

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6603530号
(P6603530)

(45) 発行日 令和1年11月6日(2019.11.6)

(24) 登録日 令和1年10月18日(2019.10.18)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302

I O 1 G

H O 5 H 1/46 (2006.01)

H O 5 H 1/46

L

請求項の数 6 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2015-190947 (P2015-190947)
 (22) 出願日 平成27年9月29日 (2015. 9. 29)
 (65) 公開番号 特開2017-69303 (P2017-69303A)
 (43) 公開日 平成29年4月6日 (2017. 4. 6)
 審査請求日 平成30年3月14日 (2018. 3. 14)

(73) 特許権者 000219967
 東京エレクトロン株式会社
 東京都港区赤坂五丁目3番1号
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100122507
 弁理士 柏岡 潤二
 (72) 発明者 早坂 友輔
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i
 z タワー 東京エレクトロン株式会社内

審査官 鈴木 聡一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置、及び、プラズマ処理装置の制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

水蒸気を発生させる気化器と、
 前記気化器で発生した前記水蒸気のプラズマを生成するプラズマ生成部と、
 制御部と、
 を備え、
 前記気化器は、
 内部に水を貯留するための空間を画成するタンクと、
 前記タンク内の水を加熱して、前記水蒸気を発生させる加熱器と、
 前記タンク内における水との接触状態に応じて異なる出力電圧を出力する少なくとも
 一つのセンサと、
 前記タンク内に水を供給する給水部と、
 を有し、
 前記少なくとも一つのセンサは、
 前記空間内において高さ方向の所定位置に配置された先端部、及び、前記先端部の
 反対側に配置された基端部を有し、該先端部と該基端部との間で延在する透光性のロッド
 であり、前記先端部の先端角が97°以上107°以下である、該ロッドと、
 前記ロッド内に伝搬させる光を前記基端部に対して出力する発光素子と、
 前記基端部上に設けられ、前記発光素子から出力された光のうち、前記ロッドの先
 端部で反射された光を受光するフォトランジスタと、

10

20

前記フォトトランジスタとグランド端子との間に設けられ、前記フォトトランジスタに直列に接続された抵抗素子を含む出力回路であり、前記フォトトランジスタを流れる電流に応じた大きさの電圧を出力する該出力回路と、

前記フォトトランジスタ及び前記抵抗素子を含む直列回路に入力電圧を印加する電源と、

前記出力回路から出力される電圧を増幅し、増幅した該電圧を前記出力電圧として出力する増幅回路と、

を含み、

前記発光素子と前記フォトトランジスタとの間で光の損失がないと仮定したときに、前記電源が生成する前記入力電圧 V_{in} と、前記増幅回路の前記出力電圧 V_{out} とは、
下記式 (1) ;

$$|V_{out}| = |G_v \cdot V_{in}| \quad \dots (1)$$

で表される関係を有し、

式 (1) において、 G_v はゲインであり、該ゲインは 3200 以上、14000 未満であり、

前記制御部は、前記増幅回路の前記出力電圧に応じて、前記給水部から前記タンクに対する水の供給を制御し、

前記ロッドは、石英から構成されている、プラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記制御部は、前記増幅回路の前記出力電圧が所定の閾値以上であるときに、前記タンク内に水が供給されるように前記給水部を制御する、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記ロッドは、1.414 以上、1.627 以下の屈折率を有する材料から構成されている、請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記少なくとも一つのセンサは、第 1 のセンサ及び第 2 のセンサを含み、

前記第 1 のセンサの前記先端部は、高さ方向において第 1 の位置に配置され、前記第 2 のセンサの前記先端部は、高さ方向において前記第 1 の位置よりも高い第 2 の位置に配置されている、

請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置の制御方法であって、

前記タンク内の水を加熱して水蒸気を発生させる工程と、

前記水蒸気のプラズマを生成する工程と、

前記少なくとも一つのセンサの前記出力電圧に基づいて、前記タンク内の水面の高さ方向の位置が前記所定位置よりも低い位置にあるか否かを判定する工程と、

前記タンク内の水面の高さ方向の位置が前記所定位置よりも低い位置にあると判定された場合には、前記水面の高さ方向の位置が前記所定位置と同じに、又は、該所定位置よりも高くなるように前記給水部から前記タンク内に水を供給する工程と、

を含む、制御方法。

【請求項 6】

請求項 4 に記載のプラズマ処理装置の制御方法であって、

前記第 2 のセンサの前記出力電圧に基づいて、前記タンク内の水面の高さ方向の位置が前記第 2 の位置よりも低い位置にあるか否かを判定する第 1 の工程と、

前記水面の高さ方向の位置が前記第 2 の位置よりも低い位置にあると判定された場合には、前記水面の高さ方向の位置が前記第 2 の位置と同じに、又は、該第 2 の位置よりも高くなるように前記給水部から前記タンク内に水を供給する第 2 の工程と、

前記タンク内の水を該タンクの外部に排出する第 3 の工程と、

前記タンク内を減圧する第 4 の工程と、

前記水面の高さ方向の位置が前記第 1 の位置と同じに、又は、該第 1 の位置よりも高くなるように前記給水部から前記タンク内に水を供給する第 5 の工程と、
を含み、

前記第 5 の工程よりも前に、前記第 1 の工程、前記第 2 の工程、前記第 3 の工程、及び、前記第 4 の工程を含むシーケンスを繰り返し実行する、
制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、プラズマ処理装置、及び、プラズマ処理装置の制御方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスといった電子デバイスの製造には、処理容器内に供給された処理ガスを励起してプラズマを生成し、当該プラズマに被処理体を晒すことによって被処理体を処理するプラズマ処理が行われることがある。このようなプラズマ処理を行うために、プラズマ処理装置に処理ガスとして水蒸気を供給する気化器が知られている。水蒸気は、アッシング処理に用いられることがあり、或いは、エッチングガス用の添加ガスとして用いられることがある。

【0003】

20

例えば、特許文献 1 には、貯水タンク、ヒータ、プロセスガスタンク、水蒸気管、プロセスガス管、及び合流管を備える気化器が記載されている。貯水タンクには、純水が貯留されている。貯水タンクの上部には、ヒータの加熱によって生成された水蒸気を搬送するための水蒸気管の一端が接続されている。また、プロセスガスタンクには CF_4 ガスが貯留されている。このプロセスガスタンクには、 CF_4 ガスを搬送するためのプロセスガス管の一端が接続されている。水蒸気管の他端及びプロセスガス管の他端は互いに合流して、合流管の一端に接続されている。合流管の他端は、プラズマ処理装置に接続されている。この気化器は、貯水タンクにおいて生成された水蒸気と、プロセスガスタンクからの CF_4 ガスとが混合された混合ガスを、混合ガス管を介してプラズマ処理装置に供給する。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2004 - 87952 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、プラズマ処理装置に対して継続的又は断続的に水蒸気を供給するために、タンク内の液面高さが所定の高さを下回った場合に、タンク内に自動的に水を供給する構成を採用することが考えられる。このような構成は、タンク内の所定の高さ位置に水の接触状態を検出可能なセンサの先端部を配置することで実現が可能である。このセンサとしては、図 13 に示すようなセンサを利用することができる。

40

【0006】

図 13 に示すセンサ LS は、ロッド LD、発光素子 EM 及び受光素子 RE を備えている。ロッド LD は、透光性の材料から構成されており、先端部 LD1 及び本体部 LD3 を有している。本体部 LD3 は、略円柱形状を有しており、先端部 LD1 は当該本体部 LD3 の一端に連続している。先端部 LD1 は、本体部 LD3 の他端、即ち基端部 LD2 から離れるにつれて縮径する円錐形状を有している。かかる形状を有するロッド LD は、図 13 に示すように、本体部 LD3 と先端部 LD1 との境界が基準位置 RH に位置するように、配置される。この基準位置 RH は、タンクの底部を基準とする高さ方向の位置である。なお、図 13 において、液面 FL はタンク内の水面を表している。

50

【 0 0 0 7 】

図 1 4 は、先端部を含むロッドの一部の拡大断面図であり、ロッド L D の中心軸線 Z 1 を含む平面において当該ロッド L D を切断して示す断面図である。先端部 L D 1 は、先端角 θ を有している。図 1 4 に示すように、先端角 θ は、中心軸線 Z 1 を含む断面において先端部 L D 1 の表面が形成する二つの線（図中、参照符号「X」で示す）がなす角度として定義される。換言すると、先端角 θ は、中心軸線 Z を含む平面と先端部 L D 1 の表面との二つの交線がなす角度である。

【 0 0 0 8 】

図 1 3 に戻り、発光素子 E M 及び受光素子 R E は、基端部 L D 2 上に設けられている。発光素子 E M は、例えば発光ダイオードであり、受光素子 R E は、例えばフォトランジスタである。発光素子 E M は、基端部 L D 2 に対して光を出射する。基端部 L D 2 に入射した光は、先端部 L D 1 に向かって本体部 L D 3 を伝搬し、先端部 L D 1 において反射される。先端部 L D 1 において反射された光は、再び本体部 L D 3 を伝搬し、基端部 L D 2 を透過して、受光素子 R E によって受光される。受光素子 R E は、受光した光の強度に応じた電圧を出力する。即ち、受光素子 R E は、受光した光の強度が大きいほど、大きな電圧を出力する。

【 0 0 0 9 】

このセンサ L S は、水と空気の屈折率の差を利用して、先端部 L D 1 の水の接触状態を検知する。図 1 3 の（a）に示すように、先端部 L D 1 が水に接していない場合、即ち、高さ方向において、液面 F L が、基準位置 R H よりも低い位置にある場合には、先端部 L D 1 の屈折率と当該先端部 L D 1 の表面に接する空気の屈折率の差が大きいので、先端部 L D 1 において反射される光の量が多くなり、受光素子 R E によって受光される光の強度が大きくなる。一方、図 1 3 の（b）に示すように、先端部 L D 1 が水と接している場合、即ち、液面 F L が、基準位置 R H と同一、又は、基準位置 R H よりも高い位置にある場合には、先端部 L D 1 の屈折率と当該先端部 L D 1 の表面に接する水の屈折率との差が小さいので、先端部 L D 1 から水に透過する光の量が多くなり、受光素子 R E によって受光される光の強度が小さくなる。このように、先端部 L D 1 が水に接しているか否かに応じて受光素子 R E で受光される光の強度が変化するので、センサ L S は、受光素子 R E で受光した光の強度に基づいて、先端部 L D 1 の水の接触状態を検知することができる。先端部 L D 1 の水の接触状態を検知することができれば、タンク内の液面 F L の高さ方向の位置が基準位置 R H と同じ、又は、それよりも高い位置にあるか否かを検知することができる。

