

明 細 書

発明の名称：制御弁、基板処理装置及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本開示の技術は、制御弁、基板処理装置及び半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体装置製造における薄膜形成プロセスでは、2種類以上の成膜ガスを1種類ずつ基板上に交互に流し、基板上の原子と反応させて単層ずつ膜を堆積させることがある。このとき成膜中の反応室圧力は、成膜ガス供給イベント毎に異なり、それらの圧力調整は主に排気主弁のコンダクタンス調整機能（A P C（Auto Pressure Control））により調圧している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2003-183837号公報
特許文献2：特開2010-67788号公報
特許文献3：特開2009-259894号公報
特許文献4：特開平11-300193号公報
特許文献5：国際公開第2017/022366号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 昨今の成膜シーケンスにおいては、排気速度やガス置換効率を改善する等の目的で、高コンダクタンス排気系（以下、「200A排気系」と称する。）を具備する装置が増加している。

[0005] しかしながら、従来の200Aの調整弁では、微小な弁開度での調圧が難しい等、制御性が十分ではなかった

[0006] 本開示は、反応室からの大流量排気に対応し、制御性の良い制御弁の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

[0007] 本開示によれば、可動式のゲート弁プレートに有するゲート弁と、前記ゲート弁プレートに設けられ、前記ゲート弁プレートにより開閉される弁開口よりも小口径でかつ全閉可能なバタフライ弁と、を備え、前記ゲート弁の前記ゲート弁プレートと前記バタフライ弁とを、互いに独立して駆動可能に構成された制御弁を有する技術が提供される。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、反応室からの大流量排気に対応し、制御性の良い制御弁を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本開示の一実施形態に係る基板処理装置の全体構成を示す概略図である。

[図2]本開示の一実施形態に係る排気系を示す正面図である。

[図3]本開示の一実施形態に係る排気系を示すブロック図である。

[図4] (A) は、本開示の一実施形態に係る制御弁において、ゲート弁の閉状態を示す断面図である。(B) は、本開示の一実施形態に係る制御弁において、ゲート弁の開状態を示す断面図である。(C) は、本開示の一実施形態に係る制御弁において、ゲート弁の閉状態かつバタフライ弁の全開状態を示す断面図である。

[図5]本開示の一実施形態に係る制御弁の変形例を示す断面図である。排気系の動作における減圧状態を示すグラフである。

[図6]本開示の一実施形態に係る排気系の動作における開度指令算出部による開度の割り当ての例を示すグラフである。

[図7]本開示の一実施形態に係る排気系の動作における開度指令算出部による開度の割り当ての他の例を示すグラフである。

[図8]図7の例を更に高速開閉に適するように変更した例を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本実施形態の一例を、図面を参照しつつ説明する。なお、各図面において同一又は等価な構成要素及び部分には同一の参照符号を付与している。また、図面の寸法比率は、説明の都合上誇張されており、実際の比率とは異なる場合がある。また、図面の上方方向を上方又は上部、下方方向を下方又は下部として説明する。また、本実施形態において記載する圧力は、すべて気圧を意味する。

[0011] <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、半導体装置の一例としての基板30を処理する処理室20を有する反応炉10と、基板30を保持するボート26を格納する予備室22と、処理室20にガスを導入するガス導入ライン40と、処理室20のガスを排出する排気系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。

[0012] 〔反応炉〕

反応炉10内には、図1に示すように、反応管12と、炉口フランジ14と、を含む処理室20が形成されている。反応管12は、上下方向に軸を有する筒状に形成されている。炉口フランジ14は、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ている。また、反応炉10において、反応管12の内部には、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、後述する主制御部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。このように、反応炉10は、反応管12と、炉口フランジ14と、内管16と、ヒータ18と、処理室20と、を有している。また、処理室20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、搬送筐体24によって構成されている。搬送筐体24は、炉口フランジ14の下部に連通されている。搬送筐体2

4の内部には、基板30を載置して、基板30を処理室20に搬送して挿入するポート26が格納される。炉口蓋28は、上下方向に移動可能に設けられ、上端に達したときに搬送筐体24を気密に閉塞する。ポート26は、炉口蓋28の上に載置され、炉口蓋28の移動に合わせて、反応炉10内に導入される。また、搬送筐体24の下部には、後述するガス導入ライン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。これにより、予備室22内を、基板30に自然酸化膜等が形成されにくい雰囲気で満たすことができる

