

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7413073号
(P7413073)

(45)発行日 令和6年1月15日(2024.1.15)

(24)登録日 令和6年1月4日(2024.1.4)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 F 25/10 (2022.01)

G 0 1 F 25/10

Z

請求項の数 5 (全19頁)

(21)出願番号	特願2020-28490(P2020-28490)	(73)特許権者	000219967
(22)出願日	令和2年2月21日(2020.2.21)		東京エレクトロン株式会社
(65)公開番号	特開2021-135046(P2021-135046 A)	(74)代理人	110002147
			弁理士法人酒井国際特許事務所
(43)公開日	令和3年9月13日(2021.9.13)	(72)発明者	松田 梨沙子
審査請求日	令和4年12月15日(2022.12.15)		宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
			東京エレクトロン宮城株式会社内
		(72)発明者	早坂 伸一郎
			宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
			東京エレクトロン宮城株式会社内
		(72)発明者	大家 学
			宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
			東京エレクトロン宮城株式会社内
		(72)発明者	庄司 慶太
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 流量測定方法および流量測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

流量制御器に接続される第1流路と、前記第1流路に接続される第2流路とに充填されているガスの第1圧力を測定することと、

前記第1圧力が測定された後で、前記流量制御器を介して前記第1流路にガスを供給することと、前記流量制御器を介してガスが前記第1流路に供給され始めたタイミングから所定時間が経過した後に、前記流量制御器を介してガスを前記第1流路に供給することを停止することとが複数回繰り返されることにより、前記第1流路と前記第2流路とにガスを供給することと、

前記第1流路と前記第2流路とにガスが供給される際に、制御部から前記流量制御器に対して出力される、前記第1流路にガスの供給を開始する信号から、前記第1流路へのガスの供給を停止する信号までのガス供給時間を測定することと、

前記第1流路と前記第2流路とにガスが供給された後に、前記第1流路と前記第2流路とに充填されているガスの第2圧力と温度とを測定することと、

前記第1流路と前記第2流路との間が接続されていない状態で前記第2流路からガスが排気された後に、前記第2流路に充填されているガスの第3圧力を測定することと、

前記第3圧力が測定された後に、前記第1流路と前記第2流路とが接続された状態で、前記第1流路と前記第2流路とに充填されているガスの第4圧力を測定することと、

前記第1圧力と前記第2圧力と前記第3圧力と前記第4圧力と前記温度とに基づいて、前記流量制御器を介して前記第1流路と前記第2流路とに供給されたガスの流量を算出す

ることと、

ガスの供給と停止が繰り返された回数分測定された前記ガス供給時間について、平均時間を算出することと、

前記制御部における理論上の前記ガス供給時間と、算出された前記平均時間とに基づいて、算出された前記流量を補正することと、

を有する流量測定方法。

【請求項 2】

前記補正する処理は、測定された前記ガス供給時間における前記第 1 流路に供給されるガスの量が、理論上の前記ガス供給時間における前記第 1 流路に供給されるガスの量と等しくなるように補正する、

請求項 1 に記載の流量測定方法。

【請求項 3】

前記ガス供給時間は、前記制御部と前記流量制御器とを接続する通信経路において、前記流量制御器の直前に接続された測定部で測定される、

請求項 1 または 2 に記載の流量測定方法。

【請求項 4】

前記第 1 圧力が測定される前で、前記流量制御器を介して供給されるガスを用いて基板が処理される処理空間が前記第 1 流路に接続されているときに、前記処理空間から気体が排気されることにより、前記第 1 流路と前記第 2 流路とを真空引きすること、をさらに有し、

前記第 1 圧力と前記第 2 圧力と前記第 3 圧力と前記第 4 圧力とは、前記処理空間が前記第 1 流路に接続されていないときに測定される、

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 つに記載の流量測定方法。

【請求項 5】

ガスの流量を測定する流量測定装置であって、

流量制御器に接続される第 1 流路と、

前記第 1 流路に接続される第 2 流路と、

前記第 1 流路と前記第 2 流路との間に設けられるバルブと、

前記第 2 流路に充填されるガスの圧力を測定する圧力センサと、

前記ガスの温度を測定する温度センサと、

制御部と、を有し、

前記制御部は、前記第 1 流路と、前記第 2 流路とに充填されているガスの第 1 圧力を前記圧力センサで測定するよう前記流量測定装置を制御するように構成され、

前記制御部は、前記第 1 圧力が測定された後で、前記流量制御器を介して前記第 1 流路にガスを供給することと、前記流量制御器を介してガスが前記第 1 流路に供給され始めたタイミングから所定時間が経過した後に、前記流量制御器を介してガスを前記第 1 流路に供給することを停止することが複数回繰り返されることにより、前記第 1 流路と前記第 2 流路とにガスを供給するよう前記流量測定装置を制御するように構成され、

前記制御部は、前記第 1 流路と前記第 2 流路とにガスが供給される際に、前記制御部から前記流量制御器に対して出力される、前記第 1 流路にガスの供給を開始する信号から、前記第 1 流路へのガスの供給を停止する信号までのガス供給時間を測定するよう前記流量測定装置を制御するように構成され、

前記制御部は、前記第 1 流路と前記第 2 流路とにガスが供給された後に、前記第 1 流路と前記第 2 流路とに充填されているガスの第 2 圧力と温度とを前記圧力センサおよび前記温度センサで測定するよう前記流量測定装置を制御するように構成され、

前記制御部は、前記バルブを閉めて前記第 1 流路と前記第 2 流路との間が接続されていない状態で前記第 2 流路からガスが排気された後に、前記第 2 流路に充填されているガスの第 3 圧力を前記圧力センサで測定するよう前記流量測定装置を制御するように構成され、

前記制御部は、前記第 3 圧力が測定された後に、前記バルブを開けて前記第 1 流路と前記第 2 流路とが接続された状態で、前記第 1 流路と前記第 2 流路とに充填されているガス

10

20

30

40

50

の第 4 圧力を前記圧力センサで測定するよう前記流量測定装置を制御するように構成され、
前記制御部は、前記第 1 圧力と前記第 2 圧力と前記第 3 圧力と前記第 4 圧力と前記温度
とに基づいて、前記流量制御器を介して前記第 1 流路と前記第 2 流路とに供給されたガス
の流量を算出するよう前記流量測定装置を制御するように構成され、

前記制御部は、ガスの供給と停止が繰り返された回数分測定された前記ガス供給時間
について、平均時間を算出するよう前記流量測定装置を制御するように構成され、

前記制御部は、前記制御部における理論上の前記ガス供給時間と、算出された前記平均
時間とに基づいて、算出された前記流量を補正するよう前記流量測定装置を制御するよう
に構成される、

流量測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、流量測定方法および流量測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

