

明 細 書

発明の名称：

基板処理装置、半導体装置の製造方法およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、基板処理装置、半導体装置の製造方法およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 半導体装置の製造工程の一工程として、複数本のノズルを用いて基板上に膜を形成する処理が行われることがある（例えば特許文献1～4参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0003] 特許文献1：特許第4 9 2 9 8 1 1号
特許文献2：特開2 0 1 5 - 1 7 3 1 5 4号公報
特許文献3：特許第5 9 5 8 2 3 1号
特許文献4：特許第5 6 5 8 4 6 3号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明の目的は、基板上に形成される膜の基板面内及び面間均一性を向上させることが可能な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] 本発明の一態様によれば、
パターンが形成された複数のプロダクトウエハを配列した状態で支持するプロダクトウエハ支持領域と、前記プロダクトウエハ支持領域の上方側にてダミーウエハを支持可能な上方ダミーウエハ支持領域と、前記プロダクトウエハ支持領域の下方側にてダミーウエハを支持可能な下方ダミーウエハ支持領域と、を有する基板保持具と、

前記基板保持具を収容する処理室と、
前記処理室の内部へガス供給を行う第1乃至第3のガス供給部と、
前記処理室の雰囲気を排気する排気部と、を備え、
前記第1及び第3のガス供給部は、それぞれ前記基板保持具に沿って上下方向に延伸し、複数のガス供給孔が形成された管状のノズルを有し、
前記複数のガス供給孔のうち、前記ノズルの最も上方に形成されたガス供給孔の上端が、前記上方ダミーウエハ支持領域で支持される最も上方のダミーウエハに対応させて配置されるとともに、前記ノズルの最も下方に形成されたガス供給孔の下端が、前記下方ダミーウエハ支持領域で支持される最も下方のダミーウエハに対応させて配置され、
前記第2のガス供給部は、前記基板保持具に沿って上下方向に延伸し、複数のガス供給孔又はスリット状の開口部からなるガス供給口が形成された管状のノズルを有し、
前記ガス供給口は、少なくとも前記プロダクトウエハ支持領域に向かって開口するよう構成されている
技術が提供される。

発明の効果

[0006] 本発明によれば、基板上に形成される膜の基板面内及び面間均一性を向上させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本発明の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型処理炉の概略構成図であり、処理炉部分を縦断面図で示す図である。

[図2]本発明の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型処理炉の概略構成図であり、処理炉の一部を横断面図で示す図である。

[図3]本発明の実施形態で好適に用いられる基板処理装置のコントローラの概略構成図であり、コントローラの制御系をブロック図で示す図である。

[図4] (A) は、本発明の一実施形態に係るノズル周辺の横断面図であって、
(B) は、本発明の一実施形態に係るノズルと、基板保持具に保持された基

板との位置関係を説明するための図である。

[図5] (A) は、変形例 1 に係るノズル周辺の横断面図であって、(B) は、変形例 1 に係るノズルと、基板保持具に保持された基板との位置関係を説明するための図である。

[図6] (A) は、変形例 2 に係るノズル周辺の横断面図であって、(B) は、変形例 2 に係るノズルと、基板保持具に保持された基板との位置関係を説明するための図である。

[図7] (A) は、変形例 3 に係るノズル周辺の横断面図であって、(B) は、変形例 3 に係るノズルと、基板保持具に保持された基板との位置関係を説明するための図である。

[図8] (A) は、比較例に係るノズルと、基板保持具に保持された基板との位置関係を説明するための図であって、(B) は、実施例に係るノズルと、基板保持具に保持された基板との位置関係を説明するための図である。

[図9] (A) は、図 8 (A) に示す比較例に係るノズルを用いた場合の処理炉内の Si 原料の濃度分布を示すシミュレーション結果を示す図であって、(B) は、(A) の製品ウエハの面内面間膜厚分布を示す図である。

[図10] (A) は、図 8 (B) に示す実施例に係るノズルを用いた場合の処理炉内の Si 原料の濃度分布を示すシミュレーション結果を示す図であって、(B) は、(A) の製品ウエハの面内面間膜厚分布を示す図である。

