

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4718141号  
(P4718141)

(45) 発行日 平成23年7月6日(2011.7.6)

(24) 登録日 平成23年4月8日(2011.4.8)

(51) Int. Cl.		F I	
<b>C 2 3 C</b>	<b>16/455</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 3 C 16/455
<b>H O 1 L</b>	<b>21/28</b>	<b>(2006.01)</b>	H O 1 L 21/28 3 O 1 R
<b>H O 1 L</b>	<b>21/285</b>	<b>(2006.01)</b>	H O 1 L 21/285 C
<b>H O 1 L</b>	<b>21/31</b>	<b>(2006.01)</b>	H O 1 L 21/31 C
<b>H O 1 L</b>	<b>21/316</b>	<b>(2006.01)</b>	H O 1 L 21/316 X

請求項の数 27 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2004-230492 (P2004-230492)
(22) 出願日	平成16年8月6日(2004.8.6)
(65) 公開番号	特開2006-45640 (P2006-45640A)
(43) 公開日	平成18年2月16日(2006.2.16)
審査請求日	平成19年7月27日(2007.7.27)

(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	100086564 弁理士 佐々木 聖孝
(72) 発明者	平田 俊治 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
審査官	櫻木 伸一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜形成方法及び薄膜形成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

減圧可能な処理容器と真空ポンプとを結ぶ排気路にコンダクタンスバルブを設け、前記処理容器内に被処理基板を配置して、成膜処理時間中に第1の反応ガスを供給する第1のステップと第2の反応ガスを供給する第2のステップとを含むサイクルを1回または複数回繰り返して、前記基板上に前記第1の反応ガスと前記第2の反応ガスとの化学反応を利用して膜を形成する薄膜形成方法であって、

前記成膜処理時間の開始に先立つ準備時間中に、前記処理容器内を排気しながら所望のガスを設定流量で前記処理容器内に供給し、前記処理容器内の圧力が設定値にほぼ一致するときの前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して基準値とする第1の工程と、

前記成膜処理時間中の各々の前記サイクルにおいて少なくとも前記第1および第2のステップ中は前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を前記基準値に保持する第2の工程とを有する薄膜形成方法。

【請求項 2】

1サイクル内で前記第1の反応ガスと前記第2の反応ガスとの化学反応により前記基板上で1原子または1分子の層を成長させ、サイクルの繰り返し回数に応じた膜厚の薄膜を前記基板上に形成する、請求項1に記載の薄膜形成方法。

【請求項 3】

前記準備時間が、前記処理容器に前記基板が入っていない時間帯に設定される、請求項1または請求項2に記載の薄膜形成方法。

10

20

## 【請求項 4】

前記準備時間が、前記処理容器に前記基板が搬入された後の時間帯に設定される、請求項 1 または請求項 2 に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 5】

前記準備時間中に、前記第 1 および第 2 の反応ガスの少なくとも一方を含む圧力調整用のガスを前記成膜処理時と同等のガス流量で前記処理容器内に供給する、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 6】

前記第 1 の反応ガスが前記薄膜の原料を化合物として含む原料ガスであり、前記第 2 のガスが前記化合物を還元する還元ガスである、請求項 5 に記載の薄膜形成方法。

10

## 【請求項 7】

前記第 2 の反応ガスを前記処理容器内でプラズマ励起してラジカルおよび/またはイオンを生成する、請求項 6 に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 8】

各々の前記サイクルが、前記第 1 のステップの直後に余分な前記第 1 の反応ガスを前記処理容器から排出する第 3 のステップを含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 9】

前記第 3 のステップで不活性ガスを含むパージガスを前記処理容器内に供給する、請求項 8 に記載の薄膜形成方法。

20

## 【請求項 10】

前記第 3 のステップ中も前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を前記基準値に保持する、請求項 8 または請求項 9 に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 11】

前記第 3 のステップ中は前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を最大値付近に切り換える、請求項 8 または請求項 9 に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 12】

各々の前記サイクルが、前記第 2 のステップの直後に余分な前記第 2 の反応ガスを前記処理容器から排出する第 4 のステップを含む、請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の薄膜形成方法。

30

## 【請求項 13】

前記第 4 のステップで不活性ガスを含むパージガスを前記処理容器内に供給する、請求項 12 に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 14】

前記第 4 のステップ中も前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を前記基準値に保持する、請求項 12 または請求項 13 に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 15】

前記第 4 のステップ中は前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を最大値付近に切り換える、請求項 12 または請求項 13 に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 16】

前記第 1 の工程が、  
前記処理容器内の圧力の検出値が前記設定圧力に一致するように圧力フィードバック方式で前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を可変制御する第 3 の工程と、

40

前記第 3 の工程中に前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を測定する第 4 の工程とを有する、請求項 1 ~ 15 のいずれか一項に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 17】

前記第 4 の工程が前記準備期間の終了間際に行われる、請求項 16 に記載の薄膜形成方法。

## 【請求項 18】

前記第 4 の工程が、前記コンダクタンスバルブのバルブ開度の瞬時値を一定の時間間隔

50

でサンプリングし、 $n$ 個 ( $n$ は自然数)のサンプル値の平均をとる第5の工程を含む、請求項16または請求項17に記載の薄膜形成方法。

【請求項19】

前記第5の工程が、

前記一定の時間間隔毎に新たなサンプル値をそれまでの連続する $n$ 個 ( $n$ は自然数)のサンプル値に加えると同時にそれら $n+1$ 個の中で最も古いサンプル値を除外する第6の工程と、

前記第6の工程における入れ替え後の連続する $n$ 個のサンプル値について相加平均を求める第7の工程と

を有する、請求項18に記載の薄膜形成方法。

10

【請求項20】

前記第2の工程が、

前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を検出する第8の工程と、

前記バルブ開度の検出値を前記基準値と比較して比較誤差を求める第9の工程と、

前記比較誤差に応じて前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を可変制御する第10の工程と

を有する、請求項1～19のいずれか一項に記載の薄膜形成方法。

【請求項21】

前記準備期間中に前記基板を設定温度まで加熱し、前記成膜処理時間中も前記基板の温度を前記設定温度に保つ、請求項4～20のいずれか一項に記載の薄膜形成方法。

20

【請求項22】

前記第1の工程で、前記処理容器に少なくとも前記第1の反応ガスを含む第1の圧力調整用ガスを供給して前記処理容器内の圧力が第1の設定値にほぼ一致するときの前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して第1の基準値とするとともに、前記処理容器に少なくとも前記第2の反応ガスを含む第2の圧力調整用ガスを供給して前記処理容器内の圧力が第2の設定値にほぼ一致するときの前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して第2の基準値とし、

前記第2の工程で、前記第1のステップ中は前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を前記第1の基準値に保持し、前記第2のステップ中は前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を前記第2の基準値に保持する、

請求項1に記載の薄膜形成方法。

30

【請求項23】

減圧可能な処理容器と真空ポンプとを結ぶ排気路にコンダクタンスバルブを設け、前記処理容器内に被処理基板を配置して、成膜処理時間中に第1の反応ガスを供給するステップと第2の反応ガスを供給するステップとを含むサイクルを1回または複数回繰り返して、前記基板上に前記第1の反応ガスと前記第2の反応ガスとの化学反応を利用して膜を形成する薄膜形成装置であって、

前記処理容器内の圧力を設定値に一致させるように圧力フィードバック方式で前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を可変制御するための自動圧力制御部と、

前記処理容器内の圧力が設定値にほぼ一致するときの前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して基準値とするバルブ開度同定部と、