チャンバの内部空間に配置された基板が、内部空間に供給されたガスによって処理され
る基板処理が知られている。このような基板処理では、ガスの流量が基板に影響を及ぼす
ために、流量制御器を用いてガスの流量が高精度に制御されている。ガスの流量の測定手
法として、ビルドアップ法が知られている（特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2012-32983 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、ガスの流量を高精度に測定することができる流量測定方法および流量測定装
置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一態様による流量測定方法は、第 1 圧力を測定することと、ガスを供給するこ
とと、ガス供給時間を測定することと、第 2 圧力と温度とを測定することと、第 3 圧力を
測定することと、第 4 圧力を測定することと、流量を算出することと、平均時間を算出
することと、流量を補正することとを有する。第 1 圧力を測定することは、流量制御器に接
続される第 1 流路と、第 1 流路に接続される第 2 流路とに充填されているガスの第 1 圧力
を測定する。ガスを供給することは、第 1 圧力が測定された後で、流量制御器を介して第
1 流路にガスを供給することと、流量制御器を介してガスが第 1 流路に供給され始めたタ
イミングから所定時間が経過した後に、流量制御器を介してガスを第 1 流路に供給するこ
とを停止することとが複数回繰り返されることにより、第 1 流路と第 2 流路とにガスを供
給する。ガス供給時間を測定することは、第 1 流路と第 2 流路とにガスが供給される際に
、制御部から流量制御器に対して出力される、第 1 流路にガスの供給を開始する信号から
、第 1 流路へのガスの供給を停止する信号までのガス供給時間を測定する。第 2 圧力と温
度とを測定することは、第 1 流路と第 2 流路とにガスが供給された後に、第 1 流路と第 2
流路とに充填されているガスの第 2 圧力と温度とを測定する。第 3 圧力を測定することは
、第 1 流路と第 2 流路との間が接続されていない状態で第 2 流路からガスが排気された後
に、第 2 流路に充填されているガスの第 3 圧力を測定する。第 4 圧力を測定することは、
第 3 圧力が測定された後に、第 1 流路と第 2 流路とが接続された状態で、第 1 流路と第 2
流路とに充填されているガスの第 4 圧力を測定する。流量を算出することは、第 1 圧力と
第 2 圧力と第 3 圧力と第 4 圧力と温度とに基づいて、流量制御器を介して第 1 流路と第 2

10

20

30

40

50

流路とに供給されたガスの流量を算出する。平均時間を算出することは、ガスの供給と停止が繰り返された回数分測定されたガス供給時間について、平均時間を算出する。流量を補正することは、制御部における理論上のガス供給時間と、算出された平均時間とに基づいて、算出された流量を補正する。

【発明の効果】

【0006】

本開示によれば、ガスの流量を高精度に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、本開示の一実施形態における基板処理システムの一例を示す概略図である。

10

【図2】図2は、本実施形態における流量制御器の一例を示す図である。

【図3】図3は、本実施形態における流量測定方法の一例を示すシーケンスチャートである。

【図4】図4は、ステップS4における制御信号とガスパルスとの関係の一例を示す図である。

【図5】図5は、ステップS4におけるガスパルスの一例を示す図である。

【図6】図6は、ガス流量の測定結果の一例を示す図である。

【図7】図7は、流量制御器の校正方法の一例を示す図である。

【図8】図8は、流量制御器の校正結果の一例を示す図である。

20

【図9】図9は、変形例におけるガス供給部の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下に、開示する流量測定方法および流量測定装置の実施形態について、図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施形態により開示技術が限定されるものではない。

【0009】

ALE (Atomic Layer Etching) プロセスでは、ガスの流量を高精度に制御することが求められている。つまり、ガスの流量を高精度に制御するためには、流量制御器の校正において、ガスの流量を精度よく測定することが求められている。流量制御器を制御する制御部における制御の再現性を、例えば $\pm 1\%$ で規定した場合、制御系のタイミング遅延等により、測定結果が $\pm 1\%$ 以上にばらついてしまい、流量制御器の個体差の校正の精度が低下することがある。すなわち、制御系のタイミング遅延等により、ガスの流量の測定精度が低下することがある。そこで、ガスの流量を高精度に測定することが期待されている。

30

【0010】

【基板処理システム10の構成】

図1は、本開示の一実施形態における基板処理システムの一例を示す概略図である。基板処理システム10は、複数のプロセスモジュールを備え、図1に示されているように、複数のチャンバ12-1~12-N (数Nは、2以上の整数。)と複数のガス供給部14-1~14-(N+1)とを備えている。複数のチャンバ12-1~12-Nのうちの1つのチャンバ12-1の内部には、基板処理のために基板が収容される処理空間が形成されている。複数のチャンバ12-1~12-Nのうちのチャンバ12-1と異なる他のチャンバ12-i (i=2, 3, 4, ..., N)も、チャンバ12-1と同様に、内部に処理空間が形成されている。

40

【0011】

複数のガス供給部14-1~14-(N+1)のうちの複数のガス供給部14-1~14-Nは、複数のチャンバ12-1~12-Nに対応している。例えばチャンバ12-1に対応するガス供給部14-1は、筐体17と、複数の流量制御器18-1~18-M (数Mは、2以上の整数。)と、複数の一次バルブ19-1~19-Mと、複数の二次バルブ20-1~20-Mと、第1のガス流路21と、バルブ22とを備えている。複数の流量

50

制御器 18-1~18-Mと、複数の一次バルブ 19-1~19-Mと、複数の二次バルブ 20-1~20-Mと、バルブ 22とは、筐体 17の内部に配置されている。

【0012】

複数の流量制御器 18-1~18-Mは、互いに異なる複数のガスをそれぞれ供給する複数のガスソース（図示されていない）に対応している。複数の流量制御器 18-1~18-Mのうちの1つの流量制御器 18-1は、いわゆるマスフローコントローラであり、複数のガスソースのうちの流量制御器 18-1に対応するガスソースに接続されている。複数の一次バルブ 19-1~19-Mは、複数の流量制御器 18-1~18-Mに対応している。例えば流量制御器 18-1に対応する一次バルブ 19-1は、流量制御器 18-1の一次側に接続され、流量制御器 18-1とガスソースとを接続する流路の途中に設けられている。

10

【0013】

複数の二次バルブ 20-1~20-Mは、複数の流量制御器 18-1~18-Mに対応している。例えば流量制御器 18-1に対応する二次バルブ 20-1は、流量制御器 18-1が一次バルブ 19-1と二次バルブ 20-1との間に設けられるように、流量制御器 18-1に接続されている。複数の流量制御器 18-1~18-Mのうちの流量制御器 18-1と異なる他の流量制御器 18-j（j=2, 3, 4, ..., M）に関しても、流量制御器 18-1と同様に形成され、一次バルブ 19-jと二次バルブ 20-jとの間に設けられている。

【0014】

第1のガス流路 21は、複数の第1の端部 21aと第2の端部 21bと第3の端部 21cとが形成されている。複数の第1の端部 21aは、複数の二次バルブ 20-1~20-Mにそれぞれ接続されている。第2の端部 21bは、バルブ 22に接続されている。第1のガス流路 21のうちの複数の二次バルブ 20-1~20-Mとバルブ 22とを接続する部分は、筐体 17の内部に配置されている。

20

【0015】

基板処理システム 10は、複数のバルブ 30-1~30-(N+1)をさらに備えている。複数のバルブ 30-1~30-(N+1)のうちの複数のバルブ 30-1~30-Nは、複数のチャンバ 12-1~12-Nに対応している。例えばチャンバ 12-1に対応するバルブ 30-1の一端は、ガス供給部 14-1の第1のガス流路 21の第3の端部 21cに接続されている。バルブ 30-1の他端は、バルブ 30-1が第1のガス流路 21とチャンバ 12-1との間に設けられるように、チャンバ 12-1に接続されている。

30

【0016】

複数のガス供給部 14-1~14-Nのうちのガス供給部 14-1と異なる他のガス供給部 14-iも、ガス供給部 14-1と同様に、形成されている。すなわち、ガス供給部 14-iは、筐体 17と、複数の流量制御器 18-1~18-Mと、複数の一次バルブ 19-1~19-Mと、複数の二次バルブ 20-1~20-Mと、第1のガス流路 21と、バルブ 22とを備えている。複数のバルブ 30-1~30-Nのうちのチャンバ 12-iに対応するバルブ 30-iは、第1のガス流路 21とチャンバ 12-iとの間に設けられ、一端が第3の端部 21cに接続され、他端がチャンバ 12-iに接続されている。

