明　細　書

発明の名称 ：

基板処理装置、ノズルアセンブリ、半導体装置の製造方法及びプログラム

技術分野

[0001]　本開示は、基板処理装置、ノズルアセンブリ、半導体装置の製造方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002]　半導体装置（デバイス）の製造工程における基板処理では、例えば、複数枚の基板を一括して処理する縦型基板処理装置が使用されている。縦型基板処理装置では処理ガスを供給するノズルは、マニホールドに設けられたガス導入ポートに接続され固定されることで反応管内に上下方向に沿って立設される。ノズルが前後方向に傾いて設置された際、調整部によってノズルの取付け部（ノズル基部）を押し上げることにより、ノズルが垂直に立設されるようにノズルの傾きが調整される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１８－５６２８０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　本開示の課題は、ノズル基部をマニホールドの内壁面と対面しない面において固定する場合のノズル傾き調整技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0005]　本開示の一態様では、処理容器の内壁面に沿って配置され、少なくとも該処理容器の下部において前記処理容器の内壁面と間隔を有して設けられたノズルと、前記ノズルを支持するとともに、前記ノズルと連通する流路を内部に有するノズル基部と、前記内壁面に沿って設けられ、前記ノズル基部の前

記内壁面と対面しない第１接合面と接合するサポート部材と、前記ノズル及び前記ノズル基部を含むノズルアセンブリの重心よりも、前記処理容器の中心側にずれた位置で、前記ノズル基部の傾きを調整可能に構成された傾き調節具と、を備える技術が提供される。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、ノズルを適切な傾きで維持することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]実施形態における基板処理装置の模式図。

[図2]図１に示す反応管の断面図。

[図3]実施形態の基板処理装置におけるノズルとガス導入ポートのオフセット配置を示す斜視図。

[図4]図３に示すノズル基部周辺の構成を示す正面図。

[図5]図４に示すＤ－Ｄ線における断面図。

[図6]図４に示すＥ－Ｅ線における断面図。

[図7]図４に示すノズル基部周辺の底面図。

[図8]重心と支点を説明する図。

[図9]実施形態に係る半導体装置の製造方法のフローチャート。

[図10]変形例におけるノズル基部の底面断面図。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、実施形態について、図面を参照して説明する。全図面中、同一または対応する構成については、同一または対応する参照符号を付し、重複する説明を省略する。ノズルを論じる際は、処理容器の中心へ向かう方向を前側（正面側）、処理容器の中心から外方へ向かう方向を後ろ側（背面側）とする。また、処理容器の上方へ向かう方向を上側、処理容器の下方へ向かう方向を下側とする。なお、以下の説明において用いられる図面は、いずれも模式的なものであり、図面に示される、各要素の寸法の関係、各要素の比率等は、現実のものとは必ずしも一致していない。また、複数の図面の相互間においても、各要素の寸法の関係、各要素の比率等は必ずしも一致していない

。

[0009] 図１に示すように、本実施形態の基板処理装置１は、半導体集積回路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、処理炉２を備えている。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（図示せず）に支持されることにより、基板処理装置１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、後述するようにガスを熱で活性化（励起）させる活性化機構（励起部）としても機能する。

[0010] ヒータ３の内側に、反応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、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の上端はそれぞれの天井によって閉じられ、内管４Ｂの下端は開口している。フランジ部４Ｃは、外管４Ａ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４Ａ内と連通する排気ポートである排気出口４Ｄが設けられる。外管４Ａと内管４Ｂの間に排気空間Ｓが形成される。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４Ａは、内側を真空にしたときの圧力差に耐えうるように、内管４Ｂよりも肉厚に構成されている。

[0011] 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のフランジ管であり、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４Ｃ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４Ｃ）と後述するシールキャップ１９との間に後述する円環状の空間を形成する。この空間もしくはその周辺の部材を炉口部と総称する。反応管４およびマニホールド５によって処理容器が形成され、処理容器の内部には、基板としてのウエハ７を処理する処理室６が形成される。

[0012] 内管４Ｂは、排気出口４Ｄよりも反応管４の上側で、その側面において内側と外側を連通させる主排気口４Ｅを有し、また、主排気口４Ｅと反対の位置において供給口としての供給スリット４Ｆを有する。主排気口４Ｅは、ウエハ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４Ｆは、円周方向に伸びたスリットであり、各ウエハ７に対応するように垂直方向に並んで設けられている。

[0013] 内管４Ｂは更に、排気出口４Ｄよりも反応管４の奥側で且つ主排気口４Ｅよりも開口側の位置に、処理室６と排気空間（排気室）Ｓとを連通させる中間排気口４Ｇが設けられる。中間排気口４Ｇは、排気出口４Ｄと同じ向きに設けられ、その開口の少なくとも１部が、排気出口４Ｄの管と重なるような高さに配置されている。また、フランジ部４Ｃにも、処理室６と排気空間Ｓ下端とを連通させる底排気口４Ｈが１乃至複数形成される。言い換えれば、排気空間Ｓの下端は、フランジ部４Ｃによって底排気口４Ｈ及びノズル挿通孔４Ｌ（後述）を除き閉塞されている。中間排気口４Ｇ及び底排気口４Ｈは、主に後述の軸パージガスを排気するように機能する。

[0014] 外管４Ａと内管４Ｂの間には、供給スリット４Ｆ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。

[0015] 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、ＭＦＣ１３およびバルブ１４が設けられている。主に、ガス供給管９、ＭＦＣ１０、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。それらに更にＭＦＣ１３およびバルブ１４を含めて、ガス供給系と呼ぶ。

