

明 細 書

発明の名称：

基板処理装置、半導体装置の製造方法、圧力制御装置及び基板処理プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、基板処理装置、半導体装置の製造方法、圧力制御装置及び基板処理プログラムに関する。

背景技術

[0002] 半導体装置又は半導体デバイスの製造工程では、半導体を含む被処理体である半導体基板（以下、単に基板ともいう）に対する処理を行う装置として、縦型の基板処理装置が用いられる場合がある。特開平 7－4 5 4 9 2 や W O 2 0 2 0 / 1 9 4 4 3 4 には、基板処理装置において、処理が行われる反応室等の処理容器に接続されている排気系に、コンダクタンスの異なる複数のバルブが、並列に配置される技術が開示されている。

[0003] 特開平 7－4 5 4 9 2 では、小径のバルブの開度が全開近くになると、小径のバルブより一回り大径のバルブを開ける作業が順次行われる。コンダクタンスの異なる複数のバルブが順次開けられることによって、コンダクタンスの可変範囲が拡大され、反応室の圧力の制御範囲が拡大される。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかし、特開平 7－4 5 4 9 2 の技術の場合、圧力制御中、複数のバルブの切り替わりが予期せず生じる場合があり、結果、圧力制御が中断する懸念がある。

[0005] 本開示は、圧力制御中に生じる複数のバルブの切り替わりに起因する圧力制御の中断を防止できる技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示によれば、内部において基板を処理する処理容器と、処理容器と排

気装置との間に接続され、途中で第1の排気ラインと第2の排気ラインとに分岐する排気路と、第1の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第1バルブと、第2の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第2バルブと、処理容器内の圧力を検出する圧力検出部と、前記圧力検出部が検出する圧力検出値を前記基板を処理するために時刻ごとに設定された前記処理容器内の圧力設定値に近づけるように、前記圧力設定値に応じて前記第1バルブ及び前記第2バルブの内の方のバルブを選択し、第1バルブ及び第2バルブの中で選択されなかった他方のバルブの開度を一定の状態に設定すると共に、選択された一方のバルブの開度を零より大きな値に維持して調整することが可能に構成された圧力制御装置と、を有する構成が提供される。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、圧力制御中に生じる複数のバルブの切り替わりに起因する圧力制御の中断を防止できる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]本開示の実施形態に係る基板処理装置の全体の構成を説明する概略図である。

[図2]本実施形態に係る基板処理装置の排気路の構成を説明する概略図である。

[図3]本実施形態に係る基板処理装置の主制御部の構成を説明するブロック図である。

[図4]本実施形態において圧力制御のためにバルブを選択する際に用いられる基準を説明するグラフである。

[図5]本実施形態に係る基板処理装置を用いた基板処理方法である成膜処理動作の一例を説明する概略図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下に本開示の実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一の部分及び類似の部分には、同一の符号又は類似の符号を付している。ただし

、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各装置や各部材の厚みの比率等は現実のものとは異なる。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判定すべきものである。また、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている。また、図面の上方を上方又は上部、下方を下方又は下部として説明する場合がある。また、本実施形態において記載される圧力は、特に説明が付されない限り、「気圧」を意味する。

[0010] <基板処理装置の全体構成>

図1に示すように、基板処理装置100は、基板30を処理する処理容器20を有する反応炉10と、基板30を処理容器20に搬送するポート26を有する予備室22と、処理容器20にガスを導入する第1ガス導入ライン40と、を有する。また、基板処理装置100は、処理容器20のガスを排出する排気路50と、基板処理装置100の動作を制御する主制御部70と、を有する。

[0011] (反応炉)

反応炉10内には、図1に示すように、上下方向に軸を有する筒状に形成された反応管12と、反応管12の下部に気密部材12Aを挟んで連結され、上下方向に軸を有する筒状に形成された炉口フランジ14と、を含む処理容器20が形成されている。処理容器20には、ガス供給装置80が接続して設けられている。

[0012] また、反応炉10には、反応管12の内部に、反応管12と同芯に内管16が支持されている。また、反応管12の外周には、反応管12の軸と同芯、かつ、反応管12の外周と間隔を有してヒータ18が設けられている。ヒータ18は、主制御部70からの信号を得て発熱し、反応管12を加熱する機能を有する。反応管12と、炉口フランジ14と、内管16と、ヒータ18と、処理容器20により反応炉10が構成されている。処理容器20の内部には、基板30が配置される。

[0013] (予備室)

予備室 22 は、図 1 に示すように、炉口フランジ 14 の下部に気密に連通された搬送筐体 24 を有する。搬送筐体 24 の内部には、上側に基板 30 を載置し、基板 30 を処理容器 20 に搬送して挿入するボート 26 が、上下方向に移動可能に設けられている。また、搬送筐体 24 の下部に、第 1 ガス導入ライン 40 と同様の構成を有する第 2 ガス導入ライン 44 が連通されている。処理容器 20 に導入するガスは、第 2 ガス導入ライン 44 から導入されてもよい。また、搬送筐体 24 の下部、かつ、ボート 26 の下方に、搬送筐体 24 を気密に閉塞する炉口蓋 28 が設けられている。

[0014] (ガス導入ライン)

第 1 ガス導入ライン 40 は、図 1 に示すように、ガス供給装置 80 と、ガス供給装置 80 と炉口フランジ 14 とを連通するガス導入管 40A と、ガス導入管 40A の、ガス供給装置 80 と炉口フランジ 14 との間に設けられた流量制御器 42 と、を有する。ガス供給装置 80 は、流量制御器 42 を介して、レシピに従って制御された流量のガスを処理容器 20 に供給する。流量制御器 42 は、主制御部 70 からの信号によって、内部に設けられた図示しない弁を開閉してガスの導入量を制御する機能を有する。また、第 2 ガス導入ライン 44 は、ガス供給装置 80 と搬送筐体 24 の下部とを連通する点を除いて、第 1 ガス導入ライン 40 と同様の構成を有し、第 1 ガス導入ライン 40 の予備として設けられている。

[0015] (排気路)

排気路 50 は、図 1 に示すように、メイン排気ラインである第 1 排気ライン 52 と、バイパス排気ラインである第 2 排気ライン 54 とを有する。排気路 50 は、処理容器 20 と排気装置 60 との間に接続され、途中で第 1 の排気ライン 52 と第 2 の排気ライン 54 とに分岐する。すなわち、第 1 排気ライン 52 と第 2 排気ライン 54 とは、互いに並列に設けられている。第 1 排気ライン 52 と第 2 排気ライン 54 とによって、処理容器 20 は、ポンプ等の排気装置 60 に接続されている。本開示では、排気装置 60 が基板処理装置 100 に含まれてもよい。

[0016] 第1排気ライン52は、処理容器20からガスを排出する第1配管としての大口径の配管52Aと、配管52Aに設けられた第1バルブ58A及びゲート弁56と、配管52Aに設けられ、処理容器20の圧力を検出する圧力検出部62と、を少なくとも備えている。

[0017] 第2排気ライン54は、配管52Aに接続され、配管52Aの口径をDとしたとき、口径が $D \times (0.5 \sim 0.9)$ の第2配管としての配管54Aと、配管54Aに設けられた第2バルブ58Bと、を少なくとも備えている。

[0018] (第1排気ライン)

第1排気ライン52には、図1に示すように、処理容器20から排気装置60までを連通する配管52Aと、処理容器20と排気装置60との間に第1バルブ58A及びゲート弁56と、が設けられている。ゲート弁56は、主制御部70と電氣的に接続されている。ゲート弁56の開閉動作は、圧力検出部62と電氣的に接続された主制御部70からの信号に基づいて行われる。

[0019] また、第1バルブ58Aは、第1制御器72Aと電氣的に接続されている。第1バルブ58Aでは、圧力検出部62と電氣的に接続された第1制御器72Aからの信号に基づいて、開閉動作及び開度調整が行われる。第1排気ライン52は、第1バルブ58A及びゲート弁56が開状態のとき、排気装置60の吸引動作により、処理容器20のガスを排気するように構成されている。本実施形態では、配管52Aの口径は、一例として200mm(200φ)である。

[0020] (第2排気ライン)

第2排気ライン54は、図1に示すように、配管52Aにおいて、処理容器20とゲート弁56との間で略直角に分岐する分岐部54Bと、ゲート弁56と排気装置60との間で合流する合流部54Cとの間を連通する配管54Aと、配管54Aの、分岐部54Bと合流部54Cとの間に設けられた第2バルブ58Bと、を有する。

[0021] 第2バルブ58Bは、第2制御器72Bと電氣的に接続されている。第2

バルブ 5 8 B では、圧力検出部 6 2 と電氣的に接続された主制御部 7 0 からの処理容器 2 0 の圧力情報を受信した第 2 制御器 7 2 B からの信号に基づいて、開閉動作及び開度調整が行われる。