40

【0017】

複数のガス供給部 14-1~14-(N+1)のうちのガス供給部 14-(N+1)は、2つの流量制御器 18-1~18-2と、2つの一次バルブ 19-1~19-2と、2つの二次バルブ 20-1~20-2と、第1のガス流路 21と、バルブ 22とを備えている。2つの流量制御器 18-1~18-2は、2つの一次バルブ 19-1~19-2を介して、互いに異なる2つの液体をそれぞれ供給する2つの液体ソース（図示されていない）にそれぞれ接続されている。複数のバルブ 30-1~30-(N+1)のうちのバルブ 30-(N+1)の一端は、ガス供給部 14-(N+1)の第1のガス流路 21の第3の端部 21cに接続されている。バルブ 30-(N+1)の他端は、チャンバ 12-1に接続されている。ガス供給部 14-(N+1)の流量制御器 18-1は、いわゆるマスフロ

50

ーコントローラであり、液体を気化させる機能を有している。

【0018】

基板処理システム10は、複数の圧力制御弁32-1~32-Nと、複数のターボ分子ポンプ34-1~34-Nと、複数の排気装置16-1~16-Nと、複数の排気流路36-1~36-Nと、複数のバルブ38-1~38-Nとを、さらに備えている。複数の圧力制御弁32-1~32-Nは、複数のチャンバ12-1~12-Nに対応している。例えばチャンバ12-1に対応する圧力制御弁32-1は、いわゆる自動圧力制御弁であり、チャンバ12-1の内部空間の圧力を調整するように構成されている。複数の圧力制御弁32-1~32-Nのうちの圧力制御弁32-1と異なる他の圧力制御弁32-iも、圧力制御弁32-1と同様に、チャンバ12-iの内部空間の圧力を調整するように構成されている。

10

【0019】

複数のターボ分子ポンプ34-1~34-Nは、複数のチャンバ12-1~12-Nに対応している。例えばチャンバ12-1に対応するターボ分子ポンプ34-1は、圧力制御弁32-1を介してチャンバ12-1の処理空間に接続されている。複数のターボ分子ポンプ34-1~34-Nのうちのターボ分子ポンプ34-1と異なる他のターボ分子ポンプ34-iも、ターボ分子ポンプ34-1と同様に、圧力制御弁32-iを介してチャンバ12-iの処理空間に接続されている。

【0020】

複数の排気装置16-1~16-Nは、複数のチャンバ12-1~12-Nに対応している。複数の排気流路36-1~36-Nは、複数のチャンバ12-1~12-Nに対応している。例えばチャンバ12-1に対応する排気装置16-1は、チャンバ12-1に対応する排気流路36-1を介してターボ分子ポンプ34-1に接続されている。排気装置16-1は、いわゆるドライポンプである。複数のバルブ38-1~38-Nは、複数のチャンバ12-1~12-Nに対応している。例えばチャンバ12-1に対応するバルブ38-1は、排気流路36-1の途中に設けられている。

20

【0021】

複数の排気装置16-1~16-Nのうちの排気装置16-1と異なる排気装置16-iも、排気装置16-1と同様に形成され、排気流路36-iを介してターボ分子ポンプ34-iに接続されている。複数のバルブ38-1~38-Nのうちのバルブ38-1と異なる他のバルブ38-iも、バルブ38-1と同様に、排気流路36-iの途中に設けられている。

30

【0022】

基板処理システム10は、流量測定システム40をさらに備えている。流量測定システム40は、第2のガス流路42と、第1のバルブ51と、第3のガス流路43と、第2のバルブ52と、圧力センサ47と、圧力センサ48と、温度センサ49とを備えている。第2のガス流路42は、複数の第4の端部42aと、第5の端部42bとが形成されている。複数の第4の端部42aは、複数のガス供給部14-1~14-(N+1)のバルブ22にそれぞれ接続されている。第5の端部42bは、第1のバルブ51に接続されている。

40

【0023】

第3のガス流路43は、第6の端部43aと、第7の端部43bとが形成されている。第6の端部43aは、第1のバルブ51が第2のガス流路42と第3のガス流路43との間に設けられるように、第1のバルブ51に接続されている。第7の端部43bは、第2のバルブ52に接続されている。圧力センサ47と圧力センサ48とは、第3のガス流路43のうちの互いに異なる2つの位置にそれぞれ配置されている。圧力センサ47と圧力センサ48とは、それぞれ第3のガス流路43に充填される気体の圧力を測定するように構成されている。温度センサ49は、第3のガス流路43に充填される気体の温度を測定するように構成されている。

【0024】

50

流量測定システム４０は、第４のガス流路４４と、第３のバルブ５３と、第４のバルブ５４とを、さらに備えている。第４のガス流路４４は、第１の部分流路４４ｄと第２の部分流路４４ｅとを含んでいる。第１の部分流路４４ｄは、第８の端部４４ａと第９の端部４４ｂとが形成されている。第２の部分流路４４ｅは、第１の部分流路４４ｄから分岐している流路であり、第１０の端部４４ｃが形成されている。第４のバルブ５４は、第２の部分流路４４ｅの途中に設けられている。

【００２５】

第８の端部４４ａは、第２のバルブ５２が第３のガス流路４３と第４のガス流路４４との間に設けられるように、第２のバルブ５２に接続されている。第９の端部４４ｂは、第３のバルブ５３に接続されている。このとき、排気流路３６－１は、バルブ３８－１と排気装置１６－１との間で分岐し、第３のバルブ５３が第４のガス流路４４と排気流路３６－１との間に設けられるように、第３のバルブ５３に接続されている。複数の排気流路３６－１～３６－Ｎのうちの排気流路３６－１と異なる他の排気流路３６－ｉも、排気流路３６－１と同様に、第３のバルブ５３が第４のガス流路４４と排気流路３６－ｉとの間に設けられるように、第３のバルブ５３に接続されている。

10

【００２６】

流量測定システム４０は、複数のバルブ５８－１～５８－Ｎをさらに備えている。複数のバルブ５８－１～５８－Ｎは、複数のチャンバ１２－１～１２－Ｎに対応している。例えばチャンバ１２－１に対応するバルブ５８－１は、第３のバルブ５３と排気流路３６－１との間に設けられている。複数のバルブ５８－１～５８－Ｎのうちのバルブ５８－１と異なる他のバルブ５８－ｉは、バルブ５８－１と同様に、第３のバルブ５３と排気流路３６－ｉとの間に設けられている。

20

【００２７】

流量測定システム４０は、基準器６０と基準圧力センサ７０とをさらに備えている。基準器６０は、タンク６２と圧力センサ６３と温度センサ６４とバルブ６５とバルブ６６とを備えている。タンク６２は、内部空間が形成されている。圧力センサ６３は、タンク６２の内部空間に充填される気体の圧力を測定するように構成されている。温度センサ６４は、タンク６２の内部空間に充填される気体の温度を測定するように構成されている。バルブ６５は、第４のガス流路４４の第２の部分流路４４ｅとタンク６２との間に設けられている。バルブ６６は、タンク６２に接続されている。

30

【００２８】

基準圧力センサ７０は、バルブ６６を介してタンク６２の内部空間に接続されている。基準圧力センサ７０は、タンク６２の内部空間に接続されているときには、タンク６２の内部空間に充填される気体の圧力を測定するように構成されている。

【００２９】

基板処理システム１０は、主制御部７１をさらに備えている。主制御部７１は、コンピュータ装置であり、プロセッサと、記憶装置と、入力装置と、表示装置とを備えている。プロセッサは、例えばＣＰＵから形成され、主制御部７１にインストールされるコンピュータプログラムを実行することにより、情報処理し、記憶装置と、入力装置と、表示装置とを制御する。プロセッサは、コンピュータプログラムを実行することにより、さらに、基板処理システム１０の各部および流量測定システム４０の各部を制御する。記憶装置は、コンピュータプログラムを記録し、プロセッサにより利用される情報を記録する。入力装置は、例えばキーボードから形成され、ユーザに操作されることにより生成される情報をプロセッサに出力する。表示装置は、プロセッサにより生成された情報をユーザに認識されることができるよう出力する。

