

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を処理する速度を上昇させる方法であって、

第 1 の無線周波数 (RF) 信号が基板支持体に提供され、第 2 の RF 信号が上部電極に提供されたときに、第 1 のセンサからパラメータ信号を受信することと、

前記パラメータ信号に基づいて、パラメータの値が最大となる第 1 の時間であって、クロック信号のサイクル中に生じる第 1 の時間を決定することと、

第 2 のセンサから可変信号を受信することと、

前記可変信号に基づいて、前記上部電極から前記基板支持体への二次電子の流束の第 1 の量が最大となる第 2 の時間であって、前記サイクル中かつ前記第 1 の時間の後に生じる第 2 の時間を決定することと、

位相差が前記第 1 の時間と前記第 2 の時間との差であると決定することと、

前記上部電極に提供される第 3 の RF 信号の位相と前記基板支持体に提供される第 4 の RF 信号の位相との間に、前記基板を処理する速度を上昇させるために前記位相差を生じさせることと、を含む方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、前記位相差を生じさせることが、

第 1 のトリガ信号をバイアス RF 発生器に第 4 の時間において供給することにより、前記第 4 の RF 信号を生成することと、

第 2 のトリガ信号をソース RF 発生器に供給することにより、前記第 3 の RF 信号を第 5 の時間において生成することと、を含む方法であって、前記第 4 の時間と前記第 5 の時間との差が前記位相差に等しい、方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法であって、前記パラメータが電圧であり、前記第 1 のセンサがインピーダンス整合器と前記基板支持体との間に結合された電圧センサであり、前記第 2 のセンサが磁界センサである、方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、二次電子の流束の第 2 の量が最大となる第 3 の時間であって、前記サイクル中かつ前記第 1 の時間と前記第 2 の時間との間に生じる第 3 の時間を決定することをさらに含む、方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、前記位相差を生じさせることが前記基板の処理中に実施され、前記パラメータ信号を受信することと、前記第 1 の時間を決定することと、前記可変信号を受信することと、前記第 2 の時間を決定することと、前記位相差を決定することが、ラポルーチン中に実施される、方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法であって、前記位相差を生じさせることが前記クロック信号の後続サイクル中に実施される、方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 の時間を決定することが前記クロック信号に基づいており、前記第 2 の時間を決定することが前記クロック信号に基づいており、前記第 2 の RF 信号が前記第 1 の RF 信号の周波数に基づいて生成された周波数を有し、前記第 3 の RF 信号が前記第 4 の RF 信号の周波数に基づいて生成された周波数を有する、方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、前記可変信号が磁束に基づいて生成される、方法。

【請求項 9】

基板を処理する速度を上昇させて前記基板のエッチングプロファイルを生じさせる方法であって、

基板支持体から上部電極への二次電子の流束の第 1 の量が最大となる第 1 の時間であって

10

20

30

40

50

て、前記基板支持体が第 1 の無線周波数（R F）信号を受信し、前記上部電極が第 2 の R F 信号を受信する第 1 のクロックサイクル内に生じる第 1 の時間を決定することと、
前記上部電極から前記基板支持体への二次電子の流束の第 2 の量が最大となる第 2 の時間であって、前記第 1 のクロックサイクル内に生じる第 2 の時間を決定することと、
位相差が前記第 2 の時間と前記第 1 の時間との差であると決定することと、
前記上部電極に提供される第 3 の R F 信号の位相と前記基板支持体に提供される第 4 の R F 信号の位相との間に、前記基板を処理する速度を上昇させるために前記位相差を生じさせることと、を含む方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、前記位相差を生じさせることが、
第 1 のトリガ信号をバイアス R F 発生器に第 4 の時間において供給することにより、前記第 4 の R F 信号を生成することと、
第 2 のトリガ信号をソース R F 発生器に供給することにより、前記第 3 の R F 信号を第 5 の時間において生成することと、を含む方法であって、前記第 4 の時間と前記第 5 の時間との差が前記位相差に等しい、方法。

【請求項 11】

請求項 9 に記載の方法であって、磁界センサから流束の前記第 1 の量および前記第 2 の量を表す測定信号を受信することをさらに含む、方法。

【請求項 12】

請求項 9 に記載の方法であって、前記第 2 の時間が前記第 1 の時間の後に生じる、方法。

【請求項 13】

請求項 9 に記載の方法であって、前記位相差を生じさせることが前記基板の処理中に実施され、前記第 1 の時間を決定することと、前記第 2 の時間を決定することと、前記位相差を決定することが、ラボルーチン中に実施される、方法。

【請求項 14】

請求項 9 に記載の方法であって、前記位相差を生じさせることがクロック信号の第 2 のクロックサイクル中に実施され、前記第 2 のクロックサイクルが前記第 1 のクロックサイクルに続く、方法。

【請求項 15】

コントローラであって、前記コントローラが、
プロセッサであって、
第 1 の無線周波数（R F）信号が基板支持体に提供され、第 2 の R F 信号が上部電極に提供されたときに、第 1 のセンサからパラメータ信号を受信し、
前記パラメータ信号に基づいて、パラメータの値が最大となる第 1 の時間であって、クロック信号のサイクル中に生じる第 1 の時間を決定し、
第 2 のセンサから可変信号を受信し、
前記可変信号に基づいて、前記上部電極から前記基板支持体への二次電子の流束の第 1 の量が最大となる第 2 の時間であって、前記サイクル中かつ前記第 1 の時間の後に生じる第 2 の時間を決定し、
位相差が前記第 1 の時間と前記第 2 の時間との差であると決定し、
前記上部電極に提供される第 3 の R F 信号の位相と前記基板支持体に提供される第 4 の R F 信号の位相との間に、前記基板を処理する速度を上昇させるために前記位相差を生じさせるように構成されているプロセッサと、
前記プロセッサに結合されたメモリデバイスと、
を含むコントローラ。

【請求項 16】

請求項 15 に記載のコントローラであって、前記位相差を生じさせるために、前記プロセッサが、

第 1 のトリガ信号をバイアス R F 発生器に第 4 の時間において供給することにより、前

10

20

30

40

50

記第 4 の R F 信号を生成し、

第 2 のトリガ信号をソース R F 発生器に供給することにより、前記第 3 の R F 信号を第 5 の時間において生成するように構成され、前記第 4 の時間と前記第 5 の時間との差が前記位相差に等しい、コントローラ。

【請求項 17】

請求項 15 に記載のコントローラであって、前記パラメータが電圧であり、前記第 1 のセンサがインピーダンス整合器と前記基板支持体との間に結合された電圧センサであり、前記第 2 のセンサが磁界センサである、コントローラ。

【請求項 18】

請求項 15 に記載のコントローラであって、前記プロセッサが、二次電子の流束の第 2 の量が最大となる第 3 の時間であって、前記サイクル中かつ前記第 1 の時間と前記第 2 の時間との間に生じる第 3 の時間を決定するように構成された、コントローラ。

【請求項 19】

請求項 15 に記載のコントローラであって、前記位相差が前記基板の処理中に生じ、ラボールチン中に、前記パラメータ信号が受信され、前記第 1 の時間が決定され、前記可変信号が受信され、前記第 2 の時間が決定され、前記位相差が決定される、コントローラ。

【請求項 20】

請求項 15 に記載のコントローラであって、前記クロック信号の後続サイクル中に前記位相差が生じる、コントローラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示において説明する実施形態は、電極に提供される無線周波数（R F）信号間の位相差を決定するためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

ここで提供される背景の説明は、本開示の内容を概ね提示することを目的とする。この背景技術のセクションで説明される範囲内における、現時点で名前を挙げられている発明者らによる研究、ならびに出願の時点で先行技術として別途みなされ得ない説明の態様は、明示または暗示を問わず、本開示に対抗する先行技術として認められない。

【0003】

1 つまたは複数の無線周波数（R F）発生器が 1 つまたは複数の R F 信号を生成し、R F 信号をプラズマリアクタに供給する。プラズマリアクタは、1 つまたは複数の R F 信号が供給され、エッチャントガスがプラズマリアクタに供給されるときにエッチングされる半導体ウエハを有する。半導体ウエハは多数のフィーチャを含む。R F 信号が供給されたときに、フィーチャの側壁がエッチングされる。

【0004】

本開示で説明する実施形態が生じるのは、このような背景からである。

【発明の概要】

【0005】

本開示の実施形態は、電極に提供される無線周波数（R F）信号間の位相差を決定するためのシステムおよび方法を提供する。本実施形態は、例えば、プロセス、装置、システム、ハードウェア、またはコンピュータ可読媒体上の方法等の多数のやり方で実施可能であると理解すべきである。いくつかの実施形態について以下で説明する。

【0006】

一実施形態では、基板を処理する速度を上昇させる方法が説明される。この方法は、第 1 の無線周波数（R F）信号が基板支持体に提供され、第 2 の R F 信号が上部電極に提供されたときに、第 1 のセンサからパラメータ信号を受信することを含む。この方法はさらに、パラメータ信号に基づいて、パラメータの値が最大となる第 1 の時間を決定することを含む。第 1 の時間はクロック信号のサイクル中に生じる。この方法はまた、第 2 のセン

10

20

30

40

50

サから可変信号を受信することを含む。この方法は、可変信号に基づいて、上部電極から基板支持体への二次電子の流束の第1の量が最大となる第2の時間を決定することを含む。第2の時間は上記サイクル中かつ第1の時間の後に生じる。この方法は、位相差が第1の時間と第2の時間との差であると決定することと、第3のRF信号の位相と第4のRF信号の位相との間に位相差を生じさせることと、を含む。第3のRF信号は上部電極に提供され、第4のRF信号は基板支持体に提供される。位相差を生じさせる操作は、基板を処理する速度を上昇させるために実施される。

【0007】

ある実施形態では、基板を処理する速度を上昇させる方法が説明される。この方法は、基板支持体から上部電極への二次電子の流束の第1の量が最大となる第1の時間を決定することを含む。第1の時間は、基板支持体が第1のRF信号を受信し、上部電極が第2のRF信号を受信する第1のクロックサイクル内に生じる。この方法はさらに、上部電極から基板支持体への二次電子の流束の第2の量が最大となる第2の時間を決定することを含む。第2の時間は第1のクロックサイクル内に生じる。この方法は、位相差が第2の時間と第1の時間との差であると決定することと、第3のRF信号の位相と第4のRF信号の位相との間に位相差を生じさせることと、を含む。第3のRF信号は上部電極に提供され、第4のRF信号は基板支持体に提供される。位相差を生じさせる操作は、基板を処理する速度を上昇させるために実施される。

【0008】

一実施形態では、コントローラが説明される。コントローラは、第1のRF信号が基板支持体に提供され、第2のRF信号が上部電極に提供されたときに、第1のセンサからパラメータ信号を受信するプロセッサを含む。プロセッサは、パラメータ信号に基づいて、パラメータの値が最大となる第1の時間を決定する。第1の時間はクロック信号のサイクル中に生じる。プロセッサはさらに、第2のセンサから可変信号を受信する。プロセッサは、可変信号に基づいて、上部電極から基板支持体への二次電子の流束の第1の量が最大となる第2の時間を決定する。第2の時間は上記サイクル中かつ第1の時間の後に生じる。プロセッサは、位相差が第1の時間と第2の時間との差であると決定する。プロセッサは、第3のRF信号の位相と第4のRF信号の位相との間に位相差を生じさせる。第3のRF信号は上部電極に提供され、第4のRF信号は基板支持体に提供され、位相差を、基板を処理する速度を上昇させるために生じさせる。コントローラは、プロセッサに結合されたメモリデバイスを含む。

