

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5527197号  
(P5527197)

(45) 発行日 平成26年6月18日 (2014. 6. 18)

(24) 登録日 平成26年4月25日 (2014. 4. 25)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/31 (2006. 01)

H O 1 L 21/31 B

H O 1 L 21/677 (2006. 01)

H O 1 L 21/68 A

H O 1 L 21/683 (2006. 01)

H O 1 L 21/68 N

B 6 5 G 49/07 (2006. 01)

B 6 5 G 49/07 E

C 2 3 C 16/458 (2006. 01)

C 2 3 C 16/458

請求項の数 9 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2010-286514 (P2010-286514)  
 (22) 出願日 平成22年12月22日 (2010. 12. 22)  
 (65) 公開番号 特開2011-151387 (P2011-151387A)  
 (43) 公開日 平成23年8月4日 (2011. 8. 4)  
 審査請求日 平成24年8月8日 (2012. 8. 8)  
 (31) 優先権主張番号 特願2009-296182 (P2009-296182)  
 (32) 優先日 平成21年12月25日 (2009. 12. 25)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(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 100091513  
 弁理士 井上 俊夫  
 (72) 発明者 大泉 行雄  
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i  
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内  
 (72) 発明者 本間 学  
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i  
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内

審査官 山本 雄一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 成膜装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空容器内にて互いに反応する少なくとも2種類の反応ガスを順番に基板の表面に供給しかつこの供給サイクルを実行することにより反応生成物の層を多数積層して薄膜を形成する成膜装置において、

前記真空容器内に設けられた回転テーブルと、

前記回転テーブルに基板を載置するために設けられた基板載置部と、

前記回転テーブルの回転方向に互いに離れて設けられ、前記回転テーブルにおける前記基板の載置領域側の面に夫々第1の反応ガス及び第2の反応ガスを供給するための第1の反応ガス供給手段及び第2の反応ガス供給手段と、

前記第1の反応ガスが供給される第1の処理領域と第2の反応ガスが供給される第2の処理領域との雰囲気とを分離するために、これら処理領域の間に位置する分離領域と、

予め設定された受渡し位置に停止している基板載置部に対して基板の受け渡しを行うための搬送機構と、

前記基板載置部に載置された基板の飛び出しを防止するために基板の表面に係止する係止部と、

前記回転テーブルとは別個に設けられ、基板の受け渡し時に回転テーブルより下方に離れた位置から回転テーブル内を貫通して回転テーブルと回転テーブルよりも上方位位置との間で基板及び係止部を夫々昇降させるための基板用の昇降ピン及び係止部用の昇降ピンを含む昇降機構と、

10

20

前記回転テーブルに設けられ、前記基板用の昇降ピンが通る孔部及び前記係止部用の昇降ピンが通る孔部と、を備え、

前記基板用の昇降ピン及び前記係止部用の昇降ピンは、回転テーブルよりも下方側で待機するように構成されていることを特徴とする成膜装置。

【請求項 2】

前記回転テーブルには、その中に基板が載置される載置部をなす凹部が形成され、前記回転テーブル上面と凹部内の基板の表面は、概一致した事の特徴とする請求項 1 記載の成膜装置。

【請求項 3】

前記昇降機構は、基板、係止部を昇降させる 3 本以上の昇降ピンを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の成膜装置。

【請求項 4】

前記係止部の形状は、回転テーブルの回転に際して、気流の乱れを抑えるための流線形状とすることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載の成膜装置。

【請求項 5】

真空容器内において、複数の基板を回転テーブル表面に設けた複数の凹部にそれぞれ載置して回転させることにより、前記基板が複数の異なる処理領域に供給された反応ガスと順次接触して、前記基板の表面に薄膜を形成する成膜装置において、

前記処理領域の天井から離間し前記基板の近傍に設けられ、前記基板の方向に向けて反応ガスを供給する反応ガス供給手段と、

前記異なる反応ガスが反応することを防止する不活性ガスを、前記複数の処理領域の間に設けられた分離空間内に供給する不活性ガス供給手段と、

前記複数の処理領域のそれぞれに対応して設けられ、前記回転テーブルの外側に設けられた排気口と、

前記処理領域に供給した反応ガスと前記分離領域に供給した不活性ガスとを前記処理領域を経由して前記排気口に導き前記真空容器から排気する真空排気手段と、

前記回転テーブルに設けられた前記各凹部の近傍に設けられ、前記基板が前記回転テーブルの回転中に飛び出すことを防止するために基板の表面に係止する係止部と、

前記回転テーブルとは別個に設けられ、外部の搬送機構による基板の受け渡し時に回転テーブルより下方に離れた位置から回転テーブル内を貫通して回転テーブルと回転テーブルよりも上方位置との間で基板及び係止部を夫々昇降させるための基板用の昇降ピン及び係止部用の昇降ピンを含む昇降機構と、

前記回転テーブルに設けられ、前記基板用の昇降ピンが通る孔部及び前記係止部用の昇降ピンが通る孔部と、を備え、

前記基板用の昇降ピン及び前記係止部用の昇降ピンは、回転テーブルよりも下方側で待機するように構成されていることを特徴とする成膜装置。

【請求項 6】

真空容器内において、複数の基板を回転テーブル表面に設けた複数の凹部にそれぞれ載置して回転させることにより、前記基板が複数の異なる処理領域に供給された反応ガスと順次接触して、前記基板の表面に薄膜を形成する成膜装置において、

前記真空容器の側壁から前記回転テーブルの回転中心に向けて配置され、前記処理領域の天井から離間し前記基板の近傍に設けられ、前記基板の方向に向けて反応ガスを供給する反応ガス供給手段と、

前記異なる反応ガスが反応することを防止する不活性ガスを、前記複数の処理領域の間に設けられた分離空間内において前記回転テーブルに載置された基板方向に向けて吐出する不活性ガス供給手段と、

前記複数の処理領域のそれぞれに対応して設けられ、前記回転テーブルの外側に設けられた排気口と、

前記処理領域に供給した反応ガスと前記分離領域に供給した不活性ガスとを前記処理領域を経由して前記排気口に導き前記真空容器から排気する真空排気手段と、

10

20

30

40

50

前記回転テーブルに設けられた前記凹部の近傍に設けられ、前記基板が前記回転テーブルの回転中に飛び出すことを防止する係止部と、

前記回転テーブルとは別個に設けられ、外部の搬送機構による基板の受け渡し時に回転テーブルより下方に離れた位置から回転テーブル内を貫通して回転テーブルと回転テーブルよりも上方位置との間で基板及び係止部を夫々昇降させるための基板用の昇降ピン及び係止部用の昇降ピンを含む昇降機構と、

前記回転テーブルに設けられ、前記基板用の昇降ピンが通る孔部及び前記係止部用の昇降ピンが通る孔部と、を備え、

前記基板用の昇降ピン及び前記係止部用の昇降ピンは、回転テーブルよりも下方側で待機するように構成され、

前記係止部は、凹部に載置された基板に対して非接触の状態に配置され、基板の飛び出しに際して係止するように構成されていることを特徴とする成膜装置。

#### 【請求項 7】

真空容器内において、複数の基板を回転テーブル表面に設けた複数の凹部にそれぞれ載置して回転させることにより、前記基板が複数の異なる処理領域に供給された反応ガスと順次接触して、前記基板の表面に薄膜を形成する成膜装置において、

前記処理領域の天井から離間し前記基板の近傍に設けられ、前記基板の方向に向けて反応ガスを供給する反応ガス供給手段と、

前記異なる反応ガスが反応することを防止する不活性ガスを、前記複数の処理領域の間に設けられた分離空間内に供給する不活性ガス供給手段と、

前記複数の処理領域のそれぞれに対応して設けられ、前記回転テーブルの外側に設けられた排気口と、

前記処理領域に供給した反応ガスと前記分離領域に供給した不活性ガスとを前記処理領域を経由して前記排気口に導き前記真空容器から排気する真空排気手段と、

前記回転テーブルに設けられた前記各凹部の近傍に設けられ、前記基板が前記回転テーブルの回転中に飛び出すことを防止するために基板の表面に係止する係止部と、

前記回転テーブルとは別個に設けられ、外部の搬送機構による基板の受け渡し時に回転テーブルより下方に離れた位置から回転テーブル内を貫通して回転テーブルと回転テーブルよりも上方位置との間で基板及び係止部を夫々昇降させるための基板用の昇降ピン及び係止部用の昇降ピンを含む昇降機構と、

前記回転テーブルに設けられ、前記基板用の昇降ピンが通る孔部及び前記係止部用の昇降ピンが通る孔部と、

前記回転テーブルの回転の前に、前記基板を、基板の中心が前記凹部の中心に対して、前記回転テーブルの回転に伴う遠心力の方向に偏移した位置になるように制御を行なう制御部と、を備え、

前記基板用の昇降ピン及び前記係止部用の昇降ピンは、回転テーブルよりも下方側で待機するように構成されていることを特徴とする成膜装置。

#### 【請求項 8】

真空容器内において、複数の基板を回転テーブル表面に設けた複数の凹部にそれぞれ載置して回転させることにより、前記基板が複数の異なる処理領域に供給された反応ガスと順次接触して、前記基板の表面に薄膜を形成する成膜装置において、

前記処理領域の天井から離間し前記基板の近傍に設けられ、前記基板の方向に向けて反応ガスを供給する反応ガス供給手段と、

前記異なる反応ガスが反応することを防止する不活性ガスを、前記複数の処理領域の間に設けられた分離空間内に供給する不活性ガス供給手段と、

前記複数の処理領域のそれぞれに対応して設けられ、前記回転テーブルの外側に設けられた排気口と、

前記処理領域に供給した反応ガスと前記分離領域に供給した不活性ガスとを前記処理領域を経由して前記排気口に導き前記真空容器から排気する真空排気手段と、

前記回転テーブルに設けられた前記各凹部の近傍に設けられ、前記基板の表面の外周部に

10

20

30

40

50

接触して前記基板を係止することで、前記基板が回転中に前記凹部から飛び出すことを防止する係止部と、

前記回転テーブルとは別個に設けられ、外部の搬送機構による基板の受け渡し時に回転テーブルより下方に離れた位置から回転テーブル内を貫通して回転テーブルと回転テーブルよりも上方位置との間で基板及び係止部を夫々昇降させるための基板用の昇降ピン及び係止部用の昇降ピンを含む昇降機構と、

前記回転テーブルに設けられ、前記基板用の昇降ピンが通る孔部及び前記係止部用の昇降ピンが通る孔部と、を備え、

前記基板用の昇降ピン及び前記係止部用の昇降ピンは、回転テーブルよりも下方側で待機するように構成されていること、を特徴とする成膜装置。

10

【請求項 9】

真空容器内において、複数の基板を回転テーブル表面に設けた複数の凹部内にそれぞれ載置して回転させることにより、前記基板が複数の異なる処理領域に供給された反応ガスと順次接触して、前記基板の表面に薄膜を形成する成膜装置において、