【 0 0 1 0 】

しかしながら、本願発明者は、図 1 3 に示すようなセンサを用いてタンク内の液面 F L の高さ方向の位置が基準位置 R H と同じ、又は、それよりも高い位置にあるか否かを検知しようとしたときに、次のような問題が生じることを発見した。例えば、図 1 5 の（a）に示すように、液面 F L の高さ方向の位置が基準位置 R H よりも低いときにタンク内の水を加熱すると、ロッド L D の先端部 L D 1 に水滴 D が付着することがある。先端部 L D 1 に水滴 D が付着すると、ロッド L D の屈折率と水滴 D の屈折率の差が小さいので、先端部 L D 1 から水滴 D に透過する光の量が増加する。その結果、受光素子 R E によって受光される光の強度が小さくなり、液面 F L の高さ方向の位置が基準位置 R H よりも所定の距離以上低い位置にあるにも関わらず、液面 F L の高さ方向の位置が基準位置 R H と同じ、又は、それよりも高い位置にあると誤検知されることがある。

【 0 0 1 1 】

また、図 1 5 の（b）に示すように、液面 F L の高さ方向の位置が基準位置 R H よりも高い位置にあるときにタンク内の水を加熱すると、タンク内の水が沸騰してロッド L D の先端部 L D 1 に気泡 B が付着することがある。先端部 L D 1 に気泡 B が付着すると、ロッド L D の屈折率と気泡 B の屈折率の差が大きいので、先端部 L D 1 から基端部 L D 2 に向けて反射される光の量が増加する。その結果、受光素子 R E によって受光される光の強度が大きくなり、液面 F L の高さ方向の位置が基準位置 R H よりも所定の距離以上高い位置

にあるにも関わらず、液面 F L の高さ方向の位置が基準位置 R H よりも低い位置にあると誤検知されることがある。これらの誤検知が発生すると、タンク内における液面 F L の高さ方向の位置を正確に制御することができなくなる。

【 0 0 1 2 】

かかる背景から、タンク内の水との接触状態を検知するセンサの誤検知を抑制することが可能な気化器を有するプラズマ処理装置を提供することが要請されている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明の一態様に係るプラズマ処理装置は、気化器、プラズマ生成部、及び制御部を備える。気化器は、水蒸気を発生させる。プラズマ生成部は、気化器で発生した水蒸気のプラズマを生成する。気化器は、タンク、加熱器、少なくとも一つのセンサ、及び給水部を有している。タンクは、内部に水を貯留するための空間を画成している。加熱器は、タンク内の水を加熱して、水蒸気を発生させるよう構成されている。センサは、タンク内における水との接触状態に応じて異なる出力電圧を出力するよう構成されている。給水部は、タンク内に水を供給するよう構成されている。少なくとも一つのセンサは、ロッド、発光素子、フォトランジスタ、出力回路、電源、及び増幅回路を有している。ロッドは、透光性を有しており、先端部及び基端部を有し、当該先端部と基端部の間で延在している。先端部は、タンクの空間内において高さ方向の所定位置に配置されている。基端部は、先端部の反対側に配置されている。先端部の先端角は、 97° 以上 107° 以下の角度に設定されている。発光素子は、ロッド内に伝搬させる光を基端部に対して出力する。フォト
20
ランジスタは、基端部上に設けられており、発光素子から出力された光のうち、ロッドの先端部で反射された光を受光する。出力回路は、フォトランジスタとグランド端子との間に設けられており、フォトランジスタに直列に接続された抵抗素子を含む。この出力回路は、フォトランジスタを流れる電流に応じた大きさの電圧を出力する。電源は、フォトランジスタ及び抵抗素子を含む直列回路に入力電圧を印加する。増幅回路は、出力回路から出力される電圧を増幅し、増幅した該電圧を出力電圧として出力する。この気化器では、発光素子とフォトランジスタとの間で光の損失がないと仮定したときに、電源が生成する入力電圧 V_{in} と、増幅回路の出力電圧 V_{out} とは、下記式 (1) ;

$$|V_{out}| = |G_v \cdot V_{in}| \quad \cdots (1)$$

で表される関係を有する。式 (1) において G_v はゲインである。この気化器では、ゲインは 3200 以上、 14000 未満の値に設定されている。制御部は、増幅回路の出力電圧に応じて、給水部からタンクに対する水の供給を制御するように構成されている。

【 0 0 1 4 】

一態様に係るプラズマ処理装置では、ロッドの先端部が 97° 以上 107° 以下の先端角を有している。先端角を 97° 以上にする事で、ロッドの先端部が水に接していないときの出力電圧を大きくすることができる。これは、先端角を 97° 以上にすると、先端部において反射してフォトランジスタによって受光される光の量が増加するためであると考えられる。また、先端角の上限値は 107° である。この上限値は、先端部に付着した水滴が落下しやすくなるように規定された角度である。先端部に付着した水滴が落下することにより、水滴に起因するセンサの誤検知を減らすことができる。

【 0 0 1 5 】

さらに、このプラズマ処理装置では、気化器のセンサのゲインが、 3200 以上 14000 未満に設定されている。ゲインを 3200 以上に設定することによって、液面の高さ方向の位置が上述の所定位置よりも低い位置にあるときに先端部に水滴が付着した場合であっても、センサの出力電圧を大きくすることができる。よって、先端部に付着した水滴に起因するセンサの誤検知を減らすことができる。一方、センサのゲインが 14000 以上であると、水中において先端部に気泡が付着したときにセンサの出力電圧が大きくなりすぎてしまい、誤検知が発生することがある。この気化器では、ゲインが 14000 未満に設定されているので、水中において先端部に気泡が付着したときに発生する誤検知を減らすことができる。故に、この気化器では、センサの誤検知を抑制することができる。一

10

20

30

40

50

態様に係るプラズマ処理装置は、このような気化器を備えることで、タンク内の液面の高さ方向の位置が極端に高くなったり、低くなったりするような異常な状態になることを防止することができる。これにより、液面の高さが異常な状態となって装置が停止する事態を避けることができ、その結果、プラズマ処理装置の稼働率を向上することができる。

【0016】

一実施形態では、制御部は、増幅回路の出力電圧が所定の閾値以上であるときに、タンク内に水が供給されるように給水部を制御してもよい。これにより、タンク内の液面の高さ方向の位置を適切に制御することが可能となる。また、一実施形態では、ロッドは、1.414以上、1.627以下の屈折率を有する材料から構成されていてもよい。さらに、一実施形態では、ロッドは石英から構成されていてもよい。

10

【0017】

一実施形態では、前記少なくとも一つのセンサは、第1のセンサ及び第2のセンサを含み、第1のセンサの先端部は、高さ方向において第1の位置に配置され、第2のセンサの先端部は、高さ方向において第1の位置よりも高い第2の位置に配置されていてもよい。

【0018】

本発明の別の態様では、上記プラズマ処理装置の制御方法が提供される。この制御方法は、タンク内の水を加熱して水蒸気を発生させる工程と、水蒸気のプラズマを生成する工程と、少なくとも一つのセンサの出力電圧に基づいて、タンク内の水面の高さ方向の位置が所定位置よりも低い位置にあるか否かを判定する工程と、タンク内の水面の高さ方向の位置が所定位置よりも低い位置にあると判定された場合には、水面の高さ方向の位置が所定位置と同じに、又は、該所定位置よりも高くなるように給水部からタンク内に水を供給する工程と、を含む。

20

【0019】

このプラズマ処理装置の制御方法では、タンク内の液面の高さ方向の位置が所定位置よりも低くならないように制御される。これにより、タンク内の水位が極端に低くなることを防止することができる。

【0020】

本発明の更に別の態様では、プラズマ処理装置の制御方法が提供される。この制御方法は、第2のセンサの出力電圧に基づいて、タンク内の水面の高さ方向の位置が第2の位置よりも低い位置にあるか否かを判定する第1の工程と、水面の高さ方向の位置が第2の位置よりも低い位置にあると判定された場合には、水面の高さ方向の位置が第2の位置と同じに、又は、該第2の位置よりも高くなるように給水部からタンク内に水を供給する第2の工程と、タンク内の水を該タンクの外部に排出する第3の工程と、タンク内を減圧する第4の工程と、水面の高さ方向の位置が第1の位置と同じに、又は、該第1の位置よりも高くなるように給水部からタンク内に水を供給する第5の工程と、を含み、第5の工程よりも前に、第1の工程、第2の工程、第3の工程、及び、第4の工程を含むシーケンスを繰り返し実行する。

30

【0021】

この制御方法では、水面の高さ方向の位置が第2の位置と同じに、又は、該第2の位置よりも高くなるようにタンク内に水を供給し、その後タンク内から水を排出するシーケンスが繰り返し実施される。これにより、タンク内が洗浄され、タンク内のバクテリアが除去される。これにより、後工程で行われるプラズマ処理においてバクテリアに起因するコンタミネーションが被処理体に発生することを抑制することができる。

40

【発明の効果】

【0022】

本発明の一態様及び種々の実施形態によれば、センサの誤検知を抑制することが可能な気化器を有するプラズマ処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】一実施形態に係るプラズマ処理装置の構成を概略的に示す図である。

50

【図 2】第 1 のセンサ及び第 2 のセンサを概略的に示す図である。

【図 3】先端部を含むロッドの一部の拡大断面図である。

【図 4】回路部の回路構成の具体的な一例を示す図である。

【図 5】第 1 のセンサの動作原理について説明する図である。

【図 6】一実施形態のプラズマ処理装置の制御方法を示す流れ図である。

【図 7】別の実施形態のプラズマ処理装置の制御方法を示す流れ図である。

【図 8】更に別の実施形態のプラズマ処理装置の制御方法を示す流れ図である。

【図 9】先端部の先端角とセンサの出力電圧との関係を示す図である。

【図 10】センサのゲインと出力電圧との関係を示す図である。

【図 11】先端部に水が接触しているか否かの判定結果の経時的な変化、及び、流量制御器を通過する水蒸気の流量の経時的な変化を示す図である。 10

【図 12】第 1 のセンサの出力電圧の経時的変化を示す図である。

【図 13】従来のセンサの一例を示す図である。

【図 14】先端部を含むロッドの一部の拡大断面図である。

【図 15】従来のセンサの問題点を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、図面を参照して種々の実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附することとする。

【0025】

20

まず、一実施形態のプラズマ処理装置について説明する。図 1 は、一実施形態のプラズマ処理装置 1 を概略的に示す図である。図 1 に示すプラズマ処理装置 1 は、本体部 10 を備えている。

