

明 細 書

発明の名称：

基板処理装置、反応管形状測定方法及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、基板処理装置に関し、特に縦型処理炉における成膜等の均一性を改善する基板処理装置、縦型処理炉の反応管の形状を測定する反応管形状測定方法及び半導体装置の製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 基板処理装置の縦型反応炉では、基板（ウェーハ）に成膜する際、反応管に複数のウェーハを挿入し、所定の圧力、温度条件の下、反応ガスを流して成膜する。良好な膜厚均一性及び膜質を確保するためには、ヒータ加熱によるウェーハ面内温度及び面間温度の温度均一性、ウェーハに対するガス流の均一性が非常に重要である。近年は、反応管のガス置換性を高めるため、ウェーハの縁と反応管内面との隙間をできるだけ狭めることが求められることがある。

[0003] 特許文献１には、基板をボートに移載するロボットを制御するために、ボートの位置や形状などを測定するティーチング技術が開示されている。このように、基板処理装置ごと、あるいはボートごとの微妙な寸法差（機差）をロボットに教えるために、装置の運用前に通常１回だけ行われる。測定自体をプログラムに基づいてロボット自身に行わせるものは、オートティーチングなどと呼ばれる。特許文献１には、基板をボートに移載する移載ポジションをどの位置とすることが半導体縦型炉装置において適切に関する記述はない。

[0004] また、特許文献２には、反応管とボートとの芯ずれを防止するため、回転軸に距離測定治具を取り付け、処理管内面までの距離を測定することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2005-175076号公報

特許文献2：特開2005-217271号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 図1に基板処理装置100の概略図を示す。ウェーハ移載機（基板移載機）125によってポート21にウェーハが搬送される。従来、ウェーハはポート21の中心に位置するように載置され、全ウェーハが搬送された後、処理炉2内に挿入され、熱処理、成膜される。

[0007] ウェーハの縁とウェーハが挿入される処理炉内の反応管内表面との隙間が狭くなったことで、ウェーハに製膜される膜の均一性に対してウェーハの位置精度が与える影響が大きくなった。しかしながら、反応管形状の複雑化に伴い、製作精度も緩和せざるを得なくなっている。またウェーハを反応管に搬入するためのポートも、製作が難しい、より細い柱のものが求められることがある。反応管やポートの材料として石英を用いることが多いが、石英にはヒートランもしくは特定の熱履歴によって変形が現れる可能性がある。このため、ポート21の中心軸に揃えられたウェーハが、反応管の中心軸におかれているとは言い難い状況が生じている。また、他の問題として、ポート21と反応管との間隙が数mm程度しかない場合、ポート21の昇降時の振動等で反応管と接触するおそれがあるため、ポート21の昇降時と同じ環境でクリアランスを評価することが望まれている。

[0008] 本発明は、反応管等の実際の据付寸法に基づいて、ウェーハを適切な位置に載置し、処理の均一性を高めることができる基板処理装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一実施の態様である基板処理装置は、複数の基板が載置されるポートと、反応管を有し、ポートが反応管に挿入され、ポートに載置された基

板への成膜を行う処理炉と、ボートに基板を搬入する基板移載機とを有し、基板移載機は、反応管の仮想中心軸を基準に基板をボートに搬入する。

[0010] その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

発明の効果

[0011] 処理の均一性を高めることができる基板処理装置を提供する。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]基板処理装置の斜視図である。

[図2A]処理炉とその周辺の構造を示す図である。

[図2B]断熱アセンブリ及び回転機構の断面を示す図である。

[図3]反応管の断面を含む斜視図である。

[図4]ボートエレベータによるシールキャップの担持構造を示す図である。

[図5]コントローラの構成図である。

[図6]反応管の形状測定を行う形状測定装置の構成例である。

[図7]センサユニット201の構成例である。

[図8]反応管の形状測定を行う形状測定装置の別構成例である。

[図9]ウェーハ移載位置を算出するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0013] 本実施の形態では、形状測定装置により処理炉の回転軸を基準として反応管（内管）の内表面の形状を計測する。そして計測された形状を高さ位置において円筒にフィッティングして得られた円筒の軸を仮想中心軸とし、移載ロボットは、ボートの中心軸ではなく、反応管（内管）の仮想中心軸を基準にウェーハをボートに搬入する。反応管の仮想中心軸に対して、ウェーハが設置されていることで、ヒータ加熱によるウェーハ面内温度及び面間温度の温度均一性、ウェーハに対するガス流の均一性アップが期待できる。

[0014] 反応管内にボートを搭載した状態で形状測定装置により回転軸とボート中心軸とのズレを計測して、ウェーハ載置位置を決定してもよい。縦型処理炉のボートは回転及び昇降可能に構成されているため、形状測定装置は、それ

らの機構を用いて反応管の3次元形状を、測定するように構成することも可能であり、または、先端にミラーを取り付けた細長い石英管を回転軸から反応管へ挿入し、真空中、もしくは高温下で使用するようにすることもできる。

