し、D A S 1 1 4 によって生成される R F 信号の周波数を、例えば収束させるなどのように調整し、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスの周波数と、周波数値 F 2 1 との間に所定の対応関係を達成する。例えば、A F T 1 2 0 は、D A S 1 1 4 の駆動器に提供するための駆動周波数を探索する。駆動周波数は、A F T 1 2 0 のメモリデバイスに記憶されている。一

50

実施形態では、駆動周波数は、周波数値 F 2 1 と同じである。駆動周波数は、A F T 1 2 0 によって、D A S 1 1 4 の駆動器に提供される。駆動器は、その駆動周波数を有する R F 信号を生成し、その R F 信号を、D A S 1 1 4 の増幅器に提供する。D A S 1 1 4 は、その駆動周波数で下方電極 1 3 0 を駆動するために、駆動周波数を有する R F 信号を生成し、その R F 信号を、伝送路 1 5 4 およびインピーダンス整合回路 1 5 0 を通じて下方電極 1 3 0 に送信する。

【 0 0 4 8 】

センサ 1 4 6 は、伝送路 1 5 4 上の反射電力を測定し、その測定された反射電力を、D S P 1 1 8 に提供する。D S P 1 1 8 は、反射電力に基づいて、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスを決定し、そのインピーダンスは、周波数を含んでいる。D S P 1 1 8 は、そのインピーダンスの周波数が周波数 F 2 1 の範囲内であるかどうかを決定する。周波数が周波数 F 2 1 の範囲内でないと決定されると、A F T 1 2 0 は、D A S 1 1 4 の駆動器に提供するための、周波数値 F 2 1 に対応する別の駆動周波数を探索する。A F T 1 2 0 は、インピーダンスの周波数が周波数 F 2 1 の範囲内になるまで、周波数値 F 2 1 に対応する様々な駆動周波数を提供し続ける。なお、この例では、A F T 1 2 0 は、A F T 1 2 0 のストレージデバイスのなかに、周波数値 F 2 1 に対応する様々な駆動周波数を記憶していることに留意されたい。同様に、T T L 信号 1 0 6 が状態 S 0 にある間は、D S P 1 1 8 におよび D A S 1 1 4 につながれた A F T 1 2 2 は、D S P 1 1 8 から周波数値 F 2 0 を受信し、D A S 1 1 8 によって生成される R F 信号の周波数を調整し、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスの周波数と、周波数値 F 2 0 との間に所定の対応関係を達成する。

【 0 0 4 9 】

T T L 信号 1 0 6 が状態 S 1 から状態 S 0 へ遷移するときは、D A S 1 1 4 によって生成される R F 信号の周波数は、第 2 の速度で、周波数値 F 2 1 から周波数値 F 2 0 へ遷移する。一実施形態では、第 2 の速度は、二次遷移速度の一例である。一実施形態では、D A S 1 1 4 によって生成される R F 信号は、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのプラズマインピーダンスを安定化させるように遷移する。一実施形態では、第 2 の速度は、第 1 の速度未満である。例えば、D A S 1 1 4 によって供給される R F 信号が周波数値 F 2 1 から周波数値 F 2 0 へ遷移するためには、D A S 1 1 6 によって供給される R F 信号が周波数値 F 1 1 から周波数値 F 1 0 へ遷移するのにかかる時間よりも長い時間を要する。

【 0 0 5 0 】

周波数値 F 2 1 から周波数値 F 2 0 への遷移の間に、D S P 1 1 8 は、1 つまたはそれ以上の遷移周波数 F T __ S 1 - S 0 を A F T 1 2 0 に提供する。遷移周波数 F T __ S 1 - S 0 は、コンピュータ 1 9 8 のメモリデバイスに記憶されており、D S P 1 1 8 によって、コンピュータ 1 9 8 から生成器パラメータセット 1 8 0 に取り込まれる。該コンピュータ 1 9 8 は、ホストコンピュータ 1 5 8 (図 1) の一例である。一実施形態では、コンピュータ 1 9 8 のメモリデバイスに、遷移周波数 F T __ S 1 - S 0 と、状態 S 1 から状態 S 0 への状態遷移との間の対応関係が記憶されている。T T L 信号 1 0 6 が状態 S 1 にある間は、A F T 1 2 0 は、遷移周波数 F T __ S 1 - S 0 を受信し、例えば対応付けられているなどの対応する駆動遷移周波数を D A S 1 1 4 に提供する。一実施形態において、遷移中における駆動周波数は、遷移周波数 F T __ S 1 - S 0 と同じである。D A S 1 1 4 は、これらの駆動周波数を有する R F 信号を生成し、その R F 信号を、伝送路 1 5 4 およびインピーダンス整合回路 1 5 0 を通じてプラズマチャンバ 1 2 4 の下方電極 1 3 0 に提供する。

【 0 0 5 1 】

一実施形態において、遷移周波数 F T __ S 1 - S 0 が印加される時間の長さは、インピーダンス整合回路 1 5 0 がプラズマチャンバ 1 2 4 の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスを D A S 1 1 4 のインピーダンスに一致させるために要する時間の長さよりも短い。一例として、プラズマチャンバ 1 2 4 の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスは、伝送路 1 5 4 上の反射電力対伝送路 1 5 4 上の順方向電力の比が、例えば 0 からある

範囲内であるなどのようにゼロに近いときに、D A S 1 1 4 のインピーダンスに一致する。順方向電力および反射電力は、センサ 1 4 6 によって感知される。センサ 1 4 6 は、順方向電力および反射電力の測定値を D S P 1 1 8 に提供し、D S P 1 1 8 は、それらの測定値をアナログ形式からデジタル形式に変換し、比を計算する。

【 0 0 5 2 】

一実施形態において、遷移周波数 $F T_S 1 - S 0$ が印加される時間の長さは、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスがある値に例えば収束するなどのように安定化するために要する時間よりも短い。一例として、D S P 1 1 8 は、比がゼロに近いときに、プラズマインピーダンスがある値に収束すると決定する。一実施形態では、遷移周波数 $F T_S 1 - S 0$ が印加される時間の長さが、インピーダンス整合回路 1 5 0 がプラズマチャンバ 1 2 4 の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスを D A S 1 1 4 のインピーダンスに一致させるために要する時間の長さよりも短いかどうかを決定するために、またはプラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスが安定化されているかどうかを決定するために、比の代わりに、D S P 1 1 8 によって電圧定在波比 (V S W R) が計算される。V S W R は、R C を反射係数として、 $R C - 1$ 対 $R C + 1$ の比に等しいものとして計算される。

【 0 0 5 3 】

一実施形態では、第 2 の遷移速度は、D A S 1 1 4 の増幅器と、インピーダンス整合回路 1 5 0 と、下方電極 1 3 0 とを含む R F 伝送経路の帯域幅の発生時間よりも短い時間の間に生じる。一実施形態では、第 2 の遷移速度は、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号の R F パルスの幅の発生時間よりも短い時間の間に生じる。R F パルスは、T T L 信号 1 0 6 が状態 S 1 または状態 S 0 にあるときの R F 信号の一部分である。

【 0 0 5 4 】

さらに、T T L 信号 1 0 6 の状態が S 1 であるときに、D S P 1 0 4 は、電力値 P 1 1 を生成し、その電力値 P 1 1 を、電力コントローラ 1 3 6 に提供する。同様に、T T L 信号 1 0 6 の状態が S 0 であるときに、D S P 1 0 4 は、電力値 P 1 0 を生成し、その電力値 P 1 0 を、電力コントローラ 1 3 8 に提供する。

【 0 0 5 5 】

T T L 信号 1 0 6 が状態 S 1 にある間は、D S P 1 0 4 におよび D A S 1 1 6 につながれた電力コントローラ 1 3 6 は、D S P 1 0 4 から電力値 P 1 1 を受信し、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号の電力を調整し、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスを対応する値にする。例えば、電力コントローラ 1 3 6 は、D A S 1 1 6 の駆動器に提供するための駆動電力値を探索する。駆動電力値は、プラズマインピーダンス Z 1 に対応している。駆動電力値およびプラズマインピーダンス Z 1 は、電力コントローラ 1 3 6 のメモリデバイスに記憶されている。一実施形態では、駆動電力値は、電力値 P 1 1 と同じである。駆動電力値は、電力コントローラ 1 3 6 によって、D A S 1 1 6 の駆動器に提供される。駆動器は、駆動電力値を有する R F 信号を生成し、その R F 信号を、D A S 1 1 6 の増幅器に提供する。増幅器は、駆動電力値を増幅させ、増幅電力値を生成してよく、該増幅電力値は、増幅器が D A S 1 1 6 の駆動器から受信する R F 信号の電力値と同じであってよい。下方電極 1 3 0 を増幅電力値で駆動するために、増幅電力値を有する R F 信号は、D A S 1 1 6 によって、伝送路 1 5 2 およびインピーダンス整合回路 1 4 8 を通じて下方電極 1 3 0 に供給される。