【0026】

本体部 10 は、処理容器 12 を備えている。処理容器 12 は、ウエハ W を收容するように構成されている。即ち、処理容器 12 は、ウエハ W を收容するための空間 S1 を提供している。

【0027】

一実施形態では、処理容器 12 は、第 1 部分 12a 及び第 2 部分 12b を有している。第 1 部分 12a は、略筒形状を有しており、処理容器 12 の側壁及び底部を構成している。この第 1 部分 12a の上端は開口している。また、第 2 部分 12b は、第 1 部分 12a の上端に搭載されており、処理容器 12 の天井部を構成している。 30

【0028】

処理容器 12 の内部には、載置台 14 が設けられている。載置台 14 は、その上に載置されるウエハ W を保持するよう構成されている。一実施形態では、載置台 14 は、ウエハ W を静電吸着するための静電チャックを有し得る。また、載置台 14 内には、ヒータ HT が設けられている。ヒータ HT は、処理容器 12 の外部に設けられたヒータ電源 HP に電氣的に接続されている。

【0029】

また、処理容器 12 の側壁には、ウエハ W が通過し得る通路が形成されている。この通路を介して、ウエハ W は処理容器 12 内に搬入され、また、処理容器 12 から外部に搬出される。処理容器 12 に形成された通路は、ゲートバルブ GVL によって開閉可能となっている。 40

【0030】

また、処理容器 12 の底部には、排気口 12e が形成されている。排気口 12e には排気装置 16 が接続されている。排気装置 16 は、処理容器 12 内の空間 S1 及び後述する石英管 22 内の空間 S2 を減圧するよう構成されている。

【0031】

また、処理容器 12 内の空間 S1 には、プレート 18 が設けられている。このプレート 18 は、載置台 14 の上方に設けられており、当該載置台 14 の上面に対面している。プ 50

レート 18 は、多数の貫通孔が形成された板状体であり、例えば、石英から構成されている。

【0032】

また、本体部 10 は、プラズマ発生ユニット 20 を更に備えている。プラズマ発生ユニット 20 は、処理容器 12 の天井部、即ち第 2 部分 12 b 上に設けられている。このプラズマ発生ユニット 20 は、石英管 22 を有している。石英管 22 は、鉛直方向に延びる略筒形状を有しており、石英から構成されている。石英管 22 は、当該石英管 22 の内部の空間 S2 が空間 S1 と連通するように、処理容器 12 の天井部上に設けられている。

【0033】

石英管 22 には、ガス導入口 22 a が形成されている。ガス導入口 22 a には、配管 30 の一端が接続されている。配管 30 の他端は、三方弁 V4 の第 1 ポートに接続されている。三方弁 V4 の第 2 ポートには、配管 31 の一端が接続されている。配管 31 の他端は、ガス供給部 GU に接続されている。ガス供給部 GU は、ガス供給系 GSS1、ガス供給系 GSS2、及び、ガス供給系 GSS3 を含んでいる。

【0034】

ガス供給系 GSS1 は、ガス源 GS1、流量制御器 F1、及び、バルブ V1 を含み得る。ガス源 GS1 は、希ガスのガス源である。希ガスは、例えば Ar ガスであるが、He ガス、Ne ガス、Kr ガス、Xe ガスといった任意の希ガスであってもよい。流量制御器 F1 は、例えば、フローコントロールシステム (FCS) であり、ガス源 GS1 からの希ガスの流量を調整する。バルブ V1 は、ガス源 GS1 からの希ガスの供給及び供給停止を切り替える。ガス供給系 GSS1 は、本体部 10 の空間 S2 に希ガスを供給する。

【0035】

ガス供給系 GSS2 は、ガス源 GS2、流量制御器 F2、及び、バルブ V2 を含み得る。ガス源 GS2 は、O₂ ガスのガス源である。流量制御器 F2 は、例えば、フローコントロールシステムであり、ガス源 GS2 からの O₂ ガスの流量を調整する。バルブ V2 は、ガス源 GS2 からの O₂ ガスの供給及び供給停止を切り替える。ガス供給系 GSS2 は、本体部 10 の空間 S2 に O₂ ガスを供給する。

【0036】

ガス供給系 GSS3 は、ガス源 GS3、流量制御器 F3、及び、バルブ V3 を含み得る。ガス源 GS3 は、N₂ ガスのガス源である。流量制御器 F3 は、例えば、フローコントロールシステムであり、ガス源 GS3 からの N₂ ガスの流量を調整する。バルブ V3 は、ガス源 GS3 からの N₂ ガスの供給及び供給停止を切り替える。ガス供給系 GSS3 は、本体部 10 の空間 S2、及び、後述する気化器 50 の空間 S3 に N₂ ガスを供給する。

【0037】

また、プラズマ発生ユニット 20 は、プラズマ源を更に有している。一実施形態では、プラズマ発生ユニット 20 は、プラズマ源としてコイル 24 を有している。コイル 24 は、石英管 22 の外周面を囲むように設けられており、高周波電源 RG に電氣的に接続されている。コイル 24 に高周波電源 RG からの高周波電力が与えられると、石英管 22 内の空間 S2 に供給されたガスが励起され、プラズマが生成される。このコイル 24 は、後述する気化器 50 で発生した水蒸気のプラズマを生成するプラズマ生成部として機能する。プラズマの生成により得られる活性種は、空間 S2 から空間 S1 に流れ、ウエハ W に対して供給される。これにより、ウエハ W に含まれる有機物又はウエハ W に付着した有機物の除去等が行われる。なお、プラズマ発生ユニット 20 は筐体 26 を更に有しており、石英管 22 及びコイル 24 は、筐体 26 内に収容されている。

【0038】

プラズマ処理装置 1 は、気化器 50 を更に備えている。気化器 50 は、プラズマ発生ユニット 20 に水蒸気、即ち気体状の H₂O を供給する機構である。気化器 50 は、タンク 52 を備えている。タンク 52 は、内部に水を貯留するための空間 S3 を画成している。タンク 52 の外側面には、温度センサ TS が設けられている。温度センサ TS は、例えば白金抵抗温度センサであり、タンク 52 内に貯えられている水の温度を測定する。タンク

10

20

30

40

50

５２の下方には、加熱器５４が設けられている。加熱器５４は、電源５６に接続されており、電源５６から供給される電力によって発熱し、タンク５２内の水を加熱する。加熱器５４からの熱により水が加熱されると、タンク５２内の水が気化して水蒸気が生成される。生成された水蒸気は、空間５３の上部に蓄えられる。タンク５２の上部には、タンク５２内の水蒸気を排出するための通気口５８が設けられている。

【００３９】

通気口５８には、配管３２の一端が接続されている。配管３２の他端は、配管３３及び配管３４に分岐している。配管３３は、三方弁Ｖ４の第３ポートに接続されている。この三方弁Ｖ４は、配管３１及び配管３３の何れか一方を配管３０に選択的に連通させるバルブである。即ち、三方弁Ｖ４は、ガス供給系ＧＳＳ１、ＧＳＳ２、ＧＳＳ３からのガス、及び、気化器５０からの水蒸気の何れか一方が本体部１０の空間５２に選択的に供給されるように各ポートの接続を切り替える。また、配管３２にはバルブＶ５が設けられており、配管３３には流量制御器Ｆ４が設けられている。この流量制御器Ｆ４は、配管３３を介して流量制御器Ｆ４に導入されたガスの流量に対して当該流量制御器Ｆ４を通過するガスの流量の割合（以下、「流量制御器通過率」という。）を０％～１００％の範囲で制御する機能を有している。配管３２及び配管３３は、気化器５０から排出された水蒸気を、配管３０を介して本体部１０の空間５２に搬送する流路を提供する。

10

【００４０】

配管３４は、ガス供給系ＧＳＳ３のガス源ＧＳ３に接続されている。この配管３４には、バルブＶ６が設けられている。配管３２及び配管３４は、ガス源ＧＳ３からのＮ_２ガスをタンク５２内に搬送する流路を提供する。

20

【００４１】

また、気化器５０は、第１のセンサ６０ａ及び第２のセンサ６０ｂを更に備えている。第１のセンサ６０ａ及び第２のセンサ６０ｂは、水との接触状態に応じて異なる出力電圧を出力する。この出力電圧は、後述するロッドの材質、液面からの距離、及び、ロッドの先端角度によって調整することが可能である。

【００４２】

図２は、第１のセンサ６０ａ及び第２のセンサ６０ｂを概略的に示す図である。図２において、液面ＦＬはタンク５２内の水の水面を表している。第１のセンサ６０ａは、ロッド６１及び回路部６５を備えている。第２のセンサ６０ｂは、ロッド６２及び回路部６６を備えている。ロッド６１及びロッド６２の各々は、透光性且つ長尺状の部材である。一実施形態では、ロッド６１及びロッド６２の各々は、１．４１４以上、１．６２７以下の屈折率を有する任意の材料から構成され得る。このような屈折率を有する材料としては、石英（屈折率：１．４６）、蛋白石（屈折率：１．４７）、蛍石（屈折率：１．４３）、光学ガラス（屈折率：１．４３）等が例示される。

30

【００４３】

ロッド６１は、先端部６１ａ及び本体部６１ｃを有している。本体部６１ｃは、略円柱形状を有しており、タンク５２の外部からタンク５２の内部まで鉛直方向に延在している。先端部６１ａは、本体部６１ｃの一端、即ち下端に連続している。先端部６１ａは、本体部６１ｃの他端、即ち基端部６１ｂから離れるにつれて縮径する円錐形状を有している。この先端部６１ａは、先端角θ１を有している。図３の（ａ）は、先端部６１ａを含むロッド６１の一部の拡大断面図であり、ロッド６１の中心軸線Ｚ２を含む平面において当該ロッド６１を切断して示す断面図である。図３の（ａ）に示すように、先端角θ１は、中心軸線Ｚ２を含む断面において、先端部６１ａの表面が形成する二つの線（図中、参照符号「６１Ｘ」で示す）がなす角度として定義される。換言すると、先端角θ１は、中心軸線Ｚ２を含む平面と先端部６１ａの表面との二つの交線６１Ｘがなす角度である。この先端角θ１は、９７°以上１０７°以下の角度に設定されている。

40

【００４４】

ロッド６１は、先端部６１ａがタンク５２内に位置し、基端部６１ｂがタンク５２の外部に位置するように配置されている。ロッド６１の本体部６１ｃと先端部６１ａとの境界

50

は、タンク 5 2 の底部を基準とする高さ方向において第 1 の基準位置（第 1 の位置）H 1 に配置されている。なお、一実施形態では、先端部 6 1 a の表面には研磨による鏡面加工が施されており、一方、本体部 6 1 c の表面には鏡面加工が施されていない。

