

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2020-527897
(P2020-527897A)

(43) 公表日 令和2年9月10日(2020.9.10)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03H 7/38 (2006.01)	H03H 7/38	Z 2G084
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46	R
	H05H 1/46	M

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 61 頁)

(21) 出願番号 特願2020-501343 (P2020-501343)
 (86) (22) 出願日 平成30年6月7日 (2018.6.7)
 (85) 翻訳文提出日 令和2年3月10日 (2020.3.10)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2018/036512
 (87) 国際公開番号 W02019/018078
 (87) 国際公開日 平成31年1月24日 (2019.1.24)
 (31) 優先権主張番号 15/655,808
 (32) 優先日 平成29年7月20日 (2017.7.20)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国 (US)

(71) 出願人 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
 ェイ 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 ホワード・アーサー・エム.
 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
 ェイ, 4650

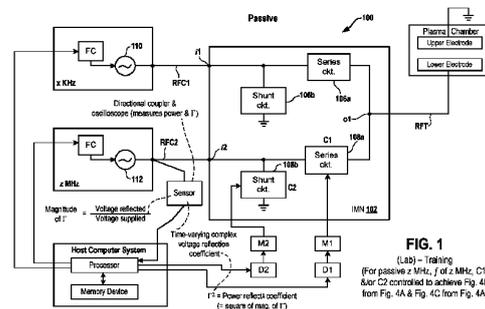
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 キロヘルツ無線周波数発生器の存在下でメガヘルツ無線周波数発生器の供給電力の効率性を高めるためのシステムおよび方法

(57) 【要約】

【解決手段】 無線周波数 (RF) 発生器を調節するためのシステムおよびその方法が記載されている。この方法の1つは、高周波RF発生器によって高周波RF信号をIMNに供給することを含む。この方法は、パラメータを生成するために高周波RF発生器の出力で測定された変数の複数の測定値にアクセスすることを含む。変数は、低周波RF発生器の複数の動作周期の間に測定される。測定値は、高周波RF発生器によって供給された電力の複数の値に関連づけられる。この方法は、1周期について、高周波RF発生器によって供給された電力において効率性が高まる、高周波RF発生器の周波数値と、IMNのシャント回路に関連付けられた因数値と、を決定することを含む。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

無線周波数（RF）発生器のパッシブ制御のための制御装置システムであって、
パラメータを生成するために高RF発生器の出力で測定された変数の複数の測定値にアクセスするように構成されたプロセッサであって、前記変数は、低RF発生器の複数の動作周期の間に測定され、前記複数の測定値は、高RF発生器によって供給された電力の複数の値に関連付けられ、前記プロセッサは、前記複数の周期の1周期について、前記高RF発生器によって供給された電力において効率性が高まる、高RF発生器の周波数の値と、インピーダンス整合ネットワークのシャント回路に関連付けられた因数の値と、を決定するように構成されている、プロセッサと、

10

前記プロセッサに結合され、前記周波数の前記値および前記因数の前記値を記憶するように構成されたメモリデバイスと、
を備える、制御装置システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、基板が処理されていないトレーニングルーチンの間に、前記複数の測定値にアクセスし、前記高RF発生器の前記周波数の前記値および前記因数の前記値を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記変数の前記複数の測定値のサブセットおよび前記高RF発生器によって供給された前記電力の前記複数の値のサブセットから計算される平均値に基づいて、前記周波数の前記値および前記因数の前記値を決定するように構成されている、制御装置システム。

20

【請求項 4】

請求項 3 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の前記 1 周期について、前記変数の前記複数の測定値の第 1 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高RF発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 1 の値との積、および、前記変数の前記複数の測定値の第 2 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高RF発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 2 の値との積の平均値を計算するように構成されている、制御装置システム。

30

【請求項 5】

請求項 4 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の別の 1 周期について、前記変数の前記複数の測定値の第 3 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高RF発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 3 の値との積、および、前記変数の前記複数の測定値の第 4 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高RF発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 4 の値との積の別の平均値を計算するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のホストコンピュータシステムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の前記 1 周期についての前記平均値が、前記複数の周期の前記別の 1 周期についての前記別の平均値より小さいことを決定するように構成されている、ホストコンピュータシステム。

40

【請求項 7】

請求項 6 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記平均値が前記複数の周期の前記別の 1 周期についての前記別の平均値より小さい前記複数の周期の前記 1 周期に基づいて、前記周波数の前記値および前記因数の前記値を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の制御装置システムであって、

50

前記プロセッサは、前記効率性の向上が実現する前記直列回路に関連付けられた因数の値を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の制御装置システムであって、

前記高 R F 発生器は、R F ケーブルを介して前記インピーダンス整合ネットワークに接続され、

前記プロセッサは、トレーニングルーチンの間に、

前記高 R F 発生器の前記出力で測定された前記変数の別の複数の測定値にアクセスするように構成され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記低 R F 発生器の別の複数の動作周期の間に測定され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記 R F ケーブルが変更された後に測定され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の別の複数の値に関連付けられ、

10

前記別の複数の周期の 1 周期について、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記効率性が高まる、前記高 R F 発生器の前記周波数の別の値と、前記シャント回路に関連付けられた前記因数の別の値と、を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、プラズマチャンバ内での基板処理の間に、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値と、前記シャント回路に関連付けられた前記因数の前記値と、を適用するように構成されている、制御装置システム。

20

【請求項 11】

請求項 1 に記載の制御装置システムであって、

前記変数は電圧反射係数であり、前記パラメータは電力反射係数であり、前記因数は静電容量である、制御装置システム。

【請求項 12】

無線周波数 (R F) 発生器のアクティブ制御のための制御装置システムであって、

パラメータを生成するために高 R F 発生器の出力で測定された変数の複数の測定値にアクセスするように構成されたプロセッサであって、前記変数は、低 R F 発生器の複数の動作周期の間に測定され、前記複数の測定値は、高 R F 発生器によって供給された電力の複数の値に関連付けられ、前記プロセッサは、前記複数の周期の 1 周期について、前記高 R F 発生器によって供給された電力において効率性が高まる、前記高 R F 発生器の周波数の値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の量と、インピーダンス整合ネットワークのシャント回路に関連付けられた因数の値と、を決定するように構成されている、プロセッサと、

30

前記プロセッサに結合されたメモリデバイスであって、前記メモリデバイスは、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の前記量と、前記シャント回路に関連付けられた前記因数の前記値と、を記憶するように構成されている、メモリデバイスと、
を備える、制御装置システム。

40

【請求項 13】

請求項 12 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、基板処理の間に、前記複数の測定値にアクセスし、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の前記量と、前記因数の前記値と、を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 14】

請求項 12 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記変数の前記複数の測定値のサブセット、および、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値のサブセットから計算される平均値に基づいて、前記周波数の前記値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の前記量

50

と、前記因数の前記値と、を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の前記 1 周期について、前記変数の前記複数の測定値の第 1 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 1 の値との積、および、前記変数の前記複数の測定値の第 2 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 2 の値との積の平均値を計算するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 16】

請求項 15 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の別の 1 周期について、前記変数の前記複数の測定値の第 3 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 3 の値との積、および、前記変数の前記複数の測定値の第 4 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 4 の値との積の別の平均値を計算するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の前記 1 周期についての前記平均値が前記複数の周期の前記別の 1 周期についての前記別の平均値より小さいことを決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記平均値が前記複数の周期の前記他の周期についての前記他の平均値より小さい前記複数の周期の前記 1 周期に基づいて、前記周波数の前記値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の前記量と、前記因数の前記値と、を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 19】

請求項 12 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記効率性の前記高まりが実現する前記直列回路に関連付けられた因数の値を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 20】

請求項 12 に記載の制御装置システムであって、

前記高 R F 発生器は、R F ケーブルを介して前記インピーダンス整合ネットワークに接続され、

前記プロセッサは、基板処理の間に、

前記高 R F 発生器の前記出力で測定された前記変数の別の複数の測定値にアクセスするように構成され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記低 R F 発生器の別の複数の動作周期の間に測定され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記 R F ケーブルが変更された後に測定され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の別の複数の値に関連付けられ、

前記別の複数の周期の 1 周期について、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力において前記効率性が高まる、前記高 R F 発生器の前記周波数の別の値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の別の量と、前記シャント回路に関連付けられた前記因数の別の値と、を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 21】

請求項 12 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、プラズマチャンバ内での基板処理の間に、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値と、前記電力の前記量と、前記シャント回路に関連付けられた前記因数の前記値と、を適用する、制御装置システム。

【請求項 22】

10

20

30

40

50

請求項 1 2 に記載の制御装置システムであって、

前記変数は電圧反射係数であり、前記パラメータは電力反射係数であり、前記因数は静電容量である、制御装置システム。

【請求項 2 3】

無線周波数 (R F) 発生器のパッシブ制御のための制御装置システムであって、
プロセッサであって、

パラメータを生成するために高 R F 発生器の出力で測定された変数の複数の測定値にアクセスするように構成され、前記変数は、低 R F 発生器の複数の動作周期の間に測定され、前記複数の測定値は、高 R F 発生器によって供給された電力の複数の値に関連付けられ、

10

前記パラメータに基づいて、前記高 R F 発生器によって供給された電力において効率性が高まる、前記高 R F 発生器の周波数の値と、インピーダンス整合ネットワークの回路に関連付けられた因数の値と、を決定するように構成されている、プロセッサと、

前記プロセッサに結合され、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値および前記因数の前記値を記憶するように構成されたメモリデバイスと、
を備える、制御装置システム。

【請求項 2 4】

請求項 2 3 に記載の制御装置システムであって、

前記回路は、直列回路であり、

前記低 R F 発生器は、キロヘルツ信号を生成するように構成され、前記高 R F 発生器は、メガヘルツ信号を生成するように構成され、

20

前記変数は電圧反射係数であり、前記パラメータは電力反射係数であり、

前記因数は、前記回路のコンデンサの静電容量である、制御装置システム。

【請求項 2 5】

請求項 2 3 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、基板が処理されていないトレーニングルーチンの間に、前記複数の測定値にアクセスし、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値および前記因数の前記値を決定するように構成され、

前記プロセッサは、さらに、前記基板が処理される処理動作の間に、

前記高 R F 発生器を制御して前記周波数の前記値を得て、

30

前記回路を制御して前記因数を得るように構成されている、制御装置システム。

【請求項 2 6】

請求項 2 3 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、複数の平均値に基づいて前記周波数の前記値および前記因数の前記値を決定するように構成され、

前記プロセッサは、前記複数の周期の対応する 1 周期の間に受信した前記変数の前記複数の測定値の対応するサブセット、および、前記複数の周期の前記対応する 1 周期の間に前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値のサブセットから、前記複数の平均値の各々を計算するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 2 7】

40

請求項 2 3 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の 1 周期について、前記変数の前記複数の測定値の第 1 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 1 の値との積、および、前記変数の前記複数の測定値の第 2 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 2 の値との積の平均値を計算するように構成され、

前記複数の周期の前記 1 周期の間に、前記高 R F 発生器は前記周波数の前記値で動作し、前記回路は前記因数で動作する、制御装置システム。

【請求項 2 8】

請求項 2 7 に記載の制御装置システムであって、

50

前記プロセッサは、前記複数の周期の別の1周期について、前記変数の前記複数の測定値の第3の測定値の大きさの2乗と、前記高RF発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第3の値との積、および、前記変数の前記複数の測定値の第4の測定値の大きさの2乗と、前記高RF発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第4の値との積の別の平均値を計算するように構成され、

前記複数の周期の前記別の1周期の間に、前記高RF発生器は前記周波数の別の値で動作し、前記回路は別の因数で動作する、制御装置システム。

【請求項29】

請求項28に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の前記1周期についての前記平均値が、前記複数の周期の前記別の1周期についての前記別の平均値より小さいことを決定するように構成され、

前記プロセッサは、前記周波数の前記値および前記因数の前記値を決定するために、前記平均値が前記複数の周期の前記別の1周期についての前記他の平均値より小さい前記複数の周期の前記1周期について前記周波数の前記値および前記因数の前記値を識別するように構成されている、制御装置システム。

【請求項30】

請求項23に記載の制御装置システムであって、

前記低RF発生器は、RFケーブルを介してインピーダンス整合ネットワークに接続され、

前記高RF発生器は、別のRFケーブルを介して前記インピーダンス整合ネットワークに接続され、

前記プロセッサは、さらに、

前記高RF発生器の前記出力で測定された前記変数の別の複数の測定値にアクセスするように構成され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記低RF発生器の別の複数の動作周期の間に測定され、前記変数の前記別の前記複数の測定値は、前記インピーダンス整合ネットワークと前記高RF発生器との間で結合されている前記別のRFケーブルが変更された後に測定され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記高RF発生器によって供給された前記電力の別の複数の値に関連付けられ、

前記高RF発生器によって供給された前記電力における前記効率性が高まる、前記高RF発生器の前記周波数の別の値と、前記回路に関連付けられた前記因数の別の値と、を決定するように構成され、前記周波数の前記別の値および前記因数の前記別の値の前記決定は、前記インピーダンス整合ネットワークと前記高RF発生器との間で結合されている前記他のRFケーブルが変更された後に実行される、制御装置システム。

【請求項31】

無線周波数(RF)発生器のアクティブ制御のための制御装置システムであって、プロセッサであって、

パラメータを生成するために高RF発生器の出力で測定された変数の複数の測定値にアクセスするように構成され、前記変数は、低RF発生器の複数の動作周期の間に測定され、前記複数の測定値は、前記高RF発生器によって供給された電力の複数の値に関連付けられ、

前記パラメータに基づいて、前記高RF発生器によって供給された電力において効率性が高まる、前記高RF発生器の周波数の値と、前記高RF発生器によって供給される前記電力の複数の量と、インピーダンス整合ネットワークの回路に関連付けられた因数の値と、を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項32】

請求項31に記載の制御装置システムであって、

前記回路は、直列回路であり、

前記低RF発生器は、キロヘルツ信号を生成するように構成され、前記高RF発生器は、メガヘルツ信号を生成するように構成され、

10

20

30

40

50

前記変数は電圧反射係数であり、前記パラメータは電力反射係数であり、
前記因数は、前記回路のコンデンサの静電容量である、制御装置システム。

【請求項 3 3】

請求項 3 1 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、基板処理の間に、前記複数の測定値にアクセスし、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の前記複数の量と、および前記因数の前記値と、を決定するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 3 4】

請求項 3 1 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、複数の平均値に基づいて、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の前記複数の量と、前記回路に関連づけられた前記因数の前記値と、を決定するように構成され、

前記プロセッサは、前記複数の周期の対応する 1 周期の間に受信した前記変数の前記複数の測定値の対応するサブセット、および、前記複数の周期の前記対応する 1 周期の間に前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値のサブセットから、前記複数の平均値の各々を計算するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 3 5】

請求項 3 4 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の 1 周期について、前記変数の前記複数の測定値の第 1 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 1 の値との積、および、前記変数の前記複数の測定値の第 2 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 2 の値との積の平均値を計算するように構成され、

前記複数の周期の前記 1 周期の間に、前記高 R F 発生器は前記周波数の前記値で動作し、前記回路は前記因数で動作する、制御装置システム。

【請求項 3 6】

請求項 3 5 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の別の 1 周期について、前記変数の前記複数の測定値の第 3 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 3 の値との積、および、前記変数の前記複数の測定値の第 4 の測定値の大きさの 2 乗と、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の前記複数の値の第 4 の値との積の別の平均値を計算するように構成され、

前記複数の周期の前記別の 1 周期の間に、前記高 R F 発生器は前記周波数の別の値で動作し、前記回路は別の因数で動作する、制御装置システム。

【請求項 3 7】

請求項 3 6 に記載の制御装置システムであって、

前記プロセッサは、前記複数の周期の前記 1 周期についての前記平均値が、前記複数の周期の前記別の 1 周期についての前記別の平均値より小さいことを決定するように構成され、

前記プロセッサは、前記高 R F 発生器の前記周波数の前記値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の前記複数の量と、前記回路に関連づけられた前記因数の前記値と、を決定するために、前記平均値が前記複数の周期の前記別の 1 周期についての前記他の平均値より小さい前記複数の周期の前記 1 周期について前記周波数の前記値と、電力の前記複数の量と、前記因数の前記値と、を識別するように構成されている、制御装置システム。

【請求項 3 8】

請求項 3 1 に記載の制御装置システムであって、

前記低 R F 発生器は、R F ケーブルを介してインピーダンス整合ネットワークに接続され、

10

20

30

40

50

前記高 R F 発生器は、別の R F ケーブルを介して前記インピーダンス整合ネットワークに接続され、

前記プロセッサは、さらに、

前記高 R F 発生器の前記出力で測定された前記変数の別の複数の測定値にアクセスするように構成され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記低 R F 発生器の別の複数の動作周期の間に測定され、前記変数の前記別の前記複数の測定値は、前記インピーダンス整合ネットワークと前記高 R F 発生器との間で結合されている前記別の R F ケーブルが変更された後に測定され、前記変数の前記別の複数の測定値は、前記高 R F 発生器によって供給された前記電力の別の複数の値に関連付けられ、

前記高 R F 発生器によって供給された前記電力において前記効率性が高まる、前記高 R F 発生器の前記周波数の別の値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の別の複数の量と、および前記回路に関連付けられた前記因数の別の値と、を決定するように構成され、前記プロセッサは、前記インピーダンス整合ネットワークと前記高 R F 発生器との間で結合されている前記別の R F ケーブルが変更された後に、前記周波数の前記別の値と、前記高 R F 発生器によって供給される前記電力の前記別の複数の量と、前記因数の前記別の値と、が決定されるように構成されている、制御装置システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本実施形態は、キロヘルツ無線周波数発生器の存在下でメガヘルツ無線周波数発生器の供給電力の効率性を高めるためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

プラズマツールは、ウエハを処理するのに用いられる。例えば、誘電エッチングツールは、ウエハ上に成膜する、またはウエハをエッチングするために用いられる。プラズマツールは、複数の無線周波数 (R F) 発生器を備える。 R F 発生器は、マッチに接続され、マッチは、さらにプラズマチャンバに接続される。

【0003】

R F 発生器は、ウエハを処理するためにマッチを介してプラズマチャンバに提供される R F 信号を生成する。しかし、ウエハの処理中に、大量の電力が R F 発生器の 1 つに反射される。

【0004】

これに関連して、本開示に記載の実施形態が生じる。

【発明の概要】

【0005】

本開示の実施形態は、キロヘルツ (k H z) の無線周波数 (R F) 発生器の存在下でメガヘルツ (M H z) の R F 発生器の供給電力の効率性を高めるためのシステムおよび方法を提供する。本実施形態は、多くの方法 (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おける方法) で実施されうることを理解されたい。いくつかの実施形態が以下に説明される。

【0006】

一実施形態では、 M H z の R F 発生器によって供給される電力は、 M H z の R F 発生器によって供給される電力の効率性を高めるために、 k H z の R F 発生器の 1 周期内で変更される。この電力制御は能動型であり、 M H z の R F 発生器によって供給された電力を迅速に増加または減少させるために、 z M H z の R F 発生器内で高速電力制御装置が用いられる。電力制御装置は、電力反射係数が低いまたは高いかどうかに応じて、供給される電力を増加または減少させる。一実施形態では、電力制御は受動型である。 M H z の R F 発生器の自然発生特性の 1 つは、その供給電力がプラズマチャンバ内のプラズマのインピーダンス関数であることである。

【0007】

10

20

30

40

50

一実施形態では、MHzのRF発生器の電力のパッシブ制御またはアクティブ制御に加えて、z MHzのRF発生器の電力制御装置の周波数が制御され、インピーダンス整合ネットワークのコンデンサが制御され、および/または、MHzのRF発生器に結合されているRFケーブルは、MHzのRF発生器の出力における電力反射係数が低いときにMHzのRF発生器の供給電力が高く、電力反射係数が高いときにMHzのRF発生器の供給電力が低くなるように改良される。

【0008】

いくつかの誘電プラズマエッチングシステムは、無線周波数として、z MHz（例えば、60 MHzまたは27 MHz）およびx kHz（例えば、400 kHz）を用いる。x kHzなどの低周波の存在は、z MHzなどの高周波において変調を引き起こす。この変調は、相互変調周波数（例えば、z MHz ± n * x kHz（nは正の実数））でz MHzのRF発生器によって供給された電力で明らかである。いくつかのRFシステムは、z MHzのRF発生器への電力を基本周波数（例えば、z MHz）で測定するが、50%ものz MHzのRF電力がz MHzのRF発生器に相互変調周波数で反射され、熱として消費される。これだけ多くの電力を、z MHzのRF発生器によって供給された電力の費用として、また、所定量の電力を供給するのにより大きなRFの発生器が必要な費用として消費するのはお金がかかる。

10

【0009】

いくつかの方法は、z MHzの反射電力量を削減し、z MHzの供給電力の効率性を高めることを含み、効率性は、プラズマチャンバが受信した電力率と、プラズマチャンバが受信した総電力と、z MHzのRF発生器に反射した電力である。例えば、z MHzのRF発生器から出力された電力の一部は、プラズマチャンバによって受信され、処理のためにプラズマチャンバによって用いられ、z MHzのRF発生器から出力された電力の別の一部は、プラズマチャンバからz MHzのRF発生器に反射される。z MHzの供給電力の効率性は、プラズマチャンバが受信した電力率であり、プラズマチャンバが受信した総電力であり、z MHzのRF発生器に反射した電力である。電力は、プラズマチャンバからRF伝送路、インピーダンス整合ネットワーク、およびRFケーブルを通過してz MHzのRF発生器に反射される。インピーダンス整合ネットワークは、RF伝送路を介してプラズマチャンバに結合され、RFケーブルを介してz MHzのRF発生器に結合される。プラズマチャンバによって受信された電力は、RF伝送路を介してプラズマチャンバの電極（例えば、下部電極）で受信された電力である。この方法の1つは、x kHzの1周期内で、本明細書において時に周波数変調（FM）を意味する、z MHzのRF周波数を変調することを含み、この方法の別の1つは、x kHzの1周期内で、本明細書において時に振幅変調（AM）を意味する、z MHzのRF供給電力を変調することを含む。一実施形態では、AMプロセスを実行するためにz MHzのRF発生器によって供給されたz MHz電力の自然発生のパッシブ変調を用いる方法が説明される。

20

30

【0010】

z MHzのRF発生器およびx kHzのRF発生器を備えるエッチングツールにおいて、z MHz電圧反射係数は、x kHzで変調される。z MHz電圧反射係数は、大きさおよび位相の複素数である。例えば、x kHzの1周期におけるz MHz電圧反射係数の平均値は0であるが、x kHzの1周期におけるz MHz電力反射係数 $| \Gamma |^2$ の平均値は、0.50または50%である。よって、z MHzのRF発生器によって供給された電力の50%が無駄になっている。より大きなz MHzのRF発生器は、供給電力量を増やすために用いられうるが、ひどく高額である。

40

【0011】

上述のように、z MHzのRF供給電力の効率性を高める方法は、z MHzのRF発生器からのz MHzの供給電力を1 x kHz周期内で変調することである。例えば、z MHzの供給電力は、電力反射係数 $| \Gamma |^2$ が低いときにx kHz周期の一部の間に増加し、z MHzの出力電力は、電力反射係数が高いときにx kHz周期の一部の間に減少する。これは、全体に低電力加重反射係数をもたらすだろう。z MHz供給電力の増加および減

50

少は、マイクロ秒未満単位で z MHz 供給電力を能動的に制御することによって実現される。 x kHz の 1 周期は、2.5 マイクロ秒、または、2 マイクロ秒から 3 マイクロ秒の間であることに注意されたい。また、一実施形態では、 z MHz 供給電力の増加および減少は、アクティブ制御を用いる必要なく、 z MHz 出力電力の自然発生のパッシブ変化によって実現される。