【 0 0 5 6 】

センサ 1 4 4 は、伝送路 1 5 2 上の反射電力を測定し、その測定された反射電力を、D S P 1 0 4 に提供する。D S P 1 0 4 は、反射電力に基づいて、プラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのインピーダンスを決定し、そのインピーダンスは、周波数を含んでいる。D S P 1 0 4 は、電圧対電流の比に基づいてインピーダンスを決定し、電圧および電流は、電力の変数である。D S P 1 0 4 は、インピーダンスがインピーダンス Z 1 の範囲内であるかどうかを決定する。インピーダンスがインピーダンス Z 1 の範囲内でないと決定されると、電力コントローラ 1 3 6 は、D A S 1 1 6 の駆動器に提供するための、インピー

10

20

30

40

50

ダンスZ1に対応する別の駆動電力値を探索する。電力コントローラ136は、伝送路152上の反射電力に基づいてDSP104によって決定されるインピーダンスがインピーダンスZ1の範囲内になるまで、インピーダンスZ1に対応する様々な駆動電力値を提供し続ける。なお、この例では、電力コントローラ136は、電力コントローラ136のストレージデバイスに、インピーダンスZ1に対応する様々な駆動電力値を記憶していることに留意されたい。同様に、TTL信号106が状態S0にある間は、DSP104におよびDAS116につながれた電力コントローラ138は、DSP104から電力値P10を受信し、DAS116によって生成されるRF信号の電力を調整し、プラズマチャンバ124内のプラズマのインピーダンスを対応する値にする。

【0057】

TTL信号106が状態S1から状態S0へ遷移するときは、DAS116によって供給されるRF信号の電力値は、第3の速度で、電力値P11から電力値P10へ遷移する。一実施形態では、第3の速度は、状態S1から状態S0へのTTL信号106の遷移速度と同じである。一実施形態では、第3の速度は、TTL信号106の遷移速度に近く、例えばTTL信号106の遷移速度のg h iマイクロ秒以内である。ここで、g、h、およびiは、それぞれ整数である。一実施形態では、第3の速度は、一次遷移速度の一例である。

【0058】

周波数値がF11からF10に変化するときにおよび/または電力値がP11からP10に変化するとき、プラズマチャンバ124内のプラズマのプラズマインピーダンスは変化する。また、周波数値がF10からF11に変化するときにおよび/または電力値がP10からP11に変化するとき、プラズマチャンバ124内のプラズマのプラズマインピーダンスは変化する。

【0059】

さらに、TTL信号106の状態がS1であるときに、DSP118は、電力値P21を生成し、その電力値P21を、電力コントローラ140に提供する。同様に、TTL信号106の状態がS0であるときに、DSP118は、電力値P20を生成し、その電力値P20を、電力コントローラ142に提供する。

【0060】

TTL信号106が状態S1にある間は、DSP118におよびDAS114につながれた電力コントローラ140は、DSP118から電力値P21を受信し、DAS114によって生成されるRF信号の電力を調整し、プラズマチャンバ124内のプラズマのインピーダンスを対応する値にする。例えば、電力コントローラ140は、DAS114の駆動器を駆動するための駆動電力値を探索する。駆動電力値は、プラズマインピーダンスZ2に対応している。駆動電力値およびプラズマインピーダンスZ2は、電力コントローラ140のメモリデバイスに記憶されている。一実施形態では、駆動電力値は、電力値P21と同じである。駆動電力値は、電力コントローラ140によって、DAS116の駆動器に提供される。この駆動器は、駆動電力値を有するRF信号を生成するためのDAS114の増幅器につながれている。増幅器は、駆動電力値を増幅させてよい。一実施形態では、増幅RF信号は、DAS114の増幅器によってDAS114の駆動器から受信されるRF信号の電力値と同じ電力値を有する。DAS114によって生成されるRF信号は、下方電極130を駆動電力値で駆動するために、伝送路154およびインピーダンス整合回路150を通じて下方電極130に供給される。

【0061】

センサ146は、伝送路154上の反射電力を測定し、その測定された反射電力を、DSP118に提供する。DSP118は、反射電力に基づいて、プラズマチャンバ124内のプラズマのインピーダンスを決定し、そのインピーダンスは、周波数を含んでいる。DSP118は、インピーダンスがインピーダンスZ2の範囲内であるかどうかを決定する。インピーダンスがインピーダンスZ2の範囲内でないと決定されると、電力コントローラ140は、DAS114の駆動器に提供するための、インピーダンスZ2に対応する

10

20

30

40

50

別の駆動電力値を探索する。電力コントローラ 140 は、伝送路 154 上の反射電力に基づいて DSP 118 によって決定されるインピーダンスがインピーダンス Z2 の範囲内になるまで、インピーダンス Z2 に対応する様々な駆動電力値を提供し続ける。なお、この例では、電力コントローラ 140 は、電力コントローラ 140 のストレージデバイスのなかに、インピーダンス Z2 に対応する様々な駆動電力値を記憶していることに留意されたい。同様に、TTL 信号 106 が状態 S0 にある間は、DSP 118 におよび DAS 114 につながれた電力コントローラ 142 は、DSP 118 から電力値 P20 を受信し、DAS 114 によって生成される RF 信号の電力を調整し、プラズマチャンバ 124 内のプラズマのインピーダンスを対応する値にする。

【0062】

TTL 信号 106 が状態 S1 から状態 S0 へ遷移するときは、DAS 114 によって生成される RF 信号の電力値は、第 4 の速度で、電力値 P21 から電力値 P20 へ遷移する。一実施形態では、第 4 の速度は、第 3 の速度未満である。例えば、DAS 114 によって供給される RF 信号が電力値 P21 から電力値 P20 へ遷移するためには、DAS 116 によって供給される RF 信号が電力値 P11 から電力値 P10 へ遷移するためにかかる時間よりも長い時間を要する。一実施形態では、第 4 の速度は、二次遷移速度の一例である。

【0063】

電力値 P21 から電力値 P20 への遷移の間に、DSP 118 は、1 つまたはそれ以上の遷移電力値 P_{T_S1-S0} を電力コントローラ 140 に提供する。遷移電力値 P_{T_S1-S0} は、コンピュータ 198 のメモリデバイスに記憶されており、DSP 118 によって、生成器パラメータセット 180 に取り込まれる。一実施形態では、コンピュータ 198 のメモリデバイスに、遷移電力値 P_{T_S1-S0} と、状態 S1 から状態 S0 への状態遷移との間の対応関係が記憶されている。電力値 P21 から電力値 P20 への遷移の間は、電力コントローラ 140 は、遷移電力値 P_{T_S1-S0} を受信し、駆動遷移電力値を DAS 114 に提供する。DAS 114 は、遷移電力値 P_{T_S1-S0} を有する RF 信号を生成し、その RF 信号を、伝送路 154 およびインピーダンス整合回路 150 を通じてプラズマチャンバ 124 に提供する。

【0064】

一実施形態において、遷移電力値 P_{T_S1-S0} が印加される時間の長さは、インピーダンス整合回路 150 がプラズマチャンバ 124 の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスを DAS 114 のインピーダンスに一致させるために要する時間の長さよりも短い。一例として、プラズマチャンバ 124 の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスは、伝送路 154 上の反射電力対伝送路 154 上の順方向電力の比が、例えば 0 からある範囲内であるなどのようにゼロに近いときに、DAS 114 のインピーダンスに一致する。

【0065】

一実施形態において、遷移電力値 P_{T_S1-S0} が印加される時間の長さは、プラズマチャンバ 124 内のプラズマのインピーダンスがある値に例えば収束するなどのように安定化するために要する時間よりも短い。一実施形態では、遷移電力値 P_{T_S1-S0} が印加される時間の長さが、インピーダンス整合回路 150 がプラズマチャンバ 124 の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスを DAS 114 のインピーダンスに一致させるために要する時間の長さよりも短いかどうかを決定するために、またはプラズマチャンバ 124 内のプラズマのインピーダンスが安定化されているかどうかを決定するために、比の代わりに、DSP 118 によって VSWR が計算される。

【0066】

一実施形態では、第 4 の遷移速度は、DAS 114 の増幅器と、インピーダンス整合回路 150 と、下方電極 130 とを含む RF 伝送経路の帯域幅の発生に関連する時間よりも短い時間の間に生じる。一実施形態では、第 4 の遷移速度は、DAS 116 によって生成される RF 信号の RF パルスの幅の発生時間よりも短い時間の間に生じる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 7 】