【0009】

電極に提供されるRF信号間の位相差を決定するための、本明細書に記載したシステムおよび方法のいくつかの利点として、基板を処理する速度の上昇および基板のエッチングプロファイルの向上が挙げられる。エッチングプロファイルにより、基板のエッチングフィーチャ（コンタクトホールまたは溝など）の断面が提供される。位相差を達成することにより、上部電極から下部電極に流れる二次電子の加速度が上昇する。二次電子は、上部プラズマシース、プラズマ、底部プラズマシースに侵入でき、処理対象の基板の表面に入射する。加速された二次電子は、基板上のエッチングフィーチャに侵入し、エッチングフィーチャの正に帯電した側壁および底部を放電させるため、エッチングフィーチャのエッチングプロファイルおよびエッチング速度を向上させる。加速された二次電子はまた、基板のエッチングフィーチャの側壁がエッチングされる機会を低減する。エッチングフィーチャにより多く侵入し、側壁がエッチングされる機会が低減されると、エッチングフィーチャの深さが増し、エッチングプロファイルが向上する。

【0010】

いくつかの他の態様は、添付の図面と併せて解釈される以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0011】

実施形態は、添付の図面と併せて解釈される以下の説明を参照することにより理解され

10

20

30

40

50

る。

【0012】

【図1】図1は、ラポールチン中の位相差決定方法を例示するための、システムの一実施形態の図である。

【0013】

【図2A】図2Aは、基板支持体の下部電極に関連する電圧対時間と、上部電極に関連する電圧対時間のプロットを例示するための、グラフの一実施形態である。

【0014】

【図2B】図2Bは、下部電極に関連する電圧対時間と、上部電極に関連する電圧対時間のプロットを例示するための、グラフの一実施形態である。

10

【0015】

【図3】図3は、ラポールチン中に決定された位相差の適用を例示するための、システムの一実施形態の図である。

【0016】

【図4】図4は、クロック信号を例示するための、グラフの一実施形態の図である。

【0017】

【図5】図5は、パルス出力された無線周波数（RF）信号を例示するための、グラフの一実施形態の図である。

【0018】

【図6】図6は、パルス出力された別のRF信号を例示するための、グラフの一実施形態の図である。

20

【0019】

【図7A】図7Aは、積層体の一実施形態を上から見下ろした図であって、積層体のフィーチャ（チャネル等）の側壁が、積層体の処理中に位相差が適用されないときにエッチングされることを例示する。

【0020】

【図7B】図7Bは、図7Aの積層体の一実施形態の側面図である。

【0021】

【図8】図8は、位相差を適用したときに遷移ウィグリングが低減することを例示するための、グラフの一実施形態である。

30

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下の実施形態では、電極に提供される無線周波数（RF）信号間の位相差を決定するためのシステムおよび方法について説明する。本実施形態は、これらの具体的な詳細の一部または全てが欠けている場合も実施し得ると理解されるであろう。他の例では、本実施形態を不必要に曖昧にしないように、周知のプロセス操作を詳細には説明していない。

【0023】

図1は、位相差決定方法を例示するための、システム100の一実施形態の図である。システム100は、マスタRF発生器システム102と、整合器104と、プラズマチャンバ106と、スレーブRF発生器システム108と、別の整合器110と、ホストコンピュータ112とを含む。ホストコンピュータ112は、プロセッサ114とメモリデバイス116とを含む。システム100はさらに、別のスレーブRF発生器システム118と整合器120とを含む。

40

【0024】

本明細書で使用する整合器は、インダクタ、コンデンサ、およびレジスタ等の回路部品のネットワークである。例えば、整合器は1つまたは複数のシャント回路と1つまたは複数の直列回路を含む。各シャント回路は1つまたは複数の回路部品を有し、各直列回路も同様である。整合器の分岐回路は、1つもしくは複数のシャント回路か、または1つもしくは複数の直列回路か、またはそれらの組み合わせを含み、整合器の入力と整合器の出力との間に結合されている。

50

【0025】

システム100はさらに磁界センサを含む。磁界センサは図1にBセンサとして示されている。システム100はさらに、電圧(V1)センサと別の電圧(V2)センサを含む。

【0026】

プラズマチャンバ106は、基板支持体SSと、エッジリングERと、上部電極UEとを含む。基板支持体SSの例としては、下部電極を含むチャックが挙げられる。エッジリングERは、基板支持体SSの周辺部を囲む環状リングである。上部電極UEは基板支持体SSに面している。

【0027】

ホストコンピュータ112の例としては、コントローラ、ラップトップコンピュータ、デスクトップコンピュータ、タブレット、およびスマートフォンが挙げられる。プロセッサ114の例としては、特定用途向け集積回路(ASIC)、プログラマブルロジックデバイス(PLD)、中央処理装置(CPU)、マイクロプロセッサ、およびマイクロコントローラが挙げられる。本明細書で使用するメモリデバイス116の例としては、リードオンリーメモリ(RAM)、ランダムアクセスメモリ(ROM)、およびそれらの組み合わせが挙げられる。例示すると、メモリデバイス116はフラッシュメモリ、または独立ディスクの冗長アレイ(RAID)である。

【0028】

プロセッサ114はメモリデバイス116に結合されている。プロセッサ114は、マスターRF発生器システム102、スレーブRF発生器システム108、およびスレーブRF発生器システム118にも結合されている。例えば、プロセッサ114は、転送ケーブルを介してマスターRF発生器システム102のデジタル信号プロセッサ(DSP)に結合され、別の転送ケーブルを介してスレーブRF発生器システム108のDSPに結合され、さらに別の転送ケーブルを介してスレーブRF発生器システム118のDSPに結合されている。転送ケーブルの例としては、シリアル方式、またはパラレル方式、またはユニバーサルシリアルバス(USB)プロトコルを用いてレシビ信号を転送するケーブルが挙げられる。

【0029】

マスターRF発生器システム102の一例は、低周波、中周波、または高周波の動作周波数を有するマスターRF発生器である。スレーブRF発生器システム108の一例は、低周波、中周波、または高周波を有するスレーブRF発生器である。また、スレーブRF発生器システム118の一例は、低周波、中周波、または高周波を有するスレーブRF発生器である。例示すると、マスターRF発生器システム102が低周波数を有するとき、スレーブRF発生器システム108および118はそれぞれが低周波数を有する。別の例示として、マスターRF発生器システム102が中周波数を有するとき、スレーブRF発生器システム108および118はそれぞれが中周波数を有する。さらに別の例示として、マスターRF発生器システム102が高周波数を有するとき、スレーブRF発生器システム108および118はそれぞれが高周波数を有する。

【0030】

低周波数の例としては、400キロヘルツ(kHz)と2メガヘルツ(MHz)が挙げられる。中周波数の例としては、13.56MHzと27MHzが挙げられる。高周波数の例としては、60MHzが挙げられる。

【0031】

マスターRF発生器システム102はRFケーブル122を介して整合器104に結合され、整合器104はRF伝送線124を介して基板支持体SSの下部電極に結合されている。スレーブRF発生器システム108はRFケーブル126を介して整合器110に結合され、整合器110はRF伝送線128を介して上部電極UEに結合されている。また、スレーブRF発生器システム118はRFケーブル130を介して整合器120に結合され、整合器120はRF伝送線132を介してエッジリングERに結合されている。マ

10

20

30

40

50

スタRF発生器システム102は、スレーブRF発生器システム108およびスレーブRF発生器システム118に結合されている。例えば、マスタRF発生器システム102のDSPは転送ケーブルを介してスレーブRF発生器システム108のDSPに結合され、マスタRF発生器システム102のDSPは別の転送ケーブルを介してスレーブRF発生器システム118のDSPに結合されている。

【0032】

V1センサは、RF伝送線124上のポイントP1に結合されている。また、BセンサはRF伝送線124上のポイントP1に結合され、V2センサはRF伝送線128上のポイントP2に結合されている。基板S（半導体ウエハまたはダミー基板など）が、プラズマチャンバ106内で基板支持体SSの上面上に載置される。

10

【0033】

プロセッサ114は、レシピ信号103をマスタRF発生器システム102に、レシピ信号105をスレーブRF発生器システム108に、さらに別のレシピ信号107をスレーブRF発生器システム118に提供する。プロセッサ114からレシピ信号103を受信すると、マスタRF発生器システム102は、レシピ信号103内に示された周波数を、スレーブRF発生器システム108およびスレーブRF発生器システム118のそれぞれに提供する。

【0034】

マスタRF発生器システム102に提供されるレシピ信号103は、マスタRF発生器システム102によって生成されるRF信号134の電力レベル、位相、パルス周波数、および周波数を含む。一例として、RF信号のパルス周波数は、RF信号の包絡線が第1の電力レベルから第2の電力レベルまでパルス出力される周波数である。この例では、包絡線はRF信号のピーク・トゥ・ピーク振幅またはゼロ・トゥ・ピーク振幅である。例示すると、RF信号のパルス周波数はRF信号の周波数よりも低い。同様に、スレーブRF発生器システム108に提供されたレシピ信号105は、スレーブRF発生器システム108によって生成されるRF信号136の電力レベルを含み、スレーブRF発生器システム118に提供されたレシピ信号107は、スレーブRF発生器システム118によって生成されるRF信号138の電力レベルを含む。

20

【0035】

マスタRF発生器システム102からレシピ信号103を受信すると、スレーブRF発生器システム108は、レシピ信号103内に示された周波数を識別し、レシピ信号103内に示された周波数に基づいて、スレーブRF発生器システム108によって生成されるRF信号136の周波数を決定する。例えば、スレーブRF発生器システム108のDSPは、RF信号136の周波数がRF信号134の周波数と等しいと決定する。別の例として、スレーブRF発生器システム108のDSPは、RF信号136の周波数がRF信号134の周波数から所定の範囲内であると決定する。

30

【0036】

また、マスタRF発生器システム102からレシピ信号103を受信すると、スレーブRF発生器システム108は、レシピ信号103内に示されたパルス周波数を識別し、スレーブRF発生器システム108によって生成されるRF信号136のパルス周波数を決定する。例えば、スレーブRF発生器システム108のDSPは、RF信号136のパルス周波数がRF信号134のパルス周波数と同期すると決定する。例示すると、RF信号136の包絡線は、RF信号134の包絡線が第3の電力レベルから第4の電力レベルに遷移するのと同時に、第1の電力レベルから第2の電力レベルに遷移する。別の例としては、スレーブRF発生器システム108のDSPは、RF信号136のパルス周波数がRF信号134のパルス周波数から所定の範囲内であると決定する。例示すると、RF信号136の包絡線は、RF信号134の包絡線が第3の電力レベルから第4の電力レベルに遷移する時間から所定の期間内に、第1の電力レベルから第2の電力レベルに遷移する。