前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を前記基準値に保持するためのバルブ開度ホルド部と

を有する薄膜形成装置。

40

【請求項24】

前記バルブ開度同定部が、

前記自動圧力制御部により前記コンダクタンスバルブのバルブ開度が可変制御されている最中に前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を検出して一定の時間間隔でサンプリングするサンプリング部と、

前記サンプリング部より前記一定の時間間隔毎に与えられるサンプル値を先入れ先出し

50

方式で一時に  $n$  個 ( $n$  は自然数) 蓄積する F I F O バッファメモリと、

前記 F I F O バッファメモリに蓄積されている  $n$  個のサンプル値について前記一定の時間間隔毎に相加平均を求める演算部と、

前記演算部で前記一定の時間間隔毎に得られる相加平均値を所望のタイミングで取り込んで前記基準値とする基準値決定部と

を有する、請求項 2 3 に記載の薄膜形成装置。

【請求項 2 5】

前記バルブ開度ホールド部が、

前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を可変するバルブ駆動部と、

前記コンダクタンスバルブのバルブ開度の瞬時値を検出するバルブ開度検出部と、

前記バルブ開度の瞬時値を前記基準値と比較して比較誤差を生成する比較部と、

前記比較誤差に応じて前記バルブ駆動部を制御するバルブ制御部と

を有する、請求項 2 3 または請求項 2 4 に記載の薄膜形成装置。

10

【請求項 2 6】

前記処理容器内で前記第 1 および第 2 の反応ガスの少なくとも一方をプラズマ状態にするためのプラズマ発生部を有する、請求項 2 3 ~ 2 5 のいずれか一項に記載の薄膜形成装置。

【請求項 2 7】

1 サイクル内で前記第 1 の反応ガスと前記第 2 の反応ガスとの化学反応により前記基板上で 1 原子または 1 分子の層を成長させ、サイクルの繰り返し回数に応じた膜厚の薄膜を前記基板上に形成する、請求項 2 3 ~ 2 6 のいずれか一項に記載の薄膜形成装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被処理基板上に薄膜を形成する成膜技術に係り、特に原子層気相成長 (A L D : Atomic Layer Deposition) 法を利用する薄膜形成方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体製造装置において処理容器内の圧力制御は極めて重要な技術である。従来より、プラズマ C V D 装置あるいは減圧 C V D 装置等の化学気相成長法の薄膜形成装置では、処理容器内の圧力制御のために A P C (自動圧力制御) が広く使用されている (たとえば特許文献 1 参照)。

30

【0003】

一般に、この種の A P C は、処理容器と真空ポンプとを結ぶ排気路にたとえばバタフライバルブからなるコンダクタンスバルブを設け、圧力フィードバック方式で該コンダクタンスバルブのバルブ開度を可変制御するようにしている。より詳細には、コンダクタンスバルブのバルブ開度をコントローラの制御の下でモータにより一定範囲たとえば  $0^{\circ}$  (全閉) ~  $90^{\circ}$  (全開) の範囲内で任意の値に可変できるようにし、処理容器に取り付けた真空計等の圧力検出器の出力信号 (圧力瞬時値) をコントローラにフィードバックして、圧力測定値を設定値に一致させるようにコントローラがモータを通じてコンダクタンスバルブのバルブ開度を可変制御するようになっている。

40

【0004】

一方、最近の半導体デバイス製造においては、A L D 法が重要な成膜技術として注目されてきている (たとえば特許文献 2 参照)。特に、半導体デバイスの配線構造体に使用するバリアメタルの成膜、M O S F E T のゲート絶縁膜あるいはキャパシタの容量絶縁膜として使用する高誘電率膜の成膜等が、A L D 法の有利な応用分野とされている。A L D 法は、被処理基板たとえば半導体ウエハ上に 1 原子層ごとに薄膜を成長させて上記のような導電体膜あるいは絶縁体膜を形成する。このため、A L D 法では、一定の反応ガスがほぼ連続的に処理容器内に供給される他の気相成長法とは異なり、数秒の時間間隔で 2 種の反応ガスがパージングを挟んで交互に断続的に処理容器内に供給され、1 サイクル内に両反

50

応ガスの化学反応により1原子または1分子の層が形成される。このサイクルの繰り返し数で基板上に形成される薄膜の膜厚を任意に制御することができる。

【特許文献1】特開平7-142392号公報

【特許文献2】特開平6-089873号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

A L D法は、ステップカバレッジに優れた膜形成を可能とし、膜厚やウエハ面内均一性をより精密に制御できる等の様々な利点がある。しかしながら、処理容器内の圧力制御の面で上記のようなA P Cを有効に利用できないという不利点がある。つまり、A L D法では、上述したように2種類の反応ガスをパーキングを挟んで交互にしかも数秒単位で断続的に処理容器内に供給する。ここに、A P Cを用いたならば、供給ガスの頻繁な切り替えによって生じる大きな圧力変動がA P Cコントローラにフィードバックされることによってコンダクタンスバルブの弁体がばたついて追従不能となり、プロセス圧力は却って不安定になる。特に、処理容器内で片方の反応ガスをプラズマで励起して反応種を生成するプラズマ励起A L D ( P E A L D : Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition ) では、反応ガスのオン/オフだけでなくプラズマのオン/オフも短い周期で頻繁に行われるため、A P Cがハンチングを起こしやすく、プロセス圧力の不安定はより顕著であり、プラズマ点火の制御ができなくなることもある。

【0006】

そこで、A L D装置では、A P Cを使わずに、コンダクタンスバルブのバルブ開度を一定値に固定する方式を採用する方向で検討がなされており、この方式によって所望のA L D成膜を安定に行えることが確認されている。しかしながら、そのようなバルブ開度固定方式は、A L D装置の製作段階で多くの実験を重ねて最適なバルブ開度設定値(固定値)を割り出す作業が必要となるにも拘わらず、以下に述べるような問題を内包している。

【0007】

第1の問題は、A L D装置の設置条件により、最適なバルブ開度設定値(固定値)が変わってしまい、装置の汎用性が失われることである。たとえば、設置のレイアウトにより排気系の配管長はまちまちであり、それによって排気性能が違ってくる。真空ポンプ等の機種等が異なる場合も、同様である。このため、バルブ開度設定値(固定値)を各装置に画一に適用することはプロセス再現性の面で難しくなる。各装置の立ち上げ時に現場で試行実験して最適なバルブ開度設定値(固定値)を割り出すことも不可能ではないが、A L D装置の量産ラインへの設置に際しては現実的な選択ではない。

【0008】

第2に、経年変化の問題がある。A L D装置の全体または各部の経年変化により排気性能が変化すると、コンダクタンスバルブの最適なバルブ開度が変わってしまい、上記第1の問題と同様の結果になる。ここでも、定期的な実験(メンテナンス)によりバルブ開度設定値(固定値)の見直しまたは調整を行う対応策も考えられるが、量産ラインで稼動する生産装置としては生産に寄与しないダウンタイムが大幅に増えてしまう。

【0009】

本発明は、上記のような問題点あるいは課題に着目してなされたものであって、処理容器内の雰囲気の時間的な変動要素に左右されずに安定した圧力を形成できるとともに、設置条件や経年変化等に対してプロセスレシピの内容を変更することなくプロセス再現性を保証できるA L D法またはそれに準じた方式の薄膜形成方法および薄膜形成装置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】