【0012】

一実施形態では、 x kHz の RF 発生器および z MHz の RF 発生器に結合されているインピーダンス整合ネットワークに関連づけられた調整つまみを変化させる方法が説明される。調整つまみの例は、1 つの可変コンデンサおよび 1 つの可変 RF 周波数、または 2 つの可変コンデンサを含む。調整つまみは、 z MHz 電圧反射係数線（例えば、プロット）の中心を移して、スミスチャートの中心とより厳密に一致するように変更される。スミスチャートの中心では、 z MHz 電力反射係数 $| \Gamma |^2 = 0$ である。

10

【0013】

一実施形態では、 z MHz の RF 発生器とインピーダンス整合ネットワークとの間の RF ケーブルの長さを変化させる方法が説明される。そのような長さの変化は、 z MHz の RF 発生器によって供給された少量の電力の領域と並ぶように z MHz 電圧反射係数線の極領域（例えば、エッジ領域）の回転を促進する。また、長さの変化は、 z MHz の RF 発生器によって供給された多量の電力を有する z MHz 電圧反射係数線の中心領域が $| \Gamma |^2$ がより小さいスミスチャートの中心領域付近になることを促進する。

20

【0014】

一実施形態では、 $| \Gamma |^2$ の電力加重平均値を下げることによって z MHz 供給電力の効率性を高める方法が説明される。同量の z MHz 供給電力がより小さい z MHz の RF 発生器で実現されるため、より高い z MHz の供給電力の効率性は、 z MHz の RF 発生器によって供給された電力の操業費を削減し、 z MHz の RF 発生器の資本費も削減する。

【0015】

一実施形態では、RF 発生器のパッシブ制御のための第 1 の方法が説明される。第 1 の方法は、低周波 RF 発生器によって、低周波 RF 信号をプラズマチャンバに結合されたインピーダンス整合ネットワークに供給することを含む。第 1 の方法は、さらに、高周波 RF 発生器によって、高周波 RF 信号をインピーダンス整合ネットワークに供給することを含む。インピーダンス整合ネットワークは、直列回路およびシャント回路を含む。第 1 の方法は、高周波 RF 発生器の出力において測定された変数の複数の測定値にアクセスしてパラメータを生成することを含む。変数は、低周波 RF 発生器の複数の動作周期の間に測定される。測定値は、高周波 RF 発生器によって供給された電力の複数の値に関連付けられる。第 1 の方法は、1 周期について、高周波 RF 発生器によって供給された電力の効率性が高まる、高周波 RF 発生器の周波数値、および、シャント回路に関連付けられた因数値を決定することを含む。

30

【0016】

一実施形態では、第 1 の方法における、低周波 RF 信号を供給する動作、高周波 RF 信号を供給する動作、複数の測定値にアクセスする動作、ならびに、高周波 RF 発生器の周波数値および因数値を決定する動作は、基板が処理されていないトレーニングルーチンの間に実行される。

40

【0017】

一実施形態では、第 1 の方法における、周波数値および因数値を決定する動作は、変数の測定値のサブセット、および、高周波 RF 発生器によって供給された電力値のサブセットから計算される平均値に基づいて実行される。

【0018】

一実施形態では、本明細書に記載の第 1 の方法は、1 周期について、変数の第 1 の測定値の大きさの 2 乗と、高周波 RF 発生器によって供給された電力の第 1 の値の 2 乗との積、および、変数の第 2 の測定値の大きさの 2 乗と、高周波 RF 発生器によって供給された

50

電力の第 2 の値の 2 乗との積、の平均値を計算することを含む。

【 0 0 1 9 】

一実施形態では、本明細書に記載の第 1 の方法は、別の 1 周期について、変数の第 3 の測定値の大きさの 2 乗と、高周波 R F 発生器によって供給された電力の第 3 の値の 2 乗との積、および、変数の第 4 の測定値の大きさの 2 乗と、高周波 R F 発生器によって供給された電力の第 4 の値の 2 乗との積、の別の平均値を計算することを含む。

【 0 0 2 0 】

一実施形態では、本明細書に記載の第 1 の方法は、1 周期についての平均値が別の 1 周期についての別の平均値未満であることを決定することを含む。

【 0 0 2 1 】

一実施形態では、第 1 の方法における、周波数値および因数値を決定する動作は、平均値が別の周期についての別の平均値未満である 1 周期に基づいて実行される。

【 0 0 2 2 】

一実施形態では、第 1 の方法における、周波数値および因数値を決定する動作は、効率性の向上が実現する直列回路に関連付けられた因数値を決定することを含む。

【 0 0 2 3 】

第 1 の方法の一実施形態では、高周波 R F 発生器は、R F ケーブルを介してインピーダンス整合ネットワークに結合される。この実施形態では、第 1 の方法は、トレーニングルーチンの間に、高周波 R F 発生器の出力において測定された変数の別の複数の測定値にアクセスすることを含む。別の複数の変数の測定値は、低周波 R F 発生器の別の複数の動作周期の間に測定される。別の複数の変数の測定値は、R F ケーブルが変更された後に測定される。また、別の複数の測定値は、高周波 R F 発生器によって供給された電力の別の複数の値に関連付けられる。さらに、これらの実施形態では、第 1 の方法は、トレーニングルーチンの間に、別の複数の周期の 1 周期について、高周波 R F 発生器によって供給された電力の効率性が高まる、高周波 R F 発生器の別の周波数値、および、シャント回路に関連付けられた別の因数値を決定することを含む。

【 0 0 2 4 】

一実施形態では、本明細書に記載の第 1 の方法は、プラズマチャンバ内での基板処理の間に、高周波 R F 発生器の周波数値、および、シャント回路に関連付けられた因数値を適用することを含む。

【 0 0 2 5 】

第 1 の方法の一実施形態では、変数は電圧反射係数であり、パラメータは電力反射係数であり、因数は静電容量である。

【 0 0 2 6 】

一実施形態では、R F 発生器のアクティブ制御のための第 2 の方法が説明される。第 2 の方法は、低周波 R F 発生器によって、低周波 R F 信号をプラズマチャンバに結合されたインピーダンス整合ネットワークに供給することを含む。第 2 の方法は、さらに、高周波 R F 発生器によって、高周波 R F 信号をインピーダンス整合ネットワークに供給することを含む。インピーダンス整合ネットワークは、直列回路およびシャント回路を含む。第 2 の方法は、さらに、高周波 R F 発生器の出力において測定された変数の複数の測定値にアクセスしてパラメータを生成することを含む。変数は、低周波 R F 発生器の複数の動作周期の間に測定される。測定値は、高周波 R F 発生器によって供給された電力の複数の値に関連付けられる。第 2 の方法は、1 周期について、高周波 R F 発生器によって供給された電力の効率性が高まる、高周波 R F 発生器の周波数値、高周波 R F 発生器によって供給された電力量、および、シャント回路に関連づけられた因数値を決定することを含む。

【 0 0 2 7 】

一実施形態では、第 2 の方法における、低周波 R F 信号を供給する動作、高周波 R F 信号を供給する動作、複数の測定値にアクセスする動作、ならびに、高周波 R F 発生器の周波数値、高周波 R F 発生器によって供給された電力量、および因数値を決定する動作は、基板処理の間に実行される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

一実施形態では、第2の方法における、周波数値、高周波RF発生器によって供給された電力量、および因数値を決定する動作は、変数の測定値のサブセット、および、高周波RF発生器によって供給された電力値のサブセットから計算される平均値に基づく。

【 0 0 2 9 】

一実施形態では、本明細書に記載の第2の方法は、1周期について、変数の第1の測定値の大きさの2乗と、高周波RF発生器によって供給された電力の第1の値の2乗との積、および、変数の第2の測定値の大きさの2乗と、高周波RF発生器によって供給された電力の第2の値の2乗との積、の平均値を計算することを含む。

【 0 0 3 0 】

一実施形態では、本明細書に記載の第2の方法は、別の1周期について、変数の第3の測定値の大きさの2乗と、高周波RF発生器によって供給された電力の第3の値の2乗との積、および、変数の第4の測定値の大きさの2乗と、高周波RF発生器によって供給された電力の第4の値の2乗との積、の別の平均値を計算することを含む。

【 0 0 3 1 】

一実施形態では、本明細書に記載の第2の方法は、1周期についての平均値が別の1周期についての別の平均値未満であることを決定することを含む。

【 0 0 3 2 】

一実施形態では、第2の方法における、周波数値、高周波RF発生器によって供給された電力量、および因数値を決定する動作は、平均値が他の周期についての別の平均値未満である1周期に基づいて実行される。

【 0 0 3 3 】

一実施形態では、第2の方法における、因数値を決定する動作は、効率性の向上が実現する直列回路に関連付けられた因数値を決定することを含む。

【 0 0 3 4 】

第2の方法の一実施形態では、高周波RF発生器は、RFケーブルを介してインピーダンス整合ネットワークに結合される。第2の方法は、さらに、基板処理の間に、高周波RF発生器の出力において測定された変数の別の複数の測定値にアクセスすることを含む。別の複数の変数の測定値は、低周波RF発生器の別の複数の動作周期の間に測定される。別の複数の変数の測定値は、RFケーブルが変更された後に測定される。別の複数の測定値は、高周波RF発生器によって供給された電力の別の複数の値に関連付けられる。また、第2の方法は、基板処理の間に、別の複数の周期の1周期について、高周波RF発生器によって供給された電力の効率性が高まる、高周波RF発生器の別の周波数値、高周波RF発生器によって供給された別の電力量、シャント回路に関連付けられた別の因数値を決定することを含む。

【 0 0 3 5 】

一実施形態では、本明細書に記載の第2の方法は、プラズマチャンバ内での基板処理の間に、高周波RF発生器の周波数値、電力量、および、シャント回路に関連付けられた因数値を適用することを含む。

【 0 0 3 6 】

第2の方法の一実施形態では、変数は電圧反射係数であり、パラメータは電力反射係数であり、因数は静電容量である。

【 0 0 3 7 】

一実施形態では、システムについて説明される。システムは、インピーダンス整合ネットワークを備える。インピーダンス整合ネットワークは、直列回路およびシャント回路を含む。システムは、さらに、インピーダンス整合ネットワークに結合されたプラズマチャンバと、インピーダンス整合ネットワークに結合され、低周波RF信号をインピーダンス整合ネットワークに供給するように構成されている低周波RF発生器とを備える。システムは、また、インピーダンス整合ネットワークに結合され、高周波RF信号をインピーダンス整合ネットワークに供給するように構成されている高周波RF発生器を備える。シス

10

20

30

40

50

テムは、高周波 R F 発生器に結合されたホストコンピュータシステムを備える。ホストコンピュータシステムは、高周波 R F 発生器の出力において測定された変数の複数の測定値にアクセスしてパラメータを生成するように構成されているプロセッサを備える。変数は、低周波 R F 発生器の複数の動作周期の間に測定される。測定値は、高周波 R F 発生器によって供給された電力の複数の値に関連付けられる。プロセッサは、さらに、1 周期について、高周波 R F 発生器によって供給された電力の効率性が高まる、高周波 R F 発生器の周波数値、および、シャント回路に関連付けられた因数値を決定するように構成されている。

【 0 0 3 8 】

このシステムの一実施形態では、変数は電圧反射係数であり、パラメータは電力反射係数であり、因数は静電容量である。

10

【 0 0 3 9 】

このシステムの一実施形態では、プロセッサは、周波数値を決定するように構成され、因数値は、変数の測定値のサブセット、および、高周波 R F 発生器によって供給された電力の値のサブセットから計算される平均値に基づく。

【 0 0 4 0 】

本明細書に記載のシステムおよび方法のいくつかの利点は、 z MHz の R F 発生器によって供給された電力の効率性が高まるように z MHz の R F 発生器を調節することを含む。一実施形態では、効率性は、トレーニングルーチンの間に、 z MHz の R F 発生器の動作周波数、インピーダンス整合ネットワークのシャントコンデンサの静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列コンデンサの静電容量を決定することによって向上する。 z MHz の R F 発生器の動作周波数、インピーダンス整合ネットワークのシャントコンデンサの静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列コンデンサの静電容量は、 x kHz の R F 発生器の複数の動作周期の 1 周期の間に決定される。 z MHz の R F 発生器の動作周波数、インピーダンス整合ネットワークのシャントコンデンサの静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列コンデンサの静電容量が決定されるときは、 x kHz の R F 発生器の 1 動作周期内で z MHz の R F 発生器によって供給される電力の制御はない。例えば、 z MHz の R F 発生器によって供給される電力は、 x kHz の R F 発生器の第 1 の動作周期の 1 サブ周期から x kHz の R F 発生器の動作周期の第 2 のサブ周期に変化するには制御されない。 x kHz の R F 発生器の各動作周期は、複数のサブ周期に分けられる。第 2 のサブ周期は、第 1 のサブ周期に続く。このような、 x kHz の R F 発生器の動作周期内に z MHz の R F 発生器による電力の制御がないことは、本明細書では時にパッシブ制御を意味する。また、ウエハ処理の間においても、 x kHz の R F 発生器の動作周期中に z MHz の R F 発生器によって供給される電力の制御はない。ウエハ処理の間に、トレーニングルーチンの間に決定された z MHz の R F 発生器の動作周波数、インピーダンス整合ネットワークのシャントコンデンサの静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列コンデンサの静電容量が適用される。

20

30

【 0 0 4 1 】

z MHz の R F 発生器によって供給される電力は、 x kHz の R F 発生器の複数の動作周期の間に変化するように制御されるようにパッシブ制御の間に制御されるが、 x kHz の R F 発生器の動作周期内またはその周期中に変化するように制御されないことに注意されたい。 z MHz の R F 発生器によって供給される電力は、制御されるが、 x kHz の R F 発生器の 1 周期のように短期間で制御されないだけである。また、パッシブ制御中に、 x kHz の R F 発生器の各周期間に、 x kHz の R F 発生器によって供給される R F 信号の電圧に変化がある。電圧の変化は、プラズマチャンバ内のプラズマの z MHz 負荷インピーダンスを修正する。プラズマの z MHz 負荷インピーダンスの修正は、 z MHz の R F 発生器によって供給される電力量を変更する。

40

【 0 0 4 2 】

一実施形態では、供給電力の効率性は、 z MHz の R F 発生器によって供給される電力量、 z MHz の R F 発生器の動作周波数、インピーダンス整合ネットワークのシャントコ

50

ンデンサの静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列コンデンサの静電容量を決定することによって向上する。ウエハ処理の間に、 z MHz の RF 発生器の動作周波数、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力量、インピーダンス整合ネットワークのシャントコンデンサの静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列コンデンサの静電容量は、 x kHz の RF 発生器の複数の動作周期の 1 周期の間に決定される。 z MHz の RF 発生器の動作周波数、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力量、インピーダンス整合ネットワークのシャントコンデンサの静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列コンデンサの静電容量が決定されるときは、 x kHz の RF 発生器の 1 動作周期内で z MHz の RF 発生器の電力が制御される。そのような、 x kHz の RF 発生器の動作周期内における z MHz の RF 発生器によって供給される電力の制御は、本明細書では時にアクティブ制御を意味する。

10

【0043】

供給電力の効率性の向上は、アクティブ制御またはパッシブ制御を用いることによって実現される。供給電力の効率性の向上は、プラズマチャンバ内のウエハ処理の効率性を改善する。

【0044】

他の態様は、付随の図面と併せて説明される以下の発明を実施するための形態から明らかになるだろう。

【図面の簡単な説明】

【0045】

実施形態は、付随の図面と併せてなされる以下の説明を参照して最も良く理解されるだろう。

20

【0046】

【図1】 x キロヘルツ (kHz) の無線周波数 (RF) 発生器の動作周期における z メガヘルツ (MHz) の RF 発生器のパッシブ制御についてのトレーニングルーチンを示すシステムの実施形態図。

【0047】

【図2】 z MHz の RF 発生器によって供給される電力のパッシブ変化があることを示すグラフの実施形態図。

【0048】

【図3】トレーニングルーチン中の図1のシステムの動作を示すテーブルの実施形態。

30

【0049】

【図4A】本明細書に記載の方法が適用されないときは電力反射係数が高いことを示すスミスチャートの実施形態。

【0050】

【図4B】 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性を高めるために電力反射係数が低いことを示すスミスチャートの実施形態。

【0051】

【図4C】 z MHz の RF 発生器の出力において z MHz の RF 発生器によって供給される電力は、左下角で低く、右上角で高いことを示す電力等高線図の実施形態。

40

【0052】

【図5】 z MHz の RF 発生器の出力をインピーダンス整合ネットワークの入力に結合する RF ケーブルが変更された後の別のトレーニングルーチンを示すシステムの実施形態図。

【0053】

【図6】トレーニングルーチン中の図5のシステムの動作を示すテーブルの実施形態。

【0054】

【図7A】図4Bのスミスチャート。

【0055】

【図7B】 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性を高めるために電力反

50

射係数が低いことを示すスミスチャートの実施形態。

【0056】

【図7C】 z MHzのRF発生器の出力において z MHzのRF発生器によって供給される電力が、変更されたRFケーブルでは図1のシステムの別のRFケーブルより高いことを示す電力等高線図の実施形態。

【0057】

【図8A】変更されたRFケーブルが用いられたときに、 z MHzのRF発生器の周波数、インピーダンス整合ネットワークの直列回路の静電容量、インピーダンス整合ネットワークのシャント回路の別の静電容量が用いられる処理ルーチンを示すシステムの実施形態図。

10

【0058】

【図8B】図8Aのシステムの処理ルーチンを示すテーブルの実施形態。

【0059】

【図9A】図1のシステムのRFケーブルが用いられたときに、 z MHzのRF発生器の周波数、インピーダンス整合ネットワークの直列回路の静電容量、インピーダンス整合ネットワークのシャント回路の別の静電容量が用いられる処理ルーチンを示すシステムの実施形態図。

【0060】

【図9B】図9Aのシステムの処理ルーチンを示すテーブルの実施形態。

【0061】

【図10】 x kHzのRF発生器の複数の動作周期中の z MHzのRF発生器のアクティブ制御を示すシステムの実施形態図。

20

【0062】

【図11】図10のシステムの動作を示すテーブルの実施形態。

【0063】

【図12】アクティブ制御のために変更されたRFケーブルが用いられるシステムの実施形態図。

【0064】

【図13】図12のシステムの動作を示すテーブルの実施形態。

【0065】

【図14】 z MHzのRF発生器によって出力される電力値、 z MHzのRF発生器の動作周波数、インピーダンス整合ネットワークのシャント回路の静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列回路の別の静電容量がアクティブ制御のために識別されると変更されたRFケーブルを用いる図12のシステムの処理ルーチンを示すテーブルの実施形態。

30

【0066】

【図15】 z MHzのRF発生器によって出力される電力値、 z MHzのRF発生器の動作周波数、インピーダンス整合ネットワークのシャント回路の静電容量、およびインピーダンス整合ネットワークの直列回路の別の静電容量が識別された後の図10のシステムの処理ルーチンを示すテーブルの実施形態。

40

【0067】

【図16】1周期および1周期の1サブ周期を示す複数のクロック信号を表す図。

【発明を実施するための形態】

【0068】

以下の実施形態は、キロヘルツ無線周波数発生器の存在下でメガヘルツ無線周波数発生器の供給電力の効率性を高めるためのシステムおよび方法を説明する。本実施形態は、これらの特定の詳細の一部または全てなしで実施されてよいことが明らかだろう。別の例では、周知のプロセス動作は、本実施形態を不必要に曖昧にしないように詳細には説明されていない。

【0069】

50

図1は、zメガヘルツ(MHz)の無線周波数(RF)発生器のパッシブ制御のためのトレーニングルーチンを示すためのシステム100の実施形態を表す図である。システム100は、xキロヘルツ(kHz)のRF発生器、zMHzのRF発生器、ホストコンピュータシステム、インピーダンス整合ネットワーク(IMN)102、プラズマチャンバ、複数のモータM1およびモータM2、ならびに複数のドライバD1およびドライバD2を備える。ドライバの例は、1つ以上のトランジスタを含む。モータは、ステータおよびロータを含む。

【0070】

xkHzのRF発生器の例は、400kHzのRF発生器を含む。xkHzのRF発生器の別の例は、300kHzから500kHzの間の動作周波数を有する発生器を含む。zMHzのRF発生器の例は、60MHzの動作周波数を有する発生器を含む。zMHzのRF発生器の別の例は、27MHzの動作周波数を有するRF発生器を含む。

10

【0071】

IMN102は、直列回路106a、シャント回路106b、別の直列回路108a、および別のシャント回路108bを備える。直列回路の例は、1つ以上の抵抗器、1つ以上のインダクタ、1つ以上のコンデンサ、またはそれらの組み合わせを含む。例えば、直列回路は、インダクタおよびコンデンサの直列接続を含む。別の例として、直列回路は、インダクタ、コンデンサ、および抵抗器の直列接続を含む。同様に、シャント回路の例は、抵抗器、インダクタ、コンデンサ、またはそれらの組み合わせを含む。例えば、シャント回路は、インダクタおよびコンデンサの直列接続を含む。別の例として、シャント回路は、インダクタ、コンデンサ、および抵抗器の直列接続を含む。シャント回路の端部は、アース接続部に結合されている。

20

【0072】

直列回路108aの1つ以上のコンデンサのコンデンサC1は、直列回路108aの1つ以上のコンデンサの合成静電容量を有する。例えば、2つのコンデンサが互いに平行に結合されるときは、合成静電容量は、2つのコンデンサの静電容量の和である。別の例として、2つのコンデンサが互いに直列に結合されるときは、合成静電容量は、静電容量の積を静電容量の和で割ったものである。同様に、シャント回路108bのコンデンサC2は、シャント回路108bの1つ以上のコンデンサの合成静電容量を有する。

30

【0073】

直列回路106aの端部は、シャント回路106bの端部に結合される。直列回路106aの端部およびシャント回路106bの端部の両方は、IMN102の入力i1に結合される。同様に、直列回路108aの端部は、シャント回路108bの端部に結合される。直列回路108aの端部およびシャント回路108bの端部の両方は、IMN102の入力i2に結合される。また、直列回路106aの反対側端部は、IMN102の出力o1に結合される。同様に、直列回路108aの反対側端部は、出力o1に結合される。入力i1は、RFケーブルRFC1を介してxkHzのRF発生器の出力に結合される。同様に、入力i2は、RFケーブルRFC2を介してzMHzのRF発生器の出力に結合される。

40

【0074】

プラズマチャンバは、下部電力および上部電極を備える。上部電極は、接地電位に結合される。下部電極および上部電極の各々は、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)から作られる。上部電極は、下部電極に面し、上部電極と下部電極との間にプラズマが生成するように隙間が形成される。いくつかの実施形態では、プラズマチャンバは、上部電極を囲む上部電極延長部、上部電極と上部電極延長部との間の誘電体リング、上部電極の端部側方に配置される閉じ込めリング、上部電極を囲む下部電極延長部、その電極と下部電極延長部との間の誘電体リングなどの付属部品を備える。

【0075】

出力o1は、RF伝送路RFTを介して下部電極に結合される。RF伝送路RFTは、RFロッド、および、RFロッドを囲む絶縁スリーブを含む。

50

【 0 0 7 6 】

ホストコンピュータシステムは、プロセッサおよびメモリデバイスを備える。メモリデバイスは、プロセッサに結合される。プロセッサの例は、中央処理装置（CPU）、コントローラ、特定用途向け集積回路（ASIC）、またはプログラマブルロジックデバイス（PLD）を含み、これらの用語は、本明細書において同義で用いられる。メモリデバイスの例は、読み出し専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、ハードディスク、揮発性メモリ、不揮発性メモリ、記憶ディスクの冗長アレイ、フラッシュメモリなどを含む。