[0016] インジェクタであるノズル８は、ノズル室４２内に、反応管４の下部から

まっすぐ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を通り抜けてウエハ７に向けてガスを噴射することができる。

[0017] 排気出口４Ｄには、処理室６内の雰囲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。

[0018] 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基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。

[0019] 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。

[0020] 基板保持具としてのボート２１は、複数枚、例えば２５～２００枚のウエハ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。そこではウエハ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場合がある。

[0021] ボート２１の下部には後述する断熱アセンブリ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する。内部は軸パージガスによってパージされうる。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。

[0022] 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から軸に沿って流れ、最終的に処理室６内に排出される。

[0023] 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およびウエハ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。

[0024] 外管４Ａの外壁には、温度センサ２８が設置されている。温度センサ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。温度センサ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。

[0025] コントローラ２９は、基板処理装置１全体を制御するコンピュータであり、ＭＦＣ１０，１３、バルブ１１，１４、圧力センサ１６、ＡＰＣバルブ１７、真空ポンプ１８、ヒータ３、温度センサ２８、回転機構２３、ボートエ

レベータ２７等と電気的に接続され、それらから信号を受け取ったり、それらを制御したりする。

[0026] 次に、反応管４について図２を用いて説明する。内管４Ｂには、処理室６内に処理ガスを供給する供給スリット４Ｆが縦方向にウエハ７と同数、横方向に３個、格子状に並んで形成されている。或いは供給スリット４Ｆは、複数のウエハ７およびノズル８ａ～８ｃに共通の単一の開口として形成されうる。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、供給室であるノズル室（供給バッファ）４２を形成する。すなわち、ノズル室４２は内管４Ｂの側部の一部を外側に張り出して形成されている。処理領域Ａ付近において、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のみである。

[0027] 本例の仕切り板４１は、内管４Ｂと気密に連結され、内部に排気空間Ｓから隔離されたノズル室４２を形成する。なおノズル室４２は、排気空間Ｓから完全に隔離される必要はなく、外管４Ａの内面に沿った仕切り板４１の背面板を有するものに限らず、その外周側が開放され、及び／又は外管４Ａによって区画されるものでも良い。更に仕切り板４１を完全に取り去ることもできる。

[0028] 内管４Ｂには、上下方向に延びる、外側に膨らんだノズル収納部としてのバルジ４３が形成される。本例のバルジ４３は、ノズル室４２よりも主排気口４Ｅに近い位置で、主排気口４Ｅの両側に１つずつ配置される。

[0029] ノズル室４２には、三つのノズル８ａ～８ｃが配置置されている。ノズル８ａ～８ｃの側面には、反応管４の中心方向を向いて開口したノズル孔８Ｈがそれぞれ設けられている。ノズル孔８Ｈから噴出されたガスは、供給スリット４Ｆから内管４Ｂ内に流れるように意図されているが、一部のガスは直接流入しない。

[0030] ノズル８ａ～８ｃには、図１に示されるようなガス供給管９、バルブ１１、ＭＦＣ１０、ガス供給管１２、バルブ１４およびＭＦＣ１３により構成されるガス供給系が、それぞれ別個に接続され、互いに異なるガスが供給され

うる。ノズル８ａ～８ｃは、対応するガス供給管９またはマニホールド５によって支持されており、フランジ部４Ｃに設けれたノズル挿通孔４Ｌを通って、ノズル室内に延びることになる。ノズル８ａ～８ｃから噴き出した処理ガスが供給スリット４Ｆを通過し、ウエハ７上を通過して、対向する主排気口４Ｅから排気管１５を経由して炉外に排気される。また、ノズル室４２に滞留するガスは、ノズル挿通孔４Ｌから排気空間Ｓへ排出されうる。

[0031] １対のバルジ４３には、ノズル８ｄ，８ｅがそれぞれ設置されている。ノズル８ｄ，８ｅはノズル室４２の中心と主排気口４Ｅの中心を結ぶＣ－Ｃ線に対して対称に配置される。ノズル８ｄ，８ｅの側面には、ウエハ７の方向を向いて開口したノズル孔８Ｈがそれぞれ設けられている。ノズル８ｄ，８ｅは、処理室内における渦の発生を抑制若しくは制御したり、成膜ガスを局所的に希釈してウエハ７に堆積される膜の面内均一性を制御する目的で使用されうる。ノズル８ｄ，８ｅには、図１に示すガス供給管９、バルブ１１、ＭＦＣ１０により構成されるガス供給系と同様のガス供給系がそれぞれ接続される。例えばノズル８ｄ，８ｅから不活性ガスとしてのN_2ガスを噴射して処理ガスと衝突させて、ウエハ７上に成膜ガスをとどまらせる。

[0032] 図２に示すノズル８ｄの取り付けについて図３を用いて説明する。マニホールド５は、その側壁を貫通して外側に延びるガスインレットポート（ガス導入ポート）３８を有する。ガスインレットポート３８は、その先端に、ガス供給管９と接続される接続部３６を有する。ガスインレットポート３８には、マニホールド５の内側から円筒形状の接続管３０が挿入されて、接続部３６において相手方のガス供給管９と、Ｏリング（不図示）等によって気密にシールされて固定される。ノズル８ｄへのN_2ガスは接続管３０から導入され、マニホールド５の内壁面５ｂの円周方向に沿って円弧状に形成されたガス供給管３１を通ってノズル基部（エルボ）３２、ノズル８ｄへと供給される。すなわち、ノズル８ｄとガスインレットポート３８とがマニホールド５の内壁面５ｂの円周方向においてオフセットされている。このような構成は、ノズル８のすぐ外側にガスインレットポート３８を設けるだけの十分なス