[0014] 〔ガス導入ライン〕

ガス導入ライン40は、図1に示すように、図示しないガス供給源と炉口フランジ14とを連通するガス導入管40Aと、ガス導入管の、ガス供給源と炉口フランジ14との間に設けられた流量制御器42と、を有する。流量制御器42は、後述する主制御部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、ガス供給部と搬送筐体24の下部とを連通する点を除いて、ガス導入ライン40と同様の構成を有する。なお、ここで用いられるガスは不活性ガスであり、具体的には窒素が用いられる。

[0015] 〔主制御部〕

主制御部70は、基板処理装置100の全体の動作を制御するコントローラであり、図示しないが、CPU、ROM、RAM、ストレージ、入力部、表示部、通信インターフェイス等を有し、それぞれがバスに接続されたコンピュータを内蔵している。通信インターフェイスは、後述する圧力センサ群62から圧力情報を取得し、弁制御器53に目標圧力値を伝達することができる。主制御部70では、入力部からの入力情報に基づいて、基板処理装置100における各種処理を行うための基板処理プログラムが実行される。例えば、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。このとき、主制御部70は、弁制御器53を通じて、排気系50のゲ

ート弁56及びバタフライ弁58の開閉を制御すると共に、バタフライ弁58の開度を調整し、処理室20の圧力を制御する。開度指令算出部72は、例えばAPCコントローラに相当する。

[0016] <要部の構成>

〔排気系〕

排気系50は、図1から図3に示すように、処理室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に設けられ処理室20の圧力を検出する圧力センサ群62と、配管52Aの途中に設けられた制御弁55と、を少なくとも備えた排気ライン52を有する。図1から図4に示すように、配管52Aは、処理室20から真空ポンプ60までを連通する大口径の配管であり、真空排気流路を構成する。本実施形態では、配管52Aの口径は、一例として200mm(200φ)である。つまり、配管52Aの呼び径は、例えば200Aである。排気ライン52の処理室20と反対側の端部となる流末部は、真空ポンプ60の吸引側に接続されている。排気ライン52は、制御弁55が開状態のとき、真空ポンプ60の吸引動作により、処理室20のガスを排気するように構成されている。真空ポンプ60は、10Pa程度の到達真空度を有し、常時運転され、排気ライン52の下流側を真空に維持する。なお、真空ポンプ60や弁制御器53を排気系50に含むようにしてもよい。

[0017] 〔制御弁〕

図4(A)～(C)に示すように、制御弁55は、ゲート弁56と、ゲート弁56の中に入れ子状に設けられたバタフライ弁58と、を備えている。ゲート弁56のゲート弁プレート57とバタフライ弁58とは、互いに独立して駆動可能に構成されている。ゲート弁56及びバタフライ弁58は、弁制御器53と電氣的に接続され、弁制御器53からの信号に基づいて開閉動作が行われる。この制御弁55は、真空排気流路としての排気ライン52のコンダクタンスを可変させ、その可変範囲においてコンダクタンスを実質的に0、つまり全閉として、真空排気流路を遮断することができる。

[0018] ゲート弁56は、バルブハウジング76と、可動式のゲート弁プレート57と、駆動部材の一例としてのロッド78と、ゲート弁アクチュエータ80と、ゲート弁シールリング82と、を有している。バルブハウジング76は、流路方向に対向配置される2つの弁開口76A、76Bと、ゲート弁座76Cとを備え、2つの弁開口76A、76Bの間に被制御流体の流路を直線的に形成する部材である。被制御流体は、例えば処理室20での基板処理や処理室20内のパージに使用されるガスである。弁開口76A、76Bは例えば、流路の中心に同心かつ互いに反対向きに設けられたフランジ付きの円形開口であり、フランジは200Aの呼び径の配管52Aに接続可能に形成される。また、弁開口76A、76Bは、例えば200Aの呼び径の配管52Aの内径に対応する内径を有している。バルブハウジング76は、流路に直交する方向において、ゲート弁プレート57が閉状態（図4（A））の位置と全開状態の退避位置（図4（B））との間で移動可能となるように、その大きさが設定されている。バルブハウジング76の端部は、蓋部材77により閉塞されている。バルブハウジング76内に形成される流路は、例えば200Aの呼び径の配管52Aの断面積と等しいかそれ以上の面積を維持している。

