

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6420528号
(P6420528)

(45) 発行日 平成30年11月7日(2018.11.7)

(24) 登録日 平成30年10月19日(2018.10.19)

(51) Int.Cl.

F 1

H05H 1/46 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01)H05H 1/46 R
H05H 1/46 M
H01L 21/302 101B

請求項の数 25 外国語出願 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2013-31826 (P2013-31826)
 (22) 出願日 平成25年2月21日 (2013.2.21)
 (65) 公開番号 特開2013-191554 (P2013-191554A)
 (43) 公開日 平成25年9月26日 (2013.9.26)
 審査請求日 平成28年2月22日 (2016.2.22)
 (31) 優先権主張番号 61/602,040
 (32) 優先日 平成24年2月22日 (2012.2.22)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 13/531,491
 (32) 優先日 平成24年6月22日 (2012.6.22)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 13/620,386
 (32) 優先日 平成24年9月14日 (2012.9.14)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(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 945
 38, フレモント, クッシング・パークウ
 エイ 4650
 (74) 代理人 110000028
 特許業務法人明成国際特許事務所
 (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】状態に基づいた電力および周波数の調整

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

システムであって、

プラズマチャンバの電極に接続された第1発生器であって、第1高周波信号を前記電極に供給するための第1電源と、パルス信号が第1の状態にある時に第1の第1周波数入力を前記第1電源に提供するための第1の第1自動周波数制御部と、前記パルス信号が第2の状態にある時に第2の第1周波数入力を前記第1電源に提供するための第2の第1自動周波数制御部と、を含み、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、第1発生器と、

前記電極に接続された第2発生器であって、第2高周波信号を前記電極に供給するための第2電源であって、前記第1高周波信号は、前記第2高周波信号より低い周波数を有する、第2電源と、前記パルス信号が前記第1の状態である時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、第1の第2周波数入力を前記第2電源に提供するための第1の第2自動周波数制御部と、前記パルス信号が前記第2の状態である時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、第2の第2周波数入力を前記第2電源に提供するための第2の第2自動周波数制御部と、を含み、前記第1の第2周波数入力と前記第2の第2周波数入力は、トレーニングルーチンにおいてプラズマの前記インピーダンスの変化に応じた周波数からあらかじめ定められている、第2発生器と、

前記パルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、

10

20

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 発生器は、デジタル信号プロセッサから受信した前記第 1 の第 2 周波数入力または前記第 2 の第 2 周波数入力を前記第 2 電源に転送するためのセレクタを含む、システム。

【請求項 3】

システムであって、

基板を支持するための表面を有する下側電極と、前記下側電極の上に配置された上側電極と、を含むプラズマチャンバであって、前記上側電極は電気的に接地されている、プラズマチャンバと、

前記下側電極に接続された第 1 発生器であって、第 1 高周波信号を前記下側電極に供給するための第 1 電源を含む、第 1 発生器と、

前記下側電極に接続された第 2 発生器であって、第 2 高周波信号を前記下側電極に供給するための第 2 電源を含み、前記第 1 高周波信号は、前記第 2 高周波信号より低い周波数を有する、第 2 発生器と、

パルス信号を生成するためのデジタルパルス源であって、前記第 1 発生器および前記第 2 発生器に接続され、前記パルス信号は、第 1 の状態と第 2 の状態を含む 2 つの状態の間を移行する、デジタルパルス源と、

を備え、

前記第 1 発生器は、前記パルス信号が第 1 の状態にある時に第 1 の第 1 周波数入力を前記第 1 電源に提供するための第 1 の第 1 自動周波数制御部と、前記パルス信号が第 2 の状態にある時に第 2 の第 1 周波数入力を前記第 1 電源に提供するための第 2 の第 1 自動周波数制御部と、を含み、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り、

前記第 2 発生器は、前記パルス信号が前記第 1 の状態にある時に第 1 の第 2 周波数入力を前記第 2 電源に提供するための第 1 の第 2 自動周波数制御部を含み、前記第 1 の第 2 自動周波数制御部は、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第 1 の第 2 周波数入力を提供し、

前記第 2 発生器は、前記パルス信号が第 2 の状態にある時に第 2 の第 2 周波数入力を前記第 2 電源に提供するための第 2 の第 2 自動周波数制御部を含み、前記第 2 の第 2 自動周波数制御部は、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第 2 の第 2 周波数入力を提供し、

前記第 1 の第 2 周波数入力と前記第 2 の第 2 周波数入力は、トレーニングルーチンにおいてプラズマの前記インピーダンスの変化に応じた周波数からあらかじめ定められている、システム。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のシステムであって、さらに、

前記第 1 の第 2 自動周波数制御部および前記第 2 の第 2 自動周波数制御部の間で選択を行って前記第 1 の第 2 周波数入力または前記第 2 の第 2 周波数入力を前記第 2 電源に提供するため、前記デジタルパルス源と前記第 1 の第 2 および第 2 の第 2 自動周波数制御部との間に接続されたセレクタを備え、

前記セレクタは、前記パルス信号の前記状態に基づいて前記第 1 の第 2 自動周波数制御部および前記第 2 の第 2 自動周波数制御部の間で選択を行うよう構成されている、システム。

【請求項 5】

請求項 3 に記載のシステムであって、

前記第 1 高周波信号は、前記パルス信号が前記第 1 の状態である時に第 1 の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第 2 の状態である時に第 2 の電力レベルにあり、前記第 1 の電力レベルは前記第 2 の電力レベルよりも高く、

10

20

30

40

50

前記第2高周波信号は、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第3の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第4の電力レベルにあり、前記第3の電力レベルは前記第4の電力レベルよりも低い、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3の電力レベルはゼロまたは正の値である、システム。

【請求項7】

請求項3に記載のシステムであって、

前記第1高周波信号は、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第1の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態である時に第2の電力レベルにあり、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも高く、10

前記第2高周波信号は、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第3の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第4の電力レベルにあり、前記第3の電力レベルは前記第4の電力レベルと同じである、システム。

【請求項8】

請求項7に記載のシステムであって、

前記第3の電力レベルは正の値である、システム。

【請求項9】

請求項3に記載のシステムであって、

前記第1高周波信号は、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第1の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態である時に第2の電力レベルにあり、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも高く、20

前記第2高周波信号は、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第3の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第4の電力レベルにあり、前記第3の電力レベルは前記第4の電力レベルよりも高い、システム。

【請求項10】

請求項9に記載のシステムであって、

前記第3の電力レベルはゼロまたは正の値である、システム。

【請求項11】

請求項3に記載のシステムであって、

前記デジタルパルス源は、クロック発振器またはトランジスタ・トランジスタロジックを含む、システム。30

【請求項12】

請求項3に記載のシステムであって、

前記第1の第1周波数入力は、前記第1の第2周波数入力および前記第2の第2周波数入力とは異なる、システム。

【請求項13】

請求項4に記載のシステムであって、

前記セレクタは、マルチブレクサを含む、システム。

【請求項14】

システムであって、

パルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、

第1発生器であって、

第1高周波信号をプラズマチャンバの電極に供給するために前記電極に接続された第1電源と、40

前記パルス信号を受信して前記パルス信号の2つの状態の内の第1の状態および第2の状態を識別するために前記デジタルパルス源に接続された第1プロセッサであって、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第1プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にあるという決定に基づいて第1電力値を前記第1電源に提供することを決定するために前記第1プロセッサに接続された第1の第1電力コ50

ントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にあるという決定に基づいて第2電力値を前記第1電源に提供することを決定するために前記第1プロセッサに接続された第2の第1電力コントローラと、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第1高周波信号の周波数を提供するよう構成された自動周波数制御部と、を含む、第1発生器と、

第2発生器であって、

第2高周波信号を前記電極に供給するために前記電極に接続された第2電源であって、前記第1高周波信号は、前記第2高周波信号より低い周波数を有する、第2電源と、

10

前記パルス信号を受信して前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかを識別するために前記デジタルパルス源に接続された第2プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、第1の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第1の第2電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、第2の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第2の第2電力コントローラと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第2高周波信号の第1の周波数入力を提供するよう構成された第1の自動周波数制御部と、

20

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第2高周波信号の第2の周波数入力を提供するよう構成された第2の自動周波数制御部と、を含む、第2発生器と、を備え、

前記第1の周波数入力と前記第2の周波数入力は、トレーニングルーチンにおいてプラズマの前記インピーダンスの変化に応じた周波数からあらかじめ定められている、システム。

30

【請求項15】

請求項14に記載のシステムであって、

前記第2発生器は、前記第2プロセッサから受信した前記第1の周波数入力または前記第2の周波数入力を前記第2電源に転送するためのセレクタを含む、システム。

【請求項16】

システムであって、

基板を支持するための表面を有する下側電極と、前記下側電極の上に配置された上側電極と、を含むプラズマチャンバであって、前記上側電極は電気的に接地されている、プラズマチャンバと、

2つの状態の間を移行するパルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、

40

第1発生器であって、

第1高周波信号を前記下側電極に供給するために前記下側電極に接続された第1電源と、

前記パルス信号を受信して、前記パルス信号の前記2つの状態の内の第1の状態および前記2つの状態の内の第2の状態を識別するために、前記デジタルパルス源に接続された第1プロセッサであって、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、第1のプロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかに基づいて第1電力値を前記第1電源に提供するか否かを決定するために前記第1プロセッサに接続された電力コントローラと、

50

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第1電源に前記第1高周波信号の第1の第1周波数を提供するよう構成された第1の第1自動周波数制御部と、前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第1電源に前記第1高周波信号の第2の第1周波数を提供するよう構成された第2の第1自動周波数制御部と、を含む、第1発生器と、

第2発生器であって、

第2高周波信号を前記下側電極に供給するために前記下側電極に接続された第2電源であって、前記第1高周波信号は、前記第2高周波信号より低い周波数を有する第2電源と、

10

前記パルス信号を受信して前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかを識別するために前記デジタルパルス源に接続された第2プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、第1の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第1の電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、第2の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第2の電力コントローラと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第2高周波信号の第1の第2周波数を提供するよう構成された第1の第2自動周波数制御部と、

20

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第2高周波信号の第2の第2周波数を提供するよう構成された第2の第2自動周波数制御部と、を含む、第2発生器と、を備え、

前記第1の第2周波数と前記第2の第2周波数は、トレーニングルーチンにおいてプラズマの前記インピーダンスの変化に応じた周波数からあらかじめ定められている、システム。

30

【請求項17】

請求項16に記載のシステムであって、

前記第1高周波信号は、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第1の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態である時に第2の電力レベルにあり、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも高く、

前記第1の第2電力値は前記第2の第2電力値よりも低い、システム。

【請求項18】

請求項16に記載のシステムであって、

前記第1高周波信号は、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第1の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態である時に第2の電力レベルにあり、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも高く、

40

前記第1の第2電力値は前記第2の第2電力値と同じである、システム。

【請求項19】

請求項16に記載のシステムであって、

前記第1高周波信号は、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第1の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態である時に第2の電力レベルにあり、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも高く、

前記第1の第2電力値は前記第2の第2電力値よりも高い、システム。

【請求項20】

請求項16に記載のシステムであって、

50

前記パルス信号が前記第1の状態にある時、前記第1電力値は正の電力値である、システム。

【請求項21】

請求項16に記載のシステムであって、

前記第1の第2電力値は、前記第2の第2電力値よりも低い、同じ、または、高い、システム。

【請求項22】

システムであって、

パルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、

第1発生器であって、

第1高周波信号をプラズマチャンバの電極に供給するために前記電極に接続された第1電源と、

前記パルス信号を受信して、前記パルス信号の2つの状態の内の第1の状態および前記2つの状態の内の第2の状態を識別するために、前記デジタルパルス源に接続された第1プロセッサであって、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第1プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第1電力値を前記第1電源に提供するために前記第1プロセッサに接続された第1の第1電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第1電力値を前記第1電源に提供するために前記第1プロセッサに接続された第2の第1電力コントローラと、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第1高周波信号の第1の第1周波数入力を前記第1電源に提供するよう構成された第1の第1自動周波数制御部と、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第1高周波信号の第2の第1周波数入力を前記第1電源に提供するよう構成された第2の第1自動周波数制御部と、を含む、第1発生器と、

第2発生器であって、

第2高周波信号を前記電極に供給するために前記電極に接続された第2電源であって、前記第1高周波信号は、前記第2高周波信号より低い周波数を有する、第2電源と、

前記パルス信号を受信して前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかを識別するために前記デジタルパルス源に接続された第2プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第1の第2電力コントローラであって、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、第1の第2電力値を前記第2電源に提供するよう構成されている第1の第2電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第2の第2電力コントローラであって、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、第2の第2電力値を前記第2電源に提供するよう構成されている第2の第2電力コントローラと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第2電源に第1の第2周波数入力を提供するよう構成された第1の第2自動周波数制御部であって、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第1の第2周波数入力を前記第2電源に提供するよう構成されている、第1の第2自動周波数制御部と、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第2電源に第2の第2周波数入力を前記第2電源に提供するよう構成された第2の第2自動周波数制御部であって、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第2の第2周波数入力を前記第2電源に提供するよう構成されている、第2の第2自動周波数制

10

20

30

40

50

御部と、を含む、第2発生器と、
を備え、

前記第1の第2周波数入力と前記第2の第2周波数入力は、トレーニングルーチンにおいてプラズマの前記インピーダンスの変化に応じた周波数からあらかじめ定められている、システム。

【請求項23】

請求項22に記載のシステムであって、

前記第1発生器は、前記第1プロセッサから受信した前記第1の第1周波数入力または前記第1プロセッサから受信した前記第2の第1周波数入力を前記第1電源に転送するよう構成されたセレクタを含み、

前記第2発生器は、前記第2プロセッサから受信した前記第1の第2周波数入力または前記第2プロセッサから受信した前記第2の第2周波数入力を前記第2電源に転送するよう構成されたセレクタを含む、システム。

【請求項24】

システムであって、

基板を支持するための表面を有する下側電極と、前記下側電極の上に配置された上側電極と、を含むプラズマチャンバであって、前記上側電極は電気的に接地されている、プラズマチャンバと、

2つの状態の間を移行するパルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、

第1発生器であって、

第1高周波信号を前記下側電極に供給するために前記下側電極に接続された第1電源と、

前記パルス信号を受信して前記パルス信号の前記2つの状態の内の第1の状態および前記2つの状態の内の第2の状態を識別するために前記デジタルパルス源に接続された第1プロセッサであって、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である第1プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第1電力値を前記第1電源に提供するために前記第1プロセッサに接続された第1の第1電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第1電力値を前記第1電源に提供するために前記第1プロセッサに接続された第2の第1電力コントローラと、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第1高周波信号の第1の第1周波数を前記第1電源に提供するよう構成された第1の第1自動周波数制御部と、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第1高周波信号の第2の第1周波数を前記第1電源に提供するよう構成された第2の第1自動周波数制御部と、を含む、第1発生器と、

