

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6809885号
(P6809885)

(45) 発行日 令和3年1月6日 (2021. 1. 6)

(24) 登録日 令和2年12月14日 (2020. 12. 14)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006. 01)

HO 1 L 21/302 1 O 1 C

HO 5 H 1/46 (2006. 01)

HO 5 H 1/46 L

請求項の数 20 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2016-233796 (P2016-233796)	(73) 特許権者	592010081
(22) 出願日	平成28年12月1日 (2016. 12. 1)		ラム リサーチ コーポレーション
(65) 公開番号	特開2017-143244 (P2017-143244A)		LAM RESEARCH CORPOR
(43) 公開日	平成29年8月17日 (2017. 8. 17)		ATION
審査請求日	令和1年11月29日 (2019. 11. 29)		アメリカ合衆国, カリフォルニア 945
(31) 優先権主張番号	14/956, 154		38, フレモント, クッシング パークウ
(32) 優先日	平成27年12月1日 (2015. 12. 1)		エイ 4650
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	110000028
			特許業務法人明成国際特許事務所
		(72) 発明者	イベリン・アンゲロフ
			アメリカ合衆国 カリフォルニア州945
			38 フレモント, クッシング・パークウ
			エイ, 4650, ラム リサーチ コーポ
			レーション内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板におけるイオンビームの入射角の制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を処理するためのシステムであって、
チャンバと、
チャックアセンブリと、
イオン源と、を備え、
前記チャックアセンブリは、
基板サポートと、
前記基板サポートの下方領域の中心点に結合された中心サポートを有する歳差アセンブリであり、前記中心サポートは、静止している、歳差アセンブリと、を含み、
前記歳差アセンブリは、さらに、第1のアクチュエータおよび第2のアクチュエータを含み、前記第1のアクチュエータは、前記下方領域内の、前記中心点からずらされた第1の位置に接続され、前記第2のアクチュエータは、前記下方領域内の、前記中心点からずらされた第2の位置に接続され、
前記歳差アセンブリは、前記第1のアクチュエータおよび前記第2のアクチュエータが、前記第1のアクチュエータが第1の周波数にしたがって上下に移動するとともに前記第2のアクチュエータが第2の周波数にしたがって上下に移動するように前記中心サポートに相対的に上下に移動するとき、前記基板サポートに歳差運動が与えられ、前記第1の周波数は、前記第2の周波数から独立しているように、プログラムされ、
前記イオン源は、前記チャンバに接続され、前記イオン源は、前記チャックアセンブリ

10

20

の前記基板サポートの方を向いており、前記イオン源は、プラズマが発生するときにイオンを生成するように構成され、前記イオンは、前記基板サポートの方に向けられ、

前記歳差運動は、前記基板サポート上に前記基板が存在するときに前記基板サポートに与えられ、前記歳差運動は、前記基板サポートの回転を伴うことなく前記基板サポートの回転傾斜を引き起こし、前記基板の前記回転傾斜は、前記イオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で前記基板の表面に衝突させるように構成される、システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記第 1 のアクチュエータは、第 1 の振幅で上下に移動し、前記第 2 のアクチュエータは、第 2 の振幅で上下に移動し、前記第 1 の振幅は、前記第 2 の振幅とは独立に制御される、システム。

10

【請求項 3】

請求項 1 に記載のシステムであって、さらに、

前記歳差運動をプログラムするために前記歳差アセンブリと通信しているコントローラを備えるシステム。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のシステムであって、

前記コントローラは、前記基板上の特徴がどのようにエッチングされるかを制御するために、前記歳差運動を管理して前記プラズマからのイオンの入射角を設定する、システム。

20

【請求項 5】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記歳差運動は、周期的であり、前記第 1 の位置は、前記基板が前記基板サポート上に搭載されるときに初期ポジションにあり、前記第 1 の位置から前記初期ポジションまでの距離は、時間とともに正弦波状に変化する、システム。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記第 1 の位置および前記第 2 の位置は、前記下方領域の辺縁部にあり、前記第 1 の位置は、前記中心点を基準として前記第 2 の位置から 90 度離れている、システム。

30

【請求項 7】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記第 1 の位置および前記第 2 の位置は、前記下方領域の辺縁部の近くにある、システム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記第 1 のアクチュエータおよび前記第 2 のアクチュエータの前記上下の移動は、前記歳差運動を生み出すために、前記歳差アセンブリによって別々にかつ独立に制御される、システム。

【請求項 9】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記基板の辺縁部上の点は、前記歳差運動中に上下に移動する、システム。

40

【請求項 10】

基板を処理するためのシステムであって、

チャンバと、

チャックアセンブリと、

イオン源と、を備え、

前記チャックアセンブリは、

基板サポートと、

中心サポートと、第 1 の回転カムと、第 2 の回転カムとを含む歳差アセンブリであり

50

、前記中心サポートは、静止しており、前記基板サポートの底面の中心点に結合される、歳差アセンブリと、を含み、

前記第 1 の回転カムは、前記底面内の、前記中心点からずらされた第 1 の位置に接続され、前記第 2 の回転カムは、前記底面内の、前記中心点からずらされた第 2 の位置に接続され、

前記歳差アセンブリは、前記第 1 の回転カムおよび前記第 2 の回転カムが前記第 1 の位置および前記第 2 の位置を上下に移動させるときに、前記基板サポートに歳差運動が与えられるように、プログラムされ、

前記第 1 の回転カムは、前記第 2 の回転カムとは独立に移動し、

前記イオン源は、前記基板サポートの方を向いており、プラズマが発生するときにイオンを生成し、前記歳差運動は、前記基板サポートの回転を伴うことなく前記基板サポートの回転傾斜を引き起こし、前記基板の前記回転傾斜は、前記イオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で前記基板の表面に衝突させるように構成される、システム。

【請求項 11】

請求項 10 に記載のシステムであって、

前記第 1 の位置は、第 1 の振幅で上下に移動し、前記第 2 の位置は、第 2 の振幅で上下に移動し、前記第 1 の振幅は、前記第 2 の振幅とは独立に制御される、システム。

【請求項 12】

請求項 10 に記載のシステムであって、さらに、

前記歳差運動をプログラムするために前記歳差アセンブリと通信しているコントローラを備えるシステム。

【請求項 13】

請求項 12 に記載のシステムであって、

前記コントローラは、前記基板上の特徴がどのようにエッチングされるかを制御するために、前記歳差運動を管理して前記プラズマからのイオンの入射角を設定する、システム。

【請求項 14】

請求項 10 に記載のシステムであって、

前記歳差運動は、周期的であり、前記第 1 の位置は、前記基板が前記基板サポート上に搭載されるときに初期ポジションにあり、前記第 1 の位置から前記初期ポジションまでの距離は、時間とともに正弦波状に変化する、システム。

【請求項 15】

基板を処理するための方法であって、

基板をチャンバ内で基板サポート上に搭載することと、

歳差アセンブリによって、前記基板サポートの歳差運動を引き起こすことと、

を備え、

前記歳差運動は、前記基板が前記基板サポート上にあるときに与えられ、前記歳差運動は、前記基板サポートの回転を伴うことなく前記基板サポートの回転傾斜を引き起こし、前記基板の前記回転傾斜は、前記チャンバの上方でイオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で前記基板の表面に衝突させるように構成され、

前記歳差アセンブリは、中心サポートと、第 1 のアクチュエータと、第 2 のアクチュエータとを含み、前記中心サポートは、上下の移動に関しては静止しており、前記基板サポートの下方領域の中心点に結合され、

前記第 1 のアクチュエータは、前記基板サポートの前記下方領域内で前記中心点からずらされた第 1 の位置に接続され、前記第 2 のアクチュエータは、前記基板サポートの前記下方領域内で前記中心点からずらされた第 2 の位置に接続され、

前記歳差運動は、前記第 1 のアクチュエータおよび前記第 2 のアクチュエータが、前記第 1 のアクチュエータが第 1 の周波数にしたがって上下に移動するとともに前記第 2 のアクチュエータが第 2 の周波数にしたがって上下に移動するように前記中心サポートに相対

10

20

30

40

50

的に上下に移動するときに、形成され、前記第 1 の周波数は、前記第 2 の周波数に対して独立に設定されており、

前記基板サポートの回転を伴うことなく前記中心サポートに対する前記回転傾斜をおこすように、前記第 1 の周波数は、前記第 2 の周波数に対して暫定的にずらされて設定されている、方法。

【請求項 16】

請求項 15 に記載の方法であって、

前記第 1 のアクチュエータは、第 1 の振幅で上下に移動し、前記第 2 のアクチュエータは、第 2 の振幅で上下に移動し、前記第 1 の振幅は、前記第 2 の振幅とは独立に制御される、方法。

10

【請求項 17】

請求項 15 に記載の方法であって、さらに、

前記歳差運動をプログラムするために、コントローラが前記歳差アセンブリと通信しており、前記コントローラは、前記基板上の特徴がどのようにエッチングされるかを制御するために、前記歳差運動を管理してプラズマからのイオンの入射角を設定する、方法。