40

【００３０】

図２は、本実施形態における流量制御器の一例を示す図である。図２に示すように、流量制御器１８－１は、マスフローコントローラまたは圧力制御式の流量制御器である。流量制御器１８－１は、流路８２と、オリフィス部材８３と、コントロールバルブ８４と、圧力センサ８５と、温度センサ８６と、圧力センサ８７と、制御部８８とを備えている。

50

流路 8 2 は、一次バルブ 1 9 - 1 と二次バルブ 2 0 - 1 との間に設けられ、一端が一次バルブ 1 9 - 1 に接続され、他端が二次バルブ 2 0 - 1 に接続されている。オリフィス部材 8 3 は、流路 8 2 の途中に設けられ、流路 8 2 の断面積を部分的に縮小させている。コントロールバルブ 8 4 は、流路 8 2 のうちの一次バルブ 1 9 - 1 とオリフィス部材 8 3 との間に設けられている。圧力センサ 8 5 は、流路 8 2 のうちのコントロールバルブ 8 4 とオリフィス部材 8 3 との間に設けられている。圧力センサ 8 5 は、流路 8 2 のうちのコントロールバルブ 8 4 とオリフィス部材 8 3 との間に充填される気体の圧力を測定するように構成されている。温度センサ 8 6 は、流路 8 2 のうちのコントロールバルブ 8 4 とオリフィス部材 8 3 との間に充填される気体の温度を測定するように構成されている。圧力センサ 8 7 は、流路 8 2 のうちのオリフィス部材 8 3 と二次バルブ 2 0 - 1 との間に充填される気体の圧力を測定するように構成されている。

10

【 0 0 3 1 】

制御部 8 8 は、流路 8 2 のうちのオリフィス部材 8 3 より一次バルブ 1 9 - 1 の側に充填される気体の圧力が測定されるように、圧力センサ 8 5 を制御する。制御部 8 8 は、流路 8 2 のうちのオリフィス部材 8 3 より二次バルブ 2 0 - 1 の側に充填される気体の圧力が測定されるように、圧力センサ 8 7 を制御する。制御部 8 8 は、オリフィス部材 8 3 より一次バルブ 1 9 - 1 の側の圧力が、オリフィス部材 8 3 より二次バルブ 2 0 - 1 の側の圧力の 2 倍以上である場合に、圧力センサ 8 5 により測定された圧力に基づいて流量を算出する。制御部 8 8 は、オリフィス部材 8 3 より一次バルブ 1 9 - 1 の側の圧力が、オリフィス部材 8 3 より二次バルブ 2 0 - 1 の側の圧力の 2 倍よりも小さい場合に、圧力センサ 8 5 により測定された圧力と圧力センサ 8 7 により測定された圧力とに基づいて流量を算出する。制御部 8 8 は、その算出された流量と設定流量との差が減少するように、コントロールバルブ 8 4 の開度を制御する。なお、流量制御器 1 8 - 1 は、オリフィス部材 8 3 の一次側（上流側）における圧力が、オリフィス部材 8 3 の下流側（二次側）における流路 8 2 の圧力の 2 倍以上である状態で利用される場合には、圧力センサ 8 7 を有していなくてもよい。

20

【 0 0 3 2 】

[流量測定方法]

図 3 は、本実施形態における流量測定方法の一例を示すシーケンスチャートである。図 3 のシーケンスチャートの横軸は、時間を示している。縦軸は、第 3 のガス流路 4 3 の圧力と、第 1 のバルブ 5 1 の開閉状態と、第 2 のバルブ 5 2 の開閉状態と、第 3 のバルブ 5 3 の開閉状態とを示している。縦軸は、さらに、バルブ 3 0 - 1 の開閉状態と、流量制御器 1 8 - 1 のガスの出力状態とを示している。

30

【 0 0 3 3 】

流量測定方法では、初期的に、第 1 のバルブ 5 1 と第 3 のバルブ 5 3 とが開放され、第 2 のバルブ 5 2 とバルブ 3 0 - 1 と第 4 のバルブ 5 4 とが閉鎖されている。主制御部 7 1 は、まず、バルブ 3 0 - 1 を開放することにより、第 1 のガス流路 2 1 とチャンバ 1 2 - 1 の処理空間とを接続する。主制御部 7 1 は、さらに、ガス供給部 1 4 - 1 を制御することにより、複数のガスソースのうちの流量制御器 1 8 - 1 に対応する 1 つのガスソースから第 1 のガス流路 2 1 にガスを供給する（ステップ S 1）。流量制御器 1 8 - 1 の内部に溜まっていた気体は、ガスソースから第 1 のガス流路 2 1 にガスが供給されることにより、そのガスに置換される。主制御部 7 1 は、流量制御器 1 8 - 1 の内部に溜まっていた気体が十分にパージされた後に、ガス供給部 1 4 - 1 を制御することにより、ガスソースから第 1 のガス流路 2 1 にガスが供給されることを停止する。

40

【 0 0 3 4 】

主制御部 7 1 は、ガスソースから第 1 のガス流路 2 1 にガスが供給されることが停止された後に、ターボ分子ポンプ 3 4 - 1 を制御することにより、チャンバ 1 2 - 1 の処理空間に充填されている気体を排気する（ステップ S 2）。第 1 のガス流路 2 1 と第 2 のガス流路 4 2 と第 3 のガス流路 4 3 とは、チャンバ 1 2 - 1 の処理空間から排気されることにより、所定の真空度になるように真空引きされる。主制御部 7 1 は、第 1 のガス流路 2 1

50

と第2のガス流路42と第3のガス流路43とが所定の真空度になった後に、バルブ30-1を閉鎖することにより、第1のガス流路21をチャンバ12-1の処理空間から遮断する。主制御部71は、第1のガス流路21がチャンバ12-1の処理空間から遮断された後に、圧力センサ47を制御することにより、第1のガス流路21と第2のガス流路42と第3のガス流路43との内部の圧力P1を測定する（ステップS3）。

【0035】

主制御部71は、圧力P1が測定された後に、ガス供給部14-1を制御することにより、ガスソースから第1のガス流路21にガスを供給する（ステップS4）。そのガスは、所定の処理が所定の回数だけ繰り返されることにより、すなわち、複数のガスパルスが生成されることにより、第1のガス流路21に供給される。複数のガスパルスの各々のガスパルスは、流量制御器18-1を介してガスを第1のガス流路21に供給することと、ガスの供給が始まったタイミングから所定の時間が経過した後に、ガスの供給を停止することにより形成されている。主制御部71は、流量制御器18-1の温度センサ86を制御することにより、流路82に充填されるガスの温度Tstrayを測定する。

【0036】

また、主制御部71は、第1のガス流路21にガスが供給される際に、主制御部71から流量制御器18-1に対して出力される、第1のガス流路21にガスの供給を開始する信号から、第1のガス流路21へのガスの供給を停止する信号までのガス供給時間を測定する。すなわち、主制御部71は、自身が出力する、各ガスパルスにおける流量制御器18-1に対する開信号と閉信号との間の時間をガス供給時間として測定する。

【0037】

流量制御器18-1を介して第1のガス流路21に供給されたガスは、所定の時間が経過することにより、第1のガス流路21と第2のガス流路42と第3のガス流路43とに均一に拡散する。第1のガス流路21と第2のガス流路42と第3のガス流路43とに充填されたガスの圧力は、そのガスが十分に拡散することにより、安定化する。主制御部71は、流量制御器18-1を介して第1のガス流路21に供給されたガスが十分に拡散した後に、圧力センサ47を制御することにより、第1のガス流路21と第2のガス流路42と第3のガス流路43との内部の圧力P2を測定する。主制御部71は、さらに、温度センサ49を制御することにより、第3のガス流路43の内部の温度Tfvを測定する（ステップS5）。