第2発生器であって、

第2高周波信号を前記下側電極に供給するために前記下側電極に接続された第2電源であって、前記第1高周波信号は、前記第2高周波信号より低い周波数を有する、第2電源と、

前記パルス信号を受信して前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかを識別するために前記デジタルパルス源に接続された第2プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第1の第2電力コントローラであって、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第1の第2電力値を前記第2電源に提供するように構成されている、第1の第2電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第2の第2電力コントローラであって、前記

10

20

30

40

50

プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第2の第2電力値を前記第2電源に提供するように構成されている、第2の第2電力コントローラと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第2高周波信号の第1の第2周波数を前記第2電源に提供するよう構成された第1の第2自動周波数制御部であって、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第1の第2周波数入力を前記第2電源に提供するように構成されている、第1の第2自動周波数制御部と、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第2高周波信号の第2の第2周波数を前記第2電源に提供するよう構成された第2の第2自動周波数制御部であって、前記プラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンスの変化に応答することなく、前記第2の第2周波数入力を前記第2電源に提供するように構成されている、第2の第2自動周波数制御部と、を含む、第2発生器と、

を備え、

前記第1の第2周波数と前記第2の第2周波数は、トレーニングルーチンにおいてプラズマの前記インピーダンスの変化に応じた周波数からあらかじめ定められている、システム。

【請求項25】

請求項24に記載のシステムであって、

前記第1の第2電力値は、前記第2の第1電力値よりも低い、同じ、または、高い、システム。

【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時間の改善に関し、特に、状態に基づいた電力および周波数の調整のための装置、方法、および、コンピュータプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

一部のプラズマ処理システムでは、複数の高周波(RF)信号が、プラズマチャンバ内の1または複数の電極に供給される。RF信号は、プラズマチャンバ内でプラズマを生成する助けとなる。プラズマは、様々な動作、例えば、下側電極上に設置された基板の洗浄、基板のエッティングなどに用いられる。

【0003】

RF信号を生成するRF電源とプラズマチャンバとの間には、通常、インピーダンス整合回路が配置される。インピーダンス整合回路は、負荷(例えば、プラズマチャンバ内のプラズマ)のインピーダンスを供給源(例えば、RF電源)のインピーダンスと整合させる。しかしながら、特定の状況では、インピーダンス整合は、プラズマインピーダンスの変化に応答するのに十分なほど速くない。

【0004】

本開示の実施形態は、このような課題に対処するものである。

【発明の概要】

【0005】

本開示の実施形態は、状態に基づいて電力および周波数を調整するための装置、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、処理、装置、システム、デバイス、または、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】

10

20

30

40

50

一実施形態では、デジタルパルス信号の状態の変化に伴って、複数の R F 源によって生成される R F 信号の電力および / または周波数が変更される。例えば、デジタルパルス信号の状態が S 1 にある時、第 1 の R F 源が、第 1 の電力値および第 1 の周波数を有する電力信号を生成し、第 2 の R F 源が、第 2 の電力値および第 2 の周波数を有する電力信号を生成する。状態 S 1 の受信が、第 1 の電力値および第 1 の周波数を有する電力信号の生成と、第 2 の電力値および第 2 の周波数を有する電力信号の生成とをトリガする。この例において、デジタルパルス信号の状態が S 0 の時、第 1 の R F 源は、第 3 の電力値および第 3 の周波数を有する電力信号を生成する。第 3 の周波数は、第 1 の周波数と同じであっても同じでなくてもよい。この例において、デジタルパルス信号の状態が S 0 の時、第 2 の R F 源は、第 4 の電力値および第 4 の周波数を有する電力信号を生成する。第 4 の周波数は、第 2 の周波数と同じであっても同じでなくてもよい。状態 S 0 の受信が、第 3 の電力値および第 3 の周波数を有する電力信号の生成と、第 4 の電力値および第 4 の周波数を有する電力信号の生成とをトリガする。トリガの結果、プラズマチャンバ内のプラズマインピーダンスの変化に応答するための応答時間が短くなる。一実施形態では、第 2 および第 4 の電力値は同じである。10

【 0 0 0 7 】

一実施形態では、システムが、電極に接続された第 1 発生器を備える。第 1 発生器は、第 1 高周波 (R F) 信号を電極に供給するための第 1 電源を備える。第 1 発生器は、さらに、パルス信号が第 1 の状態にある時に第 1 の周波数入力を第 1 電源に提供するための自動周波数制御部 (A F C) を備える。システムは、さらに、電極に接続された第 2 発生器を備える。第 2 発生器は、第 2 R F 信号を電極に供給するための第 2 電源を備える。第 2 発生器は、さらに、パルス信号が第 1 の状態にある時に第 2 の周波数入力を第 2 電源に提供するための A F C を備える。第 2 発生器は、パルス信号が第 2 の状態にある時に第 3 の周波数入力を第 2 電源に提供するための A F C を備える。システムは、パルス信号を生成するためのデジタルパルス源を備える。20

【 0 0 0 8 】

一実施形態では、システムが、基板を支持するための表面を有する下側電極をさらに備えたプラズマチャンバを備える。プラズマチャンバは、下側電極の上方に配置された上側電極を備える。上側電極は、電気的に接地されている。システムは、下側電極に接続された第 1 発生器を備える。第 1 発生器は、第 1 高周波 (R F) 信号を下側電極に供給するための第 1 電源を備える。システムは、さらに、下側電極に接続された第 2 発生器を備える。第 2 発生器は、第 2 R F 信号を下側電極に供給するための第 2 電源を備える。システムは、パルス信号を生成するためのデジタルパルス源を備える。デジタルパルス源は、第 1 発生器および第 2 発生器に接続される。第 1 発生器は、パルス信号が第 1 の状態にある時に第 1 の周波数入力を第 1 電源に提供するための第 1 の自動周波数制御部 (A F C) を備える。第 2 発生器は、パルス信号が第 1 の状態にある時に第 2 の周波数入力を第 2 電源に提供するための第 2 の A F C を備える。さらに、第 2 発生器は、パルス信号が第 2 の状態にある時に第 3 の周波数入力を第 2 電源に提供するための第 3 の A F C を備える。30

【 0 0 0 9 】

一実施形態では、システムが、パルス信号を生成するためのデジタルパルス源を備える。システムは、さらに、第 1 発生器を備える。第 1 発生器は、第 1 高周波 (R F) 信号を電極に供給するために電極に接続された第 1 電源を備える。第 1 発生器は、パルス信号を受信するためにパルス源に接続された第 1 プロセッサを備える。第 1 プロセッサは、パルス信号の 2 つの状態の内の第 1 の状態および第 2 の状態を識別するために用いられる。第 1 発生器は、さらに、パルス信号が第 1 の状態にあるか第 2 の状態にあるかに基づいて第 1 電力値を第 1 電源に提供するか否かを決定するために第 1 プロセッサに接続された電力コントローラを備える。第 1 発生器は、第 1 プロセッサから状態の識別を受信するために第 1 プロセッサに接続された自動周波数制御部 (A F C) を備える。A F C は、パルス信号が第 1 の状態にある時に第 1 R F 信号の周波数を提供するよう構成される。40

【 0 0 1 0 】

一実施形態において、システムは、さらに、第2発生器を備える。第2発生器は、第2RF信号を電極に供給するために電極に接続された第2電源を備える。第2発生器は、パルス信号を受信してパルス信号が第1の状態にあるか第2の状態にあるかを識別するためにパルス源に接続された第2プロセッサを備える。第2発生器は、さらに、パルス信号が第1の状態にある時に第1の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第1の電力コントローラを備える。第2発生器は、パルス信号が第2の状態にある時に第2の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第2の電力コントローラを備える。第2発生器は、さらに、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続された第1のAFCを備える。第1のAFCは、パルス信号が第1の状態にある時に第2RF信号の第1の周波数入力を提供するよう構成される。第2発生器は、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続された第2のAFCを備える。第2のAFCは、パルス信号が第2の状態にある時に第2RF信号の第2の周波数入力を提供するよう構成される。

【0011】

一実施形態では、システムが、基板を支持するための表面を有する下側電極をさらに備えたプラズマチャンバを備える。プラズマチャンバは、下側電極の上方に配置された上側電極を備える。上側電極は、電気的に接地されている。システムは、2つの状態の間で移行するパルス信号を生成するためのデジタルパルス源を備える。システムは、さらに、第1発生器を備える。第1発生器は、第1高周波(RF)信号を下側電極に供給するために下側電極に接続された第1電源を備える。第1発生器は、さらに、パルス信号を受信するためにパルス源に接続された第1プロセッサを備える。第1プロセッサは、パルス信号の2つの状態の内の第1の状態および第2の状態を識別するために用いられる。第1発生器は、さらに、パルス信号が第1の状態にあるか第2の状態にあるかに基づいて第1電力値を第1電源に提供するか否かを決定するために第1プロセッサに接続された電力コントローラを備える。第1発生器は、第1プロセッサから状態の識別を受信するために第1プロセッサに接続された自動周波数制御部(AFC)を備える。AFCは、パルス信号が第1の状態にある時に第1RF信号の周波数を提供するよう構成される。

【0012】

この実施形態において、システムは、さらに、第2RF信号を下側電極に供給するために下側電極に接続された第2電源を備えた第2発生器を備える。第2発生器は、パルス信号を受信してパルス信号が第1の状態にあるか第2の状態にあるかを識別するためにパルス源に接続された第2プロセッサを備える。第2発生器は、さらに、パルス信号が第1の状態にある時に第1の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第1の電力コントローラを備える。第2発生器は、さらに、パルス信号が第2の状態にある時に第2の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第2の電力コントローラを備える。第2発生器は、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続された第1のAFCを備える。第1のAFCは、パルス信号が第1の状態にある時に第2RF信号の周波数を提供するよう構成される。第2発生器は、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続された第2のAFCを備える。第2のAFCは、パルス信号が第2の状態にある時に第2RF信号の周波数を提供するよう構成される。

【0013】

一実施形態では、システムが、パルス信号を生成するためのデジタルパルス源を備える。システムは、第1発生器を備える。第1発生器は、さらに、第1高周波(RF)信号を電極に供給するために電極に接続された第1電源を備える。第1発生器は、パルス信号を受信するためにパルス源に接続された第1プロセッサを備える。第1プロセッサは、パルス信号の2つの状態の内の第1の状態および第2の状態を識別するために用いられる。第1発生器は、パルス信号が第1の状態にある時に第1の第1電力値を第1電源に提供するために第1プロセッサに接続された第1の第1電力コントローラを備える。第1発生器は、さらに、パルス信号が第2の状態にある時に第2の第1電力値を第1電源に提供するた

10

20

30

40

50

めに第1プロセッサに接続された第2の第1電力コントローラを備える。第1発生器は、第1プロセッサから状態の識別を受信するために第1プロセッサに接続された第1の第1自動周波数制御部（AFC）を備える。第1のAFCは、パルス信号が第1の状態にある時に第1RF信号の第1の第1周波数入力を提供するよう構成される。第1発生器は、第1プロセッサから状態の識別を受信するために第1プロセッサに接続された第2の第1AFCを備える。第2の第1AFCは、パルス信号が第2の状態にある時に第1RF信号の第2の第1周波数入力を提供するよう構成される。

【0014】

この実施形態において、システムは、第2発生器を備える。第2発生器は、第2RF信号を電極に供給するために電極に接続された第2電源を備える。第2発生器は、さらに、パルス信号を受信してパルス信号が第1の状態にあるか第2の状態にあるかを識別するためにパルス源に接続された第2プロセッサを備える。第2発生器は、パルス信号が第1の状態にある時に第1の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第1の第2電力コントローラを備える。第2発生器は、パルス信号が第2の状態にある時に第2の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第2の第2電力コントローラを備える。第2発生器は、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続された第1の第2AFCを備える。第1の第2AFCは、パルス信号が第1の状態にある時に第2RF信号の第1の第2周波数入力を提供するよう構成される。第2発生器は、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続された第2の第2AFCを備える。第2の第2AFCは、パルス信号が第2の状態にある時に第2RF信号の第2の第2周波数入力を提供するよう構成される。

10

【0015】

一実施形態では、システムが、基板を支持するための表面を有する下側電極を備えたプラズマチャンバを備える。プラズマチャンバは、下側電極の上方に配置された上側電極を備える。上側電極は、電気的に接地されている。システムは、パルス信号を生成するためのデジタルパルス源を備える。パルス信号は、2つの状態の間を移行する。システムは、第1発生器を備える。第1発生器は、第1高周波（RF）信号を下側電極に供給するために下側電極に接続された第1電源を備える。第1発生器は、さらに、パルス信号を受信するためにパルス源に接続された第1プロセッサを備える。第1プロセッサは、パルス信号の2つの状態の内の第1の状態および第2の状態を識別するために用いられる。第1発生器は、パルス信号が第1の状態にある時に第1の第1電力値を第1電源に提供するために第1プロセッサに接続された第1の第1電力コントローラを備える。第1発生器は、さらに、パルス信号が第2の状態にある時に第2の第1電力値を第1電源に提供するために第1プロセッサに接続された第2の第1電力コントローラを備える。第1発生器は、さらに、第1プロセッサから状態の識別を受信するために第1プロセッサに接続された第1の第1自動周波数制御部（AFC）を備える。第1のAFCは、パルス信号が第1の状態にある時に第1RF信号の周波数を提供するよう構成される。第1発生器は、第1プロセッサから状態の識別を受信するために第1プロセッサに接続された第2の第1AFCを備える。第2の第1AFCは、パルス信号が第2の状態にある時に第1RF信号の周波数を提供するよう構成される。

20

【0016】

この実施形態において、システムは、第2RF信号を下側電極に供給するために下側電極に接続された第2電源をさらに備えた第2発生器を備える。第2発生器は、パルス信号を受信してパルス信号が第1の状態にあるか第2の状態にあるかを識別するためにパルス源に接続された第2プロセッサを備える。第2発生器は、さらに、パルス信号が第1の状態にある時に第1の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第1の第2電力コントローラを備える。第2発生器は、パルス信号が第2の状態にある時に第2の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第2の第2電力コントローラを備える。第2発生器は、さらに、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続された第1の第2AFCを備える。第1の第2AFC

30

40

この実施形態において、システムは、第2RF信号を下側電極に供給するために下側電極に接続された第2電源をさらに備えた第2発生器を備える。第2発生器は、パルス信号を受信してパルス信号が第1の状態にあるか第2の状態にあるかを識別するためにパルス源に接続された第2プロセッサを備える。第2発生器は、さらに、パルス信号が第1の状態にある時に第1の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第1の第2電力コントローラを備える。第2発生器は、パルス信号が第2の状態にある時に第2の第2電力値を第2電源に提供するために第2プロセッサに接続された第2の第2電力コントローラを備える。第2発生器は、さらに、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続された第1の第2AFCを備える。第1の第2AFC