【0010】

上記の目的を達成するために、本発明の薄膜形成方法は、減圧可能な処理容器と真空ポンプとを結ぶ排気路にコンダクタンスバルブを設け、前記処理容器内に被処理基板を配置して、成膜処理時間中に第1の反応ガスを供給する第1のステップと第2の反応ガスを供

10

20

30

40

50

給する第2のステップとを含むサイクルを1回または複数回繰り返して、前記基板上に前記第1の反応ガスと前記第2の反応ガスとの化学反応を利用して膜を形成する薄膜形成方法であって、前記成膜処理時間の開始に先立つ準備時間中に、前記処理容器内を排気しながら所望のガスを設定流量で前記処理容器内に供給し、前記処理容器内の圧力が設定値にほぼ一致するときの前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して基準値とする第1の工程と、前記成膜処理時間中の各々の前記サイクルにおいて少なくとも前記第1および第2のステップ中は前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を前記基準値に保持する第2の工程とを有する。

【0011】

また、本発明の薄膜形成装置は、減圧可能な処理容器と真空ポンプとを接続する排気路にコンダクタンスバルブを設け、前記処理容器内に被処理基板を配置して、成膜処理時間中に第1の反応ガスを供給するステップと第2の反応ガスを供給するステップとを含むサイクルを1回または複数回繰り返して、前記基板上に前記第1の反応ガスと前記第2の反応ガスとの化学反応を利用して膜を形成する薄膜形成装置であって、前記処理容器内の圧力を設定値にほぼ一致させるように圧力フィードバック方式で前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を可変制御するための自動圧力制御部と、前記処理容器内の圧力が設定値にほぼ一致するときの前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して基準値とするバルブ開度同定部と、前記コンダクタンスバルブのバルブ開度を前記基準値に保持するためのバルブ開度ホールド部とを有する。

【0012】

本発明では、成膜処理時間に先立つ準備時間（たとえば、基板を処理容器に搬入する直前または待機時間あるいは搬入後の基板昇温時間）を利用し、その準備時間中に処理容器内を排気しながら所望のガスを設定流量で供給して処理容器内の圧力を設定値にほぼ一致させ、そのときのコンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して基準値とする。そして、成膜処理時間中は、コンダクタンスバルブのバルブ開度を基準値に保持する。したがって、各サイクルの第1および第2のステップで供給ガスが切り換わることによって容器内の雰囲気も変化しても、排気コンダクタンスないし排気速度が一定（基準値）に保持されるので、プロセス圧力は安定に維持される。装置の設置条件や経年変化によって排気性能に変動が生じて、各成膜処理の準備段階でプロセス圧力に応じた最適な排気コンダクタンスが設定されるため、プロセスレシピの内容を変更することなくプロセス再現性を保証できる。

【0013】

本発明の好適な一態様によれば、ALD法を使用し、1サイクル内で第1の反応ガスと第2の反応ガスとの化学反応により基板上で1原子または1分子の層を成長させ、サイクルの繰り返し回数に応じた膜厚の薄膜を形成する。

【0014】

また、本発明の好適な一態様によれば、準備時間中に、第1および第2の反応ガスの少なくとも一方を含む圧力調整用のガスを成膜処理時と同等のガス流量で処理容器内に供給する。

【0015】

また、本発明の好適な一態様によれば、第1の反応ガスが膜の原料を化合物として含む原料ガスであり、第2のガスが該化合物を還元する還元ガスである。この場合は、PEALD法により、第2の反応ガスを処理容器内でプラズマ励起してラジカルやイオン等の反応種を生成してよい。

【0016】

また、本発明の好適な一態様によれば、各々のサイクルが、第1のステップの直後に余分な第1の反応ガスを処理容器から排出する第3のステップを含む。この第3のステップでは、不活性ガスを含むパージガスを処理容器内に供給するのが好ましい。もっとも、パージガスと一緒に第2の反応ガスを供給してもよい。好ましくは、第3のステップ中もコンダクタンスバルブのバルブ開度を基準値に保持してよい。あるいは、パージング効率を

10

20

30

40

50

上げるために、第3のステップ中はコンダクタンスバルブのバルブ開度を最大値またはその付近に切り換えてもよい。

【0017】

また、本発明の好適な一態様によれば、各々のサイクルが、第2のステップの直後に余分な第2の反応ガスを処理容器から排出する第4のステップを含む。この第4のステップでは、不活性ガスを含むパージガスを処理容器内に供給するのが好ましい。もっとも、この場合も、パージガスと一緒に第1の反応ガスを供給してもよい。第4のステップ中も、コンダクタンスバルブのバルブ開度を基準値に保持するのが好ましい。また、第4のステップでも、パージング効率を上げるために、コンダクタンスバルブのバルブ開度を最大値またはその付近に切り換えることが可能である。

10

【0018】

また、本発明の好適な一態様によれば、本発明の薄膜形成装置において、バルブ開度同定部が、自動圧力制御部によりコンダクタンスバルブのバルブ開度が可変制御されている最中にコンダクタンスバルブのバルブ開度を検出して一定の時間間隔でサンプリングするサンプリング部と、このサンプリング部より一定の時間間隔毎に与えられるサンプル値を先入れ先出し方式で一時にn個（nは自然数）蓄積するFIFOバッファメモリと、このFIFOバッファメモリに蓄積されているn個のサンプル値について一定の時間間隔毎に相加平均を求める演算部と、この演算部で一定の時間間隔毎に得られる相加平均値を所望のタイミングで取り込んで基準値とする基準値決定部とを有する。また、バルブ開度ホールド部が、コンダクタンスバルブのバルブ開度を可変するバルブ駆動部と、コンダクタンスバルブのバルブ開度の瞬時値を検出するバルブ開度検出部と、バルブ開度の瞬時値を基準値と比較して比較誤差を生成する比較部と、比較誤差に応じてバルブ駆動部を制御するバルブ制御部とを有する。

20

【0019】

また、本発明の好適な一態様によれば、本発明の薄膜形成方法において、第1の工程で、処理容器に少なくとも第1の反応ガスを含む第1の圧力調整用ガスを供給して処理容器内の圧力が第1の設定値にほぼ一致するときのコンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して第1の基準値とするとともに、処理容器に少なくとも第2の反応ガスを含む第2の圧力調整用ガスを供給して処理容器内の圧力が第2の設定値にほぼ一致するときのコンダクタンスバルブのバルブ開度を同定して第2の基準値とし、第2の工程で、第1のステップ中はコンダクタンスバルブのバルブ開度を第1の基準値に保持し、第2のステップ中はコンダクタンスバルブのバルブ開度を第2の基準値に保持する。

30

【発明の効果】

【0020】

本発明の薄膜形成方法または薄膜形成装置によれば、上記のような構成と作用により、処理容器内の雰囲気の時間的な変動要素に左右されずに安定した圧力を形成できるとともに、設置条件や経年変化等に対してプロセスレシピの内容を変更することなくプロセス再現性を保証できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、添付図を参照して本発明の実施の形態を説明する。

40

【0022】

図1に、本発明のALD装置の基本構成を示す。このALD装置は、減圧可能な処理容器10と、この処理容器10にガス供給ライン12を介してALD用の所要の処理ガスたとえば反応ガスやパージガス等を選択的に供給するためのガス供給部14と、処理容器10内で所望の反応ガスをプラズマ励起するためのプラズマ発生部16と、処理容器10を排気ライン（排気路）18を介して所望の圧力（真空度）に真空引きするための真空ポンプ20と、排気ライン18の途中に設けられているコンダクタンスバルブ22と、処理容器10内の圧力または排気コンダクタンスを制御するための圧力制御部24と、装置全体および各部を統括制御するための主制御部36とを有している。