【0038】

主制御部71は、圧力P2が測定された後に、第1のバルブ51を閉鎖することにより、第3のガス流路43を第1のガス流路21と第2のガス流路42とから遮断する（ステップS6）。主制御部71は、圧力P2が測定された後に、さらに、第3のバルブ53を閉鎖することにより、第3のガス流路43を複数の排気装置16-1～16-Nから遮断する。

【0039】

主制御部71は、第1のバルブ51と第3のバルブ53とが閉鎖された後に、第2のバルブ52を開放することにより、第3のガス流路43を第4のガス流路44に接続する。第3のガス流路43に充填されていたガスの一部は、第3のガス流路43が第4のガス流路44に接続されることにより、第4のガス流路44のうちの第2のバルブ52と第3のバルブ53と第4のバルブ54とにより囲われた部分に排気される。主制御部71は、第3のガス流路43に充填されていたガスの一部が第4のガス流路44に排気された後に、第2のバルブ52を閉鎖することにより、第3のガス流路43を第4のガス流路44から遮断する。

【0040】

第3のガス流路43に残ったガスは、所定の時間が経過することにより、第3のガス流路43に均一に拡散し、第3のガス流路43に充填されるガスの圧力は、安定化する。主制御部71は、第3のガス流路43に残ったガスが十分に拡散した後に、圧力センサ47を制御することにより、第3のガス流路43の内部の圧力P3を測定する（ステップS7

）。主制御部 71 は、圧力 P3 が測定された後に、第 3 のバルブ 53 を開放することにより、第 4 のガス流路 44 を複数の排気装置 16-1 ~ 16-N に接続する。第 4 のガス流路 44 のうちの第 2 のバルブ 52 と第 3 のバルブ 53 と第 4 のバルブ 54 とにより囲われた部分に溜まっていたガスは、第 3 のバルブ 53 が開放されることにより、複数の排気装置 16-1 ~ 16-N に排気される。

【0041】

主制御部 71 は、圧力 P3 が測定された後に、さらに、第 1 のバルブ 51 を開放することにより、第 3 のガス流路 43 を第 1 のガス流路 21 と第 2 のガス流路 42 とに接続する。第 1 のガス流路 21 と第 2 のガス流路 42 とに溜まっていたガスは、第 1 のバルブ 51 が開放されることにより、一部が第 3 のガス流路 43 に移動し、第 1 のガス流路 21 と第 2 のガス流路 42 と第 3 のガス流路 43 とに拡散する。第 1 のガス流路 21 と第 2 のガス流路 42 と第 3 のガス流路 43 とに充填されたガスの圧力は、そのガスが十分に拡散することにより、安定化する。主制御部 71 は、そのガスが十分に拡散した後に、圧力センサ 47 を制御することにより、第 1 のガス流路 21 と第 2 のガス流路 42 と第 3 のガス流路 43 との内部の圧力 P4 を測定する（ステップ S9）。

【0042】

ステップ S4 で流量制御器 18-1 を介して第 1 のガス流路 21 に単位時間あたりに供給されたガスの流量 Q は、気体定数 R を用いて、次（1）式により表現される。

$$Q = dP / dt \times 1 / R \times (V_{stray} / T_{stray} + V_{ext} / T_{ext} + V_{fv} / T_{fv}) \dots (1)$$

ここで、dP は、圧力 P1 と圧力 P2 とを用いて、次式により表現される。

$$dP = P2 - P1$$

dt は、ステップ S4 で流量制御器 18-1 を介してガスが第 1 のガス流路 21 に供給された時間 Δt を示している。容積 V_{stray} は、流量制御器 18-1 の流路 82 のうちのオリフィス部材 83 と二次バルブ 20-1 のダイヤフラム間容積を示している。温度 T_{stray} は、流量制御器 18-1 の流路 82 を流れるガスの温度を示し、流量制御器 18-1 の温度センサ 86 により測定された温度を示している。容積 V_{ext} は、第 1 のガス流路 21 の容積と第 2 のガス流路 42 の容積との和を示している。温度 T_{ext} は、圧力 P2 が測定されるときに第 1 のガス流路 21 と第 2 のガス流路 42 に充填されるガスの温度を示している。容積 V_{fv} は、第 3 のガス流路 43 の容積を示している。温度 T_{fv} は、圧力 P2 が測定されるときに第 3 のガス流路 43 に充填されるガスの温度を示している。

【0043】

さらに、ボイル=シャルルの法則から、次（2）式が満足する。

$$P2 \times V_{ext} / T_{ext} + P3 \times V_{fv} / T_{fv} = P4 \times V_{ext} / T_{ext} + P4 \times V_{fv} / T_{fv} \dots (2)$$

（2）式が変形されることにより、次（3）式が導かれる。

$$V_{ext} / T_{ext} = V_{fv} / T_{fv} \times (P4 - P3) / (P2 - P4) \dots (3)$$

（3）式が（1）式に代入されることにより、次（4）式が導かれる。

$$Q = (P2 - P1) / \Delta t \times 1 / R \times \{ V_{stray} / T_{stray} + V_{fv} / T_{fv} \times (P2 - P3) / (P2 - P4) \} \dots (4)$$

このため、ステップ S4 で流量制御器 18-1 を介して第 1 のガス流路 21 に供給されたガスのモル数 n は、次（5）式により表現される。

$$n = (P2 - P1) / R \times \{ V_{stray} / T_{stray} + V_{fv} / T_{fv} \times (P2 - P3) / (P2 - P4) \} \dots (5)$$

このとき、ステップ S4 で生成された複数のガスパルスの個数でモル数 n を除算した値は、流量制御器 18-1 を介して第 1 のガス流路 21 に 1 つのガスパルスあたりに供給されたガスの量を示している。

【0044】

[ガスパルスの詳細]

ここで、図 4 および図 5 を用いてガスパルスの詳細について説明する。図 4 は、ステップ S 4 における制御信号とガスパルスの関係の一例を示す図である。図 4 のグラフ 100 に示すように、ガスパルス 101 は、主制御部 71 から流量制御器 18-1 に対して出力される制御信号によって ON/OFF、つまり開/閉が切り替えられることで形成される。つまり、制御信号は、ON に対応する開信号と、OFF に対応する閉信号とが交互に出力される。また、開信号から閉信号までの時間 Δt_1 は、第 1 のガス流路 21 へのガス供給時間を示す。なお、以下の説明では、開信号から閉信号までの時間 Δt_1 を、ガス供給時間 Δt_1 と表す場合がある。

【0045】

開信号は、主制御部 71 内部における制御の精度や、主制御部 71 から流量制御器 18-1 までの通信経路におけるタイミング遅延等により、誤差が発生する。主制御部 71 内部における誤差の要因としては、例えば、プロセス時は動作させるが流量測定時には動作させない機器（例えば、RF 関係の機器。）へのコマンドの有無によるタイミングの違いが挙げられる。また、通信経路における誤差の要因としては、例えば、主制御部 71 から流量制御器 18-1 までの通信経路に接続される各種のボード類における遅延が挙げられる。すなわち、図 4 に示すように、流量制御器 18-1 が開信号を受信するまでの時間が変動することになり、ガス供給時間 Δt_1 も変動することになる。例えば、各ガスパルス（各 STEP）のガス供給時間 Δt_1 の再現性が $\pm 2\%$ 程度である場合、ステップ S 4 の全ガスパルス（全 STEP）のガス供給時間 Δt_1 の平均時間、つまり処理対象のウエハごとの再現性は $\pm 1\%$ 程度となる。一方、閉信号は、ALE プロセスの切り替わり時間で固定されているため、各ガスパルスにおける誤差はほぼないと考えることができる。