【請求項 18】

請求項 15 に記載の方法であって、

前記歳差運動は、周期的であり、前記第 1 の位置は、前記基板が前記基板サポート上に搭載されるときに初期ポジションにあり、前記第 1 の位置から前記初期ポジションまでの距離は、時間とともに正弦波状に変化する、方法。

20

【請求項 19】

請求項 15 に記載の方法であって、

前記第 1 の位置および前記第 2 の位置は、前記下方領域の辺縁部にあり、前記第 1 の位置は、前記中心点を基準として前記第 2 の位置から 90 度離れている、方法。

【請求項 20】

請求項 15 に記載の方法であって、

前記方法の動作は、1 つ以上のプロセッサによって実行されるときにコンピュータプログラムによって実施され、前記コンピュータプログラムは、非一過性のコンピュータ読み取り可能媒体に記録されている、方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本明細書で説明される実施形態は、半導体製造チャンバにおけるエッチングを向上させるための方法、システム、およびプログラムに関し、特に、基板の表面におけるイオンビームの方向を制御するための方法、システム、およびコンピュータプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体製造では、エッチングプロセスが一般的にかつ繰り返し行われる。当業者に周知のように、エッチングプロセスには、ウェットエッチングおよびドライエッチングの 2 タイプがある。ドライエッチングの 1 種が、誘導結合プラズマエッチング装置を使用して実施されるプラズマエッチングである。

40

【0003】

プラズマは、様々なタイプのラジカル、ならびに陽イオンおよび陰イオンを含有している。様々なラジカル、陽イオン、および陰イオンの化学反応は、基板の特徴、表面、および材料をエッチングするために使用される。

【0004】

一部のチャンバでは、基板は、プラズマから来るイオンが基板の表面にどのように衝突するかを制御するために、スピンするチャックによって支持される。基板を一定の温度または制御された温度に維持するためには、回転する基板を液体冷却または気体冷却する必要があり、また、回転固定具に対して基板を静電クランプする必要もあるだろう。液体ま

50

たは気体、および電気を回転固定具に到達させるためには、回転ジャーナル（軸頸）および回転スリップリング（集電環）が必要である。このようなジャーナルおよびスリップリングは、回転シールの故障または接触器の故障ゆえに、寿命に限りがある。寿命は、回転数の関数であるのが一般的であり、回転が速いほど、ジャーナル寿命は短くなる。

【 0 0 0 5 】

均一なエッチングを尚も実現しつつ、回転ジャーナルを排除することが望まれている。実施形態が提起されるのは、このような状況においてである。

【 発明の概要 】

【 0 0 0 6 】

基板におけるイオンビームの入射角を制御するための、方法、機器、システム、およびコンピュータプログラムが提起される。本明細書で説明される実施形態は、方法、装置、システム、機器、またはコンピュータ読み取り可能媒体上のコンピュータプログラムなどの、数々の形態で実現可能であることがわかる。幾つかの実施形態が、以下で説明される。

【 0 0 0 7 】

基板を処理するためのシステムは、チャンバと、チャックアセンブリと、イオン源とを含む。チャックアセンブリは、基板サポートと、歳差アセンブリとを含む。歳差アセンブリは、基板サポートの下方領域の中心点に結合された中心サポートを有し、該中心サポートは、静止している。歳差アセンブリは、さらに、第1のアクチュエータと、第2のアクチュエータとを含み、第1のアクチュエータは、下方領域内の、中心点からずらされた第1の位置に接続され、第2のアクチュエータは、下方領域内の、中心点からずらされた第2の位置に接続される。歳差アセンブリは、第1のアクチュエータおよび第2のアクチュエータが、第1のアクチュエータが第1の周波数にしたがって上下に移動するとともに第2のアクチュエータが第2の周波数にしたがって上下に移動するように中心サポートに相対的に上下に移動するときに、基板サポートに歳差運動が与えられるように、プログラムされる。ここで、第1の周波数は、第2の周波数から独立している。チャンバには、イオン源が接続し、該イオン源は、方向的にチャックアセンブリの基板サポートの方を向いている。ここで、イオン源は、プラズマが発生するときにイオンを生成するように構成され、該生成されたイオンは、基板サポートの方に向けられる。歳差運動は、基板サポート上に基板が存在するときに基板サポートに与えられ、基板サポートの回転を伴うことなく基板サポートの回転傾斜を引き起こす。基板の回転傾斜は、イオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で基板の表面に衝突させるように構成される。

【 0 0 0 8 】

基板を処理するための別のシステムは、チャンバと、チャックアセンブリと、イオン源とを含む。チャックアセンブリは、基板サポートと、歳差アセンブリとを含む。歳差アセンブリは、中心サポートと、第1の回転カムと、第2の回転カムとを含み、中心サポートは、静止しており、基板サポートの底面の中心点に結合される。第1の回転カムは、底面内の、中心点からずらされた第1の位置に接続され、第2の回転カムは、底面内の、中心点からずらされた第2の位置に接続される。さらに、歳差アセンブリは、第1の回転カムおよび第2の回転カムが第1の位置および第2の位置を上下に移動させるときに、基板サポートに歳差運動が与えられるように、プログラムされる。第1の回転カムは、第2の回転カムとは独立に移動する。イオン源は、基板サポートの方を向いており、プラズマが発生するときにイオンを生成する。歳差運動は、基板サポートの回転を伴うことなく基板サポートの回転傾斜を引き起こし、基板の回転傾斜は、イオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で基板の表面に衝突させるように構成される。

【 0 0 0 9 】

基板を処理するための方法は、基板をチャンバ内で基板サポート上に搭載するための動作を含む。方法は、さらに、歳差アセンブリによって、基板サポートの歳差運動を引き起こすための動作を含み、ここで、歳差運動は、基板が基板サポート上にあるときに与えられる。歳差運動は、基板サポートの回転を伴うことなく基板サポートの回転傾斜を引き起

こし、基板の回転傾斜は、チャンバの上方でイオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で基板の表面に衝突させるように構成される。歳差アセンブリは、中心サポートと、第1のアクチュエータと、第2のアクチュエータとを含む。中心サポートは、静止しており、基板サポートの下方領域の中心点に結合され、第1のアクチュエータは、基板サポートの下方領域内で中心点からずらされた第1の位置に接続され、第2のアクチュエータは、基板サポートの下方領域内で中心点からずらされた第2の位置に接続される。歳差運動は、第1のアクチュエータおよび第2のアクチュエータが、第1のアクチュエータが第1の周波数にしたがって上下に移動するとともに第2のアクチュエータが第2の周波数にしたがって上下に移動するように中心サポートに相対的に上下に移動するときに、形成される。ここで、第1の周波数は、第2の周波数から独立している。

10

【0010】

添付の図面との関連もとで述べられる以下の詳細な説明から、その他の態様が明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

実施形態は、添付の図面との関連のもとで述べられる以下の詳細な説明を参照することによって、最も良く理解されるだろう。

【0012】

【図1】一実施形態にしたがった、エッチング動作に用いられるプラズマ処理システムを示した概略断面図である。

20

【0013】

【図2】一実施形態にしたがった、動作時におけるチャンバを示した図である。

【0014】

【図3】一実施形態にしたがった、動作時に基板が傾斜されるとき複数の基板ポジション（姿勢）を示した図である。

【0015】

【図4A】一実施形態にしたがった、チャック／基板に加えられる歳差運動が2つのアクチュエータによって実施されるチャンバを示した図である。

【図4B】一実施形態にしたがった、チャック／基板に加えられる歳差運動が2つのアクチュエータによって実施されるチャンバを示した図である。

30

【0016】

【図5A】一実施形態にしたがった、2つの辺縁点を上下に移動させることによる基板の歳差運動を示した図である。

【0017】

【図5B】一実施形態にしたがった、2つの辺縁点の高さの変化を示したグラフである。

【0018】

【図5C】一実施形態にしたがった、2つの辺縁点がそれぞれの高さを変化させた後における基板を示した図である。

【0019】

【図5D】一実施形態にしたがった、基板の傾斜に応じたイオンビームの入射角の変化を示した図である。

40

【0020】

【図6A】一実施形態にしたがった、チャック／基板に加えられる歳差運動が2つの回転カムによって実施されるチャンバを示した図である。

【0021】

【図6B】一実施形態にしたがった、チャック／基板に加えられる歳差運動が、チャックの底部に接続された3本のプッシュロッド（押し棒）によって実施されるチャンバを示した図である。

【0022】

【図6C】一実施形態にしたがった、チャック／基板に加えられる歳差運動が2つの軸モ

50

ータによって実施されるチャンバを示した図である。

【 0 0 2 3 】

【図 7】一実施形態にしたがった、経時的に変化する歳差運動を加えることによって基板を処理するためのアルゴリズムを示したフローチャートである。

【 0 0 2 4 】

【図 8】実施形態を実現するためのコンピュータシステムを示した概略図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 5 】

実施形態は、チャックによって支持されている基板のポジションを変化させるために、チャックに揺動運動を与える。基板のポジションを変化させることによって、プラズマからのイオンビームの角度が制御できる。これは、基板をスピンさせる必要なく基板がポジションを変化させることを可能にし、その結果、基板を回転させるために必要とされる高価な構成要素が回避でき、製造での節約につながる。