[0022] 第 2 排気ライン 5 4 は、ゲート弁 5 6 が閉状態のとき、排気装置 6 0 の吸引動作により、処理容器 2 0 のガスを排気するように構成されている。配管 5 4 A の口径は、4 0 mm 以上 1 8 0 mm 以下であり、好ましくは、8 0 mm 以上 1 4 0 mm 以下であり、特に、8 0 mm 以上 1 0 0 mm 以下（8 0 φ 以上 1 0 0 φ 以下）が好ましく、本実施形態では、一例として 1 0 0 mm（1 0 0 φ）としている。

[0023] 第 2 排気ライン 5 4 は、第 1 排気ライン 5 2 より配管 5 4 A の径が小さければ、1 8 0 mm より大きくてもよい。また、配管 5 4 A の口径が 1 4 0 mm より大きくなると、後述する大気圧からの排気の際に第 2 バルブ 5 8 B の調整にも拘らずパーティクルの発生が懸念される。一方、配管 5 4 A が小さすぎると排気ラインの排気能力の影響により、プロセスへの影響が生じる。例えば、配管 5 4 A の口径が 4 0 mm 以下になると、排気能力がプロセスへ影響する可能性が懸念される。

[0024] （第 1 バルブ、第 2 バルブ）

第 1 バルブ 5 8 A 及び第 2 バルブ 5 8 B は、いずれも、例えば APC バルブである。本実施形態では、第 1 バルブ 5 8 A はバタフライ弁として、第 2 バルブ 5 8 B はポペット弁として、それぞれ構成されている。なお、本開示では、第 1 バルブ 5 8 A 及び第 2 バルブ 5 8 B の構成は、これに限定されず、適宜変更できる。

[0025] 第 1 バルブ 5 8 A は、第 1 排気ライン 5 2 に設けられている。第 1 バルブ 5 8 A の開度は、連続的に調整可能である。また、第 1 排気ライン 5 2 では、開閉バルブであるゲート弁 5 6 が、第 1 バルブ 5 8 A に直列に設けられている。また、第 2 バルブ 5 8 B は、第 2 排気ライン 5 4 に設けられている。第 2 バルブ 5 8 B の開度は、連続的に調整可能である。また、第 1 排気ライン 5 2 の処理容器 2 0 と反対側の端部となる流末部は排気装置 6 0 の吸引側に

接続されている。排気装置60は、排気路50に含まれてもよい。

[0026] 第1バルブ58Aは、第2バルブ58Bの最大コンダクタンスより大きな最大コンダクタンスを有する。最大コンダクタンスは、全開時のバルブのコンダクタンスを意味する。第1バルブ58A及び第2バルブ58Bは、基板を処理するために時刻ごとに設定された処理容器20内の圧力設定値に応じて選択される。すなわち、圧力設定値は、将来の複数の時刻ごとに目標値として設定されている。換言すると、本実施形態では、将来の圧力設定値は、時間的に変化する。

[0027] 排気路50は、第1バルブ58Aを制御する第1制御器72A、第2バルブ58Bを制御する第2制御器72B、及び主制御部70によって制御されるように構成されている。主制御部、第1制御器及び第2制御器は、本実施形態の圧力制御装置を構成する。

[0028] (圧力検出部)

圧力検出部62は、図1に示すように、配管52Aの分岐部54Bに対応する位置より処理容器20側に配置された複数本の配管62Aによって互いに連通されて設けられている。圧力検出部62は、主制御部70と電気的に接続され、処理容器20の圧力情報を送信する機能を有する。圧力検出部62によって検出された圧力が、処理容器20内の圧力として設定される。

[0029] 図2に示すように、圧力検出部62は、大気圧センサ64と、第1真空センサ68と、第2真空センサ66とで構成されている。第1真空センサ68、第2真空センサ66及び大気圧センサ64は、処理容器20と反対側である分岐部54Bに近い側から、処理容器20側である分岐部54Bから遠い側に向かって、この順に、配管52Aに接続されたそれぞれの配管62Aに設けられている。大気圧センサ64、第1真空センサ68、第2真空センサ66は、それぞれ圧力センサの一例である。

[0030] (大気圧センサ)

大気圧センサ64は、図2に示すように、処理容器20に最も近い位置の配管52Aに接続された配管62Aに設けられ、大気圧に近い領域の圧力を

検知する機能を有する。

[0031] (第1真空センサ)

第1真空センサ68は、図2に示すように、配管62Aに設けられ、大気圧に近い領域の圧力から所定の真空領域の圧力($10^{-1} \sim 10^5 \text{ Pa}$)までを検知する広域圧力センサとしての機能を有する。ここでは、大気圧から、約 $1.333 \times 10^3 \text{ Pa}$ (約10 torr)までの範囲の圧力を検知するよう構成されている。

[0032] (第2真空センサ)

第2真空センサ66は、図2に示すように、配管62Aに設けられ、また、第2真空センサ66には、所定の圧力にまで減圧されると開となる弁66Aが設けられている。第2真空センサ66は、高真空領域の圧力を検知する圧力センサとしての機能を有する。本実施形態では、約 $1.333 \times 10^3 \text{ Pa}$ (約10 torr)で弁66Aが開となり、圧力を検知するよう構成されている。

[0033] (主制御部)

図3に示すように、基板処理装置100は、各部の動作を制御する主制御部70を有する。制御手段である主制御部70は、CPU(Central Processing Unit)70A、RAM(Random Access Memory)70B、記憶装置70C、I/Oポート70Dを備えたコンピュータとして構成されている。主制御部70は、基板処理プログラムの一つであるプロセスレシピを実行して、半導体装置を製造する一つの工程である基板処理工程の制御を行うことができる。

[0034] RAM70B、記憶装置70C、I/Oポート70Dは、内部バス70Eを介して、CPU70Aとデータ交換可能に構成されている。主制御部70には、例えばタッチパネル等として構成された入出力装置411や、外部記憶装置412が接続可能に構成されている。更に、上位装置75にネットワークを介して接続される受信部413が設けられている。受信部413は、上位装置75から他の装置の情報を受信することが可能である。

- [0035] 記憶装置 70C は、例えばフラッシュメモリ、HDD (Hard Disk Drive) 等で構成されている。記憶装置 70C 内には、基板処理装置 100 の動作を制御する制御プログラムや、後述する基板処理の手順や条件などが記載されたプロセスレシピや、補正レシピ等が読み出し可能に格納されている。なお、プロセスレシピや、補正レシピは、基板処理モードで実施される基板処理工程や、特性確認工程における各手順を主制御部 70 に実行させ、所定の結果を得ることが出来るように組み合わせられたものであり、プログラムとして機能する。
- [0036] なお、本明細書においてプログラムという言葉を用いた場合は、プロセスレシピや、補正レシピのみを含む場合、制御プログラム単体のみを含む場合、又は、その両方を含む場合がある。また、RAM 70B は、CPU 70A によって読み出されたプログラムやデータ等が一時的に保持されるメモリ領域（ワークエリア）として構成されている。
- [0037] I/Oポート 70D は、排気装置、流量制御器、バルブ、ヒータ、圧力検出部、ガス供給装置及び調整バルブ（APCバルブ）等のそれぞれに接続されている。
- [0038] 主制御部 70 は、基板処理装置 100 が備える、真空排気装置の起動及び停止、バルブの開閉動作、ヒータの温度調整、圧力検出部の動作制御、及び APCバルブの流量調整等を行う。具体的には、本実施形態では、主制御部は、第1バルブ 58A の開度と第2バルブ 58B の開度とを、全開ではない、零（ゼロ）より大きな値に維持しながら調整する。主制御部は、バルブの開度の調整によって、圧力センサが検出する圧力検出値を将来の圧力設定値に近づけることが可能に構成されている。
- [0039] 以後、バルブを全閉、閉塞もしくは閉止するという記載がある場合、これらの記載は、全開状態のバルブの開度に対して、バルブの開度が、零（ゼロ）又は 0% であることと同意義である。また、バルブを開放するという記載がある場合、この記載は、バルブの開度が全開状態、すなわち、開度が 100% であることと同意義である。

[0040] 主制御部 70 は、専用のコンピュータとして構成されている場合に限らず、汎用のコンピュータとして構成されてもよい。例えば、上記のプログラムを格納した外部記憶装置（例えば、USBメモリやメモリカード等の半導体メモリ等）412 を用意する。そして、用意された外部記憶装置 412 を用いて汎用のコンピュータにプログラムをインストールすること等により、本実施形態に係る主制御部 70 を構成することができる。