一実施形態では、遷移周波数値 $F T_S 1 - S 0$ および遷移電力値 $P T_S 1 - S 0$ は、ともに、 $D S P 1 1 8$ によって同時にまたは実質的に同時に電力コントローラ 140 および $A F T 1 2 0$ に提供される。この実施形態では、 $D S P 1 1 8$ は、遷移電力値 $P T_S 1 - S 0$ を電力コントローラ 140 に提供し、遷移周波数値 $F T_S 1 - S 0$ を $A F T 1 2 0$ に提供する。実質的に同時の一例として、遷移電力値 $P T_S 1 - S 0$ または遷移周波数値 $F T_S 1 - S 0$ の提供の、例えば幾マイクロ秒などの所定の期間内であることが挙げられる。

【 0 0 6 8 】

上記の実施形態は、状態 $S 1$ から状態 $S 0$ への遷移に関して説明されているが、一実施形態では、これらの実施形態が、状態 $S 0$ から状態 $S 1$ への遷移に適用するように変更されている。例えば、 $T T L$ 信号 106 が状態 $S 0$ から $S 1$ へ遷移する間は、遷移周波数値 $F T_S 1 - S 0$ と比較して同じまたは異なる一群の遷移周波数値 $F T_S 0 - S 1$ が使用されてよい。この例では、遷移周波数値 $F T_S 0 - S 1$ は、 $A F T 1 2 0$ の代わりに $A F T 1 2 2$ によって $D S P 1 1 8$ に提供される。別の例として、状態 $S 0$ から $S 1$ への遷移の間は、遷移電力値 $P T_S 1 - S 0$ と比較して同じまたは異なる一群の遷移電力値 $P T_S 0 - S 1$ が使用されてよい。この例では、遷移電力値 $P T_S 0 - S 1$ は、電力コントローラ 140 の代わりに電力コントローラ 142 によって、 $D S P 1 1 8$ に提供される。また、別の一例として、状態 $S 0$ から状態 $S 1$ への遷移の間は、同じまたは異なる一群の遷移周波数値と、同じまたは異なる一群の遷移電力値とが、同時にまたは実質的に同時に提供される。例えば、遷移周波数値 $F T_S 0 - S 1$ は、 $D S P 1 1 8$ から電力コントローラ 142 への遷移電力値 $P T_S 1 - S 0$ の提供と同時に $D S P 1 1 8$ によって $A F T 1 2 2$ に提供される。

【 0 0 6 9 】

一実施形態では、 $D S P 1 1 8$ によって実施される機能を、 $A F T$ または電力コントローラによって実施することができる。例えば、 $D S P 1 1 8$ が、状態遷移が状態 $S 1$ から状態 $S 0$ であるかまたは状態 $S 0$ から状態 $S 1$ であるかに基づいてどの遷移周波数値が印加されるかを決定するのに代わり、 $A F T 1 2 0$ または $A F T 1 2 2$ が、状態遷移が状態 $S 1$ から状態 $S 0$ であるかまたは状態 $S 0$ から状態 $S 1$ であるかに基づいてどの遷移周波数値が印加されるかを決定する。別の一例として、 $D S P 1 1 8$ が、遷移電力値を電力コントローラに提供するのに代わり、電力コントローラが、状態が遷移しているという決定を $D S P 1 1 8$ から受信する。決定を受信すると、電力コントローラは、電力コントローラのメモリデバイスから遷移電力値を取り出し、それらの遷移電力値を $D A S 1 1 4$ に提供する。さらに別の一例として、 $D S P 1 1 8$ が、遷移周波数値を $A F T$ に提供するのに代わり、 $A F T$ が、状態が遷移しているという決定を $D S P 1 1 8$ から受信する。決定を受信すると、 $A F T$ は、 $A F T$ のメモリデバイスから遷移周波数値を取り出し、それらの遷移周波数値を $D A S 1 1 4$ に提供する。

【 0 0 7 0 】

一実施形態では、生成器の $D S P$ 内に、生成器の $A F T$ および / または電力コントローラが含まれている。例えば、 $A F T 1 2 0$ および 122、ならびに電力コントローラ 140 および 142 が、 $D S P 1 1 8$ 内に含まれている。

【 0 0 7 1 】

一実施形態では、電力コントローラ 140 および $A F T 1 2 0$ の代わりに 1 つのコントローラが使用され、電力コントローラ 142 および $A F T 1 2 2$ に代わり、1 つのコントローラが使用され、電力コントローラ 136 および $A F T 1 0 8$ の代わりに 1 つのコントローラが使用され、且つ / または電力コントローラ 138 および $A F T 1 1 0$ の代わりに 1 つのコントローラが使用される。

【 0 0 7 2 】

$D S P 1 1 4$ および 116 の使用に加えて追加の $D A S$ が使用される実施形態では、 z $M H z$ 生成器は、 $D A S 1 1 4$ の代わりに z $M H z$ $D A S$ を含むことを除いて y $H M z$ 生

10

20

30

40

50

成器 1 1 2 と同様である。z M H z 生成器は、インピーダンス整合回路（不図示）および伝送路（不図示）を通じてプラズマチャンバ 1 2 4 の下方電極 1 3 0 につながれている。さらに、z M H z D A S は、T T L 信号 1 0 6 を受信するために、ツール U I 1 9 1 につながれている。z M H z 生成器は、2 つの電力コントローラと、2 つの A F T と、D S P と、A D C と、センサと、z M H z D A S とを含む。z M H z の一例は、2 7 M H z である。z M H z の別の一例は、3 0 M H z である。

【 0 0 7 3 】

一実施形態において、1 つまたはそれ以上の遷移周波数 $F T_S 1 - S 0$ 、1 つまたはそれ以上の遷移周波数 $F T_S 0 - S 1$ 、1 つまたはそれ以上の遷移電力値 $P T_S 1 - S 0$ 、1 つまたはそれ以上の遷移電力値 $P T_S 0 - S 1$ 、またはそれらの組み合わせは、パラメータ値の例である。

10

【 0 0 7 4 】

一実施形態において、D A S 1 1 6 は、一次駆動・増幅器の一例であり、D S P 1 0 4 は、一次 D S P の一例であり、A F T 1 0 8 は、第 1 の一次 A F T の一例であり、A F T 1 1 0 は、第 2 の一次 A F T の一例である。さらに、一実施形態において、D S P 1 1 8 は、二次 D S P の一例であり、A F T 1 2 0 は、第 1 の二次 A F T の一例であり、A F T 1 2 2 は、第 2 の二次 A F T の一例である。

【 0 0 7 5 】

また、一実施形態において、周波数値 $F 1 1$ は、第 1 の一次周波数入力の一例であり、周波数値 $F 1 0$ は、第 2 の一次周波数入力の一例であり、電力値 $P 1 1$ は、第 1 の一次電力入力の一例であり、電力値 $P 1 0$ は、第 2 の一次電力入力の一例である。さらに、一実施形態において、周波数値 $F 1 0$ は、第 1 の一次周波数入力の一例であり、周波数値 $F 1 1$ は、第 2 の一次周波数入力の一例であり、電力値 $P 1 0$ は、第 1 の一次電力入力の一例であり、電力値 $P 1 1$ は、第 2 の一次電力入力の一例である。

20

【 0 0 7 6 】

さらに、一実施形態において、周波数値 $F 2 1$ は、第 1 の二次周波数入力の一例であり、周波数値 $F 2 0$ は、第 2 の二次周波数入力の一例であり、電力値 $P 2 1$ は、第 1 の二次電力入力の一例であり、電力値 $P 2 0$ は、第 2 の二次電力入力の一例である。さらに、一実施形態において、周波数値 $F 2 0$ は、第 1 の二次周波数入力の一例であり、周波数値 $F 2 1$ は、第 2 の二次周波数入力の一例であり、電力値 $P 2 0$ は、第 1 の二次電力入力の一例であり、電力値 $P 2 1$ は、第 2 の二次電力入力の一例である。

30

【 0 0 7 7 】

一実施形態において、1 つまたはそれ以上の一次コントローラは、x M H z 生成器 1 0 2 内のコントローラであり、1 つまたはそれ以上の二次コントローラは、y M H z 生成器 1 1 2 内のコントローラである。一実施形態において、一次 R F 信号は、伝送路 1 5 2 を通じてプラズマチャンバ 1 2 4 に送信されるために x M H z 生成器 1 0 2 の D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号であり、二次 R F 信号は、伝送路 1 5 4 を通じてプラズマチャンバ 1 2 4 に送信されるために y M H z 生成器 1 1 2 の D A S 1 1 4 によって生成される R F 信号である。