【 0 0 2 6 】

以下の実施形態は、基板におけるイオンビームの入射角を制御するための方法、機器、システム、およびコンピュータプログラムを説明する。本明細書で説明される実施形態は、これらの具体的詳細の一部または全部を伴わずとも実施されることが明らかである。また、本明細書で説明される実施形態を不必要に不明瞭にしないために、周知のプロセス動作の詳細な説明は省略されている。

【 0 0 2 7 】

図 1 は、一実施形態にしたがった、エッチング動作に用いられるプラズマ処理システムを示した概略断面図である。システムは、基板を運ぶ搬送モジュール 1 1 0 と、仕切り弁と、チャンバ 1 1 4 とを含む。基板 1 1 2 は、基板ロード 1 5 4 を通ってチャンバに入り、ここでは、基板 1 1 2 は、チャンバ 1 1 4 に入るときに、水平ポジションをとる。チャンバは、チャックアセンブリ 1 1 5 と、ポジションアクチュエータ 1 3 6 とを含む。チャックアセンブリ 1 1 5 は、基板サポート 1 1 6 と、歳差アセンブリ 1 4 0 とを含む。一部の実施形態では、チャンバ内に、誘電体窓 1 0 6 (不図示) も存在している。

【 0 0 2 8 】

基板サポート 1 1 6 は、基板 1 1 2 を支持するための静電チャックであることができる。歳差アセンブリ 1 4 0 は、後ほどさらに詳しく論じられるように、動作中に基板サポートに歳差運動を加え、ウエハにぶつかるときのプラズマからのイオンの入射角を変化させる。

【 0 0 2 9 】

ポジションアクチュエータ 1 3 6 は、基板が垂直ポジションをとっている間に基板の処理を実施するために、基板が搭載された後にチャックアセンブリを 9 0 度回転させる。図 1 に示された実施形態は、垂直ポジションをとっている基板を処理するためのものであるが、ウエハ/チャックに運動を加えるための、本明細書で提示される原理は、水平ポジションをとっている基板を処理するチャンバにも用いられてよい。

【 0 0 3 0 】

設備 1 0 4 は、動作中に基板サポートに電力を提供するためにまたは基板を冷却するための液体もしくは気体を提供するために、チャックアセンブリに接続される。イオン源 1 3 4 が、基板を処理するためのプラズマを生成する。一部の実施形態では、チャンバ 1 0 0 内部に、内部ファラデーシールド (不図示) が配置される。一部の実施形態では、イオン源 1 3 4 は、整合回路網 1 0 2 に接続された T C P コイルである。

【 0 0 3 1 】

さらに示されているのは、1 つ以上の発生器で定めることができるバイアス R F 発生器 1 2 0 である。もし、複数の発生器が提供されるならば、様々な同調特性を実現するために、様々な周波数が使用できる。R F 発生器 1 2 0 と、アセンブリの基板サポート 1 1 6 を定めている導電性板との間には、バイアス整合器 1 1 8 が結合される。基板サポート 1 1 6 は、基板の把持および解放を可能にするために、静電電極も含む。大まかに言うと、

フィルタと、DCクランプ電源とが提供できる。基板を基板サポート116から持ち上げるための、その他の制御システムも提供できる。

【0032】

ガス源128は、マニホールド122を通じて混合可能な複数のガス源を含む。ガス源は、1種類以上の反応性ガス（本明細書では、主要ガスとも呼ばれる）と、1種類以上の微調整用ガスとを含む。反応性ガスは、エッチングのために使用される活性ガスであり、基板に対するエッチングに必要とされる種の源である。反応性ガスの例には、 Cl_2 、 HBr 、および SF_6 があり、ただし、その他の反応性ガスが使用されてもよい。基板に対する加工動作、無基板状態での自動洗浄動作、およびその他の動作などの様々なタイプの動作のための様々なガスをチャンバに供給するために、複数のガス供給部が提供されてよいことがわかる。

10

【0033】

操作可能なプラズマ処理時における、真空圧力制御とチャンバからの副生成物の除去とを可能にするために、真空ポンプ130が、チャンバ114に接続される。チャンバに適用される真空吸引の量を制御するために、弁126が、排出口124と真空ポンプ130との間に配置される。

【0034】

チャンバ114は、約1ミリトール(mT)から約500ミリトール(mT)までの範囲の真空条件でも動作する。具体的に全て図示されているわけではないが、チャンバ114は、クリーンルーム内または製造施設内に設置されるときに、設備に結合されるのが一般的である。設備は、処理ガス、真空、温度制御、および環境粒子制御を提供する配管システムを含む。

20

【0035】

チャンバ114およびその関連の構成要素の動作を制御するために、プログラマブルコントローラ108が提供される。大まかに言うと、コントローラ108は、レシピによって定められたチャンバ動作を実行するようにプログラムできる。所定のレシピは、TCPコイルへの電力の供給、チャンバへのガスの流入、および真空の適用などの、動作のための様々なパラメータを指定してよい。チャンバ114およびその関連の構成要素の動作を制御するために、タイミング、持続時間、振幅、またはその他の任意の調整可能パラメータもしくは制御可能特徴が、レシピによって定められてコントローラによって実行可能であることがわかる。また、一連のレシピが、プログラムされてコントローラ108に組み込まれてよい。

30

【0036】

一実施形態では、コントローラは、複数の歳差運動プロファイルを含む、または複数の歳差運動プロファイルへのアクセスを有し、各歳差運動プロファイルは、チャンバ内における特定の動作で歳差運動を生じさせるための命令を含む。歳差運動は、後ほどさらに詳しく論じられるように、運動の周波数または振幅などの、チャックに加えられる運動のタイプを変動させる。

【0037】

図2は、一実施形態にしたがった、動作時におけるチャンバを示している。一実施形態では、基板112は、基板サポート116に搭載され、基板の搭載後、ポジションアクチュエータは、プラズマの発生前に基板サポート116および基板112に垂直ポジションをとらせるために基板サポート116を90度回転させる。イオン源134は、チャンバの横側に、垂直の向きで配置される。なお、留意すべきは、実施形態が、チャックが垂直ポジションまたは水平ポジションをとる状態で動作するチャンバ内で実行されてよいことである。

40

【0038】

これまでの解決策では、プラズマ、即ち基板にぶつかるイオンビームを基準にして基板の角度を変化させるために、（例えば、10～120毎分回転数(RPM)で）基板が回転される。チャックは、基板を保持し、そして、高電圧接続部（例えば、設備104）と

50

、基板がプラズマに接近しているゆえに熱くなりすぎることがないように基板の温度を制御するためのウエハ冷却部とを有する必要がある。

【 0 0 3 9 】

基板の回転に伴う問題は、どのようにして電気、水、およびひいては（実施形態によっては）ガスをチャックに供給するかである。水、ガス、電気のための接続部が接続されなくてはならず、これらの接続部は、スピンドルを通じてこれらのもの（水、ガス、電気）を運ぶことができる特注の（または高価な）機械的結合を必要とする。問題は、回転する機械的結合部が時間とともに不具合を生じ、このような故障までの時間が通常は回転数に依存することである。チャックがスピンすればするほど、スピン部分の故障は早まる。さらに、故障によって、チャンバ内に水が入ったり、ガスが害を及ぼす場所にガスが入ったりする恐れがあるので、故障は、壊滅的なものになる可能性がある。

10

【 0 0 4 0 】

図 3 は、一実施形態にしたがった、動作時に基板が傾斜されるとき複数の基板ポジションを示している。図 3 は、初期水平ポジションをとる基板を処理するときの、基板のポジションを示している。チャックを回転させる代わりに、チャックおよび基板は、チャック / 基板を実際に回転させることなく動き回される。チャックは、歳差運動を受け、該歳差は、円を描くように、ただしチャックをスピンさせることなく動く。歳差運動は、基板における制御された揺動効果として説明されてよく、ここでは、基板の最高点が時間とともに変化し、基板の外周上のどの点も、いつか基板の最高点になりえる。要するに、基板の中心が実質的に静止した状態に維持される一方で、基板の傾斜軸が時間とともに変化する。一実施形態では、歳差運動が加えられるのに伴って、基板表面の回転傾斜がある。これは、惑星タイプの振動に類似する。しかしながら、留意すべきは、歳差運動がチャック / ウエハの回転（例えば、スピン）を含まないことである。

20

【 0 0 4 1 】

その他の実施形態では、同じ歳差効果を生み出すために、チャックの中心も上下に移動してもよく、ただし、やはりチャックの回転は伴わない。

【 0 0 4 2 】

このような運動は、チャックの傾斜および 3 6 0 度回転と同じ効果を、固定具の回転を必要とすることなく実現する。水、空気、および電気のための接続部は、いずれも、可撓性ワイヤ、またはチューブで作成できる。図 3 は、時間の経過に伴う基板の様々なポジションを示している。様々なポジションは、チャックの回転を伴うことなしに、基板の最高点が時間とともに変化すること、プラズマを基準とした基板の上面の角度も時間とともに変化すること、および基板の上面の傾斜が時間とともに回転することを示している。