【 0 0 7 7 】

システム 100 は、さらに、 z MHz の RF 発生器の出力に結合されるセンサ（例えば、方向性結合器、オシロスコープ、またはネットワークアナライザ）を備える。センサは、電圧反射係数 または供給電力などの変数を測定する。変数は、基板処理を行わないトレーニングルーチンの間にシステム 100 において測定される。例えば、プラズマチャンバは、変数がセンサによって測定されるときは処理のための基板を有しない。別の例として、プラズマチャンバでは、ダミーウエハが用いられる。電圧反射係数は、大きさおよび位相を有するなどの複素数である。また、電圧反射係数は、時間と共に変化する。電圧反射係数の大きさは、 z MHz の RF 発生器の出力において z MHz の RF 発生器に反射する電圧と、出力において z MHz の RF 発生器によって供給される電圧との比率である。電圧は、プラズマチャンバから RF 伝送路 RFT、IMN102、および RF ケーブル RFC2 を通って z MHz の RF 発生器に反射する。パラメータの一例である電力反射係数 $| \Gamma |^2$ は、電圧反射係数の大きさの 2 乗である。

【 0 0 7 8 】

プロセッサは、変数の測定値を受信し、各測定値の大きさの 2 乗を計算して、パラメータの対応値を生成する。プロセッサは、ドライバ D1 に結合され、ドライバ D1 は、モータ M1 にさらに結合される。モータ M1 は、連結機構を介してコンデンサ C1 に結合される。連結機構の例は、1 つ以上のロッド、または 1 つ以上のロッドと 1 つ以上のギアとの組み合わせを含む。同様に、プロセッサは、ドライバ D2 に結合され、ドライバ D2 は、モータ M2 にさらに結合される。モータ M2 は、別の連結機構を介してコンデンサ C2 に結合される。

【 0 0 7 9 】

x kHz の RF 発生器は、周波数制御装置（FC）および電源 110 を備える。電源 110 は、 x kHz の RF 発生器の FC および x kHz の RF 発生器の出力に結合される。FC の例は、制御装置を含む。また、 z MHz の RF 発生器は、FC および電源 112 を備える。電源 112 は、 z MHz の RF 発生器の FC および z MHz の RF 発生器の出力に結合される。

【 0 0 8 0 】

一実施形態では、RF 伝送路 RFT は、下部電極に結合される代わりに上部電極に結合され、下部電極は、アース接続部に結合される。一実施形態では、上部電極は、別の RF 伝送路および別のインピーダンス整合ネットワークを介して別の RF 発生器に結合され、下部電極は、IMN102 に結合される。

【 0 0 8 1 】

図 2 は、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力のパッシブ（例えば、 x kHz の RF 発生器の 1 動作周期の間にプロセッサによる制御がない）変動、通常変動、または動作変動があるグラフ 200 の実施形態を表す図である。 z MHz の RF 発生器によって供給される電力は、本明細書では時に供給電力を意味する。グラフ 200 は、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力対時間を描く。グラフ 200 に示されるように、供給電力は、2000 ワットと 5500 ワットとの間で変動する。 x kHz の RF 発生器の 1 動作周期内では、 z MHz の RF 発生器の出力で供給される電力を変更するためのプロセッサによる z MHz の RF 発生器の制御はない。 z MHz の RF 発生器の出力で供給される電力は、 x kHz の RF 発生器の 1 動作周期の間に制御されることなく変動する。

【0082】

図3は、トレーニングルーチンの間における図1のシステム100の動作を示すテーブル300の実施形態である。テーブル300に示されるように、 x kHzのRF発生器は、周波数 f_{11} を有する1周期を有する。 x kHzのRF発生器の各動作周期は、周波数 f_{11} を有する。例えば、 x kHzのRF発生器の動作周期の第1の5分の1は、周波数 f_{11} を有し、 x kHzのRF発生器の動作周期の第2の5分の1は、周波数 f_{11} を有し、 x kHzのRF発生器の動作周期の第3の5分の1は、周波数 f_{11} を有し、 x kHzのRF発生器の動作周期の第4の5分の1は、周波数 f_{11} を有し、 x kHzのRF発生器の動作周期の第5の5分の1は、周波数 f_{11} を有する。第2の5分の1のサブ周期は、第1の5分の1のサブ周期に続く。第3の5分の1のサブ周期は、第2の5分の1のサブ周期に続く。第4の5分の1のサブ周期は、第3の5分の1のサブ周期に続く。第5の5分の1のサブ周期は、第4の5分の1のサブ周期に続く。ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 x kHzのRF発生器の動作周波数 f_{11} を x kHzのRF発生器のFCに提供する。FCは、周波数 f_{11} を電源110に提供し、電源110は、 x kHzのRF発生器の動作周期中に周波数 f_{11} を有するRF信号を生成する。1周期とは、クロック信号の1周期である。クロック信号は、複数の周期を有する。各周期は、同一の期間を有する。同様に、各サブ周期は、同一の期間を有する。

10

【0083】

x kHzのRF発生器がトレーニングルーチンの中に周波数 f_{11} で動作するとき、 z MHzのRF発生器の電源112は、電力値 P_{s1} ないし電力値 P_{s5} を供給する。 x kHzのRF発生器の動作周期中に電力値 P_{s1} ないし電力値 P_{s5} を提供するための z MHzのRF発生器の制御はない。例えば、 x kHzのRF発生器の動作周期中に電力値 P_{s1} ないし電力値 P_{s5} を制御するためのホストコンピュータシステムのプロセッサへのフィードバックループはない。さらに例えると、 x kHzのRF発生器の動作周期中に、プロセッサは、 z MHzのRF発生器の出力に結合されたセンサから受信する変数の測定値に基づいて電力値 P_{s1} ないし電力値 P_{s5} を変更しない。別の例として、 z MHzのRF発生器の出力において z MHzのRF発生器によって供給される電力は、 x kHzのRF発生器の開ループ動作中（例えば、数マイクロ秒程度の動作周期内）にひとりで変動する。例として、 x kHzのRF発生器の周期の発生期間は、2マイクロ秒から5マイクロ秒の間（例えば、2.5マイクロ秒）である。

20

30

【0084】

z MHzのRF発生器は、 x kHzのRF発生器の周期の間は周波数 f_{21} で動作する。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHzのRF発生器の動作周波数 f_{21} を z MHzのRF発生器のFCに提供する。 z MHzのRF発生器のFCは、周波数 f_{21} を電源112に提供して、 x kHzのRF発生器の動作周期中に周波数 f_{21} を有するRF信号を生成するように電源112を操作する。

【0085】

x kHzのRF発生器の動作周期中に、電源110は、周波数 f_{11} を有するRF信号を生成し、電源112は、周波数 f_{12} を有する別のRF信号を生成する。電源110に生成され、周波数 f_{11} を有するRF信号は、 x kHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC1を通過してIMN102の入力 i_1 に送信される。同様に、電源112に生成され、周波数 f_{21} を有し、電力量 P_{s1} ないし電力量 P_{s5} を有するRF信号は、 z MHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC2を通過してIMN102の入力 i_2 に送信される。IMN102は、出力 o_1 に結合されたRF伝送路RFTやプラズマチャンバなどの負荷のインピーダンスを、入力 i_1 入力 i_2 に結合されたRFケーブルRF1およびRFC21ならびに x kHzのRF発生器および z MHzのRF発生器などのソースのインピーダンスと一致させ、 x kHzのRF発生器および z MHzのRF発生器から受信したRF信号を出力 o_1 で合成して修正RF信号を生成する。修正信号は、出力 o_1 からRF伝送路RFTを通じて下部電極に送信される。

40

【0086】

50

また、直列回路 108 a のコンデンサ C 1 は、 x kHz の RF 発生器の動作周期中は静電容量値 C 1 1 を有するように制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、コンデンサ C 1 のプレートの間の領域の値を実現するためにコマンド信号をドライバ D 1 に送る。ドライバ D 1 は、コマンド信号に基づいて駆動信号を生成し、駆動信号をモータ M 1 に送る。モータ M 1 のロータは、コンデンサ C 1 のプレートの間の領域をさらに実現するために、駆動信号に基づいて回転してモータ M 1 に結合されている連結機構を動かす。コンデンサ C 1 のプレートの間の領域を実現したときは、コンデンサ C 1 は、静電容量 C 1 1 を有する。静電容量は、本明細書で用いられる因数の一例である。

【0087】

同様に、シャント回路 108 b のコンデンサ C 2 は、 x kHz の RF 発生器の動作周期中に静電容量値 C 2 1 を有するように制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、コンデンサ C 2 のプレートの間の領域の値を実現するためにコマンド信号をドライバ D 2 に送る。ドライバ D 2 は、コマンド信号に基づいて駆動信号を生成し、駆動信号をモータ M 2 に送る。モータ M 2 のロータは、コンデンサ C 2 のプレートの間の領域をさらに実現するために、駆動信号に基づいて回転してモータ M 2 に結合されている連結機構を動かす。コンデンサ C 2 のプレートの間の領域が実現したときは、コンデンサ C 2 は、静電容量 C 2 1 を有する。

【0088】

x kHz の RF 発生器の動作周波数が f 1 1 であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f 2 1 であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P s 1 であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C 1 1 であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C 2 1 であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 1 であることを測定する。同様に、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f 1 1 であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f 2 1 であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P s 2 であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C 1 1 であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C 2 1 であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 2 であることを測定する。さらに、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f 1 1 であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f 2 1 であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P s 3 であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C 1 1 であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C 2 1 であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 3 であることを測定する。また、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f 1 1 であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f 2 1 であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P s 4 であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C 1 1 であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C 2 1 であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 4 であることを測定する。 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f 1 1 であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f 2 1 であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P s 5 であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C 1 1 であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C 2 1 であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 5 であることを測定する。

【0089】

センサは、また、 z MHz の RF 発生器の出力における電力値 P s 1 ないし電力値 P s 5 も測定する。センサは、値 1 ないし値 5 および値 P s 1 ないし値 P s 5 を伝送ケーブル（例えば、シリアルデータ伝送ケーブル、並列データ伝送ケーブル、およびユニバーサルシリアルバス（USB）ケーブル）を通じてプロセッサに提供する。プロセッサは、値 f 1 1、値 P s 1 ないし値 P s 5、値 f 2 1、値 C 1 1、値 C 2 1、および値 1 ないし値 5 を、メモリデバイスに格納されているテーブル 300 に記憶する。一実施形態では、プロセッサは、値 f 1 1、値 P s 1 ないし値 P s 5、値 f 2 1、値 C 1 1、値 C 2 1、および値 1 ないし値 5 を図 9 B のテーブル 910 に記憶し、テーブル 910 をメモリデバイスに記憶する。

【0090】

10

20

30

40

50

プロセッサは、 x kHzのRF発生器の周期についての電力加重平均電力反射係数(PWAPRC)を計算する。例えば、プロセッサは、 x kHzのRF発生器の周期についてのPWAPRC1が $[\{(Ps1)X(|1|)^2\} + \{(Ps2)X(|2|)^2\} + \{(Ps3)X(|3|)^2\} + \{(Ps4)X(|4|)^2\} + \{(Ps5)X(|5|)^2\}] / 5$ になるように計算する。電力加重平均電力反射係数の値PWAPRC1が計算される動作周期は、本明細書では第1の動作周期を意味する。

【0091】

同様に、プロセッサは、 x kHzのRF発生器の第2の周期についての別の電力加重平均電力反射係数PWAPRCaを計算する。例えば、プロセッサは、PWAPRCaが $[\{(Ps1a)X(|1a|)^2\} + \{(Ps2a)X(|2a|)^2\} + \{(Ps3a)X(|3a|)^2\} + \{(Ps4a)X(|4a|)^2\} + \{(Ps5a)X(|5a|)^2\}] / 5$ になるように計算する。 x kHzのRF発生器の第2の動作周期は、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の発生後に起きることに注意されたい。例えば、第2の動作周期は、 x kHzのRF発生器の1つ以上の動作周期後に起き、1つ以上の周期は、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期に続く。また、 x kHzのRF発生器の動作周波数が $f11$ であり、 z MHzのRF発生器の動作周波数が $f21a$ であり、 z MHzのRF発生器によって供給される電力が $Ps1a$ であり、コンデンサC1の静電容量値が $C11a$ であり、コンデンサC2の静電容量値が $C21a$ であるとき、センサは、 z MHzのRF発生器の出力において電圧反射係数が $1a$ であることを測定する。同様に、 x kHzのRF発生器の動作周波数が $f11$ であり、 z MHzのRF発生器の動作周波数が $f21a$ であり、 z MHzのRF発生器によって供給される電力が $Ps2a$ であり、コンデンサC1の静電容量値が $C11a$ であり、コンデンサC2の静電容量値が $C21a$ であるとき、センサは、 z MHzのRF発生器の出力において電圧反射係数が $2a$ であることを測定する。さらに、 x kHzのRF発生器の動作周波数が $f11$ であり、 z MHzのRF発生器の動作周波数が $f21a$ であり、 z MHzのRF発生器によって供給される電力が $Ps3a$ であり、コンデンサC1の静電容量値が $C11a$ であり、コンデンサC2の静電容量値が $C21a$ であるとき、センサは、 z MHzのRF発生器の出力において電圧反射係数が $3a$ であることを測定する。また、 x kHzのRF発生器の動作周波数が $f11$ であり、 z MHzのRF発生器の動作周波数が $f21a$ であり、 z MHzのRF発生器によって供給される電力が $Ps4a$ であり、コンデンサC1の静電容量値が $C11a$ であり、コンデンサC2の静電容量値が $C21a$ であるとき、センサは、 z MHzのRF発生器の出力において電圧反射係数が $4a$ であることを測定する。 x kHzのRF発生器の動作周波数が $f11$ であり、 z MHzのRF発生器の動作周波数が $f21a$ であり、 z MHzのRF発生器によって供給される電力が $Ps5a$ であり、コンデンサC1の静電容量値が $C11a$ であり、コンデンサC2の静電容量値が $C21a$ であるとき、センサは、 z MHzのRF発生器の出力において電圧反射係数が $5a$ であることを測定する。

【0092】

x kHzのRF発生器の第2の動作周期の間に、電源110は、周波数 $f11$ を有するRF信号を生成し、電源112は、周波数 $f21a$ を有する別のRF信号を生成する。電源110によって生成され、周波数 $f11$ を有するRF信号は、 x kHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC1を通じてIMN102の入力 $i1$ に送信される。同様に、電源112によって生成され、周波数 $f21a$ を有し、 $Ps1a$ から $Ps5a$ までの電力量を有するRF信号は、 z MHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC2を通じてIMN102の入力 $i2$ に送信される。IMN102は、出力 $o1$ に結合された負荷のインピーダンスを入力 $i1$ および入力 $i2$ に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 x kHzのRF発生器および z MHzのRF発生器から受信したRF信号を出力 $o1$ で合成して、修正RF信号を生成する。修正RF信号は、出力 $o1$ からRF伝送路RFTを通じて下部電極に送信される。

【0093】

x kHzのRF発生器の複数の動作周期にわたり、プロセッサは、 z MHzのRF発生

10

20

30

40

50

器によって供給された電力の効率性が高まる、 z MHz の RF 発生器の動作周波数値、コンデンサ C 1 の静電容量、およびコンデンサ C 2 の静電容量を決定する。例えば、プロセッサは、値 P W A R P C 1 および値 P W A R P C a のどちらが低いかを決定する。プロセッサは、値 P W A R P C 1 と値 P W A R P C a とを比較して、値 P W A R P C 1 が値 P W A R P C a より低いことを決定する。 z MHz の RF 発生器によって供給された電力の効率性は、値 P W A R P C 1 が計算される第 1 の周期の間に高まる。プロセッサは、供給電力の効率性が高まる、第 1 の周期中の z MHz の RF 発生器の動作周波数値 f_{21} 、コンデンサ C 1 の静電容量 C_{11} 、およびコンデンサ C 2 の静電容量 C_{21} をテーブル 300 から識別する。供給電力の効率性は、 z MHz の RF 発生器の出力を I M N 102 の入力 i_2 に接続するのに RF ケーブル R F C 2 が用いられたときに高まることに注意されたい。

【0094】

一実施形態では、コンデンサ C 1 およびコンデンサ C 2 の両方を制御して、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まるコンデンサ C 1 およびコンデンサ C 2 の静電容量が決定される代わりに、コンデンサ C 1 またはコンデンサ C 2 のいずれかを制御して、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まるコンデンサの静電容量が決定される。例えば、値 P W A R P C a は、値 C_{11a} を有するようにコンデンサ C 1 を制御することなしに得られる。コンデンサ C 1 の静電容量は、値 C_{11} を有するように維持され、値 P W A R P C a は、静電容量 C_{11a} ではなく静電容量 C_{11} に基づいて得られる。 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期から第 2 の動作周期のコンデンサ C 1 の静電容量に変化はない。別の例として、値 P W A R P C a は、値 C_{21a} を有するようにコンデンサ C 2 を制御することなしに得られる。コンデンサ C 2 の静電容量は、値 C_{21} を有するように維持され、値 P W A R P C a は、静電容量 C_{21a} ではなく静電容量 C_{21} に基づいて得られる。 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期から第 2 の動作周期のコンデンサ C 2 の静電容量に変化はない。さらに別の例として、値 P W A R P C 1 は、値 C_{11} を有するようにコンデンサ C 1 を制御することなく得られる。 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期につながるコンデンサ C 1 の静電容量に変化はない。別の例として、値 P W A R P C 1 は、値 C_{21} を有するようにコンデンサ C 2 を制御することなしに得られる。 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期につながるコンデンサ C 2 の静電容量に変化はない。

【0095】

一実施形態では、 x kHz の RF 発生器の動作周期は、5 以外の数のサブ周期に分けられる。例えば、 x kHz の RF 発生器の動作周期は、4 周期または 6 周期に分けられる。コンデンサ C 1 およびコンデンサ C 2 の静電容量値は、 x kHz の RF 発生器の動作周期の間の他の数のサブ周期について得られる。また、 z MHz の RF 発生器は、他の数のサブ周期中の動作周波数を有し、センサは、他の数のサブ周期中の変数の値（例えば、4 または 6 の値）を測定する。

【0096】

図 4 A は、本明細書に記載の、 z MHz の RF 発生器の供給電力の効率性を高める方法が適用されなかったときは、 x kHz の RF 発生器の動作周期中の電力反射係数が高いことを示すスミスチャート 400 の実施形態である。スミスチャート 400 は、 z MHz の RF 発生器の出力における電圧反射係数の実部に対する電圧反射係数の虚部のプロット 402 を有する。プロット 402 は、 x kHz の RF 発生器の動作周期を占める。例えば、プロット 402 の点は、 x kHz の RF 発生器の 1 動作周期を占める。スミスチャート 400 は、 x kHz の RF 発生器の周期について描かれる。スミスチャート 400 の領域 R 1 では、ゼロから所定限度内（例えば、ゼロから 25 ~ 30 % 以内）の電力反射係数を有するプロット 402 の点はない。電力反射係数は、スミスチャートの中心でゼロであり、スミスチャートの外周で 1 である。また、プロット 402 のいくつかの点は、スミスチャート 400 の領域 R 2 および領域 R 3 にある。 x kHz の RF 発生器の 1 周期中の z MHz の RF 発生器の出力における電力反射係数は、例えば、領域 R 2 および領域 R 3 以内で

は高く、低くない。例えば、ゼロから所定限度内にある電力反射係数を有するプロット 402 の複数の点はない。

【0097】

プロット 402 は、 z MHz の RF 発生器の出力に結合されている方向性結合器を用いて形成される。例として、400 kHz の周期において、60 MHz の複素電圧反射係数の平均値はほぼ 0 (例えば、ゼロ) であるが、400 kHz の周期において、60 MHz の電力反射係数 $| \Gamma |^2$ の平均値は、約 0.50 (例えば、50%) である。よって、本明細書に記載の方法が適用されないときは、 z MHz の RF 発生器によって供給された電力の約 50% が無駄になっている。

【0098】

図 4B は、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性を高めるには電力反射係数が低いことを示すスミスチャート 404 の実施形態である。スミスチャート 400 は、 z MHz の RF 発生器の出力における電圧反射係数の虚部対電圧反射係数の実部のプロット 406 を有する。プロット 406 は、 x kHz の RF 発生器の 1 動作周期を占める。スミスチャート 404 は、 x kHz の RF 発生器の 1 周期について描かれる。プロット 402 は、プロット 408 を形成するためにその右に移動する。プロット 408 では、領域 R1 は、プロット 402 における領域 R1 より右に移される。例えば、領域 R1 内の点は、ゼロから所定限度内にある。例えば、領域 R1 内の点について、 z MHz の RF 発生器の出力における電力反射係数は、ゼロから所定限度内にある。

【0099】

一実施形態では、 z MHz の RF 発生器の出力における電力反射係数は、領域 R2 および領域 R3 内のプロット 408 の点について増加して、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性を高める。 z MHz の RF 発生器の出力における電力反射係数は、プロット 402 の領域 R2 および領域 R3 についての電力反射係数と比べて増加する。

【0100】

図 4C は、電力等高線図 420 の実施形態であり、 z MHz の RF 発生器の出力において z MHz の RF 発生器によって供給される電力は、電力等高線図 420 の左下角では低く、電力等高線図 420 の右上角では高いことを示す。プロット 408 は、電力等高線図 420 の範囲内に描かれる。 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性を高めるために、プロット 408 のいくつかの点 (例えば、領域 R1 から領域 R3 までの範囲のいくつかの点) についての電力反射係数の減少に加えて、出力において z MHz の RF 発生器によって供給される電力の増加がある。そのため、電力等高線図 420 においてプロット 408 を形成するために左右の移動があり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が増加する。 z MHz の RF 発生器の出力における電力反射係数の減少および z MHz の RF 発生器の出力において供給される電力の増加により、 x MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まる。 x MHz の RF 発生器によって供給される効率電力の増加は、ウエハ処理の効率性を高める。

【0101】

図 5 は、トレーニングルーチン中の、 z MHz の RF 発生器の出力を IMN102 の入力 i 2 に結合する RF ケーブル RFC2 の変化の影響を示すシステム 500 の実施形態を表す図である。システム 500 は、RF ケーブル RFC2 が別の RF ケーブル RFC21 に置き換えられていること以外は、図 1 のシステム 100 と同じである。例えば、RF ケーブル RFC2 の長さは、長くまたは短くなる。別の例として、RF ケーブル RFC2 の断面積は、増加または減少する。さらに別の例として、RF ケーブル RFC2 の長さは、長くまたは短くなり、RF ケーブル RFC2 の断面積は、増加または減少する。RF ケーブル RFC21 は、 z MHz の RF 発生器の出力と入力 i 2 との間に結合される。センサは、 z MHz の RF 発生器の出力における変数を測定する。変数は、基板の処理がないトレーニングルーチンの間にシステム 500 において測定される。例えば、プラズマチャンバは、変数がセンサによって測定されるときは処理する基板を有しない。