ペースが無い場合などに用いられる。例えば、マニホールド５の周囲が矩形の箱型のケーシング（スカベンジャー）によって覆われている場合、周方向の位置によって空きスペースが異なりうる。

[0033] マニホールド５にブラケット３５を介して固定されたサポート部材３３には傾き調整具としてのボルト３４ａが設けられており、ボルト３４ａによってノズル基部３２を支持する。ノズル８ｄが垂直に取り付けられていると、ガス噴射時の勢いでノズル８ｄが揺れる、または、倒れる懸念がある。揺れや倒れを抑制するため、ボルト３４ａの調整によりノズル８ｄの先端を内管４Ｂの内壁面に押し付けるようにすることができる。このとき、ノズル８ｄの根元は内管４Ｂの内壁面とは接触しない。

[0034] ノズル８ｅの取り付けもノズル８ｄと同様である。ノズル８ｅにガスを導入するガスインレットポート、ガス供給管、ノズル基部、並びにノズル基部を固定するサポート部材およびブラケットは、ガスインレットポート３８、ガス供給管３１、ノズル基部３２、サポート部材３３およびブラケット３５と、図２に示すＣ－Ｃ線に対して対称に配置される。

[0035] ノズル基部３２およびその周辺について図４から図８を用いて説明する。図４に示すように、ノズル基部３２は、第一係合部３２ａと第二係合部３２ｂと設置部３２ｃとで構成される。第一係合部３２ａと第二係合部３２ｂは多角形のブロック形状である。設置部３２ｃは円筒形状であり、第一係合部３２ａの上面から立ち上がるように形成され、ノズル８ｄが装着される。なお、第一係合部３２ａと設置部３２ｃとは一体に形成されうる。処理容器の中心とノズル８ｄの中心軸を通る平面に略平行な面（第２接合面）において第一係合部３２ａと第二係合部３２ｂが接合されている。ここで、第２接合面は、ノズル８ｄが伸びる方向及びノズル８ｄと処理容器の中心を結ぶ線に平行な面或いは処理容器の中心軸を含む面であって、ボルト３４ａによって傾かせるべき方向を含む面である。第二係合部３２ｂの側面（第一係合部３２ａとの接合面に対向する面）にはガス供給管３１が接続される。

[0036] 設置部３２ｃは、図示しない外管と内管を備える二重管構造であり、外管

と内管との間の円環状の空間にノズル８ｄが挿入される。設置部３２ｃの上部側には、外管の周囲を覆うカバー部３７が設けられている。カバー部３７は、設置部３２ｃに対するノズル８ｄの向きを定める位置決め部材の脱落を防止する。内管は後述する第一係合部３２ａの流路３２ｄに連通される。

[0037] 図５に示すように、第二係合部３２ｂは、ガス供給管３１の延長方向に貫通し、溶接等によりガス供給管３１と気密に接続された流路３２ｄと、同方向に貫通する二つの長孔３２ｅ，３２ｆを有する。また、第一係合部３２ａには、長孔３２ｅ，３２ｆと対応する位置に二つのタップ穴３２ｇ，３２ｈを設ける。長孔３２ｅ，３２ｆはノズル基部３２内の円形の流路３２ｄを中心とする円の円弧方向に長い孔であり、長孔３２ｅと長孔３２ｆとの間に流路３２ｄが位置する。ボルト３４ｅは長孔３２ｅを通りタップ穴３２ｇに螺合され、ボルト３４ｆは長孔３２ｆを通りタップ穴３２ｈに螺合される。これにより、第一係合部３２ａと第二係合部３２ｂは、流路３２ｄを中心に回転させて所定の範囲で角度を変更できる。この結果、ガス供給管３１にねじり荷重を与えることなく適正なノズル傾き量で締結、姿勢固定が可能となる。

[0038] また、図６に示すように、ノズル基部３２の接合面には、流路３２ｄの中心を揃えるためにインロー（spigot joint）形状が形成される。第一係合部３２ａ側が凹状に、第二係合部３２ｂ側が凸状に形成されている。流路３２ｄはガス供給管３１に連通される。インロー形状はまた、接合の気密性を高めるように作用しうる。

[0039] 図４及び図６に示すように、マニホールド５の内壁面５ｂに、水平に伸びる取付部としてのブラケット３５が溶接等によって設けられる。サポート部材３３は、その一端がブラケット３５の下面にボルト３４ｂ，３４ｃにより固定され、片持ち梁構造によって、ノズル基部３２を支持する。サポート部材３３は、第一係合部３２ａの側面即ち第二係合部３２ｂと反対側であって内壁面５ｂと対向しない面（第１接合面）と、締結具としてのボルト（接合ボルト）３４ｄにより剛接合されて、第一係合部３２ａを固定する。ボルト

３４ｄは、サポート部材３３に設けられた縦長の長孔（Slotted hole）３３ｇを貫通して、第一係合部３２ａに螺合する。この文脈において剛接合（rigid joint）は、ピン接合やボールジョイントのような回転自在な接合と区別する意味で用いる。第１接合面は、第一係合部３２ａと第二係合部３２ｂの接合面（第２接合面）と実質的に平行である。