[0041] また、コンピュータにプログラムを供給するための手段は、外部記憶装置 412 を介して供給する場合に限らない。例えば、インターネットや専用回線等の通信手段を用いて、外部記憶装置 412 を介さずにプログラムを供給するようにしてもよい。なお、記憶装置 70C や外部記憶装置 412 は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体として構成される。以下、これらを総称して、単に記録媒体ともいう。また、本明細書において、「記録媒体」という言葉は、記憶装置 70C 単体のみを含む場合、外部記憶装置 412 単体のみを含む場合、又は、その両方を含む場合において用いられる。

[0042] （第 1 制御器、第 2 制御器）

第 1 制御器 72A 及び第 2 制御器 72B は、いずれも、例えば APC コントローラである。第 1 制御器 72A は、第 1 排気ライン 52 の配管 52A において、第 1 バルブに接続して設けられている。

[0043] 第 1 制御器 72A は、圧力検出値と圧力設定値とに基づいて第 1 バルブ 58A のコンダクタンスを自動調整可能に構成されている。第 2 制御器 72B は、圧力検出値と圧力設定値とに基づいて第 2 及のバルブのコンダクタンスを自動調整可能に構成されている。第 2 制御器 72B は、第 2 排気ライン 54 の配管 54A において、第 2 バルブに接続して設けられている。

[0044] 圧力制御装置は、ガス供給装置 80 による将来のガス流量と、将来の圧力設定値との組み合わせ条件に応じて、第 1 バルブ 58A 及び第 2 バルブ 58B の内の 1 つのバルブを選択する。具体的には、図 4 に示すように、処理容器 20 に供給されるガス流量と、処理容器 20 内の圧力とに基づいて作成された単調増加曲線が用いられる。

- [0045] 図4中には、ガス流量（体積流量）を横軸、処理室内の圧力を縦軸とする座標系でそれぞれ規定される、第1の単調増加曲線L1、第2の単調増加曲線L2、及び第3の単調増加曲線L3が例示されている。第1の単調増加曲線L1、第2の単調増加曲線L2、及び第3の単調増加曲線L3は、基板処理装置100の排気特性に基づいて定められている。
- [0046] 第1の単調増加曲線L1は、基板処理装置100において、第1バルブ58Aが「全閉」状態に固定されると共に、第2バルブ58Bが「全開」状態に固定される場合に、ガス流量を変化させて圧力を検出する実験結果から得られたデータ点の軌跡である。
- [0047] 第2の単調増加曲線L2は、基板処理装置100において、第1バルブ58Aの開度が、全閉の零ではないが、零より僅かに大きな最小値であると共に、第2バルブ58Bが「全開」状態である場合に、ガス流量を変化させて圧力を検出する実験結果から得られたデータ点の軌跡である。
- [0048] 第3の単調増加曲線L3は、基板処理装置100において、第1バルブ58Aがほぼ「全開」状態であると共に、第2バルブ58Bが「全開」状態である場合に、ガス流量を変化させて圧力を検出する実験結果から得られたデータ点の軌跡である。
- [0049] 図4中で、縦軸と第1の単調増加曲線L1との間には高圧制御領域A1が形成されている。高圧制御領域A1では、第1バルブ58Aが「全閉」である状態において、第2バルブ58Bの開度を、全閉ではない零以上の最小値と全開までの間で調整することによって、目標とする圧力設定値を実現するようにガス流量を変化させることが可能である。
- [0050] 図4中で、第2の単調増加曲線L2と第3の単調増加曲線L3の間には、低圧制御領域A2が形成されている。低圧制御領域A2では、第2バルブ58Bが「全開」である状態において、第1バルブ58Aの開度を、全閉ではない零以上の最小値と全開までの間で調整することによって、目標とする圧力設定値を実現するようにガス流量を変化させることが可能である。
- [0051] 本実施形態では、単調増加曲線を用いて、圧力制御装置の主制御部70に

与えられる、圧力制御のためのレシピが作成されている。レシピには、基板処理を構成する各工程が記述されている。

[0052] 本実施形態では、主制御部 70 は、与えられたレシピに基づき、第 1 制御器 72 A 及び第 2 制御器 72 B の内、選択されたバルブに対応する制御器を介して、選択されたバルブの開度を零より大きな値に維持して調整することが可能に構成されている。選択されたバルブの開度が調整されることによって処理容器 20 内の圧力が制御される。

[0053] また、本実施形態では、主制御部 70 は、レシピに基づき、選択されなかった他のバルブの開度を、第 1 制御器 72 A 及び第 2 制御器 72 B の内、選択されなかったバルブに対応する制御器に、選択されなかったバルブを全閉とすることを強制する。本実施形態では、「バルブを全閉とする」とは、バルブのコンダクタンスを、零に向かって減少させる状態、及び、零に維持したままの状態の内少なくとも一方の状態が含まれる状態であることを意味する。すなわち、本開示の圧力制御では、選択されなかった他方のバルブの開度が、一定の状態に設定されている。

[0054] また、レシピには、任意の第 1 時刻において選択する 1 つのバルブを、第 1 時刻よりも将来の第 2 時刻の圧力設定値に応じて予め決定する指定が含まれている。与えられたレシピに基づいて、主制御部 70 は、基板を処理する間、圧力制御のための 1 つのバルブを予め選択する。

[0055] また、レシピには、基板処理に含まれる工程毎に、第 1 バルブ 58 A 及び第 2 バルブ 58 B のそれぞれに対して、特定の開度の実行、特定の圧力設定値による自動制御の実行、及び、特定の圧力変化レートによる自動制御の実行の内いずれか 1 つを実行する指定が含まれている。

[0056] 特定の開度は、全閉、全開、並びに、全閉及び全開以外の任意の開度の内のいずれか 1 つを含んでいる。また、特定の圧力設定値による自動制御の実行、及び、特定の圧力変化レートによる自動制御の実行は、1 つの工程に対して 1 つのバルブのみに指定される。

[0057] 圧力制御装置は、現時点より後に到来する時点における将来の圧力設定値

が所定の第1圧力以下である場合、第1バルブ58Aを選択する。また、圧力制御装置は、将来の圧力設定値が所定の第1圧力以上の場合、第2バルブ58Bを選択する。また、圧力制御装置は、将来の圧力設定値が第1圧力より高い第2圧力以上の場合、将来の圧力設定値に対応する時刻において、排気装置60が減力運転すること、すなわち、排気されるガス流量を低下することを許容する。

[0058] <基板処理方法>

次に、基板を処理する例について説明する。本実施形態では、半導体デバイスの製造工程の一例として、ソースとしての原料ガスである第1ガスと、リアクタントとしての反応ガスである第2ガスとを、交互に処理容器20に供給する成膜処理を説明する。

[0059] 原料ガスとしては、例えば、Si及びハロゲン含有ガスを用いることができる。ハロゲンには、塩素(Cl)、フッ素(F)、臭素(Br)、ヨウ素(I)等が含まれる。Si及びハロゲン含有ガスは、ハロゲンを、Siとハロゲンとの化学結合の形で含むことが好ましい。Si及びハロゲン含有ガスは、更に、Cを含んでもよく、その場合、CをSi-C結合の形で含むことが好ましい。Si及びハロゲン含有ガスとしては、例えば、Si、Cl及びアルキレン基を含み、Si-C結合を有するシラン系ガス、すなわち、アルキレンクロロシラン系ガスを用いることができる。ここで、アルキレン基には、メチレン基、エチレン基、プロピレン基、ブチレン基等が含まれる。また、Si及びハロゲン含有ガスとしては、例えば、Si、Cl及びアルキル基を含み、Si-C結合を有するシラン系ガス、すなわち、アルキルクロロシラン系ガスを用いることができる。アルキレンクロロシラン系ガスやアルキルクロロシラン系ガスは、ClをSi-Cl結合の形で含み、CをSi-C結合の形で含むことが好ましい。

[0060] Si及びハロゲン含有ガスとしては、例えば、ビス(トリクロロシリル)メタン((SiCl₃)₂CH₂、略称:BTC₂SM)ガス、1,2-ビス(トリクロロシリル)エタン((SiCl₃)₂C₂H₄、略称:BTC₂SE)ガス

等のアルキレンクロロシラン系ガスや、1, 1, 2, 2-テトラクロロ-1, 2-ジメチルジシラン ($(\text{CH}_3)_2\text{Si}_2\text{Cl}_4$ 、略称: TCDMDS) ガス、1, 2-ジクロロ-1, 1, 2, 2-テトラメチルジシラン ($(\text{CH}_3)_4\text{Si}_2\text{Cl}_2$ 、略称: DCTMDS) ガス等のアルキルクロロシラン系ガスや、1, 1, 3, 3-テトラクロロ-1, 3-ジシラシクロブタン ($\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_4\text{Si}_2$ 、略称: TCDSCB) ガス等のSiとCとで構成される環状構造及びハロゲンを含むガス等を用いることができる。また、Si及びハロゲン含有ガスとしては、テトラクロロシラン (SiCl_4 、略称: STC) ガス、ヘキサクロロジシラン (Si_2Cl_6 、略称: HCDS) ガス、オクタクロロトリシラン (Si_3Cl_8 、略称: OCTS) ガス等の無機クロロシラン系ガスを用いることもできる。