40

【0037】

マスタRF発生器システム102からレシピ信号103を受信すると、スレーブRF発

50

生器システム 118 は、レシビ信号 103 内に示された周波数および位相を識別し、スレーブ RF 発生器システム 118 によって生成される RF 信号 138 の周波数および位相を決定する。例えば、スレーブ RF 発生器システム 118 の DSP は、RF 信号 138 の周波数が RF 信号 134 の周波数と等しいと決定する。別の例として、スレーブ RF 発生器システム 118 の DSP は、RF 信号 138 の周波数が RF 信号 134 の周波数から所定の範囲内であると決定する。さらに別の例としては、スレーブ RF 発生器システム 118 の DSP は、RF 信号 138 の位相が RF 信号 134 の位相と同じであると決定する。さらに別の例としては、スレーブ RF 発生器システム 118 の DSP は、RF 信号 138 の位相が RF 信号 134 の位相から所定の範囲内であると決定する。

【0038】

また、マスタ RF 発生器システム 102 からレシビ信号 103 を受信すると、スレーブ RF 発生器システム 118 は、レシビ信号 103 内に示されたパルス周波数を識別し、スレーブ RF 発生器システム 118 によって生成される RF 信号 138 のパルス周波数を決定する。例えば、スレーブ RF 発生器システム 118 の DSP は、RF 信号 138 のパルス周波数が RF 信号 134 のパルス周波数と同期すると決定する。例示すると、RF 信号 138 の包絡線は、RF 信号 134 の包絡線が第 3 の電力レベルから第 4 の電力レベルに遷移するのと同時に、第 1 の電力レベルから第 2 の電力レベルに遷移する。別の例としては、スレーブ RF 発生器システム 118 の DSP は、RF 信号 138 のパルス周波数が RF 信号 134 のパルス周波数から所定の範囲内であると決定する。例示すると、RF 信号 138 の包絡線は、RF 信号 134 の包絡線が第 3 の電力レベルから第 4 の電力レベルに遷移する時間から所定の期間内に、第 1 の電力レベルから第 2 の電力レベルに遷移する。

【0039】

さらに、プロセッサ 114 は、マスタ RF 発生器システム 102、スレーブ RF 発生器システム 108、およびスレーブ RF 発生器システム 118 のそれぞれにトリガ信号を送信する。トリガ信号を受信すると、マスタ RF 発生器システム 102 は、プロセッサ 114 から受信したレシビ信号 103 内に示された周波数、位相、パルス周波数、および電力レベルを有する RF 信号 134 を生成し、RF 信号 134 を RF ケーブル 122 を介して整合器 104 の入力に送信する。同様に、トリガ信号を受信すると、スレーブ RF 発生器システム 108 は、マスタ RF 発生器システム 102 から受信したレシビ信号 103 内で識別された周波数およびパルス周波数に基づき、プロセッサ 114 から受信したレシビ信号 105 内で示された電力レベルを有する RF 信号 136 を生成し、RF 信号 136 を RF ケーブル 126 を介して整合器 110 の入力に送信する。また、トリガ信号を受信すると、スレーブ RF 発生器システム 118 は、マスタ RF 発生器システム 102 から受信したレシビ信号 103 内で識別された周波数および位相に基づき、プロセッサ 114 から受信したレシビ信号 107 内で示された電力レベルを有する RF 信号 138 を生成し、RF 信号 138 を RF ケーブル 130 を介して整合器 120 の入力に送信する。

【0040】

RF 信号 134 を整合器 104 の入力において受信すると、整合器 104 は、整合器 104 の出力に結合された負荷のインピーダンスと、整合器 104 の入力に結合された供給源のインピーダンスとを整合する。整合器 104 の入力に結合された供給源の例としては、マスタ RF 発生器システム 102 と RF ケーブル 122 が挙げられ、整合器 104 の出力に結合された負荷の例としては、プラズマチャンバ 106 と RF 伝送線 124 が挙げられる。RF 信号 134 のインピーダンスを修正するようにインピーダンスが整合されて、整合器 104 の出力において修正 RF 信号 139 が提供される。修正 RF 信号 139 は、RF 伝送線 124 を介して基板支持体 SS の下部電極に提供される。

【0041】

同様に、RF 信号 136 を整合器 110 の入力において受信すると、整合器 110 は、整合器 110 の出力に結合された負荷のインピーダンスと、整合器 110 の入力に結合された供給源のインピーダンスとを整合する。整合器 110 の入力に結合された供給源の例としては、スレーブ RF 発生器システム 108 と RF ケーブル 126 が挙げられ、整合器

110の出力に結合された負荷の例としては、プラズマチャンバ106とRF伝送線128が挙げられる。RF信号136のインピーダンスを修正するようにインピーダンスが整合されて、整合器110の出力において修正RF信号140が提供される。修正RF信号140は、RF伝送線128を介して上部電極UEに提供される。

【0042】

また、RF信号138を整合器120の入力において受信すると、整合器120は、整合器120の出力に結合された負荷のインピーダンスと、整合器120の入力に結合された供給源のインピーダンスとを整合する。整合器120の入力に結合された供給源の例としては、スレーブRF発生器システム118とRFケーブル130が挙げられ、整合器120の出力に結合された負荷の例としては、プラズマチャンバ106とRF伝送線132が挙げられる。RF信号138のインピーダンスを修正するようにインピーダンスが整合されて、整合器120の出力において修正RF信号142が提供される。修正RF信号142は、RF伝送線132を介してエッジリングERに提供される。

【0043】

1つまたは複数のプロセスガスが、修正RF信号139、140、および142に加えてプラズマチャンバ106内の基板支持体SSと上部電極UEとの間のギャップに供給されるときに、プラズマチャンバ106内でプラズマが打たれるか、または維持される。1つまたは複数のプロセスガスの例としては、酸素含有ガス、窒素含有ガス、フッ素含有ガス、およびそれらの組み合わせが挙げられる。プラズマチャンバ106内で生成されたプラズマは、基板Sを処理するために使用される。例えば、プラズマは、基板Sの上面に材料を堆積させるため、または基板Sをエッチングするため、または基板Sを洗浄するために使用される。プラズマは、その上部側を上部プラズマシース144で囲われており、その底部側を底部プラズマシース146で囲われている。プラズマは電子(e^-)と陰イオン($-ve$)を含み、これらは基板Sの上面に入射して基板Sを処理する。

【0044】

基板Sが処理されると、V1センサがRF伝送線124上のポイントP1の電圧を測定してパラメータ信号PS1を出力し、V2センサがRF伝送線128上のポイントP2の電圧を測定してパラメータ信号PS2を出力する。本明細書で使用するパラメータの一例は電圧である。また、Bセンサは、RF伝送線124上のポイントP1における磁界または磁束を測定して可変信号VS1を出力する。

【0045】

パラメータ信号PS1は、V1センサからプロセッサ114に提供される。プロセッサ114は、パラメータ信号PS1に基づいてRF信号134の設定点を制御する。例えば、パラメータ信号PS1によって示された電圧が所定の電圧設定点から所定の範囲内ないと判定すると、プロセッサ114は、レシピ信号103内でマスタRF発生器システム102に提供される電力レベルを修正する。なお、RF信号134の設定点が制御されるとき、RF信号138の設定点も制御される。例えば、プロセッサからマスタRF発生器システム102に送信された修正電力レベルは、マスタRF発生器システム102からスレーブRF発生器システム118にさらに送信される。修正電力レベルを受信すると、スレーブRF発生器システム118は、RF信号138の電力レベルを修正して、修正電力レベルを達成する。

【0046】

同様に、パラメータ信号PS2は、V2センサからプロセッサ114に提供される。プロセッサ114は、パラメータ信号PS2に基づいてRF信号136の設定点を制御する。例えば、パラメータ信号PS2によって示された電圧が所定の電圧設定点から所定の範囲内ないと判定すると、プロセッサ114は、レシピ信号105内でスレーブRF発生器システム108に提供される電力レベルを修正する。

【0047】

一実施形態では、Bセンサは、RF伝送線124上のポイントP1とは異なるポイントにおける磁界または磁束を測定する。異なるポイントは、整合器104の出力とプラズマ

10

20

30

40

50

チャンバ１０６との間に位置する。

【００４８】

ある実施形態では、Ｖ２センサは、ポイントＰ２の代わりに、整合器１１０の出力とプラズマチャンバ１０６との間の任意の他のポイントに結合される。

【００４９】

ある実施形態では、Ｖ１センサは、ポイントＰ１の代わりに、整合器１０４の出力とプラズマチャンバ１０６との間の任意の他のポイントに結合される。

【００５０】

ある実施形態では、Ｂセンサの代わりに、ポイントＰ１における複素電圧・電流を測定する複素電圧・電流（ＶＩ）プローブが使用される。

【００５１】

一実施形態では、マスタＲＦ発生器システム１０２は、第１のマスタＲＦ発生器および第２のマスタＲＦ発生器等の複数のＲＦ発生器を含む。同様に、スレーブＲＦ発生器システム１０８は、第１のスレーブＲＦ発生器および第２のスレーブマスタＲＦ発生器等の複数のＲＦ発生器を含む。また、スレーブＲＦ発生器システム１１８は、第３のスレーブＲＦ発生器および第４のスレーブマスタＲＦ発生器等の複数のＲＦ発生器を含む。第１のマスタＲＦ発生器は、低周波、中周波、または高周波の動作周波数を有し、第２のマスタＲＦ発生器は、低周波、中周波、または高周波の動作周波数を有する。また、第１のスレーブＲＦ発生器は、低周波、中周波、または高周波の動作周波数を有し、第２のスレーブＲＦ発生器は、低周波、中周波、または高周波の動作周波数を有する。さらに、第３のスレーブＲＦ発生器は、低周波、中周波、または高周波の動作周波数を有し、第４のスレーブＲＦ発生器は、低周波、中周波、または高周波の動作周波数を有する。例示すると、第１のスレーブＲＦ発生器および第３のスレーブＲＦ発生器のそれぞれは、第１のマスタＲＦ発生器の動作周波数と同じ動作周波数を有し、第２のスレーブＲＦ発生器および第４のスレーブＲＦ発生器のそれぞれは、第２のマスタＲＦ発生器の動作周波数と同じ動作周波数を有する。なお、第１のマスタＲＦ発生器は第１のスレーブＲＦ発生器および第３のスレーブＲＦ発生器に結合され、第２のマスタＲＦ発生器は第２のスレーブＲＦ発生器および第４のスレーブＲＦ発生器に結合されている。

【００５２】

さらに、この実施形態では、第１および第２のマスタＲＦ発生器が第１の整合器を介して基板支持体ＳＳに結合され、第１および第２のスレーブＲＦ発生器が第２の整合器を介してエッジリングＥＲに結合され、第３および第４のスレーブＲＦ発生器が第３の整合器を介して上部電極ＵＥに結合されている。プロセッサ１１４は、第１のマスタＲＦ発生器、第２のマスタＲＦ発生器、第１のスレーブＲＦ発生器、第２のスレーブＲＦ発生器、第３のスレーブＲＦ発生器、および第４のスレーブＲＦ発生器のそれぞれに結合されている。