【0102】

10

20

30

40

50

図6は、トレーニングルーチン中の図5のシステム500の動作を示すテーブル600の実施形態である。テーブル600に示されるように、 x kHzのRF発生器は、周波数 f_{11} を有する第1の周期で動作する。 x kHzのRF発生器が周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHzのRF発生器の電源112は、 P_{s6} から P_{s10} までの電力値を供給する。 x kHzのRF発生器の動作周期の間に、電力値 P_{s6} ないし電力値 P_{s10} を提供するための z MHzのRF発生器の制御はない。例えば、 x kHzのRF発生器の動作周期内に電力値 P_{s6} ないし電力値 P_{s10} を制御するためのホストコンピュータシステムのプロセッサへのフィードバックループはない。さらに例えると、 x kHzのRF発生器の動作周期の間に、プロセッサは、 z MHzのRF発生器の出力に結合されたセンサから受信する変数の測定値に基づいて、電力値 P_{s6} ないし電力値 P_{s10} を変更しない。

10

【0103】

z MHzのRF発生器は、 x kHzのRF発生器の第1の周期中に周波数 f_{211} で動作する。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHzのRF発生器の動作周波数 f_{211} を z MHzのRF発生器のFCに提供する。 z MHzのRF発生器のFCは、周波数 f_{211} を電源112に提供して、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の間に周波数 f_{211} を有するRF信号を生成するように電源112を操作する。

【0104】

x kHzのRF発生器の第1の動作周期の間に、電源110は、周波数 f_{11} を有するRF信号を生成し、電源112は、周波数 f_{211} を有する別のRF信号を生成する。電源110によって生成され、周波数 f_{11} を有するRF信号は、 x kHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC1を通じてIMN102の入力 i_1 に送信される。同様に、電源112によって生成され、周波数 f_{211} を有し、電力量 P_{s6} ないし電力量 P_{s10} を有するRF信号は、 z MHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC21を通じてIMN102の入力 i_2 に送信される。IMN102は、出力 o_1 に結合された負荷のインピーダンスを入力 i_1 および入力 i_2 に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 x kHzのRF発生器および z MHzのRF発生器から受信したRF信号を出力 o_1 で合成して、修正RF信号を生成する。修正RF信号は、出力 o_1 からRF伝送路RFTを通じて下部電極に送信される。

20

【0105】

また、直列回路108aのコンデンサC1は、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期中に静電容量値 C_{111} を有するように制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、コマンド信号をドライバD1に送信して、コンデンサC1のプレート間の領域の値を得る。ドライバD1は、コマンド信号に基づいて駆動信号を生成し、駆動信号をモータM1に送信する。モータM1のロータは、コンデンサC1のプレート間の領域をさらに実現するために、駆動信号に基づいて回転してモータM1に結合されている連結機構を動かす。コンデンサC1のプレート間の領域が実現されたときは、コンデンサC1は静電容量 C_{111} を有する。

30

【0106】

同様に、シャント回路108bのコンデンサC2は、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期中に静電容量値 C_{211} を有するように制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、コマンド信号をドライバD2に送信して、コンデンサC2のプレート間の領域の値を得る。ドライバD2は、コマンド信号に基づいて駆動信号を生成し、駆動信号をモータM2に送信する。モータM2のロータは、コンデンサC2のプレート間の領域をさらに実現するために、駆動信号に基づいて回転してモータM2に結合されている連結機構を動かす。コンデンサC2のプレート間の領域が実現されたときは、コンデンサC2は静電容量 C_{211} を有する。

40

【0107】

x kHzのRF発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHzのRF発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHzのRF発生器によって供給される電力が P_{s6} であり、コンデンサC1の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサC2の静電容量値が C_{211} で

50

あるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 6 であることを測定する。同様に、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s7} であり、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 7 であることを測定する。さらに、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s8} であり、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 8 であることを測定する。また、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s9} であり、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 9 であることを測定する。 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s10} であり、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 10 であることを測定する。

10

20

【0108】

センサは、また、 z MHz の RF 発生器の出力において電力値 P_{s6} ないし電力値 P_{s10} も測定する。センサは、値 6 ないし値 10 および値 P_{s1} ないし値 P_{s5} を搬送ケーブルを介してプロセッサに提供する。プロセッサは、値 f_{11} 、値 P_{s6} ないし値 P_{s10} 、値 f_{21} 、値 C_{111} 、値 C_{211} 、および値 6 ないし値 10 を、メモリデバイスに格納されているテーブル 600 に記憶する。一実施形態では、プロセッサは、値 f_{11} 、値 P_{s6} ないし値 P_{s10} 、値 f_{21} 、値 C_{111} 、値 C_{211} 、および値 6 ないし値 10 を、図 8B のテーブル 810 に記憶し、テーブル 810 をメモリデバイスに記憶する。

【0109】

プロセッサは、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期についての電力加重平均電力反射係数値 $PWAPRC2$ を計算する。例えば、プロセッサは、 x kHz の RF 発生器の周期についての値 $PWAPRC2$ が $[\{(P_{s6})X(|6|)^2\} + \{(P_{s7})X(|7|)^2\} + \{(P_{s8})X(|8|)^2\} + \{(P_{s9})X(|9|)^2\} + \{(P_{s10})X(|10|)^2\}] / 5$ になるように計算する。

30

【0110】

同様に、プロセッサは、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期についての別の電力加重平均電力反射係数値 $PWAPRCA$ を計算する。例えば、プロセッサは、 $PWAPRCA$ が $[\{(P_{s6A})X(|6A|)^2\} + \{(P_{s7A})X(|7A|)^2\} + \{(P_{s8A})X(|8A|)^2\} + \{(P_{s9A})X(|9A|)^2\} + \{(P_{s10A})X(|10A|)^2\}] / 5$ になるように計算する。 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211A} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s6A} であり、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111A} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211A} であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 6A であることを測定することに注意されたい。同様に、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211A} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s7A} であり、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111A} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211A} であるとき、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 7A であることを測定する。さらに、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211A} であり、 z MHz の

40

50

RF発生器によって供給される電力が P_{s8A} であり、コンデンサ $C1$ の静電容量値が $C111A$ であり、コンデンサ $C2$ の静電容量値が $C211A$ であるとき、センサは、 $zMHz$ のRF発生器の出力において電圧反射係数が $8A$ であることを測定する。また、 $xkHz$ のRF発生器の動作周波数が $f11$ であり、 $zMHz$ のRF発生器の動作周波数が $f211A$ であり、 $zMHz$ のRF発生器によって供給される電力が P_{s9A} であり、コンデンサ $C1$ の静電容量値が $C111A$ であり、コンデンサ $C2$ の静電容量値が $C211A$ であるとき、センサは、 $zMHz$ のRF発生器の出力において電圧反射係数が $9A$ であることを測定する。 $xkHz$ のRF発生器の動作周波数が $f11$ であり、 $zMHz$ のRF発生器の動作周波数が $f211A$ であり、 $zMHz$ のRF発生器によって供給される電力が P_{s10A} であり、コンデンサ $C1$ の静電容量値が $C111A$ であり、コンデンサ $C2$ の静電容量値が $C211A$ であるとき、センサは、 $zMHz$ のRF発生器の出力において電圧反射係数が $10A$ であることを測定する。

10

【0111】

$xkHz$ のRF発生器の第2の動作周期の間に、電源 110 は、周波数 $f11$ を有するRF信号を生成し、電源 112 は、周波数 $f211A$ を有し、電力量 P_{s6A} ないし電力量 P_{s10A} を有する別のRF信号を生成する。電源 110 によって生成され、周波数 $f11$ を有するRF信号は、 $xkHz$ のRF発生器の出力からRFケーブルRFC1を通じてIMN102の入力 $i1$ に送信される。同様に、電源 112 によって生成され、周波数 $f211A$ を有し、電力量 P_{s6A} ないし電力量 P_{s10A} を有するRF信号は、 $zMHz$ のRF発生器の出力からRFケーブルRFC21を通じてIMN102の入力 $i2$ に送信される。IMN102は、出力 $o1$ に結合された負荷のインピーダンスを入力 $i1$ および入力 $i2$ に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 $xkHz$ のRF発生器および $zMHz$ のRF発生器から受信したRF信号を出力 $o1$ で合成して、修正RF信号を生成する。修正RF信号は、出力 $o1$ からRF伝送路RFTを通じて下部電極に送信される。

20

【0112】

RFケーブルRFC21について、 $xkHz$ のRF発生器の複数の動作周期にわたって、プロセッサは、 $zMHz$ のRF発生器によって供給される電力の効率性を高めるために、 $zMHz$ のRF発生器の動作周波数値、コンデンサ $C1$ の静電容量、およびコンデンサ $C2$ の静電容量を決定する。例えば、プロセッサは、値 $PWARPC2$ および値 $PWARPCA$ のどちらが低いかを決定する。プロセッサは、値 $PWARPC2$ と値 $PWARPCA$ とを比較して、値 $PWARPC2$ が値 $PWARPCA$ より低いことを決定する。 $xkHz$ のRF発生器によって供給される電力の効率性は、値 $PWARPC2$ が計算される第1の周期の間に高まる。プロセッサは、第1の周期の間に、 $xkHz$ のRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる、 $zMHz$ のRF発生器の動作周波数値 $f21$ 、コンデンサ $C1$ の静電容量 $C111$ 、およびコンデンサ $C2$ の静電容量 $C211$ をテーブル600から識別する。 $xkHz$ のRF発生器によって供給される電力の効率性は、 $zMHz$ のRF発生器の出力をIMN102の入力 $i2$ に接続するのにRFケーブルRFC21が用いられたときに高まることに注意されたい。

30

【0113】

一実施形態では、コンデンサ $C1$ およびコンデンサ $C2$ の両方を制御して、 $xkHz$ のRF発生器によって供給される電力の効率性が高まるコンデンサ $C1$ およびコンデンサ $C2$ の静電容量を決定する代わりに、コンデンサ $C1$ またはコンデンサ $C2$ のいずれかを制御して、効率性が高まるコンデンサの静電容量を決定する。例えば、値 $PWARPCA$ は、値 $C111A$ を有するようにコンデンサ $C1$ を制御することなしに得られる。コンデンサ $C1$ の静電容量は、値 $C111$ を有するように維持され、値 $PWARPC2$ は、静電容量 $C111A$ ではなく静電容量 $C111$ に基づいて得られる。 $xkHz$ のRF発生器の第1の動作周期から第2の動作周期のコンデンサ $C1$ の静電容量に変化はない。別の例として、値 $PWARPCA$ は、値 $C211A$ を有するようにコンデンサ $C2$ を制御することなく得られる。コンデンサ $C2$ の静電容量は、値 $C211$ を有するように維持され、値 PW

40

50

ARPCAは、値C211Aではなく静電容量C211に基づいて得られる。xkHzのRF発生器の第1の動作周期から第2の動作周期のコンデンサC2の静電容量に変化はない。さらに別の例として、値PWAPC2は、値C111を有するようにコンデンサC1を制御することなしに得られる。xkHzのRF発生器の第1の動作周期につながるコンデンサC1の静電容量に変化はない。別の例として、値PWAPC2は、値C211を有するようにコンデンサC2を制御することなしに得られる。xkHzのRF発生器の第1の動作周期につながるコンデンサC2の静電容量に変化はない。

【0114】

図7Aは、スミスチャート406の実施形態である。スミスチャート406は、プロット408を含む。図7Bは、xkHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まるときに領域R1内の電力反射係数が低いことを示すスミスチャート702の実施形態である。スミスチャート702は、zMHzのRF発生器の出力における電圧反射係数の虚部対電圧反射係数の実部のプロット704を有する。プロット704は、xkHzのRF発生器の1動作周期を占める。プロット704は、xkHzのRF発生器の1周期について描かれる。プロット408は、zMHzのRF発生器によって供給される電力の効率性を高めるために、時計回り方向に回転し、形を変えてプロット704を形成する。プロット704では、領域R1は、プロット408における領域R1に対して時計回りに回転されている。プロット704は、右に回転した後に、プロット406と比べて領域R1に該当する同数の点、または増加した数の点を有する。

10

【0115】

図7Cは、電力等高線図720の実施形態であり、zMHzのRF発生器の出力においてzMHzのRF発生器によって供給される電力が、xkHzのRF発生器の第1の周期部分について図1のRFケーブルRFC2よりも図5のRFケーブルRFC21の方が高いことを示す。電力等高線図720内に描かれたプロット704に示されるように、図7Aのプロット408に比べてより多数の点が領域R1に該当する。そのため、プロット704の領域R1における点についてzMHzのRF発生器の出力において供給される電力量は、プロット408の領域R1に該当する点の量より多い。プロット704のいくつかの点についての電力反射係数の減少に加えて、出力ではzMHzのRF発生器によって供給される電力の増加がある。zMHzのRF発生器の出力における電力量は、RFケーブルRFC2が用いられるときの出力における電力量と比べて増加する。プロット704では時計回り方向の回転があるため、zMHzのRF発生器によって供給される電力は、領域R1について増加する。

20

30

【0116】

図7Cに示されるように、スミスチャート702の中心付近の領域R1は、電力反射係数 $| \Gamma |^2$ がより小さい場合、電力等高線図720の右上角に最も近づくことで最も高い出力電力を有する。また、図7Cに示されるように、領域R2および領域R3は、スミスチャート702の周囲付近に位置することで最も大きい電力反射係数 $| \Gamma |^2$ を有し、電力等高線図720の左下角に向かって位置することでzMHzのRF発生器によって供給される最も低い電力を有する。

【0117】

一実施形態では、プロット704に示されるように、zMHzのRF発生器の出力において供給される電力は、RFケーブルRFC2よりもRFCケーブルRFC21については領域R2において減少する。zMHzのRF発生器の出力において供給される電力は、プロット408の領域R2に示される電力量よりも減少する。一実施形態では、プロット704に示されるように、zMHzのRF発生器の出力において供給される電力は、RFケーブルRFC2と比べてRFCケーブルRFC21については領域R3において実質的に同じである。zMHzのRF発生器の出力において供給される電力は、プロット408の領域R3に示される電力量と比べて実質的に同じである。

40

【0118】

図8Aは、周波数f211、静電容量C111、および静電容量C211が用いられる

50

処理ルーチンを示すシステム 800 の実施形態を表す図である。周波数 f_{211} 、静電容量 C_{111} 、および静電容量 C_{211} が用いられるときは、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まる。システム 800 は、ウエハ 802 などの基板が処理されていること以外は、図 5 のシステム 500 と同じである。例えば、基板は、材料が堆積され、または洗浄され、またはエッチングされ、またはスパッタリングされる。基板は、下部電極の表面上に設置されることによって処理される。また、システム 800 は、センサを含まない。図 5 および図 6 に関して示されたトレーニングルーチンは、図 8 A のシステム 800 に示される処理ルーチンが実行される前に実行される。

【0119】

図 8 B は、図 8 A のシステム 800 の処理ルーチンを示すテーブル 810 の実施形態である。テーブル 810 に示されるように、 x kHz の RF 発生器は、周波数 f_{11} を有する周期で反復的に動作する。 x kHz の RF 発生器の各動作周期は、周波数 f_{11} を有する。処理ルーチンの間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 x kHz の RF 発生器の動作周波数 f_{11} を x kHz の RF 発生器の FC に提供する。FC は、周波数 f_{11} を電源 110 に提供し、電源 110 は、 x kHz の RF 発生器の動作周期の間に周波数 f_{11} を有する RF 信号を生成する。

10

【0120】

x kHz の RF 発生器が周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、 P_{s6} から P_{s10} までの電力値などの電力値を供給する。 x kHz の RF 発生器の動作周期の間に電力値 P_{s6} ないし電力値 P_{s10} を提供するための z MHz の RF 発生器の制御はない。例えば、センサは、 x kHz の RF 発生器の動作周期の間に電力値 P_{s6} ないし電力値 P_{s10} を制御するようにフィードバックループを形成するために z MHz の RF 発生器の出力に結合されていない。

20

【0121】

プロセッサは、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まる、 z MHz の RF 発生器の動作周波数値 f_{211} 、コンデンサ C_1 の静電容量 C_{111} 、およびコンデンサ C_2 の静電容量 C_{211} をテーブル 810 から識別する。 z MHz の RF 発生器は、 x kHz の RF 発生器の複数の動作周期の間に周波数 f_{211} で動作するようにプロセッサによって制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作周波数 f_{211} を z MHz の RF 発生器の FC に提供する。 z MHz の RF 発生器の FC は、電源 112 に周波数 f_{211} を提供して、 x kHz の RF 発生器の動作周期中に周波数 f_{211} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。

30

【0122】

また、直列回路 108 a のコンデンサ C_1 は、図 6 に関して上述されたのと同じ方法で、 x kHz の RF 発生器の動作周期中に静電容量値 C_{111} を有するようにプロセッサによって制御される。同様に、シャント回路 108 b のコンデンサ C_2 は、図 6 に関して上述されたのと同じ方法で、 x kHz の RF 発生器の動作周期中に静電容量値 C_{211} を有するようにプロセッサによって制御される。

【0123】

処理ルーチンおよび x kHz の RF 発生器の動作周期の間に、電源 110 は、周波数 f_{11} を有する RF 信号を生成し、電源 112 は、周波数 f_{211} および電力値 P_{s6} ないし電力値 P_{s10} を有する別の RF 信号を生成する。電源 110 によって生成され、周波数 f_{11} を有する RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC 1 を通って IMN 102 の入力 i_1 に送信される。同様に、電源 112 によって生成され、周波数 f_{211} を有し、電力値 P_{s6} ないし電力値 P_{s10} を有する RF 信号は、 z MHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC 2 を通って IMN 102 の入力 i_2 に送信される。IMN 102 は、出力 o_1 に結合された負荷のインピーダンスを入力 i_1 および入力 i_2 に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 x kHz の RF 発生器および z MHz の RF 発生器から受信した RF 信号を出力 o_1 で合成して、修正 RF 信号を生成

40

50

する。修正 RF 信号は、出力 01 から RF 伝送路 RFT を通じて下部電極に送信される。

【0124】

処理ルーチンの間に、修正 RF 信号を下部電極に供給することに加えて、1つ以上のプロセスガス（例えば、酸素含有ガス、フッ素含有ガスなど）は、上部電極を介してプラズマチャンバの下部電極と上部電極との間のギャップに供給される。修正 RF 信号および1つ以上のプロセスガスを受け取ると、ウエハ 802 を処理するためにプラズマがギャップ内で生成される、または、プラズマがギャップ内に維持される。x kHz の RF 発生器の複数の動作周期にわたって周波数 f211、静電容量 C111、および静電容量 C211 が維持されるときは、処理ルーチン中の z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まる。このバランスは、z MHz の RF 発生器に反射する電力を削減することによって z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性を高める。z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性の向上は、ウエハ 802 を処理する効率性を高める。

10

【0125】

一実施形態では、x kHz の RF 発生器の複数の動作周期を有する処理ルーチンの間に、コンデンサ C1 およびコンデンサ C2 の両方を制御して、z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まる静電容量 C111 および静電容量 C211 を実現する代わりに、コンデンサ C1 またはコンデンサ C2 のいずれかが制御されて効率性を高める。例えば、プロセッサは、コンデンサ C1 が静電容量 C111 を有するようにモータ M1 を介してコンデンサ C1 を制御しない。むしろ、プロセッサは、コンデンサ C2 が静電容量 C211 を有するようにモータ M2 を介してコンデンサ C2 を制御する。別の例として、プロセッサは、コンデンサ C2 が静電容量 C211 を有するようにモータ M2 を介してコンデンサ C2 を制御しない。むしろ、プロセッサは、コンデンサ C1 が静電容量 C111 を有するようにモータ M1 を介してコンデンサ C1 を制御する。

20

【0126】

一実施形態では、処理ルーチンの間に、x kHz の RF 発生器の各動作周期は、5 以外の数のサブ周期に分けられる。

【0127】

図 9A は、周波数 f211、静電容量 C111、および静電容量 C211 が用いられる処理ルーチンを示すシステム 900 の実施形態を表す図である。周波数 f211、静電容量 C111、および静電容量 C211 が用いられるときは、z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まる。システム 900 は、ウエハ 802 が処理されていること以外は、図 1 のシステム 100 と同じである。また、システム 900 は、センサを含まない。図 1 および図 3 に関して示されたトレーニングルーチンは、図 9A のシステム 900 に示される処理ルーチンの前に実行される。

30

【0128】

図 9B は、RF ケーブル RFC2 についての図 9A のシステム 900 の処理ルーチンを示すテーブル 910 の実施形態である。テーブル 920 に示されるように、x kHz の RF 発生器は、周波数 f11 を有する周期で反復的に動作する。x kHz の RF 発生器の各動作周期は、周波数 f11 を有する。処理ルーチンの間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、x kHz の RF 発生器の動作周波数 f11 を x kHz の RF 発生器の FC に提供する。FC は、周波数 f11 を電源 110 に提供し、電源 110 は、x kHz の RF 発生器の動作周期の間に周波数 f11 を有する RF 信号を生成する。

40

【0129】

処理ルーチンの間に、x kHz の RF 発生器が周波数 f11 で動作するとき、z MHz の RF 発生器の電源 112 は、Ps1 から Ps5 までの電力値などの電力値を供給する。x kHz の RF 発生器の動作周期の間に電力値 Ps1 ないし電力値 Ps5 を提供するための z MHz の RF 発生器の制御はない。例えば、センサは、x kHz の RF 発生器の動作周期の間に電力値 Ps1 ないし電力値 Ps5 を制御するようにフィードバックループを形成するために z MHz の RF 発生器の出力に結合されていない。

50

【0130】

プロセッサは、 z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる、 z MHzのRF発生器の動作周波数値 f_{21} 、コンデンサ C_1 の静電容量 C_{11} 、およびコンデンサ C_2 の静電容量 C_{21} をテーブル910から識別する。 z MHzのRF発生器は、 x kHzのRF発生器の複数の動作周期の間に周波数 f_{21} で動作するようにプロセッサによって制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHzのRF発生器の動作周波数 f_{21} を z MHzのRF発生器のFCに提供する。 z MHzのRF発生器のFCは、電源112に周波数 f_{21} を提供して、 x kHzのRF発生器の動作周期中に周波数 f_{21} を有するRF信号を生成するように電源112を操作する。

【0131】

また、図3に関して上述されたように、直列回路108aのコンデンサ C_1 は、 x kHzのRF発生器の動作周期中に静電容量値 C_{11} を有するようにプロセッサによって制御される。同様に、図3に関して上述されたように、シャント回路108bのコンデンサ C_2 は、 x kHzのRF発生器の動作周期中に静電容量値 C_{21} を有するようにプロセッサによって制御される。

【0132】

x kHzのRF発生器の処理ルーチンの動作周期の間に、電源110は、周波数 f_{11} を有するRF信号を生成し、電源112は、周波数 f_{21} および電力値 P_{s1} ないし電力値 P_{s5} を有する別のRF信号を生成する。電源110によって生成され、周波数 f_{11} を有するRF信号は、 x kHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC1を通してIMN102の入力 i_1 に送信される。同様に、電源112によって生成され、周波数 f_{21} を有し、電力量 P_{s1} ないし電力量 P_{s5} を有するRF信号は、 z MHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC2を通してIMN102の入力 i_2 に送信される。IMN102は、出力 o_1 に結合された負荷のインピーダンスを入力 i_1 および入力 i_2 に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 x kHzのRF発生器および z MHzのRF発生器から受信したRF信号を出力 o_1 で合成して、修正RF信号を生成する。修正RF信号は、出力 o_1 からRF伝送路RFTを通じて下部電極に送信される。

【0133】

修正RF信号を下部電極に供給することに加えて、1つ以上のプロセスガスが上部電極を介してプラズマチャンバの下部電極と上部電極との間のギャップに供給される。修正RF信号および1つ以上のプロセスガスを受け取ると、ウエハ802を処理するために、プラズマがギャップ内で生成される、または、プラズマがギャップ内に維持される。 x kHzのRF発生器の複数の動作周期にわたって周波数 f_{21} 、静電容量 C_{11} 、および静電容量 C_{21} が維持されるときは、処理ルーチン中の z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる。