[0061] また、原料ガスとしては、Si及びハロゲン含有ガスの代わりに、テトラキス(ジメチルアミノ)シラン ($\text{Si}[\text{N}(\text{CH}_3)_2]_4$ 、略称: 4DMAS) ガス、トリス(ジメチルアミノ)シラン ($\text{Si}[\text{N}(\text{CH}_3)_2]_3\text{H}$ 、略称: 3DMAS) ガス、ビス(ジエチルアミノ)シラン ($\text{Si}[\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2]_2\text{H}_2$ 、略称: BDEAS) ガス、ビス(ターシャリーブチルアミノ)シラン ($\text{SiH}_2[\text{NH}(\text{C}_4\text{H}_9)]_2$ 、略称: BTBAS) ガス、(ジイソプロピルアミノ)シラン ($\text{SiH}_3[\text{N}(\text{C}_3\text{H}_7)_2]$ 、略称: DIPAS) ガス等のアミノシラン系ガスを用いることもできる。

[0062] 反応ガスとしては、例えば、Si非含有ガス、酸化ガス、 H_2 等の還元ガスを採用できる。酸化膜系の膜を形成する場合は、OおよびH含有ガスを用いることができる。OおよびH含有ガスとしては、例えば、水蒸気 (H_2O ガス)、過酸化水素 (H_2O_2) ガス等のO-H結合を含むO含有ガスを用いることができる。また、OおよびH含有ガスとしては、水素 (H_2) ガス+酸素 (O_2) ガス、 H_2 ガス+オゾン (O_3) ガス等のO-H結合非含有のO含有ガスを用いることもできる。本明細書において「 H_2 ガス+ O_2 ガス」というような2つのガスの併記記載は、 H_2 ガスと O_2 ガスとの混合ガスを意味している。混合ガスを供給する場合は、2つのガスを供給管内で混合(すなわち、プ

リミックス)した後、処理室201内へ供給するようにしてもよいし、2つのガスを異なる供給管より別々に処理室201内へ供給し、処理室201内で混合(すなわち、ポストミックス)させるようにしてもよい。

[0063] なお、反応ガスとしては、窒化膜系の膜を形成する場合は、NおよびH含有ガスを用いることができる。NおよびH含有ガスとしては、例えば、アンモニア(NH_3)ガス、ヒドラジン(N_2H_4)ガス、ジアゼン(N_2H_2)ガス、 N_3H_8 ガス等のN-H結合を含むNおよびH含有ガスを用いることができる。なお、窒化膜系の膜を形成する場合は、上記の酸化剤、酸化、酸化反応を、それぞれ、窒化剤、窒化、窒化反応に置き換えて考えればよい。

[0064] 本実施形態では、ソースの一例としてのジシラン等のSi原料ガスと、リアクタントの一例としての窒素含有ガスとを用いて、基板30上で、シリコン膜(Si_3N_4 膜、以下、SiN膜とも称する。)が形成される。

[0065] 成膜処理は、処理容器20の基板30に対して原料ガスの第1ガスを供給する工程と、処理容器20の基板30に対して反応ガスの第2ガスを供給する工程と、を含む。第1ガスを供給する工程と、第2ガスを供給する工程とを、非同時に行うサイクルが、1回以上、所定回数、サイクル処理として実施される。サイクル処理によって、基板30上にSiN膜が形成される。

[0066] また、本実施形態では、サイクル処理の間で、処理容器20の基板30に対してクリーニングガスが供給される。クリーニングガスとしては、例えばHF、NO等を採用できる。クリーニングガスは、本開示の第3ガスに相当する。なお、本実施形態では、第3ガスがHF、NO等のクリーニングガスである場合が例示されているが、本開示では、これに限定されず、第3ガスは、例えば NH_3 等の窒化ガス等、適宜変更できる。

[0067] 以下、本実施形態に係る基板処理方法を図5を参照して具体的に説明する。なお、図5中のそれぞれのステップ中に示された「→」は、左側に示された直前の処理と同じ処理が実施されることを意味する。また、図5中の第1ガス～第3ガスの処理における「O」は、ガスを流さない処理を意味すると共に、「X」は、ガスを流す処理を意味する。また、図5中の第1バルブ、

ゲート弁及び第2バルブの処理における「F. C.」は、バルブが全閉であることを意味すると共に、「F. O.」は、バルブが全開であることを意味する。

[0068] まず、図5中のスタンバイ状態の位置で示すように、予め、処理容器20内の圧力を大気圧（約 $1.023 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，約760 torr，1気圧）に設定する。スタンバイ状態では、第1ガス、第2ガス及び第3ガスは、いずれも供給されていない。また、第1バルブ、ゲート弁及び第2バルブは、いずれも全閉である。

[0069] 次に、図5中のステップS1において、基板30をボート26に装填すると共に、ボート26を処理容器20に搬入する。次に、図5中のステップS2において、第2バルブを開いて、処理容器20内の圧力を低下させる。また、処理容器20内の温度も所定の温度に調整される。なお、ステップS2の処理に費やされる時間は、他のステップで費やされる処理時間の約5倍、費やされる。

[0070] 次に、図5中のステップS3において、ゲート弁を開く。ステップS3では、処理容器20内の圧力が、第1圧力以下の低圧領域に到達する。本実施形態では、第1圧力は、約 $1.333 \times 10^3 \text{ Pa}$ （約10 torr）に設定されている。次に、図5中のステップS4において、第1バルブを全開にする。ステップS2～ステップS4の一連の処理によって、処理容器20の真空引きが行われる。

[0071] （第1ガス導入工程）

次に、図5中のステップS5において、第1ガスを処理容器20内に導入する。ここで、本実施形態では、第1レシピが圧力制御装置に与えられている。主制御部は、第1レシピによって、図4中の単調増加曲線を用いて作成された低圧制御領域A2での圧力制御パターンに基づき、開度調整用のバルブとして第1バルブを、第1制御器を介して選択する。

[0072] 具体的には、圧力制御装置は、ステップS5及びステップS6における将来の圧力設定値が第1圧力以下であるため、第2バルブを選択する。第1レ

レシピは、ステップS 5 及びステップS 6 において、第1バルブ5 8 Aの開度を将来の圧力設定値に近づくように自動制御すると共に、第2バルブの開度を全閉とする指定を含んでいる。なお、本開示では、第1レシピによる第1バルブに対する指定の内容は、これに限定されず、特定の開度、及び、特定の圧力変化レートによる自動制御であってもよい。

[0073] また、第1レシピによって、主制御部は、選択されなかった第2バルブを全閉にすることを第2制御器に強制する。また、第1レシピには、ステップS 5 及びステップS 6 内の途中で、圧力制御装置が、圧力制御のために選択された第1バルブを、第2バルブに変更しないように、記述されている。

[0074] 第1レシピによって、ガス供給装置8 0から第1ガスが処理容器2 0に導入されると共に、選択された第1バルブの開度を調整することによって、第1ガス導入中の処理容器2 0内の圧力制御を行う。なお、第1ガスの導入の際、キャリアガスとしてのN₂ガス等を第1ガスと混合して導入してもよい。

[0075] また、本実施形態の第1レシピには、圧力制御装置の主制御部に、ステップS 5 の開始時刻において選択する1つのバルブを、ステップS 5 の開始時刻よりも将来のステップS 7 の開始時刻の圧力設定値に応じて予め決定する指定が含まれている。このため、ステップS 5 及び後続のステップS 6 において基板を処理する間、ステップS 7 における圧力制御のための1つのバルブが、ステップS 7 の開始に先立って予め選択される。

[0076] (第2ガス導入工程)

次に、図5中のステップS 6 において、ガス供給装置8 0からの第1ガスの処理容器2 0への導入を停止する。排気装置6 0により、処理容器2 0を真空排気し、残留している原料ガスの第1ガスを処理容器2 0内から排除する。なお、不活性ガス、例えばキャリアガスとして使ったN₂ガスを処理容器2 0に供給することによって、残留原料ガスを排除する効果を更に高めてもよい。

[0077] また、第2バルブが全閉状態のまま、ガス供給装置8 0から反応ガスの第2ガスを処理容器2 0に導入する。なお、第2ガスの導入の際、キャリアガ

スとしての N_2 ガス等を第2ガスと混合して導入してもよい。第2ガスを処理容器20に導入しつつ、排気装置60により、第1排気ライン52から排気する。反応ガスの供給により、基板30の下地膜上のSiを含む膜と窒素含有ガスとが反応して、基板30上にSiN膜が形成される。また、処理容器20内の圧力は、第1バルブで制御されることによって上昇する。