[0040] サポート部材３３は、ノズル基部３２と剛接合した位置（ボルト３４ｄにより固定された位置）から下方に延びたのち、ノズル基部３２の下方で横方向に延びるアングル部３３ｅを有する。ボルト３４ａは、アングル部３３ｅを上下方向に貫通してアングル部３３ｅと螺合するように設けられ、ノズル基部３２の第一係合部３２ａの下面を支持する。図７および図８に示すように、ボルト３４ａの位置は、ノズル８ｄとノズル基部３２とガス供給管３１とを含む一体物（ノズルアセンブリ）の重心ＣＧよりも処理容器の中心寄りに配置される。ボルト３４ｄを十分締めない状態でボルト３４ａを押し上げると、ノズルアセンブリの重さ（荷重）はボルト３４ａと接続部３６のＯリングの２点に掛かる。重心ＣＧよりも反応管４の中心側から押し上げることによって、ノズル８ｄを反応管４の外側に向かって倒し、ノズル８ｄの先端を内管４Ｂの内壁側に押し付け可能となる。

[0041] なお、図８に示すボルト３４ａと接続部３６のＯリングを結ぶ直線Ｆ上に重心ＣＧが位置すると、接続部３６のＯリングを支点に回転軸Ｇの周りに回転することによりノズル８ｄは左右方向に傾くが、処理容器の中心側には傾かない。ただし、ボルト３４ａの調節によって内管４Ｂの内壁側に傾けることもできない。その結果、ノズル８ｄが垂直に取り付けられ、ガス噴射の勢いで前後方向に揺れや倒れがある場合、成膜中にノズル８ｄが揺れてボート２１と接触し、ノズル８ｄまたはボート２１を破損する虞がある。

[0042] 本実施形態では、ノズル基部３２の傾き姿勢を維持するために、ボルト３４ｄは、ボルト３４ａがノズル基部３２を押し上げるほど締まるようにねじが切られている。言い換えれば、ノズル８の先端が反応管４の外側へ向かう方向にノズル８が傾斜するほど、ボルト３４ｄは締まる。逆に言えば、ボル

ト３４ｄを締めるほど、ノズル８の先端が反応管４の外側へ向かう方向にノズル８が付勢される。なおボルト３４ｄは複数設けることができ、その場合のネジの締まる回転方向も同様である。

[0043] 図６に示すように、第一係合部３２ａの側面即ち第二係合部３２ｂノズル基部３２の接合面、すなわち、第一係合部３２ａと第二係合部３２ｂとを締結するボルト３４ｅ，３４ｆと、サポート部材３３とノズル基部３２を締結するボルト３４ｄは対向している。ボルト３４ｄ，３４ｅ，３４ｆのそれぞれを締め付けるとノズル８ｄの先端が内管４Ｂの内壁側に傾くような方向にねじが切られている。つまり、ボルト３４ｅ，３４ｆが正ねじのとき、ボルト３４ｄは逆ねじとなる。なお、ノズル８ｅのノズル基部はノズル基部３２と左右対称であり、ノズル８ｅのノズル基部の接合面を締結するボルトが逆ねじ、ノズル８ｅのノズル基部とサポート部材を締結するボルトは正ねじとなる。

[0044] 図６に示すように、サポート部材３３には、ブラケット３５に第１ボルトとしてのボルト３４ｂ，３４ｃを螺合するための二つの貫通孔３３ａ，３３ｂが設けられると共に、二つの貫通するタップ孔３３ｃ，３３ｄが設けられている。タップ孔３３ｃ，３３ｄに第２ボルトとしてのボルト３４ｇ，３４ｈを螺合してブラケット３５の下面に押し当てる（当接させる）ことによりサポート部材３３の左右方向（周方向）の平行度（傾き）を調整可能にしている。貫通孔３３ａ，３３ｂの周囲には、座ぐり（Counterbore）を設け、ボルト３４ｂ，３４ｃの頭の少なくとも一部がその中に納まる。

[0045] ノズル基部３２の取付手順について説明する。まず、ブラケット３５にサポート部材３３をボルト３４ｂ，３４ｃにより本締めする。また、ボルト３４ａは低めに仮締めしておく。次に、ノズル８ｄの先端を内管４Ｂの内壁に接触させ、ノズル基部３２をボルト３４ａに載せ、チルトを調整して、ボルト３４ｅ，３４ｆにより本締めし、またボルト３４ｄを仮締めしておく。このとき、ノズル８ｄは上述の重心ＣＧの位置関係によって、自然に倒れて内管４Ｂの内壁に接触しているような状態であり、ボルト３４ａはノズル８ｄ

の内管４Ｂの内壁への接触を維持すするのに最小限の押し上げをしている。次に、ボルト３４ａにて与圧をかけてナット３４ｉに本締めする。ここで、与圧とはノズル８ｄの先端を内管４Ｂの内壁面に押し当てる強さでる。ノズル８ｄは内管４Ｂの内壁に形成されたＵ字のバルジ４３の底にいるので、ボルト３４ａにより与圧かけても左右に傾かない。与圧の量はボルトの追加的な回転角度（回転量）で定量的に規定でき（設定可能であり）、再現性がある。その後、ノズル基部３２とサポート部材３３をボルト３４ｄにより本締めする。ボルト３４ｄは逆ねじになっておりさらに与圧される。なお、部材の平面／平行度が出ていなく、ノズル８ｄが左右に傾く場合は、ボルト３４ｇ，３４ｈにより押し引き調整する。傾きがない場合は、ボルト３４ｇ，３４ｈを使用しなくてもよく、ブラケット３５と反応管の相対位置精度が高く保てるのであれば、サポート部材３３の一部はブラケット３５と一体に構成しても良い。このとき、アングル部３３ｅをボルト等により着脱可能に構成すると、ノズル８ｄを下に引き抜いて着脱するのを妨げない。