[0015] 図1に、半導体装置の製造装置（基板処理装置）の斜視図を示す。基板処理装置100は、半導体装置の製造における熱処理工程を実施する縦型熱処理装置として構成され、複数のウェーハ（基板）を収容する基板収容器であるポッド110を搬入出するロードポート114と、ポッド110のキャップを着脱するポッドオープナ121と、ポッド110を一時的に保管する回転棚105と、ポッド110を搬送するポッド搬送装置118と、ウェーハを積層するように搭載するポート21と、ポッドオープナ121の載置台122に載置されたポッド110とポート21との間でウェーハの移載を行うウェーハ移載機125と、処理室（不図示）やヒータ（不図示）を備えた縦型処理炉2と、ポート21を処理炉2内に搬入、及び搬出するポートエレベータ27と、記憶部（不図示）等の基板処理装置の各構成部と、各構成部を制御する制御部（不図示）とを備えている。そして、制御部が、記憶部に記憶したプロセスレシピに基づき、熱処理等のウェーハ処理を実行する。

[0016] 図2Aに基板処理装置の縦型処理炉2とその周辺の構造を示す。処理炉2は、処理炉2を均一に加熱するために、複数のヒータユニットからなるヒータ3を有する。ヒータ3は円筒形状であり、保持板としてのヒータベース（不図示）に支持されることにより、基板処理装置100の設置床に対して垂直に据え付けられている。ヒータ3は、ガスを熱で活性化（励起）させる活性化機構（励起部）としても機能する。

[0017] ヒータ3の内側に、反応容器（処理容器）を構成する反応管4が配設されている。反応管4は、例えば石英（ SiO_2 ）または炭化シリコン（ SiC ）等の耐熱性材料からなり、上端が閉塞し下端が開口した円筒形状に形成されている。反応管4は、下端のフランジ部4Cにおいて互いに結合した外管4Aと内管4Bとを有する2重管構造を有する。外管4Aと内管4Bの上端は

閉じられ、内管 4 B の下端は開口している。フランジ部 4 C は、外管 4 A よりも大きな外径を有し、外側へ突出している。反応管 4 の下端寄りには、外管 4 A 内と連通する排気ポート 4 D が設けられる。これらを含む反応管 4 全体は単一の材料で一体に形成される。外管 4 A は、内側を真空にしたときの圧力差に耐えうるように、比較的肉厚に構成されている。

[0018] マニホールド 5 は、円筒又は円錐台形状で金属製又は石英製であり、反応管 4 の下端を支えるように設けられる。マニホールド 5 の内径は、反応管 4 の内径（フランジ部 4 C の内径）よりも大きく形成されている。これにより、反応管 4 の下端（フランジ部 4 C）と後述するシールキャップ 19 との間に円環状の空間が形成される。この空間もしくはその周辺の部材を炉口部と総称する。

[0019] 内管 4 B は、排気ポート 4 D よりも反応管の奥側で、その側面において内側と外側を連通させる主排気口 4 E を有し、また、主排気口 4 E と反対の位置において供給スリット 4 F を有する。主排気口 4 E は、ウェーハ 7 が配置されている領域に対して開口する単一の縦長の開口である。供給スリット 4 F は、円周方向に伸びたスリットであり、各ウェーハ 7 に対応するように垂直方向に複数並んで設けられている。

[0020] 内管 4 B は更に、排気ポート 4 D よりも反応管 4 の奥側で且つ主排気口 4 E よりも開口側の位置に、処理室 6 と排気空間 S（外管 4 A と内管 4 B の間の空間を排気空間 S と呼ぶ）とを連通させる複数の副排気口 4 G が設けられる。また、フランジ部 4 C にも、処理室 6 と排気空間 S 下端とを連通させる複数の底排気口 4 H が形成される。言い換えれば、排気空間 S の下端は、フランジ部 4 C によって底排気口 4 H やノズル導入孔を除き閉塞されている。副排気口 4 G、底排気口 4 H は、後述する軸パージガスを排気するように機能する。

[0021] 排気空間 S には、供給スリット 4 F の位置に対応させて、原料ガス等の処理ガスを供給する 1 本以上のノズル 8 が設けられている。ノズル 8 には、処理ガス（原料ガス）を供給するガス供給管 9 がマニホールド 5 を貫通してそ

れぞれ接続されている。

[0022] それぞれのガス供給管 9 の流路上には、上流方向から順に、流量制御器であるマスフローコントローラ（MFC）10 および開閉弁であるバルブ 11 が設けられている。バルブ 11 よりも下流側では、不活性ガスを供給するガス供給管 12 がガス供給管 9 に接続されている。ガス供給管 12 には、上流方向から順に、MFC 13 およびバルブ 14 が設けられている。主に、ガス供給管 9、MFC 10、バルブ 11 により、処理ガス供給系である処理ガス供給部が構成される。

[0023] ノズル 8 は、反応管 4 内に、反応管 4 の下部から立ち上がるように設けられている。ノズル 8 の側面や上端には、ガスを供給する 1 ないし複数のノズル孔 8H が設けられている。複数のノズル孔 8H は、供給スリット 4F のそれぞれの開口に対応させて、反応管 4 の中心を向くように開口させることで、内管 4B を通り抜けてウェーハ 7 に向けてガスを噴射することができる。

[0024] 排気ポート 4D には、処理室 6 内の雰囲気気を排気する排気管 15 が接続されている。排気管 15 には、処理室 6 内の圧力を検出する圧力検出器（圧力計）としての圧力センサ 16 および圧力調整器（圧力調整部）としての APC（Auto Pressure Controller）バルブ 17 を介して、真空排気装置としての真空ポンプ 18 が接続されている。APC バルブ 17 は、真空ポンプ 18 を作動させた状態で弁を開閉することで、処理室 6 内の真空排気および真空排気停止を行うことができる。更に、真空ポンプ 18 を作動させた状態で、圧力センサ 16 により検出された圧力情報に基づいて弁開度を調節することで、処理室 6 内の圧力を調整することができるように構成される。主に、排気管 15、APC バルブ 17、圧力センサ 16 により排気系が構成される。真空ポンプ 18 を排気系に含めて考えてもよい。