【 0 0 7 8 】

40

一実施形態では、コントローラまたは調整器の代わりに、プロセッサによって実行される例えばコンピュータプログラムなどの制御論理ブロックが使用される。例えば、生成器の各 A F T が、生成器のプロセッサによって実行される論理ブロックである。別の一例では、生成器の各電力コントローラが、生成器のプロセッサによって実行される論理ブロックである。コンピュータプログラムは、以下で例を挙げられる非一過性のコンピュータ可読媒体に実装される。

【 0 0 7 9 】

図 3 は、エッジランピングが実施されてよい期間を例示するためのグラフ 2 0 1 および 2 0 3 の実施形態を示している。グラフ 2 0 1 は、信号の電圧を時間に対してプロットしてある。プロット 2 0 2 は、チャンバ 1 2 4 内のプラズマの電圧の、時間にもなう変化

50

を示している。プロット204は、60MHz RF信号の電圧の、時間にもなう変化を示しており、プロット208は、2MHz RF信号の電圧の、時間にもなう変化を示している。2MHz RF信号が高電力値から低電力値へ遷移する部分206の発生中は、エッジランピングが実施されてよい。高電力値は、低電力値よりも大きい。

【0080】

グラフ203は、部分206を拡大したものである。グラフ203では、プロット208は、チャンバ124内のプラズマの電圧の、時間にもなう変化を示している。プロット212は、60MHz RF信号の電圧の、時間にもなう変化を示しており、プロット210は、2MHz RF信号の電圧の、時間にもなう変化を示している。60MHz信号のエッジランピングは、グラフ203の部分214内に示された期間中に実施されてよい。エッジランピングが実施されるときに、最終的に、2MHz信号は、低電力値を達成するが、60MHz信号は、まだその高電力値から低電力値への遷移中である。

10

【0081】

図4は、60MHz信号のエッジランピングを例示するためのグラフ220および222の実施形態を示している。グラフ220は、信号の電圧を時間に対してプロットしており、グラフ222は、RF信号の高速フーリエ変換(FFT)振幅をFFT周波数に対してプロットしてある。グラフ220の部分224では、2MHz信号および60MHz信号の両方がオンである。グラフ220の部分226では、2MHz信号がオンにされており、60MHz信号が遷移中である。エッジランピングは、60MHz信号が2MHz信号よりも長い時間を状態S1から状態S0への遷移のためにかけることを可能にするために使用される。

20

【0082】

プロット228は、2MHz信号のFFT振幅の変化を示しており、プロット230は、60MHz信号のFFT振幅の変化を示している。2MHz信号のピーク308と60MHz信号のピーク306との間の差によって示されるような遷移期間中は、エッジランピングを実施するために、60MHz信号のFFT振幅が増加される。

【0083】

図5は、エッジランピングが適用されないときにプラズマが安定化するためにかかる時間の長さと、エッジランピングが適用されるときにプラズマが安定化するためにかかる時間の長さとの差を例示するためのグラフ290および292を示している。各グラフ290および292は、オシロスコープによって測定された電圧を時間に対してプロットしてある。プロット296は、プラズマの電圧を示しており、プロット298は、2MHz信号の電圧を示しており、プロット302は、60MHz信号の電圧を示している。さらに、プロット304は、プラズマの電圧を示しており、プロット306は、2MHz信号の電圧を示しており、プロット308は、60MHz信号の電圧を示している。部分294および303によって示されるように、エッジランピングが適用されないときにプラズマが安定化するためには、エッジランピングが適用されるときにプラズマが安定化するためにかかる時間よりも長い時間がかかる。エッジランピングは、グラフ292では適用されており、グラフ290では適用されていない。

30

【0084】

図6は、エッジランピングが実施されないときの順方向電力と、エッジランピングが実施されるときに順方向電力との間の差を例示するためのグラフ254および256を示している。各グラフ254および256は、60MHz信号の順方向電力を時間に対してプロットしてある。グラフ254の部分258に示されるように、グラフ256の部分260に示されるよりも大量のリングングがある。グラフ254は、エッジランピングの実施を伴わずに生成されたものであり、グラフ256は、エッジランピングの実施を伴って生成されたものである。

40

【0085】

図7は、発光分光計(OES)によって感知される信号にエッジランピングが及ぼす影響を例示したグラフ250を示している。グラフ250は、例えばプラズマの電力やプラ

50

ズマの電圧などの任意の単位を時間に対してプロットしてある。図に示されるように、エッジランピングを伴わないと、任意の単位は、値 V_1 から値 V_2 にシュートし、エッジランピングを伴うと、任意の単位は、値 V_1 から V_3 にシュートし、これは、値 V_2 の場合よりも小さい。したがって、エッジランピングの結果は、エッジランピングが実施されるときよりもプラズマの乱れを少なくする。

【 0 0 8 6 】

図 8 は、エッジランピングが実施されないときの順方向電力と、エッジランピングが実施されるときとの間の差を例示するためのグラフ 2 7 2、およびエッジランピングが実施されるときとの間の差を例示するためのグラフ 2 7 4 を示している。グラフ 2 7 2 は、60 MHz 信号の順方向電力を時間に対してプロットしてある。グラフ 2 7 4 は、例えばプラズマの電力やプラズマの電圧などの任意の単位を時間に対してプロットしてある。エッジランピングが実施されないときは、60 MHz 信号は、レベル L_1 より下のレベル L_2 にシュートし、エッジランピングが実施されるときは、60 MHz 信号は、レベル L_1 にシュートする。さらに、エッジランピングが実施されないときは、任意の単位は、レベル L_3 からレベル L_5 にシュートし、エッジランピングが実施されるときは、任意の単位は、レベル L_3 からレベル L_4 にシュートし、これは、レベル L_5 の場合よりも小さく、プラズマの乱れが少ない結果になる。

【 0 0 8 7 】

図 9 は、エッジランピングが実施されるときとのエネルギーの標準偏差と、エッジランピングが実施されないときのエネルギーの標準偏差との間の差を例示するためにプラズマのエネルギーをジュール単位で時間に対してプロットしたグラフ 2 5 2 を示している。図に示されるように、エッジランピングが実施されるときとのエネルギーの標準偏差 SD_1 は、プラズマが不安定であってエッジランピングが実施されないときのエネルギーの標準偏差 SD_2 よりも小さく、且つプラズマが安定してエッジランピングが実施されないときのエネルギーの標準偏差 SD_3 よりも小さい。

【 0 0 8 8 】

図 10 は、エッジランピングの一実施形態を例示するためのグラフ 3 8 1 および 3 8 3 を示している。グラフ 3 8 1 は、ワットを単位とした順方向電力を、秒を単位とした時間に対してプロットしてある。グラフ 3 8 3 は、TTL 信号 106 の状態を、秒を単位とした時間に対してプロットしてある。図 10 に示されるように、TTL 信号 106 が状態 S_1 から状態 S_0 へ遷移するときに、例えば 2 MHz 信号や 27 MHz 信号などの A MHz 信号は、高電力入力 P_1 から低電力入力 P_2 へ遷移する。図に示されるように、例えば 27 MHz 信号や 60 MHz 信号などの B MHz 信号は、高電力入力 P_1 から低電力入力 P_2 への A MHz 信号の遷移速度と同じ速度では遷移しない。B MHz 信号は、高電力入力 P_1 から低電力入力 P_2 への A MHz 信号の遷移速度よりも低い速度で遷移する。例えば、B MHz 信号は、高電力入力 P_1 から低電力入力 P_2 への A MHz 信号の遷移中に、無限ではない傾きを有する。別の例として、B MHz 信号は、高電力入力 P_1 から低電力入力 P_2 への A MHz 信号の遷移中に、負の傾きを有する。一実施形態では、A MHz 信号は、電力入力 P_1 から電力入力 P_2 への遷移中に、無限の傾きを有する。高電力入力 P_1 から低電力入力 P_2 への A MHz 信号の遷移中における B MHz 信号の傾きの例として、傾き 1、曲線状の傾き、変化する傾きなどが挙げられる。B MHz 信号は、高電力入力 P_3 から低電力入力 P_2 へ遷移する。B MHz 信号の遷移中に、B MHz 信号は、エッジランピング ER_1 を有する。エッジランピング ER_1 は、高電力入力 P_3 から低電力入力 P_2 への遷移中に B MHz 信号の電力および / または周波数を制御することによって生成される。