前記処理領域の天井から離間し前記回転テーブルの近傍に設けられ、前記回転テーブルの方向に向けて反応ガスを供給する反応ガス供給手段と、

前記異なる反応ガスが反応することを防止する不活性ガスを、前記複数の処理領域の間に設けられた分離空間内に供給する不活性ガス供給手段と、

前記回転テーブルの回転中心から前記真空容器内に不活性ガスを供給する不活性ガス供給手段と

20

前記複数の処理領域のそれぞれに対応して設けられ、前記回転テーブルの外側に設けられた排気口と、

前記処理領域に供給した反応ガスと前記分離領域に供給した不活性ガスと前記回転中心から供給される不活性ガスとを前記処理領域を経由して前記排気口に導き前記真空容器から排気する真空排気手段と、

前記各凹部の近傍に設けられ、前記基板が前記回転テーブルの回転中に飛び出すことを防止するために基板の表面を係止する係止部と、

前記回転テーブルとは別個に設けられ、外部の搬送機構による基板の受け渡し時に回転テーブルより下方に離れた位置から回転テーブル内を貫通して回転テーブルと回転テーブルよりも上方位置との間で基板及び係止部を夫々昇降させるための基板用の昇降ピン及び係止部用の昇降ピンを含む昇降機構と、

30

前記回転テーブルに設けられ、前記基板用の昇降ピンが通る孔部及び前記係止部用の昇降ピンが通る孔部と、を備え、

前記基板用の昇降ピン及び前記係止部用の昇降ピンは、回転テーブルよりも下方側で待機するように構成されていることを特徴とする成膜装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、互いに反応する少なくとも2種類の反応ガスを順番にウエハの表面に供給しかつこの供給サイクルを多数回実行することにより反応生成物の層を多数積層して薄膜を形成する成膜装置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

半導体製造プロセスにおける成膜手法として、ウエハである半導体ウエハ（以下「ウエハ」という）等の表面に真空雰囲気下で第1の反応ガスを吸着させた後、供給するガスを第2の反応ガスに切り替えて、両ガスの反応により1層あるいは複数層の原子層や分子層を形成し、このサイクルを多数回行うことにより、これらの層を積層して、ウエハ上への成膜を行うプロセスが知られている。このプロセスは、例えばALD（Atomic Layer Deposition）やMLD（Molecular Layer Deposition）などと呼ばれており、サイクル数に応じて膜厚を高精度にコントロールすることができると共に、膜質の面内均一性も良好で

50

あり、半導体デバイスの薄膜化に対応できる有効な手法である。

【0003】

このような成膜方法が好適である例としては、例えばゲート酸化膜に用いられる高誘電体膜の成膜が挙げられる。一例を挙げると、シリコン酸化膜（ $\text{SiO}_2$ 膜）を成膜する場合には、第1の反応ガス（原料ガス）として、例えばビスターシャルブチルアミノシラン（以下「BTBAS」という）ガス等が用いられ、第2の反応ガス（酸化ガス）としてオゾンガス等が用いられる。

【0004】

このような成膜方法を実施する装置としては、真空容器の上部中央にガスシャワーヘッドを備えた枚葉の成膜装置を用いて、ウエハの中央部上方側から反応ガスを供給し、未反応の反応ガス及び反応副生成物を処理容器の底部から排気する方法が検討されている。ところで前記枚葉の成膜方法は、パージガスによるガス置換に長い時間がかかり、またサイクル数も例えば10～600回もなることから、処理時間が長いという問題があり、高スループットで処理できる装置、手法が要望されている。

【0005】

ALDの成膜手法として、2つの手法に大別される、まず、第1の手法は、真空可能な反応チャンバ内に、処理されるウエハをサセプタ等の載置部に固定した装置でALD反応の成膜を行なう場合の説明をする。

(1) ウエハを反応チャンバへ移載を行なう。この場合、ウエハは、一枚処理と複数枚バッチの処理がある。

(2) 反応チャンバにウエハを移載した後、反応チャンバを真空状態にする。真空状態にしなが、ALD成膜に必要な温度、圧力等のALD反応に必要な条件を整える。

(3) 上記の条件が整い、反応ガスAを所定の時間流す。

(4) 反応ガスAを停止する。その後、反応チャンバより、反応ガスAを排気する。これは、次ぎ流される反応ガスBが供給された時点で、反応ガスAの残留成分と反応ガスBが混合してCVD反応を防止するためである。

(5) 反応ガスBを所定の時間流す。

(6) (4) 同様に反応ガスBを停止して、反応ガスBを反応チャンバより排気する。これも、次に流される反応ガスAが供給された時点で、反応ガスBの残留成分と反応ガスAが混合してCVD反応を防止するためである。

(1) 以上の(3)～(6)のシーケンスを繰り返してALD成膜を行なう。

( ) 2 所定の膜厚が得られたら、全ての反応ガスを停止して、反応チャンバを常圧に復帰させて、ウエハを取り出す。

【0006】

第1の手法の特徴は、

メリットとして、反応ガスA、Bを各々流す前に、反応チャンバを排気して、次の反応ガスを受け入れても、十分な排気が可能なため反応ガスAとBは混合することなくALD成長が可能である。

一方デメリットは、反応ガスAの供給 反応ガスAの停止 反応ガスAの排気 反応ガスBの供給とステップをくり返してALD成膜を行う、よって、反応ガスAとBが混合しないように真空引きの置換工程が必ず必要となり成膜時間が長くなる。

また、半導体製造装置に於ける定期メンテナンスを考えると、反応ガスのガス供給系配管、ガス排気系配管に設置されているバルブ、マスフローメーター等の制御機器類の稼働回数が成膜の厚さにより、切り替えは極端に多くなり、生産装置として、これら制御機器類の定期保守が必要となる。この定期メンテナンスの期間が頻繁になり、装置稼働率が低下して、生産性を阻害する要因となり経済的効果の損失になる。

これら、反応ガスの置換工程による成膜時間が長くなったり、装置の制御機器の定期メンテナンス増大化等々を改善させる手法として、回転式サセプタによる複数枚処理手段がある。

これを、第2の手法として説明する。

## 【 0 0 0 7 】

第2の手法として本件の回転方式ミニバッチALD成膜工程の説明する。

- (1) 処理されるウエハのサイズと、回転テーブルの径で最大限許容される範囲で、
- (2) 効率的に複数のウエハを載置する位置を確保した、回転テーブルを具備した反応チャンバがあり、
- (3) このチャンバへ複数のウエハを移載する。
- (4) 複数のウエハ移載した後、反応チャンバを真空状態にしなが、かつ例えば回転テーブルの下方側のヒータにより回転テーブルがプロセス温度となるように温度調整しながら、回転テーブルの回転を始めて、チャンバの圧力、回転テーブルの回転数が安定したことを確認する。
- (5) 次いで反応領域を分けるための分離ガスを所定の流量でチャンバ内に供給する。
- (6) その後、この状態でウエハの表面には、ALD成膜に必要な温度と、各々の反応ガス流量と、圧力空間との中を各々の反応ガスを交互に暴露することが出来る。
- (7) 所定の膜厚が得られたら、全ての反応ガスを停止して、反応チャンバを常圧に復帰させて、ウエハを取り出す。

10

## 【 0 0 0 8 】

第2の手法の特徴は、

メリットとして、回転テーブルの回転速度に応じALD成膜量、すなわち所望の膜厚制御が可能となる。これは、反応ガスの種類によって、120～500rpmと高速回転でALD成膜を行なう事が可能と成り、成膜速度が上昇して生産性が向上する。

また、反応ガスA、反応ガスBと、排気とを同時に行い第1の手法と比べ反応ガス供給系路、排気系路にあるバルブ、マスフローメーター等の制御機器類の稼働する回数が少なくなり、定期保守の期間が延長され、定期メンテナンスの期間は延長して生産性向上が可能となり、経済的効果が得られる。

20

## 【 0 0 0 9 】

一方デメリットは、一つの反応チャンバ空間に複数の反応ガスを供給する領域と反応ガスを排気する領域が必要になる。

これは、反応チャンバ内で互いの反応ガスの混在をなくす為には、隔壁にて独立した反応領域(コンパートメント)を設けることは容易に考えられる。

しかし、反応領域を区切る方法では、反応ガス毎に区画壁を作り反応領域を設けることが考えられる。しかし、反応ガスの漏洩を考えた場合、区画壁と回転テーブルは限りなく近づけるか、完全な分離を考えた場合、連続回転をあきらめて、各々の反応領域の区画壁と回転テーブルのウエハ載置部をO-Ring等を用いてガスの漏洩を防止し、各反応領域をステップバイステップで移動する事になる。

30

しかし、この方式ではウエハの連続回転動作は出来ない。そこで、回転テーブルを高速で回転させても複数の反応ガスをチャンバ内で混合することなく、ウエハ表面に交互に暴露させるためには反応ガスの分離する機構が必要となる。

## 【 0 0 1 0 】

特許文献1に記載されている発明は、分離ガスの吐出口と反応ガスの供給領域との間に上向きの排気口を設け、反応ガスをこの排気口から分離ガスと共に排気する手法を採用。

40

## 【 0 0 1 1 】

特許文献2に記載されている発明は、ウエハ支持部材が回転して、分離ガスノズルからのエアーカーテン作用で反応ガスを分離する手法。

## 【 0 0 1 2 】

特許文献3に記載されている装置は、隔壁と遠心力に対応するための傾斜のある載置部にウエハを載置してウエハは、処理室と排気室を回転する成膜手法。

## 【 0 0 1 3 】

特許文献4に記載されている手法は、2つの反応ガスをノズルから交互に吐出して成膜する手法。

## 【 0 0 1 4 】

50

特許文献 5 に記載されている構成は、反応領域に真空排気口を持った処理領域があり、回転式ノズルでソースガス反応ガスを供給した後、同じく回転式ノズルでパージガスで置換する方法。

【 0 0 1 5 】

特許文献 6 ( 特許文献 7 , 8 ) に開示された成膜装置および成膜方法を用いる場合、各載置領域にソースガスあるいは反応ガスを供給した後、分離ガスノズルにより当該載置領域の雰囲気のパージガスで置換する。

【 0 0 1 6 】

更に特許文献 9 に記載されている構成は、複数枚のウエハがその表面に配置される回転テーブルと、チャンバ上部の裏面には回転テーブルの径方向に伸び、夫々異なる反応ガスを供給する複数の吸気ゾーン ( 供給口 ) が、周方向に間隔をおいて設けられ、周方向に隣接する各供給口間には前記径方向に伸びる 2 つの排気ゾーン ( 排気口 ) が互いに周方向に設けられる開示がある。

【 0 0 1 7 】

特許文献 1 0 に記載されている発明では、ウエハ載置領域は、サセプタ ( プラテン ) を回転させた際に、遠心力によりウエハ等のウエハはウエハ載置領域内を移動し、ウエハ載置領域の壁面と接触し、ウエハ等が破損する場合がある。破損を防止するために、図 4 ないし図 6、クランプリング 2 7 で開示されるウエハの固定方法がある。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 8 】

【 特許文献 1 】 米国特許公報 7 , 1 5 3 , 5 4 2 号 : 図 6 ( a )、( b )

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 1 - 2 5 4 1 8 1 号公報 : 図 1 及び図 2