50

## 【 0 0 2 3 】

処理容器 1 0 内には、被処理基板たとえば半導体ウエハを載置するための載置台またはサセプタが配置され、該サセプタの内部に基板を一定温度に加熱するためのヒータが設けられている。ガス供給部 1 4 は、各々の処理ガス毎にガス供給源および流量調整器 ( M F C ) を備えている。プラズマ発生部 1 6 は、 P E A L D の場合に用いられるもので、たとえば平行平板型、 I C P ( 誘導結合プラズマ )、 R L S A ( ラジアル・ライン・スロット・アンテナ ) 等のプラズマ源からなり、一定周波数の高周波を出力する高周波電源を備えている。真空ポンプ 2 0 は、たとえばドライポンプまたはターボ分子ポンプ等で構成される。コンダクタンスバルブ 2 2 は、たとえばパタフライバルブからなり、たとえば  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  の範囲内で回転可能な弁体を有し、排気路の開口面積またはバルブ開度を  $0^{\circ}$  ( 全閉 )  $\sim 90^{\circ}$  ( 全開 ) の範囲内で任意の値に可変できるようになっている。

10

## 【 0 0 2 4 】

圧力制御部 2 4 は、バルブコントローラ 2 6 と、処理容器 1 0 またはその近傍に取り付けられた圧力検出器 2 8 と、コンダクタンスバルブ 2 2 の弁体を駆動するバルブ駆動部 3 0 と、コンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度を検出するバルブ開度検出部 3 2 と、このバルブ開度検出部 3 2 より得られるバルブ開度検出値を基にコンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度の基準値を同定するバルブ開度同定部 3 4 とを有している。

## 【 0 0 2 5 】

ここで、圧力検出器 2 8 は、たとえば真空計からなり、処理容器 1 0 内の圧力を表す電気信号を出力する。バルブ駆動部 3 0 は、たとえばサーボモータからなり、バルブコントローラ 2 6 の制御の下でコンダクタンスバルブ 2 2 の弁体の位置またはバルブ開度を可変する。バルブ開度検出部 3 2 は、たとえば、コンダクタンスバルブ 2 2 の弁体に連結され、コンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度を表すアナログの電圧信号を出力するポテンシオメータと、このポテンシオメータの出力信号を所定のサンプリング周波数 ( たとえば  $10\text{kHz}$  ) でデジタル信号に変換する A / D 変換器とで構成されている。バルブ開度同定部 3 4 の構成および作用は後述する。

20

## 【 0 0 2 6 】

バルブコントローラ 2 6 は、圧力検出器 2 8 およびバルブ駆動部 3 0 と協働して、処理容器 1 0 内の圧力を設定値に一致させるようにコンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度を可変制御する圧力フィードバックループを構成することができる。他方で、バルブコントローラ 2 6 は、バルブ開度検出部 3 2 およびバルブ駆動部 3 0 と協働して、コンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度を基準値に一致させるための、つまり排気路 1 8 のコンダクタンスまたは実効排気速度を一定値に保持するためのフィードバックループを構成することもできる。バルブコントローラ 2 6 の上記 2 種類のフィードバック制御機能は、主制御部 3 6 からの制御信号によって切り換えられるようになっている。

30

## 【 0 0 2 7 】

次に、図 2 のフローチャートにしたがってこの A L D 装置の動作を説明する。この装置動作は、所定のソフトウェアにしたがい主制御部 3 6 の制御の下で実行される。

## 【 0 0 2 8 】

最初に、被処理基板である半導体ウエハを処理容器 1 0 内に搬入し、サセプタ上に載置する ( ステップ S 1 ) 。

40

## 【 0 0 2 9 】

次に、A L D 成膜処理に先立ち、一定の時間を費やしてサセプタ上で半導体ウエハを成膜用の設定温度に昇温する。このウエハ昇温期間 ( プリヒート期間 ) 中に、ガス供給部 1 4 が所定の圧力調整用ガスを所定の流量で処理容器 1 0 内に供給するとともに、圧力制御部 2 4 でコントローラ 2 6 が A P C 方式の圧力フィードバック制御を行い、バルブ開度同定部 3 4 がバルブ開度の基準値を同定する ( ステップ S 2 ) 。

## 【 0 0 3 0 】

詳細には、バルブコントローラ 2 6 は、圧力検出器 2 8 の出力信号 ( 圧力検出値 ) を受け取って、その圧力検出値を主制御部 3 6 から予め受け取っている圧力設定値と比較して

50



比較誤差を生成し、比較誤差に応じて、つまり比較誤差を零に近づけるように制御信号をバルブ駆動部 30 に与えて、コンダクタンスバルブ 22 のバルブ開度を可変制御する。この A P C 動作により、処理容器 10 内の圧力が圧力設定値付近に保たれるようになる。なお、ガス供給部 14 からの圧力調整用ガスは、処理容器 10 内に A L D サイクルの時と同等のガス負荷を与えるように、処理容器 10 内の圧力に関して支配的な反応ガスと同じガス種で同じ流量であるのが好ましい。

【 0 0 3 1 】

上記のような A P C 動作が行われている間、コンダクタンスバルブ 22 のバルブ開度（瞬時値）がバルブ開度検出部 32 によって検出され、一定の時間間隔（たとえば 100ms）でバルブ開度検出部 32 よりバルブ開度検出値またはサンプル値がバルブ開度同定部 34 に与えられる。

10

【 0 0 3 2 】

図 3 に示すように、バルブ開度同定部 34 は、一構成例として、F I F O バッファメモリ 34 a、相加平均演算部 34 b およびデータラッチ回路 34 c を有している。F I F O バッファメモリ 34 a は、バルブ開度検出部 32 より上記時間間隔（100ms）毎に時系列で与えられるサンプル値を先入れ先出し方式で一時に  $n$  個（ $n$  は自然数、たとえば  $n = 30$ ）蓄積する。したがって、バルブ開度検出部 32 からの新たなサンプル値  $a_i$  が F I F O バッファメモリ 34 a に書き込まれると、それまで蓄積されていた 30 個のサンプル値の中で最も古い（ $a_i$  より  $n$  個分前の）サンプル値  $a_{i-n}$  が追い出されるようにしてメモリ 34 a の外へ捨てられる。

20

【 0 0 3 3 】

相加平均演算部 34 b は、F I F O バッファメモリ 34 a に蓄積されている現時の  $n$  個のサンプル値について上記時間間隔（100ms）毎に相加平均を演算して相加平均値  $m$  を出力ないし更新する。図 3 の例では、サンプル値  $a_i$  が F I F O バッファメモリ 34 a に書き込まれる直前に、相加平均演算部 34 b は  $(a_{i-1} + a_{i-2} + a_{i-3} + \dots + a_{i-n-1} + a_{i-1}) / n$  で与えられる相加平均値  $m_{i-1}$  を出力している。ここに、新たなサンプル値  $a_i$  が F I F O バッファメモリ 34 a に書き込まれると、それと入れ替わりにサンプル値  $a_{i-n}$  が捨てられて、相加平均演算部 34 b は  $(a_i + a_{i-1} + a_{i-2} + \dots + a_{i-n-2} + a_{i-n-1}) / n$  を演算して、その演算結果を相加平均値  $m_i$  として出力する。