【 0 0 8 9 】

同様に、TTL 信号 106 が状態 S_0 から状態 S_1 へ遷移するときに、A MHz 信号は、低電力入力 P_2 から高電力入力 P_1 へ遷移する。図に示されるように、B MHz 信号は、低電力入力 P_2 から高電力入力 P_1 への A MHz 信号の遷移速度と同じ速度では

遷移しない。B MHz 信号は、低電力入力 P 2 から高電力入力 P 1 への A MHz 信号の遷移速度よりも低い速度で遷移する。例えば、B MHz 信号は、低電力入力 P 2 から高電力入力 P 1 への A MHz 信号の遷移中に、無限ではない傾きを有する。別の例として、B MHz 信号は、低電力入力 P 2 から高電力入力 P 1 への A MHz 信号の遷移中に、正の傾きを有する。一実施形態では、A MHz 信号は、低電力入力 P 2 から高電力入力 P 1 への遷移中に、無限の傾きを有する。低電力入力 P 2 から高電力入力 P 1 への A MHz 信号の遷移中における B MHz 信号の傾きの例としては、傾き 1、曲線状の傾き、変化する傾きなどが挙げられる。B MHz 信号は、低電力入力 P 2 から高電力入力 P 3 へ遷移する。B MHz 信号の遷移中に、B MHz 信号は、エッジランプ E R 2 を有する。エッジランプ E R 2 は、低電力入力 P 2 から高電力入力 P 3 への遷移中に B MHz 信号の電力および / または周波数を制御することによって生成される。

10

【0090】

一実施形態では、B MHz 信号は、電力入力 P 3 から低電力入力 P 2 ではない低電力入力へ遷移する。一実施形態では、B MHz 信号は、A MHz 信号が高電力入力 P 1 から低電力入力 P 2 へ遷移するときに、電力入力 P 3 から電力入力 P 3 よりも高い高電力入力へ遷移し、A MHz 信号が低電力入力 P 2 から高電力入力 P 1 へ遷移するときに、上記の高電力入力から電力入力 P 3 へ遷移する。

【0091】

なお、A MHz 信号は、電力入力 P 1 においてある状態にあり、電力入力 P 2 において別の状態にあることに留意されたい。同様に、B MHz 信号は、電力入力 P 3 においてある状態にあり、電力入力 P 2 において別の状態にある。

20

【0092】

図 11 は、RF 信号をエッジランピングするための方法 350 の一実施形態のフローチャートである。方法 350 は、DSP 160 (図 1) または DSP 118 (図 2) によって実行される。一実施形態では、方法 350 は、AFT、または電力コントローラ、またはそれらの組み合わせによって実行される。例えば、方法 350 は、コントローラ 168、170、AFT 120、AFT 122、電力コントローラ 140、電力コントローラ 142、またはそれらの組み合わせによって実行される (図 1 および図 2)。

【0093】

動作 352 では、状態遷移が起き始めたかどうか決定される。例えば、TTL 信号 106 が状態 S 1 から状態 S 0 へまたは状態 S 0 から状態 S 1 へ遷移しているかどうか決定される。状態遷移が起き始めていないとの決定を受けたら、方法 350 は、終了する。

30

【0094】

他方、状態遷移が起き始めているとの決定を受けたら、動作 354 において、状態遷移を達成するために RF D A S に印加するための周波数入力決定される。例えば、TTL 信号 106 の状態 S 1 から状態 S 0 への状態遷移が起き始めていると決定されたら、メモリデバイスから、1 つまたはそれ以上の周波数値 F T _ S 1 - S 0 が得られる。別の例として、状態 S 0 から状態 S 1 への状態遷移が起き始めていると決定されたら、メモリデバイスから、1 つまたはそれ以上の周波数値 F T _ S 0 - S 1 が得られる。

【0095】

40

動作 356 では、周波数入力を印加する期間が決定される。例えば、この期間は、x MHz 生成器の D A S 116 によって生成される RF 信号が高電力値から低電力値へ遷移するための期間よりも長く、かつ、TTL 信号 106 の例えば 50 % などのデューティサイクルよりも短い。この例において、もし、TTL 信号 106 のデューティサイクルが 70 % であるならば、周波数入力が印加される期間は、D A S 116 によって生成される RF 信号が高電力値から低電力値へ遷移するための期間よりも長く、かつ、残りのデューティサイクル 30 % よりも短い。別の例として、周波数入力が印加される期間は、D A S 116 によって生成される RF 信号が高電力値から低電力値へ遷移するための期間よりも長く、かつ、状態 S 0 中にプラズマチャンバ 124 内のプラズマのプラズマインピーダンスが安定化するためにかかる時間の長さよりも短い。さらに別の一例として、周波数入力が印

50

加される期間は、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号が高電力値から低電力値へ遷移するための期間よりも長く、かつ、インピーダンス整合回路 1 5 0 が例えば D A S 1 1 4、A F T 1 0 8、A F T 1 1 0、電力コントローラ 1 3 6、電力コントローラ 1 3 8 などの x M H z 生成器 1 0 2 の一部分または全部分のインピーダンスをプラズマチャンバ 1 2 4 の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスに一致させるためにかかる時間の長さよりも短い。

【 0 0 9 6 】

さらに、動作 3 5 8 では、状態遷移を達成するために R F D A S に印加される電力入力決定される。例えば、T T L 信号 1 0 6 の状態 S 1 から状態 S 0 への状態遷移が起き始めた決定されたら、1 つまたはそれ以上の電力値 P T _ S 1 - S 0 がメモリデバイスから得られる。別の例として、T T L 信号 1 0 6 の状態 S 0 から状態 S 1 への状態遷移が起き始めた決定されたら、1 つまたはそれ以上の電力値 P T _ S 0 - S 1 がメモリデバイスから得られる。

10

【 0 0 9 7 】

動作 3 6 0 では、電力入力を印加する期間が決定される。例えば、この期間は、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号が高電力値から低電力値へ遷移するための期間よりも長く、かつ、T T L 信号 1 0 6 の例えば 5 0 % などのデューティサイクルよりも短い。この例において、もし、T T L 信号 1 0 6 のデューティサイクルが 6 0 % であるならば、電力入力が印加される期間は、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号が高電力値から低電力値へ遷移するための期間よりも長く、かつ、残りのデューティサイクル 4 0 % よりも短い。別の例として、電力入力が印加される期間は、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号が高電力値から低電力値へ遷移するための期間よりも長く、かつ、状態 S 0 中にプラズマチャンバ 1 2 4 内のプラズマのプラズマインピーダンスが安定化するためにかかる時間の長さよりも短い。さらに別の一例として、電力入力が印加される期間は、D A S 1 1 6 によって生成される R F 信号が高電力値から低電力値へ遷移するための期間よりも長く、かつ、インピーダンス整合回路 1 5 0 が例えば D A S 1 1 4、A F T 1 2 0、A F T 1 2 2、電力コントローラ 1 4 0、電力コントローラ 1 4 2 などの y M H z 生成器 1 1 2 の一部分または全部分のインピーダンスをプラズマチャンバ 1 2 4 の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスに一致させるためにかかる時間の長さよりも短い。

20

【 0 0 9 8 】

一実施形態において、周波数入力および電力入力は、ともに、期間中に同時にまたは実質的に同時に印加される。

30

【 0 0 9 9 】

上述された実施形態は、2 M H z R F 信号 および / または 6 0 M H z R F 信号 および / または 2 7 M H z 信号を下方電極 1 3 0 に提供し、上方電極 1 2 6 を接地することに関するものであるが、幾つかの実施形態では、上方電極 1 2 6 に 2 M H z 信号、6 0 M H z 信号、および 2 7 M H z 信号が提供され、下方電極 1 3 0 が接地される。

【 0 1 0 0 】

一実施形態では、例えば周波数入力や電力入力などの入力、または例えば電力レベルや周波数レベルなどのレベルは、別の値の閾値以内の 1 つまたはそれ以上の値を含む。例えば、電力レベルは、電力値 P 2 1 と、電力値 P 2 1 の閾値以内のその他の電力値とを含む。この例では、電力レベルは、例えば状態 S 0 のための電力値 P 2 0 などの、別の状態のための電力値を除外している。別の例として、周波数入力は、周波数値 F 1 1 と、周波数値 F 1 1 の閾値以内のその他の周波数値とを含む。この例では、周波数入力は、例えば状態 S 0 のための周波数値 F 1 0 などの、別の状態のための周波数値を除外している。

40

【 0 1 0 1 】

上述された実施形態は、一実施形態において k 平行平板型プラズマチャンバに言及して説明されているが、上述された実施形態は、例えば誘導結合プラズマ (I C P) リアクタを含むプラズマチャンバや、電子サイクロトロン共鳴 (E C R) リアクタを含むプラズマチャンバなどの、その他のタイプのプラズマチャンバにも適用されることに留意されたい