【 0 0 4 5 】

ロッド 6 1 と同様に、ロッド 6 2 は、先端部 6 2 a 及び本体部 6 2 c を有している。本体部 6 2 c は、略円柱形状を有しており、タンク 5 2 の外部からタンク 5 2 の内部まで鉛直方向に延在している。先端部 6 2 a は、本体部 6 2 c の一端、即ち下端に連続している。先端部 6 2 a は、本体部 6 2 c の他端、即ち基端部 6 2 b から離れるにつれて縮径する円錐形状を有している。この先端部 6 2 a は、先端角 2 を有している。図 3 の (b) は、先端部 6 2 a を含むロッド 6 2 の一部の拡大断面図であり、ロッド 6 2 の中心軸線 Z 3 を含む平面において当該ロッド 6 2 を切断して示す断面図である。図 3 の (b) に示すように、先端角 2 は、中心軸線 Z 3 を含む断面において、先端部 6 2 a の表面が形成する二つの線（図中、参照符号「 6 2 X 」で示す）がなす角度として定義される。換言すると、先端角 2 は、中心軸線 Z 3 を含む平面と先端部 6 2 a の表面との二つの交線 6 2 X がなす角度である。この先端角 2 は、先端角 1 と同一の角度であってもよいし、異なる角度であってもよい。

【 0 0 4 6 】

ロッド 6 2 は、先端部 6 2 a がタンク 5 2 内に位置し、基端部 6 2 b がタンク 5 2 の外部に位置するように配置されている。ロッド 6 2 の本体部 6 2 c と先端部 6 2 a との境界は、タンク 5 2 の底部を基準とする高さ方向において第 2 の基準位置（第 2 の位置）H 2 に配置されている。この第 2 の基準位置 H 2 は、第 1 の基準位置 H 1 よりも上方の位置である。なお、図 2 では、ロッド 6 2 の長さがロッド 6 1 の長さよりも短い、ロッド 6 2 はロッド 6 1 の長さと同じ、又は、それ以上の長さを有していてもよい。

【 0 0 4 7 】

次に、第 1 のセンサ 6 0 a 及び第 2 のセンサ 6 0 b が備える回路部について説明する。図 2 に示すように、第 1 のセンサ 6 0 a の回路部 6 5 は、フォトリフレクタ 6 4 を有している。フォトリフレクタ 6 4 は、発光素子 1 0 4 、及び、受光素子であるフォトトランジスタ 1 0 6 を含んでいる。発光素子 1 0 4 及びフォトトランジスタ 1 0 6 は、基端部 6 1 b 上に設けられている。発光素子 1 0 4 は、基端部 6 1 b に対して光を出力する。基端部 6 1 b に入射した光は、本体部 6 1 c 内で伝搬して先端部 6 1 a に入射する。先端部 6 1 a に入射した光の全部又は一部は反射される。先端部 6 1 a で反射された光は、本体部 6 1 c 内で伝搬して基端部 6 1 b に向かい、フォトトランジスタ 1 0 6 によって受光される。フォトトランジスタ 1 0 6 は、受光した光の強度（光量）に応じた電流を出力する。そして、回路部 6 5 は、当該電流に応じた電圧を生成し、当該電圧を増幅して出力電圧を生成する。なお、第 2 のセンサ 6 0 b の回路部 6 6 は、第 1 のセンサ 6 0 a の回路部 6 5 と同一の回路構成及び機能を有している。以下では特に区別する必要があるときを除き、回路部 6 6 の説明は省略し、回路部 6 5 についてのみ説明する。

【 0 0 4 8 】

図 4 は、回路部 6 5 の回路構成の具体的な一例を示している。回路部 6 5 には、交流電源 A C が設けられている。交流電源 A C は、入力電圧 V_{in} を生成する。交流電源 A C の一方の端子は、抵抗素子 1 0 2 の一方の端子に接続されている。交流電源 A C の他方の端子は、グランド端子 G N D に接続されている。抵抗素子 1 0 2 の他方の端子は、発光素子 1 0 4 のアノードに接続されている。発光素子 1 0 4 のカソードはグランド端子 G N D に接続されている。抵抗素子 1 0 2 及び発光素子 1 0 4 は、互いに直列に接続されている。この発光素子 1 0 4 は、例えば発光ダイオードであり、当該発光素子 1 0 4 に流れる電流に応じた強度を有する光を出射する。

【 0 0 4 9 】

また、回路部 6 5 は、フォトトランジスタ 1 0 6 を含んでいる。このフォトトランジスタ 1 0 6 は、抵抗素子 1 0 2 及び発光素子 1 0 4 からなる直列回路に対して並列に接続されている。フォトトランジスタ 1 0 6 のコレクタ端子 1 0 6 C は、交流電源 A C の一方の

端子に接続されている。フォトランジスタ 106 のエミッタ端子 106 E は、当該フォトランジスタ 106 に対して直列に接続された抵抗素子 108 の一方の端子に接続されている。抵抗素子 108 の他方の端子は、グランド端子 GND に接続されている。これらフォトランジスタ 106 及び抵抗素子 108 を含む直列回路には、交流電源 AC から入力電圧が印加される。このフォトランジスタ 106 は、発光素子 104 から受光した光の強度に応じて、コレクタ端子 106 C からエミッタ端子 106 E に流れる電流を変化させる。具体的に、フォトランジスタ 106 によって受光される光の強度が大きくなると、コレクタ端子 106 C からエミッタ端子 106 E に流れる電流が大きくなり、フォトランジスタ 106 によって受光される光の強度が小さくなると、コレクタ端子 106 C からエミッタ端子 106 E に流れる電流が小さくなる。このフォトランジスタ 106 に接続された抵抗素子 108 の両端間には、コレクタ端子 106 C からエミッタ端子 106 E に流れる電流に応じた電圧が発生する。即ち、フォトランジスタ 106 によって受光される光の強度が大きくなるほど大きな電圧が抵抗素子 108 の両端間に発生する。

【0050】

また、フォトランジスタ 106 のエミッタ端子 106 E 及び抵抗素子 108 の一方の端子には、第 1 の端子 110 a が接続されている。さらに、抵抗素子 108 の他方の端子には、第 2 の端子 110 b が接続されている。したがって、抵抗素子 108 の両端間の電圧は、第 1 の端子 110 a と第 2 の端子 110 b との間の電圧 V_{ce} として出力される。これら抵抗素子 108、第 1 の端子 110 a 及び第 2 の端子 110 b は、電圧 V_{ce} を出力するための出力回路 70 として機能している。なお、図 4 に示す回路例では、電圧 V_{ce} は入力電圧 V_{in} よりも小さい。

【0051】

回路部 65 は、電圧 V_{ce} を増幅して、増幅した電圧を第 3 の端子 118 a と第 4 の端子 118 b 間の出力電圧 V_{out} として出力する増幅回路 120 を更に有している。この増幅回路 120 は、抵抗素子 112、抵抗素子 114、及びオペアンプ 116 を有している。抵抗素子 112 の一方の端子は、上述の第 1 の端子 110 a に接続されている。抵抗素子 112 の他方の端子は、抵抗素子 114 の一方の端子に接続されており、且つ、オペアンプ 116 の反転入力端子に接続されている。抵抗素子 114 の他方の端子は、オペアンプ 116 の出力端子及び第 3 の端子 118 a に接続されている。オペアンプ 116 の非反転入力端子は、第 2 の端子 110 b に接続されており、且つ、第 4 の端子 118 b に接続されている。この第 4 の端子 118 b は、第 2 の端子 110 b に接続されている。

【0052】

この回路部 65 では、抵抗素子 112 の抵抗値を R_i とし、抵抗素子 114 の抵抗値を R_f としたときに、出力電圧 V_{out} と電圧 V_{ce} とが、下記式 (2) に示す関係を有する。即ち、増幅回路 120 は、電圧 V_{ce} に対して位相が反転した出力電圧 V_{out} を出力する反転増幅回路である。

$$V_{out} = - (R_f / R_i) \cdot V_{ce} \quad \cdots (2)$$

【0053】

なお、増幅回路 120 は、電圧 V_{ce} を増幅して出力することができれば図 4 に示す反転増幅回路に限定されるものではない。例えば、増幅回路 120 として、電圧 V_{ce} と同位相の出力電圧 V_{out} を出力する非反転増幅回路が用いられてもよい。また、一実施形態では、増幅回路 120 が整流回路を更に含み、当該整流回路が第 3 の端子 118 a と第 4 の端子 118 b との間に発生する交流電圧を直流電圧に変換し、当該直流電圧が出力電圧 V_{out} として出力されてもよい。さらに、一実施形態では、交流電源 AC に代えて直流電源が用いられてもよい。

【0054】

次に、第 1 のセンサ 60 a 及び第 2 のセンサ 60 b の動作原理について説明する。第 1 のセンサ 60 a 及び第 2 のセンサ 60 b は、互いに同一の機能及び特性を有しているので、以下では特に区別する必要があるときを除き、第 1 のセンサ 60 a について説明する。図 5 の (a) は、タンク 52 内の液面 FL の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H1 よりも

低い状態、即ち、第1のセンサ60aの先端部61aが水中にない状態を示している。図5の(b)は、タンク52内の液面FLの高さ方向の位置が第1の基準位置H1よりも高い状態、即ち、第1のセンサ60aの先端部61aが水中にある状態を示している。

【0055】

図5の(a)及び(b)に示すように、フォトリフレクタ64の発光素子104から出射された光は、基端部61bから先端部61aに向けてロッド61内を伝搬する。先端部61aに到達した光の全部又は一部は、先端部61aにおいて反射される。先端部61aで反射された光は、基端部61bに向けて伝搬し、フォトトランジスタ106によって受光される。そして、フォトトランジスタ106を流れる電流に応じた出力電圧 V_{out} が後述する制御部40に出力される。

【0056】

先端部61aにおいて反射される光の量は、先端部61aと水との接触状態によって定まる。図5の(a)に示すように、先端部61aが水に接していない場合、即ち、高さ方向において、液面FLが第1の基準位置H1よりも低い位置にある場合には、先端部61aの屈折率と当該先端部61aの表面に接する空気の屈折率の差が大きいため、先端部61aにおいて反射される光の量が多くなり、フォトトランジスタ106によって受光される光の強度が大きくなる。一方、図5の(b)に示すように、先端部61aが水と接している場合、即ち、液面FLが第1の基準位置H1と同一、又は、第1の基準位置H1よりも高い位置にある場合には、先端部61aの屈折率と当該先端部61aの表面に接する水の屈折率との差が小さいため、先端部61aから水に透過する光の量が多くなり、フォトトランジスタ106によって受光される光の強度が小さくなる。このように、先端部61aにおいて反射される光の量が先端部61aの水との接触状態に応じて増減するので、第1のセンサ60aの回路部65から出力される出力電圧 V_{out} を所定の閾値と比較することによって、先端部61aが水に接触しているか否かを判別することが可能となる。