[0019] ゲート弁プレート（弁体）57は、流路の外へ退避すると共に例えば弁開口76Aを開放する開放位置と、流路内に突出すると共にゲート弁座76Cに接触し例えば弁開口76Aをシールする閉塞位置との間を直進移動する部材である。ゲート弁プレート57は、弁開口76Aよりも大きく形成され、閉塞位置において、弁開口76Aを閉塞する。

[0020] ロッド78は、ゲート弁プレート57に1本以上配設され、ゲート弁プレート57と共にゲート弁プレート57の移動方向に移動又は伸縮可能とされている。本実施形態では、ロッド78は移動方向と平行に蓋部材77を貫通して伸びている。貫通部は、後述する直動フィードスルー94でシールされる。またロッド78は、ゲート弁プレート57に掛かる流路方向の荷重の一部又は全部を受け止め、直動フィードスルー94 或いはゲート弁アクチュエー

タ 80 まで伝達する必要がある場合がある。その場合、ロッド 78 は必要とされる強度と剛性（断面 2 次モーメント）を有する。なお、駆動部材はロッド 78 に限られず、ゲート弁プレート 57 を移動させてゲート弁 56 を開閉可能とするものであればよい。したがって、駆動部材は、例えばアームやボールねじ（図示せず）であってもよい。

[0021] ゲート弁アクチュエータ 80 は、ロッド 78 をゲート弁プレート 57 の移動方向に駆動する駆動源である。ゲート弁アクチュエータ 80 は、蓋部材 77 に固定され、ロッド 78 に対してその移動方向にのみ変位を許容し、それ以外方向（例えば流路方向）の荷重に耐える必要がある場合がある。ゲート弁アクチュエータ 80 として、例えばシリンダ装置やラック・アンド・ピニオン、リニアモータが用いられる。

[0022] ゲート弁シールリング 82 は、ゲート弁座 76 C 又はゲート弁プレート 57 におけるゲート弁座 76 C との対向面に配置され、弾力性を有する、例えばエラストマー製の O リングである。ゲート弁座 76 C は、例えばゲート弁プレート 57 の上流側、つまり弁開口 76 A 側に設けられている。図示の例では、ゲート弁シールリング 82 は、ゲート弁プレート 57 の上流側の面に装着され、ゲート弁 56 の開閉時にゲート弁プレート 57 と共に移動するようになっている。例えば、ゲート弁シールリング 82 は、ゲート弁プレート 57 の上流側の面に形成された環状の溝（図示せず）に嵌めこまれる。

[0023] このようにして、ゲート弁 56 は弁開口 76 A, 76 B の間に 1 気圧以上の圧力差がある状態で、それらの間を十分低いリーク量で遮断することができる。なおゲート弁 56 が遮断（シール）状態となるには、ゲート弁プレートをゲート弁座 76 C に押し当てるための所定のシールアクションを必要とする場合がある。また、許容される圧力差は、全閉又は遮断の維持状態の他に、シールアクション、押し当てを解除するアンシールアクション、任意の開度におけるゲート弁プレート 57 の駆動のそれぞれに対して、異なる値に規定されうる。なお、例えば下流側の方が高圧になる心配がないか、下流側からの逆流リークに対して寛容な用途では、ゲート弁座 76 C が、ゲート弁

プレート57の下流側に設けられていてもよい。この場合、ゲート弁シールリング82は、このゲート弁座76C又はゲート弁プレート57における該ゲート弁座76Cとの対向面、つまり下流側の面に設けられる。

[0024] なおゲート弁56は、ゲート弁座76Cと、ゲート弁プレート57におけるゲート弁座76Cとの対向面とは、ゲート弁プレート57の移動方向に対してそれぞれ平行に形成されるものに限定されない。図5に示す例のように、ゲート弁座76Cと、ゲート弁プレート57におけるゲート弁座76Cとの対向面とが、ゲート弁プレート57の移動方向に対して傾斜しかつ互いに平行に配置されていてもよい。この場合、ゲート弁55を閉状態にしたときにくさび効果が生じ、ゲート弁プレート57とゲート弁座76Cとの気密性が向上する。さらにゲート弁プレート57の下流側（弁開口76B側）も同様に構成してもよい。また、ゲート弁座76が、ゲート弁プレート57の移動方向において、ゲート弁プレート57と対面するように独特の形状に形成されたシングルアクション式のゲート弁が用いられてもよい。一般的にゲート弁は、シールリング82の潰し量を直接的に制御できない構造のため、同口径の他の種類の弁と比較して、微小開度（流量）の制御精度が低い。また大きな圧力の掛かった弁体をスライドさせるために大きな駆動力を必要とし、駆動速度が遅く、応答性が悪い。