【 特許文献 3 】 特許 3 1 4 4 6 6 4 号公報 : 図 1、図 2、請求項 1

【 特許文献 4 】 特開平 4 - 2 8 7 9 1 2 号公報 :

【 特許文献 5 】 米国特許公報 6 , 6 3 4 , 3 1 4 号

【 特許文献 6 】 特開 2 0 0 7 - 2 4 7 0 6 6 号公報 : 段落 0 0 2 3 ~ 0 0 2 5、0 0 5 8 , 図 1 2 及び図 1 8

【 特許文献 7 】 米国特許公開公報 2 0 0 7 - 2 1 8 7 0 1 号

【 特許文献 8 】 米国特許公開公報 2 0 0 7 - 2 1 8 7 0 2 号

【 特許文献 9 】 特表 2 0 0 8 - 5 1 6 4 2 8 号公報 ( U S 2 0 0 6 / 0 0 7 3 2 7 6 ) : 段落 0 0 3 5、図 1 ~ 4

【 特許文献 1 0 】 特開平 9 - 1 1 5 9 9 4 号 : 図 4、図 6、図 7

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 9 】

上記のように複数枚のウエハを真空容器内の回転テーブルに回転方向に配置して成膜処理を行う装置において、発明者は図 2 に示す構成を検討している。この図 2 を参照しながら成膜装置の構成を具体的に説明する。図 2 は回転テーブル 2 の回転方向に装置を縦断して展開した展開図である。図中 3 1 は B T B A S ガスの供給手段である第 1 の反応ガスノズルであり、この第 1 の反応ガスノズル 3 1 の下方の領域が第 1 の処理領域 P 1 として構成されている。また 3 2 は第 2 の反応ガス例えばオゾンガスを供給する手段である第 2 の反応ガスノズルであり、この第 2 の反応ガスノズル 3 2 の下方領域が第 2 の処理領域が P 2 として構成されている。4 1 , 4 2 は分離ガス供給手段である分離ガスノズルである。これら反応ガスノズル及び分離ガスノズルは回転テーブル 2 上に、その回転テーブル 2 の径方向に伸びるように形成されており、下方に向けて前記径方向に沿って成膜ガスである B T B A S ガス、分離ガスである窒素ガスを夫々吐出する。分離ガスノズル 4 1、4 2 の両側には、天井から下方に突出した扇状の凸状部 4 が設けられ、この凸状部 4 と回転テーブル 2 との間の狭い空間が分離領域 D となる。

【 0 0 2 0 】

分離領域Dの圧力の低下を防ぐために、吐出された前記窒素ガスは分離領域Dから直接排気されず、処理領域に向かった後に排気されるようになっている。具体的に説明すると、図17に実線の矢印で示すように分離領域Dから回転テーブル2の回転方向の下流側に向かって流れて処理領域P1に向かった窒素ガスは、第1の反応ガスノズル31の上方を乗り越えて、反応ガスノズル31とその上方の天井面45との間に設けられた隙間Rを通過し、その反応ガスノズル31からさらに前記回転方向下流側における当該回転テーブル2の外側位置に設けられた排気口に反応ガスノズル31から吐出されたBTBASガスと共に流入して排気される。図1中Cは中心部領域であり、この中心部領域Cには、第1の処理領域P1と第2の処理領域P2との雰囲気とを分離するために、回転テーブル2の基板載置側に分離ガスを吐出する吐出孔が設けられている。分離ガスとしては例えば窒素ガス等の不活性ガスが用いられる。

10

#### 【0021】

ところが、発明者は、この装置において検討の結果、以下の知見を得た。回転テーブル2の回転数が低い場合にはBTBASガスの分子が反応ガスノズル31の下方に飽和し、ウエハWに対して飽和吸着すると考えられるが、高いスループットを得るために回転テーブル2は例えば120rpm以上で高速回転する必要がある。しかし、このように回転数を高くすると、図17に実線の矢印でその流れを示すように窒素ガスが、その流速が高くなることにより反応ガスノズル31の下方に潜り込み、第1の処理領域P1におけるBTBASガス濃度が低下する。そうするとBTBASガスの飽和吸着は行われず、BTBAS分子のウエハWへの吸着量は当該処理領域P1におけるガスの濃度と接触時間とに比例するようになる。そして、この場合は上記のようにガス濃度が低下しているため、BTBASガス分子の吸着量が低下してしまう。

20

#### 【0022】

また、ある物体に向かって流れるガス流は流体力学上、物体のそのガス流を受ける側を正面側とすると、圧力が低い背面側へと回り込もうとする性質を有する。つまり、反応ガスノズル31に向かって流れて当該反応ガスノズル31の下方に潜り込んだ窒素ガスは回転テーブル2から見て上方へと舞い上がり、反応ガスノズル31の前記回転方向の下流側へと回り込む。このとき、図中点線の矢印でその流れを示すように、反応ガスノズル31から処理領域P1に吐出されたBTBASガスもその窒素ガスの流れに従い、回転テーブル2から上方へと舞い上がるので、処理領域P1におけるBTBASガス濃度が更に低くなると共にBTBASガスのウエハWへの接触時間が短くなり、結果としてBTBASガス分子の吸着量がさらに低下する。

30

#### 【0023】

これらの理由から反応ガスのウエハWへの接触時間を稼ぎ、反応ガス濃度の低下を防いで、反応ガスに含まれる分子を正常にウエハWに吸着させるためには回転テーブル2の回転数を制限することが必要になるので、スループットを十分に上昇させることができなくなる恐れがあった。

#### 【0024】

そこで、本発明者は、真空容器内にてウエハの表面に互いに反応する複数の反応ガスを順番に供給して反応生成物の層を多数積層して薄膜を形成し、ウエハが載置される回転テーブルの周方向に沿って設けられる第1の反応ガスが供給される第1の処理領域と、第2の反応ガスが供給される第2の処理領域とをこれら処理領域の雰囲気とを分離するための分離領域とを備えた成膜装置を開発した。

40

#### 【0025】

この成膜装置によれば、ALD成膜において、成膜速度の低下を抑えることができる成膜装置が出来たが、発明者はこの装置において、さらに以下の知見を得た。この反応チャンバ内で回転テーブルを高速で回転すると、ウエハがウエハ載置部である凹部より浮揚して、回転テーブルより飛び出す事を確認した。

このウエハが浮揚する原因についてウエハの挙動を観察する。ウエハの挙動を観測するプロセスパラメーターの一例として、ALDを処理する時のチャンバ内圧力は例えば、1

50



0 6 7 P a ( 8 t o r r ) であり、この時の反応ガス、分離ガスは以下の通りである、第 1 の処理領域 P 1 には、B T B A S ガスを 1 0 0 s c c m と、第 2 の処理領域 P 2 には、オゾンガスを 1 0 s l m と、分離空間 D が 2 箇所あり各々のガスは 2 0 s l m が流される。

よってチャンバ内には 1 0 0 倍以上の流量の差があり、この流量の差、すなわちガス供給と比例してチャンバ空間には 1 0 0 倍以上の圧力の差が生じている。

この圧力差のある空間を回転テーブルに載置されたウエハは、2 4 0 rpm の高速回転しながら反応領域 P 1 と反応領域 P 2 と反応領域を分離する 2 つの分離領域 D を交互に通過する事でウエハは浮揚してチャンバ内壁部等に接触して破損するおそれがある。

【 0 0 2 6 】

10

また、さらにウエハの挙動を観測すると、回転テーブルのウエハ載置部の凹部にウエハを載置したとき、ウエハの外周と、載置部の凹部内周には、ウエハを移載するために機械的精度の範囲で隙間がある。この隙間に反応ガスや、分離空間で使用する分離ガスが 1 0 s l m で隙間へ吹き込み、前記に述べた圧力の差と、あわせてウエハを浮揚させる確率を高めることになる。

【 0 0 2 7 】

発明者は、ウエハの浮揚現象を防止するために、ウエハの係止機構を考えたが、この係止機構には、ウエハ浮揚のための、ウエハ周囲を爪状の構造物が必要になる。しかし、A L D 成膜の真空条件は、1 0 6 7 P a ( 8 t o r r ) と粘性流領域であり、ウエハを係止する爪状の構造物が反応ガスや、分離空間 D の間より吐出する分離ガスの流れを乱して、ウエハ表面に縞模様を形成する事になる。

20

【 0 0 2 8 】

また、この時、回転テーブルに載置されたウエハには、遠心力の作用もあることは周知の通りである。本発明はこのような圧力差、ガスの吐出し、遠心力の作用による浮揚防止と、その浮揚防止機構が与える、A L D 成膜の不均一性をなくす成膜装置の提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 9 】

本発明は、真空容器内にて互いに反応する少なくとも 2 種類の反応ガスを順番にウエハの表面に供給しかつこの供給サイクルを実行することにより反応生成物の層を多数積層して薄膜を形成する成膜装置において、前記真空容器内に設けられた回転テーブルと、前記回転テーブルにウエハを載置するために設けられたウエハ載置領域と、前記回転テーブルの回転方向に互いに離れて設けられ、前記回転テーブルにおける前記ウエハの載置領域側の面に夫々第 1 の反応ガス及び第 2 の反応ガスを供給するための第 1 の反応ガス供給手段及び第 2 の反応ガス供給手段と、前記第 1 の反応ガスが供給される第 1 の処理領域と第 2 の反応ガスが供給される第 2 の処理領域との雰囲気とを分離するために前記回転方向においてこれら処理領域の間に位置する分離領域と、前記第 1 の処理領域と前記第 2 の処理領域との雰囲気を分離するために真空容器内の中心部に位置し、回転テーブルのウエハ載置面側に分離ガスを吐出する吐出孔が形成された中心部領域と、前記分離領域の両側に拡散する分離ガス及び前記中心部領域から吐出する分離ガスとともに前記反応ガスを排気するための排気口と、前記分離領域は、分離ガスを供給するための分離ガス供給手段と、前記分離ガス供給手段の前記回転方向両側に位置し、当該分離領域から処理領域側に分離ガスが流れるための狭隘な空間を回転テーブルとの間に形成するための天井面と、前記ウエハ載置部に設けられた前記ウエハを昇降するための昇降機構と、を備え、前記昇降機構は、前記回転テーブルに対し上下方向に移動すると共に、回転テーブルの半径方向にも移動することを特徴とする。

30

40

【 0 0 3 0 】

また、本発明は、互いに反応する少なくとも 2 種類の反応ガスを順次ウエハの表面に供給するサイクルを複数回行うことにより、反応生成物を積層させて薄膜を形成する成膜装置において、真空容器内に設けられた回転テーブルと、前記回転テーブルの同一円周上に

50

前記ウエハを載置するため回転テーブルに設けられた複数のウエハ載置部と、前記真空容器内の前記ウエハ載置部の形成された側に設けられた第1の反応ガスを供給するための第1の反応ガス供給手段と、前記真空容器内の前記ウエハ載置部の形成された側であって、前記第1の反応ガス供給手段に対し離れた位置に設けられた第2の反応ガスを供給するための第2の反応ガス供給手段と、前記第1の反応ガス供給手段により第1の反応ガスが供給される第1の処理領域と、前記第2の反応ガス供給手段により第2の反応ガスが供給される第2の処理領域とを分離するために、第1の処理領域と第2の処理領域との間に設けられた第1の分離ガスを供給するための第1の分離ガス供給手段と、前記真空容器の外部より真空容器の内部に前記ウエハを搬送するために前記真空容器の側壁に設けられたゲートバルブにより開閉する搬送口と、前記搬送口において前記ウエハを搬送するためのウエハ保持アームを備えていることを特徴とする。