[0078] (クリーニング工程)

SiN膜の形成後、図5中のステップS7において、排気装置60により処理容器20内を真空排気し、成膜に寄与した後に残留する反応ガスの第2ガスを処理容器20内から排除する。なお、ステップS6の場合と同様に、 N_2 ガスを処理容器20に供給することによって、残留原料ガスを排除する効果を更に高めてもよい。

[0079] 次に、本実施形態では、処理容器20内の圧力が第2圧力以上の状態において、クリーニング処理が行われる。第2圧力は、約13332Pa(100torr)である。

[0080] ここで、本実施形態では、第2レシピが圧力制御装置に与えられている。主制御部は、第2レシピによって、図4中の単調増加曲線を用いて作成された高圧制御領域A1での圧力制御パターンに基づき、開度調整用のバルブとして第2バルブを、第2制御器を介して選択する。

[0081] 具体的には、圧力制御装置は、ステップS7における将来の圧力設定値が、ステップS5及びステップS6における圧力設定値であった第1圧力以上であるため、第2バルブを選択する。更に、圧力制御装置は、将来の圧力設定値が、第1圧力より高い第2圧力以上であるため、将来の圧力設定値に対応する時刻において、排気装置が減力運転することを許容する。

[0082] また、第2レシピは、ステップS7及びステップS8において、第1バルブ58Aの開度を全閉とすると共に、第2バルブの開度を将来の圧力設定値に近づくように自動制御する指定を含んでいる。なお、本開示では、第2レシピによる第2バルブに対する指定の内容は、これに限定されず、特定の開度、及び、特定の圧力変化レートによる自動制御であってもよい。また、主

制御部は、選択されなかった第1バルブを全閉にすることを第1制御器に強制する。

[0083] また、第2レシピには、ステップS7及びステップS8内の途中で、圧力制御装置が、圧力制御のために選択された第2バルブを第1バルブに変更しないように、記述されている。

[0084] 第2レシピによって、ガス供給装置80から第3ガスが処理容器20に導入されると共に、選択された第2バルブの開度を調整することによって、第3ガス導入中の処理容器20内の圧力制御を行う。第2バルブの開度は、全閉ではない零以上の値と、全開状態との間で、時間的に変化する圧力設定値を追従するように、複数回繰り返し調整される。

[0085] また、第2レシピには、圧力制御装置の主制御部には、ステップS7の開始時刻において選択する1つのバルブを、ステップS7の開始時刻よりも将来のステップS9の開始時刻の圧力設定値に応じて予め決定する指定が含まれている。第2レシピに基づき、ステップS7及びステップS8において基板を処理する間、ステップS9における圧力制御のための1つのバルブが、ステップS9の開始に先立って予め選択される。

[0086] 次に、図5中のステップS8において、ステップS4の場合と同様に、処理容器20の真空引きを行う。次に、図5中のステップS9において、ステップS5の場合と同様に、原料ガスである第1ガスの導入処理を行う。図示を省略するが、ステップS9に続くステップでは、ステップS6の場合と同様に反応ガスである第2ガスの導入処理を行う。

[0087] すなわち、ステップS5の工程及びステップS6の工程を1サイクルとし、1サイクルが1回以上、反復して実行されることにより、基板30上に所定の膜厚のSiN膜を形成することができる。なお、本開示では、ステップS5の工程及びステップS6の工程からなる1サイクルの中に、ステップS7のクリーニング工程が適宜組み合わせられてもよいし、ステップS5～ステップS7の一連の工程が、複数回サイクリックに実行されてもよい。

[0088] 成膜処理が完了した後、処理容器20内の圧力を大気圧に復帰させる。具

体的には、ガス供給装置 80 から、例えば N_2 ガス等の不活性ガスを処理容器 20 内へ供給して排気する。排気により、処理容器 20 内が不活性ガスでパージされ、処理容器 20 内に残留するガス等が、処理容器 20 内から除去される。

[0089] そして、処理容器 20 内の雰囲気 gas が不活性ガスに置換され、処理容器 20 内の圧力が大気圧に復帰される。そして、処理容器 20 から基板 30 を搬出すれば、本実施形態に係る基板処理が終了する。搬出された基板に対して所定の処理を施すことによって、半導体装置を製造できる。

[0090] (作用効果)

本実施形態に係る基板処理装置 100 では、基板 30 を処理するために時刻ごとに設定された処理容器 20 内の圧力設定値に応じて第 1 バルブ 58 A 及び第 2 バルブ 58 B の内の一方のバルブが選択される。そして、選択されなかった他方のバルブの開度が、一定の状態に設定されると共に、選択された一方のバルブの開度が、零より大きな値に維持されつつ変化させることによって、調整が行われる。調整によって、圧力検出部 62 が検出する圧力検出値を圧力設定値に近づけることが可能になる。

[0091] このため、圧力制御中、第 1 バルブ 58 A と第 2 バルブ 58 B とが、制御動作と無関係に切り替わる状態が発生することを抑制できる。結果、第 1 バルブ 58 A と第 2 バルブ 58 B との切り替わりに起因する圧力制御の中断を防止できる。

[0092] また、本実施形態では、第 1 バルブ 58 A はバタフライ弁として、第 2 バルブ 58 B はポペット弁として構成されている。また、基板処理装置 100 は、第 1 バルブ 58 A に直列に設けられるゲート弁 56 を備える。また、圧力制御装置の主制御部 70 は、第 1 バルブ 58 A が選択されたステップ S5 の工程を開始する前に、ゲート弁 56 を開けるように制御する。このため、第 1 バルブ 58 A 及びゲート弁 56 を経由して、第 1 ガスを処理容器 20 内に円滑に導入できる。

[0093] また、本実施形態では、ステップ S5 で選択された第 1 バルブ 58 A の開

度は、ステップS 7の開始時刻が到来するまでの間、継続して調整されている。すなわち、低圧制御領域A 2で用いられる第1バルブ5 8 Aの開度の調整を、後で到来する将来の高圧制御領域A 1における圧力設定値に対応する時刻が到来するまでの間、行うことが可能である。このため、低圧制御領域A 2における圧力制御の精度をより高めることができる。

[0094] また、ステップS 7で選択された第2バルブ5 8 Bの開度は、ステップS 9の開始時刻が到来するまでの間、継続して調整されている。すなわち、高圧制御領域A 1で用いられる第2バルブ5 8 Bの開度の調整を、後で到来する将来の低圧制御領域A 2における圧力設定値に対応する時刻が到来するまでの間、行うことが可能である。このため、高圧制御領域A 1における圧力制御の精度をより高めることができる。

[0095] なお、本実施形態では、選択されたバルブの開度の調整が行われる期間は、将来の圧力設定値に対応する時刻が到来するまでの間のみとして例示的に説明されたが、本開示では、これに限定されない。本開示では、圧力検出部6 2が検出する実際の圧力が将来の圧力設定値となるまでの間でのみ、調整が行われてもよい。或いは、将来の圧力設定値に対応する時刻が到来するまでの間、及び、圧力検出部6 2が検出する実際の圧力が将来の圧力設定値となるまでの間の両方の間、調整が行われてもよい。

[0096] また、本実施形態では、ステップS 5の開始時刻である第1時刻において選択する1つのバルブを、第1時刻よりも将来のステップS 7の開始時刻である第2時刻の圧力設定値に応じて予め決定する第1のレシピが、圧力制御装置の主制御部7 0に与えられている。また、ステップS 5及びステップS 6において基板3 0を処理する間、与えられたレシピに基づいて、圧力制御のための1つのバルブが予め選択される。このため、第2時刻が到来した際、開度調整用のバルブを円滑に選択することが可能になるので、ステップS 7における圧力制御動作の遅れを防止することができる。

[0097] また、ステップS 7の開始時刻である第2時刻において選択する1つのバルブを、第2時刻よりも将来のステップS 9の開始時刻である第3時刻の圧

力設定値に応じて予め決定する第2のレシピが、圧力制御装置の主制御部70に与えられている。また、ステップS7及びステップS8において基板30を処理する間、与えられたレシピに基づいて、圧力制御のための1つのバルブが予め選択される。このため、第3時刻が到来した際、開度調整用のバルブを円滑に選択することが可能になるので、ステップS9における圧力制御動作の遅れを防止することができる。

[0098] なお、本実施形態では、ステップS5の開始時刻が第1時刻と、ステップS7の開始時刻が第2時刻と、ステップS9の開始時刻が第3時刻と、それぞれ設定された場合が例示的に説明されたが、本開示では、これに限定されない。本開示では、起点とされる第1時刻は、任意の時刻において設定可能である。すなわち、ステップS7の開始時刻、又は、ステップS9の開始時刻であっても「第1時刻」として設定可能である。