30

【 0 0 4 3 】

図 4 A ~ 4 B は、一実施形態にしたがった、チャック / 基板に加えられる歳差運動が 2 つのアクチュエータによって実施されるチャンバを示している。図 4 A は、基板 1 1 2 を処理するためのチャンバの側面図である。歳差アセンブリ 1 4 0 は、基板サポート 1 1 5 の底面に基板サポート 1 1 5 の中心から離れた位置 4 0 3 a および 4 0 3 b で接続された 2 つのアクチュエータ 4 0 4 a および 4 0 4 b を含む。

【 0 0 4 4 】

40

概して、アクチュエータは、メカニズムまたはシステムを移動させるまたは制御する役割を担う一種のモータである。機械的アクチュエータは、回転運動を線形運動に変換して運動を実行することによって機能する。これは、線形運動を生み出すために、ギア、レール、プーリ、チェーン、またはその他の機器を伴ってよい。一例は、回転運動を直線運動に変換する 1 対のギアを含むラックアンドピニオンアクチュエータである。ピニオンと呼ばれる円形ギアが、ラックと呼ばれる線形ギアバー上の歯とかみ合う。ピニオンに加えられた回転運動は、ラックをピニオンに相対的に移動させ、そうしてピニオンの回転運動を線形運動に変換する。アクチュエータ 4 0 4 a および 4 0 4 b は、基板サポート 1 1 5 の歳差運動を生み出すために、基板サポートの下でラック 4 0 2 a および 4 0 2 b を移動させる。

50

【 0 0 4 5 】

また、歳差アセンブリ 1 4 0 は、固定サポート 4 0 6 を含み、該サポートは、点 4 0 5 で基板サポート 1 1 5 の底面に接触する。一実施形態では、基板サポートは、点 4 0 8 の上に載っているが、その他の実施形態では、歳差運動が加えられるときに基板サポート 1 1 5 が点 4 0 8 を中心に枢動可能である限り、固定サポート 4 0 6 と基板サポート 1 1 5 との間の結合は様々であってよい。

【 0 0 4 6 】

一実施形態では、アクチュエータラック 4 0 2 a および 4 0 2 b は、基板サポート 1 1 5 の底面の辺縁部で基板サポート 1 1 5 の底面に接続される。アクチュエータラック 4 0 2 a および 4 0 2 b のための接触点は、基板サポートの中心点を基準にして特定の角度で分離されている。図 4 B は、基板サポート 1 1 5 の上面図を示しており、該基板サポート 1 1 5 は、基板サポート 1 1 5 の底面の中心における接触点 4 0 8 と、それぞれ点 4 0 3 a および 4 0 3 b で基板サポートの辺縁部に接続されたアクチュエータラック 4 0 2 a および 4 0 2 b とを含む。図 4 B に示された代表的な実施形態では、アクチュエータラック 4 0 2 a および 4 0 2 b は、基板サポート 1 1 5 の底面の中心を基準にして 9 0 度離れているが、その他の実施形態では、3 0 度、1 3 5 度、または 1 0 度から 3 5 0 度までの範囲の任意の角度などの、その他の分離角度が可能である。

【 0 0 4 7 】

アクチュエータラック 4 0 2 a および 4 0 2 b が上下に移動するのに伴って、対応する接触点 4 0 3 a および 4 0 3 b も上下に移動し、これが、チャックの歳差運動を引き起こす。基板の表面の向きは、3 つの点 4 0 8、4 0 3 a、および 4 0 3 b を含む面によって画定される基板サポートの向きと同じである。

【 0 0 4 8 】

各アクチュエータラックは、振幅とも呼ばれる設定可能な高さで上下動してよく、また、特定の周波数で上下動してよい。アクチュエータの振幅および周波数は、ともに、独立に制御され、互いに独立しており、したがって、コントローラ 1 0 8 は、周波数および振幅に基づいて、異なる歳差効果を生み出すことができる。例えば、基板に対して所望される効果に応じ、動作によって歳差効果が速かったり遅かったりする。これは、各処理工程に応じて（例えば、アスペクト比に応じて）処理レシピがアクチュエータの周波数および振幅を変化させられるゆえに、柔軟性を可能にする。

【 0 0 4 9 】

この実施形態では、歳差アセンブリ 1 4 0 は、それぞれのアクチュエータラック 4 0 2 a および 4 0 2 b を伴う 2 つのアクチュエータ 4 0 4 a および 4 0 4 b と、固定サポート 4 0 6 とを含む。留意すべきは、図 4 A ~ 4 B に示された実施形態が代表例に過ぎないことである。その他の実施形態では、歳差運動が生じさえすれば、チャックの様々な部分にアクチュエータが接続される、またはチャックの底部の固定点为中心から離れるなどが可能である。図 4 A ~ 4 B に示された実施形態は、したがって、排他的または限定的ではなく、むしろ、代表的または例示的なものであると解釈されるべきである。

【 0 0 5 0 】

図 5 A は、一実施形態にしたがった、2 つの辺縁点を上下に移動させることによる基板の歳差運動を示している。図 5 A の実施形態では、歳差運動を生み出すために、基板サポートの底部の辺縁部における 2 つの点が上下に移動される。例えば、点 P_1 および P_2 が、図 4 A の 2 つのアクチュエータによってまたは後述される図 6 A の回転カムによって制御されてよい。図 5 A に示された代表的な実施形態では、点 P_1 および P_2 が、基板サポートの中心を基準にして 9 0 度離れているが、その他の実施形態では、点 P_1 および P_2 の分離の角度が異なっていてよい。

【 0 0 5 1 】

時間の経過に伴って、基板サポートの中心は、静止したままであり、 P_1 および P_2 の各点は、所定の振幅で上下に移動する。したがって、基板サポート底面は、どの時点においても、中心、点 P_1 、および点 P_2 の 3 つの点によって決定される。

【 0 0 5 2 】

点 P_1 および P_2 は、互いに独立に移動し、コントローラによって別々にかつ独立に制御される。したがって、プラズマを基準にした基板のポジションは、時間とともに変化することができ、これは、点の上下移動に伴う基板の表面の向きとして、無限の可能性を可能にする。図 5 A の実施形態は、水平ポジションをとる基板サポート 1 1 5 を示している。

【 0 0 5 3 】

図 5 B は、一実施形態にしたがった、2つの辺縁点の高さの変化を示したグラフである。一実施形態では、 P_1 および P_2 の各点の高さは、時間経過で記録すると、周期的な正弦波形状を示しており、これは、変化の振幅（例えば、最大高さおよび最小高さ）と、周波数とに依存する。正弦波運動ゆえに、基板の動きは、滑らかであり、基板を損傷させるかもしれないけれども、その他の実施形態では、点の高さプロフィールは、正弦波状ではなく、その他の周期的または非周期的な運動パターンをたどってよい。

【 0 0 5 4 】

図 5 B に示された代表的な実施形態では、点 P_1 の軌道は、線 5 0 4 で記録され、点 P_2 の軌道は、線 5 0 2 で記録される。この実施形態では、周波数が異なり、振幅もまた異なるが、その他の実施形態では、振幅が同じであってよく、周波数もまた同じであるかもしれない。ただし、もし、周波数が等しいならば、基板は、基板の歳差を円状に変化させることなくシーソー状に動くだろう。

【 0 0 5 5 】

一実施形態では、一点における運動の周波数は、毎分 1 2 0 回で周期するアクチュエータによって決定されるが、その他の値も可能である。例えば、アクチュエータは、毎分 5 ~ 2 0 0 回の範囲の周波数、または毎分 3 0 ~ 1 5 0 回の範囲の周波数を周期としてよい。一実施形態では、共鳴パターンを回避するために、アクチュエータの周波数は互いの倍数ではない。

【 0 0 5 6 】

コントローラは、点 P_1 および点 P_2 をともに独立に制御することによって、基板に対して所望の歳差（首振り）/ 円運動効果（precession/circular effect）を得ることができる。その他の実施形態では、異なる組み合わせが可能である。例えば、点 P_1 が非常にゆっくり動く一方で、点 P_2 は非常に速く動いてよく、これは、時間とともに角度をゆっくり変化させるシーソー様の効果を基板にもたらす。その他の実施形態では、両周波数が低く、その結果、基板の表面の向きがゆっくり変化し、別の実施形態では、両周波数が高く、その結果、プラズマを基準にして基板の表面の向きが速く変化する。

【 0 0 5 7 】

図 5 C は、一実施形態にしたがった、2つの辺縁点がそのそれぞれの高さを変化させた後の基板を示した図である。図 5 C は、点 P_1 および P_2 が移動した後の基板サポート 1 1 5 のポジションを示している。ここでは、点 P_1 は、静止ポジションと最高高さとの間の距離の約 3 分の 1 であり、点 P_2 は、静止ポジションと最低可能高さとの間の距離の約 4 分の 1 である。