【0046】

図 5 は、ステップ S 4 におけるガスパルスの一例を示す図である。図 5 に示すガスパルス 101 において、流量制御器 18-1 から第 1 のガス流路 21 に供給されるガスの流量は、開信号によってガス供給部 14-1 の流量制御器 18-1 が制御されたタイミング 111 の後で徐々に増加する。その流量は、所定の設定流量 112 に到達したタイミング 113 の後に、変化しないで所定の設定流量 112 に概ね等しい状態で固定される。流量制御器 18-1 は、タイミング 111 からガス供給時間 Δt_1 が経過した後のタイミング 114 に、第 1 のガス流路 21 へのガスの供給が停止するように、制御される。その流量は、タイミング 114 の後で、徐々に減少する。その流量は、タイミング 114 の後のタイミング 115 の後で、0 に概ね等しくなり、流量制御器 18-1 から第 1 のガス流路 21 へのガスの供給が停止する。

【0047】

1 つのガスパルスで第 1 のガス流路 21 に供給されるガスの量は、過渡応答の期間 116 と過渡応答の期間 117 とが十分に短いときに、所定の設定流量 112 にガス供給時間 Δt_1 を乗算した値に概ね等しい。1 つのガスパルスで第 1 のガス流路 21 に供給されるガスの量は、ガス供給時間 Δt_1 に対する過渡応答の期間 116 の長さや過渡応答の期間 117 の長さとの割合が大きいときに、その値との誤差が大きくなる場合がある。

【0048】

流量測定方法は、ステップ S 4 で流量制御器 18-1 を介して第 1 のガス流路 21 に供給されたガスのモル数 n を高精度に算出している。このため、流量測定方法は、ガス供給時間 Δt_1 に対する過渡応答の期間 116 と過渡応答の期間 117 との割合が大きい場合であっても、ステップ S 4 で流量制御器 18-1 を介して第 1 のガス流路 21 に供給されたガスのモル数 n を高精度に算出することができる。流量測定方法は、さらに、モル数 n が高精度に算出されることにより、流量制御器 18-1 を介して第 1 のガス流路 21 に 1 つのガスパルスあたりに供給されたガスの量を高精度に算出することができる。

【0049】

複数の流量制御器 18-1 ~ 18-M のうちの流量制御器 18-1 と異なる他の流量制御器 18-i に関しても、流量制御器 18-1 と同様に、流量制御器 18-i を介して第 1 のガス流路 21 に供給されるガスの量が算出される。複数のガス供給部 14-1 ~ 14

—Nのうちのガス供給部14-1と異なる他のガス供給部14-iに関しても、ガス供給部14-1と同様に、複数の流量制御器18-1～18-Mの各々介して第1のガス流路21に供給されるガスの量が算出される。

【0050】

タイミング111からタイミング113までの過渡応答の期間116の長さ、タイミング114からタイミング115までの過渡応答の期間117の長さとは、複数の流量制御器18-1～18-Mごとに異なることがある。また、過渡応答の期間116に第1のガス流路21に供給されるガスの量118と、過渡応答の期間117に第1のガス流路21に供給されるガスの量119とに関しても、複数の流量制御器18-1～18-Mごとに異なることがある。

【0051】

流量測定方法は、ステップS4で流量制御器18-1を介して第1のガス流路21に供給されたガスのモル数nを高精度に算出している。このため、流量測定方法は、複数の流量制御器18-1～18-Mごとにガスの量118とガスの量119とに個体差がある場合でも、流量制御器18-1を介して第1のガス流路21に1つのガスパルスあたりに供給されたガスの量を高精度に算出することができる。

【0052】

すなわち、本実施形態では、過渡応答期間を含めたガスパルスの流量について、さらに、流量制御器18-1が開信号を受信するまでの時間の変動を補正することで、より高精度にガスの量を算出する。

【0053】

主制御部71は、ステップS4に含まれる複数のガスパルスについて、ガスパルスごとに測定したガス供給時間 Δt_1 の平均時間 T_a を算出する。ただし、ガス供給時間 Δt_1 が、レシピで設定された理論上のガス供給時間 T_s の最大値を超える場合には、当該ガス供給時間 Δt_1 に代えて理論上のガス供給時間 T_s を用いる。主制御部71は、理論上のガス供給時間 T_s と、算出された平均時間 T_a とに基づいて、下記の式(6)により補正係数 c_f を算出する。

【0054】

$$c_f = T_s / T_a \quad \dots (6)$$

【0055】

主制御部71は、ガスの流量 Q に補正係数 c_f を乗算することにより、補正後のガスの流量 Q_c を算出する。

【0056】

基板処理システム10は、上述の流量測定方法が実行された後に、複数のガス供給部14-1～14-(N+1)のバルブ22が閉鎖されている状態で、基板を処理することにより利用される。基板処理システム10は、複数のガスパルスの個数を調整することにより、流量制御器18-1を介してチャンバ12-1の処理空間に供給されるガスの量を高精度に調整することができる。基板処理システム10は、流量制御器18-1を介してチャンバ12-1の処理空間に供給されるガスの量が高精度に調整されることにより、基板を適切に処理することができる。

【0057】

[測定結果]

図6は、ガス流量の測定結果の一例を示す図である。図6に示すグラフ120は、基板処理システム10において、ステップS4が10ステップ以上あるレシピ、つまりガスパルスを10個以上有するレシピを、流量測定のために実行した場合の結果をプロットしたものである。グラフ120では、基板処理システム10の電源投入から切断までを3回実行している。境界121は、1回目の電源切断と2回目の電源投入との境界を示す。境界122は、2回目の電源切断と3回目の電源投入との境界を示す。また、グラフ120の横軸は、レシピの実行回数を示し、1回目は99回、2回目は100回、3回目は61回のレシピ実行および流量測定を行った。

10

20

30

40

50

【0058】

グラフ120の縦軸は、4つの領域に分割され、上から順に、ガス供給時間 Δt_1 、平均時間 T_a 、ガスの流量 Q 、補正後のガスの流量 Q_c を示す。ガス供給時間 Δt_1 は、単位は秒であり、レシピ1回あたりの各々のステップをそれぞれプロットしている。平均時間 T_a は、単位は秒であり、レシピ1回分の全ステップの平均値をプロットしている。ガスの流量 Q は、単位は cc （標準状態）であり、レシピ1回分の全ステップの総流量の値をプロットしている。補正後のガスの流量 Q_c は、単位は cc （標準状態）であり、レシピ1回分の全ステップの総流量の値に補正係数 c_f を乗算した値をプロットしている。

【0059】

2回目の電源投入から電源切断までにおいては、領域123に示すように、平均時間 T_a の値がずれているものが1回目よりも多くなっている。これは、境界121における電源切断および電源投入による影響等が考えられる。また、プロセス実行時であるか、流量測定時であるかによっても、この様なずれが発生すると考えられる。

【0060】

1回目の電源投入から電源切断までのガスの流量の変動係数 CV は、ガスの流量 Q では0.5%であるのに対し、補正後のガスの流量 Q_c では0.3%に改善している。2回目の電源投入から電源切断までのガスの流量の変動係数 CV は、ガスの流量 Q では1.0%であるのに対し、補正後のガスの流量 Q_c では0.4%に改善している。3回目の電源投入から電源切断までのガスの流量の変動係数 CV は、ガスの流量 Q では0.6%であるのに対し、補正後のガスの流量 Q_c では0.4%に改善している。このように、本実施形態にかかる補正を行うことにより、ガスの流量の再現性を $\pm 1.0\%$ から $\pm 0.4\%$ へと改善することができる。

【0061】

[流量制御器の校正]