50

は、パルス信号が第1の状態にある時に第2RF信号の周波数を提供するよう構成される。第2発生器は、第2プロセッサから状態の識別を受信するために第2プロセッサに接続され、パルス信号が第2の状態にある時に第2RF信号の周波数を提供するよう構成された第2の第2AFCを備える。

【0017】

一実施形態では、方法が、デジタルパルス信号を受信する工程を備える。デジタルパルス信号は、2つの状態を有する。方法は、さらに、デジタルパルス信号が2つの状態内の第1の状態にある時に第1の周波数入力を第1RF電源に印加することから、デジタルパルス信号が2つの状態内の第2の状態にある時に第2の周波数入力を第1RF電源に印加することに切り換える工程を備える。方法は、デジタルパルス信号が第1の状態にある時に第3の周波数入力を第2RF電源に印加することを決定する工程を備える。

10

【0018】

上述の実施形態のいくつかの利点は、プラズマチャンバ内のプラズマインピーダンスの変化に応答するための応答時間を削減することを含む。例えば、複数のRF電源によって供給される周波数および/または電力を制御するために、状態信号（例えば、トランジスタ-トランジスタロジック（TTL）信号など）を用いる場合、RF電源の内の第1の電源は、RF電源の内の第2の電源の電力および/または周波数の変化に応答するための時間を必要としない。通常、第1のRF電源に入力される周波数および/または電力が変更されると、プラズマインピーダンスが変化し、第1のRF電源は、インピーダンスの変化に応答する。この応答には時間が掛かり、それによって、プラズマチャンバ内で行われる処理（例えば、エッチング、蒸着、洗浄など）に悪影響が生じる。RF電源が、所定の周波数および/または所定の電力を有する状態信号の状態の変化に応答する際に、プラズマインピーダンスの変化に応答する時間が削減される。この時間の削減の結果、処理に悪影響を与える時間が短くなる。

20

【0019】

添付の図面を参照して行う以下の詳細な説明から、別の様態が明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

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。

30

【0021】

【図1】本開示に記載された一実施形態に従って、プラズマインピーダンスの変化に応じて電力コントローラおよび/または周波数チューナを調整する時間を削減するためのシステムを示すブロック図。

【0022】

【図2】本開示に記載された一実施形態に従って、トランジスタ-トランジスタロジック（TTL）信号の状態の変化に伴う高周波（RF）電力信号の状態の変化を示すと共に、ガンマの変化に基づいた電力信号の周波数および/または電力値の調整を示す表の一実施形態を示す図。

40

【0023】

【図3】本開示に記載された一実施形態に従って、プラズマインピーダンスの変化に応じて電力コントローラおよび/または周波数チューナ（電力コントローラおよび/または周波数チューナは非ゼロ値を提供する）を調整する時間を削減するためのシステムを示す図。

【0024】

【図4A】本開示に記載された一実施形態に従って、一方が一定値または様々な値を有する2つのRF信号を示すグラフ。

【0025】

【図4B】本開示に記載された一実施形態に従って、両方が様々な値を有する2つのRF信号を示すグラフ。

50

【0026】

【図5A】本開示に記載された一実施形態に従って、1つの信号が一定値を有すると共に別の信号が一定値または様々な値を有する3つのRF信号を示すグラフ。

【0027】

【図5B】本開示に記載された一実施形態に従って、1つの信号が一定値を有すると共にそれ以外の2つの信号が様々な値を有する3つのRF信号を示すグラフ。

【0028】

【図5C】本開示に記載された一実施形態に従って、1つの信号が一定値または様々な値を有すると共にそれ以外の2つの信号が様々な値を有する3つのRF信号を示すグラフ。

【0029】

【図5D】本開示に記載された一実施形態に従って、いずれも様々な値を有する3つのRF信号を示すグラフ。

【0030】

【図5E】本開示に記載された一実施形態に従って、1つの信号が一定値または様々な値を有すると共にそれ以外の信号が様々な値を有する3つのRF信号を示すグラフ。

【0031】

【図5F】本開示に記載された一実施形態に従って、いずれも様々な値を有する3つのRF信号を示すグラフ。

【0032】

【図6】本開示に記載された一実施形態に従って、TTL信号の状態に基づいて自動周波数チューナ(AFT)の間で選択を行うためのシステムを示すブロック図。

【0033】

【図7】本開示に記載された一実施形態に従って、第1の組の電力値および第1の組の周波数を有するRF信号を生成するか、第2の組の電力値および第2の組の周波数を有するRF信号を生成するかを決定するための方法を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下の実施形態では、状態に基づいた電力および周波数の調整のためのシステムおよび方法を記載する。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。

【0035】

図1は、プラズマインピーダンスの変化に従って電力コントローラおよび/または周波数チューナを調整する時間を削減するためのシステム180の一実施形態を示すブロック図である。2メガヘルツ(MHz)高周波(RF)電源が、インピーダンス整合回路182を介してプラズマチャンバ102の下側電極104にRF電力を供給する。同様に、60MHz電源が、インピーダンス整合回路186を介して下側電極104にRF電力を供給する。一実施形態では、RF電力を下側電極に供給するために、60MHz電源の代わりに、27MHz電源が用いられることに注意されたい。さらに、2MHz、27MHz、および、60MHzという値は、例として提供されており、限定を意図したものではないことに注意されたい。例えば、2MHz電源の代わりに2.5MHz電源が用いられてもよいし、60MHz電源の代わりに65MHz電源が用いられてもよい。別の実施形態では、2MHz電源および60MHz電源に加えて、RF電力を下側電極104に供給するために27MHz電源が用いられる。

【0036】

インピーダンス整合回路は、電子回路素子、例えば、インダクタ、コンデンサなどを備えており、インピーダンス整合回路に接続さ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接続された負荷のインピーダンスと整合させる。例えば、インピーダンス整合回路182は、2MHz電源のインピーダンスを、プラズマチャンバ102内に生成されたプラズマのインピーダンスと整合させる。別の例として、インピーダンス整合回路1

10

20

30

40

50

86は、60MHz電源のインピーダンスを、プラズマチャンバ102内に生成されたプラズマのインピーダンスと整合させる。さらに別の例として、インピーダンス整合回路182は、2MHz電源のインピーダンスを、プラズマチャンバ102の一部（例えば、プラズマおよび下側電極104）のインピーダンスと整合させる。一実施形態において、インピーダンス整合回路は、インピーダンス整合回路に接続されたRF電源のインピーダンスと第1の負荷のインピーダンスとの間の整合を実現するように調整される。電源および負荷の間のインピーダンス整合がなされると、負荷から電源に電力が反射される可能性が低減される。

【0037】

10
プラズマチャンバ102は、下側電極104と、上側電極110と、その他の構成要素（図示せず）、例えば、上側電極110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下側電極延長部、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。上側電極110は、下側電極104に対向するように配置される。基板108（例えば、半導体ウエハ）が、下側電極104の上面106上に支持される。集積回路（例えば、特定用途向け集積回路（ASIC）、プログラム可能論理回路（PLD）など）が、基板108から製造され、それらの集積回路は、様々なデバイス、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、ネットワーク装置などで利用される。下側電極104は、金属（例えば、陽極酸化アルミニウム、アルミニウム合金など）で形成される。また、上側電極110も、金属（例えば、アルミニウム、アルミニウム合金など）で形成される。

【0038】

一実施形態において、上側電極110は、中央ガス供給部（図示せず）につながる穴を備える。中央ガス供給部は、ガス供給源（図示せず）から1または複数の処理ガスを受け入れる。処理ガスの例としては、酸素含有ガス（O₂など）が挙げられる。処理ガスのほかの例は、フッ素含有ガス、例えば、テトラフルオメタン（CF₄）、六フッ化硫黄（SF₆）、ヘキサフルオロエタン（C₂F₆）などを含む。上側電極110は、接地されている。下側電極104は、インピーダンス整合回路182を介して2MHzRF電源に接続されると共に、インピーダンス整合回路186を介して60MHzRF電源に接続されている。

【0039】

30
処理ガスが、上側電極110および下側電極104の間に供給され、電源（例えば、2MHz電源および/または60MHz電源）が、対応するインピーダンス整合回路を介して下側電極104に電力を供給すると、処理ガスは、点火されてプラズマチャンバ102内でプラズマを生成する。例えば、2MHz電源は、インピーダンス整合回路182を介して電力を供給し、処理ガスに点火してプラズマを生成する。

【0040】

40
コンピュータ（図示せず）上のツールユーチュザインターフェース（UI）190が、デジタルパルス信号であるトランジスタ-トランジスタロジック（TTL）信号112を生成するために用いられる。一実施形態において、コンピュータは、TTL回路を備える。本明細書で用いられているように、コンピュータの代わりに、プロセッサ、コントローラ、ASIC、または、PLDという用語も利用され、これらの用語は本明細書では交換可能に用いられる。TTL信号112は、状態S1およびS0を含む。TTL信号112は、50%のデューティサイクルを有する。一実施形態において、TTL信号112は、5%から95%の範囲のデューティサイクルを有する。状態S1の一例は、オン状態、値「1」を有する状態、または、ハイ状態を含む。状態S0の一例は、オフ状態、値「0」を有する状態、または、ロー状態を含む。高値は、低値よりも大きい。

【0041】

別の実施形態では、コンピュータの代わりにクロック発振器（例えば、水晶振動子）を用いてアナログクロック信号を生成し、その信号をアナログデジタル変換器によってTTL

10

20

30

40

50

L 信号 112 と同様のデジタル信号に変換する。例えば、水晶振動子は、水晶振動子の近くまたは上にある電極に電圧を印加することによって、電界内で振動するよう に形成されている。

【 0042 】

TTL 信号 112 は、デジタル信号プロセッサ (DSP) 140 およびその他の DSP 150 に送信される。各 DSP 140 および 150 は、TTL 信号 112 を受信し、TTL 信号 112 の状態 S0 および S1 を識別する。例えば、DSP 140 は、状態 S0 と S1 を区別する。別の例として、DSP 140 は、TTL 信号 112 が第 1 の組の期間中に第 1 の大きさを有すると共に、第 2 の組の期間中に第 2 の大きさを有することを決定する。DSP 140 は、TTL 信号 112 が第 1 の組の期間中に状態 S1 を有すると共に、第 2 の組の期間中に状態 S0 を有することを決定する。さらに別の例として、DSP 140 は、TTL 信号 112 の大きさを予め格納された値と比較して、TTL 信号 112 の大きさが第 1 の組の期間中に予め格納された値よりも大きいと共に、TTL 信号 112 の状態 S0 中の大きさが第 2 の組の期間中に予め格納された値以下であることを決定する。クロック発振器が用いられる実施形態において、各 DSP 140 および 150 は、クロック発振器からアナログクロック信号を受信し、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 S0 および S1 を識別する。

10

【 0043 】

各 DSP 140 および 150 は、状態 S0 および S1 を DSP 内の 1 または複数のメモリデバイスの記憶場所に格納する。メンバデバイスの例としては、ランダムアクセスメモリ (RAM) および読み出し専用メモリ (ROM) 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、コンピュータ読み取り可能な媒体などであってもよい。

20

【 0044 】

各 DSP 140 および 150 は、対応する記憶場所から対応する自動周波数チューナ (AFT) 114、118、および、120、ならびに、対応する電力コントローラ 142、152、および、154 に、識別した状態 S0 および S1 を提供する。例えば、DSP 140 は、TTL 信号 112 がデューティサイクルの時刻 t1 および t2 の間に状態 S1 にあることを、AFT 114 および電力コントローラ 142 に示す。別の例として、DSP 150 は、TTL 信号 112 がデューティサイクルの時刻 t1 および t2 の間に状態 S1 にあることを、AFT 118 および電力コントローラ 152 に示す。さらに別の例として、DSP 150 は、TTL 信号 112 がデューティサイクルの時刻 t2 および t3 の間に状態 S0 にあることを、AFT 120 および電力コントローラ 154 に示す。チューナおよびコントローラ (制御部) という用語は、本明細書では交換可能に用いられる。AFT の一例が、米国特許第 6,020,794 号に提供されており、その特許は、参照によつて本明細書にその全体が組み込まれる。

30

【 0045 】

各 AFT 114、118、および、120 は、TTL 信号 112 の状態に基づいて周波数値を決定し、各電力コントローラ 142、152、および、154 は、TTL 信号 112 の状態に基づいて電力値を決定する。例えば、AFT 114 は、TTL 信号 112 の状態が S1 である時に周波数値 F11 が 2MHz 電源に提供されるように決定し、電力コントローラ 142 は、TTL 信号 112 の状態が S1 である時に電力値 P11 が 2MHz 電源に提供されるように決定する。別の例として、AFT 118 は、TTL 信号 112 の状態が S1 である時に周波数値 F21 が 60MHz 電源に提供され、TTL 信号 112 の状態が S0 である時に周波数値 F20 が 60MHz 電源に提供されるように決定する。さらに別の例として、電力コントローラ 150 は、TTL 信号 112 の状態が S0 である時に電力値 P20 が 60MHz 電源に提供され、TTL 信号 112 の状態が S1 である時に電力値 P21 が 60MHz 電源に提供されるように決定する。

40

【 0046 】

—実施形態において、周波数値 F21 および電力値 P21 は、トレーニングルーチンに

50

基づいて生成される。トレーニングルーチン中、2 MHz 電源がそのRF電力信号を低電力値から高電力値に変化させる時、プラズマチャンバ102内の1または複数の部分と60 MHz 電源との間のインピーダンス不整合がある。高電力値は、低電力値よりも高い。2 MHz 電源は、2 MHz RF電源に提供されるTTL信号112またはクロック信号の状態がS0からS1に変化すると、そのRF電力信号を変化させる。この場合、60 MHz 電源は、2 MHz 電源が高い電力値で電力供給を始めた時に、周波数および電力を調整される。インピーダンス不整合を低減するために、60 MHz 電源は、周波数値および電力値の調整（例えば、収束）を開始する。収束は、標準偏差または別の技術に基づいてDSP150によって決定されてよい。60 MHz 電源がより多くの時間を周波数値および電力値の収束に費やすことを可能にするために、2 MHz 電源は、通常の期間よりも長い期間にわたって高い電力値に維持される。通常の期間は、インピーダンス不整合が低減（例えば、除去）されない期間である。通常の期間の一例は、TTL信号112の周期の半分に等しい。60 MHz 電源が周波数値および電力値に収束すると、収束周波数値はAFT118内に周波数値F21として格納され、収束電力値は電力コントローラ152内に電力値P21として格納される。同様に、トレーニングルーチン中、周波数値F20およびF11ならびに電力値P11およびP20が生成される。周波数値F20は、AFT120に格納され、周波数値F11はAFT144に格納され、電力値P11は電力コントローラ142に格納され、電力値P20は電力コントローラ154に格納される。