[0046] 次に、上述の基板処理装置１を用い、半導体装置（デバイス）の製造工程の一工程として、基板上に膜を形成する処理（以下、成膜処理ともいう）のシーケンス例について説明する。ここでは、ノズル８を２本以上設け、基板としてのウエハ７に対して、ノズル８ａから第１の処理ガス（原料ガス）とノズル８ｂから第２の処理ガス（反応ガス）とを交互に供給することで、ウエハ７上に膜を形成する例について説明する。なお、図１に示すノズル８のガス供給系であるガス供給管９、ＭＦＣ１０、バルブ１１、ガス供給管１２、ＭＦＣ１３、バルブ１４は、ノズル８ａのガス供給系の場合、ガス供給管９ａ、ＭＦＣ１０ａ、バルブ１１ａ、ガス供給管１２ａ、ＭＦＣ１３ａ、バルブ１４ａと記載し、ノズル８ｂのガス供給系の場合、ガス供給管９ｂ、ＭＦＣ１０ｂ、バルブ１１ｂ、ガス供給管１２ｂ、ＭＦＣ１３ｂ、バルブ１４ｂと記載する。

[0047] 以下、図９を参照して、原料ガスとしてシラン系ガスのようなシリコン元素含有ガスを用い、反応ガスとして窒素元素含有ガスを用い、ウエハ７上に

所定の膜を形成する例について説明する。なお、以下の説明において、基板処理装置１を構成する各部の動作はコントローラ２９により制御される。

[0048] 本実施形態における成膜処理では、処理室６内のウエハ７に対して原料ガスを供給する工程（Ｓ９４１）と、処理室６内から原料ガス（残留ガス）を除去する工程（Ｓ９４２）と、処理室６内のウエハ７に対して反応ガスを供給する工程（Ｓ９４３）と、処理室６内から反応ガス（残留ガス）を除去する工程（Ｓ９４４）と、を非同時に行うサイクルを所定回数（１回以上）行うことで、ウエハ７上に膜を形成する。

[0049] 本明細書において「ウエハ」という用語は、「ウエハそのもの（ベアウエハ）」の他、「ウエハとその表面に形成された所定の層や膜等との積層体（複合体）」を意味する。同様に「ウエハの表面」という用語は、「ウエハそのものの表面」を意味する場合や、「ウエハ上に形成された所定の層や膜等の表面、すなわち、積層体としてのウエハの最表面」を意味する場合がある。「基板」という用語の解釈も、「ウエハ」と同様である。

[0050]（Ｓ９０１：ウエハチャージおよびボートロード）

最初に、装置のスタンバイの状態が解除され、複数枚のウエハ７がボート２１に装填（ウエハチャージ）され、そのボート２１はボートエレベータ２７によって処理室６内に搬入（ボートロード）される。このとき、コントローラ２９は、ＭＦＣ２５に所定の小流量（例えば５０ｓｃｃｍ以下）を設定し、バルブ２６を開けるように制御する。回転機構２３から少量のN_2ガス（軸パージガス）が流出する。搬入が終わると、シールキャップ１９は、Ｏリング１９Ｂを介してマニホールド５の下端を気密に閉塞（シール）した状態となる。なお、ウエハチャージする前のスタンバイの状態から（つまり常時）、バルブ２６やバルブ１４を開とし、パージガスの供給を開始しても良い。バルブ２６からの軸パージガスは、ウエハチャージ中に外部より巻き込まれるパーティクルが断熱アセンブリ２２に付着することを抑制し、バルブ１４からのパージガスは、空気等の気体がノズル内に逆流することを抑制することができる。

[0051]（Ｓ９０２：圧力調整）

処理室６内、すなわち、ウエハ７が存在する空間が所定の圧力（真空度）となるように、真空ポンプ１８によって真空排気（減圧排気）される。この際、処理室６内の圧力は、圧力センサ１６で測定され、この測定された圧力情報に基づきＡＰＣバルブ１７が、フィードバック制御される。真空ポンプ１８は、少なくともウエハ７に対する処理が終了するまでの間は常時作動させた状態を維持する。

[0052]（Ｓ９０３：昇温）

また、処理室６内のウエハ７が所定の温度となるように、ヒータ３によって処理室６内が加熱される。この際、処理室６内が所定の温度分布となるように、温度センサ２８が検出した温度情報に基づきヒータ３への通電具合がフィードバック制御される。ヒータ３による処理室６内の加熱は、少なくともウエハ７に対する処理が終了するまでの間は継続して行われる。

[0053]（Ｓ９０４：成膜処理）

処理室６内の温度が予め設定された処理温度に安定すると、次の４つのサブステップ、すなわち、Ｓ９４１、Ｓ９４２、Ｓ９４３及びＳ９４４を順次実行する。なおこの間、回転機構２３により、回転軸６６を介してボート２１が回転されることで、ウエハ７が回転される。

[0054]（Ｓ９４１：原料ガス供給）

このステップでは、処理室６内のウエハ７に対し、原料ガスを供給し、ウエハ７の最表面上に、第１の層として、シリコン（Ｓｉ）含有層を形成する。具体的には、バルブ１１ａを開き、ガス供給管９ａ内へ原料ガスを流す。原料ガスは、ＭＦＣ１０ａにより流量調整され、ノズル８ａのノズル孔８Ｈ、ノズル室４２、供給スリット４Ｆを介して処理室６内の処理領域へ供給され、主排気口４Ｅ、排気空間Ｓ、排気出口４Ｄを介して排気管１５から排気される。また同時にバルブ１４ａを開き、ガス供給管１２ａ内へN_2ガスを流す。N_2ガスは、ＭＦＣ１３ａにより流量調整され、ノズル８ａのノズル孔８Ｈ、ノズル室４２、供給スリット４Ｆを介して原料ガスと一緒に処理室６内