【 0 0 5 8 】

基板サポートの底面の中心は、静止したままであり、底面のポジションは、中心、点 P_1 、および点 P_2 が基板サポートの底面の面を定めているゆえに、これらの3つの点によって決定される。点 P_1 および点 P_2 が移動するにつれて、基板サポートの底面によって定められる面も移動する。一部の実施形態では、表面の傾斜は、水平に対して最大 8 0 度まで行ってよいが、他の実施形態では、5 度のように低くてもよい。したがって、任意の点 P_1 または点 P_2 の運動によって生じる傾斜は、3 度から 8 5 度までの範囲であってよく、ただし、その他の値も可能である。

【 0 0 5 9 】

図 5 D は、一実施形態にしたがった、基板の歳差運動に応じたイオンビームの入射角の変化を示している。マスクを伴って、エッチングが開始する。特定の角度で来るイオンは、エッチングする領域と、エッチングしない領域とがある。角度は、構造のアスペクト比

10

20

30

40

50

の関数であり、イオンビームの角度が増すときは、アスペクト比を増加させることが可能である。

【 0 0 6 0 】

一部のエッチングパターンでは、メモリチップなどのように、規則的パターンにしたがう複数の特徴がある。入射角の制御は、アスペクト比の制御を可能にする。しかしながら、基板の傾斜に伴って、イオンの流れに対して影が形成される可能性がある。図 5 D に示された代表的な実施形態では、イオン方向は、基板の表面の傾斜に応じて変化する。場合によっては、イオン方向は、イオンビーム 5 2 2 のように、イオンが特徴 5 1 5 に衝突することを可能にする。しかしながら、その他の場合は、イオン方向は、イオン方向 5 1 0 のように、イオンが特徴 5 1 5 に衝突しないような方向である。

10

【 0 0 6 1 】

まとめると、イオン入射角は、基板のポジションに応じて変化する、一部の特徴は、特定の角度では遮断される一方で、その他の角度ではイオンの到達を受ける。

【 0 0 6 2 】

もし、基板上のパターンが均一であるならば、コントローラは、基板特徴にイオンが衝突することを可能にする通路を活用するために、時間の経過に伴って傾斜がどれくらい速くまたはどれくらい遅く変化するかを制御する。こうすれば、一部のイオンは、これらの経路を通して優先的に入ってくる。

【 0 0 6 3 】

一実施形態では、変化の速度が均一ではない。例えば、時折、基板は、イオンが所望の特徴に衝突しているときは遅く傾斜するが、イオンが所望の特徴に到達するのを阻む影があるときは速く傾斜する。基板の表面の変化率に加えて、歳差運動の角度もまた、プロセスレシピに基づいて基板の表面におけるイオンの入射を向上させるために制御されてよい。

20

【 0 0 6 4 】

したがって、一実施形態では、コントローラは、イオンの入射角に基づいて、基板の歳差 / 傾斜の変化率を決定する。コントローラは、基板が所望のポジションをとる時間を可能な限り長くとり一方で、基板が所望ではないポジションをとる時間を可能な限り短くとる。これは、アスペクト比を向上させ、基板上に深い特徴をエッチングするために必要とされる時間を短縮する。

30

【 0 0 6 5 】

図 6 A は、一実施形態にしたがった、チャック / 基板に加えられる歳差運動が 2 つの回転カムによって実施されるチャンバを示している。チャンバ 6 0 8 内の基板サポート 1 1 6 は、2 本の回転カム 6 2 2 および 6 2 4 に接続される。回転カムの回転に伴って、各回転カムは、基板サポートの、チャックの辺縁部上の点などの点を上下に移動させる。ただし、点の位置は、その他の位置でも可能である。一実施形態では、回転カムによって上下に移動される 2 つの点は、基板 / チャックの中心を基準にして 9 0 度離れており、ただし、その他の実施形態では、4 5 度、1 3 5 度、または 4 5 度から 1 8 0 度までの範囲の任意の値などの、その他の分離角度も可能である。

【 0 0 6 6 】

各回転カムは、チャック上の点に取り付けられたカムピンを有する。ピンの高さに応じて、チャック上の対応する点が得る上昇が異なる。

40

【 0 0 6 7 】

各回転カムは、コントローラによって別々に制御可能であり、該制御は、回転カムの、上昇の変化の振幅はもちろん周波数も含む。各回転カムの周波数および振幅は、互いに独立しており、コントローラは、カムの回転周波数に基づいて、異なる歳差効果を生み出すことができる。例えば、基板に対して所望される効果に応じて、動作によって歳差効果が速かったり遅かったりする。これは、各処理工程に応じて（例えば、アスペクト比に応じて）処理レシピが回転カムの周波数および振幅を変化させられるゆえに、柔軟性を可能にする。

50

【 0 0 6 8 】

この実施形態では、歳差アセンブリ 1 4 0 は、それぞれのアクチュエータを伴う 2 本の回転カムと、図 4 A の固定サポート 4 0 6 と同様な、固定された中心サポート（回転カム 6 2 4 の背後にあるゆえに、図示されていない）とを含む。

【 0 0 6 9 】

図 6 B は、一実施形態にしたがった、チャック / 基板に加えられる歳差運動が、チャックの底部に接続された 3 本のプッシュロッドによって実施されるチャンバ 6 4 0 を示している。一実施形態では、基板サポート 1 1 6 は、チャックの底部に接続された 3 本のプッシュロッド 6 0 6 a、6 0 6 b、および 6 0 6 c によって移動される。プッシュロッド 6 0 6 a、6 0 6 b、および 6 0 6 c は、コントローラ 1 0 8 と通信しているそれぞれのアクチュエータ 6 1 2 a、6 1 2 b、および 6 1 2 c に接続される。説明を明瞭にするために、チャンバ内の、基板サポート 1 1 6 によって保持されている基板などの一部の構成要素は省略されている。

10

【 0 0 7 0 】

イオン源 6 0 4 が、真空チャンバ 6 0 8 の上方にあり、イオン源 6 0 4 からのイオンビームは、下方へ伝わる。3 本のプッシュロッドは、上下に移動し、例えば基板の傾斜および揺動などの基板の表面の向きの変化、即ち歳差運動を引き起こす。コントローラは、所望されるチャック運動を生み出すために、3 本のプッシュロッド 6 0 6 a、6 0 6 b、および 6 0 6 c の動きを制御する。この実施形態では、歳差アセンブリ 1 4 0 は、3 本のプッシュロッドと、そのそれぞれのアクチュエータとを含む。

20

【 0 0 7 1 】

別の実施形態では、プッシュロッドのうちの 1 本が静止している一方で、残りの 2 本のプッシュロッドは上下に移動し、これは、上記 1 本のプッシュロッドが固定ジョイントに置き換え可能であること、およびこの解決案が 2 本のプッシュロッドのみで実現可能であることを意味する。例えば、一実施形態では、1 本のプッシュロッドがチャックの中心に結合され、残りの 2 本のプッシュロッドがチャック下の他の点に接続される。中心ロッドが実質的に静止している一方で、残りの 2 本のプッシュロッドは上下に移動する。

【 0 0 7 2 】

別の実施形態では、3 本のプッシュロッドは、チャックの辺縁部に近い位置でチャックに接続され、このとき、プッシュロッドが接続された 3 点は、基板の中心下に中心がある正三角形を形成する。

30

【 0 0 7 3 】

留意すべきは、図 6 B に例示された実施形態が代表的なものであることである。その他の実施形態では、コントローラが基板の表面の向きを制御可能である限り、プッシュロッドのための位置が様々であってよい。図 6 B に例示された実施形態は、したがって、排他的または限定的ではなく、むしろ、代表的または例示的なものであると解釈されるべきである。

【 0 0 7 4 】

図 6 C は、一実施形態にしたがった、チャック / 基板に加えられる歳差運動が 2 つの軸モータによって実施されるチャンバを示している。図 6 C は、チャンバ 6 4 0 の上面図であり、2 つの軸モータ 6 4 2 および 6 4 4 を含む。組み合わせられた 2 つの軸モータは、チャック / 基板に対して所望の歳差を生み出した。第 1 の軸モータ 6 4 4 は、第 2 の軸モータ 6 4 2 を上下させるシーソー効果を生み出す。第 2 の軸モータ 6 4 2 は、回転してチャック / 基板に対して歳差効果を生み出す。

40

【 0 0 7 5 】

組み合わせられた効果は、基板の表面に対して所望の回転歳差を生み出す。チャンバ 6 4 0 のコントローラは、基板に対して所望の歳差効果を得るために、2 つの軸モータをそれぞれ独立に制御する。例えば、歳差効果は、滑らかで、基板の表面の向きをゆっくり変化させてよい、または歳差効果は、基板の表面の向きに対して速い変化を引き起こしてよい。

50

【0076】

一実施形態では、第1の軸モータ644が、チャンバの外側にある一方で、第2の軸モータ642は、チャンバの内側にあるが、その他の実施形態では、両方の軸モータが、（真空の）チャンバの内側にまたはチャンバの外側に位置してよい。さらに、別の実施形態では、モータが、チャンバの内側にあってもよく、ただし、チャックの下の、大気圧の小チャンバ内に入れられていてよい。