[0025] バタフライ弁58は、ゲート弁プレート57に設けられ、ゲート弁プレート57により開閉される弁開口76Aよりも小口径でかつ全閉可能に構成されたAPC弁である。このバタフライ弁58は、バタフライ弁室86と、バタフライ弁プレート59と、シャフト88と、バタフライ弁アクチュエータ90と、を有している。

[0026] バタフライ弁室86は、ゲート弁プレート57の両面の間を貫通して2つの弁開口76A、76Bを連通させるように形成され、バタフライ弁座86Aを有している。一例として、バタフライ弁室86はゲート弁プレート57に形成された円筒状の貫通孔である。

[0027] バタフライ弁座86Aは、バタフライ弁室86の内周面に設けられている

。バタフライ弁座 86A における開口は、例えば 100A の呼び径の配管（図示せず）の流路断面積と同等かそれ以下の面積を有している。100A の配管の口径は、約 100mm（100φ）である。

[0028] バタフライ弁プレート 59 は、バタフライ弁座 86A に対応する形状を有し、ゲート弁プレート 57 の移動方向を軸としてその周りで回転可能に軸支されてバタフライ弁室 86 内に設けられる。具体的には、バタフライ弁プレート 59 は例えば円板状に形成され、その円の中心を通る軸を有するシャフト 88 が接続されている。シャフト 88 は、ゲート弁プレート 57 を貫通してゲート弁プレート 57 の移動方向に延び、シャフト 88 の軸の周りで回転可能とされている。このシャフト 88 の回転に伴い、バタフライ弁プレート 59 も回転し、これによってバタフライ弁 58 が開閉するようになっている。本実施形態のシャフト 88 は、ロッド 78 と同様、蓋部材 77 を貫通して延びる。

[0029] バルブハウジング 76 の流路方向において、2 つの弁開口 76A, 76B は、例えばバタフライ弁プレート 59 の大きさより広い間隔で互いに離間している。このバタフライ弁プレート 59 の大きさとは、バタフライ弁シールリング 92 を含む大きさであり、例えば直径である。これにより、バタフライ弁プレート 59 が全開を維持したまま、ゲート弁 56 を開くことが可能となっている。

[0030] バタフライ弁アクチュエータ 90 は、シャフト 88 を該シャフト 88 の軸の周りで回転駆動する駆動源であり、バタフライ弁 58 の任意の開度を実現するために、例えばパルスモータ又はサーボモータが用いられる。本例のバタフライ弁アクチュエータ 90 は、バルブハウジング 76 の外で、蓋部材 77 に固定して設けられる。

[0031] また、バタフライ弁 58 は、バタフライ弁シールリング 92 を有している。このバタフライ弁シールリング 92 は、バタフライ弁プレート 59 の外周に配置され、バタフライ弁座 86A に当接する弾力性を有する部材であり、例えば Oリングである。このバタフライ弁シールリング 92 によってバタフ

ライ弁座 86A をシール可能とされている。

[0032] このようにして、バタフライ弁 58 は、ゲート弁プレート 57 の両側の間に 1 気圧以上の圧力差がある状態で、十分に低いリーク量で、それらの間を遮断できる。また圧力差に関わらずに自由に駆動でき、その動作はゲート弁よりも高速である。すなわち、一般的にバタフライ弁は口径が大きいほどシール性が悪化する（リーク量が増える）傾向があるが、ゲート弁 56 よりも十分小さな口径のバタフライ弁 58 を選ぶことで、そのリーク量をゲート弁 56 と同程度かそれ以下とすることができる。またバタフライ弁プレート 59 の位置がバタフライ弁室 86 内で固定されシールリング 92 の潰し量が比較的安定しているので、微小開度における制御精度が高い。ただし、バタフライ弁 58 のみを開いて得られる制御弁 55 の開度は、高々 25 % 程度である。