10

#### 【0031】

また、本発明は、互いに反応する少なくとも2種類の反応ガスを順次ウエハの表面に供給するサイクルを複数回行うことにより、反応生成物を積層させて薄膜を形成する成膜方法において、真空容器の外部より搬送口を介し前記ウエハを搬送し、真空容器内部の回転テーブルにウエハを載置するために設けられたウエハ載置部において、回転テーブルの中心より最も離れた位置にウエハを各載置する工程と、前記回転テーブルを回転させる工程と、前記真空容器内に互いに離れて設けられた第1の反応ガス供給手段及び第2の反応ガス供給手段から、回転テーブルにおけるウエハ載置部の形成された面に、第1の反応ガス及び第2の反応ガスを供給すると共に、第1の反応ガス供給手段と第2の反応ガス供給手段との間に設けられた分離ガス供給手段により分離ガスを供給し、成膜を行う工程と、を含むことを特徴とする。

20

#### 【0032】

また、本発明は、互いに反応する少なくとも2種類の反応ガスを順次ウエハの表面に供給するサイクルを複数回行うことにより、反応生成物を積層させて薄膜を形成する成膜方法において、真空容器の外部より搬送口を介し搬送された前記ウエハを載置するために回転テーブルに凹状に形成されたウエハ載置部において設けられた昇降機構上に置く工程と、前記ウエハを置く工程の終了後、前記昇降機構が下降することにより、前記回転テーブルの表面よりも低い位置にウエハを移動させる第1下降移動工程と、前記第1下降移動工程の終了後、前記昇降機構を前記回転テーブルの半径方向であって、外側方向に移動させることにより、前記ウエハが前記ウエハ載置部の壁面に接触又は近接させる水平移動工程と、前記水平移動工程の終了後、前記昇降機構が下降し、前記ウエハを前記ウエハ載置部の底部に載置する第2下降移動工程と、前記第2下降移動工程の終了後、前記回転テーブルを回転させる工程と、前記真空容器内に互いに離れて設けられた第1の反応ガス供給手段及び第2の反応ガス供給手段から、回転テーブルにおけるウエハ載置部の形成された面に、第1の反応ガス及び第2の反応ガスを供給すると共に、第1の反応ガス供給手段と第2の反応ガス供給手段との間に設けられた分離ガス供給手段により分離ガスを供給し、成膜を行う工程と、を含むことを特徴とする。

30

また、外側方向にウエハを直接載置しても良い。この場合、ウエハの載置が可能な空間を残して載置を行うことを特徴とする。

40

#### 【0033】

また、本発明は、互いに反応する少なくとも2種類の反応ガスを順次ウエハの表面に供給するサイクルを複数回行うことにより、反応生成物を積層させて薄膜を形成する成膜方法において、

反応ガスや、反応ガスを分離するための不活性ガスは、大流量でウエハ載置部である凹部とウエハ円周の隙間に噴射されて、噴射されたガスはウエハWの裏面に回り込んでウエハWを浮揚させる、この吐出により浮揚を抑制するためにウエハ裏面と、凹部の表面に溝もしくは凹凸を設けて、吐出された不活性ガスを、反対側に導く事で浮揚を抑制する事を特徴とする。

#### 【0034】

50

また、本発明は、互いに反応する少なくとも２種類の反応ガスを順次ウエハの表面に供給するサイクルを複数回行うことにより、反応生成物を積層させて薄膜を形成する成膜方法において、

載置されたウエハは、複数の反応領域と、複数の分離領域を持つ、真空容器において、各々の領域において各々圧力が異なる領域を回転テーブルに載置されたウエハが回転する時に発生するウエハが浮揚する現象がある。この現象を抑制するために、回転テーブルに凹部を設け、ウエハに載置部とする。ウエハは、載置部に載置されると同時に、ウエハ円周部をクランプリングにて係止してウエハの浮揚を抑制する係止機構を備える事を特徴とする。

#### 【００３５】

また、本発明は、互いに反応する少なくとも２種類の反応ガスを順次ウエハの表面に供給するサイクルを複数回行うことにより、反応生成物を積層させて薄膜を形成する成膜方法において、

この時にウエハ粘性流領域の真空度で成膜を行なうＡＬＤ成膜では、上記係止機構を具備すると、反応ガスは、流れの障害となる構造物がウエハの近傍あると、成膜の均一性は悪くなる。よって、係止機構の形状は、例えば流線形状にして反応ガスの流れに乱流を引き起こさない形状とし、

また、係止機構と、回転テーブルの表面と、ウエハの表面との高さの位置関係からも、反応ガスの乱れを起こさないことを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【００３６】

本発明によれば、ウエハの表面に互いに反応する複数の反応ガスを順次供給して反応生成物からなる層を積層することにより薄膜を形成する場合において、高速で回転する回転テーブルに載置されたウエハの飛び出しを防止して成膜されるウエハの割れや欠けを防止することができる。これにより、不良品の発生を防ぐと共に、パーティクル等の発生を防ぎ、清浄な環境において成膜の行うことが可能となるため、コンタミネーションの混入を極力減らすことができ、不純物が混入しない高品質な薄膜の成膜を行うことが可能となる。

#### 【００３７】

更に、他の発明によれば高速で回転する回転テーブルに設けたウエハを載置する凹部の中でウエハが移動したり、振動したりすることを防止して成膜されるウエハの割れや欠けを防止することができる。これにより、不良品の発生を防ぐと共に、パーティクル等の発生を防ぎ、清浄な環境において成膜の行うことが可能となるため、コンタミネーションの混入を極力減らすことができ、不純物が混入しない高品質な薄膜の成膜を行うことが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【００３８】

【図１】本発明の実施の形態に係る成膜装置の縦断面図

【図２】上記の成膜装置の内部の概略構成を示す斜視図

【図３】上記の成膜装置の横断平面図

【図４】上記の成膜装置における処理領域及び分離領域を示す縦断面図

【図５】ウエハと凹部２４の径の差異

【図６】上記の成膜装置の一部破断斜視図

【図７】ウエハと凹部２４のウエハ接触面の溝形状と凸状突起物

【図８】上記の成膜装置のウエハ昇降ピン、クランプリング昇降ピン断面外略図

【図９】クランプリングの断面形状

【図１０】上記クランプリングの他の例

【図１１】クランプリング、爪形状概略図

【図１２】ウエハクランプと、ウエハ表面、サセプタ表面の高さ位置関係及び、ウエハクランプのウエハ表面の接触方法の形態

10

20

30

40

50

【図 1 3】ウエハ昇降ピン、クランプリング昇降ピン機構断面図

【図 1 4】画像処理にて変心移載の実施例

【図 1 5】ウエハクランプを押し上げてウエハ移載を行なうシーケンス図

【図 1 6】本発明の成膜装置を用いたウエハ処理システムの一例を示す概略平面図である

。【図 1 7】第 1 の反応ガス及び、第 2 の反応ガス及び、分離ガスの流れを示す。

【発明を実施するための形態】

【0039】

本発明の実施の形態である成膜装置は、図 1 に示すように平面形状が概ね円形である扁平な真空容器 1 と、この真空容器 1 内に設けられ、当該真空容器 1 の中心に回転中心を有する回転テーブル 2 と、を備えている。真空容器 1 は天板 1 1 が容器本体 1 2 から分離できるように構成されている。天板 1 1 は、内部の減圧状態により封止部材例えば O リング 1 3 を介して容器本体 1 2 側に押し付けられていて気密状態を維持しているが、天板 1 1 を容器本体 1 2 から分離するときには図示しない駆動機構により上方に持ち上げられる。

【0040】

回転テーブル 2 は、中心部にて円筒形状のコア部 2 1 に固定され、このコア部 2 1 は、鉛直方向に伸びる回転軸 2 2 の上端に固定されている。回転軸 2 2 は真空容器 1 の底面部 1 4 を貫通し、その下端が当該回転軸 2 2 を鉛直軸回りにこの例では時計方向に回転させる駆動部 2 3 に取り付けられている。回転軸 2 2 及び駆動部 2 3 は、上面が開口した筒状のケース体 2 0 内に収納されている。このケース体 2 0 はその上面に設けられたフランジ部分が真空容器 1 の底面部 1 4 の下面に気密に取り付けられており、ケース体 2 0 の内部雰囲気と外部雰囲気との気密状態が維持されている。

【0041】

回転テーブル 2 の表面部には、図 2 及び図 3 に示すように回転方向（周方向）に沿って複数枚例えば 5 枚のウエハであるウエハ W を載置するための円形状の載置部をなす凹部 2 4 が設けられている。なお図 4 には便宜上 1 個の凹部 2 4 だけにウエハ W を描いてある。ここで図 4 は、回転テーブル 2 を同心円に沿って切断しかつ横に展開して示す展開図であり、ウエハ W を載置する凹部 2 4 は、図 5 に示すようにその直径がウエハ W の直径よりも僅かに例えば 4 mm 大きく、またその深さはウエハ W の厚みと同等の大きさに設定されている。従ってウエハ W を凹部 2 4 に落とし込むと、ウエハ W の表面と回転テーブル 2 の表面（ウエハ W が載置されない領域）とが揃うことになる。ウエハ W の表面と回転テーブル 2 の表面との間の高さの差が大きいとその段差部分で圧力変動が生じることから、ウエハ W の表面と回転テーブル 2 の表面との高さをそろえることが、膜厚の面内均一性をそろえる観点からの好ましい。ウエハ W の表面と回転テーブル 2 の表面との高さを揃えとは、同じ高さであるかあるいは両面の差が 5 mm 以内であることをいうが、加工精度などに応じてできるだけ両面の高さの差をゼロに近づけることが好ましい。凹部 2 4 の底部には、ウエハ W の裏面を支えて当該ウエハ W を昇降させるための例えば後述する 3 本の昇降ピン 1 6（図 6 参照）が貫通する通過孔が形成されている。

【0042】

凹部 2 4 の円周部と、載置されたウエハの周縁部との隙間へ、反応ガスや不活性ガスの多量のガスの噴射で、ウエハが吹き上げられる。これを抑制するために凹部 2 4 の表面（底面）に、図 7（a）（b）に示すように放射状の連通溝 2 4 a を具備して、回転させると円周部とウエハ周縁部より吹き込まれたガスを放射状の連通溝とおしてガスを迂回させてウエハの浮揚を抑制するようにしてもよい、また、連通溝の代わりに図 7（a）（c）に示すようにして、凸 2 4 b を島状に設けてウエハの裏面側にガスの通過空間を確保してもよい。

【0043】

凹部 2 4 はウエハ W を位置決めして回転テーブル 2 の回転に伴う遠心力により飛び出さないようにするためのものであり、本発明のウエハ載置部に相当する部位であるが、ウエハ載置部は、凹部に限らず例えば回転テーブル 2 の表面にウエハの周縁をガイドするガ