の処理領域へ供給され、主排気口４Ｅ、排気空間Ｓを介して排気管１５から排気される。また同時にN_2ガスは、ノズル８ｄ，８ｅのノズル孔８Ｈを介して処理室６内の処理領域へ供給され、主排気口４Ｅ、排気空間Ｓ、排気出口４Ｄを介して排気管１５から排気される。このとき、コントローラ２９は、第１圧力を目標圧力とする定圧制御を行う。

[0055]（Ｓ９４２：原料ガス排気）

第１の層が形成された後、バルブ１１ａを閉じ、原料ガスの供給を停止するとともに、ＡＰＣバルブ１７を全開にする制御を行う。これにより、処理室６内を真空排気し、処理室６内に残留する未反応もしくは第１の層の形成に寄与した後の原料ガスを処理室６内から排出する。このとき、処理室６の温度に近い温度の排気ガスが、排気出口４Ｄを通過し、排気出口４Ｄ及び付近に熱が伝達される。なお、バルブ１４ａを開いたままとして、処理室６内へ供給されたN_2ガスに、残留ガスをパージさせてもよい。ノズル８ａからのパージガスの流量は、排気経路中で低蒸気圧ガスの分圧を飽和蒸気圧よりも下げるように、或いは、反応管４内での流速が拡散速度に打ち勝つ速度になるように設定され、通常、少量のベントガスや軸パージガスに比べて格段に大きい。

[0056]（Ｓ９４３：反応ガス供給）

ステップＳ９４２が終了した後、処理室６内のウエハ７、すなわち、ウエハ７上に形成された第１の層に対して反応ガスを供給する。熱で活性化された反応ガスは、ステップＳ９４１でウエハ７上に形成された第１の層（Ｓｉ含有層）の少なくとも一部と反応し、ＳｉおよびＮを含む第２の層（シリコン窒化層）へと変化（改質）させる。バルブ１１ｂ，１４ｂの開閉制御を、ステップＳ９４１におけるバルブ１１ａ，１４ａの開閉制御と同様の手順で行う。反応ガスは、ＭＦＣ１０ｂにより流量調整され、ノズル８ｂのノズル孔８Ｈ、ノズル室４２、供給スリット４Ｆを介して処理室６内の処理領域へ供給され、主排気口４Ｅ、排気空間Ｓを介して排気管１５から排気される。また同時にN_2ガスは、ノズル８ｄ，８ｅのノズル孔８Ｈを介して処理室６内

の処理領域へ供給され、主排気口４Ｅ、排気空間Ｓ、排気出口４Ｄを介して排気管１５から排気される。このとき、コントローラ２９は、第２圧力を目標圧力とする定圧制御を行う。第１圧力や第２圧力は、一例として１００～５０００Ｐａであり、好ましくは１００～５００Ｐａである。

[0057]（Ｓ９４４：反応ガス排気）

第２の層が形成された後、バルブ１１ｂを閉じ、反応ガスの供給を停止するとともに、目標圧力を０とする定圧制御（つまり全開制御）を行う。これにより、処理室６内を真空排気し、処理室６内に残留する未反応もしくは第２の層の形成に寄与した後の反応ガスを処理室６内から排出する。このとき、ステップＳ９４２と同様に、所定量のN_2ガスをパージガスとして処理室６内へ供給することができる。原料ガス排気若しくは反応ガス排気における到達圧力は、１００Ｐａ以下であり、好ましくは１０～５０Ｐａである。処理室６内の圧力は供給時と排気時とで１０倍以上異なりうる。

[0058]（Ｓ９４５：所定回数実施）

上述したＳ９４１からＳ９４４のステップを時間的にオーバーラップさせることなく順次行うサイクルを所定回数（ｎ回）行うことにより、ウエハ７上に、所定組成および所定膜厚の膜を形成することができる。Ｓ９４１やＳ９４３で形成される第１及び第２の層の厚さは、必ずしも自己限定的ではなく、その場合、安定した膜質を得るために、ガスに曝露される間のガス濃度や時間は、高い再現性でもって精密に制御される必要がある。なお、反復されるサイクル内で、Ｓ９４１とＳ９４２、またはＳ９４３とＳ９４４を、更に複数回反復して実施してもよい。

[0059]（Ｓ９０５：降温）

このステップでは、必要に応じ、成膜処理の間続けられていたステップＳ９０３の温度調整が停止しもしくはより低い温度に設定し直され、処理室６内の温度が徐々に下げられる。

[0060]（Ｓ９０６：ベントおよび大気圧復帰）

成膜処理が完了した後、バルブ１４および図示しないバルブを開き、ガス

供給管１２および図示しないガス供給管からN_2ガスを処理室６内へ供給し、排気管１５から排気する。これにより、処理室６内の雰囲気が不活性ガスに置換され（不活性ガス置換）、残留する原料や副生成物が処理室６内から除去（パージ）される。その後、ＡＰＣバルブ１７が閉じられ、処理室６内の圧力が常圧になるまでN_2ガスが充填される（大気圧復帰）。なお、ステップＳ９０５とＳ９０６は並行して行ったり、開始順序を入れ替えたりしてもよい。

[0061]（Ｓ９０７：ボートアンロードおよびウエハディスチャージ）

ボートエレベータ２７によりシールキャップ１９がゆっくりと下降され、マニホールド５の下端が開口される。そして、処理済のウエハ７が、ボート２１に支持された状態で、マニホールド５の下端から反応管４の外部に搬出される（ボートアンロード）。処理済のウエハ７は、図示しない移載機によってボート２１より取出される（ウエハディスチャージ）。