【0047】

TTL信号112の状態がS1である時、電力コントローラ142は、電力値P11を2 MHz 電源に提供し、電力コントローラ152は、電力値P21を60 MHz コントローラに提供する。状態S1の間、AFT114は、周波数値F11を2 MHz 電源に提供し、AFT118は、周波数値F21を60 MHz 電源に提供する。

【0048】

さらに、一実施形態において、TTL信号112の状態がS1である時、電力コントローラ154は、電力値P20を60 MHz 電源に提供しないように自身を制限する。また、この実施形態において、AFT120は、周波数値F20を60 MHz 電源に提供しないように自身を制限する。

【0049】

一実施形態において、状態S1中に、電力値P11および周波数値F11が2 MHz 電源に提供され、同時に、電力値P21および周波数値F21が60 MHz 電源に提供される。例えば、状態S1中に、電力値P21および周波数値F21が60 MHz 電源に提供されるのと同じTTL信号112のクロックエッジの間に、電力値P11および周波数値F11が2 MHz 電源に提供される。

【0050】

一実施形態において、状態S1中に、電力値P21および周波数値F21が60 MHz 電源に提供されるのとほぼ同じ時刻に、電力値P11および周波数値F11が2 MHz 電源に提供される。例えば、状態S1中に、電力値P11および周波数値F11は、TTL信号112のクロックエッジの出現の前または後に、瞬時（例えば、数マイクロ秒、ミリ秒、ナノ秒後など）に2 MHz 電源に提供される。この例では、電力値P21および周波数値F21は、クロックエッジの出現中に60 MHz 電源に提供される。

【0051】

2 MHz 電源は、状態S1中に周波数値F11および電力値P11を受信する。値F11およびP11を受信すると、2 MHz 電源は、周波数F11のRF電力を生成し、RF電力は電力値P11を有する。さらに、60 MHz 電源は、状態S1中に周波数値F21および電力値P21を受信する。値F21およびP21を受信すると、60 MHz 電源は、周波数F21のRF電力を生成し、RF電力は電力値P21を有する。

【0052】

一実施形態において、RF電源は、増幅器へと続くドライバを備える。増幅器は、伝送線路を介してプラズマチャンバ102に順方向電力を供給する。例えば、2 MHz 電源の

10

20

30

40

50

増幅器は、電力値 P 1 1 に比例する（例えば、同じ、数倍など）電力値を有すると共に周波数値 F 1 1 を有する順方向電力を、伝送線路 2 3 0 およびインピーダンス整合回路 1 8 2 を介してプラズマチャンバ 1 0 2 に供給する。別の例として、60MHz 電源の増幅器は、電力値 P 2 1 に比例する電力値を有すると共に周波数値 F 2 1 を有する順方向電力を、伝送線路 2 3 2 およびインピーダンス整合回路 1 8 6 を介してプラズマチャンバ 1 0 2 に供給する。

【 0 0 5 3 】

TTL 信号 1 1 2 の状態が S 0 である時、2MHz 電源には電力値が提供されず、電力コントローラ 1 5 4 は、電力値 P 2 0 を 60MHz コントローラに提供する。状態 S 0 の間、2MHz 電源には周波数値が提供されず、AFT 1 2 0 は、周波数値 F 2 0 を 60MHz 電源に提供する。 10

【 0 0 5 4 】

さらに、一実施形態において、TTL 信号 1 1 2 の状態が S 0 である時、電力コントローラ 1 4 2 は、電力値 P 1 1 を 2MHz 電源に提供しないように自身を制限し、電力コントローラ 1 5 2 は、電力値 P 2 1 を 60MHz 電源に提供しないように自身を制限する。また、この実施形態において、AFT 1 1 4 は、周波数値 F 1 1 を 2MHz 電源に提供しないように自身を制限し、AFT 1 1 8 は、周波数値 F 2 1 を 60MHz 電源に提供しないように自身を制限する。

【 0 0 5 5 】

一実施形態において、状態 S 0 中に、2MHz 電源には電力値および周波数値が提供されず、同時に、60MHz 電源には電力値 P 2 0 および周波数値 F 2 0 が提供される。例えば、状態 S 1 中に、電力値 P 2 0 および周波数値 F 2 0 が 60MHz 電源に提供されるのと同じ TTL 信号 1 1 2 のクロックエッジの間に、電力値「0」および周波数値「0」が 2MHz 電源に提供される。 20

【 0 0 5 6 】

2MHz 電源は、周波数および電力値を受信しない、例えば、状態 S 0 中に、周波数値「0」および電力値「0」を受信する。電力値および周波数値を受信せずに、2MHz 電源は、周波数値がゼロの RF 電力を生成し、RF 電力はゼロの電力値を有する。さらに、60MHz 電源は、状態 S 0 中に周波数値 F 2 0 および電力値 P 2 0 を受信する。値 F 2 0 および P 2 0 を受信すると、60MHz 電源は、周波数 F 2 0 の RF 電力を生成し、RF 電力は電力値 P 2 0 を有する。 30

【 0 0 5 7 】

2MHz 電源の増幅器は、順方向電力を供給しない、例えば、伝送線路 2 3 0 およびインピーダンス整合回路 1 8 2 を介してプラズマチャンバ 1 0 2 に、電力値「0」および周波数値「0」を有する順方向電力を供給する。60MHz 電源の増幅器は、電力値 P 2 0 に比例する電力値を有すると共に周波数値 F 2 0 を有する順方向電力を、伝送線路 2 3 2 およびインピーダンス整合回路 1 8 6 を介してプラズマチャンバ 1 0 2 に供給する。

【 0 0 5 8 】

一実施形態において、状態 S 1 および S 0 の一方または両方の間に、センサ 2 1 0 が、プラズマチャンバ 1 0 2 のプラズマから反射された RF 電力である反射電力を伝送線路 2 3 0 上で検知する。さらに、状態 S 1 および S 0 の一方または両方の間に、センサ 2 1 0 は、順方向電力が 2MHz RF 電源から伝送線路 2 3 0 を介してプラズマチャンバ 1 0 2 に送られた時に、伝送線路 2 3 0 上で順方向電力を検知する。同様に、状態 S 1 および S 0 の一方または両方の間に、センサ 2 1 2 が、プラズマチャンバ 1 0 2 のプラズマからの反射電力を検知する。センサ 2 1 2 によって検知される反射電力は、プラズマチャンバ 1 0 2 のプラズマから伝送線路 2 3 2 に反射されたものである。さらに、状態 S 1 および S 0 の一方または両方の間に、センサ 2 1 2 は、順方向電力が 60MHz RF 電源から伝送線路 2 3 2 を介してプラズマチャンバ 1 0 2 に送られた時に、伝送線路 2 3 2 上で順方向電力を検知する。 40

【 0 0 5 9 】

アナログデジタル変換器（A D C）220が、センサ210によって検知された反射電力信号および順方向電力信号をアナログ形式からデジタル形式に変換し、A D C 222が、センサ212によって検知された反射電力信号および順方向電力信号をアナログ形式からデジタル形式に変換する。状態S1およびS0の一方または両方の間に、D S P 140は、センサ210によって検知された反射電力信号および順方向電力信号のデジタル値を受信し、D S P 150は、センサ212によって検知された反射電力信号および順方向電力信号のデジタル値を受信する。D S P 140は、ガンマ値を生成するために、関係性（例えば、デジタル反射電力信号とデジタル順方向電力信号との比、電圧定在波比（V S W R）など）を状態S1およびS0の一方または両方の間に計算する。ガンマ値「1」は、電源と負荷との間でインピーダンスの不整合の程度が高いことを示し、ガンマ値「0」は、電源と負荷との間でインピーダンスの不整合の程度が低いことを示す。同様に、D S P 150は、ガンマ値を生成するために、デジタル反射電力信号およびデジタル順方向電力信号の間の関係性を状態S1およびS0の一方または両方の間に計算する。V S W Rは、R C - 1およびR C + 1の比に等しいものとして計算され、ここで、R Cは反射係数である。
10

【0060】

状態S1中にD S P 140からA F T 114にガンマ値が送信され、状態S1中にD S P 150からA F T 118にガンマ値が送信される。状態S1中に、A F T 114は、D S P 140から受信したガンマ値に基づいて周波数値を決定し、A F T 118は、D S P 150から受信したガンマ値に基づいて周波数値を決定する。状態S1中に、A F T 114は、ガンマ値に基づいて生成された周波数値に基づいて周波数値F11を調整し、調整した周波数値を2 M H z電源に提供する。さらに、状態S1中に、A F T 118は、ガンマ値に基づいて生成された周波数値に基づいて周波数値F21を調整し、調整した周波数値を60 M H z電源に提供する。
20

【0061】

さらに、状態S1中に、電力コントローラ142は、D S P 140から受信したガンマ値に基づいて電力値を決定し、電力コントローラ152は、D S P 150から受信したガンマ値に基づいて電力値を決定する。状態S1中に、電力コントローラ142は、ガンマ値に基づいて生成された電力値に基づいて電力値P11を調整し、調整した電力値を2 M H z電源に提供する。さらに、状態S1中に、電力コントローラ152は、ガンマ値に基づいて生成された電力値に基づいて電力値P21を調整し、調整した電力値を60 M H z電源に提供する。
30

【0062】

状態S1中に、2 M H z電源は、A F T 114から受信した調整済みの周波数値と電力コントローラ142から受信した調整済みの電力値とを有する電力信号を生成し、その電力信号をインピーダンス整合回路182を介してプラズマチャンバ102に供給する。同様に、状態S1中に、60 M H z電源は、A F T 118から受信した調整済みの周波数値と電力コントローラ152から受信した調整済みの電力値とを有する電力信号を生成し、その電力信号をインピーダンス整合回路186を介してプラズマチャンバ102に供給する。
40

【0063】

さらに、状態S0中には、2 M H z電源への電力値および周波数値の提供はなく、2 M H z電源のゼロ周波数値および電力値を調整するために、状態S0中に生成されたガンマ値が利用されることはない。状態S0中に、A F T 120は、D S P 150から受信したガンマ値に基づいて周波数値を決定する。状態S0中に、A F T 120は、ガンマ値から生成された周波数値に基づいて周波数値F20を調整し、調整した周波数値を60 M H z電源に提供する。さらに、状態S0中に、電力コントローラ154は、D S P 150から受信したガンマ値に基づいて電力値を決定する。状態S0中に、電力コントローラ154は、ガンマ値に基づいて生成された電力値に基づいて電力値P20を調整し、調整した電力値を60 M H z電源に提供する。状態S0中に、60 M H z電源は、A F T 120から
50

受信した調整済みの周波数値と電力コントローラ 154 から受信した調整済みの電力値とを有する電力信号を生成し、その電力信号をインピーダンス整合回路 186 を介してプラズマチャンバ 102 に供給する。

【0064】

電力コントローラ 142、AFT114、および、DSP140 は、発生器コントローラ 270 の一部である。発生器コントローラ 270、ADC220、センサ 210、および、2MHz 電源は、2MHz 発生器 274 の一部である。同様に、電力コントローラ 152、電力コントローラ 154、AFT114 および 120、ならびに、DSP150 は、発生器コントローラ 272 の一部である。発生器コントローラ 272、ADC222、センサ 212、および、60MHz 電源は、60MHz 発生器 276 の一部である。

10

【0065】

一実施形態において、システム 180 は、インピーダンス整合回路 182 および / または 186 を備えない。一実施形態において、電力コントローラ 142 および AFT114 の代わりに単一のコントローラが用いられ、電力コントローラ 152 および AFT118 の代わりに単一のコントローラが用いられ、電力コントローラ 154 および AFT120 の代わりに単一のコントローラが用いられる。

【0066】

2MHz および 60MHz の電源に加えて 27MHz 電源が用いられる実施形態において、27MHz 発生器は、60MHz 電源の代わりに 27MHz 電源を備えることを除けば、60MHz 発生器 276 と同様である。27MHz 発生器は、インピーダンス整合回路（図示せず）および伝送線路（図示せず）を介してプラズマチャンバ 102 の下側電極 104 に接続される。さらに、27MHz 電源は、TTL 信号 112 を受信するために、ツール UI190 に接続される。27MHz 発生器は、2つの電力コントローラ、2つの AFT、DSP、ADC、センサ、および、27MHz 電源を備える。

20

【0067】

図 2 は、TTL 信号 112 の状態の変化に伴う RF 電力信号の状態の変化を示すと共に、ガンマの変化に基づいた電力信号の周波数値および / または電力値の調整を示す表 250 の一実施形態である。TTL 信号 112 が状態 S1 であるとき、2MHz および 60MHz 電源によって供給される電力信号も状態 S1 を有する。例えば、2MHz 電源によって供給される電力信号は、TTL 信号 112 の状態が変化すると同時に、S1 から S0 または S0 から S1 へ、その状態を変化させる。また、この例において、60MHz 電源によって供給される電力信号は、TTL 信号 112 の状態が変化すると同時に、S1 から S0 または S0 から S1 へ、その状態を変化させる。別の例として、2MHz 電源によって供給される電力信号は、TTL 信号 112 の状態の変化が起きたのとほぼ同時に、S1 から S0 または S0 から S1 へ、その状態を変化させる。また、この例において、60MHz 電源によって供給される電力信号は、TTL 信号 112 の状態の変化が起きたのとほぼ同時に、S1 から S0 または S0 から S1 へ、その状態を変化させる。

30

【0068】

さらに、図 2 に示すように、状態 S1 中に、周波数値 F11 および F21 ならびに電力値 P21 は、状態 S1 中に生成されたガンマ値に基づいて調整され、状態 S0 中に、周波数値 F20 および電力値 P20 は、状態 S0 中に生成されたガンマ値に基づいて調整される。

40

【0069】

図 3 は、プラズマインピーダンスの変化に応じて電力コントローラおよび / または周波数チューナ（電力コントローラおよび / または周波数チューナは非ゼロ値を提供する）を調整する時間を削減するためのシステム 262 の一実施形態を示す図である。システム 262 は、それぞれ非ゼロ値を提供する電力コントローラ 172 および AFT264 を備えることを除いては、図 1 のシステム 180 と同様である。