【0134】

一実施形態では、 x kHzのRF発生器の複数の動作周期を有する処理ルーチンの間に、コンデンサ C_1 およびコンデンサ C_2 の両方を制御して、 z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる静電容量 C_{11} および静電容量 C_{21} を実現する代わりに、図8Bに関して上述された方法でコンデンサ C_1 またはコンデンサ C_2 のいずれかが制御されて効率性を高める。

【0135】

一実施形態では、処理ルーチンの間に、 x kHzのRF発生器の各動作周期は、図8Bに関して上述された方法で、5以外の数のサブ周期に分けられる。

【0136】

一実施形態では、図3および図6に関して上述された方法は、トレーニングルーチン中ではなく基板802の処理中に実施される。例えば、図1、図2、図5、および図6に関して上述された方法が実施されている間に、基板802が処理される。

【0137】

図10は、 x kHzのRF発生器の複数の動作周期の間の z MHzのRF発生器のアク

10

20

30

40

50

タイプ制御を示すシステム 1000 の実施形態を表す図である。システム 1000 は、 x kHz の RF 発生器の動作周期の間に z MHz の RF 発生器の電力制御装置 (PWR CTRL) が電源 112 によって供給される電力量を能動的に制御すること以外は、図 1 のシステム 100 と同じである。例えば、 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期から x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期に電源 112 によって供給される電力量を変更 (例えば、増加または減少) する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電源 112 に結合される。また、システム 1000 は、テーブル 1100 (図 11) が生成されている間に基板 802 が処理されていること以外は、図 1 のシステム 100 と同じである。

【0138】

図 11 は、図 10 のシステム 1000 の動作を示すテーブル 1100 の実施形態である。テーブル 1100 に示されるように、 x kHz の RF 発生器は、動作周波数 f_{11} を有する第 1 の周期を有する。

【0139】

x kHz の RF 発生器の各動作周期は、周波数 f_{11} を有する。例えば、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 1 の 5 分の 1 は、周波数 f_{11} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 2 の 5 分の 1 は、周波数 f_{11} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 3 の 5 分の 1 は、周波数 f_{11} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 4 の 5 分の 1 は、周波数 f_{11} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 5 の 5 分の 1 は、周波数 f_{11} を有する。第 1 の周期の第 2 の 5 分の 1 は、第 1 の周期の第 1 の 5 分の 1 に続く。第 1 の周期の第 3 の 5 分の 1 は、第 1 の周期の第 2 の 5 分の 1 に続く。第 1 の周期の第 4 の 5 分の 1 は、第 1 の周期の第 3 の 5 分の 1 に続く。第 1 の周期の第 5 の 5 分の 1 は、第 1 の周期の第 4 の 5 分の 1 に続く。ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 x kHz の RF 発生器の動作周波数 f_{11} を x kHz の RF 発生器の FC に提供する。FC は、周波数 f_{11} を電源 110 に提供し、電源 110 は、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期中に周波数 f_{11} を有する RF 信号を生成する。

【0140】

x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に x kHz の RF 発生器が周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s11} を供給するように制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作の電力値 P_{s11} を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力値 P_{s11} を電源 112 に提供して、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力値 P_{s11} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。同様に、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に x kHz の RF 発生器が周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s12} を供給するように制御される。また、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に x kHz の RF 発生器が周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s13} を供給するように制御される。 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に x kHz の RF 発生器が周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s14} を供給するように制御される。また、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に x kHz の RF 発生器が周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s15} を供給するように制御される。

【0141】

x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期中に電力値 P_{s11} ないし電力値 P_{s15} を維持するためのプロセッサによる z MHz の RF 発生器の電力制御装置の制御は、 z MHz の RF 発生器のアクティブ制御である。例えば、 z MHz の RF 発生器の電力値を制御す

10

20

30

40

50

るためにセンサからホストコンピュータシステムのプロセッサへのフィードバックループがある。さらに例えば、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の第1の5分の1のサブ周期の間に、プロセッサは、 z MHzのRF発生器の電力値を変更して、 z MHzのRF発生器の出力に結合されているセンサから受信した変数の測定値に基づいて電力値 P_{s11} を得る。

【0142】

z MHzのRF発生器は、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の間に周波数 f_{21} で動作する。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の第1のサブ周期から第5のサブ周期の間に、 z MHzのRF発生器の動作周波数 f_{21} を z MHzのRF発生器のFCに提供する。 z MHzのRF発生器のFCは、電源112に周波数 f_{21} を提供して、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の第1のサブ周期から第5のサブ周期の間に、周波数 f_{21} を有するRF信号を生成するように電源112を操作する。

10

【0143】

x kHzのRF発生器の第1の動作周期の間に、電源110は、周波数 f_{11} を有するRF信号を生成し、電源112は、周波数 f_{21} を有する別のRF信号を生成する。電源110によって生成され、周波数 f_{11} を有するRF信号は、 x kHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC1を通じてIMN102の入力 i_1 に送信される。同様に、電源112によって生成され、周波数 f_{21} を有し、電力量 P_{s11} ないし電力量 P_{s15} を有するRF信号は、 z MHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC2を通じてIMN102の入力 i_2 に送信される。RF信号は、 x kHzのRF発生器の第1の周期の第1の5分の1のサブ周期の間に電力量 P_{s11} を有し、 x kHzのRF発生器の第1の周期の第2の5分の1のサブ周期の間に電力量 P_{s12} を有し、 x kHzのRF発生器の第1の周期の第3の5分の1のサブ周期の間に電力量 P_{s13} を有し、 x kHzのRF発生器の第4の周期の第1の5分の1のサブ周期の間に電力量 P_{s14} を有し、 x kHzのRF発生器の第1の周期の第5の5分の1のサブ周期の間に電力量 P_{s15} を有する。

20

【0144】

IMN102は、出力 o_1 に結合された負荷のインピーダンスを入力 i_1 および入力 i_2 に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 x kHzのRF発生器および z MHzのRF発生器から受信したRF信号を出力 o_1 で合成して、修正RF信号を生成する。修正RF信号は、出力 o_1 からRF伝送路RFTを通じて下部電極に送信される。修正RF信号を下部電極に供給することに加えて、1つ以上のプロセスガスが、上部電極を介してプラズマチャンバの下部電極と上部電極との間のギャップに供給される。修正RF信号および1つ以上のプロセスガスを受け取ると、ウエハ802を処理するために、プラズマがギャップ内で生成される、またはギャップ内に維持される。

30

【0145】

また、直列回路108aのコンデンサC1は、 x kHzのRF発生器の動作周期の間に直列回路108aのコンデンサC1が静電容量値 C_{11} を有するように制御される上述の方法と同様にして、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の間に静電容量値 C_{11} を有するように制御される。同様に、シャント回路108bのコンデンサC2は、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の間にシャント回路108bのコンデンサC2が静電容量値 C_{21} を有するように制御される上述の方法と同様にして、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期の間に静電容量値 C_{21} を有するように制御される。

40

【0146】

x kHzのRF発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHzのRF発生器の動作周波数が f_{21} であり、 z MHzのRF発生器によって供給される電力が P_{s11} であり、コンデンサC1の静電容量値が C_{11} であり、コンデンサC2の静電容量値が C_{21} である、第1の周期の第1の5分の1のサブ周期の間に、センサは、 z MHzのRF発生器の出力において電圧反射係数が1であることを測定する。同様に、 x kHzのRF発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHzのRF発生器の動作周波数が f_{21} であり、 z MHz

50

z の R F 発生器によって供給される電力が P_{s12} であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C_{11} であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C_{21} である、第 1 の周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、z MHz の R F 発生器の出力において電圧反射係数が 2 であることを測定する。さらに、x kHz の R F 発生器の動作周波数が f_{11} であり、z MHz の R F 発生器の動作周波数が f_{21} であり、z MHz の R F 発生器によって供給される電力が P_{s13} であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C_{11} であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C_{21} である、第 1 の周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、z MHz の R F 発生器の出力において電圧反射係数が 3 であることを測定する。また、x kHz の R F 発生器の動作周波数が f_{11} であり、z MHz の R F 発生器の動作周波数が f_{21} であり、z MHz の R F 発生器によって供給される電力が P_{s14} であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C_{11} であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C_{21} である、第 1 の周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、z MHz の R F 発生器の出力において電圧反射係数が 4 であることを測定する。x kHz の R F 発生器の動作周波数が f_{11} であり、z MHz の R F 発生器の動作周波数が f_{21} であり、z MHz の R F 発生器によって供給される電力が P_{s15} であり、コンデンサ C 1 の静電容量値が C_{11} であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C_{21} である、第 1 の周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、z MHz の R F 発生器の出力において電圧反射係数が 5 であることを測定する。

10

【0147】

センサは、また、z MHz の R F 発生器の出力において電力値 P_{s11} ないし電力値 P_{s15} も測定する。センサは、値 1 ないし値 5 および値 P_{s11} ないし値 P_{s15} を伝送ケーブルを介してプロセッサに提供する。プロセッサは、値 f_{11} 、電力値 P_{s11} ないし電力値 P_{s15} 、周波数値 f_{21} 、値 C_{11} 、値 C_{21} 、および値 1 ないし値 5 を、メモリデバイスに格納されているテーブル 1100 に記憶する。一実施形態では、プロセッサは、値 f_{11} 、電力値 P_{s11} ないし電力値 P_{s15} 、周波数値 f_{21} 、値 C_{11} 、値 C_{21} 、および値 1 ないし値 5 をテーブル 1500 (図 15) に記憶する。テーブル 1500 は、メモリデバイスに格納されている。

20

【0148】

プロセッサは、x kHz の R F 発生器の第 1 の周期についての P W A P R C を計算する。例えば、プロセッサは、x kHz の R F 発生器の第 1 の周期についての P W A P R C 3 が $[\{ (P_{s11}) X (| 1 |)^2 \} + \{ (P_{s12}) X (| 2 |)^2 \} + \{ (P_{s13}) X (| 3 |)^2 \} + \{ (P_{s14}) X (| 4 |)^2 \} + \{ (P_{s15}) X (| 5 |)^2 \}] / 5$ になるように計算する。

30

【0149】

同様に、プロセッサは、x kHz の R F 発生器の第 2 の動作周期についての別の電力加重平均電力反射係数 P W A P R C b を計算する。例えば、プロセッサは、P W A P R C b が $[\{ (P_{s11b}) X (| 1b |)^2 \} + \{ (P_{s12b}) X (| 2b |)^2 \} + \{ (P_{s13b}) X (| 3b |)^2 \} + \{ (P_{s14b}) X (| 4b |)^2 \} + \{ (P_{s15b}) X (| 5b |)^2 \}] / 5$ になるように計算する。また、x kHz の R F 発生器の動作周波数が f_{11} であり、z MHz の R F 発生器の動作周波数が f_{21b} になるように制御され、z MHz の R F 発生器によって供給される電力が P_{s11b} になるように制御され、コンデンサ C 1 の静電容量値が C_{11b} であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C_{21b} である、第 2 の動作周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、z MHz の R F 発生器の出力において電圧反射係数が 1 b であることを測定する。同様に、x kHz の R F 発生器の動作周波数が f_{11} であり、z MHz の R F 発生器の動作周波数が f_{21b} になるように制御され、z MHz の R F 発生器によって供給される電力が P_{s12b} になるように制御され、コンデンサ C 1 の静電容量値が C_{11b} であり、コンデンサ C 2 の静電容量値が C_{21b} である、x kHz の R F 発生器の第 2 の動作周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、z MHz の R F 発生器の出力において電圧反射係数が 2 b であることを測定する。さらに、x kHz の R F 発生器の動作周波数が f_{11}

40

50

であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{21b} になるように制御され、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s13b} になるように制御され、コンデンサ C_1 の静電容量値が C_{11b} であり、コンデンサ C_2 の静電容量値が C_{21b} である、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が $3b$ であることを測定する。また、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{21b} になるように制御され、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s14b} になるように制御され、コンデンサ C_1 の静電容量値が C_{11b} であり、コンデンサ C_2 の静電容量値が C_{21b} である、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が $4b$ であることを測定する。 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{21b} になるように制御され、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s15b} になるように制御され、コンデンサ C_1 の静電容量値が C_{11b} であり、コンデンサ C_2 の静電容量値が C_{21b} である、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が $5b$ であることを測定する。

10

【0150】

アクティブ制御について、 z MHz の RF 発生器の周波数は、 z MHz の RF 発生器の FC を用いて制御されることに注意されたい。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作周波数 f_{21b} を z MHz の RF 発生器の FC に提供する。 z MHz の RF 発生器の FC は、周波数 f_{21b} を電源 112 に提供して、周波数 f_{21b} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。同様に、アクティブ制御について、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力量は、 z MHz の RF 発生器の電力制御装置を用いて制御されることに注意されたい。例えば、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作のための電力量 P_{s11b} を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力量 P_{s11b} を電源 112 に提供して、電力量 P_{s11b} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。

20

【0151】

x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の間に、電源 110 は、周波数 f_{11} を有する RF 信号を生成し、電源 112 は、周波数 f_{21b} および電力量 P_{s11b} ないし電力量 P_{s15b} を有する別の RF 信号を生成する。電源 110 によって生成され、周波数 f_{11} を有する RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC1 を通じて IMN102 の入力 i_1 に送信される。同様に、電源 112 によって生成され、周波数 f_{21b} を有し、電力量 P_{s11b} ないし電力量 P_{s15b} を有する RF 信号は、 z MHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC2 を通じて IMN102 の入力 i_2 に送信される。RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s11b} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s12b} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s13b} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s14b} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s15b} を有する。

30

40

【0152】

IMN102 は、出力 o_1 に結合された負荷のインピーダンスを入力 i_1 および入力 i_2 に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 x kHz の RF 発生器および z MHz の RF 発生器から受信した RF 信号を出力 o_1 で合成して、修正 RF 信号を生成する。修正 RF 信号は、出力 o_1 から RF 伝送路 RFT を通じて下部電極に送信される。修正 RF 信号を下部電極に供給することに加えて、1 つ以上のプロセスガスが、上部電極を介してプラズマチャンバの下部電極と上部電極との間のギャップに供給される。修正 RF 信号

50

および1つ以上のプロセスガスを受け取ると、ウエハ802を処理するために、プラズマがギャップ内で生成される、またはギャップ内に維持される。

【0153】

アクティブ制御およびRFケーブルRFC2について、 x kHzのRF発生器の複数の動作周期にわたって、プロセッサは、 z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる、 z MHzのRF発生器の電源112によって供給される電力値、 z MHzのRF発生器の動作周波数値、コンデンサC1の静電容量、およびコンデンサC2の静電容量を決定する。例えば、プロセッサは、値PWAPC3および値PWAPCbのどちらが低いかを決定する。プロセッサは、値PWAPC3と値PWAPCbとを比較して、値PWAPC3が値PWAPCbより低いことを決定する。 x kHzのRF発生器によって供給される電力の効率性は、値PWAPC3が計算される第1の周期の間に高まる。プロセッサは、 z MHzの発生器によって供給される電力の効率性が高まる、第1の周期中の z MHzのRF発生器の動作周波数値 f_{21} 、 z MHzのRF発生器によって供給される電力の電力値 P_{s11} ないし電力値 P_{s15} 、コンデンサC1の静電容量 C_{11} 、およびコンデンサC2の静電容量 C_{21} をテーブル1100から識別する。 z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性は、 z MHzのRF発生器の出力をIMN102の入力 i_2 に接続するのにRFケーブルRFC2が用いられたときに高まることに注意されたい。

10

【0154】

一実施形態では、コンデンサC1およびコンデンサC2の両方を制御して、 z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まるコンデンサC1およびコンデンサC2の静電容量を決定する代わりに、コンデンサC1またはコンデンサC2のいずれかが制御されて効率性を高められる。例えば、値PWAPCbは、値 C_{11b} を有するようにコンデンサC1を制御することなく得られる。コンデンサC1の静電容量は、値 C_{11} を有するように維持され、値PWAPC3は、静電容量 C_{11b} ではなく静電容量 C_{11} に基づいて決定される。 x kHzのRF発生器の第1の動作周期から第2の動作周期にコンデンサC1の静電容量に変化はない。さらに別の例として、値PWAPCbは、値 C_{21b} を有するようにコンデンサC2を制御することなく得られる。コンデンサC2の静電容量は、値 C_{21} を有するように維持され、値PWAPCbは、値 C_{21b} ではなく静電容量 C_{21} に基づいて決定される。 x kHzのRF発生器の第1の動作周期から第2の動作周期にコンデンサC2の静電容量に変化はない。さらに別の例として、値PWAPC3は、値 C_{11} を有するようにコンデンサC1を制御することなく得られる。 x kHzのRF発生器の第1の動作周期につながるコンデンサC1の静電容量に変化はない。別の例として、値PWAPC3は、値 C_{21} を有するようにコンデンサC2を制御することなく得られる。 x kHzのRF発生器の第1の動作周期につながるコンデンサC2の静電容量に変化はない。

20

30

【0155】

一実施形態では、アクティブ制御中の x kHzのRF発生器の動作周期は、RFケーブルRFC2のアクティブ制御中に5以外の数のサブ周期に分けられる。例えば、 x kHzのRF発生器の第1の動作周期は、4または6のサブ周期に分けられる。コンデンサC1およびコンデンサC2の静電容量値は、 x kHzのRF発生器の動作周期中の他の数のサブ周期について得られる。また、 z MHzのRF発生器は、他の数のサブ周期中の動作周波数を有し、センサは、他の数のサブ周期中の変数の値（例えば、4または6の値）を測定する。

40

【0156】

z MHzのRF発生器の供給電力の電力値は、 z MHzのRF発生器の出力における電圧反射係数の大きさの値に依存することに注意されたい。例えば、 Γ が所定の閾値より大きいなど高く測定されるときは、電力値 P_{s11} は、所定限度未満など低くなるように制御される。別の例として、 Γ が所定の閾値未満など低くなるように測定されるときは、電力値 P_{s11} は、所定限度を超えるなど高くなるように制御される。

50

【 0 1 5 7 】

図 1 2 は、 z MHz の RF 発生器の出力を IMN 1 0 2 の入力 i 2 に結合する RF ケーブル RFC 2 1 の影響を示すシステム 1 2 0 0 の実施形態を表す図である。RF ケーブル RFC 2 1 は、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力のアクティブ制御の間に RF ケーブルの代わりに用いられる。ウエハ 8 0 2 は、プラズマチャンバ内で処理されている。システム 1 2 0 0 は、RF ケーブル RFC 2 が RF ケーブル RFC 2 1 に置き換わっていること以外は、図 1 0 のシステム 1 0 0 0 と同じである。RF ケーブル RFC 2 1 は、 z MHz の RF 発生器の出力と入力 i 2 との間に結合される。センサは、 z MHz の RF 発生器の出力における変数を測定する。変数は、ウエハ 8 0 2 が処理されている処理ルーチン中にシステム 1 2 0 0 において測定される。例えば、プラズマチャンバは、変数がセンサによって測定されるときは、処理のために下部電極の上に設置されたウエハ 8 0 2 を有する。

【 0 1 5 8 】

図 1 3 は、RF ケーブル RFC 2 1 について図 1 2 のシステム 1 2 0 0 のアクティブ制御の動作を示すテーブル 1 3 0 0 の実施形態である。テーブル 1 3 0 0 に示されるように、 x kHz の RF 発生器は、第 1 の周期の間に周波数 f 1 1 で動作する。 x kHz の RF 発生器が周波数 f 1 1 で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 1 1 2 は、電力値 P s 1 6 ないし電力値 P s 2 0 を供給するように能動的に制御される。例えば、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作の電力値 P s 1 6 を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作の電力値 P s 1 7 を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。また、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作の電力値 P s 1 8 を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作の電力値 P s 1 9 を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作の電力値 P s 2 0 を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。

【 0 1 5 9 】

z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力値 P s 1 6 ないし電力値 P s 2 0 を電源 1 1 2 に提供して、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の間に電力値 P s 1 6 ないし電力値 P s 2 0 を有する RF 信号を生成するように電源 1 1 2 を操作する。 x kHz の RF 発生器の各動作周期中に電力値を変更するためのプロセッサによる z MHz の RF 発生器の電力制御装置の制御は、 z MHz の RF 発生器のアクティブ制御である。例えば、電力値 P s 1 6 ないし電力値 P s 2 0 を制御するためにセンサからホストコンピュータシステムのプロセッサへのフィードバックループがある。さらに例えると、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、プロセッサは、電力値を変更して、 z MHz の RF 発生器の出力に結合されているセンサから受信した変数の測定値に基づいて電力値 P s 1 6 を得る。

【 0 1 6 0 】

x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の間に、電源 1 1 0 は、周波数 f 1 1 を有する RF 信号を生成し、電源 1 1 2 は、周波数 f 2 1 1 および電力値 P s 1 6 ないし電力値 P s 2 0 を有する別の RF 信号を生成する。電源 1 1 2 によって生成された RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P s 1 6 を有し、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P s 1 7 を有し、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P s 1 8 を有し、 x kHz の RF 発生器の第 4 の周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に

電力量 P_{s19} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s20} を有する。

【0161】

電源 110 によって生成され、周波数 f_{11} を有する RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC1 を通じて IMN102 の入力 i_1 に送信される。同様に、電源 112 によって生成され、周波数 f_{211} を有し、電力量 P_{s16} ないし電力量 P_{s20} を有する RF 信号は、 z MHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC21 を通じて IMN102 の入力 i_2 に送信される。IMN102 は、出力 o_1 に結合された負荷のインピーダンスを入力 i_1 および入力 i_2 に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 x kHz の RF 発生器および z MHz の RF 発生器から受信した RF 信号を出力 o_1 で合成して、修正 RF 信号を生成する。修正 RF 信号は、出力 o_1 から RF 伝送路 RFT を通じて下部電極に送信される。修正 RF 信号を下部電極に供給することに加えて、1 つ以上のプロセスガスが、上部電極を介してプラズマチャンバの下部電極と上部電極との間のギャップに供給される。修正 RF 信号および 1 つ以上のプロセスガスを受け取ると、ウエハ 802 を処理するために、プラズマがギャップ内で生成される、またはギャップ内に維持される。

10

【0162】

また、直列回路 108a のコンデンサ C1 は、図 6 に関して上述された方法と同様にし、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の間に静電容量値 C_{111} を有するように制御される。同様に、シャント回路 108b のコンデンサ C2 は、図 6 に関して上述された方法と同様にし、 x kHz の RF 発生器の第 1 の動作周期の間に静電容量値 C_{211} を有するように制御される。

20

【0163】

x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が電力値 P_{s16} を有し、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} である、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 6 であることを測定する。同様に、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が電力値 P_{s17} を有し、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} である、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 7 であることを測定する。さらに、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が電力量 P_{s18} を有し、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} である、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 8 であることを測定する。また、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が電力量 P_{s19} を有し、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} である、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 9 であることを測定する。 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211} であり、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が電力量 P_{s20} を有し、コンデンサ C1 の静電容量値が C_{111} であり、コンデンサ C2 の静電容量値が C_{211} である、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が 10 であることを測定する。

30

40

【0164】

50

センサは、また、 z MHz の RF 発生器の出力において電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} も測定する。センサは、値 6 ないし値 10 および電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} を、センサをプロセッサに結合する伝送ケーブルを通じてプロセッサに提供する。プロセッサは、値 f_{11} 、電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} 、周波数値 f_{211} 、値 C_{111} 、値 C_{211} 、および値 6 ないし値 10 を、メモリデバイスに格納されているテーブル 1300 に記憶する。プロセッサは、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期についての電力加重平均電力反射係数 $PWAPRC4$ を計算する。例えば、プロセッサは、 x kHz の RF 発生器の第 1 の周期についての値 $PWAPRC4$ が $[\{(P_{s16})X(|6|)^2\} + \{(P_{s17})X(|7|)^2\} + \{(P_{s18})X(|8|)^2\} + \{(P_{s19})X(|9|)^2\} + \{(P_{s20})X(|10|)^2\}] / 5$ になるように計算する。

