(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2023-534801
(P2023-534801A)
(43)公表日　令和5年8月14日(2023.8.14)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｈ０５Ｈ	*1/46 (2006.01)*	Ｈ０５Ｈ	1/46	Ｌ	２Ｇ０８４
Ｈ０１Ｌ	*21/3065(2006.01)*	Ｈ０５Ｈ	1/46	Ｒ	４Ｋ０３０
Ｈ０１Ｌ	*21/31 (2006.01)*	Ｈ０１Ｌ	21/302	１０１Ｃ	５Ｆ００４
Ｃ２３Ｃ	*16/515(2006.01)*	Ｈ０１Ｌ	21/31	Ｃ	５Ｆ０４５
		Ｃ２３Ｃ	16/515		

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全60頁）

(21)出願番号　特願2023-502584(P2023-502584)
(86)(22)出願日　令和3年7月1日(2021.7.1)
(85)翻訳文提出日　令和5年3月8日(2023.3.8)
(86)国際出願番号　PCT/US2021/040155
(87)国際公開番号　WO2022/015524
(87)国際公開日　令和4年1月20日(2022.1.20)
(31)優先権主張番号　63/052,401
(32)優先日　令和2年7月15日(2020.7.15)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(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,
最終頁に続く

(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 ９４５３８，フレモント，クッシング パークウェイ ４６５０
(74)代理人　110000028
弁理士法人明成国際特許事務所
(72)発明者　シューブ・ジュライン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州９４５３８ フレモント，クッシング・パークウェイ，４６５０
(72)発明者　カンプ・トム・エー.
アメリカ合衆国 カリフォルニア州９４
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　プラズマチャンバのＲＦコイルを逆同期でパルシングすること

(57)【要約】
無線周波数（ＲＦ）コイルをパルシングするためのシステムおよび方法が説明される。方法のうちの１つは、第１のＲＦコイルに結合される第１のインピーダンス整合回路に第１のＲＦ信号を供給することと、第２のＲＦコイルに結合される第２のインピーダンス整合回路に第２のＲＦ信号を供給することと、第１のＲＦ信号を、第１のパラメータレベルと第２のパラメータレベルとの間でパルシングすることと、を含む。本方法は、第２のＲＦ信号を、第１のＲＦ信号のパルシングと逆同期で、第３のパラメータレベルと第４のパラメータレベルとの間でパルシングすることを含む。
【選択図】図１Ａ

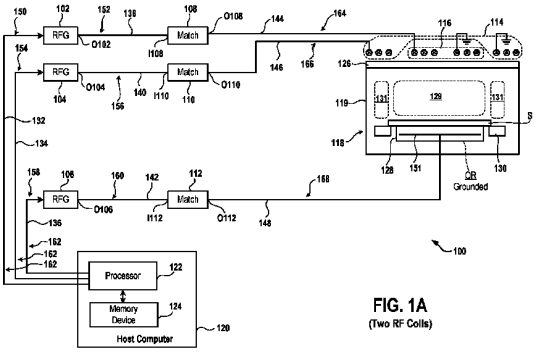


FIG. 1A
(Two RF Coils)

【特許請求の範囲】
【請求項１】
無線周波数（ＲＦ）コイルをパルシングするための方法であって、
第１のＲＦコイルに結合される第１のインピーダンス整合回路に第１のＲＦ信号を供給することと、
第２のＲＦコイルに結合される第２のインピーダンス整合回路に第２のＲＦ信号を供給することと、
前記第１のＲＦ信号を、第１のパラメータレベルと第２のパラメータレベルとの間でパルシングすることと、
前記第２のＲＦ信号を、前記第１のＲＦ信号の前記パルシングと逆同期で、第３のパラメータレベルと第４のパラメータレベルとの間でパルシングすることと、を含む、方法。
【請求項２】
請求項１に記載の方法であって、前記第２のＲＦ信号を前記第１のＲＦ信号の前記パルシングと逆同期で前記パルシングすることは、
前記第１のＲＦ信号が前記第１のパラメータレベルから前記第２のパラメータレベルへ遷移する時間期間の間、前記第２のＲＦ信号を前記第３のパラメータレベルから前記第４のパラメータレベルへ遷移させることと、
前記第１のＲＦ信号が前記第２のパラメータレベルから前記第１のパラメータレベルへ遷移する時間期間の間、前記第２のＲＦ信号を前記第４のパラメータレベルから前記第３のパラメータレベルへ遷移させることと、を含み、
前記第１のパラメータレベルは、前記第３のパラメータレベルとは異なり、前記第２のパラメータレベルは、前記第４のパラメータレベルとは異なる、方法。
【請求項３】
請求項１に記載の方法であって、
前記第１のＲＦ信号が前記第１のパラメータレベルに維持される時間期間の間、前記第２のＲＦ信号を前記第３のパラメータレベルに維持することと、
前記第１のＲＦ信号が前記第２のパラメータレベルに維持される時間期間の間、前記第２のＲＦ信号を前記第４のパラメータレベルに維持することと、をさらに含む、方法。
【請求項４】
請求項１に記載の方法であって、前記第１のＲＦコイルおよび前記第２のＲＦコイルは、プラズマチャンバの誘電体窓の上方に位置する、方法。
【請求項５】
請求項１に記載の方法であって、前記第１のパラメータレベルは、１つまたは複数のパラメータ値を含み、前記第２のパラメータレベルは、１つまたは複数のパラメータ値を含み、前記第１のパラメータレベルの前記１つまたは複数の値は、前記第２のパラメータレベルの値の前記１つまたは複数の値を含まない、方法。
【請求項６】
請求項１に記載の方法であって、前記第３のパラメータレベルは、１つまたは複数のパラメータ値を含み、前記第４のパラメータレベルは、１つまたは複数のパラメータ値を含み、前記第３のパラメータレベルの前記１つまたは複数の値は、前記第４のパラメータレベルの値の前記１つまたは複数の値を含まない、方法。
【請求項７】
請求項１に記載の方法であって、前記第１のＲＦ信号は、前記第２のＲＦ信号と実質的に同じ周波数を有する、方法。
【請求項８】
請求項１に記載の方法であって、前記第１のＲＦ信号および前記第２のＲＦ信号の各々は、１０キロヘルツ（ｋＨｚ）～１００ｋＨｚの範囲に及ぶ周波数を有する、方法。
【請求項９】
請求項１に記載の方法であって、前記第１のＲＦ信号の前記第１のパラメータレベルは

、デューティサイクルを有し、前記第２のパラメータレベルは、１００パーセントと、前記第１のＲＦ信号の前記第１のパラメータレベルの前記デューティサイクルと、の差に等しいデューティサイクルを有し、前記第４のパラメータレベルは、前記差に等しいデューティサイクルを有する、方法。

【請求項１０】

請求項１に記載の方法であって、前記第１のパラメータレベルおよび前記第２のパラメータレベルは、同期信号のサイクルの間に発生し、前記第３のパラメータレベルおよび前記第４のパラメータレベルは、前記サイクルの間に発生する、方法。

【請求項１１】

請求項１に記載の方法であって、

前記第１のＲＦ信号を前記パルシングすることは、

同期信号のサイクルの間、前記第１のＲＦ信号を、前記第１のパラメータレベルから前記第２のパラメータレベルへ遷移させることと、

前記同期信号の前記サイクルの間、前記第１のＲＦ信号を、前記第２のパラメータレベルから前記第１のパラメータレベルへ遷移させることと、を含み、

前記第２のＲＦ信号を前記パルシングすることは、

前記同期信号の前記サイクルの間、前記第２のＲＦ信号を、前記第３のパラメータレベルから前記第４のパラメータレベルへ遷移させることと、

前記同期信号の前記サイクルの間、前記第２のＲＦ信号を、前記第４のパラメータレベルから前記第３のパラメータレベルへ遷移させることと、を含む、方法。

【請求項１２】

請求項１に記載の方法であって、

第３のＲＦ信号を、第３のインピーダンス整合回路を介してプラズマチャンバの第３のＲＦコイルに供給することと、

前記第３のＲＦ信号を、第５のパラメータレベルと第６のパラメータレベルとの間でパルシングすることと、をさらに含み、

前記第３のＲＦ信号は、前記第１のＲＦ信号および前記第２のＲＦ信号と逆同期でパルシングされる、方法。

【請求項１３】

請求項１に記載の方法であって、前記方法は、特徴部の傾斜を最小限にするために半導体ウエハ処理動作中に実施される、方法。

【請求項１４】

無線周波数（ＲＦ）コイルの逆パルシングのための方法であって、

第１のＲＦ発生器および第２のＲＦ発生器の多重化動作の表示を受信することであって、前記第１のＲＦ発生器は、第１のＲＦコイルに結合されるように構成され、前記第２のＲＦ発生器は、第２のＲＦコイルに結合されるように構成される、表示を受信することと、

前記第１のＲＦ発生器が一状態で動作し始めることになることを示す選択を受信することと、

前記第１のＲＦ発生器の動作のデューティサイクルを受信することと、

前記デューティサイクルを有するように、および前記一状態で動作し始めるように、前記第１のＲＦ発生器を制御することと、

前記第１のＲＦ発生器と逆同期で動作するように前記第２のＲＦ発生器を制御することと、を含み、前記第１のＲＦ発生器および前記第２のＲＦ発生器の互いと逆同期での前記動作は、前記第１のＲＦ発生器が第１のＲＦ信号を生成すること、および前記第２のＲＦ発生器が第２のＲＦ信号を生成することを引き起こし、前記第２のＲＦ信号は、前記第１のＲＦ信号と逆同期でパルシングする、方法。

【請求項１５】

請求項１４に記載の方法であって、前記一状態は、第１のパラメータレベルを有し、前記一状態で動作し始めるように前記第１のＲＦ発生器を前記制御することは、前記第１の

パラメータレベルで動作を開始するように前記第１のＲＦ発生器を制御することを含み、前記第２のＲＦ発生器を前記制御することは、第２のパラメータレベルで動作を開始するように前記第２のＲＦ発生器を制御することを含み、前記第２のパラメータレベルは、前記第１のパラメータレベルよりも低い、方法。

【請求項１６】

請求項１４に記載の方法であって、前記第１のＲＦ信号は、第１のパラメータレベルおよび第２のパラメータレベルを有し、前記第２のＲＦ信号は、第３のパラメータレベルおよび第４のパラメータレベルを有し、前記第１のパラメータレベルは、前記第３のパラメータレベルとは異なり、前記第２のパラメータレベルは、前記第４のパラメータレベルとは異なり、前記第１のＲＦ信号と逆同期でパルシングするため、前記第２のＲＦ信号は、前記第１のＲＦ信号が、前記第１のパラメータレベルから前記第２のパラメータレベルへ遷移するとき、前記第３のパラメータレベルから前記第４のパラメータレベルへ遷移し、前記第２のＲＦ信号は、前記第１のＲＦ信号が、前記第２のパラメータレベルから前記第１のパラメータレベルへ遷移するとき、前記第４のパラメータレベルから前記第３のパラメータレベルへ遷移する、方法。

【請求項１７】

請求項１６に記載の方法であって、前記第１のパラメータレベルは、前記第２のパラメータレベルおよび前記第３のパラメータレベルよりも大きく、前記第４のパラメータレベルは、前記第３のパラメータレベルよりも大きい、方法。

【請求項１８】

請求項１４に記載の方法であって、前記第１のＲＦ信号および前記第２のＲＦ信号を互いと逆同期でパルシングするために、前記第１のＲＦ信号は、クロックサイクルの第１の時間期間の間、第１のパラメータレベルを有し、前記第２のＲＦ信号は、前記第１の時間期間の間、第２のパラメータレベルを有し、前記第１のＲＦ信号は、前記クロックサイクルの第２の時間期間の間、第３のパラメータレベルを有し、前記第２のＲＦ信号は、前記第２の時間期間の間、第４のパラメータレベルを有し、前記第１のパラメータレベルは、前記第３のパラメータレベルとは異なり、前記第２のパラメータレベルは、前記第４のパラメータレベルとは異なる、方法。

【請求項１９】

請求項１４に記載の方法であって、前記第１のＲＦ発生器は、第１のインピーダンス整合回路を介して前記第１のＲＦコイルに結合されるように構成され、前記第２のＲＦ発生器は、第２のインピーダンス回路を介して前記第２のＲＦコイルに結合されるように構成される、方法。

【請求項２０】

請求項１４に記載の方法であって、前記多重化動作の前記表示、前記一状態の前記選択、および前記デューティサイクルは、プロセッサによって入力デバイスから受信される、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本実施形態は、プラズマチャンバの無線周波数（ＲＦ）コイルを逆同期でパルシングするためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

本明細書に提供される背景技術の説明は、本開示の背景を全般的に提示する目的のためのものである。この背景技術の章において説明される範囲内での、ここで名指しされた発明者の研究、ならびに提出時に先行技術としての資格を別途得ていない可能性のある説明の態様は、明示的にも暗示的にも、本開示に対する先行技術として認められない。

【０００３】

プラズマツールは、１つまたは複数の無線周波数（ＲＦ）発生器を含む。ＲＦ発生器は

、１つまたは複数のインピーダンスマッチを介してプラズマチャンバに結合される。基板は、プラズマチャンバ内に置かれる。

【０００４】

ＲＦ発生器は、基板を処理するために、１つまたは複数のインピーダンスマッチを介してプラズマチャンバにＲＦ信号を供給する。しかしながら、基板は、均一に処理されない。

【０００５】

このような背景の中で、本開示に説明される実施形態が生じる。

【発明の概要】

【０００６】

本開示の実施形態は、プラズマチャンバ内の無線周波数（ＲＦ）コイルを逆同期でパルシングするためのシステム、装置、方法、およびコンピュータプログラムを提供する。本実施形態は、多数の方式で、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上の方法で、実装され得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。

【０００７】

半導体ウエハの上に形成されるプラズマのイオンの密度または束が不均一である場合、プラズマのシースの厚さも不均一である。イオンは、シースの境界に対して垂直にシースに入ることから、傾斜したシースまたは不均一なシースは、傾斜したイオン方向を結果としてもたらす。傾斜は、傾斜したエッチプロファイルを結果としてもたらし得るため、イオン方向のそのような傾斜は望ましくない。傾斜を最小限にするため、本明細書に説明されるシステムおよび方法は、均一なプラズマシースを有するプラズマを生成する。

【０００８】

１つの実施形態において、本システムは、別個にパルシングされる無線周波数（ＲＦ）コイルを含む。２つのＲＦコイルのうちの第１のコイルが、パルシングサイクルの間オンであるとき、２つのＲＦコイルのうちの第２のコイルは、パルシング時間期間の間オフに切り替えられる。この逆同期は、第１のＲＦコイルと第２のＲＦコイルとの間の干渉を低減し、プラズマ密度およびシース厚さの両方の均一性を改善する。

【０００９】

一実施形態において、本システムは、別個にパルシングされるＲＦコイルセットを含む。２つのＲＦコイルセットのうちの第１のコイルセットが、パルシング時間期間の間オンであるとき、２つのＲＦコイルセットのうちの第２のコイルセットは、パルシング時間期間の間オフに切り替えられる。各ＲＦコイルセットは、２つ以上のＲＦコイルを含む。この逆同期は、第１のＲＦコイルセットと第２のＲＦコイルセットとの間の干渉を低減し、プラズマシース厚さの均一性を増大させる。

【００１０】

一実施形態において、第１のＲＦコイルが、パルシングサイクルの一部分の間、オンにされるとき、第１のＲＦコイルは、第１のＲＦコイルの下の第１の領域においてプラズマの密度を増大させて、第１の領域におけるプラズマの均一性をさらに増大させる。また、第２のＲＦコイルがオフにされるとき、第２のＲＦコイルの下の第２の領域におけるプラズマの密度は、減少して、第２の領域におけるプラズマの均一性をさらに減少させる。その一方で、パルシングサイクルの残りの部分の間、第２のＲＦコイルがオンにされ、第１のＲＦコイルがオフにされるとき、第２の領域は、プラズマを獲得し始め、より均一になる。また、第１の領域は、第２の領域からのプラズマ密度が拡散し、第１の領域内のプラズマへ移動することから、かなり均一になる。再び、第１のＲＦコイルがオンにされるとき、第１の領域におけるプラズマの均一性は、増大し、第１の領域からのプラズマは、第２の領域へ移動して、第２の領域において均一性を達成する。この様式では、第１のおよび第２のＲＦコイルを時分割多重化することによって、プラズマイオンおよび電子の時間平均密度または束均一性が増大して、均一なプラズマシース厚さをもたらし、均一なプラズマのプラズマシースに入るプラズマイオンは、極めて最小限の傾斜を有するか、または

傾斜を有さない。

【００１１】

１つの実施形態において、ＲＦコイルをパルシングするための方法が説明される。本方法は、第１のＲＦコイルに結合される第１のインピーダンス整合回路に第１のＲＦ信号を供給することと、第２のＲＦコイルに結合される第２のインピーダンス整合回路に第２のＲＦ信号を供給することと、第１のＲＦ信号を、第１のパラメータレベルと第２のパラメータレベルとの間でパルシングすることと、を含む。本方法は、第２のＲＦ信号を、第１のＲＦ信号のパルシングと逆同期で、第３のパラメータレベルと第４のパラメータレベルとの間でパルシングすることを含む。

【００１２】

１つの実施形態において、ＲＦコイルの逆パルシングのための方法が説明される。本方法は、第１のＲＦ発生器および第２のＲＦ発生器の多重化動作の表示を受信することを含む。第１のＲＦ発生器は、第１のＲＦコイルに結合され、第２のＲＦ発生器は、第２のＲＦコイルに結合される。本方法は、第１のＲＦ発生器が一状態で動作し始めることになることを示す選択を受信することと、第１のＲＦ発生器の動作のデューティサイクルを受信することと、該デューティサイクルを有するように、および該一状態で動作し始めるように第１のＲＦ発生器を制御することと、をさらに含む。本方法は、第１のＲＦ発生器と逆同期で動作するように第２のＲＦ発生器を制御することを含む。第１のＲＦ発生器および第２のＲＦ発生器の互いと逆同期での動作は、第１のＲＦ発生器が第１のＲＦ信号を生成すること、および第２のＲＦ発生器が第２のＲＦ信号を生成することを引き起こす。第２のＲＦ信号は、第１のＲＦ信号と逆同期でパルシングする。

【００１３】

一実施形態において、ＲＦコイルをパルシングするためのシステムが説明される。本システムは、プラズマチャンバの第１のＲＦコイルに結合される第１のインピーダンス整合回路に第１のＲＦ信号を供給するように構成される第１のＲＦ発生器を含む。本システムは、プラズマチャンバの第２のＲＦコイルに結合される第２のインピーダンス整合回路に第２のＲＦ信号を供給するように構成される第２のＲＦ発生器をさらに含む。第１のＲＦ発生器は、第１のＲＦ信号を、第１のパラメータレベルと第２のパラメータレベルとの間でパルシングする。第２のＲＦ発生器は、第２のＲＦ信号を、第１のＲＦ信号と逆同期で、第３のパラメータレベルと第４のパラメータレベルとの間でパルシングする。

【００１４】

一実施形態において、第２のＲＦ信号を第１のＲＦ信号と逆同期でパルシングするために、第２のＲＦ発生器は、第１のＲＦ信号が第１のパラメータレベルから第２のパラメータレベルへ遷移する時間期間の間、第２のＲＦ信号を、第３のパラメータレベルから第４のパラメータレベルへ遷移させる。また、第２のＲＦ信号を第１のＲＦ信号と逆同期でパルシングするために、第２のＲＦ発生器は、第１のＲＦ信号が第２のパラメータレベルから第１のパラメータレベルへ遷移する時間期間の間、第２のＲＦ信号を、第４のパラメータレベルから第３のパラメータレベルへ遷移させる。

【００１５】

１つの実施形態において、第２のＲＦ発生器は、第１のＲＦ発生器が第１のＲＦ信号を第１のパラメータレベルに維持する時間期間の間、第２のＲＦ信号を第３のパラメータレベルに維持する。さらには、第２のＲＦ発生器は、第１のＲＦ発生器が第１のＲＦ信号を第２のパラメータレベルに維持する時間期間の間、第２のＲＦ信号を第４のパラメータレベルに維持する。

【００１６】

一実施形態において、第１のＲＦ発生器および第２のＲＦ発生器の各々が、同期信号を受信する。第１のパラメータレベルおよび第２のパラメータレベルは、同期信号のサイクルの間に発生し、第３のパラメータレベルおよび第４のパラメータレベルは、該サイクルの間に発生する。

【００１７】

１つの実施形態において、第１のＲＦ信号をパルシングするために、第１のＲＦ発生器は、同期信号のサイクルの間、第１のＲＦ信号を、第１のパラメータレベルから第２のパラメータレベルへ遷移させる。また、ＲＦ信号をパルシングするために、第１のＲＦ発生器は、同期信号のサイクルの間、第１のＲＦ信号を、第２のパラメータレベルから第１のパラメータレベルへ遷移させる。さらに、第２のＲＦ信号をパルシングするために、第２のＲＦ発生器は、同期信号のサイクルの間、第２のＲＦ信号を、第３のパラメータレベルから第４のパラメータレベルへ遷移させる。また、第２のＲＦ信号をパルシングするために、第２のＲＦ発生器は、同期信号のサイクルの間、第２のＲＦ信号を、第４のパラメータレベルから第３のパラメータレベルへ遷移させる。

【００１８】

一実施形態において、本システムは、第３のインピーダンス整合回路を介してプラズマチャンバの第３のＲＦコイルに第３のＲＦ信号を供給する第３のＲＦ発生器を含む。第３のＲＦ発生器は、第３のＲＦ信号を、第５のパラメータレベルと第６のパラメータレベルとの間でパルシングする。第３のＲＦ信号は、第１のＲＦ信号および第２のＲＦ信号と逆同期でパルシングされる。

【００１９】

一実施形態において、制御器が説明される。制御器は、プラズマチャンバの第１のＲＦコイルに結合される第１のインピーダンス整合回路に第１のＲＦ信号を供給するように第１のＲＦ発生器を制御するプロセッサを含む。プロセッサはまた、プラズマチャンバの第２のＲＦコイルに結合される第２のインピーダンス整合回路に第２のＲＦ信号を供給するように第２のＲＦ発生器を制御する。プロセッサはさらに、第１のＲＦ信号を、第１のパラメータレベルと第２のパラメータレベルとの間でパルシングするように、第１のＲＦ発生器を制御する。プロセッサは、第２のＲＦ信号を、第１のＲＦ信号と逆同期で、第３のパラメータレベルと第４のパラメータレベルとの間でパルシングするように、第２のＲＦ発生器を制御する。制御器は、第１、第２、第３、および第４のパラメータレベルを格納するための、プロセッサに結合されるメモリデバイスを含む。

【００２０】

一実施形態において、第２のＲＦ信号を第１のＲＦ信号と逆同期でパルシングするために、プロセッサは、第２のＲＦ信号を、第３のパラメータレベルから第４のパラメータレベルへ遷移させるように、第２のＲＦ発生器を制御する。第２のＲＦ信号は、第１のＲＦ信号が第１のパラメータレベルから第２のパラメータレベルへ遷移する時間期間の間、第３のパラメータレベルから第４のパラメータレベルへ遷移する。また、第２のＲＦ信号を第１のＲＦ信号と逆同期でパルシングするために、プロセッサは、第２のＲＦ信号を、第４のパラメータレベルから第３のパラメータレベルへ遷移させるように、第２のＲＦ発生器を制御する。第２のＲＦ信号は、第１のＲＦ信号が第２のパラメータレベルから第１のパラメータレベルへ遷移する時間期間の間、第４のパラメータレベルから第３のパラメータレベルへ遷移する。