30

【 0 0 3 4 】

データラッチ回路 34 c は、主制御部 36 より与えられるタイミング信号 C K に応動して相加平均演算部 34 b の出力  $m$  をラッチする。このデータラッチ回路 34 c にラッチされた相加平均値  $m_s$  は、上記のような A P C 動作におけるコンダクタンスバルブ 22 のバルブ開度の代表値または基準値として同定されたものであり、主制御部 36 およびバルブコントローラ 26 に与えられる。

【 0 0 3 5 】

このバルブ開度の基準値  $m_s$  はプリヒートの終了と同時に開始される A L D 成膜処理で用いられるものである。したがって、上記のようなバルブ開度同定部 34 におけるバルブ開度同定処理はプリヒート時間の終了間際に行われるのが望ましい。

【 0 0 3 6 】

バルブコントローラ 26 は、バルブ開度同定部 34 よりバルブ開度基準値  $m_s$  を受け取ると、それまで圧力検出器 28 およびバルブ駆動部 30 を通じて行っていた A P C の圧力フィードバック制御を停止し、バルブ開度検出部 32 およびバルブ駆動部 30 を通じてコンダクタンスバルブ 22 のバルブ開度を基準値  $m_s$  に保持するためのフィードバック制御に切り換わる（ステップ S3）。このバルブ開度ホールド部のフィードバック制御において、バルブコントローラ 26 は、バルブ開度検出部 32 より一定時間間隔（100ms）毎に与えられるバルブ開度検出値またはサンプル値  $a$  を基準値  $m_s$  と比較して比較誤差を生成し、比較誤差に応じて、つまり比較誤差を零に近づけるための制御信号をバルブ駆動部 30 に与えて、コンダクタンスバルブ 22 のバルブ開度を基準値  $m_s$  付近に保つ。このバルブ開度ホールド部の動作により、A L D 処理時間中は処理容器 10 の排気系統にお

40

50

る排気コンダクタンスまたは排気速度が一定に保たれるようになる。なお、バルブ開度検出部 3 2 よりバルブコントローラ 2 6 に与えられるバルブ開度検出値は、バルブ開度同定部 3 4 に対するのと異なる時間間隔（サンプリング周期）を有してもよく、あるいはアナログ信号の形態であってもよい。

#### 【 0 0 3 7 】

A L D 処理時間中は、同一の A L D サイクル（ステップ S 4 ~ S 7）が複数回繰り返される（ステップ S 8 , S 9）。1つの A L D サイクルは、基本的には4つのフェーズつまり第1、第2、第3および第4のステップ（S 4、S 5、S 6、S 7）からなる。第1のステップ S 4 では、ガス供給部 1 4 より処理容器 1 0 内に処理ガス A（第1の反応ガス）が送り込まれ、送り込まれた処理ガス A の分子がブリカーサとして半導体ウエハ上に1分子の層だけ吸着する。第2のステップ S 5 では、ガス供給部 1 4 より処理容器 1 0 内にたとえば不活性ガスからなるパージガスが送り込まれ、処理容器 1 0 内に未吸着で残留していた余分な処理ガス A が容器 1 0 の外へ排出される。第3のステップ S 6 では、先ずガス供給部 1 4 より処理容器 1 0 内に処理ガス B（第2の反応ガス）が送り込まれる（S 6 A）。ここで、P E A L D の場合は、プラズマ発生部 1 6 をオンにして処理容器 1 0 内で処理ガス B をプラズマ化し（S 6 B）、処理ガス B の反応種（ラジカルやイオン）を半導体ウエハ上に吸着している処理ガス A と化学反応させる。この化学反応によって半導体ウエハ上の薄膜が1原子または1分子の層だけ成長する。そして、一定時間後にプラズマ励起を停止することで（S 6 C）、第3のステップ（S 6）が終了する。次の第4のステップ S 7 では、ガス供給部 1 4 より処理容器 1 0 内にたとえば不活性ガスからなるパージガスが送り込まれ、処理容器 1 0 内に未反応で残留していた余分な処理ガス B およびその反応種が容器 1 0 の外へ排出される。

#### 【 0 0 3 8 】

なお、P E A L D の場合は、上記のように処理ガス B はプラズマ励起されている時だけ処理ガス A と有効に反応するので、第3のステップ S 6 だけでなく、たとえば第1および第2のステップ S 4 , S 5 の間も処理ガス B を処理容器 1 0 内に供給することができる。

#### 【 0 0 3 9 】

上記のような A L D サイクル（S 4 ~ S 7）を所定回数繰り返すと、半導体ウエハ上の薄膜が所望の膜厚に達したものと判定し（ステップ S 8）、A L D 成膜処理を終了する。次いで、処理済みの半導体ウエハをサセプタから離して処理容器 1 0 の外へ搬出する（ステップ S 1 0）。

#### 【 0 0 4 0 】

上述したように、この実施形態の A L D 装置においては、A L D 成膜処理に先立つウエハ昇温期間（プリヒート期間）中に、処理容器 1 0 に A L D 成膜処理を模擬したガス負荷をかけて A P C 式のフィードバック制御を行い、処理容器 1 0 内のガス圧力が設定値にほぼ一致しているときのコンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度を基準値として同定する。そして、A L D 処理時間中は、コンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度を基準値に一致させるためのフィードバック制御を行って、A L D サイクルで処理容器 1 0 に送り込まれるガスが数秒単位で切り換わっても排気コンダクタンスを一定に保持し、プロセス圧力を安定に維持するようにしている。

#### 【 0 0 4 1 】

また、この実施形態では、各稼動 A L D 装置が設置条件や経年変化の影響を受けずに常に（枚葉処理単位で）圧力設定値に応じた最適な排気コンダクタンスで動作できるので、プロセスレシピの内容を変更することなくプロセス再現性を保証できる。このことにより、A L D 装置の汎用性やメンテナンス性を向上させることができる。そして、量産ラインで稼動できる薄膜形成装置として実用性十分の A L D 装置を提供することができる。

#### 【 0 0 4 2 】

なお、処理容器 1 0 内に半導体ウエハが入っていない状態の下で、たとえば半導体ウエハを処理容器 1 0 に搬入する直前または待機時間中に、上記のように A P C 式のフィードバック制御を行ってコンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度を同定しておくことも可能で

10

20

30

40

50

ある。

【 0 0 4 3 】

次に、図 4 ~ 図 6 につき、上記実施形態の一具体例として導電膜形成用の A L D 装置を説明する。図 4 は A L D 装置の要部の構成を示す略断面図であり、図 5 はこの A L D 装置で用いる主プロセス条件（一部）を示すレシピ表であり、図 6 は装置動作のシーケンスを示すタイミング図である。図 4 の装置において、図 1 の装置と同様の構成または機能を有する部分には同一の符号を附している。

【 0 0 4 4 】

図 4 において、この A L D 装置の処理容器 1 0 は、たとえば表面がアルマイト処理されたアルミニウムあるいは S U S などからなり、保安接地されている。処理容器 1 0 内の中心部には、被処理基板としてたとえば半導体ウエハ W を載置するためのサセプタ 4 0 が設置されている。このサセプタ 4 0 は、耐食性と耐熱性に優れた材質たとえばハステロイからなり、処理容器 1 0 の底部から垂直上方に延びる支持部 4 2 に水平に支持されている。また、サセプタ 4 0 にはヒータ（図示せず）が内蔵されており、半導体ウエハ W を所望の温度に加熱できるようになっている。