[0025] マニホールド 5 の下方には、マニホールド 5 の下端開口を気密に閉塞可能な炉口蓋体としてのシールキャップ 19 が設けられている。シールキャップ 19 は、例えばステンレスやニッケル合金等の金属からなり、円盤状に形成されている。シールキャップ 19 の上面には、マニホールド 5 の下端と当接

するシール部材としてのＯリング１９Ａが設けられている。

[0026] また、シールキャップ１９上面には、マニホールド５の下端内周より内側の部分に対し、シールキャップ１９を保護するカバープレート２０が設置されている。カバープレート２０は、例えば、石英、サファイヤ、またはＳｉＣ等の耐熱耐蝕性材料からなり、円盤状に形成されている。カバープレート２０は、機械的強度が要求されないため、薄い肉厚で形成される。カバープレート２０は、シールキャップ１９と独立して用意される部品に限らず、シールキャップ１９の内面にコーティングされた或いは内面が改質された、窒化物等の薄膜或いは層であってもよい。カバープレート２０はまた、円周の縁からマニホールド５の内面に沿って立ち上がる壁を有しても良い。

[0027] 基板保持具としてのボート２１は、複数枚、例えば２５～２００枚のウェーハ７を、水平姿勢で、かつ、互いに中心を揃えた状態で垂直方向に整列させて多段に支持する。そこではウェーハ７は、一定の間隔を空けて配列させる。ボート２１は、例えば石英やＳｉＣ等の耐熱性材料からなる。反応管４は、ボート２１を安全に搬入出可能な最小限の内径を有することが望ましい。

[0028] ボート２１の下部には断熱アセンブリ２２が配設されている。断熱アセンブリ２２は、上下方向の熱の伝導或いは伝達が小さくなるような構造を有し、通常、内部に空洞を有する。内部は軸パージガスによってパージされる。反応管４において、ボート２１が配置されている上部分を基板処理領域Ａ、断熱アセンブリ２２が配置されている下部分を断熱領域Ｂと呼ぶ。

[0029] シールキャップ１９の処理室６と反対側には、ボート２１を回転させる回転機構２３が設置されている。回転機構２３には、軸パージガスのガス供給管２４が接続されている。ガス供給管２４には、上流方向から順に、ＭＦＣ２５およびバルブ２６が設けられている。このパージガスの１つの目的は、回転機構２３の内部（例えば軸受け）を、処理室６内で用いられる腐食性ガスなどから守ることである。パージガスは、回転機構２３から軸に沿って排出され、断熱アセンブリ２２内に導かれる。

- [0030] ボートエレベータ 27 は、反応管 4 の外部下方に垂直に備えられ、シールキャップ 19 を昇降させる昇降機構（搬送機構）として動作する。これにより、シールキャップ 19 に支えられたボート 21 およびウェーハ 7 が、処理室 6 内外に搬入出される。なお、シールキャップ 19 が最下位置に降りている間、シールキャップ 19 の代わりに反応管 4 の下端開口を塞ぐシャッタ（不図示）が設けられうる。
- [0031] 外管 4 A の外壁には、温度検出器 28 が設置されている。温度検出器 28 は、上下に並んで配列された複数の熱電対によって構成されうる。温度検出器 28 により検出された温度情報に基づきヒータ 3 への通電具合を調整することで、処理室 6 内の温度が所望の温度分布となる。
- [0032] コントローラ 29 は、基板処理装置 100 全体を制御するコンピュータであり、本構成については後述する。
- [0033] 図 2 B に断熱アセンブリ 22 及び回転機構 23 の断面を示す。回転機構 23 は、上端が開口し下端が閉塞した略円筒形状に形成されたケーシング（ボディ）23 A を備えており、ケーシング 23 A はシールキャップ 19 の下面にボルトで固定される。ケーシング 23 A の内部では、内側から順に、円筒形状の内軸 23 B と、内軸 23 B の直径よりも大きな直径の円筒形状に形成された外軸 23 C が、同軸に設けられる。そして、外軸 23 C は、内軸 23 B との間に介設された上下で一对の内側ベアリング 23 D、23 E と、ケーシング 23 A との間に介設された上下で一对の外側ベアリング 23 F、23 G とによって回転自在に支承されている。一方、内軸 23 B は、ケーシング 23 A と固定され、回転不能になっている。
- [0034] 内側ベアリング 23 D および外側ベアリング 23 F の上（処理室 6 側）には、真空と大気圧の空気とを隔てる磁性流体シール 23 H、23 I が設置されている。外軸 23 C は、電動モータ（不図示）等によって駆動されるウォームホイール或いはプーリ 23 K が装着される。
- [0035] 内軸 23 B の内側には、処理室 6 内にてウェーハ 7 を下方から加熱する第 1 の補助加熱機構としてのサブヒータ支柱 33 が、垂直に挿通されている。

サブヒータ支柱33は、石英製のパイプであり、その上端においてキャップヒータ34を同心に保持する。サブヒータ支柱33は、内軸23Bの上端位置において耐熱樹脂で形成された支持部23Nによって支持される。更に下方において、サブヒータ支柱33は、真空用継手23Pによって内軸23Bとの間が密封される。更に下方に固定ブロック23Qが設けられ、内軸23Bをシールキャップ19に対して回転不能に固定する。