続いて、図7および図8を用いて、ガスの流量測定による流量制御器の校正について説明する。図7は、流量制御器の校正方法の一例を示す図である。図8は、流量制御器の校正結果の一例を示す図である。図7に示すように、流量制御器18-1~18-Mの個体差を校正する場合の一例として、基準側の流量制御器18-xのガスパルス131に、校正対象の流量制御器18-yのガスパルス132を合わせる場合を考える。これは、図8のグラフ135では、Gas Aがガスパルス131に対応し、Gas Bがガスパルス132に対応する。なお、Gas AとGas Bとは、異なるチャンバ12-a, 12-bに対応するものとする。このとき、Gas Aを基準としてGas Bを合わせるように校正する。なお、ガスの条件は、C4F6ガスを小流量で10ステップ以上繰り返した場合とし、判定基準を変動係数 CV が $\pm 0.9\%$ 以下とする。

【0062】

図7の校正無しの場合を示すグラフ125では、ガスパルス132は、ガスパルス131と比較して、時間および実流量のどちらも少なくなっており、図8の校正無しである区間125aでは、差異 $DI_a = -2.21\%$ である。次に、図7のグラフ126に示すように、安定した流量の領域133を合わせるCW (Continuous Wave) 校正を行い、ガスパルス132aとする。図8のCW校正を行った区間126aでは、差異 $DI_b = -1.02\%$ となり、校正無しの場合に比べて改善しているが、判定基準は満たしていない。さらに、図7のグラフ127に示すように、ガスパルス132の面積をガスパルス131の面積と同じ値になるようにCW校正に加えてALE校正を行い、ガスパルス132bとする。図8のCW校正およびALE校正を行った区間127aでは、差異 $DI_c = -0.12\%$ となり、CW校正の場合よりもさらに改善し、判定基準も満たしている。なお、グラフ127では、ガスパルス132の面積をガスパルス131の面積と同じ値になるように、安定した流量の領域133の流量を変更することで調整を行ってガスパルス132bとしている。また、グラフ127では、ガスパルスの面積を求める際に、上述の補正後のガスの流量 Q_c を用いている。このように、CW校正だけでなく、さらにALE校正を行うことで、ER (エッチレート) 機差を改善することができる。

【0063】

[変形例]

上記の実施形態では、主制御部71内部における誤差を補正したが、通信経路の流量制御器18-1の直前に接続された測定部でガス供給時間を測定するようにしてもよい。図9は、変形例におけるガス供給部の一例を示す図である。図9に示すガス供給部14a-1では、主制御部71と流量制御器18-1との間を接続する通信経路140において、流量制御器18-1の直前に測定部141を接続している。測定部141は、主制御部71から出力された、各ガスパルスにおける流量制御器18-1に対する開信号と閉信号との間の時間をガス供給時間 Δt_1 として測定する。このように、流量制御器18-1の直前でガス供給時間 Δt_1 を測定することで、主制御部71内部における誤差と、主制御部71から流量制御器18-1までの通信経路140におけるタイミング遅延等による誤差とを含めて補正することができる。従って、上述の実施形態よりも、さらにガスの流量を高精度に測定することができる。

10

【0064】

以上、本実施形態によれば、流量測定方法は、第1圧力P1を測定することと、ガスを供給することと、ガス供給時間を測定することと、第2圧力P2と温度とを測定することと、第3圧力P3を測定することと、第4圧力P4を測定することと、流量Qを算出することと、平均時間Taを算出することと、流量Qを補正することとを有する。第1圧力P1を測定することは、流量制御器18-1に接続される第1流路（第1のガス流路21および第2のガス流路42）と、第1流路に接続される第2流路（第3のガス流路43）とに充填されているガスの第1圧力P1を測定する。ガスを供給することは、第1圧力P1が測定された後で、流量制御器18-1を介して第1流路にガスを供給することと、流量制御器18-1を介してガスが第1流路に供給され始めたタイミングから所定時間が経過した後に、流量制御器18-1を介してガスを第1流路に供給することを停止することとが複数回繰り返されることにより、第1流路と第2流路とにガスを供給する。ガス供給時間を測定することは、第1流路と第2流路とにガスが供給される際に、制御部（主制御部71）から流量制御器18-1に対して出力される、第1流路にガスの供給を開始する信号（開信号）から、第1流路へのガスの供給を停止する信号（閉信号）までのガス供給時間 Δt_1 を測定する。第2圧力P2と温度とを測定することは、第1流路と第2流路とにガスが供給された後に、第1流路と第2流路とに充填されているガスの第2圧力P2と温度とを測定する。第3圧力P3を測定することは、第1流路と第2流路との間が接続されていない状態で第2流路からガスが排気された後に、第2流路に充填されているガスの第3圧力P3を測定する。第4圧力P4を測定することは、第3圧力P3が測定された後に、第1流路と第2流路とが接続された状態で、第1流路と第2流路とに充填されているガスの第4圧力P4を測定する。流量Qを算出することは、第1圧力P1と第2圧力P2と第3圧力P3と第4圧力P4と温度とに基づいて、流量制御器18-1を介して第1流路と第2流路とに供給されたガスの流量Qを算出する。平均時間Taを算出することは、ガスの供給と停止が繰り返された回数分測定されたガス供給時間 Δt_1 について、平均時間Taを算出する。流量Qを補正することは、制御部における理論上のガス供給時間Tsと、算出された平均時間Taとに基づいて、算出された流量Qを補正する。その結果、ガスの流量を高精度に測定することができる。

20

30

40

【0065】

また、本実施形態によれば、流量測定方法は、測定されたガス供給時間 Δt_1 におけるガスパルスの面積が、理論上のガス供給時間Tsにおけるガスパルスの面積と等しくなるように補正する。その結果、ガスの流量を高精度に測定することができ、ER（エッチレート）機差を改善することができる。

【0066】

また、変形例によれば、ガス供給時間 Δt_1 は、制御部（主制御部71）と流量制御器18-1とを接続する通信経路140において、流量制御器18-1の直前に接続された測定部141で測定される。その結果、さらにガスの流量を高精度に測定することができ

50

る。

【0067】

また、本実施形態によれば、流量測定方法は、第1圧力P1が測定される前で、流量制御器18-1を介して供給されるガスを用いて基板が処理される処理空間が第1流路に接続されているときに、処理空間から気体が排気されることにより、第1流路と第2流路とを真空引きすること、をさらに有する。また、流量測定方法では、第1圧力P1と第2圧力P2と第3圧力P3と第4圧力P4とは、処理空間が第1流路に接続されていないときに測定される。その結果、ガスの流量を高精度に測定することができる。

【0068】

なお、上記した実施形態では、圧力センサ47により測定された圧力を利用しているが、圧力センサ47により測定された圧力と圧力センサ48により測定された圧力との平均を利用してもよい。また、流量測定システム40は、圧力センサ47および圧力センサ48のうち少なくとも一方を有していればよい。すなわち、流量測定システム40は、第3のガス流路43内の圧力を測定する一以上の圧力センサを有していればよい。

【0069】

また、上記した実施形態では、流量測定方法のステップS4では、複数のガスパルスを利用して第1のガス流路21にガスを供給しているが、1つのガスパルスを利用して第1のガス流路21にガスを供給してもよい。流量測定方法は、1つのガスパルスを利用して第1のガス流路21にガスが供給された場合でも、第1のガス流路21に供給されたガスの量を高精度に算出することができる。

【0070】

また、上記した実施形態では、第1のガス流路21と第2のガス流路42と第3のガス流路43とは、流量測定方法のステップS2で、チャンバ12-1を真空引きするターボ分子ポンプ34-1を用いて真空引きされているが、他の装置で真空引きされてもよい。その装置としては、流量測定システム40に別途に設けられる排気装置が例示される。この場合も、流量測定方法は、流量制御器18-1を介して第1のガス流路21に供給されるガスの量を高精度に算出することができる。