10

【 0 0 4 5 】

処理容器 1 0 の側壁には、たとえばゲートバルブ（図示せず）によって開閉可能な基板搬入出口（図示せず）が設けられている。処理容器 1 0 の底部には、排気口 4 4 が設けられている。この排気口 4 4 に真空ポンプ 2 0 に通じる排気ライン（排気路）1 8 が接続され、排気ライン 1 8 の途中にコンダクタンスバルブ 2 2 が取り付けられる。このコンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度は上記基本実施形態（図 1 ）と同様に圧力制御部 2 4 によって制御される。

20

【 0 0 4 6 】

処理容器 1 0 内において、サセプタ 4 0 の上方には、一定の間隔を空けて上部電極を兼ねる円筒状のシャワーヘッド部 4 6 が設置されている。このシャワーヘッド部 4 6 のガス噴出面（下面）を除く面（側面および上面）には、たとえば石英、 $A l_2 O_3$  などのセラミックスからなる絶縁性の遮蔽材 4 8 が設けられている。また、シャワーヘッド部 4 6 には第 1 ガス導入室 5 0 と第 2 ガス導入室 5 2 が多段に区画されて設けられており、2 種類の反応ガスを別々のガス導入室を経由して処理容器 1 0 内の処理空間 1 0 a に導入できるようになっている。

30

【 0 0 4 7 】

処理容器 1 0 の上面には開口部が設けられ、この開口部に絶縁体の部材 5 4 が挿通されている。この絶縁部材 5 4 には、プラズマ発生部 1 6 の高周波電源 5 6 に接続されている導体 5 8 が挿通され、シャワーヘッド部 4 6 の上部に接続されている。高周波電源 5 6 より所定のパワーで出力される高周波が導体 5 8 を介してシャワーヘッド部 4 6 に印加され、シャワーヘッド部 4 6 とサセプタ 1 0 との間に平行平板方式でプラズマを生成するための高周波電界が形成されるようになっている。

【 0 0 4 8 】

この A L D 装置におけるガス供給部 1 4 は、処理ガス A、処理ガス B およびパージガス毎に個別のガス供給源を有している。ここで、処理ガス A は導電膜の原料を化合物として含む原料ガスからなり、処理ガス B は処理ガス A の金属化合物を還元するための還元ガスからなり、パージガスは希ガスまたは不活性ガスからなる。一例として、C u 拡散防止膜に使用する T a 膜を成膜する場合、処理ガス A は気化した T a C l<sub>5</sub> とキャリアガスたとえば A r ガスとの混合ガスであり、還元ガスは H<sub>2</sub> ガスであり、パージガスは A r ガスである。

40

【 0 0 4 9 】

処理ガス A のガス供給源は、第 1 ガス供給ライン 1 2 a を介してシャワーヘッド部 4 6 の第 1 ガス導入室 5 0 に接続される。第 1 ガス供給ライン 1 2 a の途中には開閉バルブ 6 0 a、第 1 流量調節器（M F C）6 2 a および開閉バルブ 6 4 a が設けられる。一方、処理ガス B のガス供給源とパージガスのガス供給源は第 2 ガス供給ライン 1 2 b を介してシ

50

ャワーヘッド部 4 6 の第 2 ガス導入室 5 2 に接続される。第 2 ガス供給ライン 1 2 b の途中には開閉バルブ 6 0 b , 6 0 c、第 2 流量調節器 ( M F C ) 6 2 b および開閉バルブ 6 4 b が設けられる。

【 0 0 5 0 】

この A L D 装置でも、基本装置 ( 図 1 ) と同様に主制御部 3 6 ( 図 4 では図示省略 ) が装置全体および各部を統括制御する。その際、主制御部 3 6 は、レシピ表 ( 図 5 ) を通して設定入力されたプロセス条件をソフトウェアに組み込んで動作する。図 5 のレシピ表では、プロセス条件の中で本発明と特に関係のある項目のみについて設定値を示している。

【 0 0 5 1 】

この A L D 装置では、所要の導電膜 ( たとえば T a 膜 ) を形成するために基本手順 ( 図 2 ) と同様の手順または処理シーケンスを用いることができる。この場合、図 5 のレシピ表と図 2 の手順とは次のように対応する。すなわち、プリヒート期間において、 S t e p 1 がステップ S 2 に、 S t e p 2 がステップ S 3 にそれぞれ対応する。また、A L D サイクルでは、 S t e p 3 がステップ S 4 に、 S t e p 4 がステップ S 5 に、 S t e p 5 がステップ S 6 ( S 6 A , S 6 B , S 6 C ) に、 S t e p 6 がステップ S 7 にそれぞれ対応する。以下、図 5 のレシピ表の内容に沿ってこの A L D 装置の機能ないし作用を説明する。

【 0 0 5 2 】

図 5 のレシピ表では、各々の S t e p 1 ~ S t e p 6 毎に所要時間 T や処理容器 1 0 に供給するガスの種類、流量等が設定入力される。図示の例の場合、 S t e p 1 では、任意の設定時間  $T_1$  ( たとえば 6 0 秒 ) 内に処理ガス B を A P C モードで供給することが指示されている。装置側は、上記したように、この A P C 動作の間に圧力制御部 2 4 において自動的にバルブ開度検出部 3 2 とバルブ開度同定部 3 4 が動作してコンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度をモニタリングすることになる。

【 0 0 5 3 】

S t e p 2 は、プリヒート期間の終了間際の一定時間たとえば 1 ( 秒 ) に組み込まれており、圧力制御モードとして「 H O L D 」を指示している。装置側は、 S t e p 2 の開始のタイミングで、主制御部 3 6 からバルブ開度同定部 3 4 に制御信号 C K を与えてバルブ開度の基準値  $m_s$  を決定または同定して、圧力制御のモードを A P C からバルブ開度 H O L D に切り換えることになる。

【 0 0 5 4 】

A L D サイクルにおいても、レシピ表 ( 図 5 ) では、すべての S t e p 3 ~ S t e p 6 で圧力制御モードが「 H O L D 」と指示される。このレシピにしたがって、装置側は A L D 成膜処理時間を通じて圧力制御モードをバルブ開度 H O L D に固定することになる。なお、 S t e p 3 では、処理容器 1 0 に送り込むガスとして本来の処理ガス A に加えて処理ガス B も指定している。 P E A L D では、プラズマをオンにしない限り、処理ガス B ( 還元ガス ) は ( 還元 ) 作用を行わず、処理ガス A の吸着作用に影響を及ぼさないので、処理ガス A に処理ガス B が混じっても何等支障はない。また、 S t e p 5 に入る前から処理ガス B を処理容器 1 0 内に送り込んでおく方が、プラズマを安定確実に点火できる利点もある。その点では、 S t e p 4 のパージングでも、パージガス ( A r ガス ) と一緒に処理ガス B ( 還元ガス ) を処理容器 1 0 内に送り込むのも好ましい。

【 0 0 5 5 】

導電膜の P E A L D の場合は、処理ガス A ( 原料ガス ) の流量は処理ガス B ( 還元ガス ) の流量に比して格段に少ないため、処理ガス B ( 還元ガス ) の流量を基準とすることができる。したがって、上記のようにプリヒート期間中に A P C モードでコンダクタンスバルブ 2 2 のバルブ開度を同定するに際しては、A L D サイクル時と同等のガス負荷で処理ガス B ( 還元ガス ) を処理容器 1 0 に送り込んでよい。もっとも、不活性ガスを適宜使用または混合することも可能である。