【0077】

図4A、図6A、図6B、および図6Cに示された実施形態では、特殊なスピンコネクタは不要である。必要なのは、チャックの運動とともに動く可撓性コネクタのみである。例えば、可撓性コネクタとして、柔軟なチューブ、たわみ管、または可撓性ケーブル等が挙げられる。また、一部の実施形態では、コネクタの摩耗を抑えるために、コネクタを取り巻くケースが装着されてよい。

10

【0078】

留意すべきは、図4A、図6A、図6B、および図6Cに示された実施形態が代表的なものであることである。その他の実施形態は、異なる回転機器を用いたり、モータもしくはカムを異なる場所に位置付けたり、モータをプッシュロッドと組み合わせたりしてよく、これは、チャックをスピンさせる必要なく歳差効果を生み出すことを可能にする。図4A、図6A、図6B、および図6Cに示された実施形態は、したがって、排他的または限定的ではなく、むしろ、代表的または例示的なものであると解釈されるべきである。

20

【0079】

図7は、一実施形態にしたがった、経時的に変化する歳差運動を加えることによって基板を処理するためのアルゴリズムを示したフローチャートである。このフローチャート内の各種の動作は、順次提示されて説明されているが、当業者ならば、これらの動作の一部または全部が異なる順序で実行されてよい、または組み合わせられてよいもしくは省略されてよい、または平行して実行されてよいことがわかる。

【0080】

動作702は、チャンバ内で基板サポート上に基板を搭載するための動作である。動作702から、方法は、動作704に進み、チャンバ内の歳差アセンブリが、コントローラから歳差運動プロファイルを受信する。歳差運動プロファイルは、チャンバの動作時にチャックに加えられる歳差運動を特定する。歳差アセンブリは、基板サポートの下方領域の中心点に結合された、静止している中心サポートを含む。

30

【0081】

動作704から、方法は、動作706に進み、歳差運動プロファイルに基づいて、歳差アセンブリ内の第1のアクチュエータの運動についての第1の周波数および第1の振幅を決定する。第1のアクチュエータは、基板サポートの下方領域内で基板サポートの底面の中心からずらされた第1の位置に接続される。

【0082】

動作706から、方法は、動作708に進み、歳差運動プロファイルに基づいて、歳差アセンブリ内の第2のアクチュエータの運動についての第2の周波数および第2の振幅を決定する。第2のアクチュエータは、基板サポートの下方領域内で基板サポートの底面の中心からずらされた第2の位置に接続される。

40

【0083】

動作708から、方法は、動作710に進み、基板サポートの歳差運動を生み出すために、第1のアクチュエータおよび第2のアクチュエータを、決定されたそれぞれの周波数および振幅で作動させる。動作712では、チャンバ内でプラズマが生成される。

【0084】

歳差運動は、基板が基板サポート上にあるときに与えられ、この歳差運動は、基板サポートの回転を伴うことなく基板サポートの回転傾斜を引き起こす。さらに、基板の回転傾斜は、チャンバの上方でイオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で基板の表面に衝突させるように構成される。

50

【 0 0 8 5 】

歳差運動は、第 1 のアクチュエータおよび第 2 のアクチュエータが、第 1 のアクチュエータが第 1 の周波数にしたがって上下に移動するとともに第 2 のアクチュエータが第 2 の周波数にしたがって上下に移動するように中心サポートに相対的に上下に移動するときに、形成される。ここで、第 1 の周波数は、第 2 の周波数から独立している。

【 0 0 8 6 】

図 8 は、実施形態を実現するためのコンピュータシステムを示した概略図である。本明細書で説明される方法は、従来の汎用コンピュータシステムなどのデジタル処理システムによって実施されてよいことがわかる。1つの機能のみを実施するように設計またはプログラムされた特殊用途コンピュータが、代替として使用されてもよい。コンピュータシステムは、バス 8 1 0 を通じてランダムアクセスメモリ (R A M) 8 0 6、読み出し専用メモリ (R O M) 8 1 2、および大容量ストレージ機器 8 1 4 に接続される中央演算処理装置 (C P U) 8 0 4 を含む。システムコントローラプログラム 8 0 8 は、ランダムアクセスメモリ (R A M) 8 0 6 内にあるが、大容量ストレージ 8 1 4 内にあることも可能である。

10

【 0 0 8 7 】

大容量ストレージ機器 8 1 4 は、フロッピィディスクドライブまたは固定ディスクドライブなどの、永続的データストレージ機器を表しており、ローカルまたはリモートであってよい。ネットワークインターフェース 8 3 0 が、ネットワーク 8 3 2 を通じて接続を提供し、その他の機器への通信を可能にしている。なお、C P U 8 0 4 は、汎用プロセッサ、特殊プロセッサ、または特別にプログラムされた論理機器に搭載されてよいことがわかる。入出力インターフェースが、様々な周辺機器との通信を可能にしており、バス 8 1 0 を通じて C P U 8 0 4、R A M 8 0 6、R O M 8 1 2、および大容量ストレージ機器 8 1 4 に接続される。周辺機器の例として、ディスプレイ 8 1 8、キーボード 8 2 2、カーソル制御 8 2 4、着脱式媒体機器 8 3 4 等が挙げられる。

20

【 0 0 8 8 】

ディスプレイ 8 1 8 は、本明細書で説明されるユーザインターフェースを表示するように構成される。コマンド選択における情報を C P U 8 0 4 に通信するために、キーボード 8 2 2、カーソル制御 8 2 4、着脱式媒体機器 8 3 4、およびその他の周辺機器が入出力インターフェース 8 2 0 に接続される。なお、外部機器へのおよび外部機器からのデータは、入出力インターフェース 8 2 0 を通じて通信されてよいことがわかる。これらの実施形態は、有線ベースのネットワークまたはワイヤレスネットワークを通じてリンクされた遠隔処理機器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内でも実施できる。

30

【 0 0 8 9 】

実施形態は、携帯機器、マイクロプロセッサシステム、マイクロプロセッサをベースにしたもしくはプログラム可能な家庭用電子機器、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータなどの、様々なコンピュータシステム構成で実施されてよい。実施形態は、また、コンピュータネットワークを通じてリンクされた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内でも実施できる。

40

【 0 0 9 0 】

上記の実施形態を念頭に置くと、実施形態は、コンピュータシステムに格納されたデータを伴う様々なコンピュータ実行動作を利用できることが理解されるべきである。これらの動作は、物理量の物理的操作を必要とする動作である。本明細書で説明されて実施形態の一部を構成する動作は、有用な機械動作である。実施形態は、また、これらの動作を実施するための機器または装置にも関する。装置は、特殊用途コンピュータのように、所要目的のために特別に構成されてよい。特殊用途コンピュータとして定められるときは、コンピュータは、特殊用途のために動作可能でありつつも、特殊用途の一部ではないその他の処理、プログラム実行、またはルーチンも実施することができる。或いは、動作は、コンピュータメモリもしくはキャッシュに格納されたまたはネットワークを通じて得られた

50

1つ以上のコンピュータプログラムによって選択的にアクティブにされるまたは構成される汎用コンピュータによって処理されてよい。データは、ネットワークを通じて得られるときは、例えばコンピューティングリソースのクラウドなどの、ネットワーク上のその他のコンピュータによって処理されてよい。

【0091】

1つ以上の実施形態は、コンピュータ読み取り可能媒体上のコンピュータ読み取り可能コードとしても作成できる。コンピュータ読み取り可能媒体は、コンピュータシステムによって後で読み出されるデータを格納することができる任意のデータストレージ機器である。コンピュータ読み取り可能媒体の例には、ハードドライブ、ネットワーク接続ストレージ(NAS)、読み出し専用メモリ、ランダムアクセスメモリ、CD-ROM、CD-R、CD-RW、磁気テープ、ならびにその他の光および非光データストレージ機器がある。コンピュータ読み取り可能媒体は、コンピュータ読み取り可能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コンピュータシステムに分散された有形のコンピュータ読み取り可能媒体を含むことができる。

【0092】

方法の動作は、特定の順番で提示されているが、これらの動作間にその他のハウスキーピング動作が実施されてよいこと、または方法の動作が僅かに異なる時点で生じるように調整されてよいこと、またはオーバーレイ動作の処理が所望の形で実施される限り、処理に関係付けられた様々な時間間隔での処理動作の発生を可能にするシステム内で動作が分散されてよいことが、理解されるべきである。

【0093】

以上の実施形態は、理解を明瞭にする目的で幾らか詳細に説明されてきたが、添付の特許請求の範囲内で特定の変更および修正が可能であることが明らかである。したがって、本明細書で説明される実施形態は、例示的であって限定的ではないと見なされ、本明細書で与えられる詳細に限定されず、添付の特許請求の範囲およびそれらの均等物の範囲内で変更されてよい。

本開示は、たとえば、以下のような態様で実現することもできる。

適用例1:

基板を処理するためのシステムであって、

チャンバと、

チャックアセンブリと、

イオン源と、を備え、

前記チャックアセンブリは、

基板サポートと、

前記基板サポートの下方領域の中心点に結合された中心サポートを有する歳差アセンブリであり、前記中心サポートは、静止している、歳差アセンブリと、を含み、

前記歳差アセンブリは、さらに、第1のアクチュエータおよび第2のアクチュエータを含み、前記第1のアクチュエータは、前記下方領域内の、前記中心点からずらされた第1の位置に接続され、前記第2のアクチュエータは、前記下方領域内の、前記中心点からずらされた第2の位置に接続され、

前記歳差アセンブリは、前記第1のアクチュエータおよび前記第2のアクチュエータが、前記第1のアクチュエータが第1の周波数にしたがって上下に移動するとともに前記第2のアクチュエータが第2の周波数にしたがって上下に移動するように前記中心サポートに相対的に上下に移動するときに、前記基板サポートに歳差運動が与えられ、前記第1の周波数は、前記第2の周波数から独立しているように、プログラムされ、

前記イオン源は、前記チャンバに接続され、前記イオン源は、前記チャックアセンブリの前記基板サポートの方を向いており、前記イオン源は、プラズマが発生するときにイオンを生成するように構成され、前記イオンは、前記基板サポートの方に向けられ、

前記歳差運動は、前記基板サポート上に前記基板が存在するときに前記基板サポートに与えられ、前記歳差運動は、前記基板サポートの回転を伴うことなく前記基板サポートの

10

20

30

40

50

回転傾斜を引き起こし、前記基板の前記回転傾斜は、前記イオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で前記基板の表面に衝突させるように構成される、システム。

適用例 2 :

適用例 1 のシステムであって、

前記第 1 のアクチュエータは、第 1 の振幅で上下に移動し、前記第 2 のアクチュエータは、第 2 の振幅で上下に移動し、前記第 1 の振幅は、前記第 2 の振幅とは独立に制御される、システム。

適用例 3 :

適用例 1 のシステムであって、さらに、

前記歳差運動をプログラムするために前記歳差アセンブリと通信しているコントローラを備えるシステム。

適用例 4 :

適用例 3 のシステムであって、

前記コントローラは、前記基板上の特徴がどのようにエッチングされるかを制御するために、前記歳差運動を管理して前記プラズマからのイオンの入射角を設定する、システム。

適用例 5 :

適用例 1 のシステムであって、

前記歳差運動は、周期的であり、前記第 1 の位置は、前記基板が前記基板サポート上に搭載されるときに初期ポジションにあり、前記第 1 の位置から前記初期ポジションまでの距離は、時間とともに正弦波状に変化する、システム。

適用例 6 :

適用例 1 のシステムであって、

前記第 1 の位置および前記第 2 の位置は、前記下方領域の辺縁部にあり、前記第 1 の位置は、前記中心点を基準として前記第 2 の位置から 90 度離れている、システム。

適用例 7 :

適用例 1 のシステムであって、

前記第 1 の位置および前記第 2 の位置は、前記下方領域の辺縁部の近くにある、システム。

適用例 8 :

適用例 1 のシステムであって、

前記第 1 のアクチュエータおよび前記第 2 のアクチュエータの前記上下運動は、前記歳差運動を生み出すために、前記歳差アセンブリによって別々にかつ独立に制御される、システム。

適用例 9 :

適用例 1 のシステムであって、

前記基板の辺縁部上の点は、前記歳差運動中に上下に移動する、システム。

適用例 10 :

基板を処理するためのシステムであって、

チャンバと、

チャックアセンブリと、

イオン源と、を備え、

前記チャックアセンブリは、

基板サポートと、

中心サポートと、第 1 の回転カムと、第 2 の回転カムとを含む歳差アセンブリであり、前記中心サポートは、静止しており、前記基板サポートの底面の中心点に結合される、歳差アセンブリと、を含み、

前記第 1 の回転カムは、前記底面内の、前記中心点からずらされた第 1 の位置に接続され、前記第 2 の回転カムは、前記底面内の、前記中心点からずらされた第 2 の位置に接

10

20

30

40

50

続され、

前記歳差アセンブリは、前記第 1 の回転カムおよび前記第 2 の回転カムが前記第 1 の位置および前記第 2 の位置を上下に移動させるときに、前記基板サポートに歳差運動が与えられるように、プログラムされ、

前記第 1 の回転カムは、前記第 2 の回転カムとは独立に移動し、

前記イオン源は、前記基板サポートの方を向いており、プラズマが発生するときにイオンを生成し、前記歳差運動は、前記基板サポートの回転を伴うことなく前記基板サポートの回転傾斜を引き起こし、前記基板の前記回転傾斜は、前記イオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で前記基板の表面に衝突させるように構成される、システム。

10

適用例 1 1 :

適用例 1 0 のシステムであって、

前記第 1 の位置は、第 1 の振幅で上下に移動し、前記第 2 の位置は、第 2 の振幅で上下に移動し、前記第 1 の振幅は、前記第 2 の振幅とは独立に制御される、システム。

適用例 1 2 :

適用例 1 0 のシステムであって、さらに、

前記歳差運動をプログラムするために前記歳差アセンブリと通信しているコントローラを備えるシステム。

適用例 1 3 :

適用例 1 2 のシステムであって、

前記コントローラは、前記基板上の特徴がどのようにエッチングされるかを制御するために、前記歳差運動を管理して前記プラズマからのイオンの入射角を設定する、システム。

20

適用例 1 4 :

適用例 1 0 のシステムであって、

前記歳差運動は、周期的であり、前記第 1 の位置は、前記基板が前記基板サポート上に搭載されるときに初期ポジションにあり、前記第 1 の位置から前記初期ポジションまでの距離は、時間とともに正弦波状に変化する、システム。

適用例 1 5 :

基板を処理するための方法であって、

基板をチャンバ内で基板サポート上に搭載することと、

歳差アセンブリによって、前記基板サポートの歳差運動を引き起こすことと、

を備え、

前記歳差運動は、前記基板が前記基板サポート上にあるときに与えられ、前記歳差運動は、前記基板サポートの回転を伴うことなく前記基板サポートの回転傾斜を引き起こし、前記基板の前記回転傾斜は、前記チャンバの上方でイオン源によって生成されたイオンを、絶えず変化する入射角で前記基板の表面に衝突させるように構成され、

前記歳差アセンブリは、中心サポートと、第 1 のアクチュエータと、第 2 のアクチュエータとを含み、前記中心サポートは、静止しており、前記基板サポートの下方領域の中心点に結合され、

30

40

前記第 1 のアクチュエータは、前記基板サポートの前記下方領域内で前記中心点からずらされた第 1 の位置に接続され、前記第 2 のアクチュエータは、前記基板サポートの前記下方領域内で前記中心点からずらされた第 2 の位置に接続され、

前記歳差運動は、前記第 1 のアクチュエータおよび前記第 2 のアクチュエータが、前記第 1 のアクチュエータが第 1 の周波数にしたがって上下に移動するとともに前記第 2 のアクチュエータが第 2 の周波数にしたがって上下に移動するように前記中心サポートに相対的に上下に移動するとき、形成され、前記第 1 の周波数は、前記第 2 の周波数から独立している、方法。

適用例 1 6 :

適用例 1 5 の方法であって、

50

前記第 1 のアクチュエータは、第 1 の振幅で上下に移動し、前記第 2 のアクチュエータは、第 2 の振幅で上下に移動し、前記第 1 の振幅は、前記第 2 の振幅とは独立に制御される、方法。

適用例 17：

適用例 15 の方法であって、さらに、

前記歳差運動をプログラムするために、コントローラが前記歳差アセンブリと通信しており、前記コントローラは、前記基板上の特徴がどのようにエッチングされるかを制御するために、前記歳差運動を管理してプラズマからのイオンの入射角を設定する、方法。

適用例 18：

適用例 15 の方法であって、

前記歳差運動は、周期的であり、前記第 1 の位置は、前記基板が前記基板サポート上に搭載されるときに初期ポジションにあり、前記第 1 の位置から前記初期ポジションまでの距離は、時間とともに正弦波状に変化する、方法。

適用例 19：

適用例 15 の方法であって、

前記第 1 の位置および前記第 2 の位置は、前記下方領域の辺縁部にあり、前記第 1 の位置は、前記中心点を基準として前記第 2 の位置から 90 度離れている、方法。

適用例 20：

適用例 15 の方法であって、

前記方法の動作は、1 つ以上のプロセッサによって実行されるときにコンピュータプログラムによって実施され、前記コンピュータプログラムは、非一過性のコンピュータ読み取り可能媒体に記録されている、方法。