【0057】

また、先端部61aにおいて反射される光の量は、先端部61aの先端角 θ_1 にも依存する。一例として、中心軸線Z2に平行な方向に進行して先端部61aの表面に入射する光について考える。この光は、先端部61aの表面に $\theta_1/2$ の入射角で入射する。例えば先端部61aの先端角 θ_1 が 90° であるときには、先端部61aに入射した光は、先端部61aの表面において 45° の反射角で2回反射し、中心軸線Z2に平行な方向に沿って先端部61aから基端部61bに向けて再び進行する。このような反射をしたときに、先端部61aの表面で生じる光の損失は最も小さくなる。即ち、発光素子104から中心軸線Z2に平行な方向に進行する光が出射されたときには、先端部61aの先端角 θ_1 を 90° に設定するとフォトトランジスタ106において受光される光の量が最も大きくなる。

【0058】

しかしながら、実際には、発光素子104から出射し、先端部61aに向けて本体部61cを進行する光は発散光であり、中心軸線Z2に平行な方向に進行する成分のみでなく、様々な角度成分を有する光である。具体的に、先端部61aに向けて本体部61cを進行する光の強度分布は、角度方向においてガウス分布を有している。このような発散光は、先端角 θ_1 を 90° 以上に設定することで、先端部61aにおいて効率よく反射されるものと推測される。上述したように、先端部61aの先端角 θ_1 は 97° 以上の角度を有しているので、発光素子104から出射された光を先端部61aにおいて効率よく反射することができる。また、先端角 θ_1 は 107° 以下である。先端角 θ_1 を 107° 以下にすることにより、先端部61aに付着した水滴が落下しやすくなる。

【0059】

次に、第1のセンサ60aの特性について説明する。第1のセンサ60aにおいて、発光素子104とフォトトランジスタ106との間で光の損失がないと仮定したときに、入力電圧 V_{in} と、回路部65の出力電圧 V_{out} とは、下記式(1)で表される関係を有

10

20

30

40

50

している。下記式(1)において、 G_v は第1のセンサ60aのゲインを表している。式(1)に示すように、ゲイン G_v を大きく設定することで、一定の入力電圧 V_{in} に対する出力電圧 V_{out} が増加する。このゲイン G_v は、抵抗素子112の抵抗値 R_i 、及び、抵抗素子114の抵抗値 R_f を変更することによって調整することが可能である。

【0060】

$$|V_{out}| = |G_v \cdot V_{in}| \quad \dots (1)$$

【0061】

第1のセンサ60aでは、式(1)に示すゲイン G_v が、3200以上、14000未満に設定されている。ゲインを3200以上に設定することによって、液面FLの高さ方向の位置が第1の基準位置H1よりも低いときに、先端部61aに水滴が付着した場合であっても、出力電圧 V_{out} を大きくすることができる。よって、先端部61aに水滴が付着したときに出力電圧 V_{out} が所定の閾値を下回ることが抑制され、その結果、先端部61aに付着した水滴に起因するセンサの誤検知を抑制することができる。一方、ゲインを14000以上に設定すると、水中において先端部61aに気泡が付着したときに、出力電圧 V_{out} が大きくなりすぎてしまい、誤検知が発生することがある。第1のセンサ60aでは、ゲインが14000未満に設定されているので、出力電圧 V_{out} が過剰に大きくなることが抑制され、その結果、水中において先端部61aに付着した気泡に起因する誤検知を抑制することができる。また、上述したように、第2のセンサ60bは、第1のセンサ60aと同様の構成、機能及び特性を有している。よって、第2のセンサ60bでも、先端部62aに付着した水滴に起因するセンサの誤検知を抑制することができ、且つ、水中において先端部62aに付着した気泡に起因する誤検知を抑制することができる。

【0062】

再び図1を参照する。図1に示すように、タンク52には導管72が設けられている。導管72は、その先端が空間S3の下部に位置するようにタンク52の外部からタンク52の内部まで略鉛直方向に延在している。導管72には、配管74の一端が接続されている。配管74の他端には、給水部76が接続されている。給水部76は、給水用の水を貯留しており、配管74を介して水をタンク52内に供給する。配管74の途中位置にはバルブV7が設けられている。バルブV7は、給水部76からタンク52に対する水の供給及び供給停止を切り替える。また、バルブV7よりも配管74の一端に近い配管74上の位置には、排水管78が接続されている。排水管78は、導管72及び配管74を介してタンク52から排出された水を気化器50の外部に排出する。また、排水管78の途中位置にはバルブV8が設けられている。バルブV8は、タンク52内の水の排出、及び、排出停止を切り替える。

【0063】

さらに、プラズマ処理装置1は、制御部40を備えている。制御部40は、プラズマ処理装置1の各部を制御する。制御部40は、例えば、プロセッサ、記憶装置、入力装置、表示装置等を備えるコンピュータであり得る。制御部40は、プラズマ処理装置1の各部を制御するためのプログラムを記憶装置に格納しており、当該プログラムを実行することにより、プラズマ処理装置1の各部、例えば、バルブV1～V3、V5～V8、三方弁V4、流量制御器F1～F4、高周波電源RG、ヒータ電源HP、排気装置16、及び、電源56を制御する。一例では、制御部40は、第1のセンサ60a及び第2のセンサ60bから出力される出力電圧 V_{out} に応じて、給水部76からタンク52に対する水の供給を制御する。

【0064】

次に、一実施形態のプラズマ処理装置1の制御方法について説明する。図6は、希ガス、 O_2 ガス、及び、 N_2 ガスのプラズマによってウエハWをプラズマ処理するためのプラズマ処理装置1の制御方法MT1を示す流れ図である。

【0065】

制御方法MT1では、まず工程ST1において、ガス供給部GUから O_2 ガス、 N_2 ガ

10

20

30

40

50

ス、及び、希ガスが石英管 22 内の空間 S 2 に供給される。これらのガスを空間 S 2 に供給するために、制御部 40 は、バルブ V 1 ~ V 3 を開放し、バルブ V 5 ~ V 8 を閉鎖する。また、制御部 40 は、配管 31 が配管 30 に対して連通されるように三方弁 V 4 を制御する。このように各バルブが制御されることにより、ガス供給部 G U からの O₂ ガス、N₂ ガス、及び、希ガスが、配管 31 及び配管 30 を通って空間 S 2 に供給される。

【 0 0 6 6 】

次いで、制御方法 M T 1 では、工程 S T 2 が行われる。工程 S T 2 では、O₂ ガス、N₂ ガス、及び、希ガスのプラズマが生成される。このために、工程 S T 2 では、高周波電源 R G からコイル 24 に高周波電力が与えられる。この高周波電力によって、空間 S 2 において、O₂ ガス、N₂ ガス、及び、希ガスのプラズマが生成される。そして、このプラズマの活性種によって、ウエハ W に含まれる有機物、及び / 又はウエハ W に付着した有機物が除去される。即ち、アッシング処理が行われる。

【 0 0 6 7 】

次に、プラズマ処理装置 1 の別の制御方法について説明する。図 7 は、H₂O ガス、即ち水蒸気のプラズマによってウエハ W をプラズマ処理するためのプラズマ処理装置 1 の制御方法 M T 2 を示す流れ図である。

【 0 0 6 8 】

制御方法 M T 2 では、まず工程 S T 1 1 において、タンク 52 内の水の温度が設定温度に制御される。この設定温度は、タンク 52 の容量、配管 30 , 32 の内径及び長さ、並びに、空間 S 2 に供給されるべき H₂O ガスの流量によって定まる温度であり、例えば摂氏 50 度 ~ 78 度である。タンク 52 内の水の温度を制御するために、制御部 40 は電源 56 に制御信号を送信し、加熱器 54 で生じる熱量を制御する。タンク 52 内の水の温度が設定温度になると、次いで工程 S T 1 2 が行われる。工程 S T 1 2 では、気化器 50 から H₂O ガスが石英管 22 内の空間 S 2 に供給される。工程 S T 1 2 では、H₂O ガスを空間 S 2 に供給するために、制御部 40 は、バルブ V 5 を開放し、バルブ V 1 ~ 3 , V 6 ~ V 8 を閉鎖する。また、制御部 40 は、配管 33 が配管 30 に連通されるように三方弁 V 4 を制御する。このように各バルブが制御されることにより、空間 S 3 内の H₂O ガスが配管 32、配管 33 及び配管 30 を通って空間 S 2 に供給される。

【 0 0 6 9 】

次いで、制御方法 M T 2 では、工程 S T 1 3 が行われる。工程 S T 1 3 では、H₂O ガスのプラズマが生成される。このために、工程 S T 1 3 では、高周波電源 R G からコイル 24 に高周波電力が与えられる。この高周波電力によって、空間 S 2 において、H₂O ガスのプラズマが生成される。そして、このプラズマの活性種によって、ウエハ W に含まれる有機物、及び / 又はウエハ W に付着した有機物が除去される。即ち、アッシング処理が行われる。

【 0 0 7 0 】

次いで、制御方法 M T 2 では、工程 S T 1 4 が行われる。工程 S T 1 4 では、タンク 52 内の液面 F L の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H 1 よりも低いかが判定される。制御部 40 は、第 1 のセンサ 60 a の出力電圧 V_{out} の実効値 (以下、単に「出力電圧 V_{out}」という。) が所定の閾値以上であるときに、液面 F L の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H 1 よりも低いと判定する。工程 S T 1 4 において、液面 F L の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H 1 よりも低いと判定された場合、即ち、第 1 のセンサ 60 a の出力電圧 V_{out} が所定の閾値以上であると判定された場合には、工程 S T 1 5 が行われる。工程 S T 1 5 では、液面 F L の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H 1 と同じに、又は、第 1 の基準位置 H 1 よりも高くなるように給水部 76 からタンク 52 に水が供給される。タンク 52 内に水を供給するために、制御部 40 はバルブ V 7 に制御信号を送信し、バルブ V 7 を開放する。これにより、給水部 76 に貯留された水が配管 74 及び導管 72 を介してタンク 52 内に供給される。また、制御部 40 は、液面 F L の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H 1 と同じ、又は、第 1 の基準位置 H 1 よりも高くなると、バルブ V 7 を閉鎖してタンク 52 に対する給水を停止する。