【００２１】

一実施形態において、制御器が説明される。制御器は、第１のＲＦ発生器が第２のＲＦ発生器と逆同期でパルシングされることになるかどうかを示す選択を受信するプロセッサを含む。第１のＲＦ発生器は、プラズマチャンバの第１のＲＦコイルに結合される第１のインピーダンス整合回路に結合される。第２のＲＦ発生器は、プラズマチャンバの第２のＲＦコイルに結合される第２のインピーダンス整合回路に結合される。制御器は、プロセッサに結合されるメモリデバイスを含む。

【００２２】

１つの実施形態において、プロセッサは、第１のＲＦ発生器または第２のＲＦ発生器が第１の状態で動作を開始することになるかどうかを示す選択を受信する。第１のＲＦ発生器が第１の状態で動作を開始することになることを示す選択を受信することに応答して、プロセッサは、第２の状態で動作を開始するように第２のＲＦ発生器を制御する。

【００２３】

本明細書に説明されたシステムおよび方法のいくつかの利点は、半導体ウエハを処理することにおける均一性を増大させること、およびイオンの傾斜を最小限またはゼロになるように低減することを含む。本方法は、２つのＲＦコイルを逆同期式でパルシングすることを含む。第１のＲＦコイルが高状態を有し、第２のＲＦコイルが低状態を有するとき、半導体ウエハの上方の中央領域に向かってシース厚さにおける増加が、および半導体ウエハの上方のエッジ領域に向かってシース厚さにおける減少が存在する。シースに入るイオンのイオン傾斜は、中央領域に向かって増加し、エッジ領域に向かって減少する。その一方で、第１のＲＦコイルが低状態を有し、第２のＲＦコイルが高状態を有するとき、半導体ウエハのエッジ領域に向かってシース厚さにおける増加が、および基板の中央領域に向かってシース厚さにおける減少が存在する。シースに入るイオンのイオン傾斜は、エッジ領域に向かって増加し、中央領域に向かって減少する。ＲＦコイルが、ある時間期間にわたって、逆同期式でパルシングされるとき、逆パルシングの複数のサイクルが発生する。その時間期間にわたって、プラズマシースは、半導体ウエハの上方の中央およびエッジ領域にわたってより均一になる。また、プラズマシースがより均一になることから、イオン傾斜は、半導体ウエハの上表面にわたって均一に半導体ウエハを処理するために、最小限になるように減少する。

【００２４】

他の態様は、添付の図面と併せて、以下の詳細な説明から明らかになる。

【００２５】

実施形態は、添付の図面と併せて、以下の説明を参照することにより最良に理解され得る。

【図面の簡単な説明】

【００２６】

【図１Ａ】第１の無線周波数（ＲＦ）コイルおよび第２のＲＦコイルの逆パルシングについて説明するためのシステムの実施形態を示す図である。

【００２７】

【図１Ｂ】逆パルシングのための横型ＲＦコイルについて説明するためのシステムの実施形態を示す図である。

【００２８】

【図２Ａ】同期信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。

【００２９】

【図２Ｂ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。

【００３０】

【図２Ｃ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。

【００３１】

【図２Ｄ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。

【００３２】

【図２Ｅ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。

【００３３】

【図３Ａ】同期信号について説明するための図２Ａのグラフの実施形態を示す図である。

【００３４】

【図３Ｂ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。

【００３５】
【図３Ｃ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００３６】
【図３Ｄ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００３７】
【図３Ｅ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００３８】
【図４Ａ】同期信号について説明するための図２Ａのグラフの実施形態を示す図である。
【００３９】
【図４Ｂ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００４０】
【図４Ｃ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００４１】
【図４Ｄ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００４２】
【図４Ｅ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００４３】
【図５】複数のＲＦ発生器間での多重化動作の制御について説明するためのユーザインターフェースについて説明するためのコンピュータシステムを示す図である。
【００４４】
【図６Ａ】プラズマチャンバ内に置かれる基板の半径に対する、プラズマチャンバ内のプラズマのイオンの束のプロットについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００４５】
【図６Ｂ】プラズマチャンバ内に置かれる基板の半径に対する、プラズマチャンバ内のプラズマのイオンの束のプロットについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００４６】
【図６Ｃ】プラズマチャンバ内に置かれる基板の半径に対する、プラズマチャンバ内のプラズマのイオンの束のプロットについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００４７】
【図７Ａ】複数のＲＦ発生器が同じ時間期間の間同じ状態を有するときにエッチングされる基板について説明するための実施形態を示す図である。
【００４８】
【図７Ｂ】複数のＲＦ発生器が同じ時間期間の間同じ状態を有するときにエッチングされる基板について説明するための実施形態を示す図である。
【００４９】
【図７Ｃ】複数のＲＦ発生器が互いと逆同期でパルシングされるときにエッチングされる基板の実施形態を示す図である。

【００５０】
【図８】イオン角度分布機能について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００５１】
【図９】多重化様式で動作される３つのＲＦコイルの使用について説明するためのシステムの実施形態を示す図である。
【００５２】
【図１０Ａ】同期信号について説明するための図２Ａのグラフの実施形態を示す図である。
【００５３】
【図１０Ｂ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００５４】
【図１０Ｃ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００５５】
【図１０Ｄ】ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信号のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号について説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００５６】
【図１０Ｅ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００５７】
【図１０Ｆ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００５８】
【図１０Ｇ】ＲＦ信号のパラメータについて説明するためのグラフの実施形態を示す図である。
【００５９】
【図１１】３つのＲＦ発生器の多重化動作の制御について説明するためのユーザインターフェースについて説明するためのコンピュータシステムを示す図である。
【００６０】
【図１２】３つのＲＦ発生器の内部構成要素について説明するためのシステムの実施形態を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００６１】
以下の実施形態は、プラズマチャンバの無線周波数（ＲＦ）コイルを逆同期でパルシングす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事項の一部またはすべてがなくても実践され得ることが明らかであろう。また、周知のプロセス動作は、本実施形態を不必要に不明瞭にすることがないように、詳細には説明されていない。
【００６２】
図１Ａは、システム１００の実施形態の図であり、ＲＦコイル１１４およびＲＦコイル１１６の逆パルシングについて説明するためのものである。システム１００は、ＲＦ発生器１０２、ＲＦ発生器１０４、マッチ１０８、マッチ１１０、プラズマチャンバ１１８、ＲＦ発生器１０６、マッチ１１２、およびホストコンピュータ１２０を含む。プラズマチャンバ１１８の例は、トランス結合プラズマ（ＴＣＰ）チャンバまたは誘導結合プラズマ（ＩＣＰ）プラズマチャンバである。
【００６３】

マッチ、インピーダンスマッチ、インピーダンス整合回路、およびインピーダンス整合ネットワークという用語は、本明細書では同義に使用されるということに留意されたい。ＲＦコイルまたはＴＣＰコイルまたはＩＣＰコイルは、本明細書では同義に使用されるということにさらに留意されたい。

【００６４】

ホストコンピュータ１２０は、プロセッサ１２２およびメモリデバイス１２４を含む。ホストコンピュータの例としては、デスクトップ、ラップトップ、タブレット、およびスマートフォンが挙げられる。本明細書で使用される場合、プロセッサは、特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ）、またはプログラマブル論理デバイス（ＰＬＤ）、または中央処理装置（ＣＰＵ）、またはマイクロプロセッサ、またはマイクロコントローラである。メモリデバイスの例としては、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）およびリードオンリメモリ（ＲＯＭ）が挙げられる。例示すると、メモリデバイスは、フラッシュメモリ、ハードディスク、またはストレージデバイスなどである。メモリデバイスは、コンピュータ可読媒体の例である。

【００６５】

各ＲＦ発生器１０２、１０４、および１０６は、動作周波数を有する。例えば、各ＲＦ発生器１０２および１０４は、１０キロヘルツ（ｋＨｚ）～１００ｋＨｚの範囲に及ぶ動作周波数を有する。例として、ＲＦ発生器１０６は、１０ｋＨｚ～１００ｋＨｚの範囲に及ぶ動作周波数を有する。別の例として、ＲＦ発生器１０６は、４００ｋＨｚまたは２メガヘルツ（ＭＨｚ）または１３．５６ＭＨｚまたは２７ＭＨｚまたは６０ＭＨｚの動作周波数を有する。

【００６６】

１つの実施形態において、ＲＦ発生器１０４は、ＲＦ発生器１０２と実質的に同じ周波数で動作する。例えば、ＲＦ発生器１０４の動作周波数は、ＲＦ発生器１０２の動作周波数から、±１０％以内などの、既定の範囲内にある。別の例として、ＲＦ発生器１０２および１０４は共に、同じ動作周波数を有する。

【００６７】

本明細書に説明されるようなマッチは、１つもしくは複数の抵抗器、または１つもしくは複数のコンデンサ、または１つもしくは複数のインダクタ、またはそれらの組み合わせのネットワークを含む。例えば、マッチは、互いと結合される複数の直列回路および複数のシャント回路を含む。各直列回路は、抵抗器、またはコンデンサ、またはインダクタ、またはそれらの組み合わせを含む。同様に、各シャント回路は、抵抗器、またはコンデンサ、またはインダクタ、またはそれらの組み合わせを含む。各シャント回路は、一端では直列回路に、および反対端では接地電位に結合される。接地電位の例は、ゼロ電位である。各直列回路の端は、接地電位に結合されない。例えば、直列回路の第１の端は、マッチの入力に結合され、直列回路の第２の端は、シャント回路に、およびマッチの出力に、結合される。

【００６８】

プラズマチャンバ１１８は、誘電体窓１２６、および側壁１１９であるチャンバ壁を含む。誘電体窓１２６は、プラズマチャンバ１１８の側壁１１９の上に置かれる。誘電体窓１２６は、プラズマチャンバ１１８の上壁を形成する。ＲＦコイル１１４および１１６は、誘電体窓１２６の上方に位置する。プラズマチャンバ１１８は、基板支持体１２８およびエッジリング１３０をさらに含む。基板支持体１２８の例は、静電チャック（ＥＳＣ）などのチャックである。基板支持体１２８は、基板支持体１２８内に埋め込まれた下部電極１５８を有する。エッジリング１３０は、基板支持体１２８の周囲を取り囲む。例として、エッジリング１３０は、ケイ素、ホウ素ドーピングされた単結晶ケイ素、アルミナ、炭化ケイ素、またはアルミナ層上の炭化ケイ素層、またはケイ素の合金、またはそれらの組み合わせなど、誘電材料から製作される。エッジリング１３０は、リング状体または皿状体など、環状体を有するということに留意されたい。

【００６９】

ＲＦコイル１１４は、外側コイルであり、ＲＦコイル１１６は、内側コイルである。例えば、ＲＦコイル１１４は、エッジリング１３０の上方に置かれ、内側ＲＦコイル１１６は、基板支持体１２８の上方に置かれ、ＲＦコイル１１４と１１６との間に重複は存在しない。また、基板支持体１２８の上方にＲＦコイル１１４の部分はなく、エッジリング１３０の上方にＲＦコイル１１６の部分はない。ＲＦコイル１１４は、ＲＦコイル１１６の直径よりも大きい直径を有する。例えば、ＲＦコイル１１４は、ＲＦコイル１１６の外周の隣に位置する。ＲＦコイル１１４および１１６は共に、同じ水平面に位置する。

【００７０】

プロセッサ１２２は、伝送ケーブル１３２を介してＲＦ発生器１０２に結合される。同様に、プロセッサ１２２は、伝送ケーブル１３４を介してＲＦ発生器１０４に結合され、伝送ケーブル１３６を介してＲＦ発生器１０６に結合される。伝送ケーブルの例としては、本明細書で使用される場合、データを並列様式で伝送するために使用される同軸ケーブル、データを連続様式で伝送するために使用されるケーブル、およびユニバーサルシリアルバス（ＵＳＢ）ケーブルが挙げられる。プロセッサ１２２は、メモリデバイス１２４にも結合される。

【００７１】

ＲＦ発生器１０２の出力Ｏ１０２は、ＲＦケーブル１３８を介してマッチ１０８の入力Ｉ１０８に結合され、マッチ１０８の出力Ｏ１０８は、ＲＦ伝送路１４４を介してＲＦコイル１１６の第１の端端に結合される。ＲＦコイル１１６の第２の端は、接地接続に結合される。同様に、ＲＦ発生器１０４の出力Ｏ１０４は、ＲＦケーブル１４０を介してマッチ１１０の入力Ｉ１１０に結合され、マッチ１１０の出力Ｏ１１０は、ＲＦ伝送路１４６を介してＴＣＰコイル１１４の第１の端に結合される。ＴＣＰコイル１１４の第２の端は、接地接続に結合される。また、ＲＦ発生器１０６の出力Ｏ１０６は、ＲＦケーブル１４２を介してマッチ１１２の入力Ｉ１１２に結合され、マッチ１１２の出力Ｏ１１２は、ＲＦ伝送路１４８を介して基板支持体１２８の下部電極１５１に結合される。

【００７２】

例として、ＲＦ伝送路１４４または１４６または１４８などのＲＦ伝送路は、ＲＦシリンダのＲＦ棒に結合されるＲＦケーブルを含む。ＲＦケーブルは、ＲＦシースによって取り囲まれる絶縁材料によって取り囲まれる。ＲＦシリンダのＲＦ棒は、ＲＦシリンダによって取り囲まれる。ＲＦストラップは、ＲＦケーブルをＲＦシリンダのＲＦ棒に結合する。別の例として、ＲＦ伝送路１４４または１４６または１４８などのＲＦ伝送路は、ＲＦケーブルを含む。ＲＦケーブルは、ＲＦシースによって取り囲まれる絶縁材料によって取り囲まれる。ＲＦ伝送路内でＲＦシリンダの使用はない。

【００７３】

プロセッサ１２２は、レシピ信号１５０を生成する。レシピ信号１５０は、ＲＦ発生器１０２によって生成されることになるＲＦ信号１５２のパラメータ、およびＲＦ信号１５２の周波数などの、レシピ情報を含む。本明細書で使用される場合、ＲＦ信号のパラメータは、ＲＦ信号の電圧または電力である。レシピ信号１５０のレシピ情報は、ＲＦ信号１５２のパラメータのデューティサイクルをさらに含む。プロセッサ１２２は、伝送ケーブル１３２を介してＲＦ発生器１０２にレシピ信号１５０を送信する。レシピ信号１５０を受信すると、ＲＦ発生器１０２は、ＲＦ発生器１０２の１つまたは複数のメモリデバイス内にレシピ信号１５０のレシピ情報を格納する。

【００７４】

同様に、プロセッサ１２２は、レシピ信号１５４を生成する。レシピ信号１５４は、ＲＦ発生器１０４によって生成されることになるＲＦ信号１５６のパラメータ、およびＲＦ信号１５６の周波数などの、レシピ情報を含む。レシピ信号１５４のレシピ情報は、ＲＦ信号１５６のパラメータのデューティサイクルをさらに含む。プロセッサ１２２は、伝送ケーブル１３４を介してＲＦ発生器１０４にレシピ信号１５４を送信する。レシピ信号１５４を受信すると、ＲＦ発生器１０４は、ＲＦ発生器１０４の１つまたは複数のメモリデバイス内にレシピ信号１５４のレシピ情報を格納する。

【００７５】
また、プロセッサ１２２は、レシピ信号１５８を生成する。レシピ信号１５８は、ＲＦ発生器１０６によって生成されることになるＲＦ信号１６０のパラメータ、およびＲＦ信号１６０の周波数などの、レシピ情報を含む。レシピ信号１５８のレシピ情報は、ＲＦ信号１６０のパラメータのデューティサイクルをさらに含む。例として、ＲＦ信号１６０のパラメータのデューティサイクルは、１００％であり、この場合、ＲＦ信号１６０は、連続波ＲＦ信号である。連続波ＲＦ信号は、単一のパラメータレベルを有し、第１のパラメータレベルから第２のパラメータレベルへ遷移しない。連続波ＲＦ信号は、同期信号１６２の各サイクルの間、単一のパラメータレベルを有する。別の例として、ＲＦ信号１６０のパラメータのデューティサイクルは、５０％であり、この場合、ＲＦ信号１６０は、２つの状態間でパルシングされる。例示すると、ＲＦ信号１６０は、同期信号１６２の各サイクルの間、第１のパラメータレベルから第２のパラメータレベルへ遷移し、また第２のパラメータレベルから第１のパラメータレベルへ遷移する。プロセッサ１２２は、伝送ケーブル１３６を介してＲＦ発生器１０６にレシピ信号１５８を送信する。レシピ信号１５８を受信すると、ＲＦ発生器１０６は、ＲＦ発生器１０６の１つまたは複数のメモリデバイス内にレシピ信号１５８のレシピ情報を格納する。

【００７６】
また、プロセッサ１２２は、同期信号１６２を生成する。プロセッサ１２２は、伝送ケーブル１３２を介してＲＦ発生器１０２に同期信号１６２を送信し、伝送ケーブル１３４を介してＲＦ発生器１０４に同期信号１６２を送信し、伝送ケーブル１３６を介してＲＦ発生器１０６に同期信号１６２を送信する。

【００７７】
同期信号１６２を受信すると、ＲＦ発生器１０２は、レシピ信号１５０内で受信されるパラメータおよび周波数を有するＲＦ信号１５２を生成する。ＲＦ信号１５２の周波数は、ＲＦ発生器１０２の動作周波数と同じである。ＲＦ発生器１０２は、出力Ｏ１０２およびＲＦケーブル１３８を介してマッチ１０８の入力Ｉ１０８にＲＦ信号１５２を送信する。

【００７８】
マッチ１０８は、ＲＦ信号１５２のインピーダンスを修正して、修正されたＲＦ信号１６４を出力Ｏ１０８において提供するために、出力Ｏ１０８に結合される負荷のインピーダンスを入力Ｉ１０８に結合されるソースのインピーダンスと整合する。出力Ｏ１０８に結合される負荷の例としては、ＲＦ伝送路１４４およびプラズマチャンバ１１８が挙げられる。入力Ｉ１０８に結合されるソースの例としては、ＲＦ発生器１０２およびＲＦケーブル１３８が挙げられる。修正されたＲＦ信号１６４は、出力Ｏ１０８からＲＦ伝送路１４４を介してＲＦコイル１１６に供給される。修正されたＲＦ信号１６４がＲＦコイル１１６に供給されるとき、ＲＦコイル１１６からの誘導電力が、基板支持体１２８と誘電体窓１２６との間の空隙によって形成される中央領域１２９に供給されて、半導体ウエハなどの基板Ｓの中央領域を処理する。

【００７９】
同様の様式で、同期信号１６２を受信することに応答して、ＲＦ発生器１０４は、レシピ信号１５４内で受信されるパラメータおよび周波数を有するＲＦ信号１５６を生成する。ＲＦ信号１５６の周波数は、ＲＦ発生器１０４の動作周波数と同じである。ＲＦ発生器１０４は、出力Ｏ１０４およびＲＦケーブル１４０を介してマッチ１１０の入力Ｉ１１０にＲＦ信号１５６を送信する。

【００８０】
マッチ１１０は、ＲＦ信号１５６のインピーダンスを修正して、修正されたＲＦ信号１６６を出力Ｏ１１０において提供するために、出力Ｏ１１０に結合される負荷のインピーダンスを入力Ｉ１１０に結合されるソースのインピーダンスと整合する。出力Ｏ１１０に結合される負荷の例としては、ＲＦ伝送路１４６およびプラズマチャンバ１１８が挙げられる。入力Ｉ１１０に結合されるソースの例としては、ＲＦ発生器１０４およびＲＦケー

ブル１４０が挙げられる。修正されたＲＦ信号１６６は、出力Ｏ１１０からＲＦ伝送路１４６を介してＲＦコイル１１４に供給される。修正されたＲＦ信号１６６がＲＦコイル１１４に供給されるとき、誘導電力が、ＲＦコイル１１４から、エッジリング１３０と誘電体窓１２６との間の空隙によって形成されるエッジ領域１３１に供給されて、基板Ｓのエッジ領域を処理する。

【００８１】

エッジ領域１３１は、中央領域１２９の周囲である。また、基板Ｓのエッジ領域は、基板Ｓの中央領域の周囲である。

【００８２】

また、同期信号１６２を受信すると、ＲＦ発生器１０６は、レシピ信号１５８内で受信されるパラメータおよび周波数を有するＲＦ信号１６０を生成する。ＲＦ信号１６０の周波数は、ＲＦ発生器１０６の動作周波数と同じである。ＲＦ発生器１０６は、出力Ｏ１０６およびＲＦケーブル１４２を介して、マッチ１１２の入力Ｉ１１２にＲＦ信号１６０を送信する。

【００８３】

マッチ１１２は、ＲＦ信号１６０のインピーダンスを修正して、修正されたＲＦ信号１６８を出力Ｏ１１２において提供するために、出力Ｏ１１２に結合される負荷のインピーダンスを入力Ｉ１１２に結合されるソースのインピーダンスと整合する。出力Ｏ１１２に結合される負荷の例としては、ＲＦ伝送路１４８およびプラズマチャンバ１１８が挙げられる。入力Ｉ１１２に結合されるソースの例としては、ＲＦケーブル１４２およびＲＦ発生器１０６が挙げられる。修正されたＲＦ信号１６８は、出力Ｏ１１２からＲＦ伝送路１４８を介して下部電極１５１に供給される。

【００８４】

修正されたＲＦ信号１６４、１６６、および１６８を供給することに加えて、１つまたは複数のプロセスガスが、プラズマチャンバ１１８に供給されるとき、プラズマは、基板支持体１２８の上表面に置かれる基板Ｓを処理するために、プラズマチャンバ１１８内でストライク処理されるか維持される。１つまたは複数のプロセスガスの例としては、O_2などの酸素含有ガスが挙げられる。１つまたは複数のプロセスガスの他の例としては、例えば、テトラフルオロメタン（CF_4）、六フッ化硫黄（SF_6）、六フッ化エタン（C_2F_6）などの塩素含有ガスおよびフッ素含有ガスが挙げられる。基板Ｓを処理することの例としては、基板Ｓ上に材料を堆積させること、基板Ｓをエッチングすること、基板Ｓを洗浄すること、および基板Ｓをスパッタリングすることが挙げられる。

【００８５】

１つの実施形態において、ＲＦ発生器１０２、１０４、および１０６のいずれかは、図１Ａについて説明されるものとは異なる動作周波数を有する。例えば、ＲＦ発生器１０２は、４００ｋＨｚまたは２ＭＨｚまたは１３．５６ＭＨｚまたは２７ＭＨｚまたは６０ＭＨｚの動作周波数を有する。例として、ＲＦ発生器１０４は、４００ｋＨｚまたは２ＭＨｚまたは１３．５６ＭＨｚまたは２７ＭＨｚまたは６０ＭＨｚの動作周波数を有する。