[0036] フランジ状に形成された外軸23Cの上面には、下端にフランジを有する円筒形状の回転軸体36が固定されている。回転軸体36の空洞を、サブヒータ支柱33が貫いている。回転軸体36の上端部には、サブヒータ支柱33を貫通させる貫通穴が中心に形成された円盤形状の回転台37が、カバープレート20と所定の間隔 h_1 を空けて固定されている。

[0037] 回転台37の上面には、断熱体40を保持する断熱体保持具38と、円筒部39が同心に載置され、ネジ等によって固定されている。断熱アセンブリ22は、回転台37、断熱体保持具38、円筒部39および断熱体40により構成されており、回転台37は底板（受け台）を構成する。回転台37には、直径（幅） h_2 の排気孔37Aが、縁寄りに回転対称に複数形成されている。

[0038] 断熱体保持具38は、中心にサブヒータ支柱33を貫通させる空洞を有する円筒形状に構成される。断熱体保持具38の下端には、回転台37よりも小さな外径の外向きフランジ形状の足38Cを有する。一方、断熱体保持具38の上端は、そこからサブヒータ支柱33が突き出させるように開口し、パージガスの供給口38Bを構成している。

[0039] 断熱体保持具38とサブヒータ支柱33との間に、断熱アセンブリ22内の上部に軸パージガスを供給する、円環状の断面を有する流路が形成される。供給口38Bから供給されたパージガスは、断熱体保持具38と円筒部39の内壁との間の空間を下向きに流れて、排気孔37Aから円筒部39外へ排気される。排気孔37Aを出た軸パージガスは、回転台37とカバープレート20との間の隙間を半径方向に流れて炉口部に放出され、そこで炉口部

をパージする。

[0040] 断熱体保持具 38 の柱には、断熱体 40 として複数の反射板 40A と断熱板 40B が、同軸に設置されている。

[0041] 円筒部 39 は、内管 4B との間隙 h_6 が所定の値となるような外径を有する。間隙 h_6 は、処理ガスや軸パージガスの通り抜けを抑制するために、狭く設定することが望ましく、例えば、7.5 mm ~ 15 mm とするのが好ましい。

[0042] 円筒部 39 の上端は、平坦な板で閉じており、そこにポート 21 が設置される。また、円筒部 39 の上面の中心部に、後述するように反応管の形状測定時にサブヒータ支柱 33 やキャップヒータ 34 を取り外したり、形状測定装置を貫通させたりするための開口 39A を設ける。開口 39A は、後述する形状測定装置による内管 4B の形状測定時以外は、開口 39A にぴったりはまる蓋 39B によって塞がれ、このとき円筒部 39 の上面の外側表面には段差が生じることなく平坦が保たれるものとする。

[0043] 図 3 に、水平に切断された反応管 4 の斜視図が示される。なお、この図ではフランジ部 4C は省略されている。内管 4B には、処理室内に処理ガスを供給するための供給スリット 4F が縦方向にウェーハ 7 と同数、横方向に 3 個、格子状に並んで形成されている。供給スリット 4F の横方向の並びの間や両端の位置において、外管 4A と内管 4B の間の排気空間 S を区画するように縦方向に伸びた仕切り板 41 が、それぞれ設けられる。複数の仕切り板 41 によって、主たる排気空間 S から分離された区画は、ノズル室（ノズルバッファ）42 を形成する。結果的に排気空間 S は、断面において C 字型に形成されることになる。ノズル室 42 と内管 4B 内を直接つなぐ開口は、供給スリット 4F だけである。

[0044] 仕切り板 41 は、内管 4B とは連結されるものの、外管 4A と内管 4B の温度差に起因する応力を避けるために外管 4A とは連結させず、わずかな隙間を有するように構成することができる。ノズル室 42 は、排気空間 S から完全に隔離される必要はなく、特に上端や下端において排気空間 S と通じた

開口もしくは隙間を有しうる。ノズル室42は、その外周側が外管4Aによって区画されるものに限らず、外管4Aの内面に沿った仕切り版を別途設けても良い。

[0045] 内管4Bには、断熱アセンブリの側面に向かって開口する位置に、3個の副排気口4Gが設けられている。副排気口4Gの1つは、排気ポート4Dと同じ向きに設けられ、その開口の少なくとも1部が、排気ポート4Dの管と重なるような高さに配置されている。また、残りの2つの副排気口4Gは、ノズル室42の両側部付近に配置されている。或いは、3個の副排気口4Gが、内管4Bの円周上で180度間隔となるような位置に配置されうる。

[0046] 図4を用いてポートエレベータ27によるシールキャップ19の担持構造を説明する。シールキャップ19には、下面から垂直にリニアブッシュ（リニアガイド）の軸51A～Cの3本が設けられる。一方、ポートエレベータ27は、そのアームの上に平板状の支持板27Bを有し、支持板27Bにはシールキャップ19側と係合するリニアブッシュ52A～Cの3個が備えられる。また、支持板27Bとシールキャップ19との間には、コイル状バネ等の弾性体53A～Cの3個が備えられる。そしてリニアブッシュ52A～Cのそれぞれに軸51A～Cが嵌挿されると、シールキャップ19は、ポートエレベータ27のアーム及び支持板27Bに対し、上下動のみ可能な状態（1軸自由度）で担持される。なお、ポートエレベータ27のアーム及び支持板は鋳造などにより一体に構成されうる。またそれらは十分な剛性を有しており、ポート21等の荷重やマニホールド5への押さえ圧によってそれらが撓み、ポート21の中心軸が垂直から傾いたり、揺動したりすることがないようになっている。なお、リニアブッシュ52と支持板27Bとの間にX-Y微動ステージを設けて、軸の水平位置を調整できるようにしてもよい。あるいは、反応管4をマニホールド5へ設置する水平位置をボルトなどで調整できるようにしてもよい。