10

20

30

40

50

イド部材、であってもよい。回転テーブル 2 には、図 1 3 に示すように各凹部 2 4 に対応してウエハ昇降用の昇降ピン 1 6 が通過するための貫通孔 1 6 a と、クランプリング昇降用の昇降ピン 1 7 が貫通する貫通孔 1 7 a とが形成されている。貫通孔 1 6 a は例えば凹部 2 4 の底面に 3 ヶ所形成され、貫通孔 1 7 a は凹部の周囲に 4 ヶ所形成されている。図 8 は凹部 2 4 a 及びその周囲部分を示しており、昇降ピン 1 6、1 7 とクランプリング 1 8 とを示している。クランプリング 1 8 は凹部 2 4 の周囲からウエハ載置空間に跨っている幅寸法に形成されると共に例えば凹部 2 4 の周方向に沿ったリング状に形成され、昇降ピン 1 7 により昇降されるように構成されている。このクランプリング 1 8 は昇降ピン 1 7 が下降したときに凹部 2 4 内のウエハ W の表面周縁部に対向して、回転テーブル 2 の回転時にウエハ W の飛び出しを防止する係止部をなすものである。即ち、クランプリング 1 8 は昇降ピン 1 7 により昇降され、昇降ピン 1 7 が下降したときに、凹部 2 4 内のウエハ W の表面周縁部に接触する。従ってクランプリング 1 8 の内径はウエハ W の外径よりも小さい。回転テーブル 2 の停止時においてクランプリング 1 8 の下面はウエハの表面に接触していることに限らず、隙間があってもよい、またクランプリング 1 8 においてウエハ W の表面に係止する部位は、ウエハ W の全周に亘っていることに限らず、後述の図 1 1 に示すように、リング本体から内方に突出するように複数個所に爪を形成し、この爪によりウエハ W を係止する構造であってもよい。

クランプリング 1 8 は、図 9 ( a ) に示す構造でもよいが、気流を乱しやすいことから、図 9 ( b ) に示すようにウエハの表面を流れる反応ガス及び分離ガスの気流を乱す程度が小さい、断面が円弧形状のクランプリングであることが好ましい。

図 9 に符号 2 4 p で示す部材は、回転テーブル 2 の凹部 2 4 の底面に適合する形状の台座 ( 板状部材 ) である。ウエハ W はこの台座 2 4 p の上に載置され、台座 2 4 p は回転テーブル 2 における昇降ピン 1 6 の貫通孔 1 6 a を塞いでいる。昇降ピン 1 7 は、台座 2 4 p を突き上げて台座 2 4 p ごとウエハ W を持ち上げる。台座 2 4 p はウエハ W よりも小さいサイズに形成されており、外部の搬送アーム 1 0 ( 図 3 参照 ) は、台座 2 4 p が存在しないウエハ W の周縁下面を保持することにより、台座 2 4 p との間の受け渡しを行うことができる。台座 2 4 p の重量は、成膜処理が行われているとき回転テーブル 2 の下方側のパージガスの圧力により浮上しないように設定されている。

図 1 0 に、上記クランプリングの形状の他の例を示す。図 1 0 ( a ) ( b ) ( c ) は、成膜によって異なる反応ガスの種類によって、最良の形状を選択する事が可能である。

#### 【 0 0 4 4 】

クランプリング 1 8 はウエハ W を、回転テーブル 2 の回転に伴う遠心力とチャンバ内に存在する圧力差によるウエハ W の浮揚により飛び出さないようにするためのものであり、図 1 1 ( a ) に示すようにリング本体に各々内方に突出する爪 2 5 を周方向に複数 ( 図 1 1 では 4 個 ) 間隔をおいて設け、これら爪 2 5 によりウエハの周縁部を係止するようにしてもよい。この場合、クランプリング 1 8 の内径は、ウエハ W の外径よりも大きくし ( 例えば直径 3 0 0 m m ウエハに対して直径 3 0 0 m m + ( 1 m m ~ 5 m m ) ) している。図 1 1 ( b ) は爪 2 5 の配置を、回転テーブル 2 の回転中心を中心とする円 ( 矢印で示す線 ) 上に合わせた位置とし、ガス気流を極力乱さない形状としている。図 1 1 に記載した爪 2 5 を含むクランプリング 1 8 の構造は、図 9 のクランプリング 1 8 に対応しているが、図 1 2 に示すクランプリングに対応させる場合には、爪 2 5 をなす係止片をクランプリング 1 8 の上面に溶接し、この係止片をリング 1 8 の内方に突出させる構成とすればよい。図 1 1 ( c ) に示すように反応ガスがウエハ裏面に回り込みウエハの裏面への成膜を抑制するためにウエハの円周を全て覆う形状を持つクランプリング 2 6 の形状もある。図 1 1 ( c ) の形状によれば、反応ガスがウエハ W の裏面に回り込んで成膜されることを抑えることができる。これらは、前記に示すよう、反応ガスの種類によって最良の形状を選択する事が可能である。

#### 【 0 0 4 5 】

回転テーブル 2 の表面上を流れる、反応ガス気流を整流するための機構を図 1 2 ( a ) ~ ( f ) に示す。

図 1 2 ( a ) ~ ( c ) は、回転テーブル 2 の表面とクランプリングを同一面にする機構、この時、

図 1 2 ( a ) は、ウエハクランプのウエハに接触する面と、ウエハ表面は面接触をしている。

図 1 2 ( b ) は、ウエハクランプのウエハに接触する面と、ウエハ表面は接触をしない。

図 1 2 ( c ) は、ウエハクランプのウエハに接触する面と、ウエハ表面は点接触をするものである。

図 1 2 ( d ) ~ ( f ) は、回転テーブル 2 とウエハ表面は同一で、ウエハクランプが高くなる機構、この時、

図 1 2 ( d ) は、ウエハクランプのウエハに接触する面と、ウエハ表面は面接触をしている。図 1 2 ( e ) は、ウエハクランプのウエハに接触する面と、ウエハ表面は接触をしない。

図 1 2 ( f ) は、ウエハクランプのウエハに接触する面と、ウエハ表面は点接触をするものである。

#### 【 0 0 4 6 】

更に真空容器 1 の側壁には図 2、図 3 及び図 5 に示すように外部の搬送アーム 1 0 と回転テーブル 2 との間でウエハであるウエハ W の受け渡しを行うための搬送口 1 5 が形成されており、この搬送口 1 5 は図示しないゲートバルブにより開閉されるようになっている。また回転テーブル 2 におけるウエハ載置部である載置部の凹部 2 4 はこの搬送口 1 5 に臨む位置にて搬送アーム 1 0 との間でウエハ W の受け渡しが行われることから、回転テーブル 2 のウエハ載置部の下方側において当該受け渡し位置に対応する部位に、載置部の凹部 2 4 を貫通してウエハ W を裏面から持ち上げるための受け渡し用の昇降ピン 1 6 を上下に動かす昇降機構 1 9 ( 図 1 3 参照 ) が設けられる。この昇降機構 1 9 は図 3 に示す制御部 1 0 0 からの制御信号により制御される。

#### 【 0 0 4 7 】

また、ウエハの浮揚を制限するクランプリング 1 8 に対しても回転テーブル 2 の載置部の下方側において当該受け渡し位置に対応する部位に、凹部周辺部を貫通してクランプリング 1 8 を裏面から持ち上げるための受け渡し用の昇降ピン 1 7 が図 1 3 に示すように設けられる。この例では昇降ピン 1 6、1 7 の長さを変え、昇降機構 1 9 は昇降ピン 1 6、1 7 に対して共用化されている。

#### 【 0 0 4 8 】

次に上述実施の形態の作用について説明する。先ず図示しないゲートバルブを開き、外部から搬送アーム 1 0 により搬送口 1 5 を介してウエハ W を回転テーブル 2 のウエハ載置部、載置部の凹部 2 4 内に受け渡す。この受け渡しは、載置部の凹部 2 4 が搬送口 1 5 に臨む位置に停止したときに図 6 に示すように載置部の凹部 2 4 の底部の貫通孔を介して真空容器の底部側からウエハ昇降ピン 1 6 とクランプリング昇降ピン 1 7 が昇降することにより行われる。

#### 【 0 0 4 9 】

本実施の形態、図 5 において使用したウエハ W の直径は 3 0 0 mm であり、凹部 2 4 の直径は 3 0 4 mm である。よって、凹部 2 4 がウエハ W よりも 4 mm 大きい。遠心力による載置部の凹部 2 4 内でのウエハの移動を抑制する為に、移載載置が機械的精度が可能な距離に最初からウエハを円周方向に偏心した形で移載する方法を述べる。ウエハをウエハ昇降ピン 1 6 上に載置する前に、図 1 4 に示す例えば C C D カメラ 1 0 4 を含む位置検出手段により、凹部 2 4 の円周位置を測定して、円周部位置データーを図 3 に示す制御部 1 0 0 へ送信する。送信された制御部 1 0 0 は、一時保管エリアに凹部円周位置検出データーを保管する。保管された凹部円周位置検出データーを元に、ウエハ移載アームの送り量を、制御部 1 0 0 に保管された凹部円周位置検出データーより円周方向へ載置できる数値を演算した上でアームの送り量を決定して、ウエハをウエハ昇降ピンの上に載置する。載置されたウエハ昇降ピンは、凹部に向かい下降して、ウエハは、凹部 2 4 の壁部における回転テーブル 2 の外周に近い部分に、近づけて載置が可能となる。即ち C C D カメラ 1 0 4

は固定されており、取得した画像の各画素のX-Y方向の位置は、搬送アーム10の駆動系の座標原点に対応する位置になっている。従って凹部の輪郭である円の座標をCCDカメラ104の撮影結果から求めることにより、制御部は、凹部内の所定位置（凹部の中心に対してウエハの中心が回転テーブルの回転に伴う遠心力の作用する方向に変移した位置）にウエハが置かれるように搬送アーム10を制御することになる。この所定位置は制御部のメモリ内に予め記憶されており、ウエハが凹部の側壁に当たるかあるいは極めて近い位置である。

#### 【0050】

図13に示すように、本実施の形態では、回転テーブル2のウエハ載置部、載置部の凹部24において、ウエハWの受け渡しのための昇降ピン16を上下方向、及び半径方向に移動させるための昇降機構19が設けられている。この昇降機構19は、図3に示す制御部100からの制御信号に基づき動作の制御がなされる。具体的な動作は、3本の昇降ピン16の昇降させることが可能である。また3本の昇降ピン16を同時に半径方向に移動させるようにしてもよく、この場合には搬送アーム10によりウエハの中心と凹部の中心とを合わせるようにウエハを移載し、その後昇降ピン16によりウエハを持ち上げて昇降させることになる。尚、昇降ピン16のみが上下方向の移動、及び半径方向の移動を行う構成であってもよいし、昇降ピン16及び昇降ピン移動部が一体となって、上下方向の移動を行う構成である。

#### 【0051】

次に、図15に、本実施の形態におけるウエハWの受け渡しの手順について説明する。尚、本実施の形態において使用したウエハWの直径は300mmであり、載置部の凹部24の直径は304mmである。よって、載置部の凹部24がウエハWよりも4mm大きい。