[0099] また、本実施形態では、ステップS5又はステップS7において、第1制御器72A及び第2制御器72Bの内、選択されなかった他のバルブに対応する一方に、他のバルブを全閉状態に設定することが強制される。ここで、本実施形態では、圧力制御に用いられる第1の単調増加曲線L1及び第2の単調増加曲線L2は、2つのバルブの内的一方が全閉である状態、すなわち、一方のバルブのコンダクタンスが零である状態で設定されている。このため、選択されなかった他のバルブを全閉とすることによって、第1の単調増加曲線L1及び第2の単調増加曲線L2に基づく圧力制御を、より正確に行うことができる。

[0100] また、本実施形態では、基板処理に含まれる工程毎に、第1バルブ58A及び第2バルブ58Bに対して、特定の開度の実行、特定の圧力設定値による自動制御の実行、及び、特定の圧力変化レートによる自動制御の実行のいずれか1つを実行する指定が、レシピに含まれている。このため、例えば、第1バルブ58A及び第2バルブ58Bに対して、特定の開度のみを指定するような圧力制御に比べ、より精度よく圧力を制御できる。

[0101] また、本実施形態では、第1バルブ58Aは、第2バルブ58Bの最大コ

ンダクタンスよりも大きな最大コンダクタンスを有している。また、圧力制御装置は、ステップS 5において、将来の圧力設定値が第1 圧力よりも低い場合に第1 バルブ5 8 Aを選択する。このため、第1 圧力よりも低い圧力設定値に対する圧力制御において有利である。

[0102] また、本実施形態では、圧力制御装置は、ステップS 7において、将来の圧力設定値が第1 圧力以上の場合に第2 バルブ5 8 Bを選択する。このため、第1 圧力以上の圧力設定値に対する圧力制御において有利である。また、圧力制御装置は、第1 圧力より高い第2 圧力以上の場合に、将来の圧力設定値に対応する時刻において排気装置が減力運転することを許容する。このため、制御の都度、圧力や排気速度において最も適している制御性に優れたバルブによって、圧力制御を行うことが可能になる。結果、目標とする圧力設定値に対する実際の圧力の応答性を高めることができる。

[0103] また、本実施形態では、圧力制御装置の主制御部7 0は、レシピとして記述された基板処理の各工程に対して、対応する1 つのバルブを一度選択すると、選択された1 つのバルブに対応する工程内では別のバルブに変更しないと、このため、それぞれのレシピが対応する工程において、開度調整用のバルブを頻繁に切り替える作業に伴う負担を低下できると共に、装置の損耗を防止できる。

[0104] また、本実施形態では、圧力制御装置の主制御部7 0は、ガス供給装置によるガス流量と圧力設定値との組み合わせを用いた条件である、第1 の単調増加曲線L 1 及び第2 の単調増加曲線L 2 に応じて、一方のバルブを選択する。このため、ガス流量と将来の圧力設定値との組み合わせを用いない場合と比べ、より精度よく圧力を制御できる。

[0105] また、本実施形態では、第1 の単調増加曲線L 1 は、第1 バルブ5 8 Aを全閉の零より僅かに大きな最小値、及び、第2 バルブ5 8 Bを全開に固定したときの排気特性に基づいて定められる。また、第2 の単調増加曲線L 2 は、第1 バルブ5 8 Aを全閉、第2 バルブ5 8 Bを全開に固定したときの排気特性に基づいて定められる。そして、図4 のグラフ中で、ガス流量と圧力設

定値との組み合わせの座標が、第2の単調増加曲線L2より下側に位置するときに、第1バルブ58Aが、開度調整用のバルブとして選択される。

[0106] 第2の単調増加曲線L2より下側の低圧制御領域A2では、第2バルブ58Bより最大コンダクタンスが大きな第1バルブ58Aの開度を調整することによって、目標とする圧力設定値を実現可能である。このため、ガス流量と圧力設定値との組み合わせの座標が、第2の単調増加曲線L2より下側に位置する場合に、圧力を精度よく制御できる。

[0107] また、基板処理装置100において説明した圧力制御を行う圧力制御装置を、基板処理装置100とは別の本実施形態に係る圧力制御装置として実現することもできる。本実施形態に係る圧力制御装置によれば、基板処理装置100の場合と同様に、第1バルブ58Aと第2バルブ58Bとの切り替わりに起因する圧力制御の中断を防止できる。

[0108] また、基板処理装置100において説明した圧力制御を行う、本実施形態に係る基板処理プログラムを作製することもできる。本実施形態に係る基板処理プログラムによれば、基板処理装置100と同様に、第1バルブ58Aと第2バルブ58Bとの切り替わりに起因する圧力制御の中断を防止できる。

[0109] また、基板処理装置100を用いた基板処理方法を含む、本実施形態に係る半導体装置の製造方法を構成することもできる。本実施形態に係る半導体装置の製造方法によれば、第1バルブ58Aと第2バルブ58Bとの切り替わりに起因する圧力制御の中断を防止できるので、半導体装置を、品質を高めて製造できる。

[0110] <本開示の他の態様>

本開示は上記の開示した実施形態の態様によって説明したが、この開示の一部をなす論述及び図面は、本開示を限定するものであると理解すべきではない。本開示は上記の態様に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

[0111] (第1変形例)

なお、本実施形態では、ガス流量と圧力設定値との組み合わせの座標の位置が、第1の単調増加曲線L1より上側の高圧制御領域A1であるか、第2の単調増加曲線L2より下側の低圧制御領域A2であるかによって、選択されるバルブが一義的に決定される場合が例示的に説明されていた。しかし、本開示では、これに限定されない。

[0112] 例えば、本開示では、現在から所定時間内に含まれる将来の工程、又は、所定時間に少なくとも一部が含まれる工程において、ガス流量と圧力設定値の組み合わせの座標が、第2の単調増加曲線L2の下側に位置する場合の割合と、第1の単調増加曲線L1の上側に位置する場合の割合とに応じて、1つのバルブを選択するように構成されてもよい。

[0113] 具体的には、ガス流量と圧力設定値の組み合わせの座標が、第2の単調増加曲線L2の下側に位置する場合の割合と、第1の単調増加曲線L1の上側に位置する場合の割合とをそれぞれ算出する。そして、算出された割合が大きい方の領域に対して設定されている、圧力制御のための1つのバルブが、開度調整用のバルブとして選択され得る。すなわち、単調増加曲線にのみ基づくと、第1バルブ58Aと第2バルブ58Bとを比較的頻繁に切り替える作業が生じる場合であっても、割合が用いられることによって、選択された一方のバルブのみが、特定の工程内で、圧力制御のために使用され続ける。

[0114] 例えば、本実施形態では、ガス流量と圧力設定値の組み合わせの座標が、第2の単調増加曲線L2の下側の低圧制御領域A2に位置する場合には、第2バルブ58Bが全開であると共に、第1バルブ58Aの開度を変化させることによって、圧力が制御されていた。下側の低圧制御領域A2では、現時点の圧力から目標とされる圧力設定値に変化させるために、ガス流量を比較的大きく変化させることが求められる場合がある。このため、例えば、第1バルブ58Aの仕様によっては、圧力設定値を実現できない懸念が生じる。

[0115] 一方、本実施形態では、ガス流量と圧力設定値の組み合わせの座標が、第1の単調増加曲線L1の上側の高圧制御領域A1に位置する場合、処理容器20に供給するガス流量を変化させる範囲は、低圧制御領域A2の場合より

小さくすることが可能である。しかし、圧力設定値が時間的に変化することに伴って、2つのバルブを頻繁に切り替える作業が発生すると、作業に伴う負担が大きくなると共に、装置の損耗が懸念される。

[0116] このため、本開示では、一定時間、開度調整用を選択されるバルブを2つのバルブの内的一方に固定することによって圧力低下が生じたとしても、生じた圧力低下が処理プロセス上での許容範囲内である限り、一旦選択されたバルブのみを使用し続けることができる。開度調整用のバルブを固定することによって、バルブを頻繁に切り替える作業に伴う負担を低下できると共に、装置の損耗を防止できる。

[0117] (第2変形例)

更に、本開示では、ガス流量と圧力設定値の組み合わせの座標が第1の単調増加曲線L1の上側に位置する場合の割合は、座標が第2の単調増加曲線L2の下側に位置する場合の割合は、小さく重みづけされてもよい。重みづけによって、座標が第1の単調増加曲線L1の上側に位置する場合の割合が、第2の単調増加曲線L2の下側に位置する場合の割合より低くなると、第2バルブ58Bではなく、第1バルブ58Aが選択される。