【0071】

今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲およびその主旨を逸脱することなく、様々な形で省略、置換、変更されてもよい。

【符号の説明】

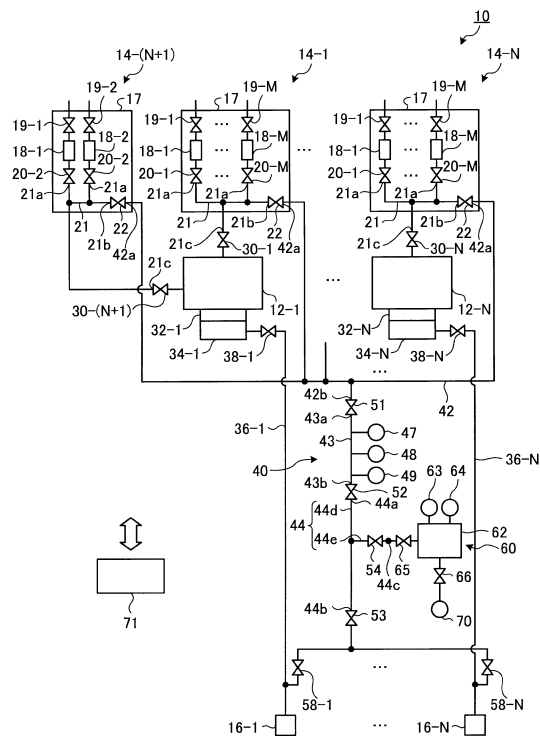
【0072】

- 10 基板処理システム
- 12-1～12-N 複数のチャンバ
- 14-1～14-(N+1) 複数のガス供給部
- 18-1～18-M 複数の流量制御器
- 30-1～30-(N+1) 複数のバルブ
- 34-1～34-N 複数のターボ分子ポンプ
- 40 流量測定システム
- 21 第1のガス流路
- 42 第2のガス流路
- 43 第3のガス流路
- 44 第4のガス流路
- 47 圧力センサ
- 48 圧力センサ
- 49 温度センサ
- 51 第1のバルブ
- 52 第2のバルブ
- 53 第3のバルブ

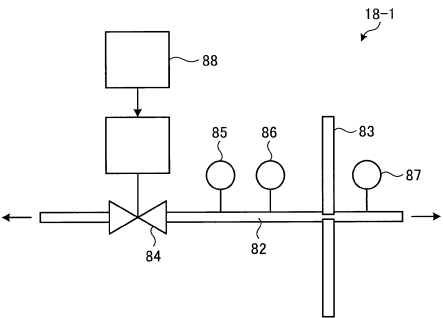
7 1 主制御部

【図面】

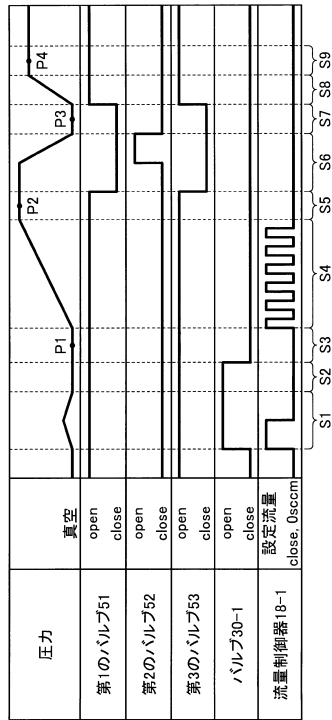
【図 1】



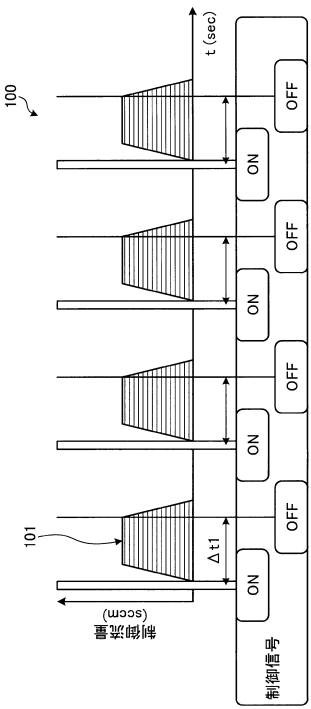
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

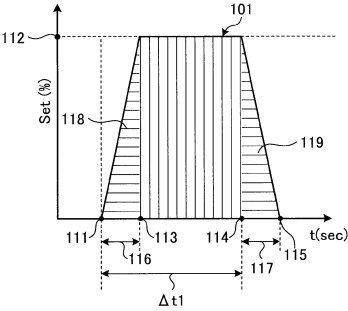
20

30

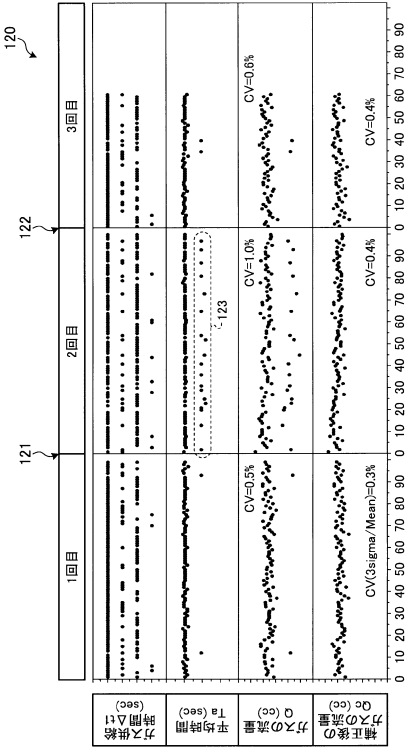
40

50

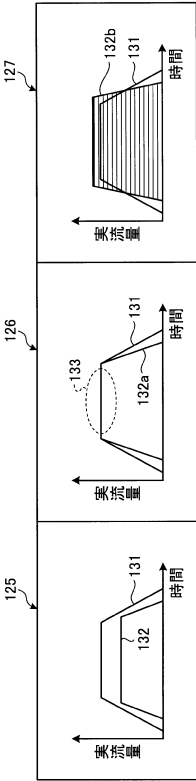
【図 5】



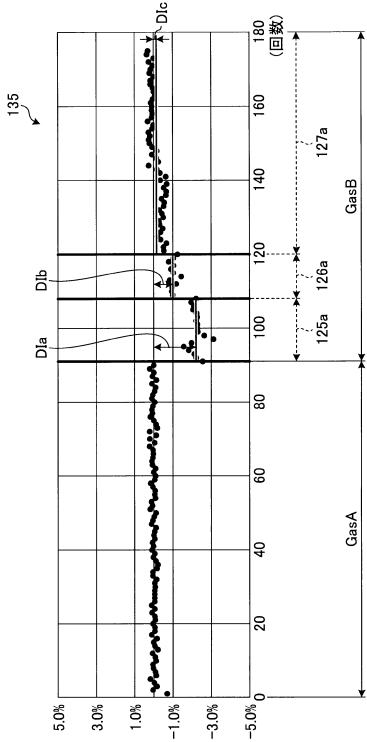
【図 6】



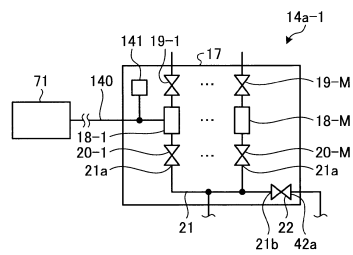
【図 7】



【図 8】



【図 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

審査官 羽飼 知佳

(56)参考文献 特開2019-211409 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01F 25/10-25/17

G05D 7/00-7/06