#### 【0052】

図15(a)は、移載を開始する前の状態で、回転テーブルは、位置検出手段により回転テーブルに開けられた貫通孔にウエハ昇降ピン16、クランプリング昇降ピン17、が通る位置で停止している。搬送アーム10に乘せられているウエハWは、ウエハケース（図示せず）より1枚取り出してきている状態から示す。

#### 【0053】

図15(b)は、ウエハ載置部に開けられた通過孔にクランプリング昇降ピン17より入り、図15(c)でクランプリング18を持ち上げる状態になる、同時にウエハ昇降ピン16は、ウエハを受け取る位置で、搬送アーム10に乘せられたウエハWを待つ。図15(d)で、搬送アーム10に乘せられたウエハWは、ウエハ昇降ピン16の真上で停止する。

#### 【0054】

この時、位置検出部で取得した当該ウエハが載置される凹部の円周位置のデータに基づいて、凹部の中心よりも回転テーブルの径方向外側に偏移した位置の真上にウエハが位置するように搬送アーム10の停止位置を制御し次いで搬送アーム10を下降させて図15(e)でウエハ昇降ピン16の上に載置する。ウエハWをウエハ昇降ピンへ移した後に、図15(f)搬送アームは更に下降して、図15(g)の搬送アーム10が引き出せる位置まで下降して、引き抜く。

#### 【0055】

図15(h)にて搬送アーム10は、回転テーブルより離れ、クランプリング昇降ピン17、ウエハ昇降ピン16は下降を始める、図15(i)でウエハ載置位置にウエハは、載置される。図15(j)で、クランプリング18は、ウエハの円周に係止するように載置される。クランプリング昇降ピン17は、クランプリング18を載置した後、図15(k)で回転テーブル2の下部に戻り、回転テーブル2は回転可能になる。

こうしてこの例では5枚のウエハWが各凹部24内に載置されると、真空容器1内の処理雰囲気は所定の真空度になるように真空排気される。そしてウエハWの温度が所定のプロセス温度に安定する時間が経過した後、あるいはウエハWの温度がプロセス温度に安定

10

20

30

40

50

したことを図示しない温度検出部で検出した後、回転テーブル 2 を回転させる。この回転に伴って、第 1 の反応ガスノズル 3 1 及び第 2 の反応ガスノズル 3 2 から例えば B T B A S ガス及びオゾンガスを夫々供給する。一方分離ガスノズル 4 1、4 2 から分離ガスを供給し、これにより、第 1 の処理領域 P 1 及び第 2 の処理領域 P 2 に夫々供給された B T B A S ガス及びオゾンガスが凸状部 4 と回転テーブル 2 との間の狭隘ない空間から吐出する分離ガス (N<sub>2</sub>) ガスにより混合が防止される。そしてウエハ W は、B T B A S ガスの吸着と、吸着された B T B A S ガスとオゾンガスとの反応が繰り返されて薄膜成分が積層され成膜処理が進行する。

【0056】

ウエハ W は、回転テーブル 2 の半径方向における外周方向において、回転テーブル 2 の凹部 2 4 の壁面と接触又は近接しているため、回転テーブル 2 が高速で回転しても、遠心力によりウエハ W が回転テーブル 2 の載置部の凹部 2 4 の壁面と強くぶつかることはないため、ウエハ W の割れの発生や、カケが生じる可能性は極めて低い。このため、ウエハ W と回転テーブル 2 の載置部の凹部 2 4 の壁面との接触することにより生じるパーティクルの発生を防止することができ、これに起因して生じる装置内の環境汚染や成膜される膜中への不純物の混入を防止することができる。

【0057】

またこの実施の形態の成膜装置は、装置全体の動作のコントロールを行うためのコンピュータからなる制御部 100 が設けられ、この制御部 100 のメモリ内は装置を運転するためのプログラムが格納されている。このプログラムは後述の装置の動作を実行する用に

【0058】

以上述べた成膜装置を用いたウエハ処理装置について図 16 に示しておく。図 16 中、101 は例えば 25 枚のウエハを収納するフープと呼ばれる密閉型の搬送容器、102 は搬送アーム 103 が配置された大気搬送室、104、105 は大気雰囲気と真空雰囲気との間で雰囲気が切り替え可能なロードロック室 (予備真空室)、106 は、2 基の搬送アーム 107 a、107 b が配置された真空搬送室、108、109 は本発明の成膜装置である。搬送容器 101 は図示しない載置部を備えた搬入搬出ポートに外部から搬送され、大気搬送室 102 に接続された後、図示しない開閉機構により蓋が開けられて搬送アーム 103 により当該搬送容器 101 内からウエハが取り出される。次いでロードロック室 104 (105) 内に搬入され当該室内を大気雰囲気から真空雰囲気に切り替え、その後搬送アーム 107 a 又は 107 b によりウエハが取り出されて成膜装置 108、109 の一方に搬入され、既述の成膜処理がされる。このように例えば 5 枚処理用の本発明の成膜装置を複数個例えば 2 個備えることにより、いわゆる A L D (M L D) を高いスループットで実施することができる。

【0059】

以上のような成膜装置の構成においてウエハが飛び出す原因として考えられることは、

例えば、反応領域 P 1 の反応ガスは B T B A S でこの場合、100 s c c m、反応領域 P 2 の反応ガスはオゾンの場合、10 s l m、この時の各々反応領域を分離するための分離ガスは、10 s l m、さらに中心部より反応ガスの混合を防ぐために中心部よりも 10 s l m を流す。また、チャンバ圧力は 8 t o r r、回転テーブルの回転数は、240 r p m とすると、反応ガス、分離ガスは図 17 に示す矢印のような流れを形成する。

同時に、チャンバ内は、各々の圧力が異なり、ウエハを係止しないで回転テーブルに載置するとウエハは浮揚して破損するおそれがある。

【0060】

第 17 図を用いて本件他の実施例の成膜装置の特徴を述べる。この例は、凹部 2 4、昇降

10

20

30

40

50



ピン 16, 17 クランプリング 18 の構造やウエハの移載の手法については先の実施形態と全く同じである。

成膜装置の複数の処理領域のうち第二の処理領域 P2 の面積が、第一の処理領域 P1 の面積に比較して 2 倍以上大きく、具体的には回転中心から見た扇形の P2 の中心角度が約 180 度となっている。更に、この第二処理領域 P2 における第二の反応ノズル 32 の位置が、回転テーブルの回転方向の上流側前半の中に位置しており、排気領域 6 が下流側下流側後半に位置し、この排気領域 62 の中に、排気口 62 が設けられている。

この構成を取ることでより分離領域 D の約中央に配置された分離ガスノズル 42, 41 から供給された窒素ガスと、第二の反応ガスノズルから供給したオゾンガスとが共に実線矢印の通り排気される。

この気流の流れは回転テーブルに保持されて回転するウエハ表面に於いて、第一の処理領域 P1 で第一の反応ガスノズル 31 から供給された BTBAS ガスが

前記ウエハ表面に吸着された状態で、第二の処理領域の内部に入ってきて、最も長い時間、オゾンガスが前記ウエハに対して供給され、BTBAS ガスとオゾンガスによる酸化反応が、約 180 度の中心角度を持つ扇形の処理領域を時間を要して通過することで反応を促進するのに適した時間的・空間的処理空間を提供することが出来、一回転あたりの成膜速度を大きく向上させることが出来る。従って均等割りした同じ面積の処理空間を複数も受ける技術に比較して成膜速度が向上できる技術を提供できる。

#### 【0061】

第 17 図に於いて、回転中心 C からは、不活性ガスが実線矢印の通り放射状に真空容器内部に供給されているので、処理領域に供給されるプロセスガスが回転中心に存在する回転テーブルの回転機構のメカに作用して反応副生成物を付着させたり、酸化作用というメカによくない作用を避けることができる、更に中央から供給される不活性ガスは前記分離領域 D から供給される不活性ガスと共同して一体化して、処理領域に供給されるプロセスガスが、ウエハ表面以外の真空容器内部で混合し、反応することを防止している。

#### 【0062】

ALD プロセスの第一のプロセスガスは、BTBAS を使用して、第一反応ノズル 31 から、真空容器内の第一の処理領域 P1 の内部に導入される。第一の反応ノズルを真空容器の側壁 8 (チャンバウォール) から回転テーブルの中心領域 C に導入する構成とすることで、第一の処理領域 P1 の内部を流れるガスの流れ (実線の矢印) を遮ることが最小限となり、前記気流の流れがスムーズに第一の処理領域 P1 を横断して、第一の処理領域の外周側であり、かつ回転テーブルの外周側に設けられた排気領域 6 の中の排気口 61 の中に流れることを達成するが出来る効果がある。第一の処理領域の回転テーブル 2 における両側には、二つの分離領域 D がそれぞれ設けられている。これらの分離領域の中央には窒素ガスノズル 41 及び 42 が設けられ不活性ガスである N3 が回転テーブルの方向に噴射される構成となっている。不活性ガスは分離領域 D と回転テーブル 2 との間に設けられたきわめて狭隘な空間の中で広がり、隣接する第一の処理領域 P1 と第二の処理領域 P2 の方向に排気される気流の流れを形成して、前記処理ガスに供給されるプロセスガスが分離領域 D の中に入り込前記狭隘な空間のなかで反応しない構成となつて入る。この技術は発明者らの創意工夫の結果、分離領域の外周側であつて、かつ回転テーブル 2 の外周側における真空容器の側壁 (チャンバウォール) と分離領域との間の隙間を、回転テーブルがスムーズに回転するには十分な間隔ではあるが、ガスの排気空間としては働きにくい狭い隙間とすることと、第一の処理領域 P1 の外周に設けた排気口 61 と第二の処理領域 P2 の外周に設けた排気口 62 の方向に、処理領域内に於いて供給されるプロセスガスと隣接する分離領域から供給される不活性ガス (窒素ガス) の両者を排気することで達成できることを見出した。この両者のガスを排気口 61, 62 に流す気流の流れ (第 17 図の実線の矢印で図面中に記載してある) により、次の 3 つの効果を達成することが出来る。

第一の効果: 反応ガスノズル 31, 32 から供給されたプロセスガスが回転テーブル上に載置されたウエハに供給され表面反応に使用されると、ノズルの配置に対して、交差する方向で前記ガスの気流の流れが形成されるので、常にウエハ上に新たなガスを供給するこ

10

20

30

40

50

とが出来る。言い換えると隣接したノズル内の開口孔から供給されるプロセスガスを使用済みのガス（反応に使用されたガス）により新たに供給されるプロセスガスが邪魔されない。

第二の効果：処理領域に供給されたプロセスガスが、分離領域の中に入り込んで、反応を起こすことをなくすことが出来る。

第三の効果：第二反応ノズルから供給されるガスが、第二処理領域の中で流れを形成することにより、第一処理領域よりも広い面積で構成された第二処理領域の面積内で期間をかけて、ALD反応の成膜処理を回転テーブル上に載置されたウエハの上で実行できる。従って、同じ回転数の中で比較的高速な成膜速度を達成できる成膜装置を構成して提供できる。