[0033] 制御弁 55 は、開度を比較的大きくする（コンダクタンス又は被制御流体の流量が大きい）際にゲート弁 56 が開状態とされ、開度を比較的小さくする（コンダクタンス又は被制御流体の流量が小さい）際若しくは所定条件での圧力調整の際にゲート弁 58 が閉状態とされ、バタフライ弁 58 により流量調整若しくは調圧が行われる。ゲート弁 56 を全開にするときには、主制御部 70 は、バタフライ弁プレート 59 を所定未満の開度に制御する。

[0034] 制御弁 55 は、直動フィードスルー 94 と、直動回転フィードスルー 96 と、を更に備えている。直動フィードスルー 94 は、バルブハウジング 76 の内外を隔絶した状態で、ロッド 78 を、バルブハウジング 76 の外に設けられたゲート弁アクチュエータ 80 に接続することを可能にする。直動回転フィードスルー 96 は、バルブハウジング 76 の内外を隔絶した状態で、シャフト 88 を、バルブハウジング 76 の外に設けられたバタフライ弁アクチュエータ 90 に接続することを可能にする。直動フィードスルー 94 や直動回転フィードスルー 96 には、例えば周知のベローズ、Ｏリングシール、磁性流体シールが用いられうる。直動フィードスルー 94 と直動回転フィードスルー 96 は、その一方が他方に搭載されるピギーバックの様態で設けられ

うる。

[0035] 〔圧力センサ群〕

圧力センサ群62は、図1に示すように、ゲート弁56の取付け位置より処理室20側に配管62Aによって連通されて設けられている。圧力センサ群62は、主制御部70と電氣的に接続され、処理室20の圧力情報を送信する機能を有する。また、圧力センサ群62は、図2に示すように、後述する大気圧センサ64と、第1真空センサ66と、第2真空センサ68とで構成されている。大気圧センサ64、第1真空センサ66、第2真空センサ68は、処理室20に近い側から遠い側に順に設けられ、それぞれ配管62Aにより配管52Aに接続されている。ここで、大気圧センサ64、第1真空センサ66、第2真空センサ68は、それぞれ圧力センサの一例である。

[0036] （大気圧センサ）

大気圧センサ64は、図2に示すように、圧力センサ群62において処理室20に最も近い位置に設けられ、大気圧に近い領域の圧力を検知する機能を有する。

[0037] （第1真空センサ）

第1真空センサ66は、図2に示すように、大気圧センサ64と、後述する第2真空センサ68とに挟まれた位置に設けられ、大気圧に近い領域の圧力から高真空域（ $10^{-1} \sim 10^{-5} \text{ Pa}$ ）の圧力までを検知する広域圧力センサとしての機能を有する。また、第1真空センサ66と配管52Aとを接続する配管62Aには、大気圧センサ64と連通しつつ、配管52A内が高真空域の圧力に向けて減圧されると開となる弁66Aが設けられている。

[0038] （第2真空センサ）

第2真空センサ68は、図2に示すように、圧力センサ群62において処理室20から最も遠い位置に設けられ、高真空域の圧力を検知する圧力センサとしての機能を有する。

[0039] これら、大気圧センサ64、第1真空センサ66、第2真空センサ68は、それぞれ主制御部70及び弁制御器53と電氣的に接続される。

[0040] 図3に示すように、弁制御器53は、自動制御部71が、主制御部70から与えられた処理室20の目標圧力 P_T と、圧力センサ群62で測定された実圧力 P_R との入力を受けて、開度指令算出部72に目標開度を出力する。目標開度は、本実施形態例の制御弁55全体のコンダクタンスに相当し、目標圧力 P_T と実圧力 P_R の偏差が0になるように、フィードバック制御等の手法により常時更新される。なお圧力変化レートの上限が規定されている場合、当該レートを超える速さで変化する目標圧力が入力されたとしても、レート内に収まるよう目標圧力が内部的に修正される。開度指令算出部72は、入力された目標開度に応じて、ゲート弁56とバタフライ弁58に開度を割り当てて、開度指令としてゲート弁アクチュエータ80とバタフライ弁アクチュエータ90にそれぞれ出力する。開度指令は例えば、各弁の全開を100%としたときの相対的な開度として与えられ得る。