[0047] 図5に示すように、コントローラ29は、MFC10、13、25、バルブ11、14、26、圧力センサ16、APCバルブ17、真空ポンプ18

、ヒータ 3、キャップヒータ 34、温度検出器 28、回転機構 23、ボートエレベータ 27 等の各構成と電氣的に接続され、それらを自動制御する。コントローラ 29 は、CPU (Central Processing Unit) 212、RAM (Random Access Memory) 214、記憶装置 216、I/Oポート 218 を備えたコンピュータとして構成される。RAM 214、記憶装置 216、I/Oポート 218 は、内部バス 220 を介して、CPU 212 とデータ交換可能なように構成される。I/Oポート 218 は、上述の各構成に接続されている。コントローラ 29 には、例えばタッチパネル等との入出力装置 222 が接続されている。

[0048] 記憶装置 216 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 216 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、処理条件に応じて基板処理装置 100 の各構成に成膜処理等を実行させるためのプログラム（プロセスレシピやクリーニングレシピ等のレシピ）が読み出し可能に格納されている。RAM 214 は、CPU 212 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。

[0049] CPU 212 は、記憶装置 216 から制御プログラムを読み出して実行すると共に、入出力装置 222 からの操作コマンドの入力等に応じて記憶装置 216 からレシピを読み出し、レシピに沿うように各構成を制御する。

[0050] コントローラ 29 は、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、CDやDVD等の光ディスク、HDD）224 に持続的に格納された上述のプログラムを、コンピュータにインストールすることにより構成することができる。記憶装置 216 や外部記憶装置 224 は、コンピュータ読み取り可能な有体の媒体として構成されている。以下、これらを総称して、単に、記録媒体ともいう。なお、コンピュータへのプログラムの提供は、外部記憶装置 224 を用いず、インターネットや専用回線等の通信手段を用いて行ってもよい。

[0051] 図 6 に反応管 4（内管 4B）の形状測定を行う形状測定装置を示す。形状

測定装置は、レーザ光を照射して距離の変化を測定するセンサユニット 201 と、センサユニット 201 の鞘管 202 と、センサユニット 201 を駆動しながら測長結果を収集するオートプロファイラ 203 と、オートプロファイラ 203 による測長結果に対して演算処理を行う計算機（不図示）とを有する。

[0052] 鞘管 202 は、一端が半球状に閉じられ、他端が開放する石英円筒管であり、高精度の円筒形状及び直線性を有する。根元（開放端）付近では内軸 23B の中心穴（開口）に対して所定の公差で隙間嵌めするような外径を有し、その他の部分は開放端付近よりもわずかに小さい外径を有する。

[0053] 図 7 にセンサユニット 201 の構成例を示す。集束レーザモジュール 81 と、ビームスプリッタ（ハーフミラー）82 と、参照ミラー 83 と、45° ロッドミラー 84 と、光強度検出器 85 と、駆動回路 86 と、測長制御部 87 と、ユニットケース 88 を有し、位相差方式（干渉方式）の距離計を構成している。ユニットケース 88 は、集束レーザモジュール 81 から光強度検出器 85 までの構成を、剛体的に固定する剛体固定部材、あるいはそれらを光路長が変化しないような状態で接続する可撓性パイプ状ケースであり、鞘管 202 内に挿通可能に構成される。なお鞘管 202 内には少なくとも 45° ロッドミラー 84 が挿入されればよく、ユニットケース 88 の先端部は、鞘管 202 内面との隙間嵌めによって 45° ロッドミラー 84 を上下及び回転運動のみ可能となるように保持する。あるいはセンサユニット 201 全体を鞘管 202 に挿入可能な直径に構成してもよい。

[0054] 集束レーザモジュール 81 は、適度のコヒーレンスを有する平行光を発射する。内管 4B の内表面は完全な鏡面ではないものの、反射光にはコヒーレンス性が残る程度の平滑性を有している。駆動回路 86 は、集束レーザモジュール 81 のレーザ発振器に電気エネルギーを与えて励起する。駆動電流（電圧）を変化させることで、集束レーザモジュール 81 から発射される光の強度や波長を変調させることができる。ビームスプリッタ（ハーフミラー）82 と、参照ミラー 83 により干渉計を構成する。45° ロッドミラー 84

は、測定対象（内管 4 B の内表面）への照射光およびそこからの反射光の方向を 90 度曲げる。光強度検出器 8 5 は、照射光と内管 4 B の内表面からの反射光との位相差を、両者の干渉による光の強度の変化によって検出する。測長制御部 8 7 は、FMCW もしくは振幅変調によって集束レーザモジュール 8 1 からの発射光の周波数を変化させながら、光強度検出器 8 5 の出力を解析し、距離を計算する。FMCW であれば、光強度検出器 8 5 の出力の周波数スペクトルによって、各反射経路の絶対距離が一意に決定される。また、発射光に光コム（Optical Combs）を用いるものでもよい。もし内管 4 B の内周全体が滑らかであれば、測長制御部 8 7 は、干渉縞計数型のように距離の変化を算出できるものでもよい。