10

#### 【0063】

以上のように高速な回転、例えば240rpmで成膜を実施すると、各ウエハに対して低速な回転、例えば10乃至30rpmで成膜を実施するときに比べて大きな遠心力が働き、ウエハを収納している回転テーブル2表面に設けた凹部の中でウエハが移動したり、浮き上がり、振動したり、最後には飛び出す現象を引き起こす恐れがある。

そこで本件特許の発明者は、ウエハに及ぼすこれらの現象の原因を明確にするために、真空容器の天板11を透明なアクリル板に変更してプロセス条件下でウエハの様子を真空容器の上部より観察した結果、ウエハの浮き上がり、振動、飛び出しが発生する原因が、上記遠心力と共に、ウエハが回転テーブルの回転に伴い、真空容器を構成する分離領域から処理領域にさしかかったときにウエハが受けるガス圧力の差、言い換えると各領域に供給されるガス流量の差異がウエハに及ぼす影響が加算して、これらの減少を生じる原因であることを観察した。

20

これらの複合的な原因に基づくウエハの飛び出し、移動、ぶつかり、振動の中で特に飛び出しに対して、少なくとも回転テーブルのウエハを収納する凹部の近傍に、ウエハが飛び出すことを防止する係止手段を設けることが良いとの結論を得るに至った。実施例のプロセス条件ではプロセスガスとして、BTBAS：100sccm、オゾン：10slm、窒素：10slmを流してSiO<sub>2</sub>膜の成膜を行ったため、ガス流量の単位がsccmオーダーとslmオーダーという1000倍の差からも分かるとおり大きな流量の差が分離領域と処理領域との境界を挟んで生じていたため、このような観察結果を得たものと考えられる。このような大きな圧力差が同じ真空容器内部に存在している環境は、

30

プロセスを行う処理領域がお互いに連通してはいるが、不活性ガスを流している狭隘な空間を複数の処理領域の間に作ることで、複数のプロセスガスの流れとしてはお互いに分離されている状態を形成できる技術により達成できた。更に成膜速度大幅に向上する技術として、ウエハを載置している回転テーブルを240rpmという高速回転しても、前記分離領域の機能を維持できる構成を実現することに成功した。

#### 【0064】

本発明は

回転式ミニバッチALD装置において、回転テーブルに載置されたウエハが浮揚する事を抑制するために、

- (1) ウエハWの係止にあたり、4種類の構造を持つ、
- (2) 爪形状は、3種類あり ウエハの一部を係止する方法、また、爪は、回転テーブルの円弧と同じ曲率に向けたものと、と全周にわたり爪形状をなして係止する。
- (3) ウエハ裏面、回転テーブル凹部に空気抜き溝および凸状構造物を設けて、ウエハノズルから直接噴射するガスを他方へ逃がす構造。
- (4) 上記の回転テーブル凹部の空気抜き溝及び凸状構造物を別体として回転テーブル凹部にベDESTAL載置して、そのベDESTALに上記溝および凸状構造物を設ける。
- (5) ウエハクランプ及び爪形状の構造物に空気抵抗緩和のための流線型形状を施す。
- (6) ウエハクランプ及び爪形状の構造物とウエハ表面の高さ位置関係と遠心力を想定した円周方向へのウエハ載置を行なう。

40

#### 【0065】

50

本発明の実施形態による成膜装置は、酸化シリコン膜の成膜に限らず、窒化シリコンの分子層成膜にも適用することができる。また、トリメチルアルミニウム（ $\text{TMA}$ ）と $\text{O}_3$ ガスを用いた酸化アルミニウム（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）の分子層成膜、テトラキスエチルメチルアミノジルコニウム（ $\text{TEMAZr}$ ）と $\text{O}_3$ ガスを用いた酸化ジルコニウム（ $\text{ZrO}_2$ ）の分子層成膜、テトラキスエチルメチルアミノハフニウム（ $\text{TEMAHf}$ ）と $\text{O}_3$ ガスを用いた酸化ハフニウム（ $\text{HfO}_2$ ）の分子層成膜、ストロンチウムビステトラメチルヘプタンジオナト（ $\text{Sr}(\text{THD})_2$ ）と $\text{O}_3$ ガスを用いた酸化ストロンチウム（ $\text{SrO}$ ）の分子層成膜、チタニウムメチルペンタンジオナトビステトラメチルヘプタンジオナト（ $\text{Ti}(\text{MPD})(\text{THD})$ ）と $\text{O}_3$ ガスを用いた酸化チタニウム（ $\text{TiO}$ ）の分子層成膜などを行うことができる。また、 $\text{O}_3$ ガスではなく、酸素プラズマを利用することも可能である。これらのガスの組み合わせを用いても、上述の効果が奏されることは言うまでもない。

10

以上、本発明を実施形態により説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内で種々の変形及び改良が可能であることは言うまでもない。

# 【符号の説明】

## 【0066】

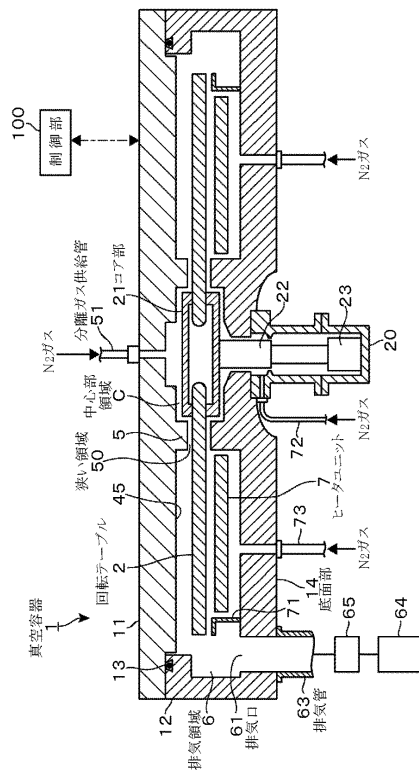
- 1 真空容器
- 10 搬送アーム
- 11 天板
- 12 容器本体
- 15 搬送口回転テーブル
- 16 昇降ピン
- 2 回転テーブル
- 21 コア部
- 24 凹部（ウエハ載置部）
- 31 第1の反応ガスノズル
- 32 第2の反応ガスノズル
- P1 第1の処理領域
- P2 第2の処理領域
- D 分離領域
- C 中心部領域
- 4 凸状部
- 41、42 分離ガスノズル
- 44 第1天井面
- 45 第2の天井面
- 5 突出部
- 51 分離ガス供給管
- 6 排気領域
- 61、62 排気口
- 7 ヒータユニット
- 72、73 パージガス供給管
- W ウエハ