【 0 0 7 1 】

一方、工程 S T 1 4 において液面 F L の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H 1 と同じ、又は、それよりも高い位置にあると判定されたときには、工程 S T 1 6 が行われる。また、工程 S T 1 5 において給水部 7 6 からタンク 5 2 に水が供給された場合にも、工程 S T 1 6 が行われる。この工程 S T 1 6 では、終了条件が満たされたか否かが判定される。例えば、工程 S T 1 6 では、工程 S T 1 3 のアッシング処理が所定回数以上実施されたか否かが判定される。工程 S T 1 6 において、終了条件が満たされていないと判定されたときには、工程 S T 1 1 が再び行われる。一方、工程 S T 1 6 において、終了条件が満たされたと判定されたときには、処理を終了する。

【 0 0 7 2 】

次に、プラズマ処理装置 1 の更に別の制御方法について説明する。図 8 は、タンク 5 2 内を洗浄するためのプラズマ処理装置 1 の制御方法 M T 3 を示す流れ図である。プラズマ処理装置 1 が長期間停止されたときなど、タンク 5 2 内の水の温度制御が行われなくなるとタンク 5 2 内の水の温度が常温まで低下し、タンク 5 2 内にバクテリアが発生することがある。この状態からタンク 5 2 内の水を加熱し、タンク 5 2 内に発生した水蒸気を用いてウエハ W にプラズマ処理を実施すると、ウエハ W にコンタミネーションが発生することがある。このコンタミネーションを抑制するために、制御方法 M T 3 ではタンク 5 2 内が洗浄される。この制御方法 M T 3 は、例えばプラズマ処理装置 1 が起動されたタイミングで実施される。

【 0 0 7 3 】

制御方法 M T 3 では、シーケンス S Q が繰り返し実行される。シーケンス S Q は、工程 S T 2 1 (第 1 の工程)、工程 S T 2 2 (第 2 の工程)、工程 S T 2 3 (第 3 の工程)、及び、工程 S T 2 4 (第 4 の工程) を含んでいる。シーケンス S Q では、まず工程 S T 2 1 において、タンク 5 2 内の液面 F L の高さ方向の位置が第 2 の基準位置 H 2 よりも低い位置にあるか否かが判定される。制御部 4 0 は、第 2 のセンサ 6 0 b の出力電圧 V_{out} が所定の閾値以上であるときに、タンク 5 2 内の液面 F L の高さ方向の位置が第 2 の基準位置 H 2 よりも低いと判定する。工程 S T 2 1 においてタンク 5 2 内の液面 F L の高さ方向の位置が第 2 の基準位置 H 2 よりも低いと判定された場合には、工程 S T 2 2 が行われる。工程 S T 2 2 では、液面 F L の高さ方向の位置が第 2 の基準位置 H 2 と同じに、又は、第 2 の基準位置 H 2 よりも高くなるように給水部 7 6 からタンク 5 2 に水が供給される。タンク 5 2 内に水を供給するために、制御部 4 0 はバルブ V 7 に制御信号を送信し、バルブ V 7 を開放する。これにより、給水部 7 6 に貯留された水が配管 7 4 及び導管 7 2 を介してタンク 5 2 内に供給される。また、制御部 4 0 は、液面 F L の高さ方向の位置が第 2 の基準位置 H 2 と同じ、又は、第 2 の基準位置 H 2 よりも高くなると、バルブ V 7 を閉鎖してタンク 5 2 に対する給水を停止する。

【 0 0 7 4 】

工程 S T 2 2 においてタンク 5 2 内に給水が行われると、次いで工程 S T 2 3 が行われる。工程 S T 2 3 では、タンク 5 2 内の水が排水される。タンク 5 2 内の水を排出するために、制御部 4 0 はバルブ V 7 を閉鎖させたまま、バルブ V 5 , V 6 , V 8 を開放する。これにより、ガス源 G S 3 からの N_2 ガスが通気口 5 8 を介してタンク 5 2 内に供給され、タンク 5 2 内の圧力が上昇する。これに伴い、タンク 5 2 の内部と外部との間で圧力差が生じ、タンク 5 2 内の水が導管 7 2 を介して相対的に低圧なタンク 5 2 の外部に排出される。タンク 5 2 から排出された水は、排水管 7 8 を介して気化器 5 0 の外部に排水される。

【 0 0 7 5 】

タンク 5 2 から水が排出されると、次いで工程 S T 2 4 が行われる。工程 S T 2 4 では、タンク 5 2 内の空間 S 3 が減圧される。タンク 5 2 内を減圧するために、制御部 4 0 はバルブ V 6 , V 7 , V 8 を閉鎖し、バルブ V 5 を開放する。また、制御部 4 0 は配管 3 3 が配管 3 0 に連通するように三方弁 V 4 を制御する。これにより、空間 S 2 と空間 S 3 とが連通され、タンク 5 2 内が減圧される。

【 0 0 7 6 】

次いで、工程 S T 2 5 が行われる。工程 S T 2 5 では、シーケンス S Q、即ち工程 S T 2 1 ~ S T 2 4 の実行回数が所定回数に達したか否かが判定される。工程 S T 2 5 においてシーケンス S Q の実行回数が所定回数に達していないと判定された場合には、所定回数に達するまでシーケンス S Q が繰り返し実行される。一例では、シーケンス S Q は 3 0 回繰り返し実行される。一方、工程 S T 2 5 においてシーケンス S Q の実行回数が所定回数に達したと判定された場合には、次いで工程 S T 2 6（第 5 の工程）が行われる。

【 0 0 7 7 】

工程 S T 2 6 では、液面 F L の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H 1 と同じ、又は、第 1 の基準位置 H 1 よりも高くなるように給水部 7 6 からタンク 5 2 に水が供給される。タンク 5 2 内に水を供給するために、制御部 4 0 はバルブ V 7 に制御信号を送信し、バルブ V 7 を開放する。これにより、給水部 7 6 に貯留された水が配管 7 4 及び導管 7 2 を介してタンク 5 2 内に供給される。また、制御部 4 0 は、液面 F L の高さ方向の位置が第 1 の基準位置 H 1 と同じ、又は第 1 の基準位置 H 1 よりも高くなると、バルブ V 7 を閉鎖してタンク 5 2 に対する給水を停止する。図 8 に示す制御方法 M T 3 では、シーケンス S Q を繰り返し実行することによってタンク 5 2 内に発生したバクテリアが除去される。なお、制御方法 M T 3 が行われた後、制御方法 M T 1 又は制御方法 M T 2 が必要に応じて実行され得る。

【 0 0 7 8 】

次に、先端部 6 1 a の先端角に関する実験結果について説明する。図 9 は、先端部 6 1 a が完全に空気と接している場合における、先端部 6 1 a の先端角と出力電圧 V_{out} との関係を示す実験結果である。図 9 に示すように、先端部 6 1 a の先端角が 80° 以上 97° 未満の範囲内の角度である場合には、先端部 6 1 a の先端角が大きくなるほど出力電圧 V_{out} が大きくなることが確認された。一方、先端部 6 1 a の先端角が 97° 以上 107° 以下の範囲内の角度である場合には、先端部 6 1 a の先端角が大きくなっても出力電圧 V_{out} は略一定となることが確認された。この結果は、図 4 に示すように、フォトトランジスタ 1 0 6 及び抵抗素子 1 0 8 を含む直列回路に入力電圧 V_{in} が印加されているので、抵抗素子 1 0 8 の両端子間に発生する電圧 V_c が入力電圧 V_{in} を超えないことに起因するものと推察される。

【 0 0 7 9 】

上記結果から、先端部 6 1 a の先端角を 97° 以上にすることで、先端部 6 1 a が空気と接しているときのセンサの出力電圧 V_{out} が大きくなることが確認された。この結果は、先端角を 97° 以上にすることによって、先端部 6 1 a において反射されフォトトランジスタによって受光される光の量が増加したために得られたものであると考えられる。よって、先端部 6 1 a の先端角を 97° 以上にすることで、タンク 5 2 内の液面 F L が第 1 の基準位置 H 1 よりも低い位置にあるときにロッド 6 1 の先端部 6 1 a に水滴が付着したとしても、センサの出力電圧 V_{out} を大きなものにすることができる。これにより、先端部 6 1 a に水滴が付着した場合であっても出力電圧 V_{out} が所定の閾値を下回りにくくなるので、水滴の付着に起因するセンサの誤検知を抑制することが可能となる。また、ロッド 6 2 の先端部 6 1 a の先端角を 107° 以下にすることにより、先端部 6 1 a に付着した水滴が落下しやすくなる。よって、先端部 6 1 a に水滴が付着することを抑制することができる。

【 0 0 8 0 】

次に、第 1 のセンサ 6 0 a のゲイン G v に関する実験結果について説明する。この実験結果を得た実験では、先端部 6 1 a における光の全反射を模擬的に発生させるために、第 1 のセンサ 6 0 a からロッド 6 1 を取り外し、フォトリフレクタ 6 4 の直下に反射率が互いに異なる黄色及び紫色の色紙を配置した状態で発光素子 1 0 4 から光を出射させた。そして、これらの色紙が配置されたときに回路部 6 5 から出力された出力電圧 V_{out} をそれぞれ測定した。図 1 0 は、実験において得られた出力電圧 V_{out} とゲイン G v との関係を示す図である。図 1 0 に示すように、回路部 6 5 のゲイン G v を増加させていくと、

ある値以上のゲイン G_v に対して出力電圧 V_{out} が飽和して略一定となっていた。ここで、ゲインが4倍になったときに出力電圧 V_{out} の増加率が11%以内となるゲイン G_v の範囲を平坦範囲と定義すると、平坦範囲の下限であるゲイン G_v は3200となる。図10に示すように、第1のセンサ60aのゲイン G_v を平坦範囲に含まれる値に設定した場合には、回路部65の直下に何れの色紙が配置された場合であっても、大きな出力電圧 V_{out} が出力されることが確認された。即ち、第1のセンサ60aのゲイン G_v を3200以上に設定することにより、先端部61aにおける反射率が低く当該先端部61aの表面で光の損失が生じる場合でも、第1のセンサ60aから大きな出力電圧 V_{out} が出力させることができることが確認された。このことから、先端部61aに水滴が付着しており、当該先端部61aの表面から水滴に光が漏れて光の損失が生じる場合でも、第1のセンサ60aから大きな出力電圧 V_{out} が出力させることができることが確認された。