10

【0165】

同様に、アクティブ制御の間に、プロセッサは、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期についての別の電力加重平均電力反射係数 $PWAPRCB$ を計算する。例えば、プロセッサは、値 $PWAPRCB$ が $[\{(P_{s16B})X(|6B|)^2\} + \{(P_{s17B})X(|7B|)^2\} + \{(P_{s18B})X(|8B|)^2\} + \{(P_{s19B})X(|9B|)^2\} + \{(P_{s20B})X(|10B|)^2\}] / 5$ になるように計算する。 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211B} になるように制御され、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s16B} になるように制御され、コンデンサ C_1 の静電容量値が C_{111B} であり、コンデンサ C_2 の静電容量値が C_{211B} である、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が $6B$ であることを測定することに注意されたい。同様に、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211B} になるように制御され、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s17B} になるように制御され、コンデンサ C_1 の静電容量値が C_{111B} であり、コンデンサ C_2 の静電容量値が C_{211B} である、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が $7B$ であることを測定する。さらに、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211B} になるように制御され、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s18B} になるように制御され、コンデンサ C_1 の静電容量値が C_{111B} であり、コンデンサ C_2 の静電容量値が C_{211B} である、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が $8B$ であることを測定する。また、 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211B} になるように制御され、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s19B} になるように制御され、コンデンサ C_1 の静電容量値が C_{111B} であり、コンデンサ C_2 の静電容量値が C_{211B} である、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が $9B$ であることを測定する。 x kHz の RF 発生器の動作周波数が f_{11} であり、 z MHz の RF 発生器の動作周波数が f_{211B} になるように制御され、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力が P_{s20B} になるように制御され、コンデンサ C_1 の静電容量値が C_{111B} であり、コンデンサ C_2 の静電容量値が C_{211B} である、 x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、センサは、 z MHz の RF 発生器の出力において電圧反射係数が $10B$ であることを測定する。

20

30

40

【0166】

アクティブ制御について、 z MHz の RF 発生器の周波数は、 z MHz の RF 発生器の FC を用いて制御されることに注意されたい。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作周波数 f_{211B} を z MHz の RF 発生器の FC に提供する。 z MHz の RF 発生器の FC は、周波数 f_{211B} を電源 112 に提供し

50

て、周波数 f_{211B} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。同様に、アクティブ制御について、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力量は、 z MHz の RF 発生器の電力制御装置を用いて制御されることに注意されたい。例えば、 x kHz の RF 発生器の動作周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作のための電力量 P_{s16B} を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力量 P_{s16B} を電源 112 に提供して、電力量 P_{s16B} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。別の例として、 x kHz の RF 発生器の動作周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作のための電力量 P_{s17B} を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力量 P_{s17B} を電源 112 に提供して、電力量 P_{s17B} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。さらに別の例として、 x kHz の RF 発生器の動作周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作のための電力量 P_{s18B} を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力量 P_{s18B} を電源 112 に提供して、電力量 P_{s18B} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。別の例として、 x kHz の RF 発生器の動作周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作のための電力量 P_{s19B} を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力量 P_{s19B} を電源 112 に提供して、電力量 P_{s19B} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。さらに別の例として、 x kHz の RF 発生器の動作周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作のための電力量 P_{s20B} を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力量 P_{s20B} を電源 112 に提供して、電力量 P_{s20B} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。

10

20

30

40

【0167】

x kHz の RF 発生器の第 2 の動作周期の間に、電源 110 は、周波数 f_{11} を有する RF 信号を生成し、電源 112 は、周波数 f_{211B} および電力値 P_{s16B} ないし電力値 P_{s20B} を有する別の RF 信号を生成する。電源 110 によって生成され、周波数 f_{11} を有する RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC1 を通って IMN102 の入力 i_1 に送信される。同様に、電源 112 によって生成され、周波数 f_{211B} を有し、電力値 P_{s16B} ないし電力値 P_{s20B} を有する RF 信号は、 z MHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC2 を通って IMN102 の入力 i_2 に送信される。RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s16B} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s17B} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s18B} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s19B} を有し、 x kHz の RF 発生器の第 2 の周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s20B} を有する。

【0168】

IMN102 は、出力 o_1 に結合された負荷のインピーダンスを入力 i_1 および入力 i_2 に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、 x kHz の RF 発生器および z MHz の RF 発生器から受信した RF 信号を出力 o_1 で合成して、修正 RF 信号を生成する。修正 RF 信号は、出力 o_1 から RF 伝送路 RFT を通じて下部電極に送信される。修正 RF 信号を下部電極に供給することに加えて、1 つ以上のプロセスガスが、上部電極を介してプラズマチャンバの下部電極と上部電極との間のギャップに供給される。修正 RF 信号および 1 つ以上のプロセスガスを受け取ると、ウエハ 802 を処理するために、プラズマがギャップ内で生成される、またはギャップ内に維持される。

【0169】

50

RFCケーブルRFC21について、 x kHzのRF発生器の複数の動作周期にわたって、プロセッサは、 z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる、 z MHzのRF発生器の動作周波数値、 z MHzのRF発生器によって供給される電力値、コンデンサC1の静電容量、およびコンデンサC2の静電容量を決定する。例えば、プロセッサは、値PWAPC4および値PWAPCBのどちらが低いかを決定する。プロセッサは、値PWAPC4と値PWAPCBとを比較して、値PWAPC4が値PWAPCBより低いことを決定する。 z MHzのRF発生器によって供給された電力の効率性は、値PWAPC4が計算される第1の周期の間に高まる。プロセッサは、 z MHzのRF発生器の出力をIMN102の入力i2に接続するのにRFCケーブルRFC21が用いられたときに z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる、第1の周期中の z MHzのRF発生器の動作周波数値 f_{211} 、 z MHzのRF発生器によって供給される電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} 、コンデンサC1の静電容量 C_{111} 、およびコンデンサC2の静電容量 C_{211} をテーブル1300から識別する。

10

【0170】

一実施形態では、コンデンサC1およびコンデンサC2の両方を制御して、第1の周期の間に z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まるコンデンサC1およびコンデンサC2の静電容量を決定する代わりに、コンデンサC1またはコンデンサC2のいずれかが制御されて、効率性が高まるコンデンサの静電容量が決定される。例えば、値PWAPCBは、値 C_{111B} を有するようにコンデンサC1を制御することなく得られる。コンデンサC1の静電容量は、 C_{111} を有するように維持され、値PWAPCBは、静電容量 C_{111B} ではなく静電容量 C_{111} に基づいて決定される。 x kHzのRF発生器の第1の動作周期から第2の動作周期にコンデンサC1の静電容量に変化はない。別の例として、値PWAPCBは、値 C_{211B} を有するようにコンデンサC2を制御することなく得られる。コンデンサC2の静電容量は、 C_{211} を有するように制御され、値PWAPCBは、静電容量 C_{211} に基づいて決定される。 x kHzのRF発生器の第1の動作周期から第2の動作周期にコンデンサC2の静電容量に変化はない。さらに別の例として、値PWAPC4は、値 C_{111} を有するようにコンデンサC1を制御することなく得られる。 x kHzのRF発生器の第1の動作周期につながるコンデンサC1の静電容量に変化はない。別の例として、値PWAPC4は、値 C_{211} を有するようにコンデンサC2を制御することなしに得られる。 x kHzのRF発生器の第1の動作周期につながるコンデンサC2の静電容量に変化はない。

20

30

【0171】

z MHzのRF発生器の供給電力の電力値は、 z MHzのRF発生器の出力における電圧反射係数の大きさの値に依存することに注意されたい。例えば、 Γ が所定の閾値より大きいなど高く測定されるときは、電力値 P_{s16} は、所定限度未満など低くなるように制御される。別の例として、 Γ が所定の閾値未満など低く測定されるときは、電力値 P_{s16} は、所定限度を超えるなど高くなるように制御される。

【0172】

図14は、電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} 、周波数値 f_{211} 、静電容量 C_{111} 、および静電容量 C_{211} が z MHzのRF発生器のアクティブ制御のために識別された後の図12のシステム1200の処理ルーチンを示すテーブル1400の実施形態である。システム1200では、RFCケーブルRFC2ではなくRFCケーブルRFC21が用いられる。テーブル1400に示されるように、 x kHzのRF発生器は、周波数 f_{11} を有する周期で反復的に動作する。 x kHzのRF発生器の各動作周期は、周波数 f_{11} を有する。処理ルーチンの間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 x kHzのRF発生器の動作周波数 f_{11} を x kHzのRF発生器のFCに提供する。FCは、周波数 f_{11} を電源110に提供し、電源110は、 x kHzのRF発生器の動作周期の間に周波数 f_{11} を有するRF信号を生成する。

40

【0173】

x kHzのRF発生器が x kHzのRF発生器の動作周期の第1の5分の1のサブ周期

50

の間に周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s16} を有する RF 信号を生成するようにホストコンピュータのプロセッサによって能動的に制御される。同様に、 x kHz の RF 発生器が x kHz の RF 発生器の動作周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s17} を供給するように制御される。また、 x kHz の RF 発生器が x kHz の RF 発生器の動作周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s18} を供給するように制御される。 x kHz の RF 発生器が x kHz の RF 発生器の動作周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s19} を供給するように制御される。また、 x kHz の RF 発生器が x kHz の RF 発生器の動作周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に周波数 f_{11} で動作するときは、 z MHz の RF 発生器の電源 112 は、電力値 P_{s20} を供給するように制御される。

10

20

30

40

50

【0174】

プロセッサは、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力の効率性が高まる、 z MHz の RF 発生器の動作周波数値 f_{211} 、 z MHz の RF 発生器によって供給される電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} 、コンデンサ C1 の静電容量 C_{111} 、およびコンデンサ C2 の静電容量 C_{211} をテーブル 1400 から識別する。 z MHz の RF 発生器は、 x kHz の RF 発生器の複数周期間の各周期について、 f_{211} の周波数で、かつ電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} で動作するようにプロセッサによって制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作周波数 f_{211} を z MHz の RF 発生器の FC に提供する。 z MHz の RF 発生器の FC は、周波数 f_{211} を電源 112 に提供して、 x kHz の RF 発生器の動作周期中に周波数 f_{211} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。別の例として、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、 z MHz の RF 発生器の動作の電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} を z MHz の RF 発生器の電力制御装置に提供する。 z MHz の RF 発生器の電力制御装置は、電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} を電源 112 に提供して、 x kHz の RF 発生器の動作周期中に電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} を有する RF 信号を生成するように電源 112 を操作する。

【0175】

また、直列回路 108a のコンデンサ C1 は、図 13 に関して上述された方法と同様にして、 x kHz の RF 発生器の動作周期中に静電容量値 C_{111} を有するようにプロセッサによって制御される。同様に、シャント回路 108b のコンデンサ C2 は、図 13 に関して上述された方法と同様にして、 x kHz の RF 発生器の動作周期中に静電容量値 C_{211} を有するようにプロセッサによって制御される。

【0176】

x kHz の RF 発生器の処理ルーチンの動作周期における各周期について、電源 110 は、周波数 f_{11} を有する RF 信号を生成し、電源 112 は、周波数 f_{211} および電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} を有する別の RF 信号を生成する。電源 110 によって生成され、周波数 f_{11} を有する RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC1 を通じて IMN102 の入力 i_1 に送信される。同様に、電源 110 によって生成され、周波数 f_{211} を有し、電力値 P_{s16} ないし電力値 P_{s20} を有する RF 信号は、 z MHz の RF 発生器の出力から RF ケーブル RFC2 を通じて IMN102 の入力 i_2 に送信される。例えば、RF 信号は、 x kHz の RF 発生器の各周期の第 1 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s16} を有し、 x kHz の RF 発生器の各周期の第 2 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s17} を有し、 x kHz の RF 発生器の各周期の第 3 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s18} を有し、 x kHz の RF 発生器の各周期の第 4 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s19} を有し、 x kHz の RF 発生器の各周期の第 5 の 5 分の 1 のサブ周期の間に電力量 P_{s20} を有する。

【0177】

IMN102は、出力o1に結合された負荷のインピーダンスを入力i1および入力i2に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、xkHzのRF発生器およびzMHzのRF発生器から受信したRF信号を出力o1で合成して、修正RF信号を生成する。修正RF信号は、出力o1からRF伝送路RFTを通じて下部電極に送信される。

【0178】

修正RF信号を下部電極に供給することに加えて、1つ以上のプロセスガスが、上部電極を介してプラズマチャンバの下部電極と上部電極との間のギャップに供給される。修正RF信号および1つ以上のプロセスガスを受け取ると、ウエハ802を処理するために、プラズマがギャップ内で生成される、またはギャップ内に維持される。xkHzのRF発生器の複数の動作周期にわたって、周波数f211、電力値Ps16ないし電力値Ps20、静電容量C111、および静電容量C211が維持されるときは、処理ルーチンの間にzMHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる。

10

【0179】

一実施形態では、xkHzのRF発生器の複数の動作周期を有する処理ルーチンの間に、コンデンサC1およびコンデンサC2の両方を制御して、zMHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まるコンデンサC1の静電容量C111およびコンデンサC2の静電容量C211を得る代わりに、コンデンサC1またはコンデンサC2のいずれかが制御されて効率性が高められる。例えば、プロセッサは、コンデンサC1が静電容量C111を有するようにモータM1を介してコンデンサC1を制御しない。むしろ、プロセッサは、コンデンサC2が静電容量C211を有するようにモータM2を介してコンデンサC2を制御する。別の例として、プロセッサは、コンデンサC2が静電容量C211を有するようにモータM2を介してコンデンサC2を制御しない。むしろ、プロセッサは、コンデンサC1が静電容量C111を有するようにモータM1を介してコンデンサC1を制御する。

20

【0180】

一実施形態では、RFケーブルRFC21によるアクティブ制御のための処理ルーチンの間に、xkHzのRF発生器の各動作周期は、5以外の数のサブ周期に分けられる。

【0181】

図15は、電力値Ps11ないし電力値Ps15、周波数値f21、静電容量C11、および静電容量C21が識別された後の図10のシステム1000の処理ルーチンを示すテーブル1500の実施形態である。システム1000では、RFケーブルRFC2が用いられる。テーブル1500に示されるように、xkHzのRF発生器は、周波数f11を有する周期で反復的に動作する。xkHzのRF発生器の各動作周期は、周波数f11を有する。処理ルーチンの間に、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、xkHzのRF発生器の動作周波数f11をxkHzのRF発生器のFCに提供する。FCは、周波数f11を電源110に提供し、電源110は、xkHzのRF発生器の動作周期の間に周波数f11を有するRF信号を生成する。

30

【0182】

xkHzのRF発生器が周波数f11で動作するときに、プロセッサは、zMHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる、zMHzのRF発生器の動作周波数値f21、zMHzのRF発生器によって供給される電力値Ps11ないし電力値Ps15、コンデンサC1の静電容量C11、およびコンデンサC2の静電容量C21をテーブル1500から識別する。zMHzのRF発生器は、xkHzのRF発生器の複数周期における各周期の間に、f21の周波数で、かつ電力値Ps11ないし電力値Ps15で動作するようにプロセッサによって制御される。例えば、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、zMHzのRF発生器の動作周波数f21をzMHzのRF発生器のFCに提供する。zMHzのRF発生器のFCは、周波数f21を電源112に提供して、xkHzのRF発生器の動作周期中に周波数f21を有するRF信号を生成するように電源112を操作する。別の例として、ホストコンピュータシステムのプロセッサは、zMHzのRF発生器の動作の電力値Ps11ないし電力値Ps15をzMHzのRF発生器の電

40

50

力制御装置に提供する。z MHzのRF発生器の電力制御装置は、x kHzのRF発生器の動作周期における各周期について電力値Ps11ないし電力値Ps15を有するRF信号を生成するために、電力値Ps11ないし電力値Ps15を電源112に提供する。例えば、z MHzのRF発生器の電力制御装置は、電源112に、x kHzのRF発生器の各周期の第1の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps11を提供し、x kHzのRF発生器の各周期の第2の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps12を提供し、x kHzのRF発生器の各周期の第3の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps13を提供し、x kHzのRF発生器の各周期の第4の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps14を提供し、x kHzのRF発生器の各周期の第5の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps15を提供する。

【0183】

また、直列回路108aのコンデンサC1は、図11に関して上述された方法と同様にして、x kHzのRF発生器の動作周期中に静電容量値C11を有するようにプロセッサによって制御される。同様に、シャント回路108bのコンデンサC2は、図11に関して上述された方法と同様にして、x kHzのRF発生器の動作周期中に静電容量値C21を有するようにプロセッサによって制御される。

【0184】

x kHzのRF発生器の処理ルーチンの動作周期間の各周期の間に、電源110は、周波数f11を有するRF信号を生成し、電源112は、周波数f21および電力値Ps11ないし電力値Ps15を有する別のRF信号を生成する。例えば、RF信号は、x kHzのRF発生器の各周期の第1の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps11を有し、x kHzのRF発生器の各周期の第2の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps12を有し、x kHzのRF発生器の各周期の第3の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps13を有し、x kHzのRF発生器の各周期の第4の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps14を有し、x kHzのRF発生器の各周期の第5の5分の1のサブ周期の間に電力量Ps15を有する。

【0185】

電源110によって生成され、周波数f11を有するRF信号は、x kHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC1を通じてIMN102の入力i1に送信される。同様に、電源110によって生成され、周波数f21を有し、電力値Ps11ないし電力値Ps15を有するRF信号は、z MHzのRF発生器の出力からRFケーブルRFC2を通じてIMN102の入力i2に送信される。IMN102は、出力o1に結合された負荷のインピーダンスを入力i1および入力i2に結合されたソースのインピーダンスと一致させ、x kHzのRF発生器およびz MHzのRF発生器から受信したRF信号を出力o1で合成して、修正RF信号を生成する。修正RF信号は、出力o1からRF伝送路RFTを通じて下部電極に送信される。

【0186】

修正RF信号を下部電極に供給することに加えて、1つ以上のプロセスガスが、上部電極を介してプラズマチャンバの下部電極と上部電極との間のギャップに供給される。修正RF信号および1つ以上のプロセスガスを受け取ると、ウエハ802を処理するために、プラズマがギャップ内で生成される、またはギャップ内に維持される。x kHzのRF発生器の複数の動作周期にわたって、周波数f21、電力値Ps11ないし電力値Ps15、静電容量C11、および静電容量C21が維持されるときは、処理ルーチンの間にz MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる。

【0187】

一実施形態では、RFケーブルRFC2が用いられるx kHzのRF発生器の複数の動作周期を有する処理ルーチンの間に、コンデンサC1およびコンデンサC2の両方を制御して、z MHzのRF発生器によって供給される電力の効率性が高まる静電容量C11および静電容量C21を得る代わりに、コンデンサC1またはコンデンサC2のいずれかが制御されて、図11に関して上述された方法と類似の方法で効率性が高められる。

【0188】

10

20

30

40

50

一実施形態では、処理ルーチンの間に、 x kHzのRF発生器の各動作周期は、図11に関して上述された方法と類似の方法で、5以外の数のサブ周期に分けられる。

【0189】

図16は、周期およびサブ周期を示す複数のクロック信号1602およびクロック信号1604を表す。クロック信号1602は、周期CY1および周期CY2などの複数の周期で繰り返す。周期CY1および周期CY2の各々は、同じ長さの期間を占める。周期CY2は、周期CY1に続く。例えば、周期CY1と周期CY2との間には他の周期はない。周期CY1および周期CY2を有するクロック信号1602は、ホストコンピュータシステムのクロックソース（例えば、プロセッサ、クロック発振器、位相同期ループに結合されたクロック発振器）によって生成され、ホストコンピュータシステムのクロックソースから z MHzのRF発生器の1つ以上の制御装置（例えば、FCおよび/または電力制御装置）に提供されて、クロック信号1602に同期してRF信号が生成される。また、クロック信号1602は、ホストコンピュータシステムのクロックソースから x kHzのRF発生器の1つ以上の制御装置（例えば、FCおよび/または電力制御装置）に提供されて、クロック信号1602に同期してRF信号が生成される。

10

【0190】

また、一実施形態では、サブ周期SCY1およびサブ周期SCY2など複数のサブ周期を有するクロック信号1604は、ホストコンピュータシステムのクロックソースによって生成され、 x kHzのRF発生器の1つ以上の制御装置に提供されて、クロック信号1604に同期してRF信号が生成される。さらに、クロック信号1604は、クロックソースによって z MHzのRF発生器の1つ以上の制御装置に提供されて、クロック信号1604に同期してRF信号が生成される。サブ周期SCY2は、周期SCY1に続く。例えば、サブ周期SCY1とサブ周期SCY2との間に他のサブ周期はない。サブ周期SCY1およびサブ周期SCY2の各々は、同じ長さの期間を占める。

20

【0191】

一実施形態では、 x kHzのRF発生器または z MHzのRF発生器はマスタとして機能し、もう一方はスレーブとして機能する。例えば、クロック信号1602は、ホストコンピュータシステムのクロックソースによって生成され、ホストコンピュータシステムのクロックソースから z MHzのRF発生器の1つ以上の制御装置に提供される。 z MHzのRF発生器の1つ以上の制御装置は、クロック信号1604をクロック信号1602から生成し、クロック信号1604に同期してRF信号を生成するために、クロック信号1604を x kHzのRF発生器の1つ以上の制御装置に送信する。別の例として、クロック信号1602は、ホストコンピュータシステムのクロックソースによって生成され、ホストコンピュータシステムのクロックソースから x kHzのRF発生器の1つ以上の制御装置に提供される。 x kHzのRF発生器の1つ以上の制御装置は、クロック信号1604をクロック信号1602から生成し、クロック信号1604に同期してRF信号を生成するために、クロック信号1604を z MHzのRF発生器の1つ以上の制御装置に送信する。

30

【0192】

本明細書に記載の実施形態は、ハンドヘルドハードウェアユニット、マイクロプロセッサシステム、プロセッサベースまたはプログラマブル家庭用電気機器、マイクロコンピュータ、メインフレームコンピュータなどを含む、様々なコンピュータシステム構成によって実行されてよい。実施形態は、ネットワークによってリンクされているリモート処理ハードウェアユニットによってタスクが実行される分散コンピューティング環境においても実施される。

40

【0193】

いくつかの実施形態では、コントローラは、上述の例の一部でありうるシステムの一部である。そのようなシステムは、処理ツール、チャンバ、処理用プラットフォーム、および/または、特定の処理構成要素（ウエハ台座、ガス流システムなど）を含む、半導体処理装置を備えうる。これらのシステムは、半導体ウエハまたは基板の処理前、処理中、お

50

よび処理後の動作を制御するための電子機器と統合されてよい。電子機器は、システムの様々な構成要素または副部品を制御しうる「コントローラ」を意味する。コントローラは、処理条件および/またはシステムの種類に応じて、プロセスガスの供給、温度設定（例えば、加熱および/または冷却）、圧力設定、真空設定、電力設定、RF発生器の設定、RF整合回路の設定、周波数設定、流量設定、流体供給の設定、位置動作設定、ツールおよび他の搬送ツール、および/または、特定のシステムに接続または結合されたロードロックに対するウエハ搬送を含む、本明細書に開示のプロセスを制御するようにプログラムされる。