[図11] 比較例に係るノズルと実施例に係るノズルをそれぞれ用いて成膜した場合の基板面内 (W i W) 膜厚分布の評価結果を示す図である。

[図12] 比較例に係るノズルと実施例に係るノズルをそれぞれ用いて成膜した場合の基板面間 (W t W) 膜厚分布の評価結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0008] <本発明の一実施形態>

以下、本発明の一実施形態について図 1 ～図 4 を用いて説明する。本発明における基板処理装置は、半導体装置の製造に使用される半導体製造装置の一例として構成されているものである。

[0009] (1) 基板処理装置の構成

図1に示すように、処理炉202は加熱手段（加熱機構）としてのヒータ207を有する。ヒータ207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垂直に据え付けられている。ヒータ207は、処理ガスを熱で活性化（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207の内側には、ヒータ207と同軸に反応容器（処理容器）を構成する単管構造の反応管203が配設されている。反応管203は、例えば石英（ SiO_2 ）または炭化シリコン（ SiC ）等の耐熱性材料によって、下端部が開放され、上端部が平坦状の壁体で閉塞された有天井の形状で形成されている。反応管203の側壁は、円筒形状に形成された円筒部209と、円筒部209の外壁に設けられたガス供給エリア（バッファ）222とガス排気エリア224とを備えている。反応管203の円筒部209の内部には、処理室201が形成されている。処理室201は、基板としてのウエハ200を高温及び減圧下で処理可能に構成されている。また、処理室201は、ウエハ200を水平姿勢で垂直方向に多段に整列した状態で保持可能な基板保持具としてのボート217を収容可能に構成されている。

[0011] ガス供給エリア222は、円筒部209の一側壁の外側に突出するように形成されている。ガス供給エリア222の外壁は、円筒部209の外壁に接続して、円筒部209の外径よりも大きく、円筒部209と同心円状に形成されている。ガス供給エリア222は、下端部が開放され、上端部が平坦状の壁体で閉塞される。ガス供給エリア222は、その長さ方向（上下方向）に沿って後述するノズル304a～304cを収容する。境界壁252は円筒部209の一側壁であって、ガス供給エリア222と円筒部209との間の境界を構成する。ガス供給スリット235は、境界壁252上に開口し、ガス供給エリア222内と処理室201を連通させる。好ましくは、ガス供給スリット235は、ガス供給エリア222の各区画を別個に処理室201に連通させるように円周方向に3個配列されるとともに、ウエハ200のそ

れぞれの表面（上面）に対応する複数の開口として、長手方向にウエハ 2 0 0 と同数個配列して形成される。

- [0012] 円筒部 2 0 9 のガス供給エリア 2 2 2 が形成された一側壁に対向する他側壁には、ガス排気エリア 2 2 4 が外側に突出するように形成される。ガス排気エリア 2 2 4 は、ガス供給エリア 2 2 2 との間に処理室 2 0 1 のウエハ 2 0 0 が収容される領域を挟むように配置されている。ガス排気エリア 2 2 4 の外壁は、円筒部 2 0 9 の外壁の一部としての他側壁の外側に円筒部 2 0 9 の外径よりも大きく、円筒部 2 0 9 と同心円状に形成されている。ガス排気エリア 2 2 4 は、下端部と上端部が平坦状の壁体で閉塞される。
- [0013] ガス排気エリア 2 2 4 と円筒部 2 0 9 との間の境界を構成する壁体である境界壁 2 5 4 には後述するガス排気スリット 2 3 6 が形成されている。境界壁 2 5 4 は円筒部 2 0 9 の一部であって、その外側面は、ガス排気エリア 2 2 4 に面する側面部分を構成する。
- [0014] 反応管 2 0 3 の下端は、円筒体状のマニホールド 2 2 6 によって支持されている。マニホールド 2 2 6 は、例えばニッケル合金やステンレス等の金属で形成されるか、若しくは石英（ SiO_2 ）または炭化シリコン（ SiC ）等の耐熱性材料で形成されている。マニホールド 2 2 6 の上端部にはフランジが形成されており、このフランジ上に反応管 2 0 3 の下端部を設置して支持する。このフランジと反応管 2 0 3 の下端部との間にはＯリング等の気密部材 2 2 0 を介在させて反応管 2 0 3 内を気密状態にしている。
- [0015] マニホールド 2 2 6 の下端の開口部には、シールキャップ 2 1 9 がＯリング等の気密部材 2 2 0 を介して気密に取り付けられており、反応管 2 0 3 の下端の開口部側、すなわちマニホールド 2 2 6 の開口部を気密に塞ぐようになっている。シールキャップ 2 1 9 は、例えばニッケル合金やステンレス等の金属によって、円盤状に形成されている。シールキャップ 2 1 9 は、石英（ SiO_2 ）または炭化シリコン（ SiC ）等の耐熱性材料でその内側表面を覆うように構成されてもよい。
- [0016] シールキャップ 2 1 9 上にはボート 2 1 7 を支持するボート支持台 2 1 8