10

20

【図 1】

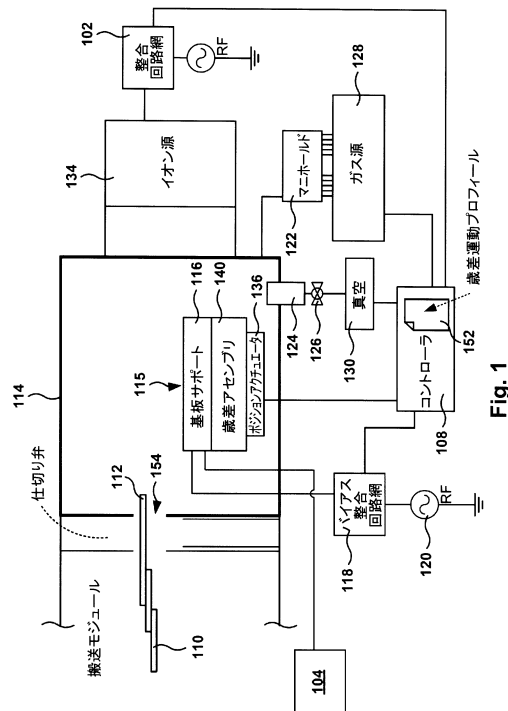


Fig. 1

【図 2】

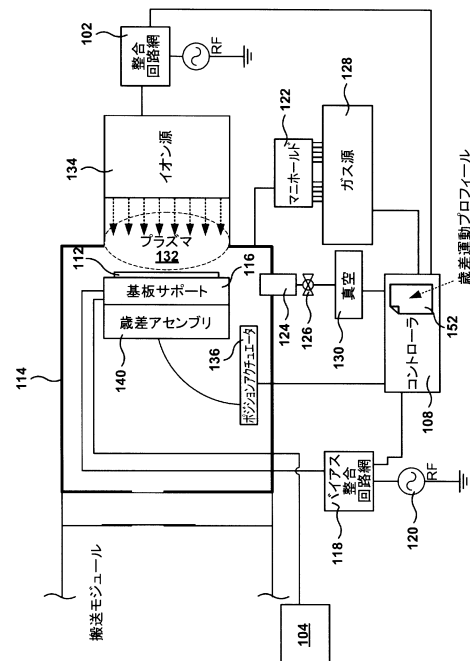


Fig. 2

【図 3】

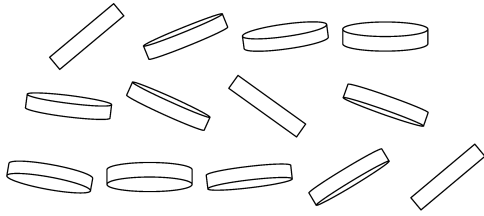


Fig. 3

【図 4 A】

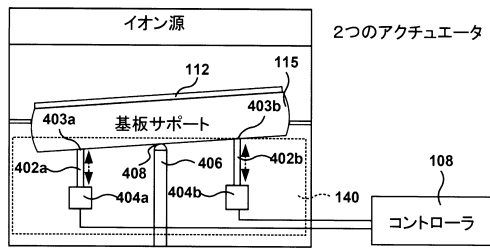


Fig. 4A

【図 4 B】

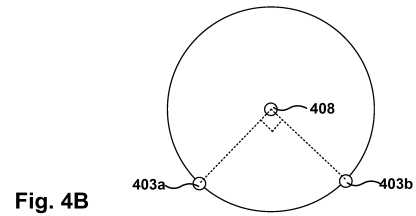


Fig. 4B

【図 5 A】

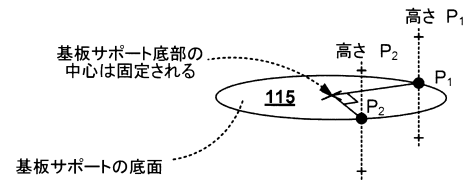


Fig. 5A

【図 5 B】

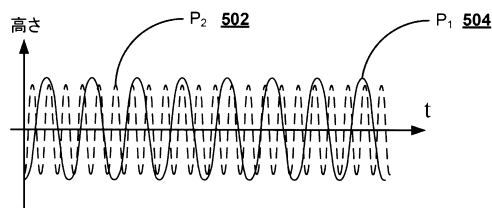


Fig. 5B

【図 5 D】

イオン入射角は、ウエハのポジションに応じて変化する。
 一部の特徴は、特定の角度では遮断されるが、
 その他の角度ではイオンの到達を受ける

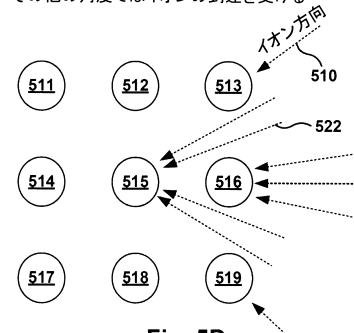


Fig. 5D

【図 5 C】

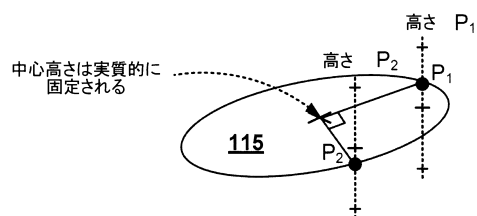


Fig. 5C

【図 6 A】

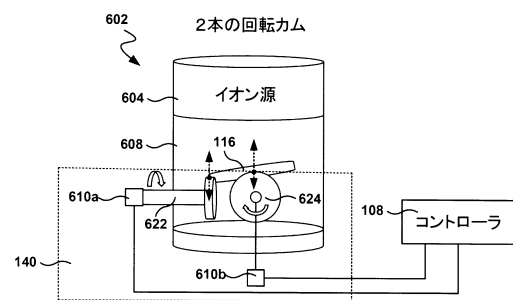


Fig. 6A

【図 6 B】

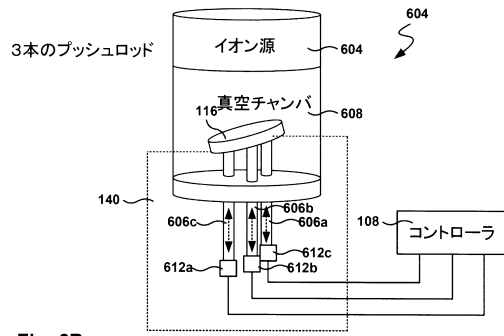


Fig. 6B

【図 6 C】

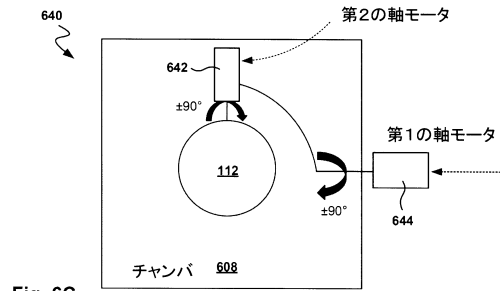


Fig. 6C

【図 7】

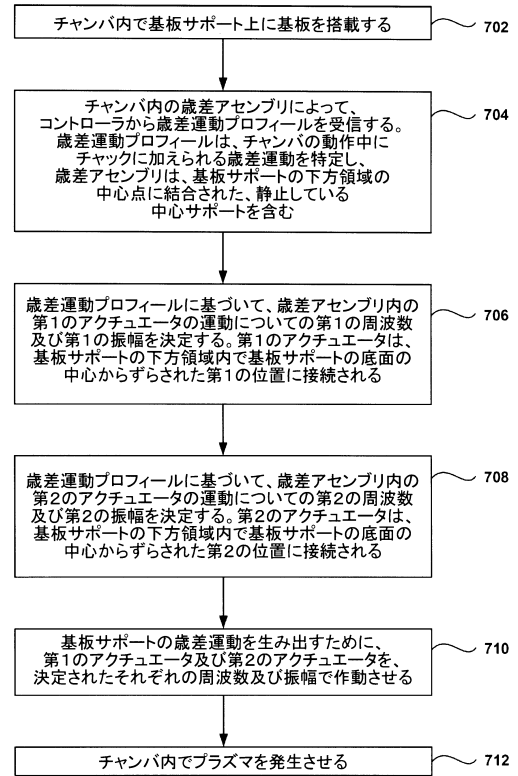


Fig. 7

【図 8】

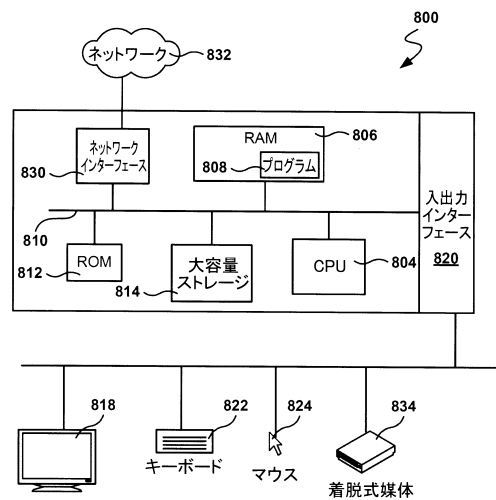


Fig. 8

フロントページの続き

(72)発明者 アイバン・エル．・ベリー・ザ・サード
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，ラム リサーチ コーポレーション内

審査官 鈴木 智之

(56)参考文献 特開 2 0 0 2 - 2 0 8 5 5 5 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 1 0 4 5 1 8 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 0 1 2 2 3 0 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 1 3 4 9 4 3 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 0 1 2 5 2 5 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 4 / 0 6 9 0 9 4 (W O , A 1)

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