【００５３】

この実施形態に関して続けると、プロセッサ１１４は、マスタＲＦ発生器システム１０２、スレーブＲＦ発生器システム１１８、およびスレーブＲＦ発生器システム１０８が制御されるのと同じやり方で、第１のマスタＲＦ発生器、第１のスレーブＲＦ発生器、および第３のスレーブＲＦ発生器を制御する。また、第１のマスタＲＦ発生器は、マスタＲＦ発生器システム１０２がスレーブＲＦ発生器システム１１８とスレーブＲＦ発生器システム１０８のそれぞれを制御するのと同じやり方で、第１および第３のスレーブＲＦ発生器のそれぞれを制御する。また、この実施形態では、プロセッサ１１４は、マスタＲＦ発生器システム１０２、スレーブＲＦ発生器システム１１８、およびスレーブＲＦ発生器システム１０８が制御されるのと同じやり方で、第２のマスタＲＦ発生器、第２のスレーブＲＦ発生器、および第４のスレーブＲＦ発生器を制御する。また、第２のマスタＲＦ発生器は、マスタＲＦ発生器システム１０２がスレーブＲＦ発生器システム１１８およびスレーブＲＦ発生器システム１０８のそれぞれを制御するのと同じやり方で、第２および第４のスレーブＲＦ発生器のそれぞれを制御する。

【0054】

一実施形態では、生じさせると達成するという用語が本明細書内で互いに言い換え可能に使用される。また、この実施形態では、生じさせることと達成することという用語が本明細書内で互いに言い換え可能に使用される。

【0055】

図2Aは、基板支持体SSの下部電極に関連する電圧対時間 t と、上部電極UEに関連する電圧対時間 t のプロットを例示するための、グラフ200の一実施形態である。下部電極に関連する電圧は、第1の y 軸上にパラメータ信号PSaとしてプロットされ、V1センサ(図1)によってキロボルト(kV)単位で測定され、上部電極に関連する電圧は、第2の y 軸上にパラメータ信号PSbとしてプロットされ、V2センサ(図1)によってkV単位で測定される。パラメータ信号PSaはパラメータ信号PS1(図1)の一例であり、パラメータ信号PSbはパラメータ信号PS2(図1)の一例である。時間 t は x 軸上にプロットされ、秒単位で測定され、進行的に生じる時間 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 、および t_6 を含む。パラメータ信号PSaは実線の曲線として示され、パラメータ信号PSbは点線の曲線として示されている。さらに、グラフ200は、底部プラズマシース146または上部プラズマシース144またはそれらの組み合わせ等の、プラズマシース(図1)の電圧のプロットを含む。プラズマシースの電圧は、「 x 」を有する曲線として示されている。

10

【0056】

パラメータ信号PSaのプロット上の位置Aにおいて、底部プラズマシース(Ws)146は、パラメータ信号PSaが最小値を有するときに最小量の厚さを有する(Wsはウエハシースまたはプラズマシースを表す)。一例としては、マスターRFシステム102によって供給されたRF信号134が最小値を有するときに、パラメータ信号PSaは最小値を有する。パラメータ信号PSaは、クロック信号のサイクル1中の時間 t_0 において最小値を有する。サイクル1は時間 t_0 から時間 t_6 にわたり、クロック信号のサイクル2は時間 t_6 の後に繰り返される。サイクル2は、時間 t_6 から時間 t_{12} にわたる。クロック信号は、デジタルクロック信号発生器または電子発振器等のクロック源によって生成される。例えば、クロック信号はホストコンピュータ112(図1)のクロック源によって生成される。別の例としては、クロック信号はプロセッサ114(図1)によって生成される。位置Aは時間 t_0 に対応する。

20

30

【0057】

パラメータ信号PSaの電圧が、最小値からパラメータ信号PSaのプロット上の位置Bにおける中間値まで上昇するにつれて、底部プラズマシース146が拡大する。一例としては、マスターRFシステム102によって供給されたRF信号134が中間値を有するときに、パラメータ信号PSaは中間値を有する。パラメータ信号PSaは、時間 t_0 から時間 t_1 までの期間に中間値を有し、その期間と時間 t_1 はクロック信号のサイクル1中に生じる。時間 t_1 は時間 t_0 の後に生じる。時間 t_0 から t_1 までの期間、底部プラズマシース146の拡大に伴って、底部プラズマシース146内の電子がエネルギーを獲得し、エネルギーが増加した結果イオン化が増加し、イオン化の増加に伴って陽イオンが発生する。イオン化の増加に伴い、底部プラズマシース146の陽イオンのエネルギーが増加するとともに底部プラズマシース146内の高速中性原子のエネルギーが増加する。

40

【0058】

さらに、パラメータ信号PSaの電圧は、中間値からパラメータ信号PSaのプロット上の位置Iにおける最大値までさらに上昇する。一例としては、マスターRFシステム102によって供給されたRF信号134が最大値を有するときに、パラメータ信号PSaは最大値を有する。マスターRF信号134の最大値はマスターRF信号134の中間値よりも大きく、中間値はマスターRF信号134の最小値よりも大きい。また、パラメータ信号PSaの最大値はパラメータ信号PSaの中間値よりも大きく、中間値はパラメータ信号PSaの最小値よりも大きい。パラメータ信号PSaは時間 $t_{1.21}$ において最大値を有し、時間 $t_{1.21}$ はクロック信号のサイクル1中に生じる。時間 $t_{1.21}$ は時間 t

50

1の後であって時間 t_2 の前に生じる。時間 $t_{1.21}$ において、エネルギーを獲得した底部プラズマシース146の底部プラズマシース146の陽イオンは、底部プラズマシース146から下部電極に向かって加速し、二次電子を発生させる。

【0059】

なお、二次電子は、上部プラズマシース144と底部プラズマシース146との間に位置するプラズマのバルク電子とは異なる。二次電子は、バルク電子に比べて、キロ電子ボルト (keV) 単位で測定されるエネルギーが高い。例えば、二次電子のエネルギーは keV 単位の範囲であり、バルク電子のエネルギーは2～5電子ボルトの範囲である。

【0060】

二次電子が底部プラズマシース146から下部電極に向かって加速する際、パラメータ信号PSaのプロットに位置1においてキックが存在する。例えば、パラメータ信号PSaのプロットの位置1に少量の歪みが存在する。位置1は、時間 t_2 から時間 $t_{2.4}$ までの期間に生じる。時間 $t_{2.4}$ は、時間 t_2 と時間 t_3 との間に生じる。

【0061】

パラメータ信号PSaの電圧が最大値から低下するにつれて、下部電極から上部電極UEへの二次電子の流束が増加する。パラメータ信号PSbのプロット上の位置Cにおいて、二次電子の流束の増加により、パラメータ信号PSbに歪みが生じる。パラメータ信号PSbの歪みは、上部電極UEにおける電圧の歪みを示している。位置Cは、時間 $t_{1.21}$ から時間 t_3 までの期間にわたる。

【0062】

パラメータ信号PSbの電圧は、時間 t_0 から時間 $t_{1.21}$ までの期間に低下し、時間 $t_{1.21}$ から時間 t_3 までの期間に上昇する。また、スレーブRFシステム108 (図1) によって生成されたRF信号136 (図1) の振幅は、時間 t_0 から時間 $t_{1.21}$ までの期間に減少し、時間 $t_{1.21}$ から時間 t_3 までの期間に増加する。

【0063】

時間 t_3 から時間 t_5 までの期間に、パラメータ信号PSaの電圧が上昇する。また、時間 t_3 から時間 t_5 までの期間に、RF信号134の振幅が増加する。時間 t_3 から t_5 までの期間にRF信号134の振幅が増加するにつれて、上部電極UEから下部電極に流れる二次電子の流束が増加する。二次電子は、上部プラズマシース144 (図1) に侵入し、上部プラズマシース144から底部プラズマシース146へプラズマを介して流れ、底部プラズマシース146に侵入して基板S (図1) を処理する。時間 t_5 において、パラメータ信号PS1の電圧が最大となる。また、時間 t_5 において、RF信号134の振幅が最大となる。例えば、RF信号134の振幅とパラメータ信号PS1の電圧は、サイクル1中の時間 t_5 において、二度目に最大となる。この例では、RF信号134の振幅とパラメータ信号PS1の電圧は、サイクル1中の時間 $t_{1.21}$ において、初めて最大となる。さらに、パラメータ信号PSa上の位置IIは、時間 t_4 と t_5 の間に生じる時間 $t_{4.7}$ において生じる。なお、時間 $t_{4.7}$ は、クロック信号のサイクル1中に生じる。位置IIにおいては、上部電極UEから下部電極に流れる二次電子の流束が最大となる。

【0064】

プラズマシースの電圧のプロットで示されるように、プラズマシースの電圧は、時間 t_0 から、時間 t_3 と t_4 との間に生じる時間 $t_{3.58}$ まで、パラメータ信号PSaをなぞるか、またはそれに従う。プラズマシースの電圧は、時間 $t_{3.58}$ から、時間 t_5 と t_6 との間に生じる時間 $t_{5.7}$ まで、平坦な水平レベルを達成し、その後、プラズマシースの電圧は可変信号パラメータ信号PSaを引き続きなぞる。平坦な水平レベルでは、プラズマシースの電圧は最小となる。そのため、プラズマシースの電圧が平坦な水平レベルを達成する期間に、パラメータ信号PSaの電圧のピーク (最大となるなど) が生じる。

【0065】

グラフ200は、パラメータ信号PSaとPSbとの間の位相差を決定することを含む

10

20

30

40

50

、位相差決定方法を例示するために使用される。位相差決定方法は、別の基板を処理する前に生じるラポルーチン中に生じる。位相差決定方法において、プロセッサ114は、V1センサからパラメータ信号PSaを受信し、Bセンサから可変信号VS1（図1）を受信する。プロセッサ114は、パラメータ信号PSaの電圧が、クロック信号のサイクル1中の時間t1.21において初めて最大値になると決定する。例えば、プロセッサ114は、パラメータ信号PSaの電圧が、パラメータ信号PSaの電圧が最小となる時間t0の後に、初めて最大値を達成すると決定する。この例では、パラメータ信号PSaの電圧が、時間t0の後に、時間t5において二度目に、別の最大値を達成する。例示すると、プロセッサ114は、時間t1.21において受信したパラメータ信号PSaの値が、電圧センサVS1から受信したパラメータ信号PSaのすべての値の中で最大であると決定する。この例示では、パラメータ信号PSaの値が、時間t0からt3までの期間に受信される。プロセッサ114は時間t1.21をメモリデバイス116に格納する。

10

【0066】

さらに、プロセッサ114は、Bセンサから可変信号VS1を受信する。プロセッサ114は、可変信号VS1から、二次電子の流束がクロック信号のサイクル1中に二度目に最大値となるか否かを決定し、二度目が生じる期間内の時間をさらに識別する。二次電子の流束がサイクル1中に二度目に最大となると、二次電子の流束が二度目に最大となるのはサイクル1中である。一例としては、プロセッサ114は、可変信号VS1を時間t3とt6との間にBセンサから受信し、可変信号VS1の各値のうち、時間t3.58とt5.7との間に可変信号VS1の値が最大となると決定し、二度目の最大流束が時間t3.58とt5.7との間に生じるとさらに決定する。