50

。例えば、2MHz電力供給および60MHz電力供給は、ICPプラズマチャンバ内のインダクタにつながる。

【0102】

さらに、一実施形態において、DASという用語および駆動・増幅器という用語は、本明細書のなかで区別なく使用される。

【0103】

本明細書で説明される実施形態は、ハンドヘルドデバイス、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のもしくはプログラム可能な家庭用電子機器、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータなどの、様々なコンピュータシステム構成によって実施されてよい。これらの実施形態は、また、ネットワークを通じてリンクされた遠隔処理装置によってタスクを実施される分散コンピューティング環境でも実施することができる。

10

【0104】

上記の実施形態を念頭におくと、実施形態は、コンピュータシステムに記憶されたデータを伴う様々なコンピュータ実行動作を利用可能であることが理解される。これらの動作は、物理量の物理的操作を必要とする動作である。本明細書で説明されて実施形態の一部を構成しているいずれの動作も、有用なマシン動作である。実施形態は、これらの動作を実施するためのデバイスまたは装置にも関する。装置は、特殊用途コンピュータ用に、特別に構築されてよい。特殊用途コンピュータとして定義されるときは、そのコンピュータは、特殊用途のために尚も動作可能でありつつも、特殊用途の一部ではないその他の処理、プログラム実行、またはルーチンも実施することができる。或いは、動作は、コンピュータメモリやキャッシュに記憶されたまたはネットワークを通じて得られる1つまたはそれ以上のコンピュータプログラムによって選択的にアクティブにされるまたは構成される汎用コンピュータによって処理されてよい。ネットワークを通じてデータが得られるときは、そのデータは、例えばコンピューティングリソースのクラウドなどの、ネットワーク上のその他のコンピュータによって処理されてよい。

20

【0105】

1つまたはそれ以上の実施形態は、コンピュータ可読媒体上のコンピュータ可読コードとしても作成することができる。コンピュータ可読媒体は、コンピュータシステムによって後ほど読み出し可能なデータを記憶することができる任意のデータストレージデバイスである。コンピュータ可読媒体の例には、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)、一度のみ記録可能なCD(CD-R)、書き換え可能なCD(CD-RW)、磁気テープ、ならびにその他の光および非光データストレージデバイスがある。コンピュータ可読媒体としては、コンピュータ可読コードが分散方式で記憶および実行されるようにネットワーク結合コンピュータシステムに分散されたコンピュータ可読有形媒体が挙げられる。

30

【0106】

方法動作は、特定の順序で説明されたが、オーバーレイ動作の処理が所望の形で実施される限り、動作と動作の間にその他のハウスキーピング動作が実施されてよいこと、僅かに異なる時点で発生するように動作が調節されてよいこと、または処理に関連した様々な間隔での処理動作の発生を可能にするシステムに動作が分散されてよいことが理解される。

40

【0107】

任意の実施形態からの1つまたはそれ以上の特徴は、本開示に記載された様々な実施形態で説明される範囲から逸脱することなくその他の任意の実施形態の1つまたはそれ以上の特徴と組み合わせられてよい。

【0108】

以上の実施形態は、理解を明瞭にする目的で幾らか詳細に説明されてきたが、添付の特許請求の範囲内で、特定の変更および修正が可能であることが明らかである。したがって、これらの実施形態は、例示的且つ非限定的であると見なされ、これらの実施形態は、本

50

明細書で与えられる詳細に限定されず、添付の特許請求の範囲およびそれらに等価な形態の範囲内で変更されてよい。

本発明は、たとえば、以下のような態様で実現することもできる。

適用例 1 :

システムであって、

第 1 の R F 信号を生成するためのベース R F 生成器であって、前記第 1 の R F 信号は、ある状態から別の状態へ遷移し、前記第 1 の R F 信号のある状態から別の状態への遷移は、プラズマインピーダンスの変化をもたらす、ベース R F 生成器と、

第 2 の R F 信号を生成するための二次 R F 生成器であって、前記第 2 の R F 信号は、前記プラズマインピーダンスの変化を安定化させるために、ある状態から別の状態へ遷移する、二次 R F 生成器と、

前記二次 R F 生成器につながれたコントローラであって、前記第 2 の R F 信号がある状態から別の状態へ遷移するときに前記第 2 の R F 信号のエッジランピングを実施するために、前記二次 R F 生成器にパラメータ値を提供するためのものであるコントローラと、を備えるシステム。

10

適用例 2 :

適用例 1 に記載のシステムであって、

前記エッジランピングは、正または負の傾きを有する、システム。

20

適用例 3 :

適用例 1 に記載のシステムであって、

前記パラメータ値は、周波数値、電力値、またはそれらの組み合わせを含む、システム。

適用例 4 :

無線周波数 (R F) 信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するためのシステムであって、

一次生成器と、

二次生成器と、を備え、

前記一次生成器は、

一次 R F 信号を生成するための一次駆動・増幅器と、

デジタルパルス信号の状態を識別するための一次デジタル信号プロセッサ (D S P) であって、前記状態は、第 1 の状態と、第 2 の状態とを含み、前記一次 D S P は、前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときの第 1 の一次周波数入力を識別するため、および前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときの第 2 の一次周波数入力を識別するため、のものである、一次 D S P と、

前記一次 D S P において前記一次駆動・増幅器につながれた第 1 の一次自動周波数調整器 (A F T) であって、前記第 1 の一次 A F T は、前記一次 D S P から前記第 1 の一次周波数入力を受信するため、および前記第 1 の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 R F 信号を調整するため、のものである、第 1 の一次 A F T と、

前記一次 D S P において前記一次駆動・増幅器につながれた第 2 の一次 A F T であって、前記第 2 の一次 A F T は、前記一次 D S P から前記第 2 の一次周波数入力を受信するため、および前記第 2 の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 R F 信号を調整するため、のものである、第 2 の一次 A F T と、を含み、

前記一次 R F 信号は、前記第 1 の一次周波数入力から前記第 2 の一次周波数入力への一次遷移速度を有し、

前記二次生成器は、

30

40

50

二次 R F 信号を生成するための二次駆動・増幅器と、
前記デジタルパルス信号の状態を識別するための二次デジタル信号プロセッサ (D S P) であって、前記二次 D S P は、前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときの第 1 の二次周波数入力を識別するため、および前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときの第 2 の二次周波数入力を識別するため、のものである、二次 D S P と、
前記二次 D S P において前記二次駆動・増幅器につながれた第 1 の二次 A F T であって、前記第 1 の二次 A F T は、前記二次 D S P から前記第 1 の二次周波数入力を受信するため、および前記第 1 の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 R F 信号を調整するため、のものである、第 1 の二次 A F T と、
前記二次 D S P において前記二次駆動・増幅器につながれた第 2 の二次 A F T であって、前記第 2 の二次 A F T は、前記二次 D S P から前記第 2 の二次周波数入力を受信するため、および前記第 2 の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 R F 信号を調整するため、のものである、第 2 の二次 A F T と、を含み、
前記二次 D S P は、前記第 1 の二次周波数入力から前記第 2 の二次周波数入力への二次遷移速度を決定するように構成され、前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度と異なる、システム。

10

適用例 5 :

適用例 4 に記載のシステムであって、
前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度未満である、システム。

20

適用例 6 :

適用例 4 に記載のシステムであって、
前記第 1 の二次周波数入力から前記第 2 の二次周波数入力への遷移にかかる第 1 の時間の長さは、前記第 1 の一次周波数入力から前記第 2 の一次周波数入力への遷移にかかる第 2 の時間の長さよりも長い、システム。

適用例 7 :

適用例 6 に記載のシステムであって、
前記第 1 の時間の長さは、プラズマインピーダンスが安定化するためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、システム。

30

適用例 8 :

適用例 6 に記載のシステムであって、
前記第 1 の時間の長さは、インピーダンス整合回路が前記二次 R F 生成器の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスをプラズマチャンバの 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスに一致させるためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、システム。

適用例 9 :

適用例 4 に記載のシステムであって、
前記第 1 の状態は、ハイの状態であり、前記第 2 の状態は、ロウの状態である、システム。

40

適用例 10 :

適用例 4 に記載のシステムであって、
前記第 1 の状態は、オン状態であり、前記第 2 の状態は、オフ状態である、システム。

適用例 11 :