20

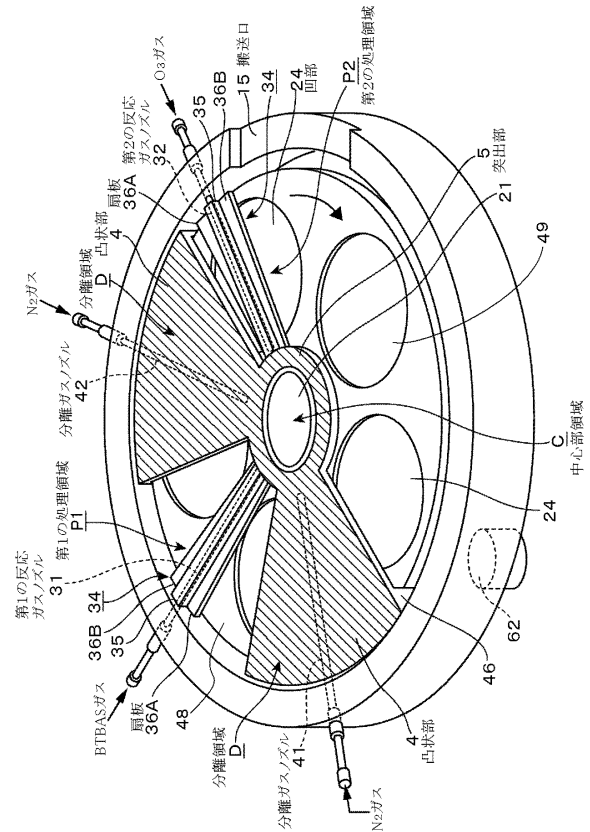
30

40

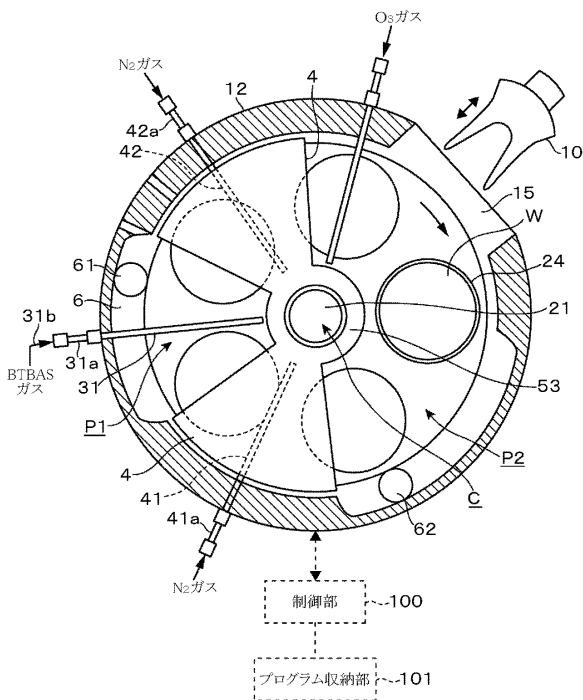
【図 1】



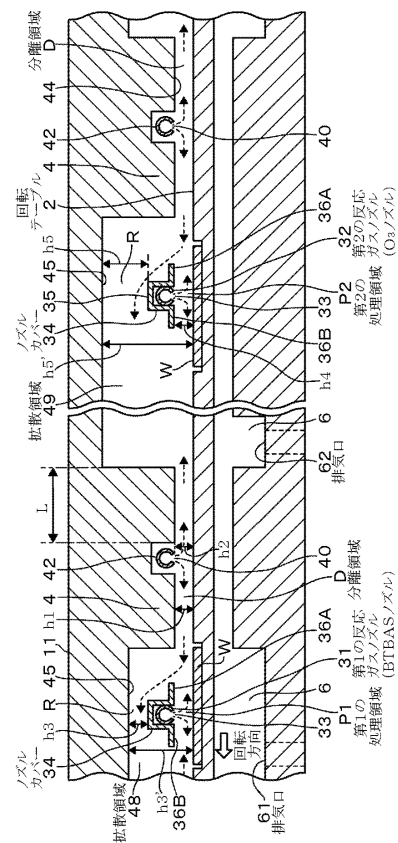
【図 2】



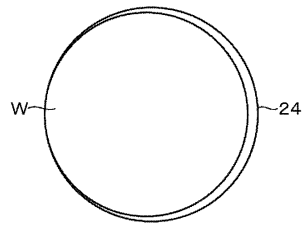
【図 3】



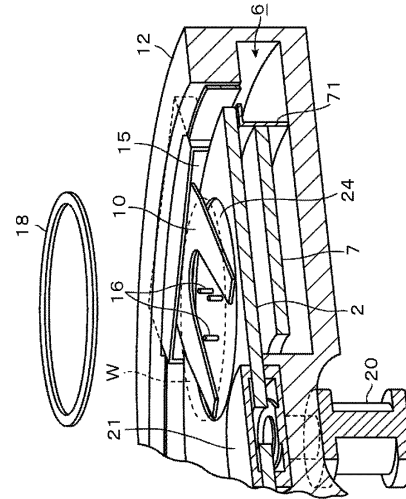
【図 4】



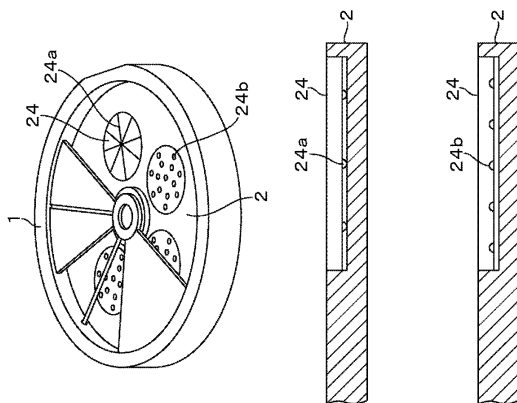
【 図 5 】



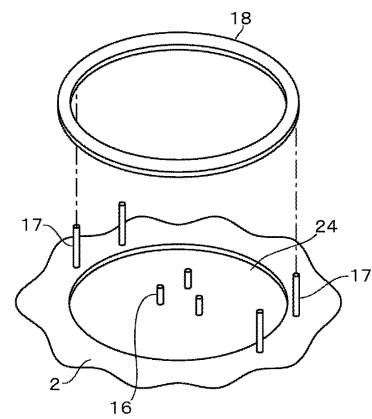
【 図 6 】



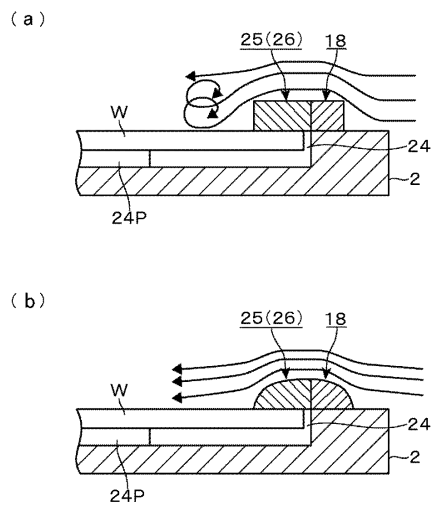
【圖 7】



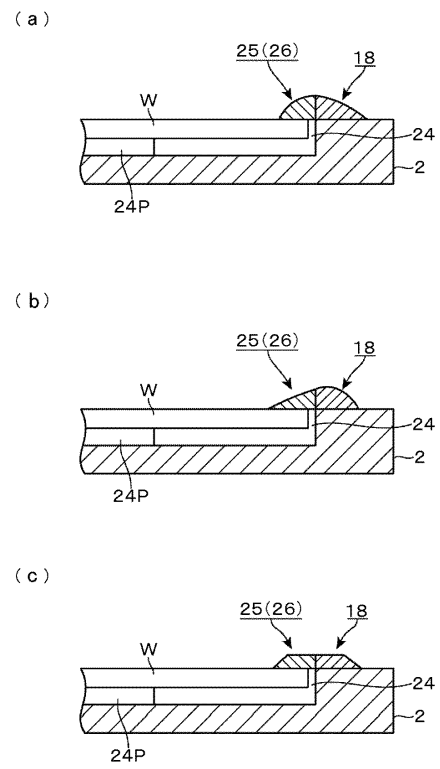
【 図 8 】



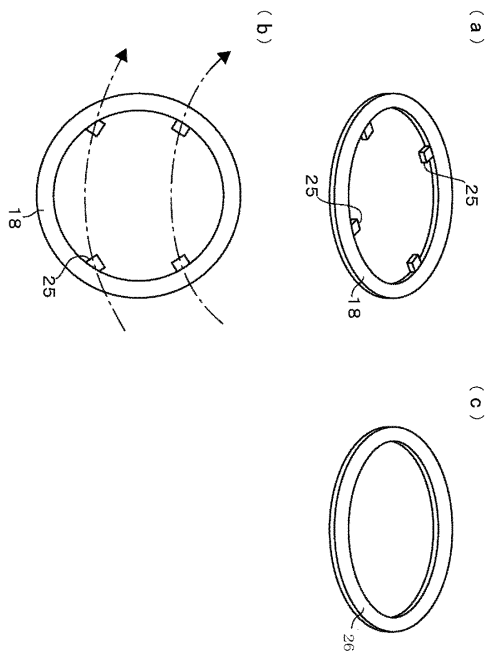
【図 9】



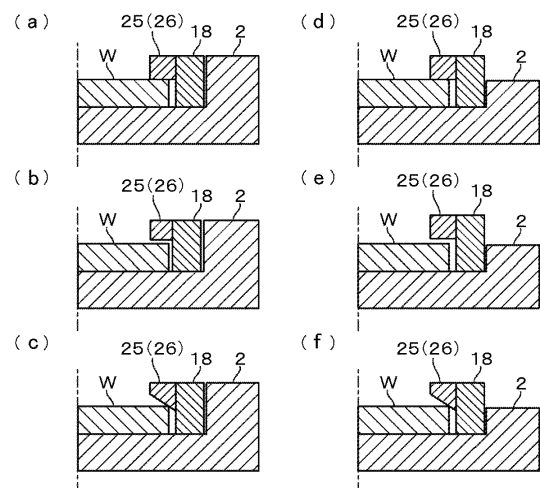
【図 10】



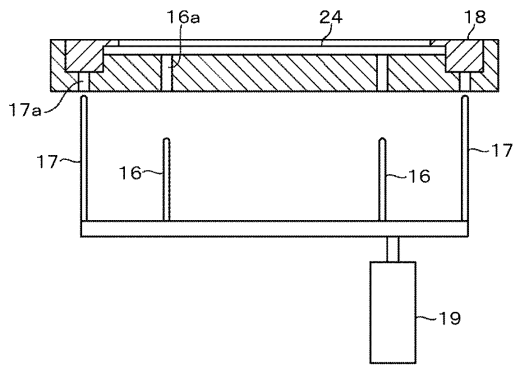
【図 11】



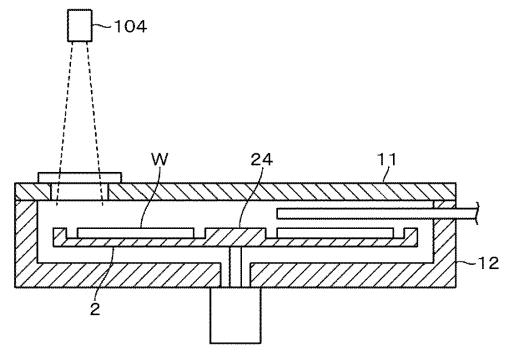
【図 12】



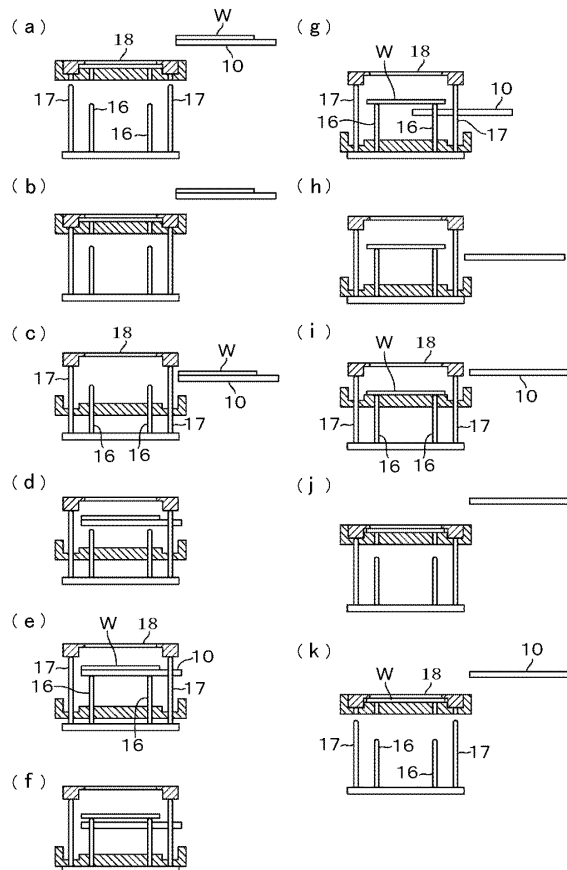
【図 13】



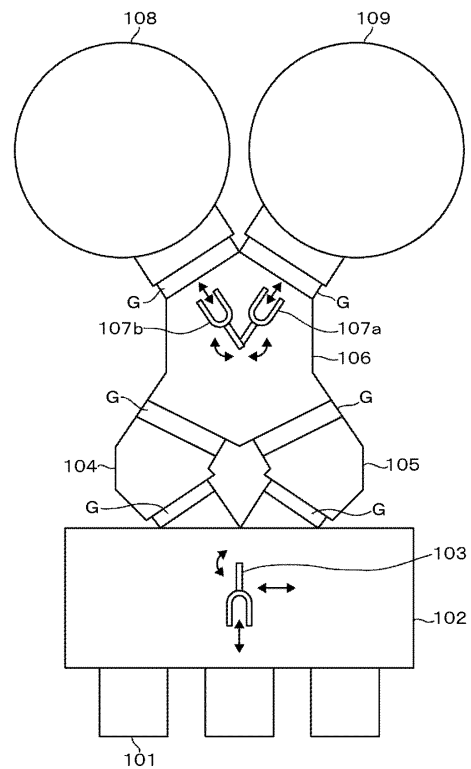
【図 14】



【図 15】



【図 16】



The diagram shows a cross-section of a plasma processing chamber. At the center is a circular region labeled 'P1' (第1の処理領域). Surrounding this is a larger region labeled 'P2' (第2の処理領域). Gas inlets are located around the perimeter: 'N<sub>2</sub>ガス' (Nitrogen gas) at the top left, 'O<sub>2</sub>ガス' (Oxygen gas) at the top right, and 'BTBASガス' (BTBAS gas) at the bottom left. The diagram is divided into several processing zones: '31' (第1の反応ガスノズル) at the top, '32' (第2の反応ガスノズル) at the bottom, '34' (第2の分離領域) on the right, and '36A' and '36B' (第2の分離領域) on the left. Arrows indicate the flow of gases and the resulting plasma regions (D, 41, 42, 48, 61, 62). A large arrow points from the center towards the periphery, indicating the direction of gas flow.



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-247066(JP,A)  
特開平09-147786(JP,A)  
特開2009-135202(JP,A)  
特開2007-243060(JP,A)  
特開平10-321524(JP,A)  
特開2009-200241(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

|      |               |
|------|---------------|
| H01L | 21/205        |
| H01L | 21/31         |
| H01L | 21/677        |
| H01L | 21/683        |
| C23C | 16/00 - 16/56 |