20

【0067】

別の例としては、プロセッサ114は、可変信号VS1から、可変信号VS1の振幅が所定の期間において実質的に同じであるか否かを決定する。例示すると、プロセッサ114は、可変信号VS1から、可変信号VS1の振幅が、可変信号VS1がBセンサから受信される所定の期間において所定の範囲内にあるか否かを決定する。この例示では、所定の期間の一例が、クロック信号のサイクル1の半分の期間である。さらに例示すると、プロセッサ114は、可変信号VS1から、可変信号VS1がBセンサから受信される時間t3.58からt5.7までの期間において、可変信号の振幅が5%以内で変動するか否かを決定する。このさらなる例示では、プロセッサ114は、振幅が時間t3.58における可変信号の振幅から5%以内で変動すると決定する。このさらなる例示では、振幅が5%以内で変動すると決定すると、プロセッサ114は、二次電子の流束がサイクル1中に二度目に最大値となることを決定する。このさらなる例示では、プロセッサ114は、時間t3.58からt5.7までの期間内に生じる時間t4.7を識別する。

30

【0068】

さらに別の例としては、プロセッサ114は、可変信号VS1から、可変信号VS1の振幅が所定の期間において実質的に同じであり、かつ最大であると決定し、二次電子の流束が時間t4.7において二度目に最大となると決定する。なお、前述の3つの例のいずれにおいても、プロセッサ114は、時間3.58からt5.7までの期間内の任意の時間を識別する。例えば、時間t4.7の代わりに、プロセッサ114は、時間t4.6または時間t5（これらはいずれも時間3.58からt5.7までの期間内に生じる）を識別する。

40

【0069】

なお、二次電子の流束が初めて最大になるのはサイクル1中であり、流束が二度目に最大となるのは、初めて最大流束となった後である。例えば、プロセッサ114は、時間t0からt3の間に可変信号VS1を受信し、可変信号VS1の各値のうち、時間t2.5において可変信号VS1の値が最大となると決定し、流束が初めて最大となるのが時間t2.5であるとさらに決定する。時間t1.21とt2.5との間に遅延がある。二次電子の流れは、時間t2.5において下部電極から上部電極に対して最大となる。時間t2.5は時間t2とt3との間に生じる。

50

【0070】

プロセッサ114は、二次電子の流束が二度目に最大となる時間（時間 $t_{4.7}$ など）と、パラメータ信号 PSa の電圧が初めて最大となる時間（時間 $t_{1.21}$ など）との間の時間差を決定する。プロセッサ114は、時間差を位相差 ϕ_1 としてメモリデバイス116内に格納する。

【0071】

一実施形態では、ラボルーチン中に、二次電子の流束が二度目に最大となる期間内の任意の時間を識別する代わりに、プロセッサ114は、二次電子の流束が二度目に最大となるサイクル1中の時間を、時間 $t_{3.58}$ から $t_{5.7}$ までの期間の半分に等しいと識別する。

【0072】

ある実施形態では、ラボルーチン中に、プロセッサ114は、時間 $t_{4.7}$ と時間 $t_{2.5}$ との差として位相差 ϕ_2 を決定する。時間 t_0 から t_4 までの期間に、プロセッサ114は、Bセンサから可変信号 $VS1$ を受信し、可変信号 $VS1$ の振幅が時間 $t_{2.5}$ において初めて最大となると決定する。例えば、プロセッサ114は、時間 t_0 から t_4 までの期間に受信した可変信号 $VS1$ の全ての値を比較して、可変信号 $VS1$ の振幅が全ての値のうちで最大であると決定する。この例では、プロセッサ114はさらに、最大振幅がBセンサから時間 $t_{2.5}$ において受信されると決定し、下部電極から上部電極 UE への二次電子の流束が最大となる時間 $t_{2.5}$ を決定する。同様に、時間 t_4 から t_6 までの期間において、プロセッサ114はBセンサから可変信号 $VS1$ を受信し、可変信号 $VS1$ の振幅が時間 $t_{4.7}$ において二度目に最大となると決定する。例えば、プロセッサ114は、時間 t_4 から t_6 までの期間に受信した可変信号 $VS1$ の全ての値を比較して、可変信号 $VS1$ の振幅が全ての値のうちで最大であると決定する。この例では、プロセッサ114はさらに、最大振幅がBセンサから時間 $t_{4.7}$ において受信されると決定する。時間 $t_{4.7}$ を決定する異なるやり方については上述した。プロセッサ114は、時間 $t_{4.7}$ と $t_{2.5}$ との差を計算して、位相差 ϕ_2 を決定する。

【0073】

図2Bは、基板支持体 SS の下部電極に関連する電圧対時間 t と、上部電極 UE に関連する電圧対時間 t のプロットを例示するための、グラフ250の一実施形態である。下部電極に関連する電圧は、第1の y 軸上にパラメータ信号 PSc としてプロットされ、 $V1$ センサ（図1）によって kV 単位で測定され、上部電極に関連する電圧は、第2の y 軸上にパラメータ信号 PSd としてプロットされ、 $V2$ センサ（図1）によって kV 単位で測定される。パラメータ信号 PSc はパラメータ信号 $PS1$ （図1）の一例であり、パラメータ信号 PSd はパラメータ信号 $PS2$ （図1）の一例である。時間 t は x 軸にプロットされ、秒単位で測定される。図2Bに示す期間は、クロック信号のサイクル1にわたる。パラメータ信号 PSc は濃い曲線で示され、パラメータ信号 PSd は薄い曲線で示されている。さらに、グラフ250は、Bセンサ（図1）によって測定された可変信号 VSa のプロットを含む。可変信号 VSa は複数の歪みとして図示され、可変信号 $VS1$ （図1）の一例である。

【0074】

パラメータ信号 PSc のプロット内に、歪みまたは外乱等のキンク252が生じる。キンク252は、クロック信号のサイクル1中に可変信号 VSa の歪み254の量が所定範囲 $PR1$ を初めて超える期間において生じる。所定範囲 $PR1$ の例は、サイクル1中の可変信号 VSa の値から生成された統計値（平均値または中央値など）から $-15\% \sim 15\%$ にわたる範囲である。プロセッサ114（図1）は、サイクル1中にBセンサから受信した可変信号 VSa の値から統計値を決定する。また、所定範囲 $PR1$ はメモリデバイス116に格納されている。プロセッサ114は、可変信号 VSa の値がサイクル1中に所定範囲 $PR1$ を初めて超えると決定する。上記量の可変信号 VSa の歪み254は、下部電極から上部電極 UE （図1）に流れる二次電子によって、サイクル1中に初めて生じる。可変信号 VSa において上記量の歪み254が初めて生成されるとき、可変信号 VSa

において歪み 254 が初めて生じるか、または初めてのタイムインターバルが生じる。リンク 252 の位置は、グラフ 200 (図 2 A) の位置 1 の一例である。

【0075】

さらに、クロック信号のサイクル 1 中に可変信号 V S a の歪み 256 の量が所定範囲 P R 1 を二度目に超える。プロセッサ 114 は、可変信号 V S a の値がサイクル 1 中に所定範囲 P R 1 を二度目に超えると決定する。上記量の可変信号 V S a の歪み 256 は、上部電極 U E から下部電極に流れる二次電子によって、サイクル 1 中に二度目に生成される。可変信号 V S a において上記量の歪み 256 が二度目に生成されるとき、可変信号 V S a において歪み 256 が二度目に生じるか、または二度目のタイムインターバルが生じる。

【0076】

プロセッサ 114 は、歪み 256 の発生と歪み 254 の発生との間の時間差を計算して、位相差 $\phi 2$ を決定する。例えば、プロセッサ 114 は、歪み 256 が B センサによって測定され、プロセッサ 114 によって受信されるタイムインターバル内の第 1 の時間を識別し、歪み 254 が B センサによって測定され、プロセッサ 114 によって受信されるタイムインターバル内の第 2 の時間をさらに識別する。この例では、プロセッサ 114 は第 1 の時間と第 2 の時間との差を計算して、位相差 $\phi 2$ を決定する。

【0077】

なお、上部プラズマシース 144 (図 1) の電圧が低いと、上部電極 U E からの二次電子が底部プラズマシース 146 に侵入できず、歪み 256 が生じない。このように、歪み 256 は上部プラズマシース 144 の電圧が高いときに生じ、上部プラズマシース 144 の位相は、上部電極 U E から発生した二次電子が底部プラズマシース 146 に侵入するように、底部プラズマシース 146 の低電圧の位相と合わせられる。

【0078】

図 3 は、ラポルーチン中に決定された位相差 ϕ (位相差 $\phi 1$ または位相差 $\phi 2$ など) の適用を例示するための、システム 300 の一実施形態の図である。ラポルーチン中に決定された位相差 ϕ は、基板 S U の処理中に適用される。基板 S U の例は、半導体ウエハである。例示すると、基板 S はダミーウエハではない。

【0079】

システム 300 は、V 1 センサ、V 2 センサ、および B センサを含まないこと以外は、システム 100 (図 1) と構造が同じである。さらに、基板 S U は、基板 S の代わりに基板支持体 S S の上面に載置される。

【0080】

プロセッサ 114 は、レシピ信号 303 をマスタ R F 発生器システム 102 に、レシピ信号 305 をスレーブ R F 発生器システム 108 に、さらに別のレシピ信号 307 をスレーブ R F 発生器システム 118 に提供する。レシピ信号 303 は、マスタ R F G システム 102 によって生成される R F 信号 302 の位相を含むこと以外は、レシピ信号 103 (図 1) と同じである。レシピ信号 303 内に含まれる R F 信号 302 の位相は、スレーブ R F G システム 108 によって生成される R F 信号 304 の位相と、位相差 ϕ だけ異なる。例えば、R F 信号 302 の位相と R F 信号 304 の位相との間で達成される位相差は、 ϕ と等しい。例示すると、R F 信号 302 の位相が R F 信号 304 の位相に位相差 ϕ だけ遅れているか、R F 信号 304 の位相が R F 信号 302 の位相を位相差 ϕ だけリードする。プロセッサ 114 からレシピ信号 303 を受信すると、マスタ R F 発生器システム 102 は、レシピ信号 303 内に示された周波数を、スレーブ R F 発生器システム 108 およびスレーブ R F 発生器システム 118 のそれぞれに提供する。

【0081】

マスタ R F 発生器システム 102 に提供されるレシピ信号 303 は、マスタ R F 発生器システム 102 によって生成される R F 信号 302 の電力レベル、位相、パルス周波数、および周波数を含む。同様に、スレーブ R F 発生器システム 108 に提供されるレシピ信号 305 は、スレーブ R F 発生器システム 108 によって生成される R F 信号 304 の電力レベルおよび位相を含み、スレーブ R F 発生器システム 118 に提供されるレシピ信号

10

20

30

40

50

307は、スレーブRF発生器システム118によって生成されるRF信号306の電力レベルを含む。

【0082】

マスタRF発生器システム102からレシビ信号303を受信すると、スレーブRF発生器システム108は、レシビ信号303内に示された周波数を識別し、RF信号134（図1）の周波数からRF信号136（図1）の周波数を決定するのと同じやり方で、スレーブRF発生器システム108によって生成されるRF信号304の周波数を決定する。

【0083】

また、マスタRF発生器システム102からレシビ信号303を受信すると、スレーブRF発生器システム108は、レシビ信号303内に示されたパルス周波数を識別し、スレーブRF発生器システム108によって生成されるRF信号304のパルス周波数を決定する。RF信号304のパルス周波数は、RF信号136のパルス周波数がRF信号134のパルス周波数から決定されるのと同じやり方で決定される。