[0041] <要部の作用>

ここで、本実施形態の要部である制御弁55の作用、排気系50の作用、及び半導体装置の製造方法について説明する。

[0042] 〔制御弁の作用〕

図4(A)、(B)に示すように、本実施形態に係る制御弁55では、弁制御器53からの指令によるゲート弁アクチュエータ80の駆動により、ロッド78を軸方向に移動又は伸縮させ、該ロッド78に取り付けられたゲート弁プレート57をロッド78の軸方向に直進移動させることができる。これにより、ゲート弁56を開閉することができる。図4(A)はゲート弁56の閉状態を示している。閉状態においては、ゲート弁シールリング82がゲート弁座76Cに接触することで、弁開口76Aがシールされる。図4(B)はゲート弁56の開状態、具体的には全開状態を示している。ゲート弁プレート57が弁開口76Aから完全に退避することで、ゲート弁56が全開状態となる。

[0043] 図4(C)に示すように、主制御部70からの指令によるバタフライ弁アクチュエータ90の駆動により、シャフト88を回転させ、該シャフト88

に取り付けられたバタフライ弁プレート59をシャフト88の軸の周りで回転させることができる。バタフライ弁プレート59にはバタフライ弁シールリング92が取り付けられており、図4（A）、（B）に示すように、バタフライ弁58が閉状態とされたとき、バタフライ弁室86の内周に設けられたバタフライ弁座86Aの全周にバタフライ弁シールリング92が接触することで、該バタフライ弁座86Aがシールされる。

[0044] バタフライ弁58におけるバタフライ弁プレート59の回転角度はバタフライ弁アクチュエータ90により制御可能である。被制御流体の流れに対してバタフライ弁プレート59が垂直になる状態が全閉の位置となり、そこから90度回転してバタフライ弁プレート59が被制御流体の流れに平行となる状態が全開の位置となる（図4（C））。全開位置から角度を可変させることで、バルブコンダクタンスを可変させることができ、図1から図3に示す処理室20内の圧力調整が可能である。従って本例の制御弁55によれば、バタフライ弁58のみが作動する領域において、一般の小口径バタフライ弁と同様に優れた開閉動作の応答性や微小開度制御精度が得られる。また一般の大口径ゲート弁と遜色ないシール性が得られる。

[0045] バタフライ弁プレート59に取り付けられたシャフト88は、ゲート弁56のロッド78と同時に移動又は伸縮可能である。したがって、ゲート弁56を開くときには、バタフライ弁プレート59もゲート弁プレート57と同時にバルブハウジング76の退避位置に移動し、200Aの配管52Aに対応する一般のゲート弁と同等のコンダクタンスが得られる。

[0046] また、200Aの配管52Aに対応するゲート弁56と、100Aに相当するバタフライ弁58を一体構造とすることで、大流量排気と高精度な圧力調整を同時に実現することができる。また、100Aに相当する分岐系統（図示せず）が不要となり、200Aの配管52Aのみで排気系統を構成することができる。したがって、装置部品レイアウトの省スペース化を実現できる。また、分岐配管がないことで、配管容積が減少し、被制御流体としてのガスの置換効率が向上させることができると共に、部品コストを低減できる

。更には、配管加熱が必要なプロセスにおいて、配管加熱範囲を縮小でき、加熱不均一によるパーティクルリスクを低減できる。

[0047] 〔排気系の作用〕

図3において、本実施形態の排気系50は、弁制御器53が、目標圧力 P_T と圧力センサ群62からの実圧力 P_R の情報に基づき、制御弁55の開度の調整をゲート弁56とバタフライ弁58とに適切に割り当てることで、処理室20の圧力制御やパージを行う。