10

【0081】

次に、加熱器54によりタンク52内の水を加熱し、タンク52から石英管22内の空間S2に水蒸気が間欠的に供給されるように流量制御器F4を制御した。そして、第1のセンサ60aの判定結果の経時的变化を得た。図11の(a)~(c)の上段のグラフは、第1のセンサ60aのゲイン G_v をそれぞれ1400、3200、6500に設定したときの、第1のセンサ60aの判定結果の経時的变化を示している。これらのグラフにおいて、縦軸は先端部61aの水の接触状態の判定結果であり、横軸は時間である。図11の上段のグラフに示される判定結果の「1」とは、制御部40において先端部61aが水に接触していると判定されたことを示しており、判定結果の「0」とは、制御部40において先端部61aが水に接触していないと判定されたことを示している。このように、制御部40は、第1のセンサ60aからの出力電圧 V_{out} を所定の閾値に基づいて二値化することによって、先端部61aに対する水の接触状態を判別している。また、図11の(a)~(c)の下段のグラフは、流量制御器通過率の経時的な変化を示している。これらのグラフにおいて、縦軸は水蒸気の流量制御器通過率であり、横軸は時間である。なお、図11の(a)~(c)の上段のグラフの横軸の時間及び下段のグラフの横軸の時間は、互いに一致している。

20

【0082】

図11の(a)~(c)の上段のグラフで示すように、本実験では、時間が46分のときに第1のセンサ60aの判定結果が「0」から「1」に変化している。これは、タンク52内に水が供給されたことを示している。本実験では、その後はタンク52内に水の供給が行われなかったようにした。その結果、図11の(a)~(c)の上段のグラフでは、時間が65分になったときに第1のセンサ60aの判定結果が「1」から「0」に変化した。

30

【0083】

その後も観測を続けたところ、図11の(a)の上段のグラフで示すように、ゲイン G_v を1400に設定した場合には、時間が71分になったところで第1のセンサ60aの判定結果が「0」から「1」に再び変化した。本実験では、46分の給水以降はタンク52内に水の供給が行われなかったようにしていたので、時間が71分になったときには第1のセンサ60aの先端部61aに水は接触していなかったはずである。したがって、時間が71分になったときに、先端部61aが水に接触しているという判定は誤検知であると判断される。図11の(a)の下段のグラフを参照すると、この誤検知は、流量制御器通過率が100%から0%に変化した直後に発生していることが分かる。流量制御器通過率が100%から0%に変化すると、タンク52内の空間S3と処理容器12内の空間S2との連通が解除されるのでタンク52内の圧力が上昇する。これに伴い、タンク52内の水蒸気は液化し易くなる。これらの結果から、この誤検知は、タンク52内の圧力が上昇してロッド61の先端部61aに水滴が付着したことに起因して発生したものであると推認される。一方、図11の(b)及び(c)に示すように、第1のセンサ60aのゲイン G_v を3200又は6500に設定した場合には、流量制御器通過率の変化に関わらず、6

40

50

5分以降の判定結果が「0」のままであった。即ち、誤検知は確認されなかった。

【0084】

次に、図12を参照する。図12は、タンク52内の液面FLが第1の基準位置H1よりも高い位置にある状態で、加熱器54を用いてタンク52内の水を加熱したときに、第1のセンサ60aから出力された出力電圧 V_{out} の経時的变化を示す図である。図12の(a)は、第1のセンサ60aのゲインGvを180に設定したときの結果であり、図12の(b)は、第1のセンサ60aのゲインGvを14000に設定したときの結果である。ここで先端部61aに水が接触しているか否かを判定するための閾値は6Vとした。

【0085】

第1のセンサ60aのゲインGvが180である場合には、図12の(a)に示すように、水の加熱によって気泡が発生しても、第1のセンサ60aの出力電圧 V_{out} は大きく増加しなかった。一方、第1のセンサ60aのゲインGvが14000である場合には、水の加熱によって生じる気泡の影響により、第1のセンサ60aの出力電圧 V_{out} は大きく増加した。この出力電圧 V_{out} は、連続的に6Vを超過することはなかったものの、瞬間的に6Vを超過した。この結果から、ゲインGvを14000以上に設定した場合には、水中において先端部61aに気泡が付着したときに誤検知が生じる可能性が高いことが確認された。しかし、第1のセンサ60aのゲインGvが14000である場合には、出力電圧 V_{out} は連続的に6Vを超えることはなかったため、第1のセンサ60aのゲインGvを14000未満に設定した場合には第1のセンサ60aに誤検知が発生する可能性を低くすることができると考えられる。

【0086】

以上、一実施形態に係るプラズマ処理装置について説明してきたが、上述した実施形態に限定されることなく種々の変形態様を構成可能である。例えば、プラズマ処理装置1は、コイル24を用いる誘導結合方式のプラズマ処理装置に限定されるものではない。プラズマ処理装置1としては、任意のプラズマ処理装置、例えば、マイクロ波といった表面波によってプラズマを生成するプラズマ処理装置を用いることが可能である。

【符号の説明】

【0087】

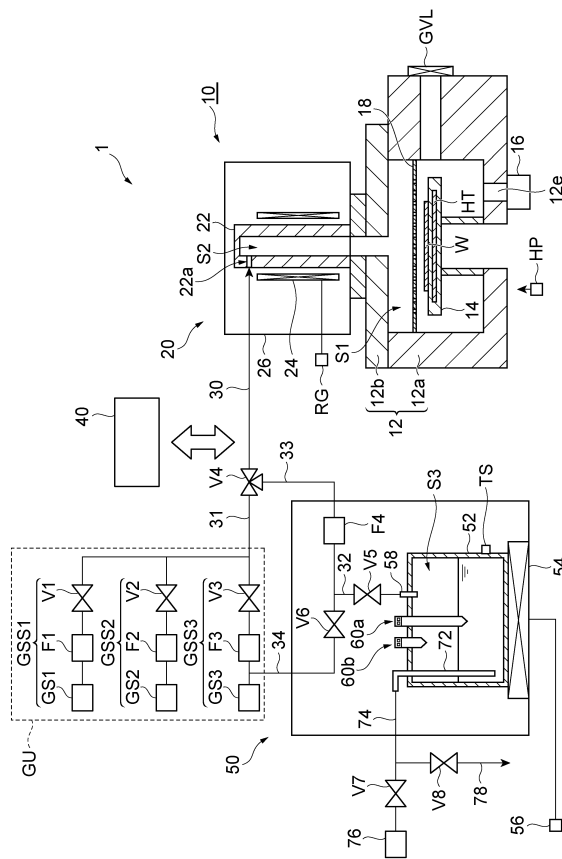
1...プラズマ処理装置、10...本体部、40...制御部、50...気化器、52...タンク、54...加熱器、60a...第1のセンサ、60b...第2のセンサ、61, 62...ロッド、61a, 62a...先端部、61b, 62b...基端部、61X, 62X...交線、64...フォトリフレクタ、65, 66...回路部、70...出力回路、72...導管、76...給水部、102...抵抗素子、104...発光素子、106...フォトランジスタ、106C...コレクタ端子、106E...エミッタ端子、108...抵抗素子、120...増幅回路、FL...液面、GND...グランド端子、S3...空間、1, 2...先端角。