【0084】

マスタRF発生器システム102からレシビ信号303を受信すると、スレーブRF発生器システム118は、レシビ信号内に示された周波数および位相を識別し、スレーブRF発生器システム118によって生成されるRF信号306の周波数および位相を決定する。RF信号306の周波数および位相は、RF信号138（図1）の周波数および位相がRF信号134の周波数および位相から決定されるのと同じやり方で決定される。

【0085】

また、マスタRF発生器システム102からレシビ信号303を受信すると、スレーブRF発生器システム118は、レシビ信号303内に示されたパルス周波数を識別し、スレーブRF発生器システム118によって生成されるRF信号306のパルス周波数を決定する。RF信号306のパルス周波数は、RF信号138のパルス周波数がRF信号134のパルス周波数から決定されるのと同じやり方で決定される。

【0086】

さらに、プロセッサ114は、マスタRF発生器システム102、スレーブRF発生器システム108、およびスレーブRF発生器システム118のそれぞれにトリガ信号を送信する。トリガ信号を受信すると、マスタRF発生器システム102は、プロセッサ114から受信したレシビ信号303内に示された周波数、位相、パルス周波数、および電力レベルを有するRF信号302を生成し、RF信号302をRFケーブル122を介して整合器104の入力に送信する。同様に、トリガ信号を受信すると、スレーブRF発生器システム108は、マスタRF発生器システム102から受信したレシビ信号303から識別された周波数およびパルス周波数に基づき、プロセッサ114から受信したレシビ信号305内で示された電力レベルおよび位相を有するRF信号304を生成し、RF信号304をRFケーブル126を介して整合器110の入力に送信する。

【0087】

なお、トリガ信号を受信した後、マスタRF発生器システム102は、RF信号304に対して位相差 ϕ を達成するためにRF信号302を生成する。例えば、マスタRF発生器システム102は、RF信号304が生成された後またはトリガ信号が受信された後で位相差 ϕ に等しい量の時間が経過した後に、RF信号302を生成する。例示すると、マスタRF発生器システム102のDSPは、位相差 ϕ に等しい量の時間後に、マスタ制御信号をRF発振器等のマスタRF電源に送信する。この例示では、マスタRF電源は、マスタRF発生器システム102のDSPに結合され、マスタRF発生器システム102内に配置されている。この例示では、スレーブRF発生器システム108のDSPは、マスタRF発生器システム102のDSPがマスタRF電源にマスタ制御信号を送信する前に、RF発振器等のスレーブRF電源にスレーブ制御信号を送信する。この例示では、スレーブRF電源は、スレーブRF発生器システム108のDSPに結合され、スレーブRF発生器システム108内に配置されている。さらに、この例示では、マスタ制御信号を受

10

20

30

40

50

信すると、マスタRF電源はRF信号302を生成し、スレーブ制御信号を受信すると、スレーブRF電源はRF信号304を生成する。また、トリガ信号を受信すると、スレーブRF発生器システム118は、マスタRF発生器システム102から受信したレシピ信号303内で識別された周波数、パルス周波数、および位相に基づき、プロセッサ114から受信したレシピ信号307内で示された電力レベルを有するRF信号306を生成し、RF信号306をRFケーブル130を介して整合器120の入力に送信する。

【0088】

RF信号302を整合器104の入力において受信すると、整合器104は、整合器104の出力に結合された負荷のインピーダンスと、整合器104の入力に結合された供給源のインピーダンスとを整合する。RF信号302のインピーダンスを修正するようにインピーダンスが整合されて、整合器104の出力において修正RF信号308が提供される。修正RF信号308は、RF伝送線124を介して基板支持体SSの下部電極に提供される。

【0089】

同様に、RF信号304を整合器110の入力において受信すると、整合器110は、整合器110の出力に結合された負荷のインピーダンスと、整合器110の入力に結合された供給源のインピーダンスとを整合する。RF信号304のインピーダンスを修正するようにインピーダンスが整合されて、整合器110の出力において修正RF信号310が提供される。修正RF信号310は、RF伝送線128を介して上部電極UEに提供される。

【0090】

また、RF信号306を整合器120の入力において受信すると、整合器120は、整合器120の出力に結合された負荷のインピーダンスと、整合器120の入力に結合された供給源のインピーダンスとを整合する。RF信号306のインピーダンスを修正するようにインピーダンスが整合されて、整合器120の出力において修正RF信号312が提供される。修正RF信号312は、RF伝送線132を介してエッジリングERに提供される。

【0091】

1つまたは複数のプロセスガスが、修正RF信号308、310、および312に加えてプラズマチャンバ106内の基板支持体SSと上部電極UEとの間のギャップに供給されるときに、プラズマチャンバ106内でプラズマが打たれるか、または維持される。プラズマチャンバ106内で生成されたプラズマは、基板SUの処理に使用される。例えば、プラズマは、基板SUの上面に材料を堆積させるため、または基板SUをエッチングするため、または基板SUを洗浄するために使用される。RF信号306および304の位相間の位相差が ϕ であるとき、位相差が ϕ ではないときと比べて、基板SUの処理の速度（エッチング速度、堆積速度、または洗浄速度など）が上昇する。上部電極UEから下部電極に流れる二次電子の流束が最大であるときに速度が上昇する。流束が増加することにより、後述する遷移ウィグリングの機会が減り、処理の速度が上昇する。

【0092】

ある実施形態では、レシピ信号303はRF信号302の位相を含まず、レシピ信号305はRF信号304の位相を含まない。より正確に言えば、プロセッサ114が、マスタRF発生器システム102にマスタトリガ信号を送信し、スレーブRF発生器システム108にスレーブトリガ信号を送信して、位相差 ϕ を達成する。例えば、プロセッサ114は、スレーブRF発生器システム108にスレーブトリガ信号を送信した後で位相差 ϕ に等しい期間の後に、マスタトリガ信号をマスタRF発生器システム102に送信する。例示すると、プロセッサ114は、スレーブトリガ信号をスレーブRF発生器システム108に第1の時間において送信する。この例示では、スレーブトリガ信号を送信した後、プロセッサ114は、位相差 ϕ に等しい期間待機し、マスタトリガ信号をマスタRF発生器システム102に第2の時間において送信する。さらに、この例示では、マスタトリガ信号を受信すると、マスタRF発生器システム102はRF信号302を生成する。また

10

20

30

40

50

、この例示では、スレーブトリガ信号を受信すると、スレーブRF発生器システム108はRF信号304を生成する。

【0093】

ある実施形態では、電力制御モードにおいて、RF信号302、304、および306の電力レベルが制御される。電力制御モードでは、RF信号302の電力レベル、RF信号304の電力レベル、およびRF信号306の電力レベルが、プロセッサ114によって制御される。位相差 ϕ と、RF信号302、304、および306の電力レベルとに基づいて、基板SUのエッチングフィーチャのエッチングプロファイルおよびエッチング速度が制御される。

【0094】

一実施形態では、電力レベルの代わりに、RF信号の電圧レベルが電圧制御モードにおいて制御される。電圧制御モードでは、RF信号302の電圧レベル、RF信号304の電圧レベル、およびRF信号306の電圧レベルが、プロセッサ114によって制御される。位相差 ϕ と、RF信号302、304、および306の電圧レベルとに基づいて、基板SUのエッチングフィーチャのエッチングプロファイルおよびエッチング速度が制御される。

【0095】

図4は、クロック信号402を例示するための、グラフ400の一実施形態の図である。グラフ400では、クロック信号402の論理レベル対時間 t がプロットされている。図示のように、クロック信号402は、時間 t_0 において論理レベル0から論理レベル1にパルス出力し、時間 t_0 から時間 t_3 まで論理レベル1に留まる。クロック信号402は時間 t_3 において論理レベル1から論理レベル0にパルス出力し、時間 t_3 から時間 t_6 まで論理レベル0に留まる。クロック信号402のサイクル1は時間 t_0 に開始し、時間 t_6 に終了する。クロック信号402のサイクル2は時間 t_6 に開始し、時間 t_{12} に終了する。

【0096】

図5は、パルス出力されたRF信号502を例示するための、グラフ500の一実施形態の図である。グラフ500では、RF信号502のパラメータ対時間 t がプロットされている。RF信号502は、スレーブRF発生器システム108（図1）によって生成されたRF信号136または304（図1および図3）の一例である。RF信号502は包絡線504を有し、包絡線504はあるデューティサイクルでパルス出力されている。包絡線504の一例は、ピーク・トゥ・ピーク振幅またはゼロ・トゥ・ピーク振幅である。包絡線504は、時間 t_0 においてパラメータレベル P_0 からパラメータレベル P_1 および $-P_1$ に遷移し、時間 t_0 から時間 t_{18} までパラメータレベル P_1 および $-P_1$ に留まる。パラメータレベル P_1 は、パラメータレベル P_0 よりも大きい。パラメータの例は、電圧または電力である。

【0097】

包絡線504は、時間 t_{18} においてパラメータレベル P_1 および $-P_1$ からパラメータレベル P_0 に遷移し、時間 t_{18} から時間 t_{36} までパラメータレベル P_0 に留まる。パラメータレベル P_1 および $-P_1$ 、および P_0 が、時間 t_{36} から時間 t_{72} まで再び繰り返される。包絡線504は、時間 t_0 と t_{36} との間にパルスを形成し、時間 t_{36} と t_{72} との間に別のパルスを形成する。このように、包絡線504は50%のデューティサイクルを有し、デジタル信号またはデジタルパルス信号を表す。

【0098】

包絡線のデューティサイクルにより、包絡線のパルス周波数が提供される。例えば、包絡線のパルス周波数は、1秒あたりの包絡線のパルス数である。包絡線のパルス周波数は、包絡線を有するRF信号の周波数よりも低い。

【0099】

一実施形態では、パルス出力される代わりに、連続波（CW）RF信号がスレーブRF発生器システム108（図1）によって生成される。

10

20

30

40

50

【0100】

一実施形態では、包絡線504が、50%とは異なるデューティサイクル（25%または60%など）を有する。

【0101】

一実施形態では、位相差 ϕ が、クロック信号402（図4）の後続サイクル中に適用される。例えば、クロック信号402のサイクル2またはサイクル3またはサイクル4中に、プロセッサ114は、RF信号134の位相またはRF信号136（図1）の位相またはそれらの組み合わせを制御して、位相間の位相差 ϕ を達成する。この例では、サイクル2、3、または4のいずれかがクロック信号402のサイクル1に続く。また、この例では、サイクル2はサイクル1に連続し、サイクル3はサイクル2に連続し、サイクル4はサイクル3に連続する。RF信号134および136の位相は、RF信号302および304の位相が制御されるのと同じやり方で制御される。

10

【0102】

図6は、パルス出力されたRF信号602を例示するための、グラフ600の一実施形態の図である。グラフ600では、RF信号602のパラメータ対時間 t がプロットされている。RF信号602は、マスタRF発生器システム102によって生成されたRF信号134または302（図1および図3）の一例である。RF信号602は包絡線604を有し、包絡線604はあるデューティサイクルでパルス出力されている。包絡線604の一例は、ピーク・トゥ・ピーク振幅またはゼロ・トゥ・ピーク振幅である。包絡線604は、時間 t_0 においてパラメータレベル P_0 からパラメータレベル P_a および $-P_a$ に遷移し、時間 t_0 から時間 t_{18} までパラメータレベル P_a および $-P_a$ に留まる。パラメータレベル P_a は、パラメータレベル P_0 よりも大きい。