【００８６】

一実施形態において、ＲＦコイル１１４は、ＲＦコイル１１６が位置する水平面より上または下の水平面に位置する。

【００８７】

１つの実施形態において、基板支持体１２８の下部電極１５１は、マッチ１１２を介してＲＦ発生器１０６に結合される代わりに、接地電位に結合される。

【００８８】

一実施形態において、誘電体リングが、エッジリング１３０と基板支持体１２８との間に置かれる。

【００８９】

図１Ｂは、システム１７０の実施形態の図であり、横型ＲＦコイル１７２について説明するためのものである。システム１７０は、システム１７０が横型ＲＦコイル１７２を有

するプラズマチャンバ１７４を含むことを除いて、図１Ａのシステム１００のものと構造および機能において同様である。プラズマチャンバ１７４は、プラズマチャンバ１７４の側壁１７８の一部分と置き換わる誘電体窓１７６をさらに含む。例えば、誘電体窓１７６は、プラズマチャンバ１７４の上壁を形成し、プラズマチャンバ１７４の側壁１７８の上部分を形成する。誘電体窓１７６は、プラズマチャンバ１７４の側壁１７８の残りの部分の上に置かれる。

【００９０】

横型ＲＦコイル１７２は、誘電体窓１７６によって形成される側壁１７８の部分の側方に置かれる。例えば、横型ＲＦコイル１７２は、誘電体窓１７６によって形成される側壁１７８の部分があるのと同じ水平面にある。

【００９１】

マッチ１１０の出力Ｏ１１０は、ＲＦ伝送路１４６を介して横型ＲＦコイル１７２の一端に結合される。横型ＲＦコイル１７２の反対端は、接地電位に結合される。

【００９２】

図２Ａは、グラフ２００の一実施形態であり、同期信号２０２について説明するためのものである。グラフ２００は、時間ｔに対して同期信号２０２の論理レベルをプロットする。同期信号２０２は、同期信号１６２（図１Ａおよび図１Ｂ）の例である。同期信号２０２の例は、クロック信号である。同期信号２０２の別の例は、デューティサイクルを有するデジタルパルス信号である。同期信号２０２の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。例として、論理レベルは、電圧レベルである。例えば、論理レベル１は、５ボルト（Ｖ）の電圧レベルに相当し、論理レベル０は、０ボルトの電圧に相当する。

【００９３】

グラフ２００のｘ軸は、等しい時間区間または時間期間または時間間隔へと分割される。例えば、グラフ２００のｘ軸は、時間ｔ０～時間ｔ１の間の第１の時間間隔、時間ｔ１～時間ｔ２の間の第２の時間間隔と続いて、時間ｔ１９～時間２０の間の第２０の時間間隔に至るまで、分割される。

【００９４】

同期信号２０２は、サイクル１およびサイクル２などの複数の連続サイクルを有する。サイクル２は、サイクル１に連続する。同期信号２０２のサイクル１は、時間ｔ０から時間ｔ１０まで発生し、同期信号２０２のサイクル２は、時間ｔ１０から時間ｔ２０まで発生する。

【００９５】

同期信号２０２は、時間ｔ０において、論理レベル０から論理レベル１へ、遷移するなど、パルシングし、時間ｔ０から時間ｔ５まで論理レベル１に留まる。また、同期信号２０２は、時間ｔ５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ５から時間ｔ１０まで論理レベル０に留まる。さらには、同期信号２０２は、時間ｔ１０において、論理レベル０から論理レベル１へパルシングし、時間ｔ１０から時間ｔ１５まで論理レベル１に留まる。同期信号２０２は、時間ｔ１５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１５から時間ｔ２０まで論理レベル０に留まる。

【００９６】

１つの実施形態において、同期信号２０２は、図２Ａについて説明される５０％デューティサイクルとは異なるデューティサイクルを有する。例えば、同期信号２０２は、１０％または２０％または３０％または６０％のデューティサイクルを有する。

【００９７】

図２Ｂは、グラフ２０４の一実施形態であり、ＲＦ発生器１０２によって生成されるＲＦ信号１５２のパラメータのデューティサイクルについて説明ためのデジタルパルス信号２０６について説明するためのものである。グラフ２０４は、時間ｔに対してデジタルパルス信号２０６の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号２０６の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。

【００９８】
デジタルパルス信号２０６は、４５％のデューティサイクルを有する。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号２０６は、時間ｔ０において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ０から、時間ｔ４とｔ５との間の時間期間の半分のところにある時間ｔ４．５まで論理レベル１に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号２０６は、時間ｔ４．５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ４．５から時間ｔ１０まで論理レベル０に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号２０６は、時間ｔ１０において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１０から、時間ｔ１４とｔ１５との間の時間期間の半分のところにある時間ｔ１４．５まで論理レベル１に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号２０６は、時間ｔ１４．５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１４．５から時間ｔ２０まで論理レベル０に留まる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号２０６は、サイクルの４５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの５５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。ＲＦ信号１５２のパラメータのデューティサイクルは、伝送ケーブル１３２を介してプロセッサ１２２（図１Ａおよび図１Ｂ）からＲＦ発生器１０２（図１Ａおよび図１Ｂ）に送信されるレシピ信号１５０内で提供される。

【００９９】
１つの実施形態において、４５％デューティサイクルの代わりに、デジタルパルス信号２０６は、４５％より大きいか、または小さいデューティサイクルを有する。例えば、デジタルパルス信号２０６は、３５％、または５５％、または６５％のデューティサイクルを有する。

【０１００】
図２Ｃは、グラフ２０８の一実施形態であり、ＲＦ発生器１０４によって生成されるＲＦ信号１５６のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号２１０について説明するためのものである。グラフ２０８は、時間ｔに対してデジタルパルス信号２１０の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号２１０の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。

【０１０１】
デジタルパルス信号２１０は、５５％のデューティサイクルを有し、デジタルパルス信号２０６（図２Ｂ）に対して逆同期される。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号２１０は、時間ｔ０において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ０から時間ｔ４．５まで論理レベル０に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号２１０は、時間ｔ４．５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ４．５から時間ｔ１０まで論理レベル１に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号２１０は、時間ｔ１０において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１０から時間ｔ１４．５まで論理レベル０に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号２１０は、時間ｔ１４．５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１４．５から時間ｔ２０まで論理レベル１に留まる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号２１０は、サイクルの５５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの４５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。また、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号２１０は、デジタルパルス信号２０６と逆同期されるように、デジタルパルス信号２０６の論理レベルと比較して反対の論理レベルを有する。ＲＦ信号１５６のパラメータのデューティサイクルは、伝送ケーブル１３４を介してプロセッサ１２２（図１Ａおよび図１Ｂ）からＲＦ発生器１０４（図１Ａおよび図１Ｂ）に送信されるレシピ信号１５４内で提供される。

【０１０２】
１つの実施形態において、５５％デューティサイクルの代わりに、デジタルパルス信号

２１０は、５５％より大きいか、または小さいデューティサイクルを有する。例えば、時間へのデジタルパルス信号は、２５％、または６５％、または７５％のデューティサイクルを有する。例示すると、デジタルパルス信号２０６が５５％のデューティサイクルを有するとき、デジタルパルス信号２１０は、１００％と５５％との間の差のデューティサイクルを有し、この差は４５％である。別の例示として、デジタルパルス信号２０６が２５％のデューティサイクルを有するとき、デジタルパルス信号２１０は、１００％と２５％との間の差のデューティサイクルを有し、この差は７５％である。

【０１０３】

図２Ｄは、グラフ２１２の一実施形態であり、ＲＦ信号２１６のパラメータ２１４について説明するためのものである。ＲＦ信号２１６は、ＲＦ発生器１０２（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５２の例である。グラフ２１２は、ｙ軸にパラメータ２１４をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。

【０１０４】

ＲＦ信号のパラメータのパラメータレベルの例は、ＲＦ信号の、ピークトゥーピーク振幅またはゼロトゥーピーク振幅などの、エンベロープである。例えば、パラメータ２１４は、ＲＦ信号２１６のエンベロープであり、同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１のセットを有し、サイクルの残りの部分の間、ゼロパラメータレベルを有する。例示すると、第１のパラメータレベルは、１つまたは複数のパラメータ値を含み、第２のパラメータレベルは、１つまたは複数のパラメータ値を含み、第２のパラメータレベルの１つまたは複数のパラメータ値は、第１のパラメータレベルの１つまたは複数の値を含まないなど、第１のパラメータレベルの１つまたは複数の値とは異なる。さらに例示すると、第１のパラメータレベルが第２のパラメータレベルよりも大きいとき、第１のパラメータレベルの１つまたは複数のパラメータ値の最小値は、第２のパラメータレベルの１つまたは複数のパラメータ値の最大値よりも大きい。

【０１０５】

ＲＦ信号２１６のパラメータ２１４は、デジタルパルス信号２０６（図２Ｂ）のデューティサイクルと同期される。例えば、同期信号２０２（図２Ａ）のサイクル１の間、パラメータ２１４は、時間ｔ０において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ１および－Ｐ１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ２１４は、時間ｔ０から時間ｔ４．５までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ４．５において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ２１４は、時間ｔ４．５から時間ｔ１０までパラメータレベル０に留まる。同様に、同期信号２０２（図２Ａ）のサイクル２の間、パラメータ２１４は、時間ｔ１０において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ１および－Ｐ１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ２１４は、時間ｔ１０から時間ｔ１４．５までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ１４．５において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ２１４は、時間ｔ１４．５から時間ｔ２０までパラメータレベル０に留まる。

【０１０６】

ＲＦ信号のパラメータレベルのセットは、ＲＦ信号の一状態に相当するということに留意されたい。例えば、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１は、ＲＦ信号２１６の状態Ｓ１を規定し、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号２１６の状態Ｓ０を規定する。

【０１０７】

ＲＦ信号の各パラメータレベルは、ＲＦ信号のパラメータの１つまたは複数の値を含むということにさらに留意されたい。例えば、パラメータレベルＰ１は、ＲＦ信号２１６の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ１は、ＲＦ信号２１６の電力または電圧の複数の負の値を含む。別の例として、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号２１６の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。さらに例示すると、ゼロのパラメータレベルは、２つのパラメータ

レベルのセットを含み、２つのパラメータレベルのうちの第１のパラメータレベルが、ゼロとパラメータレベルＰ１との間の正のパラメータレベルであり、２つのパラメータレベルのうちの第２のパラメータレベルが、－Ｐ１とゼロとの間の負のパラメータレベルである。正および負のパラメータレベルは、実質的にゼロ、例えば、ゼロから既定の範囲内である。既定の範囲の例としては、１％～５％が挙げられる。

【０１０８】

１つの実施形態において、時間ｔ４．５およびｔ１４．５においてパラメータレベルゼロへ遷移する代わりに、パラメータ２１４は、時間ｔ４．５およびｔ１４．５において、ゼロよりも大きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ２１４は、各時間ｔ４．５およびｔ１４．５において、パラメータレベルＰ１から、ゼロとＰ１との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ１から、ゼロと－Ｐ１との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ２１４は、各時間ｔ１０およびｔ２０において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ１へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ１へ遷移する。パラメータレベルＰ１および－Ｐ１は、ＲＦ信号２１６の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号２１６の状態Ｓ０を規定する。正のパラメータレベルの１つまたは複数の値は、パラメータレベルＰ１の１つまたは複数の値を含まず、負のパラメータレベルの１つまたは複数の値は、パラメータレベル－Ｐ１の１つまたは複数の値を含まないということに留意されたい。例えば、パラメータレベルＰ１の１つまたは複数の値の最小値は、正のパラメータレベルの１つまたは複数の値の最大値よりも大きく、負のパラメータレベルの１つまたは複数の値の最小値は、パラメータレベル－Ｐ１の１つまたは複数の値の最大値よりも大きい。

【０１０９】

一実施形態において、ＲＦ信号のパラメータがある時間において第１の状態から第２の状態へ遷移する代わりに、パラメータは、ある時間期間または時間間隔の間、第１の状態から第２の状態へ遷移する。例えば、パラメータ２１４は、時間ｔ４．５において遷移する代わりに、時間ｔ４．５～時間ｔ５．５の時間間隔または時間ｔ４．５～時間ｔ５の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する。同様に、パラメータがある時間において第２の状態から第１の状態へ遷移する代わりに、パラメータは、ある時間期間または時間間隔の間、第２の状態から第１の状態へ遷移する。

【０１１０】

図２Ｅは、グラフ２１８の一実施形態であり、ＲＦ信号２２２のパラメータ２２０について説明するためのものである。ＲＦ信号２２２は、ＲＦ発生器１０４（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５６の例である。グラフ２１８は、ｙ軸にパラメータ２２０をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。パラメータ２２０は、ＲＦ信号２２２のエンベロープである。

【０１１１】

ＲＦ信号２２２のパラメータ２２０は、デジタルパルス信号２１０（図２Ｃ）のデューティサイクルと同期され、同期信号２０２の各サイクルの間、パラメータ２２０は、パラメータ２１４と逆同期されるようにパラメータ２１４の状態と比較して反対の状態を有する（図２Ｃ）。例えば、同期信号２０２（図２Ａ）のサイクル１の間、パラメータ２２０は、時間ｔ０において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２のセットから、ゼロのパラメータレベルへ遷移し、Ｐ２は、パラメータレベルＰ１とは異なるパラメータレベルである。例えば、パラメータレベルＰ１は、パラメータレベルＰ１よりも大きい、または小さい。

【０１１２】

同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ２２０は、時間ｔ０から時間ｔ４．５までゼロのパラメータレベルに留まり、時間ｔ４．５において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ２２０は、時間ｔ４．５から時間ｔ１０までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。同様に、同期信号２０２（図２Ａ）のサイクル２の間、パラメータ２２

０は、時間ｔ１０において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２からゼロのパラメータレベルへ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ２２０は、時間ｔ１０から時間ｔ１４．５までゼロのパラメータレベルに留まり、時間ｔ１４．５において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ２２０は、時間ｔ１４．５から時間ｔ２０までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。

【０１１３】

ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号２２２の状態Ｓ０を規定し、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２は、ＲＦ信号２２２の状態Ｓ１を規定するということに留意されたい。パラメータレベルＰ２は、ＲＦ信号２２２の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ２は、ＲＦ信号２２２の電力または電圧の複数の負の値を含むということにさらに留意されたい。また、１つの実施形態において、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号２２２の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ＲＦ信号２２２のパラメータ２２０のゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。

【０１１４】

１つの実施形態において、時間ｔ０およびｔ１０においてパラメータレベルゼロへ遷移する代わりに、パラメータ２２０は、時間ｔ０およびｔ１０において、ゼロよりも大きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ２２０は、各時間ｔ０およびｔ１０において、パラメータレベルＰ２からゼロとＰ２との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ２からゼロと－Ｐ２との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ２２０は、各時間ｔ４．５およびｔ１４．５において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ２へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ２へ遷移する。パラメータレベルＰ２および－Ｐ２は、ＲＦ信号２２２の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号２２２の状態Ｓ０を規定する。正のパラメータレベルの１つまたは複数の値は、パラメータレベルＰ２の１つまたは複数の値を含まず、負のパラメータレベルの１つまたは複数の値は、パラメータレベル－Ｐ２の１つまたは複数の値を含まないということに留意されたい。例えば、パラメータレベルＰ２の１つまたは複数の値の最小値は、正のパラメータレベルの１つまたは複数の値の最大値よりも大きく、負のパラメータレベルの１つまたは複数の値の最小値は、パラメータレベル－Ｐ２の１つまたは複数の値の最大値よりも大きい。

【０１１５】

一実施形態において、パラメータ２２０は、時間ｔ４．５において遷移する代わりに、時間ｔ４．５～時間ｔ５．５の時間間隔または時間ｔ４．５～時間ｔ５の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する。同様に、パラメータがある時間において第２の状態から第１の状態へ遷移する代わりに、パラメータ２２０は、ある時間期間または時間間隔の間、第２の状態から第１の状態へ遷移する。

【０１１６】

１つの実施形態において、パラメータレベルＰ２は、パラメータレベルＰ１と同じまたは等しい。

【０１１７】

図３Ａは、グラフ２００の一実施形態であり、同期信号２０２について説明するためのものである。

【０１１８】

図３Ｂは、グラフ３００の一実施形態であり、ＲＦ発生器１０２によって生成されるＲＦ信号１５２のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号３０２について説明するためのものである。グラフ３００は、時間ｔに対してデジタルパルス信号３０２の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号３０２の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。

【０１１９】

デジタルパルス信号３０２は、４５％の代わりに２５％のデューティサイクルを有する

。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号３０２は、時間ｔ０において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ０から、時間ｔ２とｔ３との間の時間期間の半分のところにある時間ｔ２．５まで論理レベル１に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号３０２は、時間ｔ２．５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ２．５から時間ｔ１０まで論理レベル０に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号３０２は、時間ｔ１０において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１０から時間ｔ１２．５まで論理レベル１に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号３０２は、時間ｔ１２．５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１２．５から時間ｔ２０まで論理レベル０に留まる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号３０２は、サイクルの２５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの７５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。

【０１２０】

図３Ｃは、グラフ３０４の一実施形態であり、ＲＦ発生器１０４（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５６のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号３０６について説明するためのものである。グラフ３０４は、時間ｔに対してデジタルパルス信号３０６の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号３０６の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。

【０１２１】

デジタルパルス信号３０６は、７５％のデューティサイクルを有し、デジタルパルス信号３０２（図３Ｂ）に対して逆同期される。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号３０６は、時間ｔ０において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ０から時間ｔ２．５まで論理レベル０に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号３０６は、時間ｔ２．５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ２．５から時間ｔ１０まで論理レベル１に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号３０６は、時間ｔ１０において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１０から時間ｔ１２．５まで論理レベル０に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号３０６は、時間ｔ１２．５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１２．５から時間ｔ２０まで論理レベル１に留まる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号３０６は、サイクルの７５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの２５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。また、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号３０６は、デジタルパルス信号３０２と逆同期されるように、デジタルパルス信号３０２の論理レベルと比較して反対の論理レベルを有する。

【０１２２】

図３Ｄは、グラフ３０８の一実施形態であり、ＲＦ信号３１２のパラメータ３１０について説明するためのものである。ＲＦ信号３１２は、ＲＦ発生器１０２（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５２の例である。グラフ３０８は、ｙ軸にパラメータ３１０をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。例として、パラメータ３１０は、ＲＦ信号３１２のエンベロープである。

【０１２３】

ＲＦ信号３１２のパラメータ３１０は、デジタルパルス信号３０２（図３Ｂ）のデューティサイクルと同期される。例えば、同期信号２０２（図３Ａ）のサイクル１の間、パラメータ３１０は、時間ｔ０において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ１および－Ｐ１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ３１０は、時間ｔ０から時間ｔ２．５までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ２．５において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ３１０は、時間ｔ２．５から時間ｔ１０ま

でパラメータレベル０に留まる。同様に、同期信号２０２（図３Ａ）のサイクル２の間、パラメータ３１０は、時間ｔ１０において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ１および－Ｐ１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ３１０は、時間ｔ１０から時間ｔ１２．５までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ１２．５において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ３１０は、時間ｔ１２．５から時間ｔ２０までパラメータレベル０に留まる。

【０１２４】

パラメータレベルＰ１および－Ｐ１は、ＲＦ信号３１２の状態Ｓ１を規定し、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号３１２の状態Ｓ０を規定するということに留意されたい。

【０１２５】

パラメータレベルＰ１は、ＲＦ信号３１２の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ１は、ＲＦ信号３１２の電力または電圧の複数の負の値を含むということにさらに留意されたい。また、一実施形態において、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号３１２の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。

【０１２６】

１つの実施形態において、時間ｔ２．５およびｔ１２．５においてパラメータレベルゼロへ遷移する代わりに、パラメータ３１０は、時間ｔ２．５およびｔ１２．５において、ゼロよりも大きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ３１０は、各時間ｔ２．５およびｔ１２．５において、パラメータレベルＰ１からゼロとＰ１との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ１からゼロと－Ｐ１との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ３１０は、各時間ｔ１０およびｔ２０において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ１へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ１へ遷移する。パラメータレベルＰ１および－Ｐ１は、ＲＦ信号３１２の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号３１２の状態Ｓ０を規定する。

【０１２７】

一実施形態において、パラメータ３１０は、時間ｔ２．５において遷移する代わりに、時間ｔ２．５～時間ｔ３．５の時間間隔または時間ｔ２．５～時間ｔ３の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する。時間ｔ３．５は、時間ｔ３とｔ４との間の時間期間の半分のところにある。同様に、パラメータがある時間において状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する代わりに、パラメータ３１０は、ある時間期間または時間間隔の間、状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する。

【０１２８】

図３Ｅは、グラフ３１４の実施形態であり、ＲＦ信号３１８のパラメータ３１６について説明するためのものである。ＲＦ信号３１８は、ＲＦ発生器１０４（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５６の例である。グラフ３１４は、ｙ軸にパラメータ３１６をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。パラメータ３１６は、ＲＦ信号３１８のエンベロープである。

【０１２９】

ＲＦ信号３１８のパラメータ３１６は、デジタルパルス信号３０６（図３Ｃ）のデューティサイクルと同期され、同期信号２０２の各サイクルの間、パラメータ３１６は、パラメータ３１０と逆同期されるようにパラメータ３１０の状態と比較して反対の状態を有する。例えば、同期信号２０２（図３Ａ）のサイクル１の間、パラメータ３１６は、時間ｔ０において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２のセットからゼロのパラメータレベルへ遷移する。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ３１６は、時間ｔ０から時間ｔ２．５までゼロのパラメータレベルに留まり、時間ｔ２．５において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ３１６は、時間ｔ２．５から時間ｔ１０までパラメータレベルＰ

２および－Ｐ２に留まる。同様に、同期信号２０２（図３Ａ）のサイクル２の間、パラメータ３１６は、時間ｔ１０において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２からゼロのパラメータレベルへ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ３１６は、時間ｔ１０から時間ｔ１２．５までゼロのパラメータレベルに留まり、時間ｔ１２．５において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ３１６は、時間ｔ１２．５から時間ｔ２０までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。

【０１３０】

ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号３１８の状態Ｓ０を規定し、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２は、ＲＦ信号３１８の状態Ｓ１を規定するということに留意されたい。パラメータレベルＰ２は、ＲＦ信号３１８の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ２は、ＲＦ信号３１８の電力または電圧の複数の負の値を含むということにさらに留意されたい。また、１つの実施形態において、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号３１８の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ＲＦ信号３１８のパラメータ３１６のゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。

【０１３１】

１つの実施形態において、時間ｔ０およびｔ１０においてパラメータレベルゼロへ遷移する代わりに、パラメータ３１６は、時間ｔ０およびｔ１０において、ゼロよりも大きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ３１６は、各時間ｔ０およびｔ１０において、パラメータレベルＰ２からゼロとＰ２との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ２からゼロと－Ｐ２との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ３１６は、各時間ｔ２．５およびｔ１２．５において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ２へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ２へ遷移する。パラメータレベルＰ２および－Ｐ２は、ＲＦ信号３１８の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号３１８の状態Ｓ０を規定する。

【０１３２】

一実施形態において、パラメータ３１６は、時間ｔ２．５において遷移する代わりに、時間ｔ２．５～時間ｔ３．５の時間間隔または時間ｔ２．５～時間ｔ３の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する。同様に、パラメータがある時間において状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する代わりに、パラメータ３１６は、ある時間期間または時間間隔の間、状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する。

【０１３３】

図４Ａは、グラフ２００の一実施形態であり、同期信号２０２について説明するためのものである。

【０１３４】

図４Ｂは、グラフ４００の一実施形態であり、ＲＦ発生器１０２によって生成されるＲＦ信号１５２のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号４０２について説明するためのものである。グラフ４００は、時間ｔに対してデジタルパルス信号４０２の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号４０２の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。