【 0 0 5 6 】

S t e p 5 では、処理ガス B (  $H_2$  ガス ) のプラズマ励起が行われる。  $H_2$  ガスからプラズマ励起によって  $H^+ / H^\cdot$  ( 水素イオンと水素ラジカル ) が生成される。これらの反応種

10

20

30

40

50

( $H^+ / H^*$ )が半導体ウエハWの表面に原子層レベルで吸着している導電体化合物を還元して1原子層分の膜を形成させる。本発明のバルブ開度ホールド部により、排気コンダクタンスが一定に保持され、それによって処理容器10内の圧力が安定に維持されるので、処理ガスB ( $H_2$ ガス)のプラズマを安定確実に点火させることができる。Step 6のパーキングでは、余った処理ガスB (還元ガス)を排出するので、処理容器10にはパーキングガス (Arガス)のみを送り込んでよい。なお、Step 3 ~ Step 6の各処理時間 $T_1 \sim T_6$ は通常3 ~ 5秒位に選定される。

【0057】

上記した実施形態は、ALD成膜処理時間を通じて圧力制御部24にバルブ開度ホールドの圧力制御を持続させるようにした。しかし、パーキング中は、コンダクタンスバルブ22のバルブ開度を処理ガスA, Bの圧力に合わせる必要はなく、むしろパーキングの目的からすれば、できるだけ大きなバルブ開度(理想的には全開)に切り換えた方がパーキングガス使用効率や時間効率等の面で好都合である。本発明によれば、上記実施形態に一部変形を加えることで、そのような要求に応えることができる。この変形例を図6のレシピ表と図7のフローチャートで示す。

【0058】

この場合のレシピ表(図6)では、ALDサイクルの処理ガスA, Bをそれぞれ供給するStep 3, 5で「ReHOLD」を指示すればよい。ここで、「ReHOLD」は、バルブ開度HOLDモードに再度切り換えること、つまりコンダクタンスバルブ22のバルブ開度を再度基準値 $m_s$ に保持することを意味する。また、パーキングのStep 3, 5では「Angle 90」を指示すればよい。この「Angle 90」は、コンダクタンスバルブ22のバルブ開度を $90^\circ$ (全開)に保持することを意味する。

【0059】

動作手順(図7)では、基本手順(図2)に「バルブ全開」のステップSa, Scと「バルブ開度再HOLD」のステップSb, Sdが追加される。これにより、処理ガスAを供給するステップS4(Step 3)の直後に、ステップSaでコンダクタンスバルブ22のバルブ開度がそれまでの基準値 $m_s$ から最大値( $90^\circ$ )に切り換えられ、次のステップS5(Step 4)では最大の排気速度でパーキングが行われる。そして、処理ガスBを供給するステップS6(Step 5)の直前にステップSbでコンダクタンスバルブ22のバルブ開度がそれまでの最大値( $90^\circ$ )から基準値 $m_s$ に切り換えられる。処理ガスBを供給した後も同様であり、コンダクタンスバルブ22のバルブ開度がパーキング(S7, Step 6)直前にステップScで最大値( $90^\circ$ )に切り換えられ、パーキング(S7, Step 6)直後にステップSdで基準値 $m_s$ に戻される。なお、レシピ表(図6)で「Angle 80」と指定することで、パーキング中のコンダクタンスバルブ22のバルブ開度を $80^\circ$ に固定することができる。

【0060】

上記した実施形態はPEALDに係るものであったが、本発明はプラズマを利用しないALD法にも適用可能である。その場合は、ALDサイクルの各ステップで処理ガスA, Bが気相中で反応しないように処理ガスA, Bの同時供給を避ける必要があり、また処理ガスA, B供給時の排気コンダクタンスを独立に制御するのが好ましい。

【0061】

本発明によれば、図8のレシピ表および図9のフローチャートに示すように、プリヒート期間中に処理容器に処理ガスA, Bを順次入れ替えて供給し、それぞれALDサイクル時と同等のガス負荷をかけてAPC動作を行ったときのコンダクタンスバルブのバルブ開度を同定し、処理ガスA, B毎に個別の基準値 $m_{s1}$ ,  $m_{s2}$ を取得することができる。そして、正規のALDサイクルにおいて、処理容器に処理ガスAを供給するステップS4(Step 3)の時にはステップS3, S3'で圧力制御をバルブ開度HOLD1のモードに切り換えてコンダクタンスバルブのバルブ開度を基準値 $m_{s1}$ に保持し、処理容器に処理ガスBを供給するステップS6(Step 5)の時にはステップS3'で圧力制御をバルブ開度HOLD2のモードに切り換えてコンダクタンスバルブのバルブ開度を基準値 $m_{s2}$ に

10

20

30

40

50

保持するようにすることができる。

【 0 0 6 2 】

他にも、本発明の技術思想の範囲内で種々の変形が可能である。たとえば、本発明は、上記のように A L D に特に有利に適用されるものであるが、処理ガスが不連続的あるいは断続的に処理容器に供給されるために処理容器内の圧力が短時間で大きく変動するような任意の成膜技術に適用可能である。したがって、たとえば、処理容器内に処理ガス A を送り込むステップと処理ガス B を送り込むステップとの間にパーズング以外のステップを挿入する方式や、何のステップも挿入せずに連続させる方式等にも本発明を適用することができる。

【 0 0 6 3 】

また、本発明における被処理基板は半導体ウエハに限定されるものではなく、たとえばフラットディスプレイパネル用のガラス基板等であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 4 】