【0070】

DSP140 は、識別された状態 S0 を、対応する記憶場所から AFT264 および電

50

力コントローラ 172 に提供する。一例として、DSP140 は、TTL 信号 112 がデューティサイクルの時刻 t_2 および t_3 の間に状態 S_0 にあることを、AFT264 および電力コントローラ 172 に示す。AFT264 は、TTL 信号 112 の状態に基づいて周波数値を決定し、電力コントローラ 172 は、TTL 信号 112 の状態に基づいて電力値を決定する。例えば、AFT264 は、TTL 信号 112 の状態が S_0 である時に周波数値 F_{10} が 2 MHz 電源に提供されるように決定し、電力コントローラ 172 は、TTL 信号 112 の状態が S_0 である時に電力値 P_{10} が 2 MHz 電源に提供されるように決定する。一実施形態において、値 F_{10} および P_{10} は、正の値である。

【0071】

トレーニングルーチン中、周波数値 F_{10} および電力値 P_{10} は、上述したのと同様の方法で生成される。周波数値 F_{10} は AFT264 に格納され、電力値 P_{10} は電力コントローラ 172 に格納される。TTL 信号 112 の状態が S_0 である時、電力コントローラ 172 は、電力値 P_{10} を 2 MHz 電源に提供し、AFT264 は、周波数値 F_{10} を 2 MHz 電源に提供する。

【0072】

さらに、一実施形態において、TTL 信号 112 の状態が S_1 である時、電力コントローラ 172 は、電力値 P_{10} を 2 MHz 電源に提供しないように自身を制限する。また、この実施形態において、AFT264 は、周波数値 F_{10} を 2 MHz 電源に提供しないように自身を制限する。

【0073】

一実施形態において、状態 S_0 中に、電力値 P_{10} および周波数値 F_{10} が 2 MHz 電源に提供され、同時に、電力値 P_{20} および周波数値 F_{20} が 60 MHz 電源に提供される。例えば、状態 S_0 中に、電力値 P_{20} および周波数値 F_{20} が 60 MHz 電源に提供されるのと同じ TTL 信号 112 のクロックエッジの間に、電力値 P_{10} および周波数値 F_{10} が 2 MHz 電源に提供される。

【0074】

一実施形態において、状態 S_0 中に、電力値 P_{20} および周波数値 F_{20} が 60 MHz 電源に提供されるのとほぼ同じ時刻に、電力値 P_{10} および周波数値 F_{10} が 2 MHz 電源に提供される。例えば、状態 S_0 中に、電力値 P_{10} および周波数値 F_{10} は、TTL 信号 112 のクロックエッジの出現の前または後に、瞬時に 2 MHz 電源に提供される。この例では、電力値 P_{20} および周波数値 F_{20} は、クロックエッジの出現中に 60 MHz 電源に提供される。

【0075】

2 MHz 電源は、状態 S_0 中に周波数値 F_{10} および電力値 P_{10} を受信する。値 F_{10} および P_{10} を受信すると、2 MHz 電源は、周波数 F_{10} の RF 電力を生成し、RF 電力は電力値 P_{10} を有する。2 MHz 電源の增幅器は、電力値 P_{10} に比例する電力値を有すると共に周波数値 F_{10} を有する順方向電力を、伝送線路 230 およびインピーダンス整合回路 182 を介してプラズマチャンバ 102 に供給する。

【0076】

一実施形態において、状態 S_0 中に、AFT264 は、DSP140 から受信したガンマ値に基づいて周波数値を決定する。状態 S_0 中に、AFT264 は、ガンマ値から生成された周波数値に基づいて周波数値 F_{10} を調整し、調整した周波数値を 2 MHz 電源に提供する。さらに、状態 S_0 中に、電力コントローラ 172 は、DSP140 から受信したガンマ値に基づいて電力値を決定する。状態 S_0 中に、電力コントローラ 172 は、ガンマ値に基づいて生成された電力値に基づいて電力値 P_{10} を調整し、調整した電力値を 2 MHz 電源に提供する。また、状態 S_0 中に、2 MHz 電源は、AFT264 から受信した調整済みの周波数値と電力コントローラ 172 から受信した調整済みの電力値とを有する電力信号を生成し、その電力信号をインピーダンス整合回路 182 を介してプラズマチャンバ 102 に供給する。

【0077】

10

20

30

40

50

電力コントローラ 142 および 172、AFT114 および 264、ならびに、DSP 140 は、発生器コントローラ 290 の一部である。発生器コントローラ 290、ADC 220、センサ 210、および、2MHz 電源は、2MHz 発生器 292 の一部である。

【0078】

図 4 A は、グラフ 302、304、306、および、308 の実施形態を示す。各グラフ 302、304、306、および、308 は、時刻 t の関数としてキロワット (kW) で電力値を示している。グラフ 302 に示すように、2MHz 電力信号 (2MHz 電源によって供給される電力信号) は、状態 S1 中に電力値 a_1 を有し、状態 S0 中に電力値 0 を有する。電力値 a_1 は、電力値 P11 の一例である。また、60MHz 電力信号 (60MHz 電源によって提供される電力信号) は、状態 S1 中に電力値 a_2 を有し、状態 S0 中に電力値 a_3 を有する。電力値 a_2 は電力値 P21 の一例であり、電力値 a_3 は電力値 P20 の一例である。
10

【0079】

グラフ 304 に示すように、60MHz 電力信号は、状態 S1 および S0 中に電力値 a_2 を有する。さらに、グラフ 306 に示すように、2MHz 信号は、状態 S0 中に電力値 a_4 を有する。電力値 a_4 は、電力値 P10 の一例である。グラフ 308 に示すように、60MHz 信号は、2MHz 信号が電力値 a_4 を有する時に、電力値 a_2 を有する。

【0080】

図 4 B は、グラフ 310、312、314、および、316 の実施形態を示す。各グラフ 310、312、314、および、316 は、時刻 t の関数としてキロワットで電力値を示している。グラフ 310 に示すように、60MHz 信号は、電力値 a_2 から電力値 a_3 に移行する (図 4 A) 代わりに、電力値 a_2 から電力値 0 に移行する。
20

【0081】

さらに、グラフ 312 に示すように、60MHz 信号は、電力値 a_2 から電力値 a_5 に移行する。電力値 a_5 は、電力値 P20 の一例である。グラフ 314 に示すように、60MHz 信号は、2MHz 信号が非ゼロ電力値 a_4 を有する状態 S0 中に電力値 0 を有する。グラフ 316 に示すように、60MHz 電力信号は、2MHz 信号が非ゼロ電力値 a_4 を有する状態 S0 中に非ゼロ電力値 a_5 を有する。

【0082】

図 5 A は、グラフ 318、320、322、および、324 の実施形態を示す。各グラフ 318、320、322、および、324 は、時刻 t の関数としてキロワットで電力値を示している。グラフ 318、320、322、および、324 が、27MHz 信号のプロットを含むことを除けば、グラフ 318 はグラフ 302 (図 4 A) と同様であり、グラフ 320 はグラフ 304 (図 4 A) と同様であり、グラフ 322 はグラフ 308 (図 4 A) と同様である。27MHz 信号は、27MHz 発生器の 27MHz 電源 (図示せず) から生成される。27MHz 信号は、状態 S1 および S0 の両方の間、電力値 a_6 を有する RF 信号である。
30

【0083】

図 5 B は、グラフ 326、328、330、および、332 の実施形態を示す。各グラフ 326、328、330、および、332 は、時刻 t の関数としてキロワットで電力値を示している。グラフ 326、328、330、および、332 が、電力値 a_6 を有する 27MHz 信号のプロットを含むことを除けば、グラフ 326 はグラフ 310 (図 4 B) と同様であり、グラフ 328 はグラフ 312 (図 4 B) と同様であり、グラフ 330 はグラフ 314 (図 4 B) と同様であり、グラフ 332 はグラフ 316 (図 4 B) と同様である。
40

【0084】

図 5 C は、グラフ 334、336、338、および、340 の実施形態を示す。各グラフ 334、336、338、および、340 は、時刻 t の関数としてキロワットで電力値を示している。グラフ 334、336、338、および、340 が、27MHz 信号のプロットを含むことを除けば、グラフ 334 はグラフ 302 (図 4 A) と同様であり、グラ
50

フ336はグラフ304(図4A)と同様であり、グラフ338はグラフ306(図4A)と同様であり、グラフ340はグラフ308(図4A)と同様である。27MHz信号は、状態S1中の電力値a7から状態S0中の電力値a8に移行する。電力値a7は、電力値a8よりも小さい。

【0085】

図5Dは、グラフ342、344、346、および、348の実施形態を示す。各グラフ342、344、346、および、348は、時刻tの関数としてキロワットで電力値を示している。グラフ342、344、346、および、348が、電力値a7およびa8を有する27MHz信号のプロットを含むことを除けば、グラフ342はグラフ310(図4B)と同様であり、グラフ344はグラフ312(図4B)と同様であり、グラフ346はグラフ314(図4B)と同様であり、グラフ348はグラフ316(図4B)と同様である。

【0086】

図5Eは、グラフ350、352、354、および、356の実施形態を示す。各グラフ350、352、354、および、356は、時刻tの関数としてキロワットで電力値を示している。グラフ350、352、354、および、356が、27MHz信号のプロットを含むことを除けば、グラフ350はグラフ302(図4A)と同様であり、グラフ352はグラフ304(図4A)と同様であり、グラフ354はグラフ306(図4A)と同様であり、グラフ356はグラフ308(図4A)と同様である。27MHz信号は、状態S1中の電力値a9から状態S0中の電力値a10に移行する。電力値a9は、電力値a10よりも大きい。

【0087】

図5Fは、グラフ358、360、362、および、364の実施形態を示す。各グラフ358、360、362、および、364は、時刻tの関数としてキロワットで電力値を示している。グラフ358、360、362、および、364が、電力値a9およびa10を有する27MHz信号のプロットを含むことを除けば、グラフ358はグラフ310(図4B)と同様であり、グラフ360はグラフ312(図4B)と同様であり、グラフ362はグラフ314(図4B)と同様であり、グラフ364はグラフ316(図4B)と同様である。

【0088】

上述のグラフ302、304、306、308、310、312、314、316、318、320、322、324、326、328、330、332、334、336、338、340、342、344、346、348、350、352、354、356、および、358において、2MHz信号は実線で示され、60MHz信号は破線で示され、27MHz信号は点線で示されている。

【0089】

一実施形態において、2MHz信号、27MHz信号、および、60MHz信号の状態(例えば、ハイ、ローなど)を、TTL信号112の状態に同期させる代わりに、一実施形態において、RF信号(例えば、27MHz信号、60MHz信号など)の状態は、別のRF信号(例えば、2MHz信号など)の状態に同期されることに注意されたい。

【0090】

図6は、TTL信号112の状態に基づいてAFT114および264の間で選択を行うためのシステム311の一実施形態を示すブロック図である。TTL信号112が状態S1である時、システム311の選択ロジック128はAFT114を選択し、TTL信号112が状態S0である時、選択ロジック128はAFT264を選択する。選択ロジック128の例としては、マルチプレクサが挙げられる。選択ロジック128がマルチプレクサを含む場合、TTL信号112は、マルチプレクサの選択入力で受信される。例えば、ロー状態のTTL信号がマルチプレクサの第1の選択入力で受信され、ハイ状態のTTL信号がマルチプレクサの第2の選択入力で受信される。一実施形態において、選択ロジック128は、プロセッサを備える。一実施形態において、選択ロジック128は、D

10

20

30

40

50

S P 1 4 0 内に実装される。

【 0 0 9 1 】

A F T 1 1 4 が選択されると、A F T 1 1 4 は、周波数値 F 1 1 を 2 M H z 電源に提供する。同様に、A F T 2 6 4 が選択されると、A F T 2 6 4 は、周波数値 F 1 0 を 2 M H z 電源に提供する。

【 0 0 9 2 】

2 M H z 電源は、クロック源 3 1 3 から受信したクロック信号と同期する 2 M H z 信号を生成する。一実施形態において、クロック源 3 1 3 のクロック信号は、T T L 信号 1 1 2 と同期する。一実施形態において、クロック源 3 1 3 のクロック信号は、T T L 信号 1 1 2 とほぼ同じ位相を有する。例えば、クロック源 3 1 3 のクロック信号の立ち上がりエッジは、T T L 信号 1 1 2 の立ち上がりエッジより一瞬、後または前にある。一実施形態において、クロック源 3 1 3 からのクロック信号の代わりに、T T L 信号 1 1 2 が 2 M H z 電源に提供される。10

【 0 0 9 3 】

図 1 に図示した実施形態において、A F T 1 1 4 および 2 6 4 の間で選択を行う代わりに、状態 S 1 中に A F T 1 1 4 が選択され、状態 S 0 中に A F T は選択されない。例えば、状態 S 0 中に、選択ロジック 1 2 8 は、いずれの A F T も選択しない。

【 0 0 9 4 】

一実施形態において、選択ロジック 1 2 8 は、A F T 1 1 4 および 2 6 4 の代わりに、電力コントローラ 1 4 2 および 1 7 2 (図 3) の間で選択を行う。電力コントローラ 1 4 2 が状態 S 1 中に選択されると、電力コントローラ 1 4 2 は、電力値 P 1 1 を 2 M H z 電源に提供し、電力コントローラ 1 7 2 が状態 S 0 中に選択されると、電力コントローラ 1 7 2 は、電力値 P 1 0 を 2 M H z 電源に提供する。20

【 0 0 9 5 】

さらに、図 1 に図示した実施形態において、電力コントローラ 1 4 2 および 1 7 2 の間で選択を行う代わりに、状態 S 1 中に電力コントローラ 1 4 2 が選択され、状態 S 0 中に電力コントローラ 1 7 2 は選択されない。

【 0 0 9 6 】

一実施形態において、選択ロジック 1 2 8 は、6 0 M H z 発生器 2 7 6 (図 1) 内に実装される。この実施形態は、A F T 1 1 4 および 2 6 4 の間で選択を行う代わりに、選択ロジック 1 2 8 が A F T 1 1 8 および 1 2 0 (図 1) の間で選択を行うことを除けば、図 6 で説明した実施形態と同様である。A F T 1 1 8 が状態 S 1 中に選択されると、A F T 1 1 8 は、周波数値 F 2 1 を 6 0 M H z 電源に提供し、A F T 1 2 0 が状態 S 0 中に選択されると、A F T 1 2 0 は、周波数値 F 2 0 を 6 0 M H z 電源に提供する。さらに、この実施形態において、選択ロジック 1 2 8 は、電力コントローラ 1 5 2 および 1 5 4 の間で選択を行うよう実装される。電力コントローラ 1 5 2 が状態 S 1 中に選択されると、電力コントローラ 1 5 2 は、電力値 P 2 1 を 6 0 M H z 電源に提供し、電力コントローラ 1 5 4 が状態 S 0 中に選択されると、電力コントローラ 1 5 4 は、電力値 P 2 0 を 6 0 M H z 電源に提供する。30