[0048] 図6は、開度指令算出部72（図3）による開度の割り当ての例を示すグラフである。この例は、横軸が設定コンダクタンス（又は設定流量）、縦軸が各弁の開度である。具体的には、図6の上図の縦軸がゲート弁56の開度であり、図6の下図の縦軸がバタフライ弁58の開度である。横軸が $0 \sim C_T$ の微小流量領域では、ゲート弁56は全閉し、バタフライ弁58のみが作動する。ここで、 C_T は遷移コンダクタンスであり、全開のバタフライ弁58のコンダクタンスに相当する。設定コンダクタンスがこの C_T を超えると、バタフライ弁58が全開を維持したまま、ゲート弁56が作動する。各弁の作動は、設定コンダクタンスに対してほぼ線形の開度として表現できる。設定コンダクタンスが $0 \sim C_T$ の間が微小流量の制御に適した領域であり、この間ゲート弁56はゲート弁プレート57がゲート弁座76Cに押圧され、シール状態となる（図3（A））。この例は、バタフライ弁58が全開のままゲート弁56を全開にできる構成の場合に適用できる。なおゲート弁56のシールは、設定コンダクタンスが $0 \sim C_T$ の間の任意の開度で行ってもよい。また設定流量が C_T を下回って減少する際は、ゲート弁56のシールは C_T を下回ると同時に行うのではなく、所定時間経過後に遅らせて実行することができる。これにより頻繁なシール動作を抑制できる。

[0049] 図7は、開度指令算出部72による開度の割り当ての他の例を示すグラフである。この例は、バタフライ弁58が全開のままゲート弁56を全開にできない構成の場合にも適用できる。白抜き矢印で示される、横軸における遷移コンダクタンス C_T の左側の領域は、 C_T の右側よりも横軸の縮尺が拡大さ

れている。 C_3 は、バタフライ弁58を閉じずにゲート弁56を開けることができる最大開度に対応し、 C_3 以上の開度において、バタフライ弁58の開度はその全開開度よりも小さい O_p に維持される。ここで O_p は、ゲート弁56を機械的な干渉なく自由に開閉できるバタフライ弁58の最大開度である。 C_T と C_3 の間では、開度指令算出部72（図3）は、ヒステリシスを有する開度制御を行う。具体的には、設定開度が C_T を超えて増加する際は、 C_2 に到達するまでバタフライ弁58の開度を100%に維持したまま、ゲート弁56の開度を増加させる。設定コンダクタンスが C_2 を超えて更に増加する際は、バタフライ弁58の開度は C_3 に近づくほど O_p に近づくように制御する。設定コンダクタンスが C_3 を超えて増加する際は、バタフライ弁58の開度は O_p に維持され、ゲート弁56の開度を増加させる。設定コンダクタンスが C_3 を下回って減少する際は、バタフライ弁58の開度は C_T に近づくほど100%に近づくように制御され、それと同時にゲート弁56の開度は設定コンダクタンスに対してほぼ線形に、0に向かって減少する。このような制御によれば、 C_T と C_3 の間で、バタフライ弁58の過度な作動を抑制し、バタフライ弁シールリング92（図4）の寿命を延ばすことができ、制御弁55を C_3 を超える大流量領域から設定流量を急速に全閉にする際に、バタフライ弁58の全開動作が早まり、全閉を高速に行うことができる。なお、設定流量が C_T から C_3 以上に増加するときには、バタフライ弁58の開度が O_p に下がるまで、ゲート弁56の実際の開度が上述の最大開度を超えないようにするための、ゲート弁56に対するインターロックが設けられることが望ましい。

[0050] 図8は、図7の例を更に高速開閉に適するように変更した例を示すグラフである。この例ではバタフライ弁58の開度は、全ての設定コンダクタンスに亘って O_p を超えない。バタフライ弁58の開度が O_p のときのコンダクタンスを C_{t1} とすると、設定コンダクタンスが増加して C_{t1} に達すると、ゲート弁56のシールが解除され、それ以降は、設定流量に対してほぼ線形の開度でゲート弁56が開く。この例では微小流量制御領域が縮小し精度が悪化

するものの、ゲート弁56とバタフライ弁58の実際の作動を待つ必要が無いので、それらを完全に並行して行うことができる。特に、全閉から C_t 付近にかけて開閉動作が更に高速化する。図7の例を微小流量制御優先モード、図8の例を応答速度優先モードと呼ぶと、弁制御器53は、状況に応じて或いは主制御部70の指示に応じて両モードの一方を選択して適用することができる。例えば、制御弁55での差圧の大きくなる高圧力（つまり低真空）領域では、微小流量制御優先モードを選択し、低圧力（つまり高真空）領域では、応答速度優先モードを選択する。あるいは反応炉10における処理室20の圧力に応じて、両モード間を連続的に遷移するようにしてもよい。その場合のバタフライ弁58の制御例を図8に破線で示す。ゲート弁56が開き始める設定コンダクタンス（所定値）は、少なくとも C_{t1} から C_t の間で任意に設定できる。