【０１３５】

デジタルパルス信号４０２は、４５％のデューティサイクルを有し、デューティサイクルは、２つの時間間隔に分けられる。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号４０２は、時間ｔ０において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ０から時間ｔ２まで論理レベル１に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号４０２は、時間ｔ２において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ２から時間ｔ５まで論理レベル０に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号４０２は、時間ｔ５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ５から、時間ｔ７～時間ｔ８の時間期間の半分のところにある時間ｔ７．５まで論理レベル１に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジ

タルパルス信号４０２は、時間ｔ７．５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ７．５から時間ｔ１０まで論理レベル０に留まる。サイクル１の４５％を占める時間期間は、時間ｔ０～ｔ２の時間間隔および時間ｔ５～ｔ７．５の時間間隔に分けられる。サイクル１の５５％を占める時間期間は、時間ｔ２～ｔ５の時間間隔および時間ｔ７．５～ｔ１０の時間間隔に分けられる。

【０１３６】

さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号４０２は、時間ｔ１０において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１０から時間ｔ１２まで論理レベル１に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号４０２は、時間ｔ１２において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１２から時間ｔ１５まで論理レベル０に留まる。また、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号４０２は、時間ｔ１５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１５から、時間ｔ１７とｔ１８との時間間隔の半分のところにある時間ｔ１７．５まで論理レベル１に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号４０２は、時間ｔ１７．５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１７．５から時間ｔ２０まで論理レベル０に留まる。サイクル２の４５％を占める時間期間は、時間ｔ１０～ｔ１２の時間間隔および時間ｔ１５～ｔ１７．５の時間間隔に分けられる。サイクル２の５５％を占める時間期間は、時間ｔ１２～ｔ１５の時間間隔および時間ｔ１７．５～ｔ２０の時間間隔に分けられる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号４０２は、サイクルの４５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの５５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。４５％のデューティサイクルは、２つの時間間隔に分けられ、ゼロの論理レベルも２つの時間間隔に分けられる。

【０１３７】

図４Ｃは、グラフ４０４の一実施形態であり、ＲＦ発生器１０４によって生成されるＲＦ信号１５６のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号４０６について説明するためのものである。グラフ４０４は、時間ｔに対してデジタルパルス信号４０６の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号４０６の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。

【０１３８】

デジタルパルス信号４０６は、２つの時間間隔に分けられる５５％のデューティサイクルを有し、デジタルパルス信号４０２（図４Ｂ）に対して逆同期される。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号４０６は、時間ｔ０において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ０から時間ｔ２まで論理レベル０に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号４０６は、時間ｔ２において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ２から時間ｔ５まで論理レベル１に留まる。同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号４０６は、時間ｔ５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ５から時間ｔ７．５まで論理レベル０に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号４０６は、時間ｔ７．５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ７．５から時間ｔ１０まで論理レベル１に留まる。

【０１３９】

さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号４０６は、時間ｔ１０において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１０から時間ｔ１２まで論理レベル０に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号４０６は、時間ｔ１２において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１２から時間ｔ１５まで論理レベル１に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号４０６は、時間ｔ１５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１５から時間ｔ１７．５まで論理レベル０に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号４０６は、時間ｔ１７．５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し

、時間ｔ１７．５から時間ｔ２０まで論理レベル１に留まる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号４０６は、サイクルの５５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの４５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。デジタルパルス信号４０６のデューティサイクルは、５５％である。また、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号４０６は、デジタルパルス信号４０２と逆同期されるように、デジタルパルス信号４０２の論理レベルと比較して反対の論理レベルを有する。

【０１４０】

図４Ｄは、グラフ４０８の一実施形態であり、ＲＦ信号４１２のパラメータ４１０について説明するためのものである。ＲＦ信号４１２は、ＲＦ発生器１０２（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５２の例である。グラフ４０８は、ｙ軸にパラメータ４１０をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。例として、パラメータ４１０は、ＲＦ信号４１２のエンベロープである。

【０１４１】

ＲＦ信号４１２のパラメータ４１０は、デジタルパルス信号４０２（図４Ｂ）のデューティサイクルと同期される。例えば、同期信号２０２（図４Ａ）のサイクル１の間、パラメータ４１０は、時間ｔ０において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ１および－Ｐ１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１０は、時間ｔ０から時間ｔ２までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ２において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１０は、時間ｔ２から時間ｔ５までパラメータレベル０に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１０は、時間ｔ５から時間ｔ７．５までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ７．５において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１０は、時間ｔ７．５から時間ｔ１０までパラメータレベル０に留まる。

【０１４２】

同様に、同期信号２０２（図３Ａ）のサイクル２の間、パラメータ４１０は、時間ｔ１０において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ１および－Ｐ１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ４１０は、時間ｔ１０から時間ｔ１２までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ１２において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ４１０は、時間ｔ１２から時間ｔ１５までパラメータレベル０に留まり、時間ｔ１５において、パラメータレベル０からパラメータレベルＰ１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ４１０は、時間ｔ１５から時間ｔ１７．５までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ１７．５において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベルゼロへ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ４１０は、時間ｔ１７．５から時間ｔ２０までパラメータレベルゼロに留まる。パラメータレベルＰ１および－Ｐ１は、ＲＦ信号４１２の状態Ｓ１を規定し、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号４１２の状態Ｓ０を規定するということに留意されたい。

【０１４３】

パラメータレベルＰ１は、ＲＦ信号４１２の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ１は、ＲＦ信号４１２の電力または電圧の複数の負の値を含むということにさらに留意されたい。また、一実施形態において、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号４１２の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。

【０１４４】

１つの実施形態において、時間ｔ２およびｔ７．５においてパラメータレベルゼロへ遷移する代わりに、パラメータ４１０は、時間ｔ２およびｔ７．５において、ゼロよりも大

きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ４１０は、各時間ｔ２およびｔ７．５において、パラメータレベルＰ１からゼロとＰ１との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ１からゼロと－Ｐ１との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ４１０は、各時間ｔ０およびｔ５において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ１へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ１へ遷移する。パラメータレベルＰ１および－Ｐ１は、ＲＦ信号４１２の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号４１２の状態Ｓ０を規定する。

【０１４５】

一実施形態において、パラメータ４１０は、時間ｔ２において遷移する代わりに、時間ｔ２～時間ｔ３の時間間隔または時間ｔ２～時間ｔ２．５の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する。同様に、パラメータ４１０がある時間において状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する代わりに、パラメータ４１０は、ある時間期間または時間間隔の間、第２の状態から第１の状態へ遷移する。

【０１４６】

パラメータ４１０のパルシングの２つのインスタンスが図４Ｄについて説明されるが、１つの実施形態において、パラメータ４１０のパルシングのより多くのインスタンスが、同期信号２０２の各サイクルの間に発生するということに留意されたい。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、図４Ｄについて説明されるようにパルシングの２つのインスタンスを有することに加えて、パラメータ４１０は、時間ｔ８において、パラメータレベル０からパラメータレベルＰ１および－Ｐ１へ、遷移するなど、パルシングし、時間ｔ８から時間ｔ９までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まる。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１０は、時間ｔ９において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からゼロのパラメータレベルへパルシングし、時間ｔ９から時間ｔ１０までゼロのパラメータレベルに留まる。この例では、パラメータ４１０は、同期信号２０２のサイクル１の間、２回の代わりに３回パルシングされている。

【０１４７】

図４Ｅは、グラフ４１４の一実施形態であり、ＲＦ信号４１８のパラメータ４１６について説明するためのものである。ＲＦ信号４１８は、ＲＦ発生器１０４（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５６の例である。グラフ４１４は、ｙ軸にパラメータ４１６をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。パラメータ４１６は、ＲＦ信号４１８のエンベロープである。

【０１４８】

ＲＦ信号４１８のパラメータ４１６は、デジタルパルス信号４０６のデューティサイクルと同期され（図４Ｃ）、同期信号２０２の各サイクルの間、パラメータ４１６は、パラメータ４１０と逆同期されるようにパラメータ４１０の状態と比較して反対の状態を有する。例えば、同期信号４０２（図４Ａ）のサイクル１の間、パラメータ４１６は、時間ｔ０において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２のセットからゼロのパラメータレベルへ遷移する。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１６は、時間ｔ０から時間ｔ２までゼロのパラメータレベルに留まり、時間ｔ２において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１６は、時間ｔ２から時間ｔ５までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１６は、時間ｔ５から時間ｔ７．５までゼロのパラメータレベルに留まり、時間ｔ７．５において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１６は、時間ｔ７．５から時間ｔ１０までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。

【０１４９】

同様に、同期信号２０２（図３Ａ）のサイクル２の間、パラメータ４１６は、時間ｔ１０において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２からゼロのパラメータレベルへ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ４１６は、時間ｔ１０から時間ｔ１２ま

でゼロのパラメータレベルに留まり、時間ｔ１２において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ４１６は、時間ｔ１２から時間ｔ１５までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。さらに、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ４１６は、時間ｔ１５から時間ｔ１７．５までゼロのパラメータレベルに留まり、時間ｔ１７．５において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ４１６は、時間ｔ１７．５から時間ｔ２０までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。

【０１５０】

ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号４１８の状態Ｓ０を規定し、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２は、ＲＦ信号４１８の状態Ｓ１を規定するということに留意されたい。パラメータレベルＰ２は、ＲＦ信号４１８の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ２は、ＲＦ信号４１８の電力または電圧の複数の負の値を含むということにさらに留意されたい。また、一実施形態において、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号４１８の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ＲＦ信号４１８のパラメータ４１６のゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。

【０１５１】

１つの実施形態において、時間ｔ０およびｔ１０においてパラメータレベルゼロへ遷移する代わりに、パラメータ４１６は、時間ｔ０およびｔ１０において、ゼロよりも大きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ４１６は、各時間ｔ０およびｔ１０において、パラメータレベルＰ２からゼロとＰ２との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ２からゼロと－Ｐ２との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ４１６は、各時間ｔ２およびｔ７．５において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ２へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ２へ遷移する。パラメータレベルＰ２および－Ｐ２は、ＲＦ信号４１８の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号４１８の状態Ｓ０を規定する。

【０１５２】

一実施形態において、パラメータ４１６は、時間ｔ２において遷移する代わりに、時間ｔ２～時間ｔ３の時間間隔または時間ｔ２～時間ｔ２．５の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する。同様に、パラメータ４１６がある時間において状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する代わりに、パラメータ４１６は、ある時間期間または時間間隔の間、状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する。

【０１５３】

パラメータ４１６のパルシングの２つのインスタンスが図４Ｅについて説明されるが、１つの実施形態において、パラメータ４１６のパルシングのより多くのインスタンスが同期信号２０２の各サイクルの間に発生するということに留意されたい。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、図４Ｅについて説明されるように時間ｔ２から時間ｔ５および時間ｔ７．５から時間ｔ１０までパルシングの２つのインスタンスを有することに加えて、パラメータ４１６は、時間ｔ６において、パラメータレベルゼロからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ、遷移するなど、パルシングし、時間ｔ６から時間ｔ７までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ４１６は、時間ｔ７において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２からパラメータレベルゼロへパルシングし、時間ｔ７から時間ｔ７．５までパラメータレベルゼロに留まる。この例では、パラメータ４１６は、同期信号２０２のサイクル１の間、２回の代わりに３回パルシングされている。

【０１５４】

図５は、コンピュータシステム５００の図であり、ＲＦ発生器１０２および１０４（図１Ａ）の多重化動作の制御について説明するためのユーザインターフェースについて説明するためのものである。コンピュータシステム５００は、ホストコンピュータ１２０（図１Ａ）の例である。システム５００は、ディスプレイデバイス５０２、キーボード５０４

、および光学マウス５０６を含む。ディスプレイデバイス５０２、キーボード５０４、および光学マウス５０６は、入力デバイスの例である。例えば、ディスプレイデバイス５０２は、ユーザからの選択を受信するためのタッチスクリーンを有する。タッチスクリーンは、入力デバイスの例である。ディスプレイデバイス５０２の例は、ディスプレイ画面５０８、中央処理装置（ＣＰＵ）、メモリデバイス、およびグラフィック処理装置（ＧＰＵ）の組み合わせを含む。ディスプレイデバイス５０２のＣＰＵ、ＧＰＵ、メモリデバイス、およびディスプレイ画面５０８は、バスを介して互いに結合される。ディスプレイデバイス５０２のＣＰＵは、ホストコンピュータ１２０のプロセッサ１２２（図１Ａ）の例である。キーボード５０４および光学マウス５０６は、ディスプレイデバイス５０２のＣＰＵとワイヤレスで結合される。

【０１５５】

動作中、ＣＰＵおよびＧＰＵは、ＲＦ信号１５２および１５６（図１Ａおよび図１Ｂ）の時分割多重化のための多重化動作を選択するためにグラフィックボタン５１０を表示するようにディスプレイ画面５０８を制御する。例えば、キーボード５０４または光学マウス５０６またはタッチスクリーンを介してユーザからのグラフィックボタン５１０の選択を受信することに応答して、ＣＰＵは、対応するＲＦ発生器１０２および１０４に送信するための、図２Ｂ、図２Ｃ、図３Ｂ、図３Ｃ、図４Ｂ、および図４Ｃについて説明されるデューティサイクルを生成する。ＲＦ発生器１０４のデューティサイクルは、ＲＦ発生器１０２のデューティサイクルと比較して逆同期される。

【０１５６】

また、ＣＰＵおよびＧＰＵは、ＲＦ発生器１０２が時間ｔ０において状態Ｓ１で開始することになるか、またはＲＦ発生器１０４が時間ｔ０において状態Ｓ１で開始することになるかに関する選択を受信するために、グラフィックボタン５１２を表示するようにディスプレイ画面５０８を制御する。例えば、グラフィックボタン５１４の選択を受信することに応答して、ＣＰＵは、時間ｔ０において状態Ｓ１で開始するようにＲＦ発生器１０２を制御すること、および時間ｔ０の状態Ｓ０を開始するようにＲＦ発生器１０４を制御することを決定する。別の例として、グラフィックボタン５１６の選択を受信することに応答して、ＣＰＵは、時間ｔ０において状態Ｓ１で開始するようにＲＦ発生器１０４を制御すること、および時間ｔ０の状態Ｓ０を開始するようにＲＦ発生器１０２を制御することを決定する。ＲＦ発生器１０２が時間ｔ０において状態Ｓ１で開始することになるか、またはＲＦ発生器１０４が時間ｔ０において状態Ｓ１で開始することになるかに関するこの選択は、キーボード５０４または光学マウス５０６またはタッチスクリーンを介してユーザから受信される。

【０１５７】

ＣＰＵおよびＧＰＵはまた、ＲＦ発生器１０２のデューティサイクルを受信するために、グラフィックボタン５１８を表示するようにディスプレイ画面５０８を制御する。例えば、ＲＦ発生器１０２の動作の２５％または３５％または４５％または２８％のデューティサイクルは、キーボード５０４または光学マウス５０６またはタッチスクリーンを介してユーザから受信される。

【０１５８】

グラフィックボタン５１０、および５１２、および５１４または５１６、および５１８の選択を受信することに応答して、レシピ信号１５０および１５４（図１Ａおよび図１Ｂ）が生成されることに留意されたい。例えば、レシピ信号１５０は、ＲＦ信号１５２のパラメータの状態Ｓ１を生成するためのＲＦ発生器１０２の動作のデューティサイクルを含み、レシピ信号１５４は、ＲＦ信号１５６のパラメータの状態Ｓ１を生成するためのＲＦ発生器１０４の動作のデューティサイクルを含む。また、レシピ信号１５０は、ＲＦ発生器１０４の動作と逆同期で動作させるためにプロセッサ１２２（図１Ａ）からＲＦ発生器１０２への命令を含む。同様に、レシピ信号１５４は、ＲＦ発生器１０２の動作と逆同期で動作させるためにプロセッサ１２２（図１Ａ）からＲＦ発生器１０４への命令を含む。

【０１５９】

１つの実施形態において、ＣＰＵがディスプレイデバイス５０２内に含まれる代わりに、ＣＰＵは、ディスプレイデバイス５０２のハウジングとは別個のハウジング内に実装される。

【０１６０】

一実施形態において、キーボード５０４および光学マウス５０６の各々は、ケーブルなどの有線接続を介して、ディスプレイデバイス５０２のＣＰＵに結合される。例えば、キーボード５０４および光学マウス５０６の各々は、ユニバーサルシリアルバス（ＵＳＢ）ケーブルを介して、ディスプレイデバイス５０２のＣＰＵに結合される。

【０１６１】

１つの実施形態において、グラフィックボタンの代わりに、ドロップダウンメニューが、ＣＰＵおよびＧＰＵによってディスプレイ画面５０８上に表示される。

【０１６２】

図６Ａは、グラフ６００の一実施形態であり、プラズマチャンバ内に置かれる基板Ｓの半径ｒに対する、プラズマチャンバ１１８または１７４（図１Ａおよび図１Ｂ）内のプラズマのイオンの束ηのプロット６０２について説明するためのものである。イオン束は、ｙ軸にプロットされ、半径ｒは、ｘ軸にプロットされる。プロット６０２は、同期信号１６２（図１Ａおよび図１Ｂ）の１つのサイクルにわたって、ＲＦ発生器１０２（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５２のパラメータが状態Ｓ１を有するとき、およびＲＦ発生器１０４によって生成されるＲＦ信号１５６のパラメータが状態Ｓ０を有するときに生成される。イオン密度は、基板Ｓの中央０から基板Ｓの半径ｒの正の値Ｒへ減少するということにプロット６０２から留意されたい。

【０１６３】

グラフ６００は、基板Ｓの半径Ｒに対する、プラズマチャンバ１１８または１７４内のプラズマの、上部プラズマシースなどのプラズマシースの厚さｓのプロット６０４をさらに含む。プラズマシースの厚さｓは、基板Ｓの半径ｒに沿って中央０から基板の半径Ｒの正の値Ｒへ増加することにプロット６０４から留意されたい。例えば、厚さｓは、基板Ｓの中央０における最小値ｓｍｉｎ１から、半径Ｒにより近い最大値ｓｍａｘ１へ増加する。値ｓｍｉｎ１およびｓｍａｘ１は、厚さｓの基準値ｓｒｅｆから測定される。例えば、基準値ｓｒｅｆ１は、プラズマシースの底面における値であり、値ｓｍｉｎ１およびｓｍａｘ１は、プラズマシースの上面における値である。

【０１６４】

イオン束は、厚さｓの２乗に反比例し、すなわち、厚さは、イオン束の平方根に反比例することにさらに留意されたい。また、変数ｘは、プラズマシースの最大厚さｓｍａｘと、プラズマシースの最小厚さｓｍｉｎと、の差である。プラズマチャンバ１１８または１７４内のプラズマのイオンの角度傾斜Φは、差ｘおよび半径ｒの比の逆タンジェントである。プロット６０４の場合、角度傾斜は、基板Ｓの半径Ｒの半径値Ｒ１において値Φ１を有する。値Φ１は、半径値Ｒ１において垂直線６０５に対して測定される。

【０１６５】

１つの実施形態において、プロット６０２は、プラズマチャンバ１１８または１７４内のプラズマのイオンの密度のものである。

【０１６６】

図６Ｂは、グラフ６０６の一実施形態であり、プラズマチャンバ内に置かれる基板Ｓの半径ｒに対する、プラズマチャンバ１１８または１７４（図１Ａおよび図１Ｂ）内のプラズマのイオンの束ηのプロット６０８について説明するためのものである。イオン束ηは、ｙ軸にプロットされ、半径ｒは、ｘ軸にプロットされる。プロット６０８は、同期信号１６２（図１Ａおよび図１Ｂ）の１つのサイクルにわたって、ＲＦ発生器１０４（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５６のパラメータが状態Ｓ１を有するとき、およびＲＦ発生器１０２によって生成されるＲＦ信号１５２のパラメータが状態Ｓ０を有するときに生成される。イオン密度は、基板Ｓの中央０から基板Ｓの半径ｒの正の値Ｒへ増加するということにプロット６０８から留意されたい。

【０１６７】
グラフ６０６は、基板Ｓの半径Ｒに対する、プラズマチャンバ１１８または１７４内のプラズマの、上部プラズマシースなどのプラズマシースの厚さｓのプロット６１０をさらに含む。プラズマシースの厚さは、基板Ｓの半径ｒに沿って中央０から基板の半径Ｒの正の値Ｒへ減少することにプロット６１０から留意されたい。例えば、厚さｓは、基板Ｓの中央０における最大値ｓｍａｘ２から、半径Ｒにより近い最小値ｓｍｉｎ２へ減少する。値ｓｍｉｎ２およびｓｍａｘ２は、厚さｓの基準値ｓｒｅｆから測定される。例えば、値ｓｍｉｎ２およびｓｍａｘ２は、プラズマシースの上面における値である。
【０１６８】
また、プロット６１０の場合、角度傾斜は、基板Ｓの半径Ｒの半径値Ｒ１において値Φ２を有する。値Φ２は、半径値Ｒ１において垂直線６０５に対して測定される。
【０１６９】
１つの実施形態において、プロット６１０は、プラズマチャンバ１１８または１７４内のプラズマのイオンの密度のものである。
【０１７０】
一実施形態において、角度Φ１またはΦ２は、２００ミリ度以上である。例えば、角度Φ１は、０．２度または０．３度である。角度Φ１またはΦ２は、不均一なプラズマを結果としてもたらす。例えば、プラズマチャンバ１１８内のプラズマの不均一性は、およそ２４パーセントになるまで増大する。
【０１７１】
図６Ｃは、グラフ６１２の実施形態であり、プラズマチャンバ内に置かれる基板Ｓの半径ｒに対する、プラズマチャンバ１１８または１７４（図１Ａおよび図１Ｂ）内のプラズマのイオンの束ηのプロット６１４について説明するためのものである。イオン束ηは、ｙ軸にプロットされ、半径ｒは、ｘ軸にプロットされる。プロット６１４は、ＲＦ発生器１０４（図１Ａおよび図１Ｂ）によって生成されるＲＦ信号１５６のパラメータが、同期信号１６２（図１Ａおよび図１Ｂ）の、１０サイクルまたは２０サイクルまたは３０サイクルにわたってなど、複数サイクルの間、時間ｔにわたってＲＦ発生器１０２によって生成されるＲＦ信号１５２のパラメータに対して逆同期されるときに生成される。イオン密度は、基板Ｓの中央０から基板Ｓの半径ｒの正の値Ｒまで実質的に一定であることにプロット６１４から留意されたい。例えば、プロット６０２（図６Ａ）と比較して、プロット６１４のイオン密度は、実質的に、半径ｒに沿って中央０から値Ｒへ減少しない。また、プロット６０８（図６Ｂ）と比較して、プロット６１４のイオン密度は、実質的に、半径ｒに沿って中央０から値Ｒへ増加しない。
【０１７２】
グラフ６１２は、基板Ｓの半径Ｒに対する、プラズマチャンバ１１８または１７４内のプラズマの、上部プラズマシースなどのプラズマシースの厚さｓのプロット６１６をさらに含む。プラズマシースの厚さｓは、基板Ｓの半径ｒに沿って中央０から基板の半径Ｒの正の値Ｒまで実質的に一定であることをプロット６１６から留意されたい。例えば、厚さｓは、実質的に同じ厚さ値ｓ３であり、最大値ｓｍａｘ２から最小値ｓｍｉｎ２へ減少せず、また最小値ｓｍｉｎ１から最大値ｓｍａｘ１へ増加しない。値ｓ３は、厚さｓの基準値ｓｒｅｆから測定される。例えば、値ｓ３は、プラズマシースの底面に対して測定されるプラズマシースの上面の厚さである。
【０１７３】
また、プロット６１６の場合、角度傾斜は、基板Ｓの半径Ｒの半径値Ｒ１において値Φ３を有する。値Φ３は、半径値Ｒ１において垂直線６０５に対して測定される。Φ３の例は、０度～０．０３度の範囲に及ぶ角度であり、したがって、図６Ｃ内ではほとんど見えない。例示すると、角度Φ３は、２０ミリ度または３０ミリ度である。角度Φ３は、均一なプラズマを結果としてもたらす。例えば、プラズマチャンバ１１８内のプラズマの不均一性は、３パーセント以下になるまで低減される。
【０１７４】