【 0 0 9 7 】

一実施形態において、選択ロジック 1 2 8 は、選択ロジック 1 2 8 が 2 M H z 発生器 2 7 4 (図 1) または 2 9 2 (図 3) もしくは 6 0 M H z 発生器 2 7 6 (図 1 および図 3) 内に実装されるのと同様の方法で 2 7 M H z 発生器内に実装される。40

【 0 0 9 8 】

任意のガンマ値が、選択ロジック 1 2 8 によって、状態 S 1 または S 0 に基づいて A F T 1 1 4 または 2 6 4 に転送される。例えば、状態が S 1 である時、D S P 1 4 0 は、第 1 のガンマ値を選択ロジック 1 2 8 に提供し、第 1 のガンマ値は、状態 S 1 中に測定された反射電力および順方向電力に基づいて決定されたものである。この例において、状態 S 1 中に A F T 1 1 4 を選択した選択ロジック 1 2 8 は、D S P 1 4 0 から受信した第 1 のガンマ値を A F T 1 1 4 に転送する。別の例として、状態が S 0 である時、D S P 1 4 0 が選択されると、D S P 1 4 0 は、第 2 のガンマ値を選択ロジック 1 2 8 に提供し、第 2 のガンマ値は、状態 S 0 中に測定された反射電力および順方向電力に基づいて決定されたものである。50

は、第2のガンマ値を選択ロジック128に提供し、第2のガンマ値は、状態S0中に測定された反射電力および順方向電力に基づいて決定されたものである。この例において、状態S0中にAFT264を選択した選択ロジック128は、DSP140から受信した第2のガンマ値をAFT264に転送する。

【0099】

同様に、電力コントローラ142および172(図3)が用いられる実施形態において、選択ロジック128は、DSP140から受信した第1のガンマ値を状態S1中に電力コントローラ142に転送し、DSP140から受信した第2のガンマ値を電力コントローラ172に転送する。さらに、AFT264を利用せずにAFT114が用いられる実施形態において、選択ロジック128は、状態S0中に第2のガンマ値を転送しないように自身を制限する。

10

【0100】

さらに、選択ロジック128が60MHz発生器276(図1)内に実装され、電力コントローラ152および154に接続される実施形態において、選択ロジック128は、DSP150から受信した第3のガンマ値を状態S1中に電力コントローラ152に転送し、DSP150から受信した第4のガンマ値を状態S0中に電力コントローラ154に転送する。この実施形態において、第3のガンマ値は、状態S1中に伝送線路232上の順方向電力および反射電力に基づいて生成される。また、この実施形態において、順方向電力および反射電力の両方は、センサ212によって検知される。この実施形態において、第4のガンマ値は、状態S0中に伝送線路232上の順方向電力および反射電力に基づいて生成される。

20

【0101】

さらに、選択ロジック128が60MHz発生器内に実装され、AFT118および120に接続される実施形態において、選択ロジック128は、DSP150から受信した第3のガンマ値を状態S1中にAFT118に転送し、DSP150から受信した第4のガンマ値を状態S1中にAFT120に転送する。

【0102】

図7は、第1の組の電力値および第1の組の周波数を有するRF信号を生成するか、第2の組の電力値および第2の組の周波数を有するRF信号を生成するかを決定するための方法321の一実施形態を示すフローチャートである。動作323において、プラズマが、プラズマチャンバー102(図1)内で点火(例えば、生成)される。また、動作325において、TTL信号112が、2MHz発生器(例えば、発生器274(図1)、発生器292(図3)など)によって受信されると共に、60MHz発生器276(図1および図3)によって受信される。例えば、DSP140(図1)が、ツールUI190からTTL信号112を受信し、DSP150(図1)が、ツールUI190からTTL信号112を受信する。

30

【0103】

動作327において、DSP(例えば、DSP140、DSP150など)は、TTL信号112の状態がS1であるかS0であるかを判定する。例えば、DSP140は、TTL信号112の状態がハイであるかローであるかを判定する。別の例として、DSP150は、TTL信号の状態が1であるか0であるかを判定する。

40

【0104】

TTL信号112の状態がS1であるとの判定に応じて、動作329において、TTL信号112は、状態S1を達成するために、DSP(例えば、DSP140、DSP150など)によって、対応するAFTまたは電力コントローラ(例えば、AFT114、AFT118、電力コントローラ142、電力コントローラ152など)に送信される。例えば、電力値P11および周波数値F11を達成して状態S1をさらに達成するために、状態S1の識別が、DSP140からAFT114および電力コントローラ142に送信される。この例において、AFT114は、周波数値F11に対応する状態S1を含む第1のルックアップテーブルに基づいて、周波数値F11を提供する。さらに、この例にお

50

いて、電力コントローラ 142 は、電力値 P11 に対応する状態 S1 を含む第 2 のルックアップテーブルに基づいて、電力値 P11 を提供する。この例において、第 1 のルックアップテーブルは AFT114 内に格納され、第 2 のルックアップテーブルは電力コントローラ 142 内に格納される。

【0105】

別の例として、電力値 P21 および周波数値 F21 を達成して状態 S1 を達成するため 10 に、状態 S1 が、DSP150 から AFT118 および電力コントローラ 152 に送信される。この例において、AFT118 は、周波数値 F21 に対応する状態 S1 を含む第 3 のルックアップテーブルに基づいて、周波数値 F21 を提供する。さらに、この例において、電力コントローラ 152 は、電力値 P21 に対応する状態 S1 を含む第 4 のルックアップテーブルに基づいて、電力値 P21 を提供する。この例において、第 3 のルックアップテーブルは AFT118 内に格納され、第 4 のルックアップテーブルは電力コントローラ 152 内に格納される。

【0106】

動作 331において、反射電力（プラズマチャンバ 102 内のプラズマから反射された RF 電力）および順方向電力が、伝送線路 230（図 1）で測定される。反射電力および順方向電力は、センサ 210（図 1）によって測定される。順方向電力および反射電力の測定アナログ値が、センサ 210 によって ADC220 に提供され、ADC220 は、アナログ値をデジタル値に変換する。さらに、動作 331において、反射電力および順方向電力が、伝送線路 232（図 1）で測定される。反射電力および順方向電力は、センサ 212（図 1）によって測定される。順方向電力および反射電力の測定アナログ値が、センサ 212 によって ADC222 に提供され、ADC222 は、アナログ値をデジタル値に変換する。 20

【0107】

動作 333において、DSP140 は、センサ 210 によって測定された順方向電力および反射電力のデジタル値を受信し、それらの値からガンマを決定する。また、動作 333において、DSP150 は、センサ 212 によって測定された順方向電力および反射電力のデジタル値を受信し、それらの値からガンマを決定する。

【0108】

動作 335において、ガンマは、周波数値 F11 を調整するために、DSP140 によって AFT114 に提供され、電力値 P11 を調整するために、DSP140 によって電力コントローラ 142 に提供される。一例として、AFT114 は、状態 S1 の間に伝送線路 230 の信号に基づいて測定されたガンマに対応するルックアップテーブルから、周波数値 F11 以外の別の周波数値を取得し、その別の周波数値を 2MHz 電源に提供する。2MHz 電源は、その別の周波数値を有する RF 信号を生成する。さらに、動作 335において、ガンマは、電力値 P11 を調整するために、DSP140 によって電力コントローラ 142 に提供される。一例として、電力コントローラ 142 は、状態 S1 の間に伝送線路 230 の信号に基づいて測定されたガンマに対応するルックアップテーブルから、電力値 P11 以外の別の電力値を取得し、その別の電力値を 2MHz 電源に提供する。2 40 MHz 電源は、その別の電力値を有する RF 信号を生成する。

【0109】

さらに、動作 335において、ガンマは、周波数値 F21 を調整するために、DSP150 によって AFT118 に提供され、電力値 P21 を調整するために、DSP150 によって電力コントローラ 152 に提供される。一例として、AFT118 は、状態 S1 の間に伝送線路 232 の信号に基づいて測定されたガンマに対応するルックアップテーブルから、周波数値 F21 以外の別の周波数値を取得し、その別の周波数値を 60MHz 電源に提供する。60MHz 電源は、その別の周波数値を有する RF 信号を生成する。別の例として、電力コントローラ 152 は、状態 S1 の間に伝送線路 232 の信号に基づいて測定されたガンマに対応するルックアップテーブルから、電力値 P21 以外の別の電力値を取得し、その別の電力値を 60MHz 電源に提供する。60MHz 電源は、その別の電力 50

値を有する R F 信号を生成する。方法 3 2 1 は、動作 3 3 5 の後に動作 3 2 5 に戻る。

【 0 1 1 0 】

T T L 信号 1 1 2 の状態が S 0 であるとの判定に応じて、動作 3 3 7 において、T T L 信号 1 1 2 は、状態 S 0 を達成するために、D S P (例えば、D S P 1 4 0 、D S P 1 5 0 など) によって、対応する A F T または電力コントローラ (例えば、A F T 2 6 4 、A F T 1 2 0 、電力コントローラ 1 7 2 、電力コントローラ 1 5 4 など) に送信される。例えば、電力値 P 1 0 および周波数値 F 1 0 を達成して状態 S 0 をさらに達成するために、状態 S 0 の識別が、D S P 1 4 0 から A F T 2 6 4 および電力コントローラ 1 7 2 に送信される。この例において、A F T 2 6 4 は、周波数値 F 1 0 に対応する状態 S 0 を含む第 5 のルックアップテーブルに基づいて、周波数値 F 1 0 を提供する。さらに、この例において、電力コントローラ 1 7 2 は、電力値 P 1 0 に対応する状態 S 0 を含む第 6 のルックアップテーブルに基づいて、電力値 P 1 0 を提供する。この例において、第 5 のルックアップテーブルは A F T 2 6 4 内に格納され、第 6 のルックアップテーブルは電力コントローラ 1 7 2 内に格納される。
10

【 0 1 1 1 】

例えば、電力値 P 2 0 および周波数値 F 2 0 を達成して状態 S 0 を達成するために、状態 S 0 の識別が、D S P 1 5 0 から A F T 1 2 0 および電力コントローラ 1 5 4 に送信される。この例において、A F T 1 2 0 は、周波数値 F 2 0 に対応する状態 S 0 を含む第 7 のルックアップテーブルに基づいて、周波数値 F 2 0 を提供する。さらに、この例において、電力コントローラ 1 5 4 は、電力値 P 2 0 に対応する状態 S 0 を含む第 8 のルックアップテーブルに基づいて、電力値 P 2 0 を提供する。この例において、第 7 のルックアップテーブルは A F T 1 2 0 内に格納され、第 8 のルックアップテーブルは電力コントローラ 1 5 4 内に格納される。
20

【 0 1 1 2 】

動作 3 3 9 は動作 3 3 1 と同じであり、動作 3 4 1 は動作 3 3 3 と同じである。動作 3 4 3 において、ガンマは、周波数値 F 1 0 を調整するために、D S P 1 4 0 によって A F T 2 6 4 に提供され、電力値 P 1 0 を調整するために、D S P 1 4 0 によって電力コントローラ 1 7 2 に提供される。一例として、A F T 2 6 4 は、状態 S 0 の間に伝送線路 2 3 0 の信号に基づいて測定されたガンマに対応するルックアップテーブルから、周波数値 F 1 0 以外の別の周波数値を取得し、その別の周波数値を 2 M H z 電源に提供する。2 M H z 電源は、その別の周波数値を有する R F 信号を生成する。さらに、動作 3 4 3 において、ガンマは、D S P 1 4 0 によって、電力値 P 1 0 を調整する電力コントローラ 1 7 2 へ提供される。一例として、電力コントローラ 1 7 2 は、状態 S 0 の間に伝送線路 2 3 0 の信号に基づいて測定されたガンマに対応するルックアップテーブルから、電力値 P 1 0 以外の別の電力値を取得し、その別の電力値を 2 M H z 電源に提供する。2 M H z 電源は、その別の電力値を有する R F 信号を生成する。
30

【 0 1 1 3 】

さらに、動作 3 4 3 において、ガンマは、周波数値 F 2 0 を調整するために、D S P 1 5 0 によって A F T 1 2 0 に提供され、電力値 P 2 0 を調整するために、D S P 1 5 0 によって電力コントローラ 1 5 4 に提供される。一例として、A F T 1 2 0 は、状態 S 0 の間に伝送線路 2 3 2 の信号に基づいて測定されたガンマに対応するルックアップテーブルから、周波数値 F 2 0 以外の別の周波数値を取得し、その別の周波数値を 6 0 M H z 電源に提供する。6 0 M H z 電源は、その別の周波数値を有する R F 信号を生成する。さらに、動作 3 4 3 において、ガンマは、電力値 P 2 0 を調整するために、D S P 1 5 0 によって電力コントローラ 1 5 4 に提供される。一例として、電力コントローラ 1 5 4 は、状態 S 0 の間に伝送線路 2 3 2 の信号に基づいて測定されたガンマに対応するルックアップテーブルから、電力値 P 2 0 以外の別の電力値を取得し、その別の電力値を 6 0 M H z 電源に提供する。6 0 M H z 電源は、その別の電力値を有する R F 信号を生成する。方法 3 2 1 は、動作 3 4 3 の後に動作 3 2 5 に戻る。
40

【 0 1 1 4 】

一実施形態において、動作 331、333、335、339、341、および、343 は、任意選択である。例えば、動作 329 および 337 の後に動作 325 に戻り、動作 331、333、335、339、341、および、343 は実行されない。

【0115】

上述の実施形態は、2 MHz RF 信号および / または 60 MHz 信号および / または 27 MHz 信号を下側電極 104 に供給し、上側電極 110 を接地することに関するが、いくつかの実施形態では、2 MHz、60 MHz、および、27 MHz 信号が上側電極 110 に提供され、下側電極 104 が接地されることに注意されたい。

【0116】

さらに、一実施形態では、 TTL 信号 112 の状態 S1 および S0 を生成するために、
10 プラズマのインピーダンスの変化が用いられない。状態 S1 および S0 は、プラズマのインピーダンスの変化と無関係である。

【0117】

また、一実施形態において、入力（例えば、周波数入力、電力入力など）またはレベル（例えば、電力レベル、周波数レベル）は、別の値の閾値内にある 1 または複数の値を含むことに注意されたい。例えば、電力レベルは、電力値 P21 と、電力値 P21 の閾値内にある他の電力値とを含む。この例において、電力レベルは、別の状態に対する任意の電力値（例えば、状態 S0 に対する電力値 P20）を除外する。別の例として、周波数入力は、周波数値 F11 と、周波数値 F11 の閾値内にある他の周波数値とを含む。この例において、周波数入力は、別の状態に対する任意の周波数値（例えば、状態 S0 に対する周波数値 F10）を除外する。
20