10

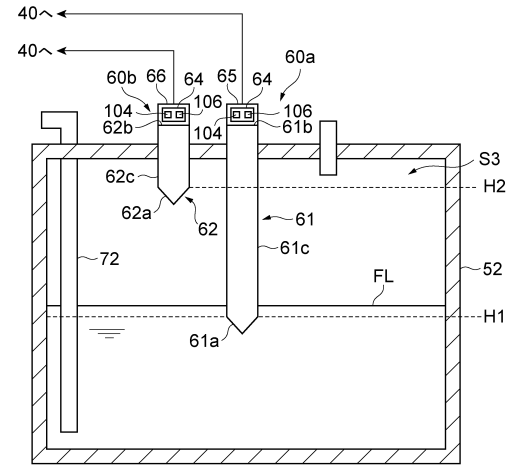
20

30

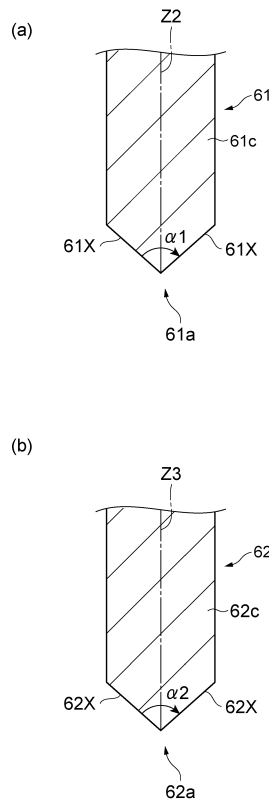
【図 1】



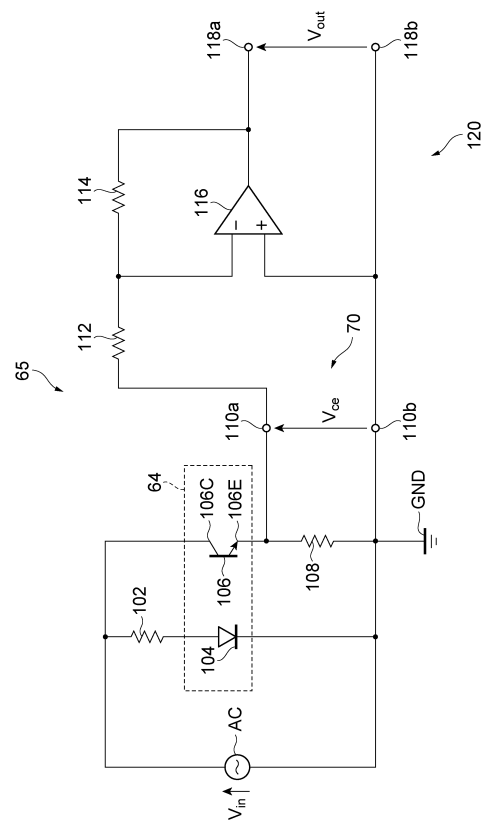
【図 2】



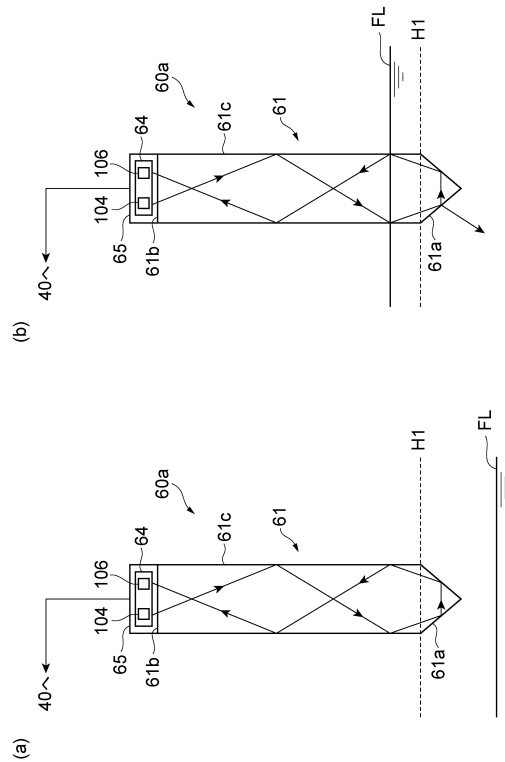
【図 3】



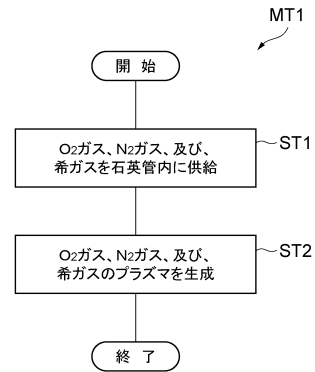
【図 4】



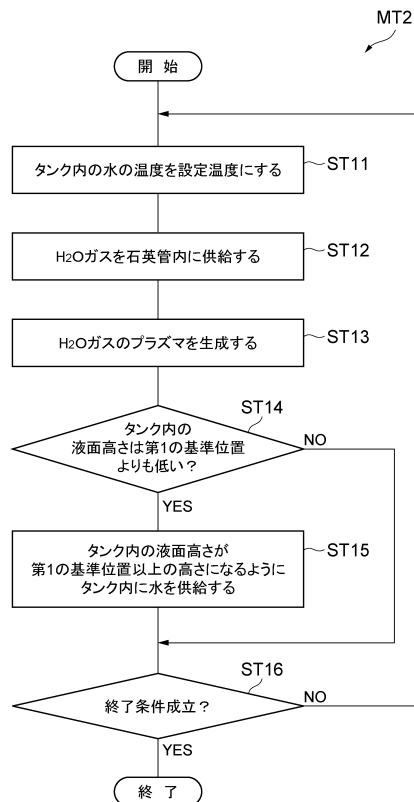
【図5】



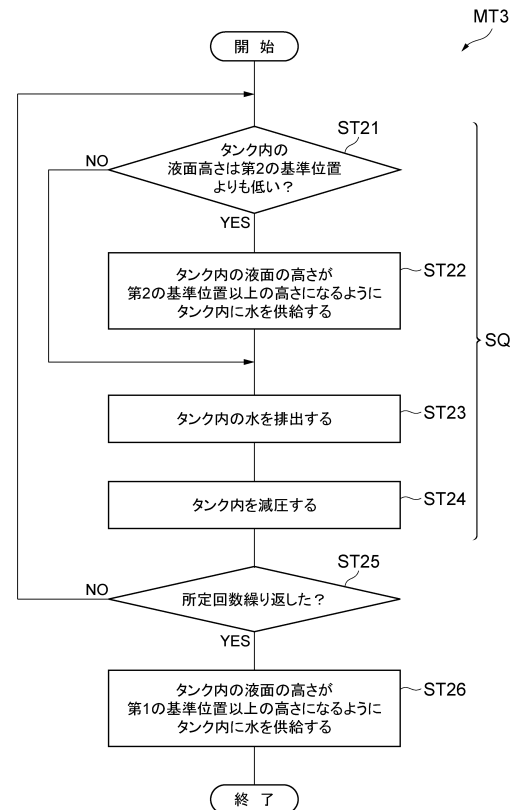
【図6】



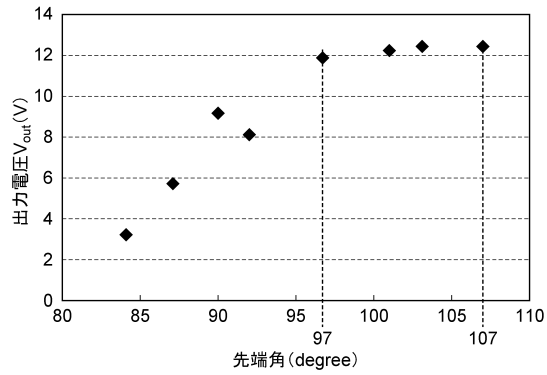
【図7】



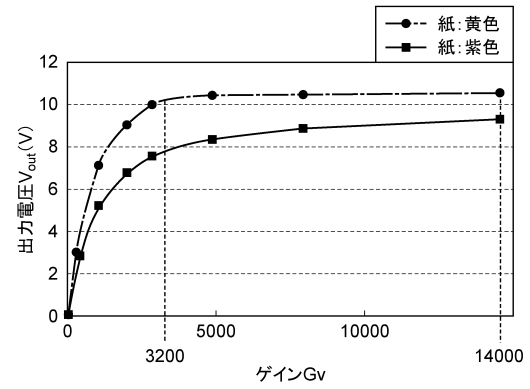
【図8】



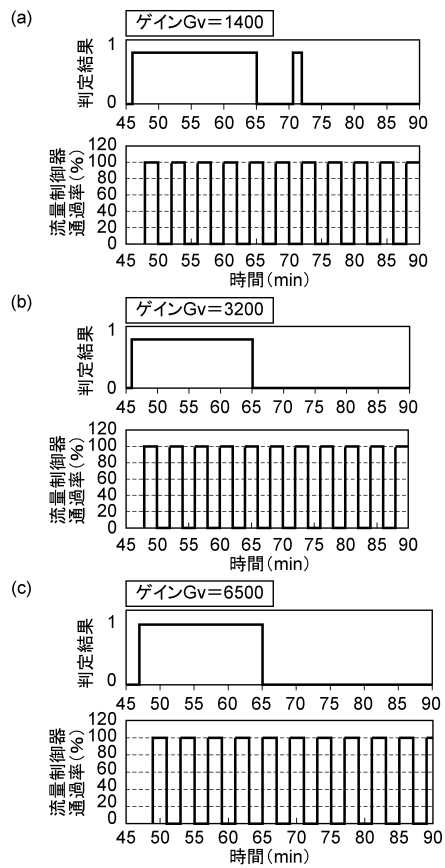
【図 9】



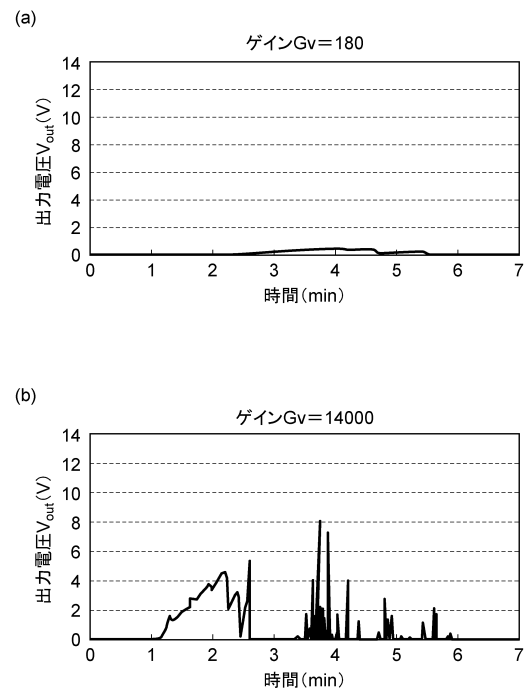
【図 10】



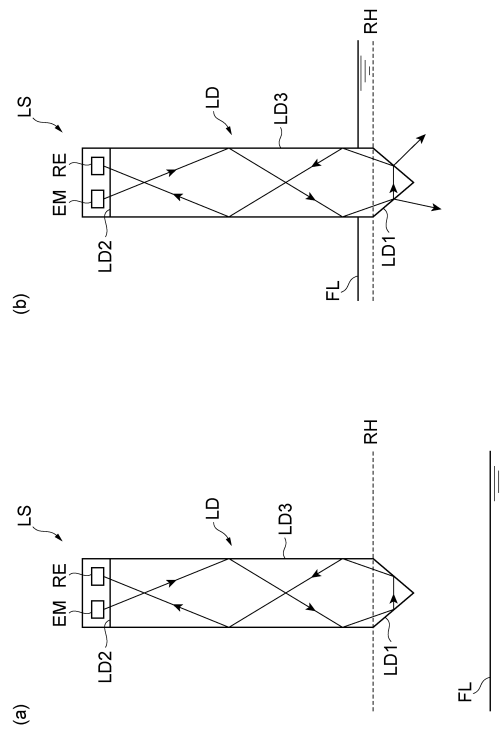
【図 11】



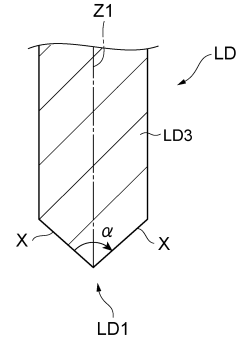
【図 12】



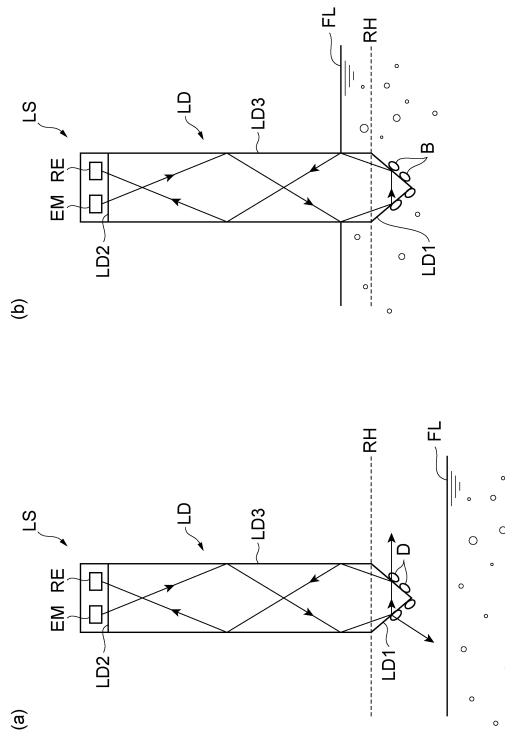
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-027567(JP,A)
特開平07-092004(JP,A)
特開昭53-131071(JP,A)
実開昭54-107025(JP,U)
特開昭62-177418(JP,A)
特開2002-203834(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302
H01L 21/3065
H01L 21/461
H05H 1/00-1/54