[0055] 形状測定装置のセットアップは、処理炉 2 からサブヒータ支柱 3 3 及びキャップヒータ 3 4 を取り外し、ポートエレベータ 2 7 をロード位置に静止させ、鞘管 2 0 2 をサブヒータ支柱 3 3 の代わりに回転機構 2 3 に設置する。具体的には、サブヒータ支柱 3 3 と同様に、内軸 2 3 B に支持部 2 3 N、真空用継手 2 3 P、固定ブロック 2 3 Q によって固定される。鞘管 2 0 2 が固定されると、その中にセンサユニット 2 0 1 を挿入し、さらにセンサユニット 2 0 1 をオートプロファイラ 2 0 3 に固定する。

[0056] 形状測定装置のセットアップが完了すると、オートプロファイラ 2 0 3 に計測プログラムを実行させる。計測プログラムは、オートプロファイラ 2 0 3 により、センサユニット 2 0 1 を所定の速度で 1 回転させ、鞘管 2 0 2 内を所定量上昇又は下降させる、という動作を複数回反復し、その間に得られた測定結果を記録する。

[0057] 次に、測定結果を最小二乗法等により真円もしくは円筒モデルにフィッティングさせる。モデルの中心位置が内管 4 B の仮想中心軸であり、これにより各高さ位置（ i ）における回転軸体 3 6 の回転軸と内管 4 B の仮想中心軸との差 DA_i が算出される。なお、1 つの直円筒モデルにフィッティングさせたいほうが、より高い精度が得られる場合がある。

[0058] また、フィッティングの際、内管 4 B には主排気口 4 E や供給スリット 4

Fが設けられているため、これらを通り抜けてレーザ（発射光）が外管4 Aまで到達し、内管4 Bまでの距離ではない値が得られることがある。フィッティングにあたっては、そのような外れ値及び外れ値が得られた付近の測定値は除外する。

[0059] また、鞘管2 0 2がレーザのコヒーレンス性に悪影響を及ぼす場合、鞘管2 0 2の側面に所定間隔で開口を複数設け、その開口を通して計測するようにするか、鞘管2 0 2先端付近に設けた開口を設け、その開口に4 5° ロッドミラー8 4を固定し、鞘管2 0 2と4 5° ロッドミラー8 4との隙間を密封する。後者の場合は、測定の際に、オートプロファイラ2 0 3により、鞘管2 0 2ごと回転、上下させるようにする。

[0060] 図8に、反応管4（内管4 B）の形状測定を行う形状測定装置の別構成例を示す。図6に示した形状測定装置ではオートプロファイラ2 0 3によりセンサユニット2 0 1を回転させて形状測定を行ったのに対し、本構成例では、基板処理装置の回転機構2 3及びボートエレベータ2 7を利用して、センサを回転、上下動させることにより、内管4 Bの形状測定を行う。このため、通常使用時には内軸2 3 Bはケーシング2 3 Aと固定されて回転不能になっているところ、内軸2 3 Bを回転不能に固定している固定ブロック（脱落防止具）2 3 Qを取り外すとともに、連結具を用いて内軸2 3 Bと外軸2 3 Cとを連結する。この状態で外軸2 3 Cを回転駆動させることにより、内軸2 3 Bが回転する。これにより、内軸2 3 Bを回転させるためのモータを別途用意する必要がなくなる。

[0061] センサ治具6 0は、センサヘッド6 1、センサヘッド6 1を搭載する支持板6 2、測定支柱6 3を有している。支持板6 2は円盤形状をしており、その中心に測定支柱6 3が接続されている。測定支柱6 3はステンレス製のパイプであり、サブヒータ支柱3 3の外径、もしくは内軸2 3 Bの内径と略同一の直径を有し、サブヒータ支柱3 3の代わりに内軸2 3 Bの開口に隙間嵌めの状態で挿入され、真空用継手2 3 Pもしくはそれに代わるより強固な固定具で固定される。なお、支持板6 2を設けることなく、センサヘッド6 1

を直接、測定支柱63の上端部に取り付けてもよい。いずれの場合も、センサヘッド61の上端がポートエレベータ27を最上位置に持ち上げたときに、断熱アセンブリ22及びポート21が搭載されたときのポートの上端とほぼ同じ高さになるように配置される。

[0062] センサヘッド61は、産業用途で一般的な三角測量式のレーザ距離計（変位計）であり、レーザ光線を発射し、受光部に入射してくる被計測体からの反射光（正反射光）の角度を検知し、算出した距離を示す電気信号をシリアルインターフェースから出力する。センサヘッド61が測定できる距離範囲は、10～20cm程度で十分である。センサヘッド61からのケーブルは適宜測定支柱63内を通り、I/Oポート218（図6参照）もしくは外部の計算機等に接続される。

[0063] センサヘッド61の発射光及び入射光の光路は、一例として、水平（回転軸に垂直）な面内とし、ある半径線（回転軸の垂線）に対して略対称を成すようなジオメトリとしたり、回転軸と同じ面内とし、水平面に対して略対称を成すようなジオメトリとしたり、他の例では、発射光もしくは入射光の少なくとも一方が、半径線と一致するジオメトリとすることができる。