【0194】

概して、様々な実施形態では、コントローラは、命令を受け取り、命令を発行し、動作を制御し、クリーニング動作を可能にし、エンドポイント測定を可能にするなどの様々な集積回路、ロジック、メモリ、および/または、ソフトウェアを有する電子機器として定義される。集積回路は、プログラム命令を記憶するファームウェア形式のチップ、デジタル信号プロセッサ(DSP)、特定用途向け集積回路(ASIC)として定義されるチップ、および/または、1つ以上のマイクロプロセッサ、もしくは、プログラム命令(例えば、ソフトウェア)を実行するマイクロコントローラを含む。プログラム命令は、様々な個別設定(またはプログラムファイル)の形式でコントローラに伝達される命令であって、特定のプロセスを半導体ウエハ上でもしくは半導体ウエハ向けに、またはシステムに対して実行するための動作限界を定義する。いくつかの実施形態では、動作限界は、1つ以上の層、材料、金属、酸化物、シリコン、二酸化シリコン、表面、回路、および/または、ウエハダイの製作中における1つ以上の処理工程を実現するために、プロセスエンジニアによって定義されるレシピの一部である。

10

20

【0195】

いくつかの実施形態では、コントローラは、システムと統合または結合された、そうでなければシステムにネットワーク接続された、もしくはこれらが組み合わされたコンピュータの一部である、またはそのコンピュータに結合されている。例えば、コントローラは、「クラウド」内にある、または、ウエハ処理のリモートアクセスを可能にするファブホストコンピュータシステムの全てもしくは一部である。コンピュータは、システムへのリモートアクセスを可能にして、製作動作の進捗状況を監視し、過去の製作動作の経歴を調査し、複数の製作動作から傾向または実施の基準を調査し、現在の処理のパラメータを変更し、現在の処理に続く処理工程を設定する、または、新しいプロセスを開始する。

30

【0196】

いくつかの実施形態では、リモートコンピュータ(例えば、サーバ)は、ローカルネットワークまたはインターネットを含むネットワークを通じて、プロセスレシピをシステムに提供する。リモートコンピュータは、次にリモートコンピュータからシステムに伝達される限界および/もしくは設定のエントリまたはプログラミングを可能にするユーザインタフェースを含む。いくつかの例では、コントローラは、1つ以上の動作中に実施される各処理工程のための限界を特定するデータ形式の命令を受け取る。限界は、実施されるプロセスの種類、および、コントローラが結合するまたは制御するように構成されるツールの種類に固有であることを理解されたい。そのため、上述のように、コントローラは、例えば、互いにネットワーク接続される1つ以上の個別のコントローラを含むことや、本明細書に記載のプロセスや制御などの共通の目的に向かって協働することによって分散されてよい。そのような目的で分散されたコントローラの例は、遠隔に(例えば、プラットフォームレベルで、または、リモートコンピュータの一部として)位置し、協働してチャンバにおけるプロセスを制御する1つ以上の集積回路と連通する、チャンバ上の1つ以上の集積回路を含む。

40

【0197】

制限するのではなく、様々な実施形態では、例示のシステムは、プラズマエッチングチャンバまたはプラズマエッチングモジュール、堆積チャンバまたは堆積モジュール、スピンリンスチャンバまたはスピンリンスモジュール、金属めっきチャンバまたは金属めっき

50

モジュール、クリーンチャンバまたはクリーンモジュール、ベベルエッジエッチングチャンバまたはベベルエッジエッチングモジュール、物理気相堆積（PVD）チャンバまたはPVDモジュール、化学気相堆積（CVD）チャンバまたはCVDモジュール、原子層堆積（ALD）チャンバまたはALDモジュール、原子層エッチング（ALE）チャンバまたはALEモジュール、イオン注入チャンバまたはイオン注入モジュール、トラックチャンバまたはトラックモジュール、ならびに、半導体ウエハの製作および/もしくは製造において関連もしくは使用するその他の半導体処理システムを含む。

【0198】

いくつかの実施形態では、上述の動作は、いくつかの種類のプラズマチャンバ（例えば、誘導結合プラズマ（ICP）リアクタを含むプラズマチャンバ、トランス結合プラズマチャンバ、容量結合プラズマリアクタ、導体ツール、誘電体ツール、電子サイクロトロン共鳴（ECR）リアクタを含むプラズマチャンバ）に適用されることがさらに注目される。例えば、1つ以上のRF発生器は、ICPリアクタ内で誘電体に結合される。誘電体の形状の例は、ソレノイド、ドーム状コイル、扁平状コイルなどである。

10

【0199】

上述のように、ツールによって実施されるプロセス工程に応じて、コントローラは、他のツール回路もしくはツールモジュール、他のツール構成要素、クラスタツール、他のツールインタフェース、隣接するツール、近接するツール、工場全体に設置されたツール、メインコンピュータ、別のコントローラ、または、半導体製造工場においてツール位置および/もしくはロードポートに対してウエハ容器を搬入出する材料搬送に用いられるツール、のうちの1つ以上と連通する。

20

【0200】

上記の実施形態を踏まえて、いくつかの実施形態は、コンピュータシステムに記憶されたデータを含む様々なコンピュータ実施動作を採用することを理解されたい。これらの動作は、それらの物理的に操作する物理量である。実施形態の一部を形成する本明細書に記載の動作は、有益な機械動作である。

【0201】

いくつかの実施形態は、これらの動作を実施するためのハードウェアユニットまたは装置にも関する。装置は、特定目的コンピュータのために特別に構成されている。特定目的コンピュータとして定義されるときは、コンピュータは、特定目的のために動作しながらも、特定目的の一部ではない他の処理、プログラムの実行、またはルーチンを実行する。

30

【0202】

いくつかの実施形態では、動作は、コンピュータメモリ、キャッシュに記憶された、またはコンピュータネットワークを通じて得られた1つ以上のコンピュータプログラムによって選択的に起動または構成されたコンピュータによって処理されてよい。データがコンピュータネットワークを通じて得られたときは、データは、コンピュータネットワーク（例えば、コンピューティングリソースのクラウド）の他のコンピュータによって処理されてよい。

【0203】

1つ以上の実施形態は、非一時的コンピュータ可読媒体のコンピュータ可読コードとして作成されてもよい。非一時的コンピュータ可読媒体は、後にコンピュータシステムに読み込まれるデータを記憶するメモリデバイスなどのデータ記憶ハードウェアユニットである。非一時的コンピュータ可読媒体の例は、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）、書き込み可能CD（CD-R）、書き換え可能CD（CD-RW）、磁気テープ、ならびに他の光学および非光学のデータ記憶ハードウェアユニットを含む。いくつかの実施形態では、非一時的コンピュータ可読媒体は、コンピュータ可読コードが分散されて記憶または実行されるように、ネットワーク結合コンピュータシステムを通じて分散されたコンピュータ可読有形媒体を含む。

40

【0204】

50

上記の方法動作は、特定の順序で説明されたが、様々な実施形態では、他のハウスキーピング動作が動作間に実施されること、または、方法動作が、微妙に異なる時間で起きるように、もしくは、様々な間隔での方法動作の発生を可能にするシステムで分散されるように、もしくは、上記とは異なる順序で実行されるように調節されることを理解されたい。

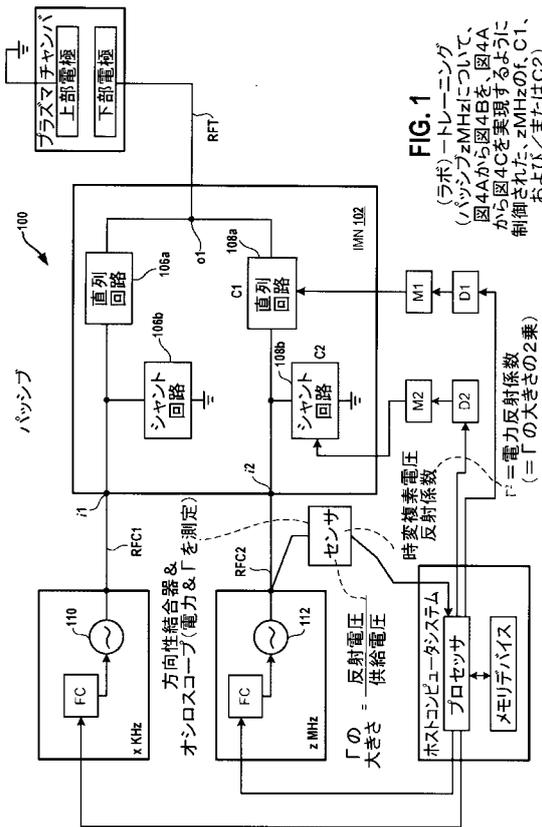
【0205】

さらに、一実施形態では、上記の実施形態の1つ以上の特徴は、本開示に記載の様々な実施形態に記載の範囲から逸脱することなく他の実施形態の1つ以上の特徴と組み合わせられることに注意されたい。

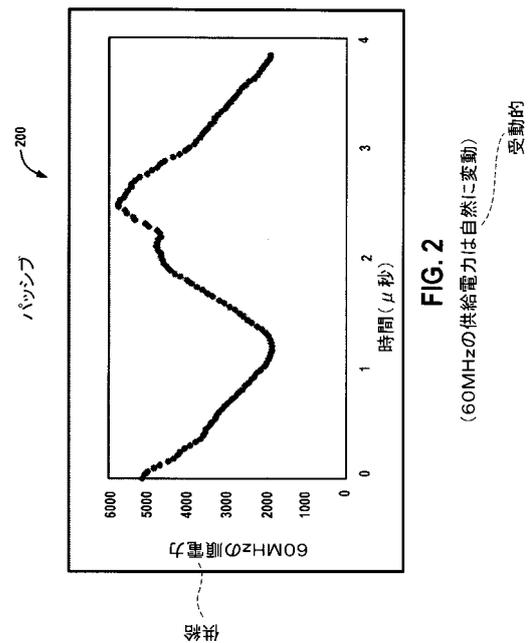
【0206】

前述の実施形態は、明確な理解のためにある程度詳細に説明されたが、付随の特許請求の範囲内で一定の変更および修正が実施されうことは明らかだろう。従って、本実施形態は、制限的でなく例示的とみなされ、実施形態は、本明細書に記載の詳細に限定されないが、付随の特許請求の範囲およびその同等内で修正されうる。

【図1】



【図2】



【 図 3 】

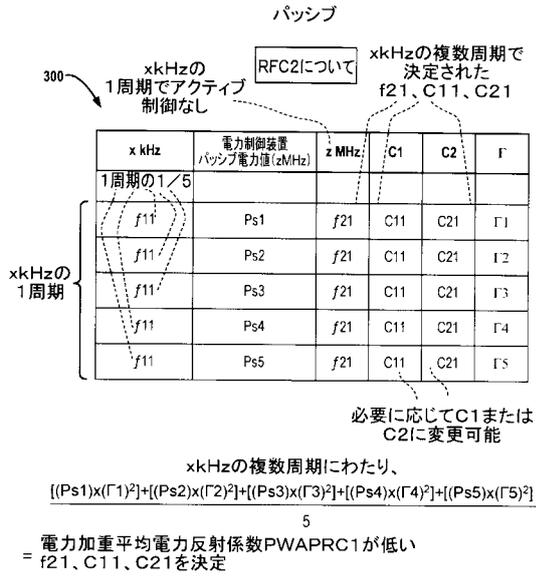


FIG. 3

【 図 4 A 】

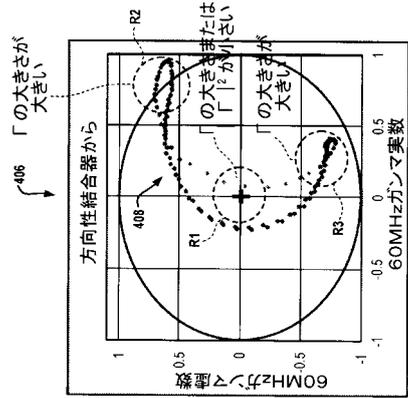


FIG. 4B

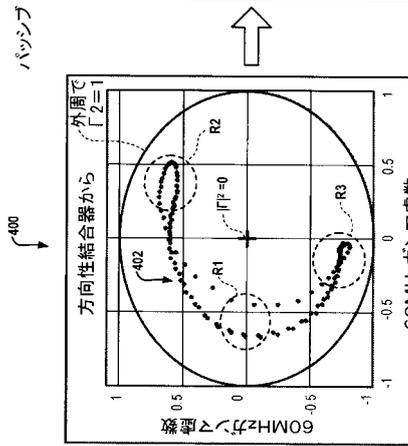


FIG. 4A
(xkHzの1周期)

【 図 4 B 】

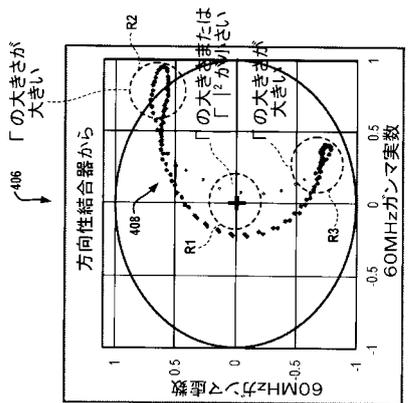


FIG. 4B

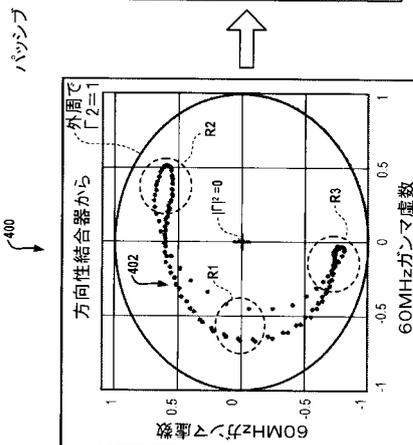


FIG. 4A
(xkHzの1周期)

【 図 4 C 】

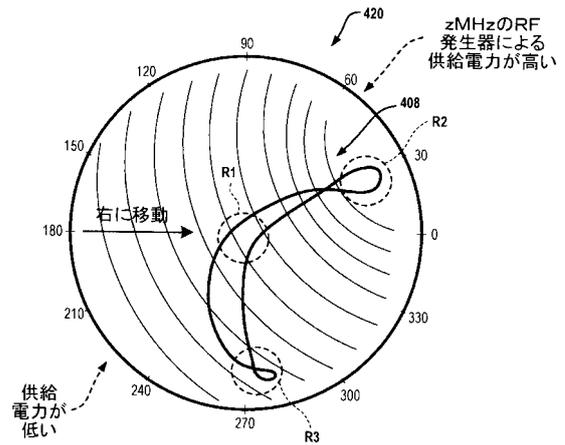


FIG. 4C (電力等高線図)
(パッシブ)

【図7C】

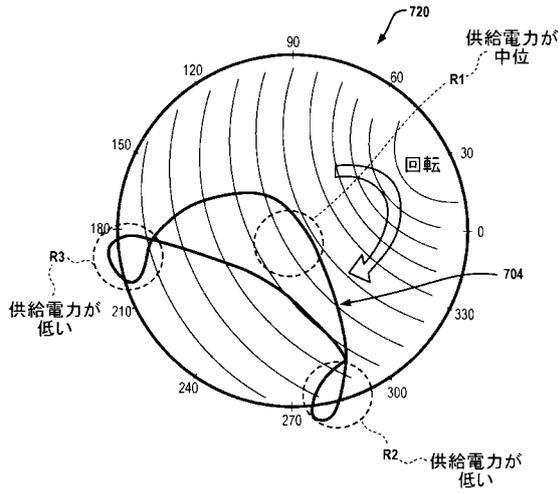


FIG. 7C (RFC21について)
(電力等高線図)

【図8A】

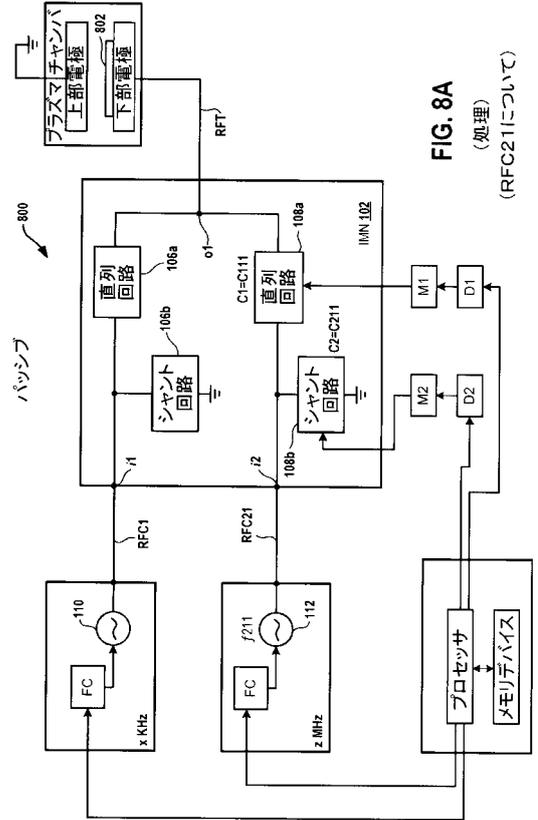


FIG. 8A
(処理)
(RFC21について)

【図8B】

パッシブ 810

x kHz	電力制御装置 (パッシブ供給電力量(zMHz))	z MHz	C1	C2
1周期の1/5				
f11	Ps6	f211	C111	C211
f11	Ps7	f211	C111	C211
f11	Ps8	f211	C111	C211
f11	Ps9	f211	C111	C211
f11	Ps10	f211	C111	C211

1周期の1/5 (pointing to f11 entries)

xkHzの1周期 (bracketed around the table)

FIG. 8B
(処理)
(RFC21について)

【図9A】

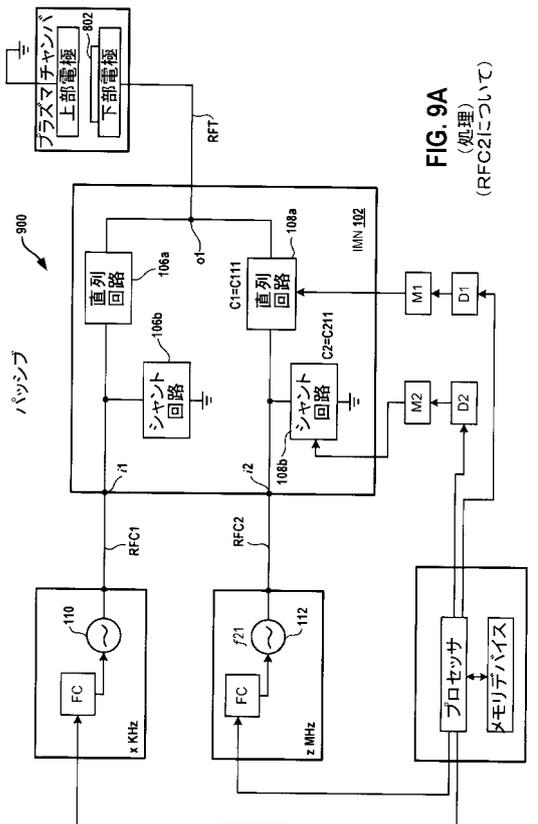


FIG. 9A
(処理)
(RFC21について)

【 図 9 B 】

パッシブ 910

x kHz	電力制御装置 パッシブ供給電力値(zMHz)	z MHz	C1	C2
f11	Ps1	f21	C11	C21
f11	Ps2	f21	C11	C21
f11	Ps3	f21	C11	C21
f11	Ps4	f21	C11	C21
f11	Ps5	f21	C11	C21

1周期の 1/5

xkHzの 1周期

FIG. 9B (処理)
(RFC2)

【 図 1 0 】

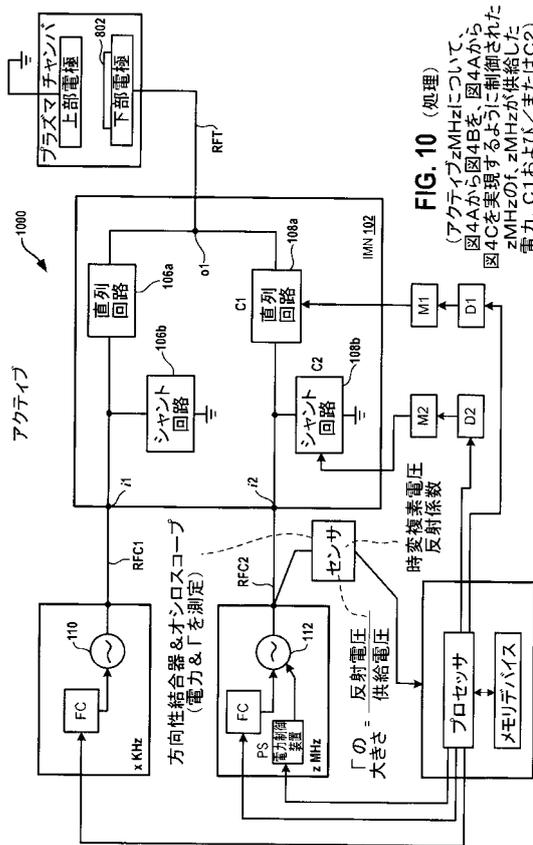


FIG. 10 (処理)
(アクティブzMHzについて、
図4Aから図4Bを、図4Aから
図4Cを実現するように制御された
zMHzのf、zMHzが供給した
電力、C1および/またはC2)

【 図 1 1 】

アクティブ 1100

RFC2について

xkHzの複数周期で
決定されたC11 & C21

x kHz	電力制御装置 アクティブ供給電力値(zMHz)	z MHz	C1	C2	Γ
f11	Ps11	f21	C11	C21	Γ1
f11	Ps12	f21	C11	C21	Γ2
f11	Ps13	f21	C11	C21	Γ3
f11	Ps14	f21	C11	C21	Γ4
f11	Ps15	f21	C11	C21	Γ5

1周期の 1/5

xkHzの 1周期

xkHzの複数動作周期にわたり、

$$\frac{((Ps11) \times (\Gamma1)^2) + ((Ps12) \times (\Gamma2)^2) + ((Ps13) \times (\Gamma3)^2) + ((Ps14) \times (\Gamma4)^2) + ((Ps15) \times (\Gamma5)^2)}{5}$$

= 電力加重平均電力反射係数PWAPRC3が低い
Ps11~Ps15、f21、C11、C21を決定

FIG. 11

【 図 1 2 】

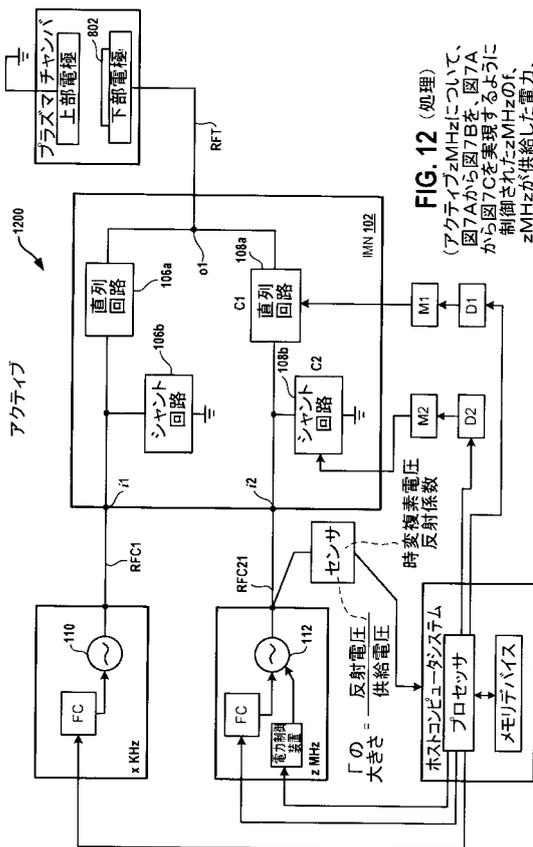
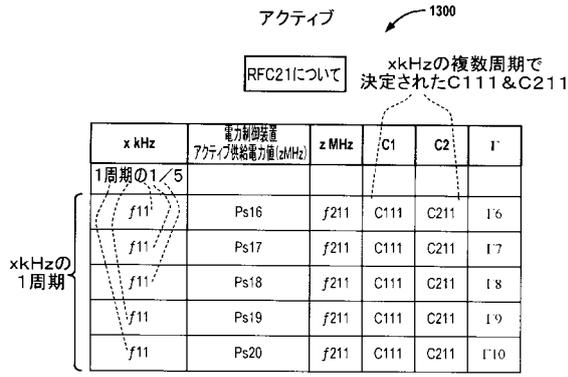