１つの実施形態において、プロット６１０は、プラズマチャンバ１１８または１７４内のプラズマのイオンの密度のものである。

【０１７５】

図７Ａは、一実施形態の図であり、ＲＦ発生器１０２および１０４の両方が、同期信号１６２（図１Ａ）の複数サイクルにわたって、Ｓ１またはＳ０などの同じ状態を有するときにエッチングされる基板７００について説明するためのものである。また、基板７００は、同期信号１６２（図１Ａ）の１つのサイクルにわたって、ＲＦ発生器１０２が状態Ｓ１を有し、ＲＦ発生器１０４が状態Ｓ０を有するときに達成されるエッチングの例示である。基板７００は、基板層７０２および基板スタック層７０４を含む。基板層の例としては、ケイ素層７０２が挙げられる。基板スタック層７０４の例としては、酸化物層、金属層、およびマスク層などの１つまたは複数の層が挙げられる。基板スタック層７０４内で、特徴部７０６などの特徴部は、ＲＦ発生器１０２および１０４が互いに逆同期で動作されない、例えば、同じ状態を有するときにエッチングされる。ＲＦ発生器１０２および１０４が互いと逆同期で動作されないとき、角度傾斜Φ１は、垂直線６０５に対して大きい。プラズマチャンバ１１８（図１Ａ）内のプラズマのイオンの密度は、基板Ｓのエッジ領域において増加し、基板Ｓの中央領域において減少する。プラズマのプラズマシースは、エッジ領域１３１において厚く、中央領域１２９において薄い（図１Ａ）。中央領域１２９と比較してエッジ領域１３１におけるより大きい密度が理由で、特徴部７０６は、垂直線６０５に対して角度Φ１で傾斜される。

【０１７６】

図７Ｂは、一実施形態の図であり、ＲＦ発生器１０２および１０４の両方が、同期信号１６２の複数サイクルにわたって、同期信号１６２（図１Ａ）の各サイクルの間、Ｓ１またはＳ０などの同じ状態を有するときにエッチングされる基板７１０について説明するためのものである。また、基板７１０は、同期信号１６２（図１Ａ）の１つのサイクルにわたって、ＲＦ発生器１０４２が状態Ｓ１を有し、ＲＦ発生器１０２が状態Ｓ０を有するときに達成されるエッチングの例示である。基板７１０は、基板層７０２および基板スタック層７０４を含む。基板スタック層７０４内で、特徴部７１２などの特徴部は、ＲＦ発生器１０２および１０４が互いに逆同期で動作されない、例えば、同じ状態を有するときにエッチングされる。ＲＦ発生器１０２および１０４が互いと逆同期で動作されないとき、角度傾斜Φ２は、垂直線６０５に対して大きい。プラズマチャンバ１１８（図１Ａ）内のプラズマのイオンの密度は、基板Ｓの中央領域において増加し、基板Ｓのエッジ領域において減少する。プラズマのプラズマシースは、中央領域１２９において厚く、エッジ領域１３１において薄い（図１Ａ）。エッジ領域１３１と比較して中央領域１２９におけるより大きい密度が理由で、特徴部７１２は、垂直線６０５に対して角度Φ２で傾斜される。

【０１７７】

図７Ｃは、基板Ｓ（図１Ａおよび図１Ｂ）の例であり、ＲＦ発生器１０２および１０４が、同期信号１６２の複数サイクルにわたって、同期信号１６２（図１Ａ）の各サイクルの間、互いと逆同期でパルシングされるときにエッチングされる、基板７５０の一実施形態の図である。基板７５０は、基板層７０２および基板スタック層７０４を含むが、ただし、基板スタック層７０４は、基板スタック層７０４内でエッチングされる特徴部７０８などの特徴部を含む。特徴部７０８は、ＲＦ発生器１０２および１０４が互いと逆同期で動作されるとき、基板スタック層７０４内へエッチングされる。ＲＦ発生器１０２および１０４が互いに達した逆同期で動作することから、特徴部７０８は、図７Ａの特徴部７０６の角度傾斜と比較して、または図７Ｂの特徴部７１２と比較して、垂直線６０５に対して低い角度傾斜を有する。同期信号１６２の各サイクルの間、ＲＦ発生器１０２および１０４の両方が互いと逆同期でパルシングされ、ＲＦ発生器１０２および１０４のデューティサイクルが調節される場合、平均角度傾斜は、時間ｔが経つにつれて次第に小さくなる。プラズマチャンバ１１８（図１Ａ）内のプラズマは、時間ｔが経つにつれて中心およびエッジ領域１２９および１３１においてより均一になる。

【０１７８】

一実施形態において、中心領域および中央領域という用語は、本明細書では同義で使用される。

【０１７９】

図８は、グラフ８００の一実施形態であり、イオン角度分布機能について説明するためのものである。グラフ８００は、垂直線６０５に対して測定される角度におけるプラズマチャンバ１１８または１７４（図１Ａおよび１Ｂ）内のプラズマのイオンの分布を示す。グラフ８００について説明されるように、角度傾斜は、プラズマチャンバ１１８または１７４内のプラズマのイオンの大多数、例えば大半については、０度～０．０３度の範囲内など、ゼロまたは実質的にゼロであり、少数のイオンについては実質的にゼロではない。グラフ８００について説明される鉄角度分布関数は、ＲＦ発生器１０２および１０４が、互いと逆同期など、時分割多重化様式でパルシングされるときに達成される。

【０１８０】

図９は、システム９００の一実施形態の図であり、多重化様式で動作される３つのＲＦコイル１１４、１１６、および９０８の使用について説明するためのものである。システム９００は、図１Ａのシステム１００と構造および機能において同じであるが、ただし、システム９００は、ＲＦ発生器９０２、マッチ９０４、およびプラズマチャンバ９０６を含む。例として、ＲＦ発生器９０２は、１０キロヘルツ～１００ｋＨｚの範囲に及ぶ動作周波数を有する。

【０１８１】

１つの実施形態において、ＲＦ発生器９０２は、ＲＦ発生器１０２もしくはＲＦ発生器１０４と、またはＲＦ発生器１０２および１０４の両方と実質的に同じ周波数で動作する。例えば、ＲＦ発生器９０２の動作周波数は、ＲＦ発生器１０２の動作周波数から、±１０％以内など、既定の範囲内にある。別の例として、ＲＦ発生器１０２および９０２は共に、同じ動作周波数を有する。さらなる例として、ＲＦ発生器９０２の動作周波数は、ＲＦ発生器１０４の動作周波数から、±１０％以内など、既定の範囲内にある。別の例として、ＲＦ発生器１０４および９０２は共に、同じ動作周波数を有する。

【０１８２】

プラズマチャンバ９０６は、ＲＦコイル１１４および１１６を含み、基板支持体１２８およびエッジリング１３０をさらに含む。ＲＦコイル９０８は、プラズマチャンバ９０６の誘電体窓１２６の上方に位置する。ＲＦコイル９０４は、ＲＦコイル１１４と１１６との間に位置する。例えば、ＲＦコイル９０４は、ＲＦコイル１１４および１１６の水平面と同じ水平面に位置する。別の例として、ＲＦコイル９０４は、ＲＦコイル１１４および１１６が位置する水平面より上または下の水平面に位置する。さらに別の例として、各ＲＦコイル１１４、１１６、および９０４は、異なる水平面に位置する。別の例として、ＲＦコイル９０８は、基板支持体１２８の上方に位置し、エッジリング１３０の上方にＲＦコイル９０８の部分は位置しない。例示すると、エッジリング１３０の垂直面は、ＲＦコイル９０８が位置する垂直面に重複しない。

【０１８３】

プロセッサ１２２は、伝送ケーブル９１０を介してＲＦ発生器９０２に結合される。ＲＦ発生器９０２の出力Ｏ９０２は、ＲＦケーブル９１２を介してマッチ９０４の入力Ｉ９０４に結合される。マッチ９０４の出力Ｏ９０４は、ＲＦ伝送路９１４を介してＲＦコイル９０８の一端に結合される。ＲＦコイル９０８の反対端は、接地電位に結合される。

【０１８４】

プロセッサ１２２は、レシピ信号９１６を生成する。レシピ信号９１６は、ＲＦ発生器９０２によって生成されることになるＲＦ信号９１８のパラメータ、およびＲＦ信号９１８の周波数などの、レシピ情報を含む。レシピ信号９１６のレシピ情報は、ＲＦ信号９１８のパラメータのデューティサイクルをさらに含む。プロセッサ１２２は、伝送ケーブル９１０を介してＲＦ発生器９０２にレシピ信号９１６を送信する。レシピ信号９１６を受信すると、ＲＦ発生器９０２は、ＲＦ発生器９０２の１つまたは複数のメモリデバイス内にレシピ信号９１６のレシピ情報を格納する。

【０１８５】
また、プロセッサ１２２は、伝送ケーブル９１０を介してＲＦ発生器９０２に同期信号１６２を送信する。同期信号１６２を受信すると、ＲＦ発生器９０２は、レシピ信号９１６内で受信されるパラメータおよび周波数を有するＲＦ信号９１８を生成する。ＲＦ信号９１８の周波数は、ＲＦ発生器９０２の動作周波数と同じである。ＲＦ発生器９０２は、出力Ｏ９０２およびＲＦケーブル９１２を介してマッチ９０４の入力Ｉ９０４にＲＦ信号９１８を送信する。
【０１８６】
マッチ９０４は、ＲＦ信号９１８のインピーダンスを修正して、修正されたＲＦ信号９２０を出力Ｏ９０４において提供するために、出力Ｏ９０４に結合される負荷のインピーダンスを入力Ｉ９０４に結合されるソースのインピーダンスと整合する。出力Ｏ９０４に結合される負荷の例としては、ＲＦ伝送路９１４およびプラズマチャンバ９０６が挙げられる。入力Ｉ９０４に結合されるソースの例としては、ＲＦ発生器９０２およびＲＦケーブル９１２が挙げられる。修正されたＲＦ信号９２０は、出力Ｏ９０４からＲＦ伝送路９１４を介してＲＦコイル９０８に供給される。
【０１８７】
修正されたＲＦ信号１６４、９２０、１６６、および１６８を供給することに加えて、１つまたは複数のプロセスガスがプラズマチャンバ９０６に供給されるとき、プラズマは、基板支持体１２８の上表面上で基板Ｓを処理するために、プラズマチャンバ９０６内でストライク処理または維持される。
【０１８８】
１つの実施形態において、ＲＦ発生器９０２は、図９について説明されるものとは異なる動作周波数を有する。例えば、ＲＦ発生器９０２は、４００ｋＨｚまたは２ＭＨｚまたは１３．５６ＭＨｚまたは２７ＭＨｚまたは６０ＭＨｚの動作周波数を有する。
【０１８９】
１つの実施形態において、ＲＦコイル１１４、１１６、および９０４のうちの２つは、プラズマチャンバ９０６の側壁１１９の隣に位置するが、上方には位置しない。この実施形態において、側壁１１９の上部分は、誘電体窓であり、この誘電体窓は、誘電体窓１２６と一体である。
【０１９０】
１つの実施形態において、ＲＦコイル９０８は、エッジリング１３０　１２８の上方に位置し、基板支持体１２８の上方にＲＦコイル９０８の部分は位置しない。例示すると、基板支持体１２８の垂直面は、ＲＦコイル９０８が位置する垂直面に重複しない。
【０１９１】
図１０Ａは、グラフ２００の一実施形態であり、同期信号２０２について説明するためのものである。
【０１９２】
図１０Ｂは、グラフ１０００の実施形態であり、ＲＦ発生器１０２によって生成されるＲＦ信号１５２（図９）のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号１００２について説明するためのものである。グラフ１０００は、時間ｔに対してデジタルパルス信号１００２の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号１００２の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。
【０１９３】
デジタルパルス信号１００２は、３２．５％のデューティサイクルを有する。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号１００２は、時間ｔ０において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ０から、時間ｔ３とｔ４との間の時間期間の４分の１のところにある時間ｔ３．２５まで論理レベル１に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号１００２は、時間ｔ３．５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ３．２５から時間ｔ１０まで論理レベル０に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号１００２は、

時間ｔ１０において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１０から、時間ｔ１３とｔ１４との間の時間期間の４分の１のところにある時間ｔ１３．２５まで論理レベル１に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号１００２は、時間ｔ１３．２５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１３．２５から時間ｔ２０まで論理レベル０に留まる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号１００２は、サイクルの３２．５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの６７．５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。

【０１９４】

図１０Ｃは、グラフ１００４の一実施形態であり、ＲＦ発生器１０４によって生成されるＲＦ信号１５６のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号１００６について説明するためのものである。グラフ１００４は、時間ｔに対してデジタルパルス信号１００６の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号１００６の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。

【０１９５】

デジタルパルス信号１００６は、３５％のデューティサイクルを有し、同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、デジタルパルス信号１００２（図１０Ｂ）に対して逆同期される。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号１００６は、時間ｔ０において、論理レベル０にあり、時間ｔ３．２５まで論理レベル０に留まり、時間ｔ３．２５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ３．２５から、時間ｔ６～ｔ７の間の時間期間の４分の３のところで発生する時間ｔ６．７５まで論理レベル１に留まる。また、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号１００６は、時間ｔ６．７５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ６．７５から時間ｔ１０まで論理レベル０に留まる。

【０１９６】

さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号１００６は、時間ｔ１０において、論理レベル０にあり、時間ｔ１３．２５まで論理レベル０に留まり、時間ｔ１３．２５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号１００６、デジタルパルス信号１００６は、時間ｔ１３．２５から、時間ｔ１６～ｔ１７の間の時間期間の４分の３のところで発生する時間ｔ１６．７５まで、論理レベル１に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号１００６は、時間ｔ１６．７５において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１６．７５から時間ｔ２０まで論理レベル０に留まる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号１００６は、サイクルの３５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの６５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。

【０１９７】

また、同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、デジタルパルス信号１００６は、デジタルパルス信号１００２と逆同期されるようにデジタルパルス信号１００２の論理レベルと比較して反対の論理レベルを有し、同期信号２０２のサイクルの残りの部分の間、デジタルパルス信号１００６は、デジタルパルス信号１００２のものと同じ論理レベルを有する。例えば、時間ｔ０～ｔ６．７５の時間期間の間、デジタルパルス信号１００２および１００６は、互いに対して逆同期され、時間ｔ６．７５～ｔ１０の時間期間の間、デジタルパルス信号１００２および１００６は、互いに対して逆同期されない。

【０１９８】

図１０Ｄは、グラフ１００８の一実施形態であり、ＲＦ発生器９０２によって生成されるＲＦ信号９１８（図９）のパラメータのデューティサイクルについて説明するためのデジタルパルス信号１０１０について説明するためのものである。グラフ１００８は、時間ｔに対してデジタルパルス信号１０１０の論理レベルをプロットする。デジタルパルス信号１０１０の論理レベルは、ｙ軸にプロットされ、時間ｔは、ｘ軸にプロットされる。

【０１９９】
デジタルパルス信号１０１０は、３２．５％のデューティサイクルを有し、同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、デジタルパルス信号１００２（図１０Ｂ）に対して、およびデジタルパルス信号１００６（図１０Ｃ）に対して逆同期される。例えば、同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号１０１０は、時間ｔ０において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ０から時間ｔ６．７５まで論理レベル０に留まる。同期信号２０２のサイクル１の間、デジタルパルス信号１０１０は、時間ｔ６．７５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ６．７５から時間ｔ１０まで論理レベル１に留まる。さらには、同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号１０１０は、時間ｔ１０において、論理レベル１から論理レベル０へ遷移し、時間ｔ１０から時間ｔ１６．７５まで論理レベル０に留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、デジタルパルス信号１０１０は、時間ｔ１６．７５において、論理レベル０から論理レベル１へ遷移し、時間ｔ１６．７５から時間ｔ２０まで論理レベル１に留まる。したがって、同期信号２０２の各サイクルの間、デジタルパルス信号１０１０は、サイクルの３２．５％を占める時間期間にわたって論理レベル１を有し、サイクルの６７．５％を占める残りの時間期間にわたって論理レベル０を有する。

【０２００】
また、同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、デジタルパルス信号１０１０は、デジタルパルス信号１００２と逆同期されるようにデジタルパルス信号１００２の論理レベルと比較して反対の論理レベルを有し、同期信号２０２のサイクルの残りの部分の間、デジタルパルス信号１０１０は、デジタルパルス信号１００２のものと同じ論理レベルを有する。例えば、時間ｔ０～ｔ３．２５および時間ｔ６．７５～ｔ１０の時間期間の間、デジタルパルス信号１００２および１０１０は、互いに対して逆同期され、時間ｔ３．２５～ｔ６．７５の時間期間の間、デジタルパルス信号１００２および１０１０は、互いに対して逆同期されない。

【０２０１】
同様に、同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、デジタルパルス信号１０１０は、デジタルパルス信号１００６と逆同期されるようにデジタルパルス信号１００６の論理レベルと比較して反対の論理レベルを有し、同期信号２０２のサイクルの残りの部分の間、デジタルパルス信号１０１０は、デジタルパルス信号１００６のものと同じ論理レベルを有する。例えば、時間ｔ３．２５～ｔ１０の時間期間の間、デジタルパルス信号１００６および１０１０は、互いに対して逆同期され、時間ｔ０～ｔ３．２５の時間期間の間、デジタルパルス信号１００６および１０１０は、互いに対して逆同期されない。

【０２０２】
図１０Ｅは、グラフ１０１２の一実施形態であり、ＲＦ信号１０１６のパラメータ１０１４について説明するためのものである。ＲＦ信号１０１６は、ＲＦ発生器１０２（図９）によって生成されるＲＦ信号１５２の例である。グラフ１０１２は、ｙ軸にパラメータ１０１４をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。例として、パラメータ１０１４は、ＲＦ信号１０１６のエンベロープである。

【０２０３】
ＲＦ信号１０１６のパラメータ１０１４は、デジタルパルス信号１００２（図１０Ｂ）のデューティサイクルと同期される。例えば、同期信号２０２（図１０Ａ）のサイクル１の間、パラメータ１０１４は、時間ｔ０において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ１および－Ｐ１へ遷移する。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ１０１４は、時間ｔ０から時間ｔ３．２５までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ３．２５において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ１０１４は、時間ｔ３．２５から時間ｔ１０までパラメータレベル０に留まる。同様に、同期信号２０２（図１０Ａ）のサイクル２の間、パラメータ１０１４は、時間ｔ１０において、ゼロのパラメータレベルからＰ１および－Ｐ１のパラメータレベルへ遷移する。同期信号２０２のサイク

ル２の間、パラメータ１０１４は、時間ｔ１０から時間ｔ１３．２５までパラメータレベルＰ１および－Ｐ１に留まり、時間ｔ１３．２５において、パラメータレベルＰ１および－Ｐ１からパラメータレベル０へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ１０１４は、時間ｔ１３．２５から時間ｔ２０までパラメータレベル０に留まる。

【０２０４】

パラメータレベルＰ１および－Ｐ１は、ＲＦ信号１０１６の状態Ｓ１を規定し、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号１０１６の状態Ｓ０を規定するということに留意されたい。

【０２０５】

パラメータレベルＰ１は、ＲＦ信号１０１６の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ１は、ＲＦ信号１０１６の電力または電圧の複数の負の値を含むということにさらに留意されたい。また、１つの実施形態において、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号１０１６の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。

【０２０６】

１つの実施形態において、時間ｔ３．２５およびｔ１３．２５においてパラメータレベルゼロへ遷移する代わりに、パラメータ１０１６は、時間ｔ３．２５およびｔ１３．２５において、ゼロよりも大きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ１０１４は、各時間ｔ３．２５およびｔ１３．２５において、パラメータレベルＰ１からゼロとＰ１との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ１からゼロと－Ｐ１との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ１０１４は、各時間ｔ１０およびｔ２０において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ１へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ１へ遷移する。パラメータレベルＰ１および－Ｐ１は、ＲＦ信号１０１６の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号１０１６の状態Ｓ０を規定する。

【０２０７】

一実施形態において、パラメータ１０１４は、時間ｔ３．２５において遷移する代わりに、時間ｔ３．２５～時間ｔ３．５の時間間隔または時間ｔ３．２５～時間ｔ４の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する。同様に、パラメータ１０１４がある時間において状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する代わりに、パラメータ１０１４は、ある時間期間または時間間隔の間、状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する。

【０２０８】

図１０Ｆは、グラフ１０１８の一実施形態であり、ＲＦ信号１０２２のパラメータ１０２０について説明するためのものである。ＲＦ信号１０２２は、ＲＦ発生器１０４（図９）によって生成されるＲＦ信号１５６の例である。グラフ１０１８は、ｙ軸にパラメータ１０２０をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。パラメータ１０２０は、ＲＦ信号１０２２のエンベロープである。

【０２０９】

ＲＦ信号１０２２のパラメータ１０２０は、デジタルパルス信号１００６（図１０Ｃ）のデューティサイクルと同期される。例えば、同期信号２０２（図３Ａ）のサイクル１の間、パラメータ１０２０は、時間ｔ０においてゼロのパラメータレベルを有し、時間ｔ０から時間ｔ３．２５までパラメータレベルゼロに留まり、時間ｔ３．２５において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２のセットへ遷移する。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ１０２０は、時間ｔ３．２５から時間ｔ６．７５までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まり、時間ｔ６．７５において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２からゼロのパラメータレベルへ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ１０２０は、時間ｔ６．７５から時間ｔ１０までゼロのパラメータレベルに留まる。同様に、同期信号２０２（図１０Ａ）のサイクル２の間、パラメータ１０２０は、時間ｔ１０においてゼロのパラメータレベルにあり、時間ｔ１０から

時間ｔ１３．２５までゼロのパラメータレベルに留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ１０２０は、時間ｔ１３．２５において、ゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ２および－Ｐ２へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ１０２０は、時間ｔ１３．２５から時間ｔ１６．７５までパラメータレベルＰ２および－Ｐ２に留まる。さらに、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ１０２０は、時間ｔ１６．７５において、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２からゼロのパラメータレベルへ遷移し、時間ｔ１６．７５から時間ｔ２０までゼロのパラメータレベルに留まる。

【０２１０】

ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号１０２２の状態Ｓ０を規定し、パラメータレベルＰ２および－Ｐ２は、ＲＦ信号１０２２の状態Ｓ１を規定するということに留意されたい。パラメータレベルＰ２は、ＲＦ信号１０２２の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ２は、ＲＦ信号１０２２の電力または電圧の複数の負の値を含むということにさらに留意されたい。また、一実施形態において、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号１０２２の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ＲＦ信号１０２２のパラメータ１０２０のゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。

【０２１１】

また、同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、パラメータ１０２０は、パラメータ１０１４と逆同期されるように、パラメータ１０１４の状態と比較して反対の状態を有し、同期信号２０２のサイクルの残りの部分の間、パラメータ１０２０は、パラメータ１０１４の状態と同じ状態を有する。例えば、時間ｔ０～ｔ６．７５の時間期間の間、パラメータ１０２０および１０１４は、互いに対して逆同期され、時間ｔ６．７５～ｔ１０の時間期間の間、パラメータ１０２０および１０１４は、互いに対して逆同期されない。