【0118】

上述の実施形態は、平行板プラズマチャンバに関して説明されているが、一実施形態において、上述の実施形態は、その他のタイプのプラズマチャンバ、例えば、誘電結合プラズマ（ICP）リアクタ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注意されたい。例えば、2 MHz および 60 MHz 電源は、ICP プラズマチャンバ内のインダクタに接続される。

【0119】

一実施形態において、発生器コントローラの AFT および / または電力コントローラによって実行される動作は、発生器コントローラの DSP によって実行される。例えば、AFT 118 および 120 によって実行される本明細書に記載の動作は、DSP150（図 3）によって実行される。別の例として、AFT114、AFT264、電力コントローラ 142、および、電力コントローラ 172 によって実行される本明細書に記載の動作は、DSP140（図 3）によって実行される。
30

【0120】

本明細書に記載の実施形態は、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デバイス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。
40

【0121】

上述の実施形態を念頭に置いて、本実施形態は、コンピュータシステムに格納されたデータを含め、コンピュータに実装された様々な動作を利用できることを理解されたい。これらの動作は、物理量の物理操作を必要とするものである。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。本実施形態は、さらに、これらの動作を実行するためのデバイス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てよい。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、特殊目的に含まれない他の処理、プログラム実行、または、ルーチンも実行しつつ、特殊目的のために動作することができる。あるいは、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
50

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汎用コンピュータで処理されてもよい。データがネットワークを介して取得されると、そのデータは、ネットワーク上の他のコンピュータ（例えば、クラウドのコンピューティング資源）によって処理されてよい。

【0122】

1または複数実施形態は、コンピュータ読み取り可能な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。コンピュータ読み取り可能な媒体は、コンピュータシステムによって読み出し可能であるようにデータを格納できる任意のデータ記憶装置である。コンピュータ読み取り可能な媒体の例としては、ハードドライブ、ネットワーク接続ストレージ（N A S）、R O M、R A M、コンパクトディスク-R O M（C D - R O M）、C D - レコーダブル（C D - R）、C D - リライタブル（C D - R W）、磁気テープ、および、他の光学式および非光学式のデータ記憶装置が挙げられる。コンピュータ読み取り可能な媒体は、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みうる。

10

【0123】

方法の動作は特定の順番で記載されているが、オーバーレイ動作の処理が望ましく実行される限りは、他のハウスキーピング動作が動作の合間に実行されてもよいし、動作が若干異なる時間に実行されるように調整されてもよいし、処理に関連した様々な間隔で処理動作が起きることを許容するシステムに分散されてもよいことを理解されたい。

20

【0124】

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、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てもよい。

【0125】

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。

30

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、

電極に接続された第1発生器であって、第1高周波（R F）信号を前記電極に供給するための第1電源と、パルス信号が第1の状態にある時に第1の周波数入力を前記第1電源に提供するための自動周波数制御部（A F C）と、を含む、第1発生器と、

前記電極に接続された第2発生器であって、第2R F信号を前記電極に供給するための第2電源と、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第2の周波数入力を前記第2電源に提供するためのA F Cと、前記パルス信号が第2の状態である時に第3の周波数入力を前記第2電源に提供するためのA F Cと、を含む、第2発生器と、

40

前記パルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、
を備える、システム。

適用例2：

適用例1のシステムであって、

前記第2発生器は、デジタル信号プロセッサから受信した前記第2の周波数入力または前記第3の周波数入力を前記第2電源に転送するためのセレクタを含む、システム。

50

適用例 3 :システムであって、基板を支持するための表面を有する下側電極と、前記下側電極の上に配置された上側電極と、を含むプラズマチャンバであって、前記上側電極は電気的に接地されている、プラズマチャンバと、前記下側電極に接続された第 1 発生器であって、第 1 高周波 (R F) 信号を前記下側電極に供給するための第 1 電源を含む、第 1 発生器と、前記下側電極に接続された第 2 発生器であって、第 2 R F 信号を前記下側電極に供給するための第 2 電源を含む、第 2 発生器と、パルス信号を生成するためのデジタルパルス源であって、前記第 1 発生器および前記第 2 発生器に接続され、前記パルス信号は 2 つの状態の間を移行する、デジタルパルス源とを備え、前記第 1 発生器は、前記パルス信号が第 1 の状態にある時に第 1 の周波数入力を前記第 1 電源に提供するための第 1 の自動周波数制御部 (A F C) を含み、前記第 2 発生器は、前記パルス信号が前記第 1 の状態にある時に第 2 の周波数入力を前記第 2 電源に提供するための第 2 の A F C を含み、前記第 2 発生器は、前記パルス信号が第 2 の状態にある時に第 3 の周波数入力を前記第 2 電源に提供するための第 3 の A F C を含む、システム。

10

20

適用例 4 :適用例 3 のシステムであって、さらに、前記第 2 の A F C および前記第 3 の A F C の間で選択を行って前記第 2 の周波数入力または前記第 3 の周波数入力を前記第 2 電源に提供するために、前記デジタルパルス源と前記第 2 および第 3 の A F C との間に接続されたセレクタを備え、前記セレクタは、前記パルス信号の前記状態に基づいて前記第 2 の A F C および前記第 3 の A F C の間で選択を行うよう構成されている、システム。適用例 5 :適用例 3 のシステムであって、

30

前記 2 つの状態の一方はオン状態であり、前記 2 つの状態のもう一方はオフ状態である、システム。適用例 6 :適用例 3 のシステムであって、前記第 1 R F 信号は、前記第 2 R F 信号より低い周波数を有する、システム。適用例 7 :適用例 3 のシステムであって、前記第 1 R F 信号は、前記パルス信号が前記第 1 の状態である時に第 1 の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第 2 の状態である時に第 2 の電力レベルにあり、前記第 1 の電力レベルは前記第 2 の電力レベルよりも高く、前記第 2 R F 信号は、前記パルス信号が前記第 1 の状態にある時に第 3 の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第 2 の状態にある時に第 4 の電力レベルにあり、前記第 3 の電力レベルは前記第 4 の電力レベルよりも低い、システム。

40

適用例 8 :適用例 7 のシステムであって、前記第 3 の電力レベルはゼロまたは正の値である、システム。

50

適用例 9 :適用例 3 のシステムであって、前記第 1 R F 信号は、前記パルス信号が前記第 1 の状態である時に第 1 の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第 2 の状態である時に第 2 の電力レベルにあり、前記第 1 の電力レベルは前記第 2 の電力レベルよりも高く、前記第 2 R F 信号は、前記パルス信号が前記第 1 の状態にある時に第 3 の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第 2 の状態にある時に第 4 の電力レベルにあり、前記第 3 の電力レベルは前記第 4 の電力レベルと同じである、システム。適用例 10 :適用例 9 のシステムであって、前記第 3 の電力レベルは正の値である、システム。

10

適用例 11 :適用例 3 のシステムであって、前記第 1 R F 信号は、前記パルス信号が前記第 1 の状態である時に第 1 の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第 2 の状態である時に第 2 の電力レベルにあり、前記第 1 の電力レベルは前記第 2 の電力レベルよりも高く、前記第 2 R F 信号は、前記パルス信号が前記第 1 の状態にある時に第 3 の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第 2 の状態にある時に第 4 の電力レベルにあり、前記第 3 の電力レベルは前記第 4 の電力レベルよりも高い、システム。

20

適用例 12 :適用例 11 のシステムであって、前記第 3 の電力レベルはゼロまたは正の値である、システム。適用例 13 :適用例 3 のシステムであって、前記デジタルパルス源は、クロック発振器またはトランジスタ - トランジスタロジック (TTL) を含む、システム。

30

適用例 14 :適用例 3 のシステムであって、前記第 1 の周波数入力は、前記第 2 の周波数入力および前記第 3 の周波数入力とは異なる、システム。適用例 15 :適用例 3 のシステムであって、前記セレクタは、マルチプレクサを含む、システム。

40

適用例 16 :システムであって、パルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、第 1 発生器であって、第 1 高周波 (R F) 信号を電極に供給するために前記電極に接続された第 1 電源と、前記パルス信号を受信して前記パルス信号の 2 つの状態の内の第 1 の状態および第 2 の状態を識別するために前記パルス源に接続された第 1 プロセッサと、前記パルス信号が前記第 1 の状態にあるか前記第 2 の状態にあるかに基づいて第 1 電力値を前記第 1 電源に提供するか否かを決定するために前記第 1 プロセッサに接続された電力コントローラと、

50

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第1RF信号の周波数を提供するよう構成された自動周波数制御部(AFC)と、を含む、第1発生器と、

第2発生器であって、

第2RF信号を前記電極に供給するために前記電極に接続された第2電源と、

前記パルス信号を受信して前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかを識別するために前記パルス源に接続された第2プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第1の電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第2の電力コントローラと、

10

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第2RF信号の第1の周波数入力を提供するよう構成された第1のAFCと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第2RF信号の第2の周波数入力を提供するよう構成された第2のAFCと、を含む、第2発生器と、
を備える、システム。

適用例17：

20

適用例16のシステムであって、

前記第2発生器は、前記第2プロセッサから受信した前記第1の周波数入力または前記第2の周波数入力を前記第2電源に転送するためのセレクタを含む、システム。

適用例18：

システムであって、

基板を支持するための表面を有する下側電極と、前記下側電極の上に配置された上側電極と、を含むプラズマチャンバであって、前記上側電極は電気的に接地されている、プラズマチャンバと、

2つの状態の間を移行するパルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、

30

第1発生器であって、

第1高周波(RF)信号を前記下側電極に供給するために前記下側電極に接続された第1電源と、

前記パルス信号を受信して、前記パルス信号の前記2つの状態内の第1の状態および前記2つの状態内の第2の状態を識別するために、前記パルス源に接続された第1プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかに基づいて第1電力値を前記第1電源に提供するか否かを決定するために前記第1プロセッサに接続された電力コントローラと、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第1RF信号の周波数を提供するよう構成された自動周波数制御部(AFC)と、を含む、第1発生器と、

40

第2発生器であって、

第2RF信号を前記下側電極に供給するために前記下側電極に接続された第2電源と、

前記パルス信号を受信して前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかを識別するために前記パルス源に接続された第2プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第1の電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第2電力値を前記第2電源に提供

50

するために前記第2プロセッサに接続された第2の電力コントローラと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第2RF信号の周波数を提供するよう構成された第1のAFCと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第2RF信号の周波数を提供するよう構成された第2のAFCと、を含む、第2発生器と、
を備える、システム。

適用例19：

10

適用例18のシステムであって、

前記2つの状態の一方はオン状態であり、前記2つの状態のもう一方はオフ状態である、システム。

適用例20：

適用例18のシステムであって、

前記第1RF信号は、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第1の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態である時に第2の電力レベルにあり、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも高く、

前記第1の第2電力値は前記第2の第2電力値よりも低い、システム。

20

適用例21：

適用例18のシステムであって、

前記第1RF信号は、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第1の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態である時に第2の電力レベルにあり、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも高く、

前記第1の第2電力値は前記第2の第2電力値と同じである、システム。

適用例22：

適用例18のシステムであって、

30

前記第1RF信号は、前記パルス信号が前記第1の状態である時に第1の電力レベルにあり、前記パルス信号が前記第2の状態である時に第2の電力レベルにあり、前記第1の電力レベルは前記第2の電力レベルよりも高く、

前記第1の第2電力値は前記第2の第2電力値よりも高い、システム。

適用例23：

適用例18のシステムであって、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時、前記第1電力値は正の電力値である、システム。

40

適用例24：

適用例18のシステムであって、

前記第1の第2電力値は、前記第2の第2電力値よりも低い、同じ、または、高い、システム。

適用例25：

システムであって、

パルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、

第1発生器であって、

第1高周波(RF)信号を電極に供給するために前記電極に接続された第1電源と、

50

前記パルス信号を受信して、前記パルス信号の2つの状態内の第1の状態および前記2つの状態内の第2の状態を識別するために、前記パルス源に接続された第1プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第1電力値を前記第1電源に提供するために前記第1プロセッサに接続された第1の第1電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第1電力値を前記第1電源に提供するために前記第1プロセッサに接続された第2の第1電力コントローラと、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第1RF信号に第1の第1周波数入力を提供するよう構成された第1の第1自動周波数制御部(AFC)と、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第1RF信号に第2の第1周波数入力を提供するよう構成された第2の第1AFCと、を含む、第1発生器と、

第2発生器であって、

第2RF信号を前記電極に供給するために前記電極に接続された第2電源と、

前記パルス信号を受信して前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかを識別するために前記パルス源に接続された第2プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第1の第2電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第2の第2電力コントローラと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第2RF信号に第1の第2周波数入力を提供するよう構成された第1の第2AFCと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第2RF信号に第2の第2周波数入力を提供するよう構成された第2の第2AFCと、を含む、第2発生器と、
を備える、システム。

適用例26:

適用例25のシステムであって、

前記第1発生器は、前記第1プロセッサから受信した前記第1の第1周波数入力または前記第2プロセッサから受信した前記第2の第1周波数入力を前記第1電源に転送するよう構成されたセレクタを含み、

前記第2発生器は、前記第2プロセッサから受信した前記第1の第2周波数入力または前記第2プロセッサから受信した前記第2の第2周波数入力を前記第2電源に転送するよう構成されたセレクタを含む、システム。

適用例27:

システムであって、

基板を支持するための表面を有する下側電極と、前記下側電極の上に配置された上側電極と、を含むプラズマチャンバであって、前記上側電極は電気的に接地されている、プラズマチャンバと、

2つの状態の間を移行するパルス信号を生成するためのデジタルパルス源と、

第1発生器であって、

第1高周波(RF)信号を前記下側電極に供給するために前記下側電極に接続された第1電源と、

前記パルス信号を受信して前記パルス信号の前記2つの状態内の第1の状態および前記2つの状態内の第2の状態を識別するために前記パルス源に接続された第1プロセッサと、

10

20

30

40

50

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第1電力値を前記第1電源に提供するために前記第1プロセッサに接続された第1の第1電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第1電力値を前記第1電源に提供するために前記第1プロセッサに接続された第2の第1電力コントローラと、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第1RF信号の周波数を提供するよう構成された第1の第1自動周波数制御部(AFC)と、

前記第1プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第1プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第1RF信号の周波数を提供するよう構成された第2の第1AFCと、を含む、第1発生器と、

第2発生器であって、

第2RF信号を前記下側電極に供給するために前記下側電極に接続された第2電源と、

前記パルス信号を受信して前記パルス信号が前記第1の状態にあるか前記第2の状態にあるかを識別するために前記パルス源に接続された第2プロセッサと、

前記パルス信号が前記第1の状態にある時に第1の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第1の第2電力コントローラと、