FIG. 12 (処理)
(アクティブzMHzについて、
図7Aから図7Bを、図7A
から図7Cを実現するように
制御されたzMHzのf、
zMHzが供給した電力、
C1および/またはC2)

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

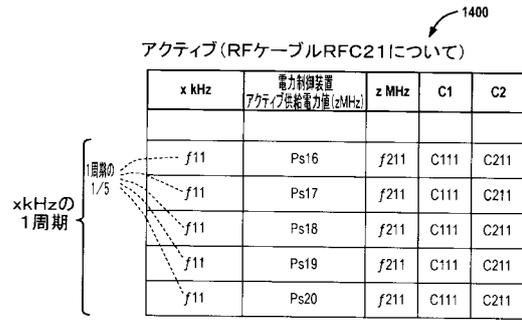


FIG. 14 (処理)

xkHzの複数周期にわたり、

$$\frac{[(Ps16) \times (\Gamma'6)^2] + [(Ps17) \times (\Gamma'7)^2] + [(Ps18) \times (\Gamma'8)^2] + [(Ps19) \times (\Gamma'9)^2] + [(Ps20) \times (\Gamma'10)^2]}{5}$$

= 電力加重平均電力反射係数PWAPRC4が低い
Ps16~Ps20、f211、C111、C211を決定

FIG. 13

【 図 1 5 】

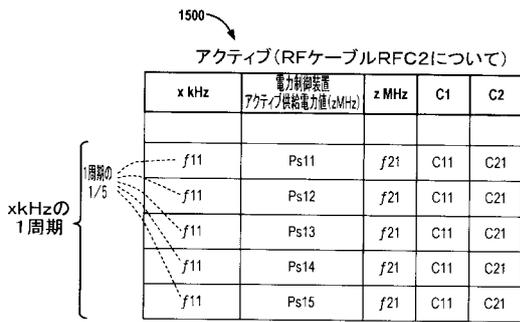


FIG. 15 (処理)

【 図 1 6 】

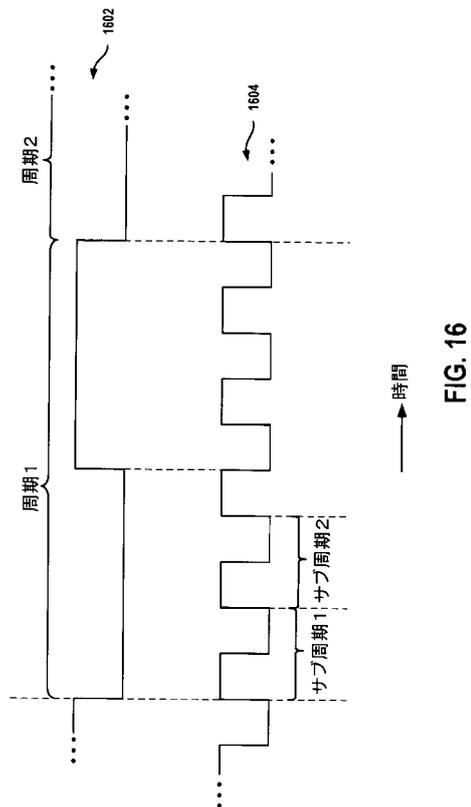


FIG. 16

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2018/036512
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01J 37/32(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01J 37/32; B44C 1/22; C23C 16/52; G05B 17/02; G05F 5/00; H04B 1/04; H05B 31/26		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) cKOMPASS(KIPO internal) & keywords: RF, high, low, frequency, reflect, power, training		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2016-0308560 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 20 October 2016 See paragraphs [0032]-[0128], [0132]; claims 1-9, 22; and figures 1-10.	1,3-8,10-24,26-38
Y		2,9,25
Y	US 2017-0178864 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 22 June 2017 See paragraphs [0134]-[0149]; claims 17-20; and figures 9-11.	2,9,25
A	US 2015-0096684 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED et al.) 09 April 2015 See paragraphs [0065]-[0092]; and figures 3-7.	1-38
A	US 2013-0119017 A1 (JAMES YANG et al.) 16 May 2013 See paragraphs [0022]-[0031]; and figures 1-4.	1-38
A	US 2011-0193483 A1 (PAUL J. MATTABONI et al.) 11 August 2011 See paragraphs [0035]-[0043]; and figures 3-5.	1-38
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 27 September 2018 (27.09.2018)		Date of mailing of the international search report 28 September 2018 (28.09.2018)
Name and mailing address of the ISA/KR International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsu-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer KIM, Sung Gon Telephone No. +82-42-481-8746

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2018/036512

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2016-0308560 A1	20/10/2016	CN 103295865 A	11/09/2013
		CN 103295865 B	13/04/2016
		CN 103295866 A	11/09/2013
		CN 103295866 B	08/06/2016
		CN 103298235 A	11/09/2013
		CN 103298235 B	12/04/2017
		CN 103515181 A	15/01/2014
		CN 103515181 B	08/06/2016
		CN 103681195 A	26/03/2014
		CN 103681195 B	01/03/2017
		CN 103869769 A	18/06/2014
		CN 103871810 A	18/06/2014
		CN 103984790 A	13/08/2014
		CN 103984790 B	15/09/2017
		CN 104051214 A	17/09/2014
		CN 104051214 B	13/03/2018
		CN 104051215 A	17/09/2014
		CN 104051215 B	15/03/2017
		CN 104160789 A	19/11/2014
		CN 104160789 B	21/11/2017
		CN 104517794 A	15/04/2015
		CN 104517794 B	24/05/2017
		CN 104517795 A	15/04/2015
		CN 104517795 B	26/04/2017
		CN 104518753 A	15/04/2015
		CN 104518753 B	10/07/2018
		CN 104730372 A	24/06/2015
		CN 104730372 B	10/08/2018
		CN 105047513 A	11/11/2015
		CN 105047513 B	30/03/2018
		CN 105391427 A	09/03/2016
		CN 105719933 A	29/06/2016
		CN 105742151 A	06/07/2016
		CN 105914123 A	31/08/2016
		CN 106169409 A	30/11/2016
		CN 106169409 B	13/04/2018
		CN 106169410 A	30/11/2016
		CN 106169410 B	20/04/2018
		CN 106935473 A	07/07/2017
		CN 106941069 A	11/07/2017
		CN 107578974 A	12/01/2018
		JP 2013-171840 A	02/09/2013
		JP 2013-179047 A	09/09/2013
		JP 2013-191554 A	26/09/2013
		JP 2014-195044 A	09/10/2014
		JP 2015-097197 A	21/05/2015
		JP 2018-113450 A	19/07/2018
		JP 6293497 B2	14/03/2018
		KR 10-2013-0096674 A	30/08/2013

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2018/036512

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		KR 10-2013-0096678 A	30/08/2013
		KR 10-2013-0096679 A	30/08/2013
		KR 10-2014-0000172 A	02/01/2014
		KR 10-2014-0035860 A	24/03/2014
		KR 10-2014-0077866 A	24/06/2014
		KR 10-2014-0078573 A	25/06/2014
		KR 10-2014-0098715 A	08/08/2014
		KR 10-2014-0113593 A	24/09/2014
		KR 10-2014-0113602 A	24/09/2014
		KR 10-2014-0113612 A	24/09/2014
		KR 10-2014-0125879 A	29/10/2014
		KR 10-2014-0133475 A	19/11/2014
		KR 10-2015-0039119 A	09/04/2015
		KR 10-2015-0039121 A	09/04/2015
		KR 10-2015-0039125 A	09/04/2015
		KR 10-2015-0069549 A	23/06/2015
		KR 10-2015-0122605 A	02/11/2015
		KR 10-2016-0023606 A	03/03/2016
		KR 10-2016-0136235 A	29/11/2016
		KR 10-2016-0136239 A	29/11/2016
		SG 10201400582 A	30/10/2014
		SG 10201406211 A	28/05/2015
		SG 10201406212 A	28/05/2015
		SG 10201604882 A	30/08/2016
		SG 10201605679 A	30/08/2016
		SG 11201404493 A	30/10/2014
		SG 193086 A1	30/09/2013
		SG 193113 A1	30/09/2013
		SG 193130 A1	30/09/2013
		SG 2013093042 A	30/07/2014
		SG 2013093562 A	30/07/2014
		SG 2014005557 A	28/08/2014
		TW 201349944 A	01/12/2013
		TW 201352076 A	16/12/2013
		TW 201410080 A	01/03/2014
		TW 201415519 A	16/04/2014
		TW 201415957 A	16/04/2014
		TW 201427496 A	01/07/2014
		TW 201438523 A	01/10/2014
		TW 201441608 A	01/11/2014
		TW 201443969 A	16/11/2014
		TW 201448675 A	16/12/2014
		TW 201503216 A	16/01/2015
		TW 201503765 A	16/01/2015
		TW 201511075 A	16/03/2015
		TW 201528321 A	16/07/2015
		TW 201528322 A	16/07/2015
		TW 201531024 A	01/08/2015
		TW 201536116 A	16/09/2015
		TW 201607379 A	16/02/2016

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2018/036512

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		TW 201631617 A	01/09/2016
		TW 201725939 A	16/07/2017
		TW 201725940 A	16/07/2017
		TW 201729651 A	16/08/2017
		TW 201737763 A	16/10/2017
		TW I592978 B	21/07/2017
		TW I593320 B	21/07/2017
		TW I593321 B	21/07/2017
		TW I598582 B	11/09/2017
		TW I599270 B	11/09/2017
		TW I599272 B	11/09/2017
		TW I612855 B	21/01/2018
		TW I613698 B	01/02/2018
		US 10008371 B2	26/06/2018
		US 10032605 B2	24/07/2018
		US 2013-0213573 A1	22/08/2013
		US 2013-0213934 A1	22/08/2013
		US 2013-0214682 A1	22/08/2013
		US 2013-0214683 A1	22/08/2013
		US 2013-0214828 A1	22/08/2013
		US 2014-0009073 A1	09/01/2014
		US 2014-0167613 A1	19/06/2014
		US 2014-0172335 A1	19/06/2014
		US 2014-0195033 A1	10/07/2014
		US 2014-0210508 A1	31/07/2014
		US 2014-0214350 A1	31/07/2014
		US 2014-0214351 A1	31/07/2014
		US 2014-0214395 A1	31/07/2014
		US 2014-0265852 A1	18/09/2014
		US 2014-0305589 A1	16/10/2014
		US 2015-0048740 A1	19/02/2015
		US 2015-0069912 A1	12/03/2015
		US 2015-0091440 A1	02/04/2015
		US 2015-0091441 A1	02/04/2015
		US 2015-0214012 A1	30/07/2015
		US 2015-0311041 A1	29/10/2015
		US 2016-0005573 A1	07/01/2016
		US 2016-0044775 A1	11/02/2016
		US 2016-0172162 A1	16/06/2016
		US 2016-0189937 A1	30/06/2016
		US 2016-0233058 A1	11/08/2016
		US 2016-0240356 A1	18/08/2016
		US 2016-0259872 A1	08/09/2016
		US 2016-0268100 A1	15/09/2016
		US 2016-0276137 A1	22/09/2016
		US 2016-0307736 A1	20/10/2016
		US 2016-0307738 A1	20/10/2016
		US 2016-0322207 A1	03/11/2016
		US 2016-0336152 A1	17/11/2016
		US 2016-0343548 A1	24/11/2016

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2018/036512

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		US 2017-0032945 A1	02/02/2017
		US 2017-0084432 A1	23/03/2017
		US 2017-0103872 A1	13/04/2017
		US 2017-0178864 A1	22/06/2017
		US 2017-0178873 A1	22/06/2017
		US 2017-0194130 A1	06/07/2017
		US 2017-0294293 A1	12/10/2017
		US 2017-0330732 A1	16/11/2017
		US 2018-0018418 A1	18/01/2018
		US 2018-0033596 A1	01/02/2018
		US 2018-0053632 A1	22/02/2018
		US 2018-0068834 A1	08/03/2018
		US 9030101 B2	12/05/2015
		US 9114666 B2	25/08/2015
		US 9171699 B2	27/10/2015
		US 9197196 B2	24/11/2015
		US 9236228 B2	12/01/2016
		US 9295148 B2	22/03/2016
		US 9320126 B2	19/04/2016
		US 9337000 B2	10/05/2016
		US 9368329 B2	14/06/2016
		US 9390893 B2	12/07/2016
		US 9401264 B2	26/07/2016
		US 9462672 B2	04/10/2016
		US 9502216 B2	22/11/2016
		US 9530620 B2	27/12/2016
		US 9607810 B2	28/03/2017
		US 9620334 B2	11/04/2017
		US 9620337 B2	11/04/2017
		US 9711332 B2	18/07/2017
		US 9720022 B2	01/08/2017
		US 9779196 B2	03/10/2017
		US 9812294 B2	07/11/2017
		US 9831065 B2	28/11/2017
		US 9831071 B2	28/11/2017
		US 9837252 B2	05/12/2017
		US 9842725 B2	12/12/2017
		US 9960015 B2	01/05/2018
		WO 2013-124756 A1	29/08/2013
US 2017-0178864 A1	22/06/2017	CN 103295865 A	11/09/2013
		CN 103295865 B	13/04/2016
		CN 103295866 A	11/09/2013
		CN 103295866 B	08/06/2016
		CN 103298235 A	11/09/2013
		CN 103298235 B	12/04/2017
		CN 103515181 A	15/01/2014
		CN 103515181 B	08/06/2016
		CN 103681195 A	26/03/2014
		CN 103681195 B	01/03/2017

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2018/036512

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		CN 103869769 A	18/06/2014
		CN 103871810 A	18/06/2014
		CN 103984790 A	13/08/2014
		CN 103984790 B	15/09/2017
		CN 104051214 A	17/09/2014
		CN 104051214 B	13/03/2018
		CN 104051215 A	17/09/2014
		CN 104051215 B	15/03/2017
		CN 104160789 A	19/11/2014
		CN 104160789 B	21/11/2017
		CN 104517794 A	15/04/2015
		CN 104517794 B	24/05/2017
		CN 104517795 A	15/04/2015
		CN 104517795 B	26/04/2017
		CN 104518753 A	15/04/2015
		CN 104730372 A	24/06/2015
		CN 105047513 A	11/11/2015
		CN 105047513 B	30/03/2018
		CN 105391427 A	09/03/2016
		CN 105719933 A	29/06/2016
		CN 105742151 A	06/07/2016
		CN 105914123 A	31/08/2016
		CN 106169409 A	30/11/2016
		CN 106169409 B	13/04/2018
		CN 106169410 A	30/11/2016
		CN 106169410 B	20/04/2018
		CN 106935473 A	07/07/2017
		CN 106941069 A	11/07/2017
		CN 107578974 A	12/01/2018
		JP 2013-171840 A	02/09/2013
		JP 2013-179047 A	09/09/2013
		JP 2013-191554 A	26/09/2013
		JP 2014-195044 A	09/10/2014
		JP 2015-097197 A	21/05/2015
		JP 6293497 B2	14/03/2018
		KR 10-2013-0096674 A	30/08/2013
		KR 10-2013-0096678 A	30/08/2013
		KR 10-2013-0096679 A	30/08/2013
		KR 10-2014-0000172 A	02/01/2014
		KR 10-2014-0035860 A	24/03/2014
		KR 10-2014-0077866 A	24/06/2014
		KR 10-2014-0078573 A	25/06/2014
		KR 10-2014-0098715 A	08/08/2014
		KR 10-2014-0113593 A	24/09/2014
		KR 10-2014-0113602 A	24/09/2014
		KR 10-2014-0113612 A	24/09/2014
		KR 10-2014-0125879 A	29/10/2014
		KR 10-2014-0133475 A	19/11/2014
		KR 10-2015-0039119 A	09/04/2015
		KR 10-2015-0039121 A	09/04/2015

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2018/036512

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		KR 10-2015-0039125 A	09/04/2015
		KR 10-2015-0069549 A	23/06/2015
		KR 10-2015-0122605 A	02/11/2015
		KR 10-2016-0023606 A	03/03/2016
		KR 10-2016-0136235 A	29/11/2016
		KR 10-2016-0136239 A	29/11/2016
		SG 10201400582 A	30/10/2014
		SG 10201406211 A	28/05/2015
		SG 10201406212 A	28/05/2015
		SG 10201604882 A	30/08/2016
		SG 10201605679 A	30/08/2016
		SG 11201404493 A	30/10/2014
		SG 193086 A1	30/09/2013
		SG 193113 A1	30/09/2013
		SG 193130 A1	30/09/2013
		SG 2013093042 A	30/07/2014
		SG 2013093562 A	30/07/2014
		SG 2014005557 A	28/08/2014
		TW 201349944 A	01/12/2013
		TW 201352076 A	16/12/2013
		TW 201410080 A	01/03/2014
		TW 201415519 A	16/04/2014
		TW 201415957 A	16/04/2014
		TW 201427496 A	01/07/2014
		TW 201438523 A	01/10/2014
		TW 201441608 A	01/11/2014
		TW 201443969 A	16/11/2014
		TW 201448675 A	16/12/2014
		TW 201503216 A	16/01/2015
		TW 201503765 A	16/01/2015
		TW 201511075 A	16/03/2015
		TW 201528321 A	16/07/2015
		TW 201528322 A	16/07/2015
		TW 201531024 A	01/08/2015
		TW 201536116 A	16/09/2015
		TW 201607379 A	16/02/2016
		TW 201631617 A	01/09/2016
		TW 201725939 A	16/07/2017
		TW 201725940 A	16/07/2017
		TW 201729651 A	16/08/2017
		TW 201737763 A	16/10/2017
		TW I592978 B	21/07/2017
		TW I593320 B	21/07/2017
		TW I593321 B	21/07/2017
		TW I598582 B	11/09/2017
		TW I599270 B	11/09/2017
		TW I599272 B	11/09/2017
		TW I612855 B	21/01/2018
		TW I613698 B	01/02/2018
		US 2013-0213573 A1	22/08/2013

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2018/036512

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		US 2013-0213934 A1	22/08/2013
		US 2013-0214682 A1	22/08/2013
		US 2013-0214683 A1	22/08/2013
		US 2013-0214828 A1	22/08/2013
		US 2014-0009073 A1	09/01/2014
		US 2014-0167613 A1	19/06/2014
		US 2014-0172335 A1	19/06/2014
		US 2014-0195033 A1	10/07/2014
		US 2014-0210508 A1	31/07/2014
		US 2014-0214350 A1	31/07/2014
		US 2014-0214351 A1	31/07/2014
		US 2014-0214395 A1	31/07/2014
		US 2014-0265852 A1	18/09/2014
		US 2014-0305589 A1	16/10/2014
		US 2015-0048740 A1	19/02/2015
		US 2015-0069912 A1	12/03/2015
		US 2015-0091440 A1	02/04/2015
		US 2015-0091441 A1	02/04/2015
		US 2015-0214012 A1	30/07/2015
		US 2015-0311041 A1	29/10/2015
		US 2016-0005573 A1	07/01/2016
		US 2016-0044775 A1	11/02/2016
		US 2016-0172162 A1	16/06/2016
		US 2016-0189937 A1	30/06/2016
		US 2016-0233058 A1	11/08/2016
		US 2016-0240356 A1	18/08/2016
		US 2016-0259872 A1	08/09/2016
		US 2016-0268100 A1	15/09/2016
		US 2016-0276137 A1	22/09/2016
		US 2016-0307736 A1	20/10/2016
		US 2016-0307738 A1	20/10/2016
		US 2016-0308560 A1	20/10/2016
		US 2016-0322207 A1	03/11/2016
		US 2016-0336152 A1	17/11/2016
		US 2016-0343548 A1	24/11/2016
		US 2017-0032945 A1	02/02/2017
		US 2017-0084432 A1	23/03/2017
		US 2017-0103872 A1	13/04/2017
		US 2017-0178873 A1	22/06/2017
		US 2017-0194130 A1	06/07/2017
		US 2017-0294293 A1	12/10/2017
		US 2017-0330732 A1	16/11/2017
		US 2018-0018418 A1	18/01/2018
		US 2018-0033596 A1	01/02/2018
		US 2018-0053632 A1	22/02/2018
		US 2018-0068834 A1	08/03/2018
		US 9030101 B2	12/05/2015
		US 9114666 B2	25/08/2015
		US 9171699 B2	27/10/2015
		US 9197196 B2	24/11/2015

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2018/036512

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		US 9236228 B2	12/01/2016
		US 9295148 B2	22/03/2016
		US 9320126 B2	19/04/2016
		US 9337000 B2	10/05/2016
		US 9368329 B2	14/06/2016
		US 9390893 B2	12/07/2016
		US 9401264 B2	26/07/2016
		US 9462672 B2	04/10/2016
		US 9502216 B2	22/11/2016
		US 9530620 B2	27/12/2016
		US 9607810 B2	28/03/2017
		US 9620334 B2	11/04/2017
		US 9620337 B2	11/04/2017
		US 9711332 B2	18/07/2017
		US 9720022 B2	01/08/2017
		US 9779196 B2	03/10/2017
		US 9812294 B2	07/11/2017
		US 9831065 B2	28/11/2017
		US 9831071 B2	28/11/2017
		US 9837252 B2	05/12/2017
		US 9842725 B2	12/12/2017
		US 9960015 B2	01/05/2018
		WO 2013-124756 A1	29/08/2013
US 2015-0096684 A1	09/04/2015	JP 2015-076287 A	20/04/2015
		JP 6162016 B2	12/07/2017
		KR 10-2015-0041752 A	17/04/2015
		TW 201526716 A	01/07/2015
		US 9663858 B2	30/05/2017
US 2013-0119017 A1	16/05/2013	CN 102420579 A	18/04/2012
		TW 201322410 A	01/06/2013
		TW I570876 B	11/02/2017
		US 9099284 B2	04/08/2015
US 2011-0193483 A1	11/08/2011	AU 2006-318772 A1	31/05/2007
		CA 2629567 A1	31/05/2007
		CA 2629567 C	18/09/2012
		CN 101313471 A	26/11/2008
		CN 101313471 B	20/06/2012
		EP 1952537 A1	06/08/2008
		EP 1952537 B1	09/03/2016
		JP 2009-516905 A	23/04/2009
		JP 5312037 B2	09/10/2013
		US 2007-0114945 A1	24/05/2007
		US 2009-0058304 A1	05/03/2009
		US 7459899 B2	02/12/2008
		US 7940008 B2	10/05/2011
		US 8110993 B2	07/02/2012
		WO 2007-061879 A1	31/05/2007

 フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(72)発明者 バルコア・ジョン・シー・ジュニア

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 リンデーカー・ブラッドフォード・ジェイ

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

Fターム(参考) 2G084 AA02 AA04 AA05 CC12 CC13 CC15 CC33 DD02 DD15 DD23
DD24 DD37 DD53 DD55 HH05 HH08 HH23 HH25 HH28 HH29
HH52