[0064] 形状測定装置のセットアップが完了すると、コントローラ29に計測プログラムを実行させる。本形状測定装置は基板処理装置の機構を用いるため、計測プログラムはコントローラ29で実行することが望ましいが、外部の計算機を用いることも可能である。ポートエレベータ27は最初、アンロード位置（下）にあるとする。計測プログラムは、回転軸体36を所定の速度で1回転させ、ポートエレベータを所定量上昇させる、という動作を、複数回反復し、その間センサヘッド61から得られた測定結果を記録する。あるいは、センサヘッド61はらせん状に上昇させてもよい。このとき、ポートエレベータ27のアームが撓み振動しないように、昇降の加減速は穏やかに行われる。

[0065] 次に、コントローラ29のCPU212は、その測定結果に基づき、形状測定装置の第1の例と同様のフィッティングにより、各高さ位置（i）にお

ける回転軸体 36 の回転軸と内管 4 B の仮想中心軸との差 DA_i を算出する。

[0066] なお、内管 4 B の形状測定はレーザ光を用いるものには限られず、磁気リニアスケールを用いることも可能である。磁気リニアスケールは 2 ピースあり、一方は測定支柱 63 内に、所定の規則的な磁気パターンを発生させる磁石として構成され、他方は真空用継手 23 P 上に磁気センサとして構成される。真空用継手 23 P は、測定支柱 63 をその自重で落ちないが、人の力で上下させることができる程度の強さで保持する。

[0067] また、円筒部 39 に開口 39 A を設けている場合（図 2 B 参照）、ポート 21、断熱アセンブリ 22 を設置したまま、図 8 に示したセンサ治具 60 を内軸 23 B に装着し、形状測定装置として動作させることで、センサ治具 60 を、ポート 21 に対して相対的に回転可能にし、回転軸を基準としてポート 21 の形状を測定できる。これにより、ポートの柱の位置から、ポートの中心位置あるいは各ウェーハの挿入可能範囲を測定することもできる。

[0068] 以上説明した内管 4 B の形状測定によって求めた、反応管 4 の各高さ位置における回転軸体 36 の回転軸と内管 4 B の仮想中心軸との差 DA_i を用いて、ウェーハ移載機がウェーハをポートに挿入する位置を適正化する方法を説明する。

[0069] 図 9 にウェーハ移載位置を算出するフローチャートを示す。図 9 のフローチャートは、回転軸体 36 の回転軸とポート 21 の中心軸とが比較的良好に一致しており、ポートの製作精度もしくはオートティーチングの精度の問題により、ウェーハが最適な挿入位置からずれている場合に好適である。

[0070] 前提として、内管 4 B を形状測定して得た反応管 4 の各高さ位置における回転軸体 36 の回転軸と内管 4 B の仮想中心軸との差 DA_i はコントローラ 29 の記憶装置 216 に保持されている（ステップ S70）。

[0071] まず、ポート 21 を反応管 4 からアンロードした状態で、従来と同様の方法により、ポート 21 にウェーハを安全に挿入できる移載位置座標 PO_i を把握する（ステップ S71）。具体的には、移載位置座標 PO_i は、ポート 21 の中心軸上にウェーハ中心がくるようにウェーハを載置するときのウェーハ

中心位置の座標となる。ボート 21 は鉛直方向に設置される 3 本の柱を有し、柱に設けられた溝にウェーハが挿入されるようになっている。コントローラ 29 によって、ボート 21 の 3 本の柱の内の中央の一本がウェーハ移載機 125 の移載ロボット 125 a から最も遠くなるような回転位置（移載用位置）でボート 21 を静止させた状態で、移載ロボット 125 a に取り付けられたセンサを用いて、計測（オートティーチング）が行われる。これによりボート 21 におけるウェーハを収容する高さ位置の機差や、ボート 21 の傾きによる水平位置ズレなどが考慮された挿入すべき移載位置座標 P_{0i} が、移載ロボットの座標系で 1 乃至複数のウェーハ毎に測定される。この 1 測定当たりのウェーハの枚数は、移載ロボット 125 a が 1 回の動作で移載する枚数に対応する。また、このときに、移載位置に加えて、所定以上の安全率（所定以下のウェーハ破損率）で挿入できる、移載位置座標 P_{0i} （ボートの中心軸）からの上下及び左右方向の範囲 M_i を把握しておくことが望ましい。これは、ボート 21 の支柱に彫られたウェーハに係合する溝の幅や深さに基づいて与えられうる。

[0072] 次に、移載ロボット 125 a の座標系における回転軸の位置 P_R を決定する（ステップ S 7 2）。ボート 21 の傾きがないと認められる（ボート 21 の傾きを無視できる）場合は、ステップ S 7 1 で得られた挿入すべき移載位置座標 P_{0i} を、任意の垂直線にフィッティングして求めればよい。一方、ボート 21 の傾きを考慮する場合には、ステップ 7 1 の測定（オートティーチング）の結果を、移載ロボット 125 a が 1 回の動作で移載するウェーハ毎に、ウェーハに対応する直径の円筒にフィッティングし、その中心軸の座標を移載ロボット 125 a の座標系における回転軸の位置 P_{Ri} とする。

[0073] 次に、回転軸と内管 4 B の仮想中心軸とのずれを考慮して、実際に移載ロボット 125 a がウェーハを移載する移載位置座標 P_{1i} を求める（ステップ S 7 3）。ここで、移載ロボット 125 a の座標系は、回転軸の延伸方向を Z 軸方向とし、これに対して垂直な面内において X 軸方向、Y 軸方向とが定義されているものとする。まず、ステップ S 7 2 で求めた回転軸の位置 P_R