[0118] 座標が第1の単調増加曲線L1の上側に位置する場合の割合が小さく重みづけされることによって、バルブを頻繁に切り替える作業に伴う負担を低下できると共に、装置の損耗を防止できる。座標が第1の単調増加曲線L1の上側に位置する場合の割合が小さく重みづけされる方法は、第2バルブ58Bによる圧力制御の優先度が低い場合において、有利である。第2バルブ58Bによる圧力制御の優先度が低い場合としては、例えば、第1バルブ58Aによる開度調整のみによって、目標とされる圧力設定値の範囲の全体を実現することが可能である場合が考えられる。

[0119] (第3変形例)

また、本開示では、組み合わせの座標の位置の割合は、図4のグラフ中における座標の位置と、第1の単調増加曲線L1又は第2の単調増加曲線L2との距離によって重みづけされてもよい。ここで、「距離」とは、組み合わ

せの座標の位置に最も近接する第 1 の単調増加曲線 L 1 又は第 2 の単調増加曲線 L 2 と、座標との間における長さを意味する。

[0120] 具体的には、例えば、ある座標の位置と第 1 の単調増加曲線 L 1 との距離が、座標の位置と第 2 の単調増加曲線 L 2 との距離より短い場合、第 2 の単調増加曲線 L 2 の下側の低圧制御領域 A 2 に対応する第 1 バルブ 5 8 A の選択の優先度が大きくなる。すなわち、第 2 バルブ 5 8 B の選択の優先度が小さくなるように、座標が第 1 の単調増加曲線 L 1 の上側に位置する場合の割合は、小さく重みづけされる。重みづけの結果、バルブを頻繁に切り替える作業に伴う負担を低下できると共に、装置の損耗を防止できる。

[0121] (第 4 変形例)

また、本開示では、圧力制御装置の主制御部 7 0 は、現在から所定時間内に含まれる工程、又は、所定時間内に少なくとも一部が含まれる工程において、ガス流量と圧力設定値との組み合わせの座標が第 1 の単調増加曲線 L 1 よりも上側に位置する状態が存在する状態の時間の総和が、所定の時間以下であるときに第 1 バルブ 5 8 A を選択するように構成されてもよい。座標が第 1 の単調増加曲線 L 1 よりも上側に位置する状態が存在する状態の時間の総和を用いることによって、第 2 バルブ 5 8 B による圧力制御の優先度が低い場合に、バルブを頻繁に切り替える作業に伴う負担を低下できると共に、装置の損耗を防止できる。

[0122] (第 5 変形例)

また、例えば、本実施形態では、ステップ S 5 及びステップ S 6 において、第 1 バルブ 5 8 A を用いて、第 1 ガス及び第 2 ガスの両方を同じ流量で流すことで、第 1 ガス及び第 2 ガスを基板に曝露させた。そして、圧力検出値を目標値に近づけるように制御する基板処理の工程が例示的に説明された。しかし、本開示では、第 1 ガス及び第 2 ガスの両方を同じ流量で流す基板処理の工程に限定されず、本開示は、他の各種の態様又は工程に適用できる。

[0123] 例えば、ある他の態様においては、レシピは、第 1 ガスを第 1 流量で流して、圧力検出値を第 1 目標値に近づけるように制御する第 1 曝露工程と、第

2 ガスを第2流量で流して、圧力検出値を第1目標値より高い第2目標値に近づけるように制御する第2曝露工程と、を含んでもよい。また、レシピによって、圧力制御装置は、第1曝露工程では第1バルブ58Aを選択し、第2曝露工程では第2バルブ58Bを選択してもよい。

[0124] ある他の態様では、レシピによって、圧力制御装置が、第1曝露工程では第1バルブ58Aを選択し、第2曝露工程では第2バルブ58Bを選択することによって、本実施形態と同様に、圧力制御中に生じる複数のバルブの切り替わりに起因する圧力制御の中断を防止できる。

[0125] また、別の他の態様においては、第1曝露工程では、第1ガスとして成膜ガスを用い、第2曝露工程では、第2ガスとしてクリーニングガスを用いることもできる。

[0126] 別の他の態様によれば、成膜ガスとクリーニングガスとの2種類のガスが用いられる場合において、圧力制御中に生じる複数のバルブの切り替わりに起因する圧力制御の中断を防止できる。

[0127] 上記のある他の態様及び別の他の態様のそれぞれにおいて基板処理装置100を用いる場合、本実施形態に係る態様の場合と同様の処理手順及び処理条件等を用いて、それぞれの処理を実行することができる。また、ある他の態様及び別の他の態様のそれぞれにおいて、本実施形態に係る態様の場合と同様の効果を得ることができる。

[0128] また、上記の開示した複数の実施形態、変形例及び態様に含まれる構成を部分的に組み合わせて本開示を構成してもよい。組み合わせによって構成された本開示において、実行される処理手順及び処理条件等は、例えば、本実施形態に係る態様において説明された処理手順及び処理条件と同様に構成できる。本開示は、上記に記載していない様々な実施形態等を含むと共に、本開示の技術的範囲は、上記の説明から妥当な特許請求の範囲の発明特定事項によってのみ定められるものである。

[0129] <付記>

本開示からは、以下の態様が概念化される。

[0130] 態様 1 は、

内部において基板を処理する処理容器と、
前記処理容器と排気装置との間に接続され、途中で第 1 の排気ラインと第 2 の排気ラインとに分岐する排気路と、
第 1 の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第 1 バルブと、
第 2 の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第 2 バルブと、
前記処理容器内の圧力を検出する圧力検出部と、
前記圧力検出部が検出する圧力検出値を前記基板を処理するために時刻ごとに設定された前記処理容器内の圧力設定値に近づけるように、前記圧力設定値に応じて前記第 1 バルブ及び前記第 2 バルブの内の一方のバルブを選択し、前記第 1 バルブ及び前記第 2 バルブの内で選択されなかった他方のバルブの開度を一定の状態に設定すると共に、選択された一方のバルブの開度を零より大きな値に維持して調整することが可能に構成された圧力制御装置と、
、
を備える基板処理装置。

[0131] 態様 2 は、

前記圧力制御装置には、基板の処理手順を含むプログラムとしてのレシピが与えられると共に、前記圧力制御装置は、前記レシピに基づいて基板の処理を実行するコンピュータを備え、
前記圧力制御装置には、任意の第 1 時刻において選択する前記一方のバルブを、前記第 1 時刻よりも後に到来する第 2 時刻の前記圧力設定値に応じて予め決定する前記レシピが与えられ、
基板を処理する間、前記レシピに基づいて前記一方のバルブが選択される
、
態様 1 に記載の基板処理装置。

[0132] 態様 3 は、

前記レシピに従って制御された流量の第 1 ガスと第 2 ガスとを前記処理容器に供給するガス供給装置を更に備え、

前記レシピは、前記第 1 ガスを第 1 流量で流して、前記圧力検出値を第 1 目標値に近づけるように制御する第 1 曝露工程と、前記第 2 ガスを第 2 流量で流して、前記圧力検出値を前記第 1 目標値より高い第 2 目標値に近づけるように制御する第 2 曝露工程と、を含み、

前記圧力制御装置は、第 1 曝露工程では前記第 1 バルブを選択し、第 2 曝露工程では前記第 2 バルブを選択することが可能に構成される、

態様 2 に記載の基板処理装置。

[0133] 態様 4 は、

第 1 曝露工程では、前記第 1 ガスとして成膜ガスを用い、第 2 曝露工程では、前記第 2 ガスとしてクリーニングガスを用いる、

態様 3 に記載の基板処理装置。

[0134] また、本明細書に記載されたすべての文献、特許出願及び技術規格は、個々の文献、特許出願及び技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 内部において基板を処理する処理容器と、
 前記処理容器と排気装置との間に接続され、途中で第1の排気ラインと第2の排気ラインとに分岐する排気路と、
 第1の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第1バルブと、第2の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第2バルブと、
 前記処理容器内の圧力を検出する圧力検出部と、
 前記圧力検出部が検出する圧力検出値を前記基板を処理するために時刻ごとに設定された前記処理容器内の圧力設定値に近づけるように、前記圧力設定値に応じて前記第1バルブ及び前記第2バルブの内の一方のバルブを選択し、前記第1バルブ及び前記第2バルブの内で選択されなかった他方のバルブの開度を一定の状態に設定すると共に、選択された一方のバルブの開度を零より大きな値に維持して調整することが可能に構成された圧力制御装置と、
 を備える基板処理装置。
- [請求項2] 前記圧力制御装置は、基板の処理中、現在の時刻から特定の時刻が到来するまでの間、及び、前記圧力検出部が検出する圧力検出値が前記特定の時刻の前記圧力設定値となるまでの間の内の少なくとも一方の間、選択された前記一方のバルブの開度を零より大きな値に維持して調整することが可能に構成される、
 請求項1に記載の基板処理装置。
- [請求項3] 前記圧力制御装置には、基板の処理手順を含むプログラムとしてのレシピが与えられると共に、前記圧力制御装置は、前記レシピに基づいて基板の処理を実行するコンピュータを備え、
 前記圧力制御装置には、任意の第1時刻において選択する前記一方のバルブを、前記第1時刻よりも後に到来する第2時刻の前記圧力設定値に応じて予め決定する前記レシピが与えられ、