前記パルス信号が前記第2の状態にある時に第2の第2電力値を前記第2電源に提供するために前記第2プロセッサに接続された第2の第2電力コントローラと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第1の状態にある時に前記第2RF信号の周波数を提供するよう構成された第1の第2AFCと、

前記第2プロセッサから前記状態の識別を受信するために前記第2プロセッサに接続され、前記パルス信号が前記第2の状態にある時に前記第2RF信号の周波数を提供するよう構成された第2の第2AFCと、を含む、第2発生器と、

を備える、システム。

適用例28：

適用例27のシステムであって、

前記第1の第2電力値は、前記第2の第1電力値よりも低い、同じ、または、高い、システム。

30

適用例29：

方法であって、

2つの状態を有するデジタルパルス信号を受信する工程と、

前記デジタルパルス信号が前記2つの状態の内の第1の状態にある時に第1の周波数入力を第1RF電源に印加することから、前記デジタルパルス信号が前記2つの状態の内の第2の状態にある時に第2の周波数入力を前記第1RF電源に印加することに切り換える工程と、

前記デジタルパルス信号が前記第1の状態にある時に第3の周波数入力を第2RF電源に印加することを決定する工程と、
を備える、方法。

40

適用例30：

適用例29の方法であって、

前記方法は、半導体ウエハを処理して集積回路を製造するために利用される、方法。

【図 1】

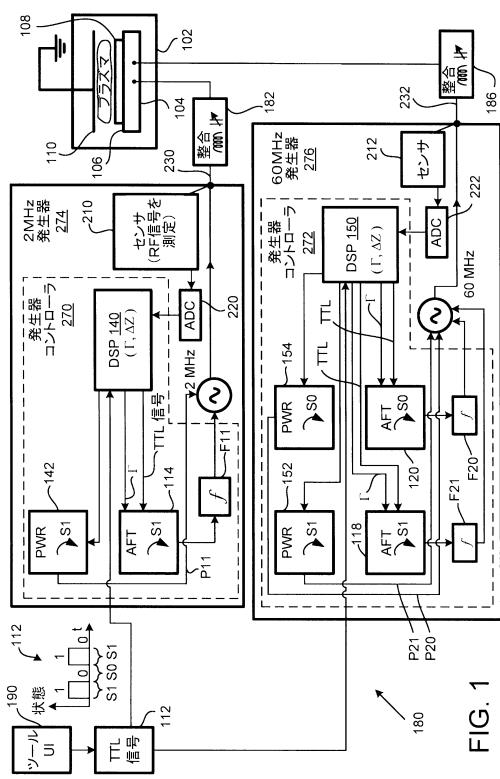


FIG. 1

【図 2】

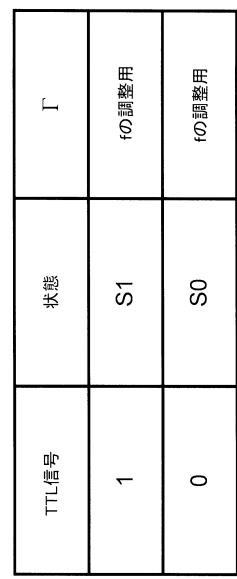


FIG. 2

【図 3】

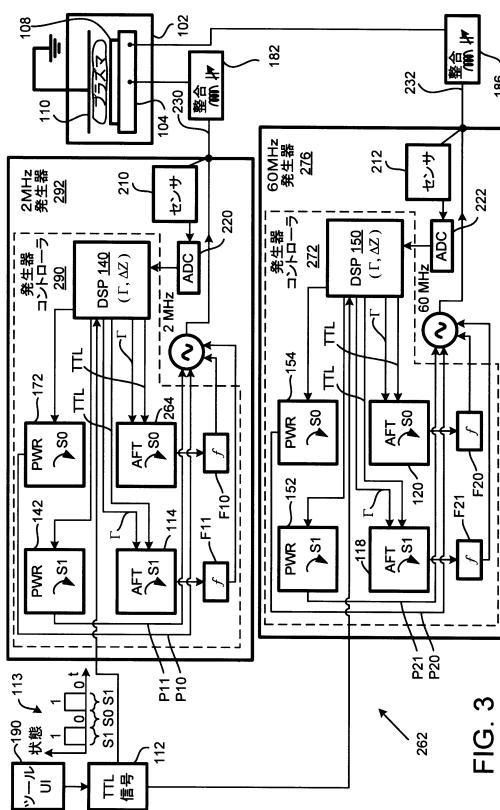


FIG. 3

【図 4 A】

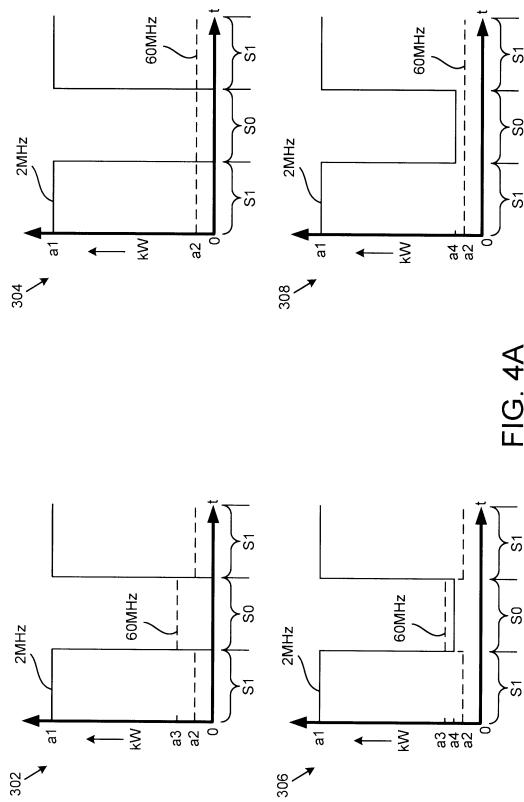


FIG. 4 A

【図 4 B】

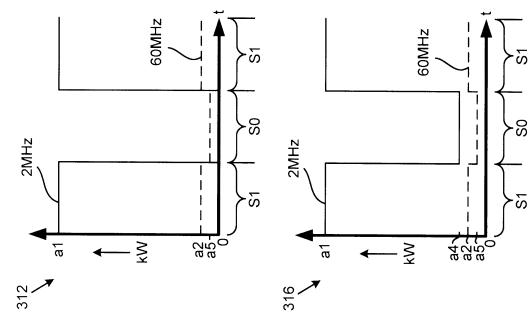


FIG. 4B

【図 5 A】

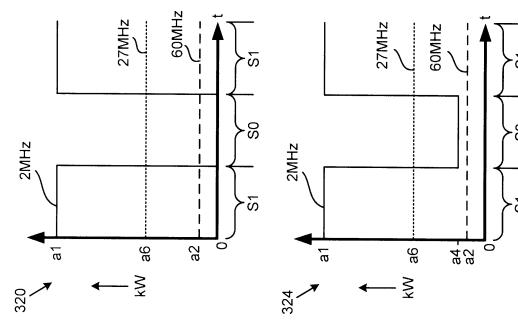


FIG. 5A

【図 5 B】

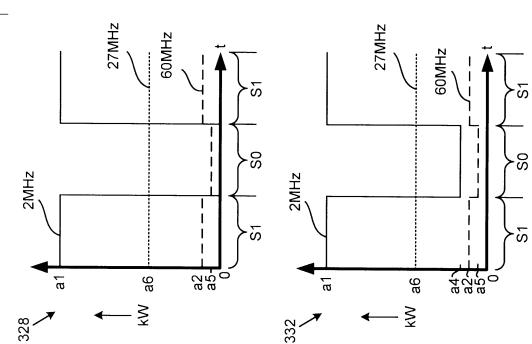


FIG. 5B

【図 5 C】

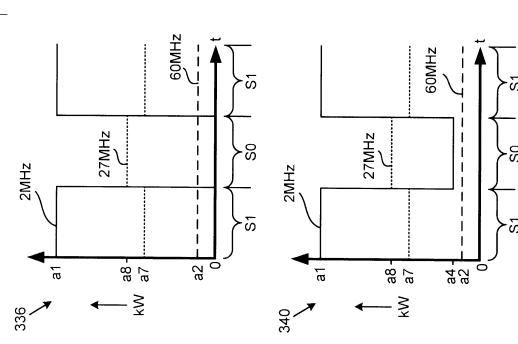
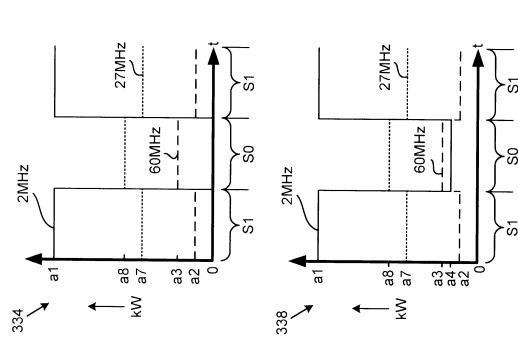
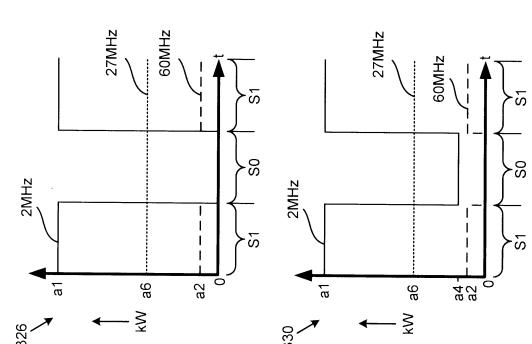


FIG. 5C



【図 5 D】

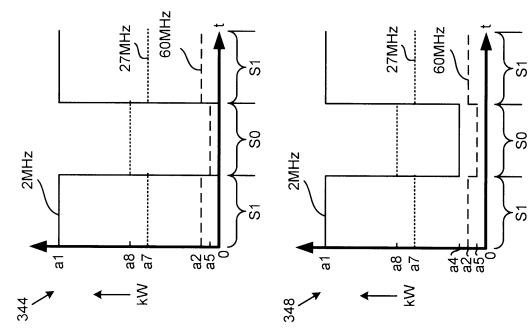


FIG. 5D

【図 5 E】

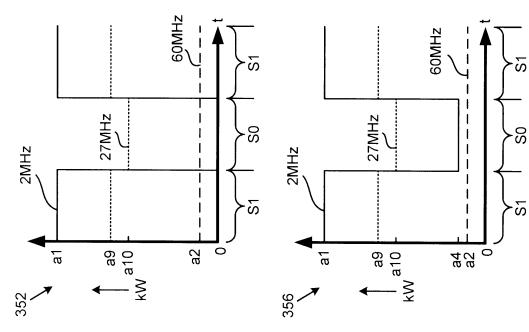


FIG. 5E

【図 5 F】

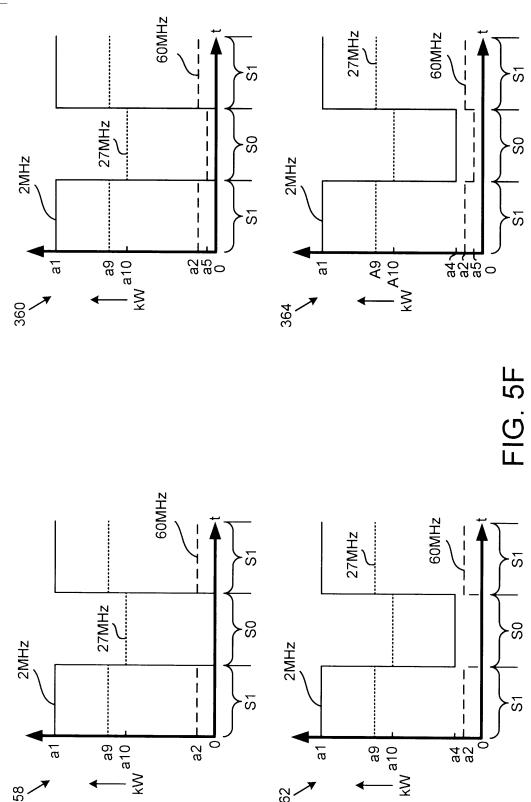


FIG. 5F

【図 6】

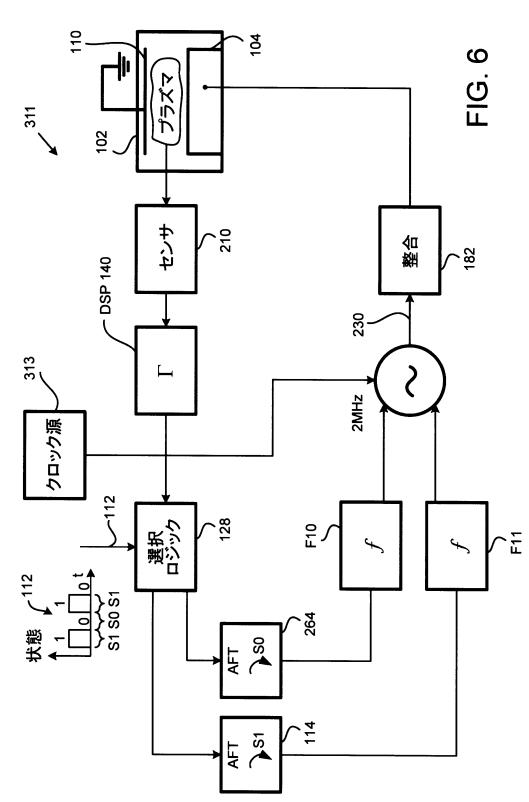


FIG. 6

【図7】

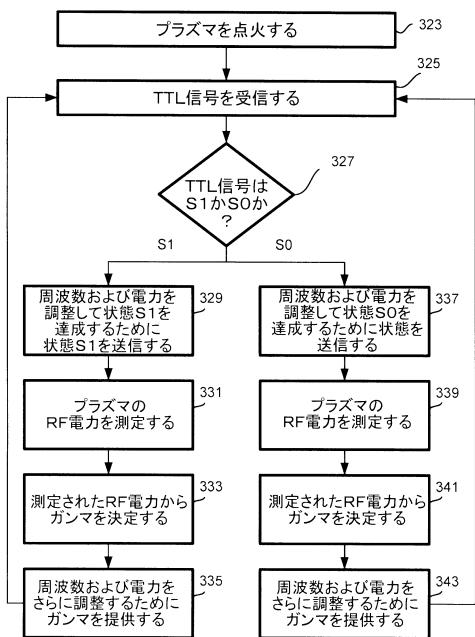


FIG. 7

321

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94538 フレモント, クッシング・パークウェイ, 465
0

審査官 林 靖

(56)参考文献 特開2009-246091(JP, A)
特開2011-172410(JP, A)
特開2008-252067(JP, A)
米国特許出願公開第2009/0255800(US, A1)
米国特許出願公開第2011/0031216(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/46
H01L 21/30