[0062] ノズル基部３２およびその周辺構成の変形例について図１０を用いて説明する。図１０は図６に対応する図である。ガス供給管３１の延長線上において、サポート部材３３とノズル基部３２の第一係合部３２ａに、ピン３３ｆとボス（穴）３２ｊをそれぞれ設けてもよい。これにより、チルトの回転中心が位置決めされる。長孔３３ｇは、ピン３３ｆとボス３２ｊを中心にノズル基部３２が所定の範囲で回転することを許容する。ピン３３ｆとボス３２ｊは少なくともボルト３４ａよりもマニホールド５にあればよい。また、ピン３３ｆとボス３２ｊとの隙間嵌めで良く精度は不要である。

[0063] 本実施形態によれば、以下に示す１つ又は複数の効果が得られる。

[0064]（ａ）ノズル８ｄ及びノズル基部３２を含むノズルアセンブリの重心よりも、処理容器の中心側にずれた位置で、ノズル基部３２の下面を調整可能に押す又は引くように構成された傾き調節具（ボルト３４ａ）を備える。これにより、ノズル８ｄに所望の前後チルトを設定した状態でリジットに固定できる。支点が重心よりも処理容器の中心側に配置されたことで、経時変化等によって内側に倒れることが無い。

[0065] （ｂ）マニホールド５の内壁面５ｂに沿って横に延び、ノズル基部３２のサポート部材３３とは反対側の側面において流路３２ｄと連通するガス供給管３１を備える。これにより、ノズル８ｄの設置位置の自由度が向上し、結果的にウエハの処理の面間均一性を向上できる。

[0066] （ｃ）ノズル基部３２とサポート部材３３は、ノズル８ｄが伸びる方向及びノズル８ｄと処理容器の中心を結ぶ線に略平行な面（傾き調節具によって傾かせるべき方向を含む面）で、一本以上のボルト（ボルト３４ｄ）によって剛接合され、ボルト３４ｄは、傾き調節具（ボルト３４ａ）がノズル基部を押し上げるほど締まるように、右ネジ若しくは左ネジの一方が選択される。これにより、傾き調節具（ボルト３４ａ）によって、ノズル８ｄを内管４Ｂの内壁に接触させた状態で更に与圧し、ノズル８ｄの擦れや衝突を防止できる。

[0067] （ｄ）ガス供給管３１を含むノズルアセンブリの重心は、ガスインレットポート３８がガス供給管３１を支える点と、傾き調節具（ボルト３４ａ）がノズル基部３２を支える点とを結ぶ直線よりも、内管４Ｂの内壁面側にある。これにより、ノズル８ｄは２点のみで支持できる状態で固定されるので、ガスインレットポート３８に無理な力が掛かってリークが生じることを防止できる。

[0068] （ｆ）フランジ管（マニホールド５）は、円周面から内側へ向かって伸びるブラケット３５を有し、サポート部材３３はその一端においてブラケット３５の底面にボルト３４ｂ，３４ｃによって着脱可能に締着され、サポート部材３３は、片持ち梁構造によってノズル基部３２を支持する。これにより、処理容器の下部と、ボート２１との間に必要な隙間を小さくできる。

[0069] （ｇ）ボルト３４ｂ，３４ｃ，３４ｇ，３４ｈは、ブラケット３５の底面に螺合するとともにサポート部材３３を貫通する第１ボルト（ボルト３４ｂ，３４ｃ）と、サポート部材３３に螺合するとともにブラケット３５の底面に当接する第２ボルト（ボルト３４ｇ，３４ｈ）と、を含む。これにより、周方向(左右方向)の傾きも調整できる。

[0070] （ｈ）サポート部材３３は、ノズル基部３２と剛接合した位置から下方に延びたのち、ノズル基部３２の下で横方向に延びるアングル部３３ｅを有し、傾き調節具（ボルト３４ａ）は、アングル部３３ｅに設けられる。これにより、ノズル基部３２の支点となる部材と剛接合（固定）する部材が共通となり、作業性が良い。

[0071] （ｉ）ノズル基部３２は、第一係合部３２ａと第二係合部３２ｂが分離する分割構造を有し、更に第一係合部３２ａと第二係合部３２ｂの接合面は、ノズルを傾かせる回転方向を含むように設定される。これにより、ノズルの取付が容易になるとともに、接続部３６にリークが生じさせることなくノズルの傾きを調整できる。

[0072] 本開示は上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。当業者は、上述の実施形態を、減圧下での基板の熱処理に広く適用できる。例えば本開示は、ホットウォール反応管に限られず、ランプ加熱や誘導加熱によるコールドウォール管に適用でき、図１のような２重管、図２のようなバッファ（ダクト）付き管、図５のような１重管を含む、様々な形状の反応管に対して適用できる。

符号の説明

[0073] １・・・基板処理装置　８ｄ・・・ノズル　３２・・・ノズル基部　３２ｄ・・・流路　３３・・・サポート部材　３４ａ・・・傾き調整具（ボルト）

請求の範囲

[請求項1] 処理容器の内壁面に沿って配置され、少なくとも該処理容器の下部において前記処理容器の内壁面と間隔を有して設けられたノズルと、

前記ノズルを支持するとともに、前記ノズルと連通する流路を内部に有するノズル基部と、

前記内壁面に沿って設けられ、前記ノズル基部の前記内壁面と対面しない第１接合面と接合するサポート部材と、

前記ノズル及び前記ノズル基部を含むノズルアセンブリの重心よりも、前記処理容器の中心側にずれた位置で、前記ノズル基部の傾きを調整可能に構成された傾き調節具と、を備える基板処理装置。