無線周波数 (R F) 信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するためのシステムであって、

50

一次生成器と、
二次生成器と、を備え、
前記一次生成器は、
一次 R F 信号を生成するための一次駆動・増幅器と、
前記一次駆動・増幅器につながれた 1 つまたはそれ以上の一次コントローラであって
、
前記デジタルパルス信号の状態を識別することであって、前記状態は、第 1 の状態
と、第 2 の状態とを含む、前記デジタルパルス信号の状態の識別と、
前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときに、第 1 の一次電力入力に対
応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 R F 信号を調整することと、
前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときに、第 2 の一次電力入力に対
応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 R F 信号を調整することと、を
行うように構成された 1 つまたはそれ以上の一次コントローラと、を含み、
前記一次 R F 信号は、前記第 1 の一次電力入力から前記第 2 の一次電力入力への一次遷
移速度を有し、
前記二次生成器は、
二次 R F 信号を生成するための二次駆動・増幅器と、
前記二次駆動・増幅器につながれた 1 つまたはそれ以上の二次コントローラであって
、
前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときに、第 1 の二次電力入力に対
応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 R F 信号を調整することと、
前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときに、第 2 の二次電力入力に対
応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 R F 信号を調整することと、
前記第 1 の二次電力入力から前記第 2 の二次電力入力への二次遷移速度を決定する
ことと、を行うように構成された 1 つまたはそれ以上の二次コントローラと、を含み、
前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度と異なる、システム。

適用例 1 2 :

適用例 1 1 に記載のシステムであって、
前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度未満である、システム。

適用例 1 3 :

適用例 1 1 に記載のシステムであって、
前記第 1 の二次電力入力から前記第 2 の二次電力入力への遷移にかかる第 1 の時間の長
さは、前記第 1 の一次電力入力から前記第 2 の一次電力入力への遷移にかかる第 2 の時間
の長さよりも長い、システム。

適用例 1 4 :

適用例 1 3 に記載のシステムであって、
前記第 1 の時間の長さは、プラズマインピーダンスが前記第 2 の状態で安定化するため
にかかる第 3 の時間の長さよりも短い、システム。

適用例 1 5 :

適用例 1 3 に記載のシステムであって、
前記第 1 の時間の長さは、インピーダンス整合回路が前記二次生成器の 1 つまたはそれ
以上の部分のインピーダンスをプラズマチャンバの 1 つまたはそれ以上の部分のインピー
ダンスに一致させるためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、システム。

適用例 1 6 :

適用例 1 1 に記載のシステムであって、

前記第 1 の状態は、ハイの状態であり、前記第 2 の状態は、ロウの状態である、システム。

適用例 17 :

適用例 11 に記載のシステムであって、

前記第 1 の状態は、オン状態であり、前記第 2 の状態は、オフ状態である、システム。

適用例 18 :

無線周波数 (RF) 信号の電力レベルの変化がプラズマインピーダンスに及ぼす影響を軽減するための方法であって、

デジタルパルス信号の状態を識別することであって、前記状態は、第 1 の状態と、第 2 の状態とを含む、前記デジタルパルス信号の状態の識別と、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときの第 1 の一次周波数入力を識別することと、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときの第 2 の一次周波数入力を識別することと、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときに、前記第 1 の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように一次 RF 信号を調整することと、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときに、前記第 2 の一次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記一次 RF 信号を調整することであって、前記一次 RF 信号は、前記第 1 の一次周波数入力から前記第 2 の一次周波数入力への一次遷移速度を有する、前記一次 RF 信号の調整と、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときの第 1 の二次周波数入力を識別することと、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときの第 2 の二次周波数入力を識別することと、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 の状態にあるときに、前記第 1 の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように二次 RF 信号を調整することと、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 の状態にあるときに、前記第 2 の二次周波数入力に対応するプラズマインピーダンスを達成するように前記二次 RF 信号を調整することと、

前記第 1 の二次周波数入力から前記第 2 の二次周波数入力への二次遷移速度を決定することであって、前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度と異なる、二次遷移速度の決定と、を備える方法。

適用例 19 :

適用例 18 に記載の方法であって、

前記二次遷移速度は、前記一次遷移速度未満である、方法。

適用例 20 :

適用例 18 に記載の方法であって、

前記第 1 の二次周波数入力から前記第 2 の二次周波数入力への遷移にかかる第 1 の時間の長さは、前記第 1 の一次周波数入力から前記第 2 の一次周波数入力への遷移にかかる第 2 の時間の長さよりも長い、方法。

適用例 21 :

適用例 20 に記載の方法であって、

前記第 1 の時間の長さは、プラズマインピーダンスが前記第 2 の状態で安定化するためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、方法。

適用例 22 :

適用例 20 に記載の方法であって、

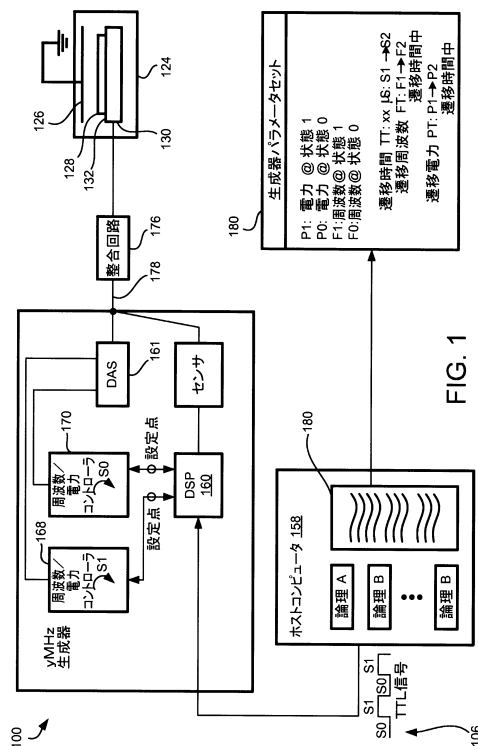
前記第 1 の時間の長さは、前記二次生成器の 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスをプラズマチャンバの 1 つまたはそれ以上の部分のインピーダンスに一致させるためにかかる第 3 の時間の長さよりも短い、方法。

適用例 2 3 :