【図 1】本発明の一実施形態による A L D 装置の基本構成を示すブロック図である。

【図 2】実施形態による装置動作の基本手順を示すフローチャート図である。

【図 3】実施形態におけるバルブ開度同定部の一構成例を示すブロック図である。

【図 4】実施形態における導電膜形成用 A L D 装置の主要な構成を示す略断面図である。

【図 5】実施形態におけるレシピの一例を示すレシピ表である。

【図 6】実施形態の一変形例におけるレシピの一例を示すレシピ表である。

【図 7】実施形態の一変形例による装置動作の手順を示すフローチャート図である。

【図 8】実施形態の一変形例におけるレシピの一例を示すレシピ表である。

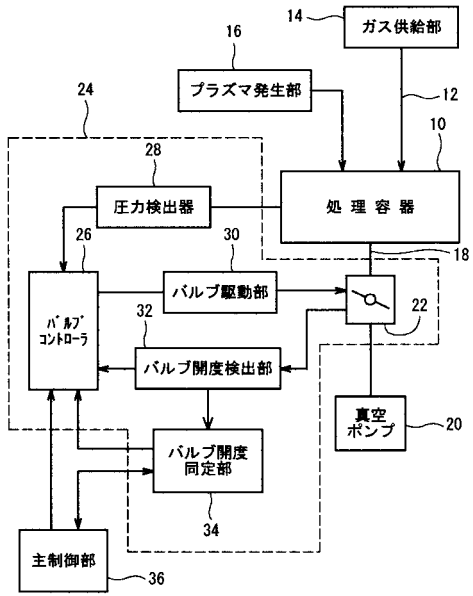
【図 9】実施形態の一変形例による装置動作の手順を示すフローチャート図である。

【符号の説明】

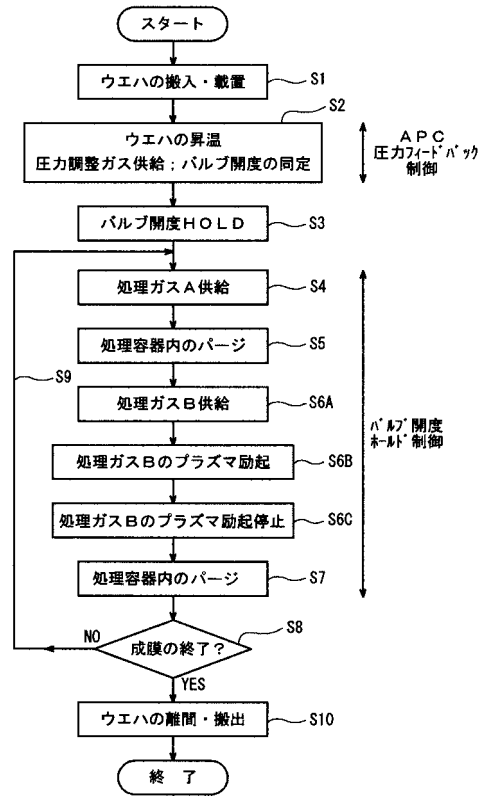
【 0 0 6 5 】

1 0	処理容器	
1 2	ガス供給ライン	
1 4	ガス供給部	
1 6	プラズマ発生部	
1 8	排気ライン（排気路）	30
2 0	真空ポンプ	
2 2	コンダクタンスバルブ	
2 4	圧力制御部	
2 6	バルブコントローラ	
2 8	圧力検出器	
3 0	バルブ駆動部	
3 2	バルブ開度検出部	
3 4	バルブ開度同定部	
3 6	主制御部	
4 0	サセプタ	40
4 6	シャワーヘッド部	

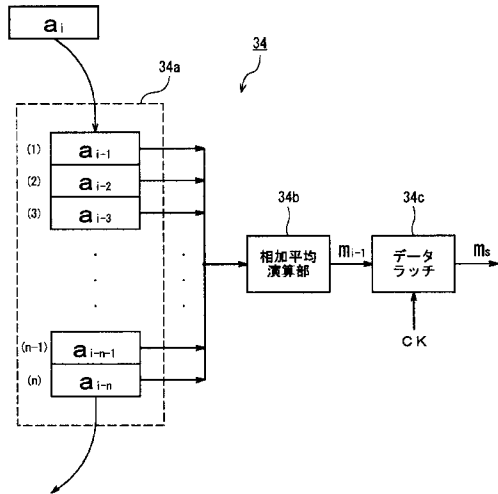
【図1】



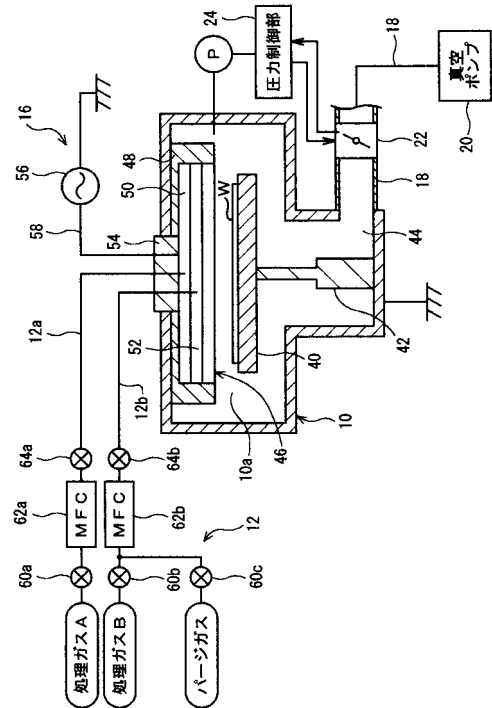
【図2】



【図3】



【図4】



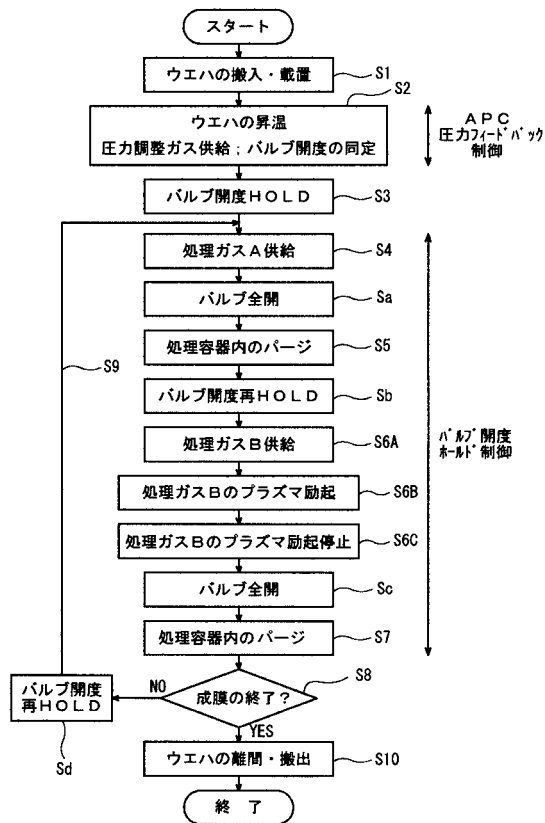
【図5】

	プリヒート		ALDサイクル			
	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6
処理時間	T1	1	T3	T4	T5	T6
...						
プロセスガス	B	B	A, B	パージ	B	パージ
プラズマ生成					*	
...						
圧力制御	APC	HOLD	HOLD	HOLD	HOLD	HOLD

【図6】

	プリヒート		ALDサイクル			
	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6
処理時間	T1	1	T3	T4	T5	T6
...						
プロセスガス	B	B	A, B	パージ	B	パージ
プラズマ生成					*	
...						
圧力制御	APC	HOLD	Re HOLD	Angle90	Re HOLD	Angle90

【図7】

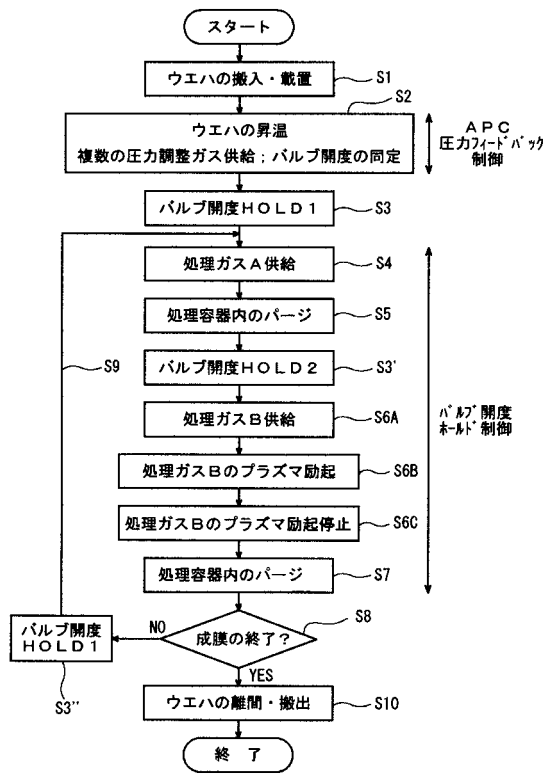


【図8】

	プリヒート		ALDサイクル			
	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6
処理時間	T1	1	T3	T4	T5	T6
...						
プロセスガス	A/B	A	A	パージ	B	パージ
プラズマ生成					*	
...						
圧力制御	APC	HOLD1	HOLD1	HOLD1	HOLD2	HOLD2



【図9】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-134466(JP,A)  
特開2004-006733(JP,A)  
特開2006-032610(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
C23C 16/00-16/56