[請求項2] 前記内壁面に沿って設けられ、前記サポート部材とは反対側の側面において前記流路と連通するガス供給管を更に備える請求項１に記載の基板処理装置。

[請求項3] 前記処理容器は縦に延びる筒状であり、前記ノズルは前記内壁面に沿って縦に延び、

前記ノズル基部と前記サポート部材は、前記内壁面に沿って横に延び、前記ノズルが伸びる方向及び前記ノズルと前記処理容器の中心を結ぶ線に略平行な面で、一以上の締結具によって接合される請求項２に記載の基板処理装置。

[請求項4] 前記締結具はボルトであり、前記傾き調節具が前記ノズル基部を押し上げるほど締まるように、右ネジ若しくは左ネジの一方が選択される請求項３に記載の基板処理装置。

[請求項5] 前記締結具はボルトであり、前記ノズルの先端が前記処理容器の外側へ向かう方向に前記ノズルが傾斜するほど締まるように、右ネジ若しくは左ネジの一方が選択される請求項３に記載の基板処理装置。

[請求項6] 前記処理容器は、下方が開口した反応管と、前記反応管の前記開口に連結する金属製のフランジ管とを有し、

前記フランジ管は、前記ガス供給管の前記ノズル基部と反対の端が

挿通されるガスインレットポートを側面に有し、

前記ガス供給管を更に含むノズルアセンブリの重心は、前記ガスインレットポートが前記ガス供給管を支える点と、前記傾き調節具が前記ノズル基部を支える点とを結ぶ直線よりも、前記反応管の内壁面側にある請求項３に記載の基板処理装置。

[請求項7] 前記フランジ管は、内周面から内側へ向かって伸びるブラケットを有し、前記サポート部材はその一端において前記ブラケットの底面に接合ボルトによって締着され、前記ノズル基部を支持する請求項６に記載の基板処理装置。

[請求項8] 前記締結具はボルトであり、前記ブラケットに螺合するとともに前記サポート部材を貫通する第１ボルトと、前記サポート部材に螺合するとともに前記ブラケットの底面に当接する第２ボルトと、を含む請求項７に記載の基板処理装置。

[請求項9] 前記サポート部材は、前記ノズル基部と接合した位置から下方に延びたのち、前記ノズル基部の下で横方向に延びるアングル部を有し、前記傾き調節具は、前記アングル部に設けられる請求項１に記載の基板処理装置。

[請求項10] 前記ノズル基部は、第２接合面によって分離可能に接合する第一係合部と第二係合部とを有する請求項１に記載の基板処理装置。

[請求項11] 前記第一係合部と前記第二係合部は、前記第２接合面を貫通する前記流路の周囲にインロー構造を有する請求項１０に記載の基板処理装置。

[請求項12] 前記第一係合部と前記第二係合部は、前記第２接合面を貫通する前記流路を中心に回転させて角度を変更可能に構成される請求項１０に記載の基板処理装置。

[請求項13] 前記第１接合面と前記第２接合面は、実質的に平行である請求項１０に記載の基板処理装置。

[請求項14] 前記ノズルは、その先端が前記処理容器の前記内壁面に押し当てら

れた状態で、前記サポート部材によって固定される請求項１に記載の基板処理装置。

[請求項15] 前記傾き調節具は、前記サポート部材を上下方向に貫通し前記サポート部材と螺合するボルトであり、前記ボルトの回転量によって、前記ノズルの先端を前記内壁面に押し当てる強さが定量的に設定可能に構成される請求項１４に記載の基板処理装置。

[請求項16] ノズルアセンブリであって、

少なくとも処理容器の下部において前記処理容器の内壁面との間に間隙を設けながら、ノズルを内壁面に沿って配置するように、前記ノズルを保持することが可能に構成されるとともに、前記ノズルと連通する流路を内部に有するノズル基部と、

前記内壁面に沿って設けられ、前記ノズル基部の前記内壁面と対面しない第１面と接合するサポート部材と、

前記ノズルアセンブリの重心よりも、前記処理容器の中心側にずれた位置で、前記ノズル基部の傾きを調整可能に構成された傾き調節具と、を備えるノズルアセンブリ。

[請求項17] 処理容器の内壁面に沿って配置され、少なくとも該処理容器の下部において前記処理容器の内壁面と間隔を有して設けられたノズルと、前記ノズルを支持するとともに、前記ノズルと連通する流路を内部に有するノズル基部と、前記内壁面に沿って設けられ、前記ノズル基部の前記内壁面と対面しない第１接合面と接合するサポート部材と、前記ノズル及び前記ノズル基部を含むノズルアセンブリの重心よりも、前記処理容器の中心側にずれた位置で、前記ノズル基部の傾きを調整可能に構成された傾き調節具と、を備える基板処理装置の前記処理容器にウエハを搬入する工程と、

前記ウエハを処理する工程と、を含む半導体装置の製造方法。

[請求項18] 処理容器の内壁面に沿って配置され、少なくとも該処理容器の下部において前記処理容器の内壁面と間隔を有して設けられたノズルと、

前記ノズルを支持するとともに、前記ノズルと連通する流路を内部に有するノズル基部と、前記内壁面に沿って設けられ、前記ノズル基部の前記内壁面と対面しない第１接合面と接合するサポート部材と、前記ノズル及び前記ノズル基部を含むノズルアセンブリの重心よりも、前記処理容器の中心側にずれた位置で、前記ノズル基部の傾きを調整可能に構成された傾き調節具と、を備える基板処理装置の前記処理容器にウエハを搬入する手順と、

前記ウエハを処理する手順と、

をコンピュータによって前記基板処理装置に実行させるプログラム。