20

【0103】

包絡線604は、時間 t_{18} においてパラメータレベル P_a および $-P_a$ からパラメータレベル P_0 に遷移し、時間 t_{18} から時間 t_{36} までパラメータレベル P_0 に留まる。パラメータレベル P_a および $-P_a$ 、および P_0 が、時間 t_{36} から時間 t_{72} まで再び繰り返される。包絡線604は、時間 t_0 と t_{36} との間にパルスを形成し、時間 t_{36} と t_{72} との間に別のパルスを形成する。このように、包絡線604は50%のデューティサイクルを有し、デジタル信号またはデジタルパルス信号を表す。

【0104】

一実施形態では、包絡線604が、50%とは異なるデューティサイクル（30%または70%など）を有する。

30

【0105】

ある実施形態では、スレーブRF発生器システム118によって生成されたRF信号138または306（図1および図3）が、RF信号602と同様である。例えば、RF信号138または306は、RF信号602と同じ周波数を有するが、RF信号602とは異なるパラメータレベル（より高いか、またはより低いパラメータレベルなど）を有する。別の例としては、RF信号138または306は、RF信号602と同じ周波数を有し、RF信号602と同じパラメータレベルを有する。

【0106】

図7Aは、位相差 ϕ ではないときに積層体700の側壁702がエッチングされることを例示するための、積層体700の一実施形態を上から見下ろす図である。積層体700は、酸化物（O）層および窒化物（N）の層の別の積層体を含み、二酸化ケイ素（SiO₂）層を含む。図示のように、キャビティ704が側壁702に形成され、位相差 ϕ を使用しないことによって生じる遷移ウィグリングを表している。一例として、遷移ウィグリングは、側壁702の平坦な表面からの、キャビティ704の深さを表す。

40

【0107】

図7Bは、積層体700（図7A）の一例である積層体750の一実施形態の側面図である。積層体750は、ONON層が重ねられたシリコン基板を有し、ONON層の上に二酸化ケイ素層が重ねられている。キャビティ752が図7Bに示されている。キャビテ

50

ィ 7 5 2 は 遷 移 ウ ィ グ リ ン グ を 表 す。

【 0 1 0 8 】

図 8 は、位相差 ϕ を適用したときに遷移ウィグリングが低減することを例示するための、グラフ 8 0 0 の一実施形態である。グラフ 8 0 0 では、上部電極 U E の構成に対するナノメートル (nm) 単位の遷移ウィグリングがプロットされている。位相差 ϕ が適用されないとき、遷移ウィグリングの量 8 0 2 が大きくなる。例えば、上部電極 U E がグラウンド (GND) 電位に結合されているとき、量 8 0 2 の遷移ウィグリングが生じる。量 8 0 2 は、位相差 ϕ が上部電極 U E に適用されたときの遷移ウィグリングの別の量 8 0 4 よりも多い。

【 0 1 0 9 】

本明細書に記載の実施形態は、ハンドヘルドハードウェアユニット、マイクロプロセッサシステム、マイクロプロセッサベースの、またはプログラム可能な家電、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータ等を含む、様々なコンピュータシステム構成で実施してよい。本明細書に記載の実施形態はまた、コンピュータネットワークを介してリンクされたりリモート処理ハードウェアユニットによってタスクが実行される分散コンピューティング環境においても実施可能である。

【 0 1 1 0 】

いくつかの実施形態では、コントローラは、上述の例の一部であってもよいシステムの一部である。システムは、1つもしくは複数の処理ツール、1つもしくは複数のチャンバ、1つもしくは複数の処理用プラットフォーム、および／または特定の処理部品（ウエハ台座、ガスフローシステム等）などの半導体処理機器を含む。システムは、半導体ウエハまたは基板の処理前、処理中、および処理後のシステムの操作を制御するための電子機器と一体化される。この電子機器を、システムの各種部品または副部品を制御し得る「コントローラ」と呼ぶ。コントローラは、処理要件および／またはシステムの種類に応じて、本明細書に開示された、プロセスガスの送出、温度設定（例えば、加熱および／または冷却）、圧力設定、真空設定、電力設定、RF 発生器の設定、RF 整合回路の設定、周波数設定、流量設定、流体送出設定、位置および操作設定、ツールならびにシステムに接続またはインターフェース接続する他の移送ツールおよび／またはロードロック内外へのウエハの移送等のいずれかのプロセスを制御するようにプログラムされる。

【 0 1 1 1 】

大まかに言えば、様々な実施形態において、コントローラは、例えば、命令を受信し、命令を出し、操作を制御し、清掃動作を可能とし、エンドポイント測定等を可能にする各種集積回路、ロジック、メモリ、および／またはソフトウェアを有する電子機器として定義される。集積回路は、プログラム命令を格納するファームウェアの形態のチップ、DSP、ASIC として定義されたチップ、PLD、1つもしくは複数のマイクロプロセッサ、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、様々な個別設定（またはプログラムファイル）の形でコントローラに伝達される命令であって、半導体ウエハ上または半導体ウエハ用にプロセスを実行する操作パラメータを定める。操作パラメータは、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／またはウエハの型の製造の際の1つまたは複数の処理ステップを達成するためにプロセスエンジニアによって定められるレシピの一部である。

【 0 1 1 2 】

コントローラは、いくつかの実施形態において、システムに統合されるか、システムに結合されるか、そうでなければシステムにネットワーク接続されるか、それらの組み合わせであるコンピュータの一部であるか、コンピュータに結合されている。例えば、コントローラは、「クラウド」内、または、ウエハ処理のリモートアクセスを可能とする製造工場のホストコンピュータシステムのすべてもしくは一部である。コントローラは、システムへのリモートアクセスを可能とすることで、製造操作の現在の進行を監視し、過去の製造操作の履歴を検証し、複数の製造操作から傾向または性能基準を検証することで、現在

10

20

30

40

50

の処理のパラメータを変更し、現在の処理に続く処理ステップを設定し、または新しいプロセスを開始できる。

【0113】

いくつかの実施形態では、リモートコンピュータ（例えばサーバ）が、ローカルネットワークまたはインターネットを含むコンピュータネットワークを通じてシステムにプロセススレシビを提供する。リモートコンピュータは、パラメータおよび／または設定の入力またはプログラミングを可能とするユーザインターフェイスを含み、パラメータおよび／または設定は次にリモートコンピュータからシステムに伝えられる。いくつかの例では、コントローラは、ウエハを処理するための設定の形で命令を受信する。なお、設定は、ウエハに実施されるプロセスの種類、およびコントローラがインターフェース接続または制御するツールの種類に特有であると理解すべきである。したがって、上述の通り、コントローラは、互いにネットワーク接続されて、本明細書に記載のプロセスを満たすことなどの共通の目的に向かって働く1つまたは複数の別個のコントローラを含めることなどにより分散される。そのような目的のために分散されたコントローラの例としては、チャンバ内でのプロセスを制御するために組み合わせられて、リモート配置（例えばプラットフォームレベルで、またはリモートコンピュータの一部として）された1つまたは複数の集積回路と通信する、チャンバ上の1つまたは複数の集積回路が挙げられる。

【0114】

限定されないが、様々な実施形態において、本明細書に記載のプラズマシステムは、プラズマエッチングチャンバ、堆積チャンバ、スピンリンスチャンバ、金属めっきチャンバ、クリーンチャンバ、ベベルエッジエッチングチャンバ、物理気相堆積（PVD）チャンバ、化学気相堆積（CVD）チャンバ、原子層堆積（ALD）チャンバ、原子層エッチング（ALE）チャンバ、イオン注入チャンバ、トラックチャンバ、または半導体ウエハの製造および／または生産に関連づけられるかまたは使用される他の任意の半導体処理チャンバを含む。

【0115】

なお、上述の操作は、平行平板プラズマチャンバ（例えば、容量結合プラズマチャンバ）等に言及して説明されているが、いくつかの実施形態では、上述の操作は、他の種類のプラズマチャンバ（例えば、誘導結合プラズマ（ICP）リアクタを含むプラズマチャンバ、トランス結合プラズマ（TCP）リアクタ、導体ツール、誘電体ツール、電子サイクロトロン共鳴（ECR）リアクタを含むプラズマチャンバ等）に対して適用されることにさらに留意されたい。例えば、X MHz RF 発生器、Y MHz RF 発生器、および Z MHz RF 発生器が、ICP プラズマチャンバ内のインダクタに結合される。

【0116】

上述のように、ツールによって実施されるプロセス操作に応じて、コントローラは、他のツール回路またはモジュール、他のツール部品、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、近隣ツール、工場全体に配置されたツール、メインコンピュータ、他のコントローラ、またはウエハのコンテナをツール位置および／または半導体生産工場内のロードポート内外に運ぶ材料搬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。

【0117】

上記の実施形態を考慮して、実施形態のいくつかは、コンピュータシステムに格納されたデータを含む、コンピュータ実装の様々な操作を採用すると理解すべきである。これらのコンピュータ実装操作は、物理量を操作するものである。

【0118】

いくつかの実施形態はまた、これらの操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。装置は、特別用途のコンピュータ用に特別に構成される。特別用途のコンピュータと定義された場合、このコンピュータは、特別用途のために動作可能なまま、特別用途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。

【0119】

いくつかの実施形態では、本明細書に記載の操作は、コンピュータメモリに格納されるか、コンピュータネットワークを介して取得された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起動または構成されたコンピュータによって実施される。データがコンピュータネットワークを介して取得されるとき、このデータは、コンピュータネットワーク上の他のコンピュータ、例えば、コンピューティングリソースのクラウドによって処理されてもよい。

【0120】

本明細書に記載した1つまたは複数の実施形態は、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製造することも可能である。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格納ハードウェアユニット（例えばメモリデバイス等）であり、データ格納ハードウェアユニットはその後コンピュータシステムによって読み取られる。非一時的なコンピュータ可読媒体の例としては、ハードドライバ、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、ならびにその他の光学および非光学のデータ格納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では、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方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を介して分散されたコンピュータ可読有形媒体を含む。

10

【0121】

上述したいくつかの方法操作は特定の順序で提示されたが、様々な実施形態において、方法操作の合間に他のハウスキーピング操作が行われるか、方法操作がわずかに異なる時間に発生するように調整されるか、様々なインターバルで方法操作の発生を可能にするシステムにおいて分散されるか、または上記とは異なる順序で実施されると理解すべきである。

20

【0122】

なお、ある実施形態においては、本開示に記載された様々な実施形態に記載された範囲から逸脱することなく、上述したいずれかの実施形態からの1つまたは複数の特徴が、他のいずれかの実施形態の1つまたは複数の特徴と組み合わせられることにさらに留意されたい。

【0123】

前述の実施形態は、理解を明確にするためにある程度詳細に説明されているが、添付の請求項の範囲内で特定の変更および修正を実施できることは明らかであろう。したがって、本実施形態は例示であって制限的なものではないと考えられ、本実施形態は本明細書に示された詳細に限定されず、添付の請求項およびその均等物の範囲内で修正してよい。