[0051] <基板処理工程>

次に、本実施形態に係る基板処理装置100を用いて実施する、所定の処理工程を有する基板処理方法、つまり半導体装置の製造方法について説明する。ここで、所定の処理工程は、半導体装置の製造工程の一工程である基板処理工程を実施する場合を例に挙げる。

[0052] この半導体装置の製造方法は、可動式のゲート弁プレート57を有するゲート弁56と、ゲート弁プレート57に設けられ、ゲート弁プレート57により開閉される弁開口76A, 76Bよりも小口径でかつ全閉可能なバタフライ弁58と、を備え、ゲート弁56のゲート弁プレート57とバタフライ弁58とを、互いに独立して駆動可能に構成された制御弁55を準備する工程と、基板処理装置100の反応室としての処理室20に半導体装置の基板30を搬入する工程と、処理室20から排出する被制御流体の流量が大きい際にゲート弁56を開状態とする工程と、被制御流体の流量が小さい際若しくは圧力調整の際にゲート弁56が閉状態とされ、バタフライ弁58により流量調整若しくは調圧を行う工程と、を有する。

[0053] 基板処理工程の実施にあたって、まず基板処理装置100に制御弁55を

準備する。次に、プロセスレシピが、図示しないメモリ等に展開され、必要に応じて主制御部 70 における自動制御部 71 から開度指令算出部 72 へ制御指示が与えられると共に、図示しないプロセス系コントローラや搬送系コントローラへ動作指示が与えられる。このようにして実施される基板処理工程は、搬入工程と、成膜工程と、搬出工程と、を少なくとも有する。

[0054] (移載工程)

主制御部 70 は、図示しない基板移載機構にボート 26 への基板 30 の移載処理を開始する。この移載処理は、予定された全ての基板 30 のボート 26 への装填（ウエハチャージ）が完了するまで行われる。

[0055] (搬入工程)

所定枚数の基板 30 がボート 26 に装填されると、ボート 26 は、図示しないボートエレベータによって上昇されて、反応炉 10 内に形成される処理室 20 に装入（ボートロード）される。ボート 26 が完全に装入されると、炉口蓋 28 は、反応炉 10 の炉口フランジ 14 の下端を気密に閉塞する。

[0056] (成膜工程)

次に、処理室 20 は、上述のように主制御部 70 からの指示に従いつつ、所定の成膜圧力（処理圧力）となるように、制御弁 55 及び真空ポンプ 60 等の真空排気装置によって真空排気される。また処理室 20 は、図示しない温度制御部からの指示に従いつつ、所定の温度となるようにヒータ 18 によって加熱される。続いて、図示しない回転機構によるボート 26 および基板 30 の回転を開始する。そして、所定の圧力、所定の温度に維持された状態で、ボート 26 に保持された複数枚の基板 30 に所定のガス（処理ガス）を供給して、基板 30 に所定の処理（例えば成膜処理）がなされる。なお、次の搬出工程前に、処理温度（所定の温度）から温度を降下させる場合がある。

[0057] (搬出工程)

ボート 26 に載置された基板 30 に対する成膜工程が完了すると、回転機構によるボート 26 および基板 30 の回転を停止させ、処理室 20 を窒素雰

囲気に置換し（窒素置換工程）、大気圧復帰させる。そして、炉口蓋 28 を下降させて炉口フランジ 14 の下端を開口させると共に、処理済の基板 30 を保持したボート 26 を反応炉 10 の外部に搬出（ボートアンロード）する。

[0058] （回収工程）

そして、処理済の基板 30 を保持したボート 26 は、クリーンユニットから吹出されるクリーンエアによって極めて効果的に冷却される。そして、例えば 150℃以下に冷却されると、ボート 26 から処理済の基板 30 を脱装（ウエハディスチャージ）して図示しないポッドに移載した後に、新たな未処理基板 30 のボート 26 への移載が行われる。

[0059] [他の実施形態]

以上、本開示の実施形態の一例について説明したが、本開示の実施形態は、上記に限定されるものでなく、上記以外にも、その主旨を逸脱しない範囲内において種々変形して実施可能であることは勿論である。