【０２１２】

１つの実施形態において、時間ｔ６．７５およびｔ１６．７５においてパラメータレベルＰ２および－Ｐ２からゼロのパラメータレベルへ遷移する代わりに、パラメータ１０２０は、時間ｔ６．７５およびｔ１６．７５において、ゼロよりも大きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ１０２０は、各時間ｔ６．７５およびｔ１６．７５において、パラメータレベルＰ２からゼロとＰ２との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ２からゼロと－Ｐ２との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ１０２０は、各時間ｔ３．２５およびｔ１３．２５において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ２へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ２へ遷移する。パラメータレベルＰ２および－Ｐ２は、ＲＦ信号１０２２の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号１０２２の状態Ｓ０を規定する。

【０２１３】

一実施形態において、パラメータ１０２０は、時間ｔ３．２５において遷移する代わりに、時間ｔ３．２５～時間ｔ４の時間間隔または時間ｔ３．２５～時間ｔ３．７５の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する。時間ｔ３．７５は、時間ｔ３とｔ４との間の時間期間の４分の３ところにある。同様に、パラメータ１０２０がある時間において状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する代わりに、パラメータ１０２０は、ある時間期間または時間間隔の間、状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する。

【０２１４】

図１０Ｇは、グラフ１０２４の一実施形態であり、ＲＦ信号１０２８のパラメータ１０２６について説明するためのものである。ＲＦ信号１０２８は、ＲＦ発生器９０２（図９）によって生成されるＲＦ信号９１８の例である。グラフ１０２４は、ｙ軸にパラメータ１０２６をプロットし、ｘ軸に時間ｔをプロットする。パラメータ１０２６は、ＲＦ信号１０２８のエンベロープである。

【０２１５】

ＲＦ信号１０２８のパラメータ１０２６は、デジタルパルス信号１０１０（図１０Ｄ）のデューティサイクルと同期される。例えば、同期信号２０２（図１０Ａ）のサイクル１

の間、パラメータ１０２６は、時間ｔ０において、パラメータレベルＰ３および－Ｐ３のセットからゼロのパラメータレベルへ遷移し、時間ｔ０から時間ｔ６．７５までパラメータレベルゼロに留まり、時間ｔ６．７５においてゼロのパラメータレベルからパラメータレベルＰ３および－Ｐ３のセットへ遷移する。同期信号２０２のサイクル１の間、パラメータ１０２６は、時間ｔ６．７５から時間ｔ１０までパラメータレベルＰ３および－Ｐ３に留まる。同様に、同期信号２０２（図１０Ａ）のサイクル２の間、パラメータ１０２６は、時間ｔ１０において、パラメータレベルＰ３および－Ｐ３からパラメータレベルゼロへ遷移し、時間ｔ１０から時間ｔ１６．７５までゼロのパラメータレベルに留まる。同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ１０２６は、時間ｔ１６．７５において、パラメータレベルゼロからパラメータレベルＰ３および－Ｐ３へ遷移する。また、同期信号２０２のサイクル２の間、パラメータ１０２６は、時間ｔ１６．７５から時間ｔ２０までパラメータレベルＰ３および－Ｐ３に留まる。

【０２１６】

ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号１０２８の状態Ｓ０を規定し、パラメータレベルＰ３および－Ｐ３は、ＲＦ信号１０２８の状態Ｓ１を規定するということに留意されたい。パラメータレベルＰ３は、ＲＦ信号１０２８の電力または電圧の複数の正の値を含み、パラメータレベル－Ｐ３は、ＲＦ信号１０２８の電力または電圧の複数の負の値を含むということにさらに留意されたい。また、１つの実施形態において、ゼロのパラメータレベルは、ＲＦ信号１０２８の電力または電圧の複数の値を含む。例示すると、ＲＦ信号１０２８のパラメータ１０２６のゼロのパラメータレベルは、実質的にゼロである。

【０２１７】

同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、パラメータ１０２６は、パラメータ１０１４と逆同期されるように、パラメータ１０１４の状態と比較して反対の状態を有し、同期信号２０２のサイクルの残りの部分の間、パラメータ１０２６は、パラメータ１０１４の状態と同じ状態を有する。例えば、時間ｔ０～ｔ３．２５の時間期間および時間ｔ６．７５～ｔ１０の時間期間の間、パラメータ１０１４および１０２６は、互いに対して逆同期される。時間ｔ３．２５～ｔ６．７５の時間期間の間、パラメータ１０１４および１０２６は、互いに対して逆同期されない。

【０２１８】

同様に、同期信号２０２の各サイクルの一部分の間、パラメータ１０２６は、パラメータ１０２０と逆同期されるように、パラメータ１０２０の状態と比較して反対の状態を有し、同期信号２０２のサイクルの残りの部分の間、パラメータ１０２６は、パラメータ１０２０の状態と同じ状態を有する。例えば、時間ｔ３．２５～ｔ１０の時間期間の間、パラメータ１０２０および１０２６は、互いに対して逆同期され、時間ｔ０～ｔ３．２５の時間期間の間、パラメータ１０２０および１０２６は、互いに対して逆同期されない。

【０２１９】

１つの実施形態において、時間ｔ０およびｔ１０においてパラメータレベルＰ３および－Ｐ３からゼロのパラメータレベルへ遷移する代わりに、パラメータ１０２６は、時間ｔ０およびｔ１０において、ゼロよりも大きい正のパラメータレベルへ遷移する。例えば、パラメータ１０２６は、各時間ｔ０およびｔ１０において、パラメータレベルＰ３からゼロとＰ３との間の正のパラメータレベルへ、およびパラメータレベル－Ｐ３からゼロと－Ｐ３との間の負のパラメータレベルへ遷移する。パラメータ１０２６は、各時間ｔ６．７５およびｔ１６．７５において、正のパラメータレベルからパラメータレベルＰ３へ、および負のパラメータレベルからパラメータレベル－Ｐ３へ遷移する。パラメータレベルＰ３および－Ｐ３は、ＲＦ信号１０２８の状態Ｓ１を規定し、正および負のパラメータレベルは、ＲＦ信号１０２８の状態Ｓ０を規定する。正のパラメータレベルの１つまたは複数の値は、パラメータレベルＰ３の１つまたは複数の値を含まず、負のパラメータレベルの１つまたは複数の値は、パラメータレベル－Ｐ３の１つまたは複数の値を含まないということに留意されたい。例えば、パラメータレベルＰ３の１つまたは複数の値の最小値は、正のパラメータレベルの１つまたは複数の値の最大値よりも大きく、負のパラメータレベ

ルの１つまたは複数の値の最小値は、パラメータレベル－Ｐ３の１つまたは複数の値の最大値よりも大きい。

【０２２０】

一実施形態において、パラメータ１０２６は、時間ｔ６．７５において遷移する代わりに、時間ｔ６．７５～時間ｔ７．５の時間間隔または時間ｔ６．７５～時間ｔ７の時間間隔など、ある時間期間の間、状態Ｓ０から状態Ｓ１へ遷移する。時間ｔ７．５は、時間ｔ７とｔ８との間の時間期間の半分のところに位置する。同様に、パラメータがある時間において状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する代わりに、パラメータ１０２６は、ある時間期間または時間間隔の間、状態Ｓ１から状態Ｓ０へ遷移する。

【０２２１】

１つの実施形態において、パラメータレベルＰ３は、パラメータレベルＰ２またはパラメータレベルＰ１と同じである。一実施形態において、パラメータレベルＰ３は、パラメータレベルＰ１およびＰ２よりも大きく、パラメータレベル－Ｐ３は、パラメータレベル－Ｐ１および－Ｐ２よりも小さい。１つの実施形態において、パラメータレベルＰ３は、パラメータレベルＰ１およびＰ２よりも小さく、パラメータレベル－Ｐ３は、パラメータレベル－Ｐ１および－Ｐ２よりも大きい。

【０２２２】

一実施形態において、パラメータレベルＰ３は、パラメータレベルＰ１とＰ２との間にあり、パラメータレベル－Ｐ３は、パラメータレベル－Ｐ１と－Ｐ２との間にある。例えば、パラメータレベルＰ３は、パラメータレベルＰ１よりも大きく、パラメータレベルＰ２よりも小さい。また、パラメータレベル－Ｐ３は、パラメータレベル－Ｐ１よりも大きく、パラメータレベル－Ｐ２よりも小さい。別の例として、パラメータレベルＰ３は、パラメータレベルＰ２よりも大きく、パラメータレベルＰ１よりも小さい。また、パラメータレベル－Ｐ３は、パラメータレベル－Ｐ２よりも大きく、パラメータレベル－Ｐ１よりも小さい。

【０２２３】

一実施形態において、パラメータ１０１４、１０２０、および１０２６は、同期信号２０２の各サイクルの間、２回以上パルシングし、パラメータ１０１４、１０２０、および１０２６は、時分割多重化様式でパルシングする。

【０２２４】

図１１は、コンピュータシステム５００の図であり、ＲＦ発生器１０２、１０４、および９０２（図９）の多重化動作の制御について説明するためのユーザインターフェースについて説明するためのものである。動作中、ＣＰＵおよびＧＰＵは、ＲＦ信号１５２、１５６、および９１８（図９）の時分割多重化のための多重化動作を選択するためにグラフィックボタン１１０２を表示するようにディスプレイ画面５０８を制御する。例えば、キーボード５０４または光学マウス５０６を介してユーザからのグラフィックボタン１１０２の選択を受信することに応答して、ＣＰＵは、対応するＲＦ発生器１０２、１０４、および９０２に送信するための、図１０Ｂ～図１０Ｄについて説明されるデューティサイクルを生成する。

【０２２５】

ＲＦ発生器１０４の動作のデューティサイクルは、ＲＦ発生器１０２の動作のデューティサイクルに対して、およびＲＦ発生器９０２の動作のデューティサイクルに対して多重化される。ＲＦ発生器１０２の動作のデューティサイクルは、ＲＦ発生器１０２によって生成されるＲＦ信号１５２のデューティサイクルと同じであり、ＲＦ発生器９０２の動作のデューティサイクルは、ＲＦ発生器９０２によって生成されるＲＦ信号９１８のデューティサイクルと同じであり、ＲＦ発生器１０４の動作のデューティサイクルは、ＲＦ発生器１０４によって生成されるＲＦ信号１５６のデューティサイクルと同じであるということに留意されたい。

【０２２６】

また、ＣＰＵおよびＧＰＵは、ＲＦ発生器１０２、１０４、および９０２のうちの１つ

または２つが、時間ｔ０においてそれらのそれぞれの状態Ｓ１で開始することになるかどうかに関する選択を受信するために、グラフィックボタン１１０４を表示するようにディスプレイ画面５０８を制御する。例えば、グラフィックボタン１１０６の選択を受信することに応答して、ＣＰＵは、時間ｔ０において状態Ｓ１で開始するようにＲＦ発生器１０２を制御することを決定する。別の例として、グラフィックボタン１１０８の選択を受信することに応答して、ＣＰＵは、時間ｔ０において状態Ｓ１で開始するようにＲＦ発生器１０４を制御することを決定する。さらに別の例として、グラフィックボタン１１１０の選択を受信することに応答して、ＣＰＵは、時間ｔ０において状態Ｓ１で開始するようにＲＦ発生器９０２を制御することを決定する。グラフィックボタン１１０６～１１１０のいずれも選択されないとき、ＣＰＵは、時間ｔ０において状態Ｓ０で動作し始めるようにそれぞれのＲＦ発生器１０２、１０４、または９０２を制御することを決定する。ＲＦ発生器１０２または１０４または９０２が時間ｔ０において状態Ｓ１で開始することになるかどうかに関するこの選択は、キーボード５０４または光学マウス５０６を介してユーザから受信される。

【０２２７】

ＣＰＵおよびＧＰＵはまた、ＲＦ発生器１０２、１０４、および９０２のうちの２つ以上のデューティサイクルを受信するために、複数のグラフィックボタン１１１２、１１１４、１１１６、および１１１８を表示するようにディスプレイ画面５０８を制御する。例えば、グラフィックボタン１１１２および１１１４の選択が、キーボード５０４または光学マウス５０６を介してユーザから受信されるとき、ＣＰＵは、ＲＦ発生器１０２の動作の、２５％または３５％または４５％または２８％などの、デューティサイクルの選択を可能にする。同様に、別の例として、グラフィックボタン１１１２および１１１６の選択が、キーボード５０４または光学マウス５０６を介してユーザから受信されるとき、ＣＰＵは、ＲＦ発生器１０４の動作の、２５％または３５％または４５％または２８％などの、デューティサイクルの選択を可能にする。また、グラフィックボタン１１１２および１１１８の選択が、キーボード５０４または光学マウス５０６を介してユーザから受信されるとき、ＣＰＵは、ＲＦ発生器９０２の動作の、２５％または３５％または４５％または２８％などの、デューティサイクルの選択を可能にする。

【０２２８】

グラフィックボタン１１０２、および１１０４、および１１０６、および１１１２、および１１１４の選択を受信することに応答して、レシピ信号１５０（図９）が生成されることに留意されたい。同様に、グラフィックボタン１１０２、および１１０４、および１１０８、および１１１２、および１１１６の選択を受信することに応答して、レシピ信号１５４（図９）が生成される。また、グラフィックボタン１１０２、および１１０４、および１１１０、および１１１２、および１１１８の選択を受信することに応答して、レシピ信号９１６（図９）が生成される。例えば、レシピ信号９１６は、ＲＦ信号９１２を生成するためのＲＦ発生器９０２のデューティサイクルを含む。

【０２２９】

また、レシピ信号９１６は、ＲＦ発生器１０２および１０４の動作と時分割多重化様式で動作させるために、プロセッサ１２２（図１Ａ）からＲＦ発生器９０２への命令を含む。例えば、レシピ信号９１６は、同期信号１６２（図９）の各サイクルの一部分にわたって、ＲＦ発生器１０２の動作と逆同期で動作させるため、および同期信号１６２の各サイクルの残りの部分にわたって、逆同期で動作させないために、プロセッサ１２２（図１Ａ）からＲＦ発生器９０２への命令を含む。また、例において、レシピ信号９１６は、同期信号１６２（図９）の各サイクルの一部分にわたって、ＲＦ発生器１０４の動作と逆同期で動作させるため、および同期信号１６２の各サイクルの残りの部分にわたって、逆同期で動作させないために、プロセッサ１２２（図１Ａ）からＲＦ発生器９０２への命令を含む。

【０２３０】

１つの実施形態において、ＲＦ発生器の状態は、ＲＦ発生器によって生成されるＲＦ信

号の状態と同じである。例えば、ＲＦ発生器１０２、およびＲＦ発生器１０２によって生成されるＲＦ信号１５２の両方は、同期信号１６２の時間期間の間、同じ状態Ｓ１を有するか、または同期信号１６２の残りの時間期間の間、状態Ｓ０を有する。

【０２３１】

図１２は、システム１２００の一実施形態の図であり、ＲＦ発生器１０２、１０４、および９０２の内部構成要素について説明するためのものである。システム１２００は、ＲＦ発生器１０２、１０４、および９０２を含み、マッチ１０８、マッチ９０４、およびマッチ１１０をさらに含む。

【０２３２】

ＲＦ発生器１０２は、デジタル信号プロセッサ（ＤＳＰ）ＤＳＰｘ、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘ、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘ、および周波数制御器ＦＣｘを含む。ＲＦ発生器１０２は、ドライバおよび増幅器システム（ＤＡＳ）１２０８を含む。ＲＦ発生器１０２は、ＲＦ電源１２０２をさらに含む。本明細書に説明されるＲＦ電源の例としては、無線周波数を有する周波信号を生成する電子発振器が挙げられる。デジタル信号プロセッサの例としては、本明細書で使用される場合、マイクロコントローラおよびマイクロプロセッサチップが挙げられる。例示すると、デジタル信号プロセッサは、本明細書に説明されるレシピ情報を格納するための１つまたは複数のメモリキャッシュを含む。また、例として、制御器は、本明細書で使用される場合、プロセッサおよび１つまたは複数のメモリデバイスを含む。制御器のプロセッサは、制御器のメモリデバイスに結合される。

【０２３３】

ドライバおよび増幅器システムは、１つまたは複数のドライバおよび１つの増幅器を含む。１つまたは複数のドライバが、増幅器に結合される。ドライバの例としては、１つまたは複数のトランジスタが挙げられる。

【０２３４】

プロセッサ１２２は、伝送ケーブル１３２を介してデジタル信号プロセッサＤＳＰｘに結合され、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、制御器ＰＷＲＳ１ｘ、ＰＷＲＳ０ｘ、およびＦＣｘに結合される。制御器ＰＷＲＳ１ｘ、ＰＷＲＳ０ｘ、およびＦＣｘは、ＤＡＳ１２０８に結合され、ＤＡＳ１２０８は、ＲＦ電源１２０２に結合される。ＲＦ電源１２０２は、ＲＦケーブル１３８を介してマッチ１０８の入力Ｉ１０８に結合される。

【０２３５】

同様に、ＲＦ発生器９０２は、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙ、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙ、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙ、および周波数制御器ＦＣｙを含む。ＲＦ発生器９０２は、ＤＡＳ１２１０を含む。ＲＦ発生器９０２は、ＲＦ電源１２０４をさらに含む。プロセッサ１２２は、伝送ケーブル９１０を介してデジタル信号プロセッサＤＳＰｙに結合され、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、制御器ＰＷＲＳ１ｙ、ＰＷＲＳ０ｙ、およびＦＣｙに結合される。制御器ＰＷＲＳ１ｙ、ＰＷＲＳ０ｙ、およびＦＣｙは、ＤＡＳ１２１０に結合され、ＤＡＳ１２１０は、ＲＦ電源１２０４に結合される。ＲＦ電源１２０４は、ＲＦケーブル９１２を介してマッチ９０４の入力Ｉ９０４に結合される。

【０２３６】

また、ＲＦ発生器１０４は、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚ、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚ、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚ、および周波数制御器ＦＣｚを含む。ＲＦ発生器１０４は、ＤＡＳ１２１２を含む。ＲＦ発生器１０４は、ＲＦ電源１２０６をさらに含む。プロセッサ１２２は、伝送ケーブル１３４を介してデジタル信号プロセッサＤＳＰｚに結合され、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、制御器ＰＷＲＳ１ｚ、ＰＷＲＳ０ｚ、およびＦＣｚに結合される。制御器ＰＷＲＳ１ｚ、ＰＷＲＳ０ｚ、およびＦＣｚは、ＤＡＳ１２１２に結合され、ＤＡＳ１２１２は、ＲＦ電源１２０６に結合される。ＲＦ電源１２０６は、ＲＦケーブル１４０を介してマッチ１１０の入力Ｉ１１０に結合される。

【０２３７】

動作中、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、プロセッサ１２２から伝送ケーブル１３２を介してレシピ信号１５０を受信し、レシピ信号１５０から、パラメータ制御器ＰＷＲ

Ｓ１ｘに送信されるべきレシピ情報、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘに送信されるべきレシピ情報、および周波数制御器ＦＣｘに送信されるべきレシピ情報を識別する。例えば、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、レシピ信号１５０から、ＲＦ電源１２０２によって生成されるべきＲＦ信号１５２の状態Ｓ１のためのパラメータレベルが、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘに送信されることになるということを識別する。デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、レシピ信号１５０から、ＲＦ電源１２０２によって生成されるべきＲＦ信号１５２の状態Ｓ０のためのパラメータレベルが、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘに送信されることになるということをさらに識別する。また、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、レシピ信号１５０から、ＲＦ信号１５２のパラメータの状態Ｓ０およびＳ１の周波数レベルが、周波数制御器ＦＣｘに送信されることになるということを識別する。例として、ＲＦ信号の周波数レベルは、ＲＦ信号の１つまたは複数の周波数値を含む。周波数レベルの１つまたは複数の周波数値は、互いから±５％以内などの既定の範囲内にある。

【０２３８】

また、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、レシピ信号１５０から、ＲＦ信号１５２のパラメータの状態Ｓ１のためのデューティサイクル、および同期信号１６２のサイクルの間デューティサイクルをいくつかの時間間隔に分けるための時間間隔の識別が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘに送信されることになるということを識別する。例示すると、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、レシピ信号１５０から、パラメータ４１０（図４Ｄ）のデューティサイクルが、図４Ｄについて説明されるように、時間ｔ０～ｔ２の第１の時間間隔および時間ｔ５～ｔ７．５の第２の時間間隔に分けられることになるということを識別する。

【０２３９】

例を用いてさらに続けると、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘのためのレシピ信号１５２内で識別されるレシピ情報をパラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘに送信する。パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘの１つまたは複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｘから受信されたレシピ情報を格納する。

【０２４０】

また、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘのためのレシピ信号１５２内で識別されるレシピ情報をパラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘに送信する。パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘの１つまたは複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｘから受信されたレシピ情報を格納する。さらに、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、周波数制御器ＦＣｘのためのレシピ信号１５２内で識別されるレシピ情報を周波数制御器ＦＣｘに送信する。周波数制御器ＦＣｘは、周波数制御器ＦＣｘの１つまたは複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｘから受信されたレシピ情報を格納する。

【０２４１】

伝送ケーブル１３２を介してプロセッサ１２２から同期信号１６２を受信すると、デジタル信号プロセッサＤＳＰｘは、同期信号１６２を制御器ＰＷＲＳ１ｘ、ＰＷＲＳ０ｘ、およびＦＣｘに送信する。同期信号１６２を受信することに応答して、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘは、同期信号１６２のサイクルごとに、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ１のパラメータレベルおよび状態Ｓ１のデューティサイクルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２０８に送信する。また、同期信号１６２の受信に応答して、周波数制御器ＦＣｘは、同期信号１６２のサイクルごとに、ＲＦ信号１５２の周波数レベルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２０８に送信する。

【０２４２】

命令が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｘおよび周波数制御器ＦＣｘから受信されるとき、ＤＡＳ１２０８は、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ１のためのパラメータレベルに基づいて、および状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間にわたって周波数制御器ＦＣｘから受信される周波数レベルに基づいて、電流信号１２１４を生成し、電流信号

１２１４をＲＦ電源１２０２に送信する。ＲＦ信号１５２の状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間は、同期信号１６２の各サイクルの１つまたは複数の時間期間の間に発生する。電流信号１２１４が受信される、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間の間、ＲＦ電源１２０２は、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ１のパラメータレベルおよびＲＦ信号１５２の周波数レベルを有するＲＦ信号１５２を生成する。

【０２４３】

ＤＡＳ１２０８は、同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間にわたって、電流信号１２１４を生成しないということに留意されたい。同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間は、ＲＦ信号１５２のパラメータの状態Ｓ０に相当する。電流信号１２１４が受信されないとき、ＲＦ電源１２０２は、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ１のパラメータレベルおよびＲＦ信号１５２の周波数レベルを生成しない。

【０２４４】

代わりに、同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間の間、同期信号１６２を受信することに応答して、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘは、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ０のパラメータレベルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２０８に送信する。命令が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｘおよび周波数制御器ＦＣｘから受信されるとき、ＤＡＳ１２０８は、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ０のためのパラメータレベルに基づいて、および同期信号１６２の各サイクルの残りの時間期間にわたって周波数制御器ＦＣｘから受信される周波数レベルに基づいて、電流信号１２１６を生成し、電流信号１２１６をＲＦ電源１２０２に送信する。電流信号１２１６が受信される、同期信号１６２の各サイクルの残りの時間期間の間、ＲＦ電源１２０２は、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ０のパラメータレベルおよびＲＦ信号１５２の周波数レベルを有するＲＦ信号１５２を生成する。