基板を処理する間、前記レシピに基づいて前記一方のバルブが選択される、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項4]

前記圧力制御装置は、基板の処理中、現在の時刻から特定の時刻が到来するまでの間、及び、前記圧力検出部が検出する圧力検出値が前記特定の時刻の前記圧力設定値となるまでの間の内の少なくとも一方の間、前記第 1 バルブ及び前記第 2 バルブの内で選択されなかった他方のバルブのコンダクタンスを、零に向かって減少させる状態、又は、零に維持したままの状態に設定して、前記調整を行うことが可能に構成される、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項5]

前記圧力制御装置は、前記圧力検出値と前記圧力設定値とに基づいて前記第 1 バルブのコンダクタンスを自動調整可能に構成された第 1 制御器と、前記圧力検出値と前記圧力設定値とに基づいて前記第 2 バルブのコンダクタンスを自動調整可能に構成された第 2 制御器と、を有し、

前記第 1 制御器及び前記第 2 制御器の内、選択されなかった前記他方のバルブに対応する制御器に前記他方のバルブを全閉とする、

請求項 4 に記載の基板処理装置。

[請求項6]

前記レシピは、基板処理に含まれる工程毎に、前記第 1 バルブ及び前記第 2 バルブのそれぞれに対して、特定の開度の実行、特定の前記圧力設定値による自動制御の実行、及び、特定の圧力変化レートによる自動制御の実行の内のいずれか 1 つを実行する指定を含み、

前記特定の開度は、全閉、全開、並びに、全閉及び全開以外の任意の開度の内のいずれか 1 つを含み、

前記特定の前記圧力設定値による自動制御の実行、及び、前記特定の圧力変化レートによる自動制御の実行は、1 つの工程に対して、前記第 1 バルブ及び前記第 2 バルブの内の 1 つのバルブのみに指定され

る、

請求項 3 に記載の基板処理装置。

[請求項7] 前記処理容器は、制御された流量のガスを供給するガス供給装置を更に備え、

前記圧力制御装置は、前記ガス供給装置によるガス流量と前記圧力設定値との組み合わせを用いた条件に応じて、前記一方のバルブを選択する、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項8] 前記第 1 バルブは、前記第 2 バルブの最大コンダクタンスよりも大きなコンダクタンスを有し、

前記圧力制御装置は、前記圧力設定値が所定の第 1 圧力よりも低い場合に前記第 1 バルブを選択する、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項9] 前記第 1 バルブは、前記第 2 バルブの最大コンダクタンスよりも大きなコンダクタンスを有し、

前記圧力制御装置は、前記圧力設定値が所定の第 1 圧力以上の場合に前記第 2 バルブを選択し、前記圧力設定値が第 1 圧力より高い第 2 圧力以上の場合に、前記圧力設定値に対応する時刻において前記排気装置が減力運転することを許容する、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項10] 前記第 1 バルブは、前記第 2 バルブの最大コンダクタンスよりも大きなコンダクタンスを有し、

前記圧力制御装置は、ガス流量を横軸、圧力を縦軸とする座標系で規定される所定の単調増加曲線に対して、ガス流量と前記圧力設定値との組み合わせの座標が、前記単調増加曲線より下側に位置するときに、前記第 1 バルブを選択する、

請求項 7 に記載の基板処理装置。

[請求項11] 前記単調増加曲線は、前記第 1 バルブを全閉、前記第 2 バルブを全

開に固定したときの排気特性に基づいて定められる、

請求項 10 に記載の基板処理装置。

[請求項12] 前記圧力制御装置は、現在から所定時間内に含まれる工程、又は、前記所定時間内に少なくとも一部が含まれる工程において、ガス流量と前記圧力設定値の組み合わせの座標が所定の単調増加曲線の下側に位置する場合の割合と、前記座標が前記単調増加曲線の上側に位置する場合の割合とに応じて、前記一方のバルブを選択する、

請求項 7 に記載の基板処理装置。

[請求項13] 前記圧力制御装置には、基板の処理手順を含むプログラムとしてのレシピが与えられると共に、前記圧力制御装置は、前記レシピに基づいて基板の処理を実行するコンピュータを備え、

前記圧力制御装置は、前記レシピとして記述された基板処理の各工程に対して、対応する 1 つのバルブを一度選択すると、選択された 1 つのバルブを対応する工程内では別のバルブに変更しない、

請求項 1 に記載の基板処理装置。

[請求項14] 前記座標が前記単調増加曲線の上側に位置する場合の割合は、前記座標が前記単調増加曲線の下側に位置する場合の割合よりも小さく重みづけされる、

請求項 12 に記載の基板処理装置。

[請求項15] 前記割合は、前記座標と前記単調増加曲線との距離によって重みづけされる、

請求項 12 に記載の基板処理装置。

[請求項16] 前記圧力制御装置は、現在から所定時間内に含まれる工程、又は、前記所定時間内に少なくとも一部が含まれる工程において、ガス流量と前記圧力設定値との組み合わせの前記座標が前記単調増加曲線よりも上側に位置する場合の時間が、所定の時間以下であるときに前記第 1 バルブを選択する、

請求項 12 に記載の基板処理装置。

- [請求項17] 前記第2の排気ラインは、前記第1の排気ラインの途中で略直角に分岐し、
- 前記第1バルブはバタフライ弁として構成され、
- 前記第2バルブはポペット弁として構成され、
- 前記第1バルブに直列に設けられるゲート弁を更に備え、
- 前記圧力制御装置は、前記第1バルブが選択された工程を開始する前に、前記ゲート弁を開けるように制御する、
- 請求項1に記載の基板処理装置。
- [請求項18] 内部において基板を処理する処理容器と、
- 前記処理容器と排気装置との間に接続され、途中で第1の排気ラインと第2の排気ラインとに分岐する排気路と、
- 第1の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第1バルブと、第2の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第2バルブと、
- 前記処理容器内の圧力を検出する圧力検出部と、
- を備える基板処理装置において、
- 前記圧力検出部が検出する圧力検出値を前記基板を処理するために時刻ごとに設定された前記処理容器内の圧力設定値に近づけるように、前記圧力設定値に応じて前記第1バルブ及び前記第2バルブの内の一方のバルブを選択する工程と、
- 前記第1バルブ及び前記第2バルブの内で選択されなかった他方のバルブの開度を一定の状態に設定すると共に、選択された一方のバルブの開度を零より大きな値に維持して調整する工程と、
- を含む半導体装置の製造方法。
- [請求項19] 内部において基板を処理する処理容器と、
- 前記処理容器と排気装置との間に接続され、途中で第1の排気ラインと第2の排気ラインとに分岐する排気路と、
- 第1の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第1バル

ブと、第2の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第2バルブと、

前記処理容器内の圧力を検出する圧力検出部と、
を備える基板処理装置に設けられ、

前記圧力検出部が検出する圧力検出値を前記基板を処理するために時刻ごとに設定された前記処理容器内の圧力設定値に近づけるように、前記圧力設定値に応じて前記第1バルブ及び前記第2バルブの内の一方のバルブを選択し、前記第1バルブ及び前記第2バルブの内で選択されなかった他方のバルブの開度を一定の状態に設定すると共に、選択された一方のバルブの開度を零より大きな値に維持して調整することが可能に構成された主制御部、

を備える圧力制御装置。

[請求項20]

内部において基板を処理する処理容器と、

前記処理容器と排気装置との間に接続され、途中で第1の排気ラインと第2の排気ラインとに分岐する排気路と、

第1の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第1バルブと、第2の排気ラインに設けられ、開度を連続的に調整可能な第2バルブと、

前記処理容器内の圧力を検出する圧力検出部と、

を備える基板処理装置で実行される基板処理プログラムであって、

前記圧力検出部が検出する圧力検出値を前記基板を処理するために時刻ごとに設定された前記処理容器内の圧力設定値に近づけるように、前記圧力設定値に応じて前記第1バルブ及び前記第2バルブの内の一方のバルブを選択する手順と、

前記第1バルブ及び前記第2バルブの内で選択されなかった他方のバルブの開度を一定の状態に設定すると共に、選択された一方のバルブの開度を零より大きな値に維持して調整する手順と、

をコンピュータにより基板処理装置に実行させる基板処理プログラ

$\Delta_{\circ}$