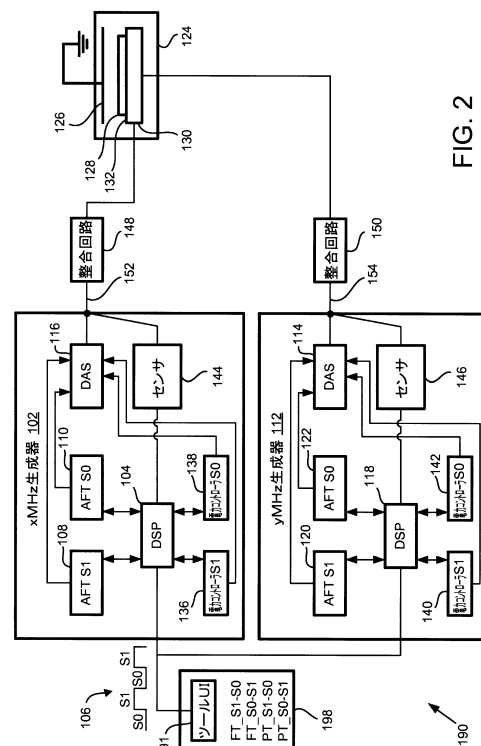
適用例 20 に記載の方法であって、

前記第 1 の状態は、ハイの状態であり、前記第 2 の状態は、ロウの状態である、方法。

【圖 1】



【圖 2】



【図 3】

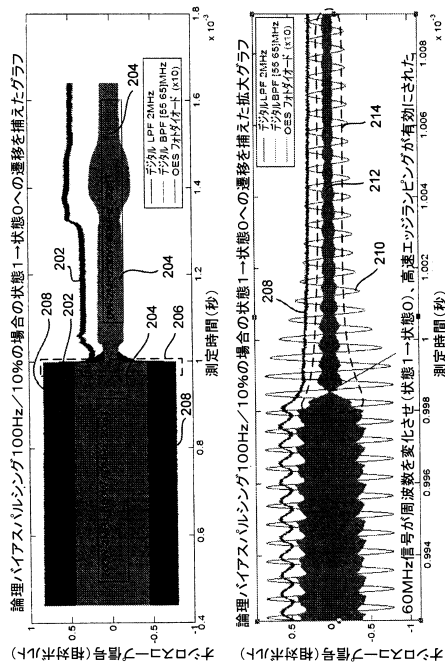


FIG. 3

【図 4】

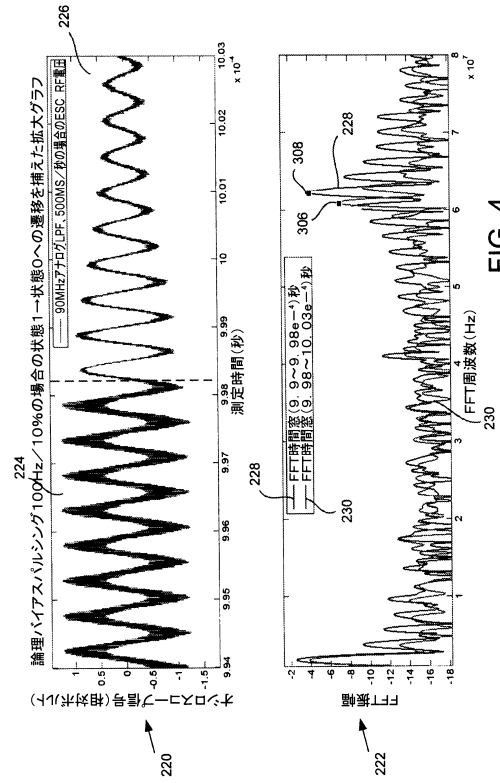


FIG. 4

【図 5】

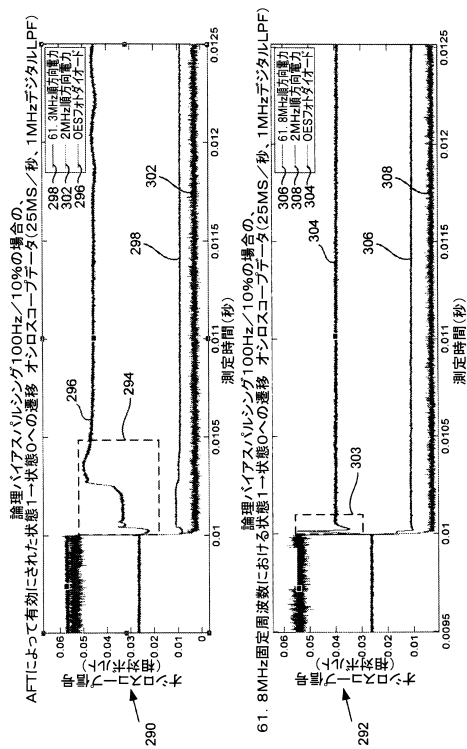


FIG. 5

【図 6】

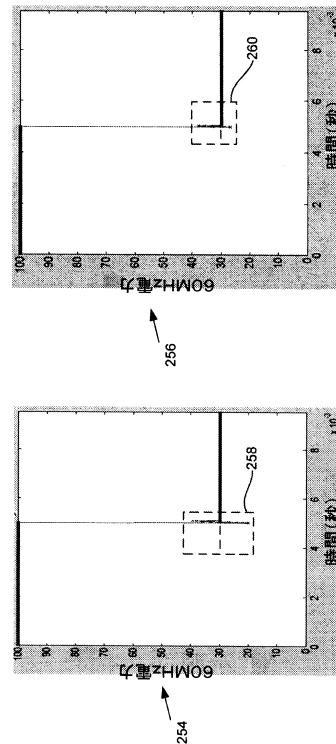


FIG. 6

【図 7】

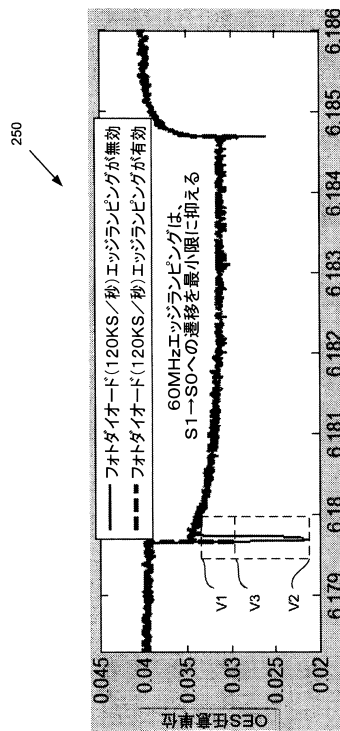


FIG. 7

【図 8】

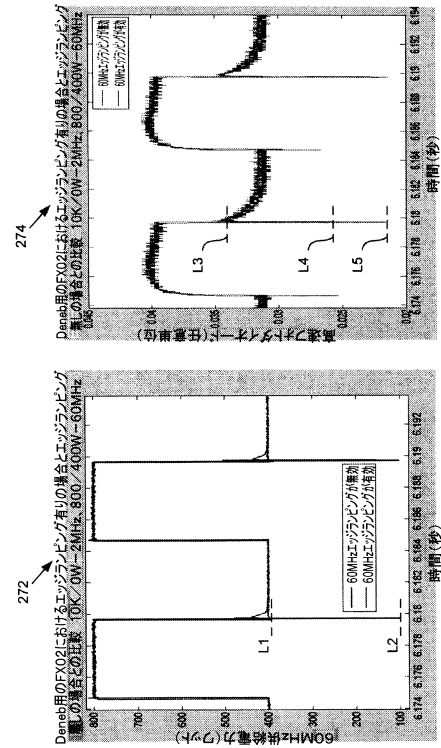


FIG. 8

【図 9】

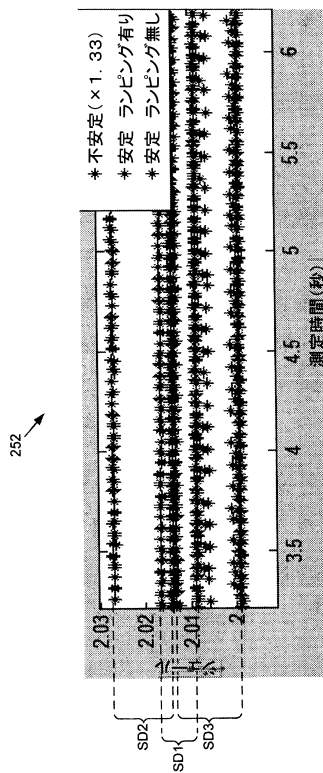


FIG. 9

【図 10】

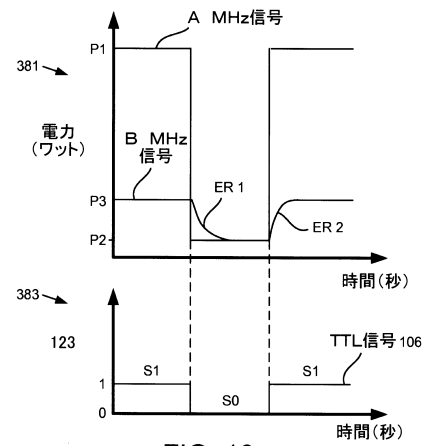


FIG. 10

【図 11】

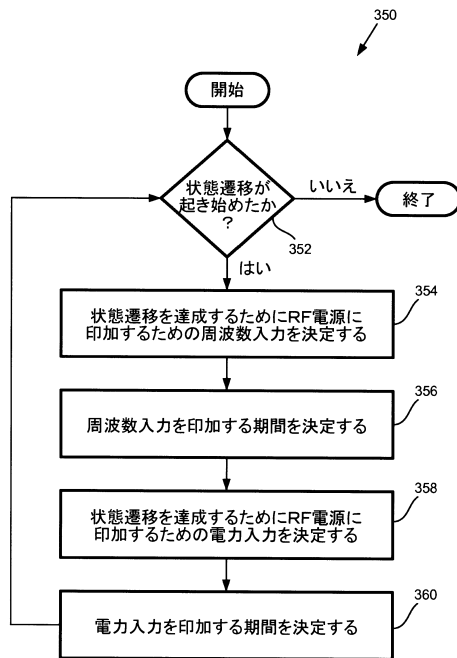


FIG. 11

フロントページの続き

- (72)発明者 ブラッドフォード・ジェイ．・リンデーカー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント，クッシング・パークウェイ，4 6 5
0
- (72)発明者 アンドリュー・エス．・フォン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント，クッシング・パークウェイ，4 6 5
0

審査官 道祖土 新吾

- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 2 9 8 2 8 7 (U S , A 1)
特表 2 0 0 3 - 5 3 2 9 8 6 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 1 4 7 6 7 3 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 4 6 0 9 1 (J P , A)
特許第 4 9 3 2 9 4 2 (J P , B 2)
特開 2 0 0 0 - 2 6 9 1 9 8 (J P , A)
特表 2 0 0 5 - 5 0 0 6 8 4 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 1 2 2 9 6 6 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 2 4 0 0 4 2 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 7 / 0 2 4 7 0 7 4 (U S , A 1)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 5 H 1 / 4 6
H 0 1 L 2 1 / 3 0 2
H 0 1 L 2 1 / 3 1
H 0 3 H 7 / 4 0