【０２４５】

ＤＡＳ１２０８は、同期信号１６２の各サイクルの間、ＲＦ信号１５２のパラメータの状態Ｓ１に相当する１つまたは複数の時間期間にわたって電流信号１２１６を生成しないということに留意されたい。電流信号１２１６が受信されないとき、ＲＦ電源１２０２は、ＲＦ信号１５２の状態Ｓ０のパラメータレベルおよびＲＦ信号１５２の周波数レベルを生成しない。

【０２４６】

同様に、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、プロセッサ１２２から伝送ケーブル９１０を介してレシピ信号９１６を受信し、レシピ信号９１６から、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙに送信されるべきレシピ情報、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙに送信されるべきレシピ情報、および周波数制御器ＦＣｙに送信されるべきレシピ情報を識別する。例えば、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、レシピ信号９１６から、ＲＦ電源１２０４によって生成されるべきＲＦ信号９１８の状態Ｓ１のためのパラメータレベルが、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙに送信されることになるということを識別する。デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、レシピ信号９１６から、ＲＦ電源１２０４によって生成されるべきＲＦ信号９１６の状態Ｓ０のためのパラメータレベルが、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙに送信されることになるということをさらに識別する。また、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、レシピ信号９１６から、ＲＦ信号９１８のパラメータの状態Ｓ０およびＳ１の周波数レベルが、周波数制御器ＦＣｙに送信されることになるということを識別する。

【０２４７】

また、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、レシピ信号９１６から、ＲＦ信号９１８のパラメータの状態Ｓ１のためのデューティサイクル、および同期信号１６２のサイクルの間デューティサイクルをいくつかの時間間隔に分けるための時間間隔の識別が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙに送信されることになるということを識別する。例を用いてさらに続けると、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙのためのレシピ信号９１８内で識別されるレシピ情報をパラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙに送信する。パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙの１つ

または複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｙから受信されたレシピ情報を格納する。

【０２４８】

また、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙのためのレシピ信号９１６内で識別されるレシピ情報をパラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙに送信する。パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙの１つまたは複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｙから受信されたレシピ情報を格納する。さらに、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、周波数制御器ＦＣｙのためのレシピ信号９１６内で識別されるレシピ情報を周波数制御器ＦＣｙに送信する。周波数制御器ＦＣｙは、周波数制御器ＦＣｙの１つまたは複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｙから受信されたレシピ情報を格納する。

【０２４９】

伝送ケーブル９１０を介してプロセッサ１２２から同期信号１６２を受信すると、デジタル信号プロセッサＤＳＰｙは、同期信号１６２を制御器ＰＷＲＳ１ｙ、ＰＷＲＳ０ｙ、およびＦＣｙに送信する。同期信号１６２を受信することに応答して、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙは、同期信号１６２のサイクルごとに、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ１のパラメータレベルおよび状態Ｓ１のデューティサイクルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２１０に送信する。また、同期信号１６２の受信に応答して、周波数制御器ＦＣｙは、同期信号１６２のサイクルごとに、ＲＦ信号９１８の周波数レベルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２１０に送信する。

【０２５０】

命令が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｙおよび周波数制御器ＦＣｙから受信されるとき、ＤＡＳ１２１０は、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ１のためのパラメータレベルに基づいて、および状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間にわたって周波数制御器ＦＣｙから受信される周波数レベルに基づいて、電流信号１２１８を生成し、電流信号１２１８をＲＦ電源１２０４に送信する。ＲＦ信号９１８の状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間は、同期信号１６２の各サイクルの１つまたは複数の時間期間の間に発生する。電流信号１２１８が受信される、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間の間、ＲＦ電源１２０４は、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ１のパラメータレベルおよびＲＦ信号９１８の周波数レベルを有するＲＦ信号９１８を生成する。

【０２５１】

ＤＡＳ１２１０は、同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間にわたって、電流信号１２１８を生成しないということに留意されたい。同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間は、ＲＦ信号９１８のパラメータの状態Ｓ０に相当する。電流信号１２１８が受信されないとき、ＲＦ電源１２０４は、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ１のパラメータレベルおよびＲＦ信号９１８の周波数レベルを生成しない。代わりに、同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間の間、同期信号１６２を受信することに応答して、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙは、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ０のパラメータレベルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２１０に送信する。

【０２５２】

命令が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｙおよび周波数制御器ＦＣｙから受信されるとき、ＤＡＳ１２１０は、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ０のためのパラメータレベルに基づいて、および同期信号１６２の各サイクルの残りの時間期間にわたって周波数制御器ＦＣｙから受信される周波数レベルに基づいて、電流信号１２２０を生成し、電流信号１２２０をＲＦ電源１２０４に送信する。電流信号１２２０が受信される、同期信号１６２の各サイクルの残りの時間期間の間、ＲＦ電源１２０４は、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ０のパラメータレベルおよびＲＦ信号９１８の周波数レベルを有するＲＦ信号９１８を生成する。

【０２５３】

ＤＡＳ１２１０は、同期信号１６２の各サイクルの間、ＲＦ信号９１８のパラメータの

状態Ｓ１に相当する１つまたは複数の時間期間にわたって電流信号１２２０を生成しないということに留意されたい。電流信号１２２０が受信されないとき、ＲＦ電源１２０４は、ＲＦ信号９１８の状態Ｓ０のパラメータレベルおよびＲＦ信号９１８の周波数レベルを生成しない。

【０２５４】

また、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、プロセッサ１２２から伝送ケーブル１３４を介してレシピ信号１５８を受信し、レシピ信号１５８から、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚに送信されるべきレシピ情報、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚに送信されるべきレシピ情報、および周波数制御器ＦＣｚに送信されるべきレシピ情報を識別する。例えば、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、レシピ信号１５８から、ＲＦ電源１２０６によって生成されるべきＲＦ信号１５６の状態Ｓ１のためのパラメータレベルが、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚに送信されることになるということを識別する。デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、レシピ信号１５８から、ＲＦ電源１２０６によって生成されるべきＲＦ信号１５６の状態Ｓ０のためのパラメータレベルが、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚに送信されることになるということをさらに識別する。また、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、レシピ信号１５８から、ＲＦ信号１５６のパラメータの状態Ｓ０およびＳ１の周波数レベルが、周波数制御器ＦＣｚに送信されることになるということを識別する。

【０２５５】

また、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、レシピ信号１５８から、ＲＦ信号１５６のパラメータの状態Ｓ１のためのデューティサイクル、および同期信号１６２のサイクルの間デューティサイクルをいくつかの時間間隔に分けるための時間間隔の識別が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚに送信されることになるということを識別する。例を用いてさらに続けると、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚのためのレシピ信号１５８内で識別されるレシピ情報をパラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚに送信する。パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚの１つまたは複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｚから受信されたレシピ情報を格納する。

【０２５６】

また、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚのためのレシピ信号１５８内で識別されるレシピ情報をパラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚに送信する。パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚは、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚの１つまたは複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｚから受信されたレシピ情報を格納する。さらに、例において、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、周波数制御器ＦＣｚのためのレシピ信号１５８内で識別されるレシピ情報を周波数制御器ＦＣｚに送信する。周波数制御器ＦＣｚは、周波数制御器ＦＣｚの１つまたは複数のメモリデバイス内にデジタル信号プロセッサＤＳＰｚから受信されたレシピ情報を格納する。

【０２５７】

伝送ケーブル１３４を介してプロセッサ１２２から同期信号１６２を受信すると、デジタル信号プロセッサＤＳＰｚは、同期信号１６２を制御器ＰＷＲＳ１ｚ、ＰＷＲＳ０ｚ、およびＦＣｚに送信する。同期信号１６２を受信することに応答して、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚは、同期信号１６２のサイクルごとに、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ１のパラメータレベルおよび状態Ｓ１のデューティサイクルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２１２に送信する。また、同期信号１６２の受信に応答して、周波数制御器ＦＣｚは、同期信号１６２のサイクルごとに、ＲＦ信号１５６の周波数レベルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２１２に送信する。

【０２５８】

命令が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ１ｚおよび周波数制御器ＦＣｚから受信されるとき、ＤＡＳ１２１２は、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ１のためのパラメータレベルに基づいて、および状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間にわたって周波数制御器ＦＣｚから受信される周波数レベルに基づいて、電流信号１２２２を生成し、電流信号

１２２２をＲＦ電源１２０６に送信する。ＲＦ信号１５６の状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間は、同期信号１６２の各サイクルの１つまたは複数の時間期間の間に発生する。電流信号１２２２が受信される、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ１のデューティサイクルの１つまたは複数の時間期間の間、ＲＦ電源１２０６は、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ１のパラメータレベルおよびＲＦ信号１５６の周波数レベルを有するＲＦ信号１５６を生成する。

【０２５９】

ＤＡＳ１２１２は、同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間にわたって、電流信号１２２２を生成しないということに留意されたい。同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間は、ＲＦ信号１５６のパラメータの状態Ｓ０に相当する。電流信号１２２２が受信されないとき、ＲＦ電源１２０６は、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ１のパラメータレベルおよびＲＦ信号１５６の周波数レベルを生成しない。代わりに、同期信号１６２の各サイクルの間の残りの時間期間の間、同期信号１６２を受信することに応答して、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚは、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ０のパラメータレベルを含む命令を生成して、ＤＡＳ１２１２に送信する。

【０２６０】

命令が、パラメータ制御器ＰＷＲＳ０ｚおよび周波数制御器ＦＣｙから受信されるとき、ＤＡＳ１２１２は、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ０のためのパラメータレベルに基づいて、および同期信号１６２の各サイクルの残りの時間期間にわたって周波数制御器ＦＣｚから受信される周波数レベルに基づいて、電流信号１２２４を生成し、電流信号１２２４をＲＦ電源１２０６に送信する。電流信号１２２４が受信される、同期信号１６２の各サイクルの残りの時間期間の間、ＲＦ電源１２０６は、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ０のパラメータレベルおよびＲＦ信号１５６の周波数レベルを有するＲＦ信号１５６を生成する。

【０２６１】

ＤＡＳ１２１２は、同期信号１６２の各サイクルの間、ＲＦ信号１５６のパラメータの状態Ｓ１に相当する１つまたは複数の時間期間にわたって電流信号１２２４を生成しないということに留意されたい。電流信号１２２４が受信されないとき、ＲＦ電源１２０６は、ＲＦ信号１５６の状態Ｓ０のパラメータレベルおよびＲＦ信号１５６の周波数レベルを生成しない。

【０２６２】

ＲＦ信号のパラメータの状態Ｓ０の間のＲＦ信号１５２、９１８、および１５６のいずれかのパラメータレベルが、ゼロである場合、電流信号１２１６、１２２０、および１２２４は生成されないということに留意されたい。電流信号１２１６が、ＲＦ信号１５２のパラメータの状態Ｓ０の間、生成されないとき、ＲＦ電源１２０２は、ＲＦ信号１５２を生成しない。同様に、電流信号１２２０が、ＲＦ信号９１８のパラメータの状態Ｓ０の間、生成されないとき、ＲＦ電源１２０４は、ＲＦ信号９１８を生成しない。また、電流信号１２２４が、ＲＦ信号１５６のパラメータの状態Ｓ０の間、生成されないとき、ＲＦ電源１２０６は、ＲＦ信号１５６を生成しない。

【０２６３】

本明細書に説明される実施形態は、ハンドヘルドハードウェアユニット、マイクロプロセッサシステム、マイクロプロセッサベースまたはプログラム可能な家電製品、ミニコンピュータ、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り実践され得る。実施形態はまた、ネットワークを通じてリンクされる遠隔処理ハードウェアユニットによってタスクが実施される分散コンピューティング環境において実践され得る。

【０２６４】

いくつかの実施形態において、制御器は、上記の例の一部であり得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（複数可）、チャンバ（複数可）、処理のためのプラットフォーム（複数可）、および／または特定の処理構成要素（ウエハ土台、ガス流システムなど）を含む、半導体処理設備を含む。これらのシステムは、それらの動作を

、半導体ウエハまたは基板の処理前、処理中、および処理後に制御するための電子機器と統合される。電子機器は、「制御器」と称され、これが、システム（複数可）の様々な構成要素または副部品を制御し得る。制御器は、処理要件および／またはシステムのタイプに応じて、プロセスガスの送達、温度設定（例えば、加熱および／または冷却）、圧力設定、真空設定、電力設定、ＲＦ発生器設定、ＲＦ整合回路設定、周波数設定、流量設定、流体送達設定、位置および動作設定、ツール内外へのウエハ移動、ならびに／またはシステムに結合されるかこれと連動する他のツールおよび／もしくはロードロックを含む、本明細書に開示されるプロセスのいずれかを制御するようにプログラムされる。

【０２６５】

大まかに言うと、様々な実施形態において、制御器は、命令を受信する、命令を出す、動作を制御する、洗浄動作を有効にする、エンドポイント測定を有効にするなどのことを行う様々な集積回路、論理、メモリ、および／またはソフトウェアを有する電子機器と定義される。集積回路は、プログラム命令を格納するファームウェアの形態にあるチップ、デジタル信号プロセッサ（ＤＳＰ）、ＡＳＩＣ、ＰＬＤ、および／もしくは１つもしくは複数のマイクロプロセッサとして規定されるチップ、またはプログラム命令（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、半導体ウエハに対するもしくはこれのための、またはシステムに対する特定のプロセスを実行するためのパラメータ、因子、変数などを規定する様々な個々の設定（またはプログラムファイル）の形態で制御器に通信される命令である。プログラム命令は、いくつかの実施形態において、１つまたは複数の層、材料、金属、酸化物、ケイ素、二酸化ケイ素、表面、回路、および／またはウエハのダイの製作中に１つまたは複数の処理ステップを完了するためにプロセスエンジニアによって規定されるレシピの一部である。

【０２６６】

制御器は、いくつかの実施形態において、システムと統合される、システムに結合される、別途システムにネットワーク接続される、またはそれらの組み合わせであるコンピュータの一部分であるか、またはこれに結合される。例えば、制御器は、「クラウド」内、または、ウエハ処理の遠隔アクセスを可能にする製造工場ホストコンピュータシステムのすべてもしくは一部の中にある。コンピュータは、現在の処理のパラメータを変更するため、現在の処理の後に続く処理ステップを設定するため、または新規プロセスを開始するために、システムへの遠隔アクセスを可能にして製作動作の進捗状況を監視し、過去の製作動作の履歴を調べ、複数の製作動作から傾向または性能測定基準を調べる。

【０２６７】

いくつかの実施形態において、リモートコンピュータ（例えば、サーバ）が、ローカルネットワークまたはインターネットを含むネットワークを通じて、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、パラメータおよび／または設定の入力またはプログラミングを可能にするユーザインターフェースを含み、これらのパラメータおよび／または設定は、その後、リモートコンピュータからシステムへ通信される。いくつかの例において、制御器は、データの形態で命令を受信し、これが、１つまたは複数の動作中に実施されることになる処理ステップの各々のためのパラメータ、因子、および／または変数を指定する。パラメータ、因子、および／または変数は、実施されるべきプロセスのタイプ、および制御器が連携するまたは制御するように構成されるツールのタイプに特有であるということを理解されたい。故に、上に説明されるように、制御器は、互いにネットワーク接続され、本明細書に説明されるプロセスまたは制御などの共通目的に向けて取り組む１つまたは複数の個別制御器を含むことなどによって、分散される。そのような目的のための分散型制御器の例としては、合同してチャンバ上でプロセスを制御する、遠隔に位置する（プラットフォームレベルに、またはリモートコンピュータの一部として、など）１つまたは複数の集積回路と通信状態にあるチャンバ上の１つまたは複数の集積回路が挙げられる。

【０２６８】

限定することなく、様々な実施形態において、本明細書に説明される方法が適用される

例となるシステムとしては、プラズマエッチングチャンバまたはモジュール、堆積チャンバまたはモジュール、スピン－リンスチャンバまたはモジュール、金属めっきチャンバまたはモジュール、洗浄チャンバまたはモジュール、斜縁エッチングチャンバまたはモジュール、物理蒸着（ＰＶＤ）チャンバまたはモジュール、化学蒸着（ＣＶＤ）チャンバまたはモジュール、原子層堆積（ＡＬＤ）チャンバまたはモジュール、原子層エッチング（ＡＬＥ）チャンバまたはモジュール、イオン注入チャンバまたはモジュール、トラックチャンバまたはモジュール、ならびに半導体ウエハの製作および／または製造に関連または使用される任意の他の半導体処理システムが挙げられる。

【０２６９】

いくつかの実施形態において、上述の動作は、いくつかのタイプのプラズマチャンバ、例えば、容量結合プラズマ（ＣＣＰ）リアクタを含むプラズマチャンバ、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、導体ツール、誘電ツール、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などに当てはまるということにさらに留意されたい。例えば、１つまたは複数のＲＦ発生器は、ＩＣＰリアクタ内のインダクタに結合される。インダクタの形状の例としては、ソレノイド、ドーム状コイル、平形コイルなどが挙げられる。

【０２７０】

上に記されるように、ツールによって実施されることになるプロセスステップ（複数可）に応じて、ホストコンピュータは、他のツール回路もしくはモジュール、他のツール構成要素、クラスタツール、他のツールインターフェース、隣接ツール、近傍ツール、工場全体にわたって位置するツール、メインコンピュータ、制御器、または、半導体製造工場内のツールの場所および／もしくはロードポートへ、またはそこからウエハのコンテナを運ぶ材料輸送に使用されるツール、のうちの１つまたは複数と通信する。

【０２７１】

上の実施形態を念頭に、実施形態のうちのいくつかは、コンピュータシステムに格納されるデータに関与する様々なコンピュータ実施動作に従事するということを理解されたい。これらの動作は、物理量を物理的に操作するものである。実施形態の一部を形成する本明細書に説明される動作のいずれかは、有用な機械動作である。

【０２７２】

実施形態のうちのいくつかはまた、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関する。本装置は、特殊目的コンピュータのために特別に構築される。特殊目的コンピュータと定義されるとき、コンピュータは、特殊目的のために依然として動作することができると同時に、特殊目的の一部ではない他の処理、プログラム実行、またはルーチンを実施する。

【０２７３】

いくつかの実施形態において、動作は、コンピュータメモリ、キャッシュ内に格納されるか、またはコンピュータネットワークを通じて獲得される１つまたは複数のコンピュータプログラムによって選択的に活性化または構成されるコンピュータによって処理され得る。データがコンピュータネットワークを通じて獲得されるとき、データは、コンピュータネットワーク、例えば、コンピューティングリソースのクラウド上の、他のコンピュータによって処理され得る。

【０２７４】

１つまたは複数の実施形態はまた、非一時的なコンピュータ可読媒体上のコンピュータ可読コードとして組み立てられ得る。非一時的なコンピュータ可読媒体は、データを格納する任意のデータストレージハードウェアユニット、例えば、メモリデバイスなどであり、コンピュータシステムによってその後読み出される。非一時的なコンピュータ可読媒体の例としては、ハードドライブ、ネットワーク接続ストレージ（ＮＡＳ）、ＲＯＭ、ＲＡＭ、コンパクトディスク－ＲＯＭ（ＣＤ－ＲＯＭ）、書き込み可能なＣＤ（ＣＤ－Ｒ）、書き換え可能なＣＤ（ＣＤ－ＲＷ）、磁気テープ、ならびに他の光学および非光学データストレージハードウェアユニットが挙げられる。いくつかの実施形態において、非一時的

な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形式で格納および実行されるように、ネットワーク結合されたコンピュータシステムにわたって分散されるコンピュータ可読有形媒体を含む。

【０２７５】

上の方法動作は、特定の順序で説明されているが、様々な実施形態において、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、それらがわずかに異なる時間に発生するように調節されるか、もしくは様々な間隔での方法の動作の発生を可能にするシステム内に分散されるか、もしくは上に説明されるものとは異なる順序で実施されることを理解されたい。

【０２７６】

一実施形態において、上に説明される任意の実施形態からの１つまたは複数の特徴部は、本開示に説明される様々な実施形態において説明される範囲から逸脱することなく、任意の他の実施形態の１つまたは複数の特徴部と組み合わされるということにもさらに留意されたい。

【０２７７】

先述の実施形態は、理解の明確さの目的のためにいくらか詳しく説明されているが、特定の変更および修正が、添付の特許請求の範囲内で実践され得ることは明らかである。したがって、本実施形態は、例示的であり、制限的ではないと解釈されるものとし、本実施形態は、本明細書に与えられる詳細事項に限定されないものとする。

【図面】

【図１Ａ】

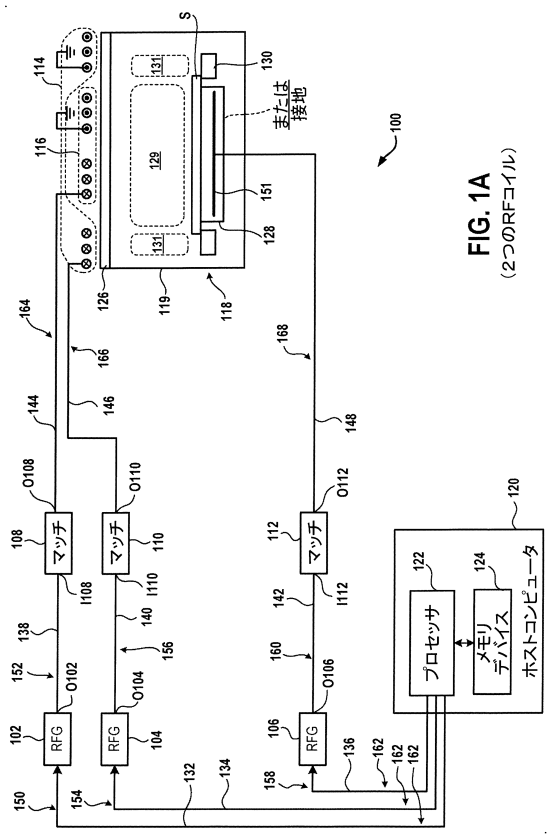


FIG. 1A
（2つのRFコイル）

【図１Ｂ】

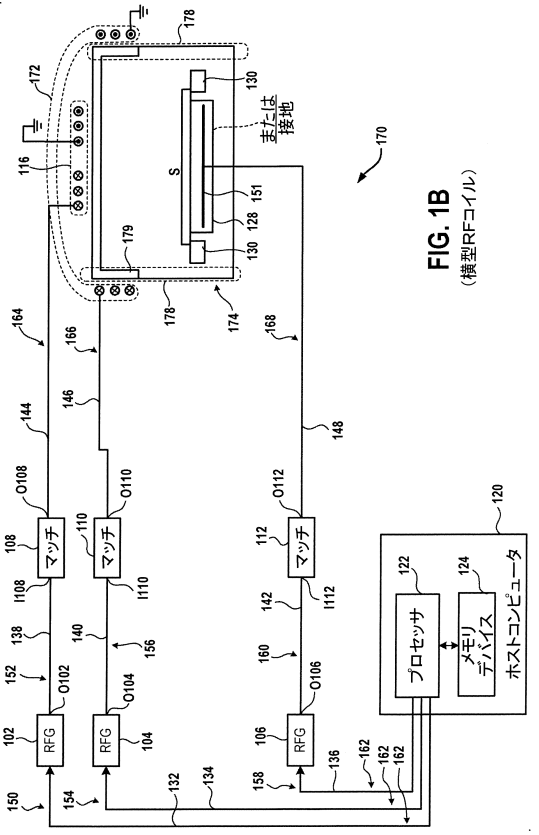


FIG. 1B
（横型RFコイル）

【図２Ａ】

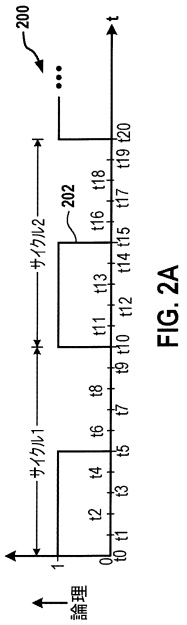


FIG. 2A

【図２Ｂ】

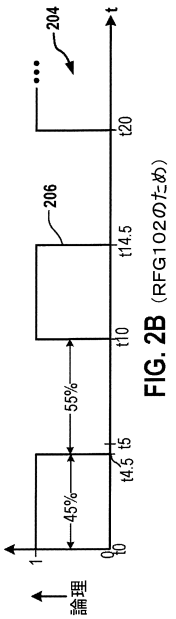


FIG. 2B (RFG102のため)