(または、 $P R_i$) のX軸及びY軸成分に、その高さ位置での差 $D A_i$ のX軸及びY軸成分をそれぞれ加算し、仮の移載位置座標 $P 1_i'$ とする。なお、差 $D A_i$ が定義される座標系が移載ロボット 1 2 5 a の座標系とは異なる場合には、移載ロボット 1 2 5 a の座標系に変換しておく。仮の移載位置座標 $P 1_i'$ の全てが、ステップ S 7 1 で得た許容範囲 M_i 内であれば、仮の移載位置座標 $P 1_i'$ を移載位置座標 $P 1_i$ として決定する。一方、1 つでも許容範囲 M_i 外となる座標があれば、それらについては許容範囲 M_i 内におさまるような移載位置座標 $P 1_i$ を求める。例えば、 α ($0 < \alpha < 1$) を変数として、

$$P 1_i = \alpha P 1_i' + (1 - \alpha) P 0_i$$

とおき、 α の値を変化させながら、ポート 2 1 の中心軸と反応管 4 の内管 4 B の仮想中心軸との間で、かつ許容範囲 M_i 内となる移載位置座標 $P 1_i$ を求める。すべての高さ位置で許容範囲 M_i 内となる移載位置座標 $P 1_i$ が求めればフローは終了する。

[0074] 以上のフローに加えて、各高さ位置における回転軸体 3 6 の回転軸の位置を移載ロボット 1 2 5 a によって測定すれば、回転軸体 3 6 の回転軸とポート 2 1 の中心軸とにずれが生じている場合においても、形状測定装置による測定結果をウェーハの移載に高精度に反映させることができる。この場合のフローを、図 9 のフローとの差分を中心に説明する。

[0075] この場合、形状測定装置による形状測定の前または後に、移載ロボット 1 2 5 a に搭載されたセンサで、形状測定装置（具体的には鞘管 2 0 2 (図 6 参照)、測定支柱 6 3 (図 8 参照を指し、ここでは以下、鞘管等という) の位置座標を測定する。移載ロボット 1 2 5 a は、自身のセンサ（通常、移載ロボット 1 2 5 a の設置位置（旋回位置）と回転軸とを結ぶ水平線の上に設けられる）から、鞘管等の円筒面上の最短位置を探し、その位置及び距離を計測する。この計測は異なる高さの 2 点以上で行われる。鞘管等の軸は回転軸と十分一致していることが期待できるため、鞘管等を回転させて複数回計測する必要はないが、精度を高めるため、例えば 1 2 0 度ずつ 3 回回転させて、3 回の測定結果の平均をとってもよい。

- [0076] 続いて図9のフローを実施するが、ステップS72の内容を実施するとき、移載ロボット125aの座標系における回転軸の位置 $P R_i$ を決定するにあたり、移載ロボット125aで測定した鞘管等の異なる高さでの2点以上の測定結果を補間あるいはフィッティングして、移載ロボット125aの座標系における回転軸の位置 $P R_i$ を求める。
- [0077] 以上のフローでは、移載ロボット125aにより回転軸の位置座標を計測したが、これに対して形状測定装置が移載のためのボート計測（オートティーチング）を行ってもよい。前述したように、ボート21、断熱アセンブリ22を設置したまま、形状測定を行うことで、回転軸を基準としてボート21の形状を測定できる。そこで、形状測定装置は回転軸を基準にして（すなわち、回転軸座標系で）、ボート計測（オートティーチング）及び内管4Bの形状計測を一括して行う。続いて、移載ロボット125aのセンサによって回転軸の位置座標を移載ロボット125aの座標系で計測し、形状測定装置で計測した結果を回転軸座標系から移載ロボット125aの座標系に変換する。これらの変換された計測結果を用いて、移載位置座標 $P 1_i$ を求める。
- [0078] 本実施形態によれば、半導体装置の製造工場などに据え付けられ、ヒートランを行った後の基板処理装置において、成膜の均一性の観点でより好ましい位置にウェーハを配置できる。

符号の説明

- [0079] 2：縦型処理炉、3：ヒータ、4：反応管、5：マニホールド、6：処理室、7：ウェーハ（基板）、8：ノズル、9，12，24：ガス供給管、10，13，25：マスフローコントローラ、11，14，26：バルブ、15：排気管、16：圧力センサ、17：APCバルブ、18：真空ポンプ、19：シールキャップ、20：カバープレート、21：ボート、22：断熱アセンブリ、23：回転機構、27：ボートエレベータ、28：温度検出器、29：コントローラ、33：サブヒータ支柱、34：キャップヒータ、36：回転軸体、37：回転台、38：断熱体保持具、39：円筒部、40：断熱体、41：仕切り板、42：ノズル室、60：センサ治具、61：センサ

ヘッド、62：支持板、63：測定支柱、81：集束レーザモジュール、82：ビームスプリッタ、83：参照ミラー、84：45° ロッドミラー、85：光強度検出器、86：駆動回路、87：測長制御部、88：ユニットケース、100：基板処理装置、105：回転棚、110：ポッド、114：ロードポート、118：ポッド搬送装置、121：ポッドオープナ、122：載置台、125：ウェーハ移載機、201：センサユニット、202：鞘管、203：オートプロファイラ。