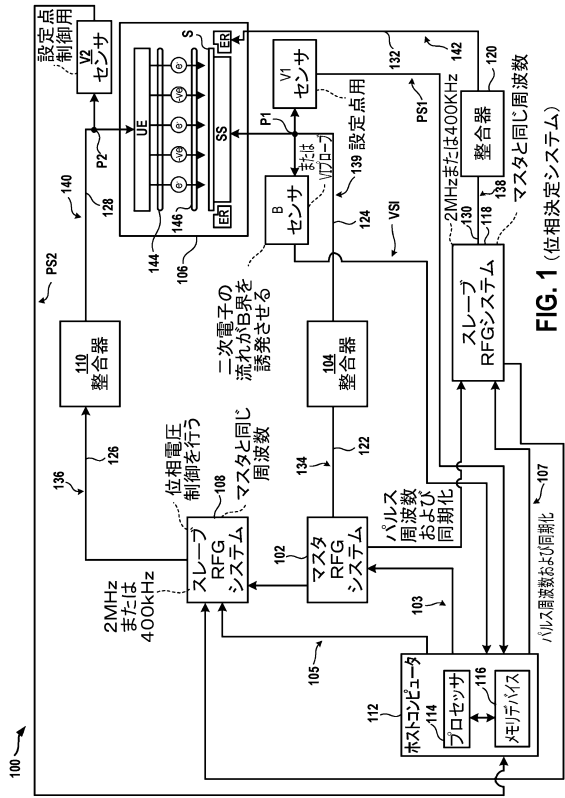
30

40

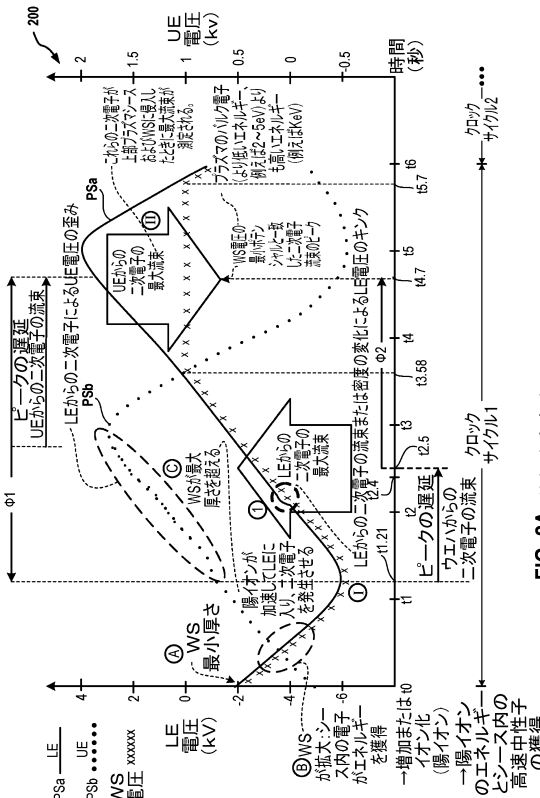
50

【図面】

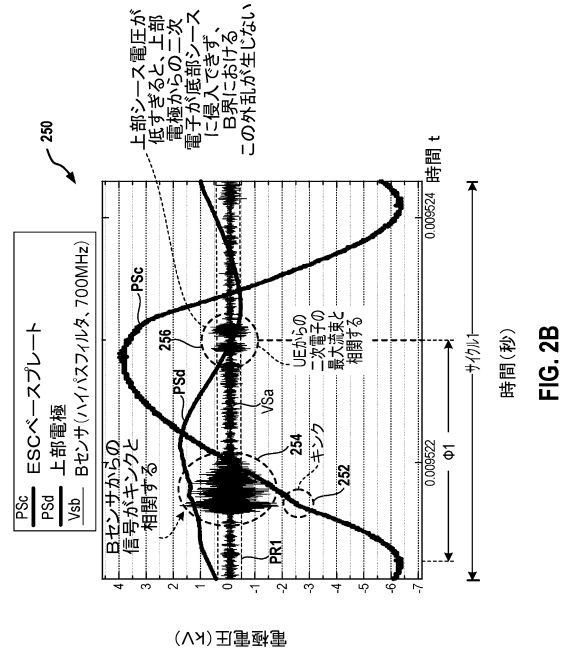
【図 1】



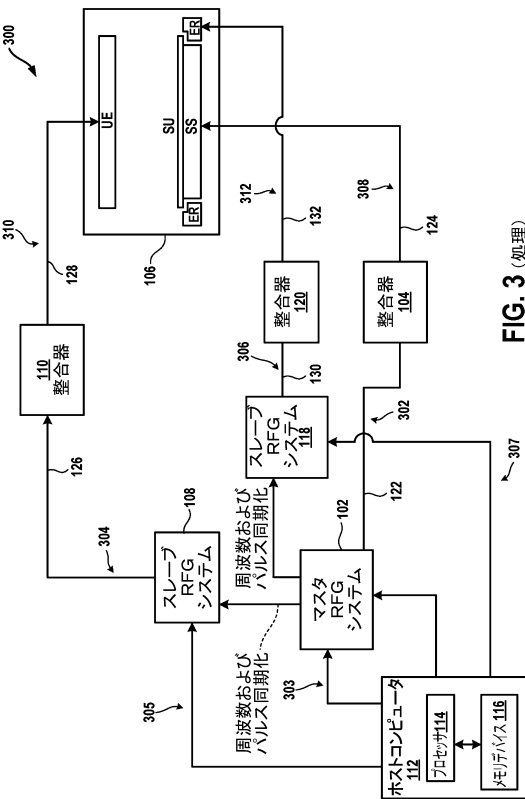
【図 2 A】



【図 2 B】



【図 3】



10

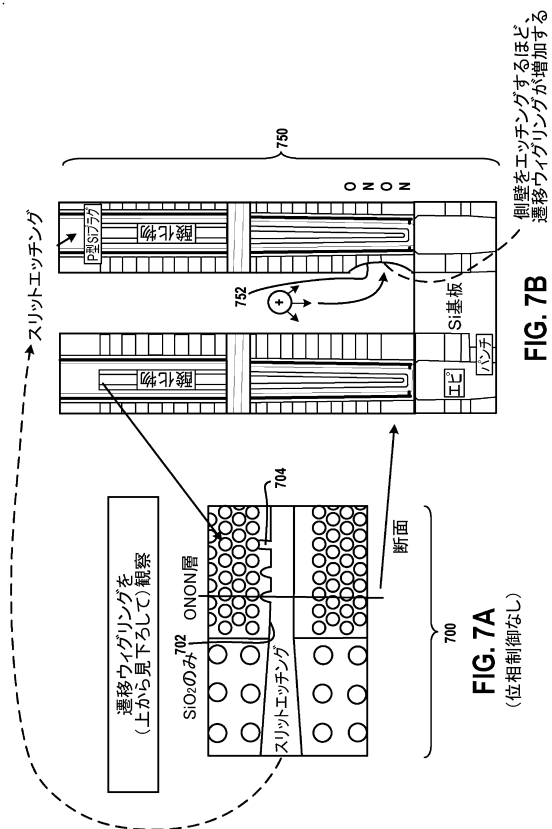
20

30

40

50

【図 7 B】



【圖 8】

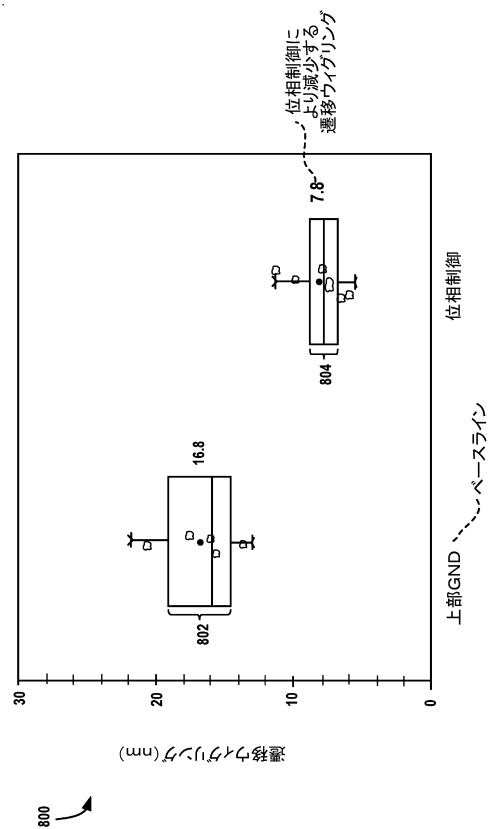


FIG. 8

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2022/043898
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); G01R 25/00(2006.01); H01L 21/02(2006.01); H01L 21/3065(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: radio-frequency(RF), phase, difference, electrode, chamber, parameter signal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2019-0237300 A1 (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) 01 August 2019 (2019-08-01) See paragraphs 97-112; and figures 1-7.	1-20
A	US 2016-0247666 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED) 25 August 2016 (2016-08-25) See claim 1; and figure 1.	1-20
A	US 2013-0320852 A1 (DAIHEN CORPORATION) 05 December 2013 (2013-12-05) See the entire document.	1-20
A	KR 10-2017-0052062 A (SEMES CO., LTD.) 12 May 2017 (2017-05-12) See the entire document.	1-20
A	WO 2020-106408 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 28 May 2020 (2020-05-28) 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 10 January 2023		Date of mailing of the international search report 10 January 2023
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 2022)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/US2022/043898

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2019-0237300	A1	01 August 2019	JP	2019-134021	A	08 August 2019
				JP	6997642	B2	17 January 2022
				KR	10-2019-0092219	A	07 August 2019
				KR	10-2120738	B1	10 June 2020
				TW	201933469	A	16 August 2019
				TW	I711084	B	21 November 2020
				US	10755897	B2	25 August 2020
US	2016-0247666	A1	25 August 2016	JP	2016-157735	A	01 September 2016
				JP	6449674	B2	09 January 2019
				KR	10-2016-0102892	A	31 August 2016
				KR	10-2418245	B1	07 July 2022
				US	10707053	B2	07 July 2020
				US	2018-0096822	A1	05 April 2018
				US	9870898	B2	16 January 2018
US	2013-0320852	A1	05 December 2013	JP	2013-250231	A	12 December 2013
				US	9110106	B2	18 August 2015
KR	10-2017-0052062	A	12 May 2017	KR	10-1736847	B1	17 May 2017
WO	2020-106408	A1	28 May 2020	CN	112955997	A	11 June 2021
				JP	2022-507782	A	18 January 2022
				KR	10-2021-0080555	A	30 June 2021
				SG	11202103597	A	29 June 2021
				TW	202038292	A	16 October 2020
				US	2020-0161093	A1	21 May 2020

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2022)

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,N
E,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,
CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,J
M,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,T
H,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0

(72)発明者 リゲッティ・ファビオ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0

(72)発明者 ジン・ゼファ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0

(72)発明者 ルケージ・ケネス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0

(72)発明者 コザケビッチ・フェリックス・リーブ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0

(72)発明者 ホランド・ジョン・パトリック

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0

F ターム (参考) 2G084 AA02 AA03 CC12 CC13 CC15 DD55 HH08 HH22 HH25 HH27

HH43