【図２Ｃ】

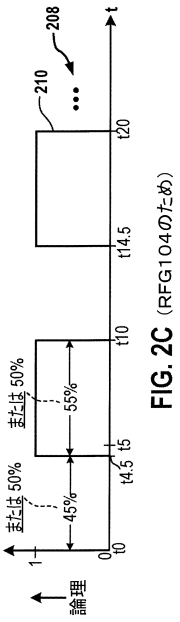


FIG. 2C (RFG104のため)

【図２Ｄ】

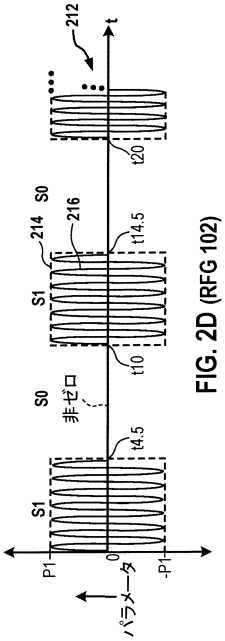


FIG. 2D (RFG 102)

【図２Ｅ】

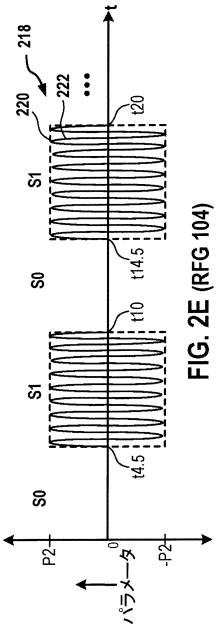


FIG. 2E (RFG 104)

【図３Ａ】

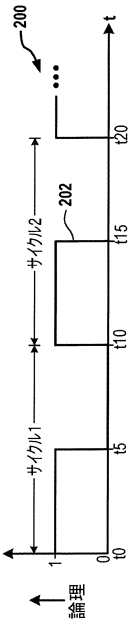


FIG. 3A

【図３Ｂ】

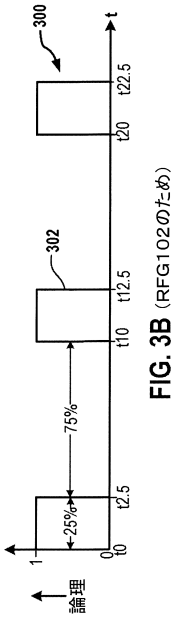


FIG. 3B (RFG102のため)

【図３Ｃ】

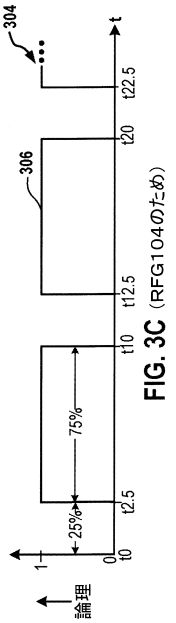


FIG. 3C (RFG104のため)

【図３Ｄ】

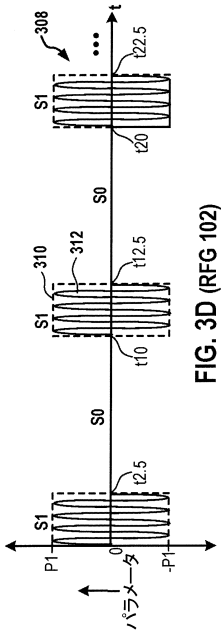


FIG. 3D (RFG 102)

【図３Ｅ】

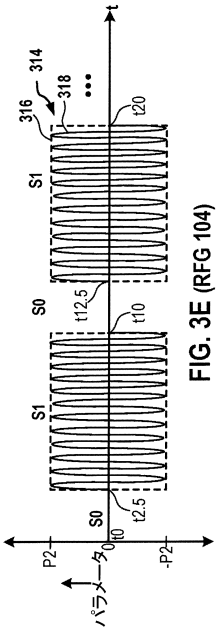


FIG. 3E (RFG 104)

【図４Ａ】

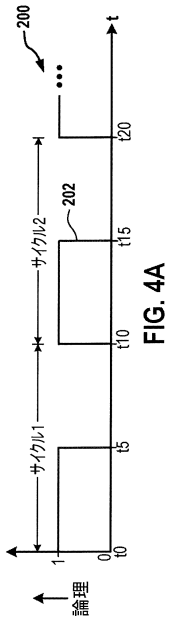


FIG. 4A

【図４Ｂ】

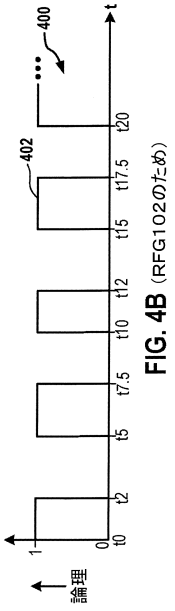


FIG. 4B (RFG102のため)

【図４Ｃ】

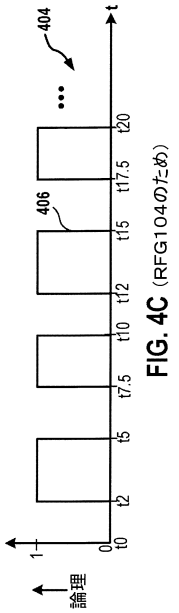


FIG. 4C (RFG104のため)

【図４Ｄ】

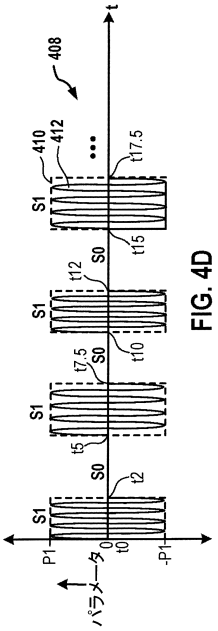


FIG. 4D

【図４Ｅ】

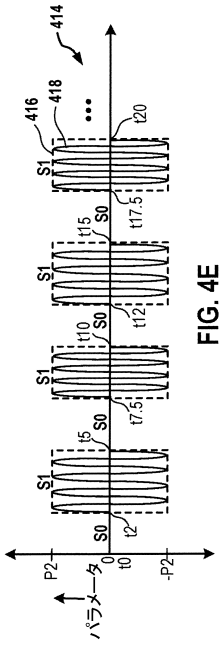


FIG. 4E

【図５】

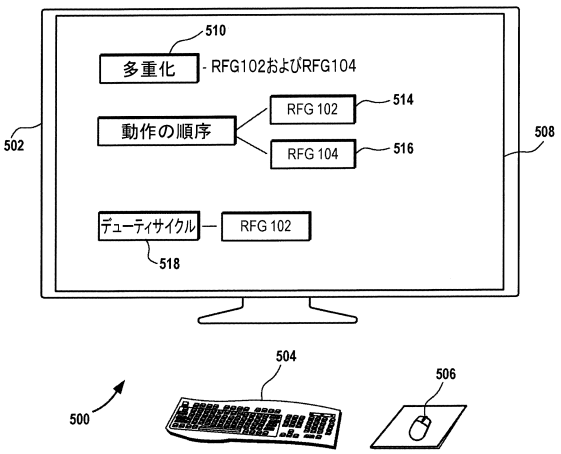


FIG. 5

【図６Ａ】

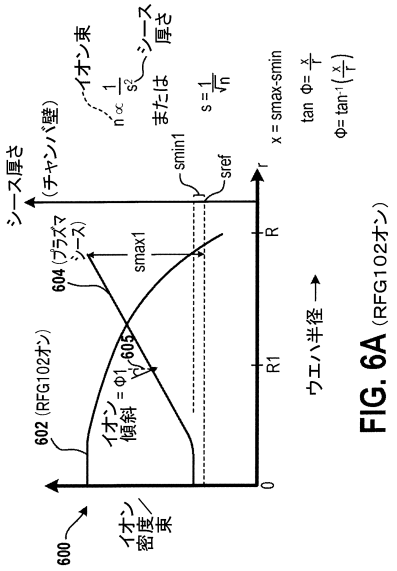


FIG. 6A (RFG102オン)

【図６Ｂ】

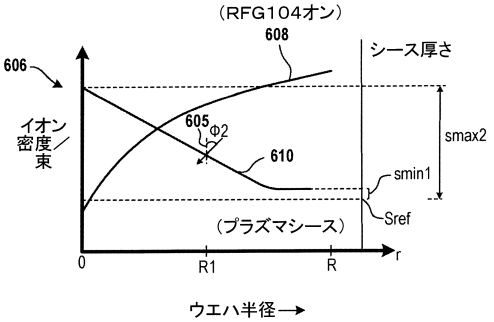


FIG. 6B (RFG104オン)

【図６Ｃ】

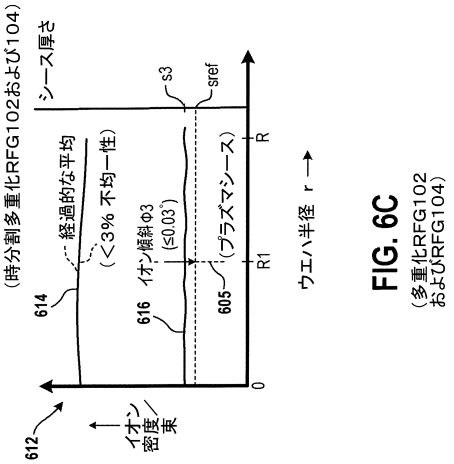


FIG. 6C
(多重化RFG102
およびRFG104)

【図７Ａ】

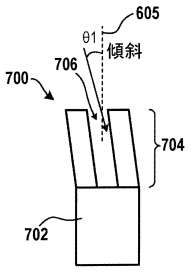


FIG. 7A
(RFGが
同時にオン)

【図７Ｂ】

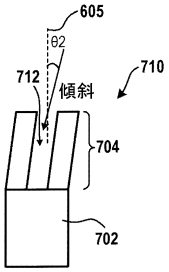


FIG. 7B
（RFGが
同時にオン）

【図７Ｃ】

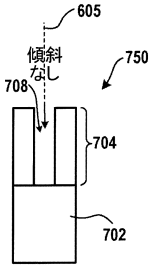


FIG. 7C
（RFG102を
RFG104と
多重化）

【図８】

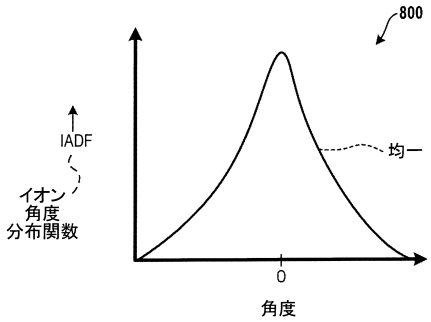


FIG. 8
（RFG102を
RFG104と多重化）

【図９】

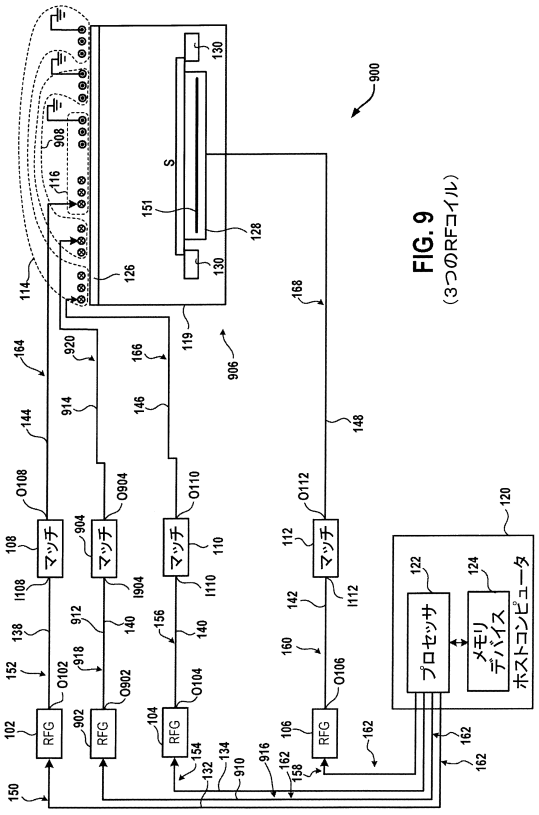


FIG. 9
（3つのRFコイル）

【図１０Ａ】

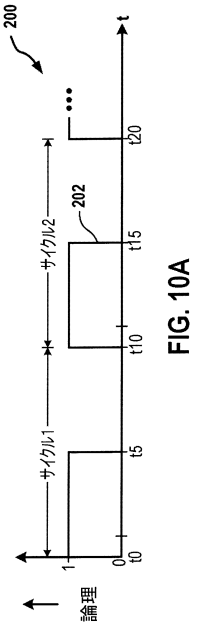


FIG. 10A

【図１０Ｂ】

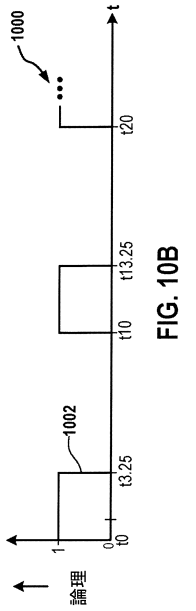


FIG. 10B

【図１０Ｃ】

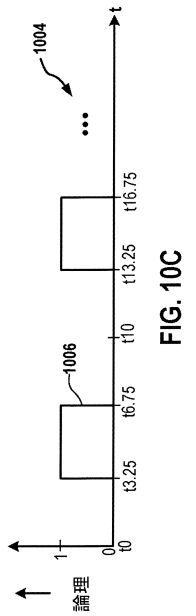


FIG. 10C

【図１０Ｄ】

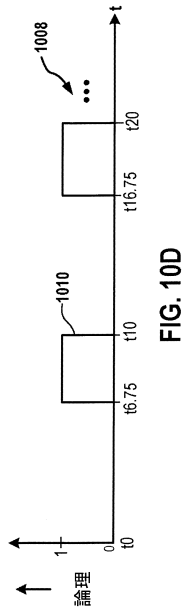


FIG. 10D

【図１０Ｅ】

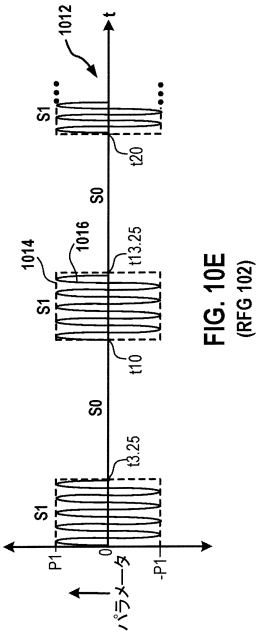


FIG. 10E
(RFG 102)

【図１０Ｆ】

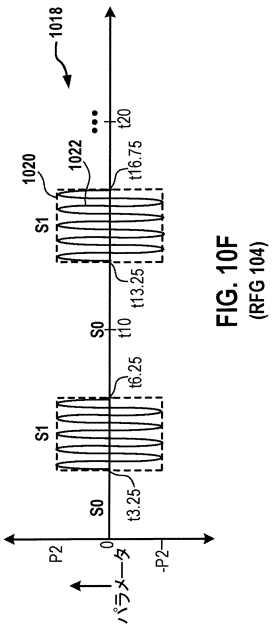


FIG. 10F
(RFG 104)

【図１０Ｇ】

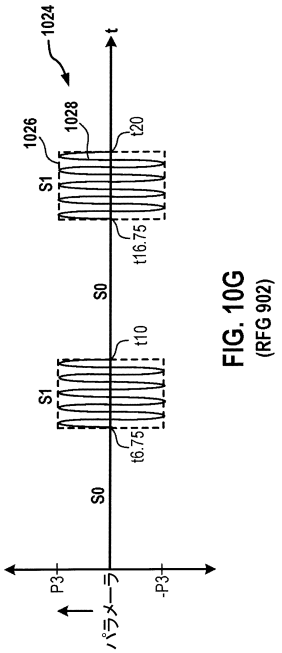


FIG. 10G
(RFG 902)

【図１１】

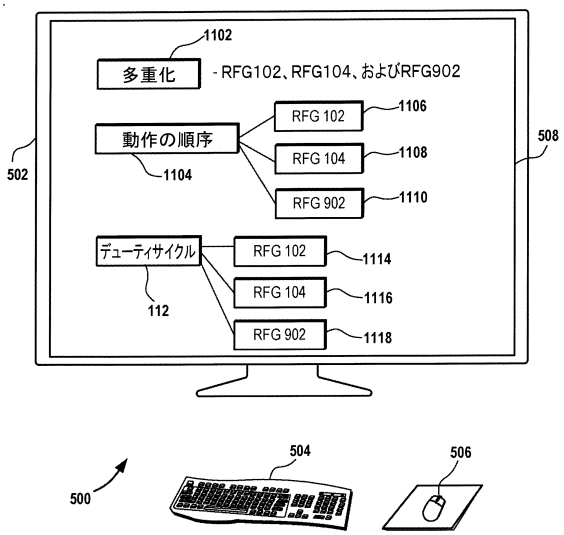


FIG. 11

【図１２】

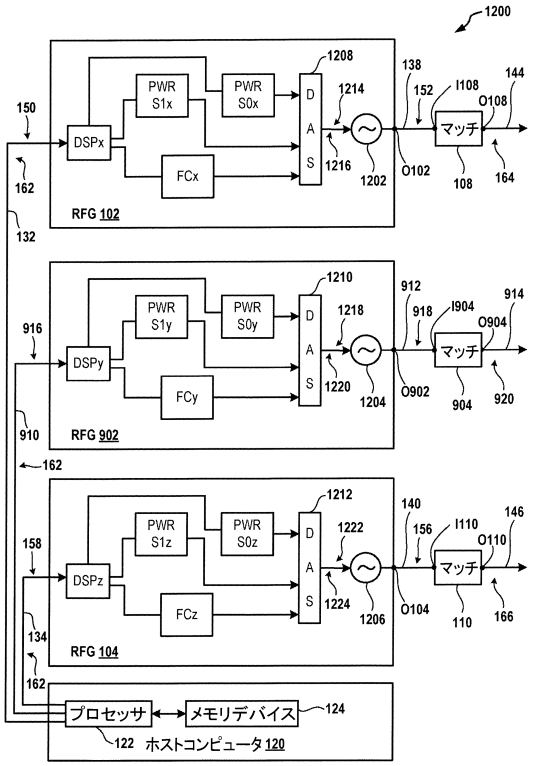

1200
1208
138
144
150
PWR S1x
PWR S0x
D A S
1214
152
I108
O108
DSPx
マッチ
FCx
1216
1202
O102
108
164
162
RFG 102
132
1210
912
914
916
PWR S1y
PWR S0y
1218
918
I904
O904
DSPy
マッチ
FCy
1220
1204
O902
904
920
910
RFG 902
162
1212
140
146
158
PWR S1z
PWR S0z
1222
156
I110
O110
DSPz
マッチ
FCz
1224
1206
O104
110
166
134
RFG 104
162
プロセッサ
メモリデバイス
124
122
ホストコンピュータ 120

FIG. 12

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2021/040155

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(2006.01); C23C 16/455(2006.01); C23C 16/509(2006.01); C23F 1/08(2006.01); H05B 33/00(2006.01); H05H 1/46(2006.01)

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)

eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: coil, pulse, reverse, parameter, synchronization

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 103476196 A (ADVANCED MICRO-FABRICATION EQUIPMENT INC.) 25 December 2013 (2013-12-25) See paragraphs 7, 46-65, claim 2, and figures 3, 5-6.	1-20
A	WO 2014-151895 A2 (PLASMANANO CORPORATION) 25 September 2014 (2014-09-25) See page 22, lines 3-16, and figure 6A.	1-20
A	US 2013-0106286 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 02 May 2013 (2013-05-02) See paragraphs 20-23, and figure 1.	1-20
A	US 10685810 B2 (LAM RESEARCH CORPORATION) 16 June 2020 (2020-06-16) See the entire document.	1-20
A	WO 2013-151812 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 10 October 2013 (2013-10-10) See the entire document.	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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	Date of mailing of the international search report
21 October 2021	**21 October 2021**
Name and mailing address of the ISA/KR **Korean Intellectual Property Office** **189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon** **35208, Republic of Korea** Facsimile No. **+82-42-481-8578**	Authorized officer **PARK, Hye Lyun** Telephone No. **+82-42-481-3463**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/US2021/040155

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103476196	A	25 December 2013	CN	103476196	B	03 February 2016
WO	2014-151895	A2	25 September 2014	EP	2971226	A2	20 January 2016
				EP	2971226	A4	18 January 2017
				EP	2971226	B1	30 May 2018
				US	2014-0263181	A1	18 September 2014
				US	2017-0311431	A1	26 October 2017
				WO	2014-151895	A3	13 November 2014
US	2013-0106286	A1	02 May 2013	CN	103907403	A	02 July 2014
				JP	2015-501518	A	15 January 2015
				KR	10-2014-0084301	A	04 July 2014
				TW	201330048	A	16 July 2013
				US	10271416	B2	23 April 2019
				US	2013-0105086	A1	02 May 2013
				US	8933628	B2	13 January 2015
				WO	2013-062929	A1	02 May 2013
US	10685810	B2	16 June 2020	KR	10-2021-0055106	A	14 May 2021
				TW	202037236	A	01 October 2020
				US	10354838	B1	16 July 2019
				US	2020-0118792	A1	16 April 2020
				WO	2020-076413	A1	16 April 2020
WO	2013-151812	A1	10 October 2013	CN	104220636	A	17 December 2014
				CN	104220636	B	24 August 2016
				KR	10-2014-0139621	A	05 December 2014
				KR	10-2141255	B1	05 August 2020
				TW	201401939	A	01 January 2014
				US	2013-0256271	A1	03 October 2013

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2019)

フロントページの続き

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,IT,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,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

５３８ フレモント，クッシング・パークウェイ，４６５０

(72)発明者 パターソン・アレクサンダー・ミラー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州９４５３８ フレモント，クッシング・パークウェイ，４６５０

Ｆターム（参考） 2G084 AA02 AA03 AA05 BB02 BB05 BB14 CC08 CC13 CC33 DD03
DD13 DD25 DD32 DD34 DD35 DD55 DD61
4K030 FA01 KA30
5F004 AA01 BB13 BB18 BB22 BB23 BB29 BD04 CA03 CA06 DA01
DA02 DA18 EA37
5F045 AA08 BB02 DP02 EH04 EH11 EH19 EH20 EM05 EM09