が設けられている。ボート支持台 218 は、例えば石英や炭化珪素等の耐熱性材料で構成され断熱部として機能すると共にボートを支持する支持体となっている。ボート 217 は、ボート支持台 218 上に立設されている。ボート 217 は例えば石英や炭化珪素等の耐熱性材料で構成されている。ボート 217 は図示しないボート支持台に固定された底板とその上方に配置された天板とを有しており、底板と天板との間に複数本の支柱が架設された構成を有している。ボート 217 には複数枚のウエハ 200 が保持されている。複数枚のウエハ 200 は、互いに一定の間隔をあげながら水平姿勢を保持しかつ互いに中心を揃えた状態で反応管 203 の管軸方向に多段に積載されボート 217 の支柱に支持されている。

[0017] シールキャップ 219 の処理室 201 と反対側にはボートを回転させるボート回転機構 267 が設けられている。ボート回転機構 267 の回転軸 265 はシールキャップ 219 を貫通してボート支持台 218 に接続されており、ボート回転機構 267 によって、ボート支持台 218 を介してボート 217 を回転させることでウエハ 200 を回転させる。

[0018] シールキャップ 219 は反応管 203 の外部に設けられた昇降機構としてのボートエレベータ 115 によって垂直方向に昇降され、これによりボート 217 を処理室 201 内に対し搬入搬出することが可能となっている。

[0019] マニホールド 226 には、ノズル（インジェクター）304a～304c を支持するノズル支持部 350a～350c が、L 字状に屈曲されてマニホールド 226 を貫通するようにして設置されている。ここでは、3 本のノズル支持部 350a～350c が設置されている。ノズル支持部 350a～350c は、例えばニッケル合金やステンレス等の材料から形成される。ノズル支持部 350a～350c の一端には反応管 203 内へガスを供給するガス供給管 310a～310c がそれぞれ接続されている。また、ノズル支持部 350a～350c の他端にはノズル 304a～304c がそれぞれ接続されている。ノズル 304a～304c は、例えば石英または SiC 等の耐熱性材料から形成される。

- [0020] 図2に示すように、ガス供給エリア222およびガス排気エリア224の内部には、各エリア内空間を複数の空間に区画する内壁248、250が形成されている。ガス供給エリア222、内壁248、250は、反応管203と同一材料で形成され、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形成されている。ここでは、それぞれ2つの内壁を備え、3つの空間に区画されている。
- [0021] ガス供給エリア222内を区画する2つの内壁248は、ガス供給エリア222を下端側から上端側に至るまで区画し、それぞれ隔離した3つの空間を形成するように、設けられている。ガス供給エリア222の各空間には、ノズル304a～ノズル304cがそれぞれ設置されている。内壁248により、各ノズル304a～304cはそれぞれ独立した空間内に設置されるため、各ノズル304a～304cから供給される処理ガスがガス供給エリア222内で混ざり合う事を抑制することができる。このような構成により、ガス供給エリア222内で処理ガスが混ざり合って薄膜が形成されたり、副生成物が生成されたりすることを抑制することができる。好適には、内壁248は、ガス供給エリア222を下端から上端に至るまで区画し、それぞれ隔離した3つの空間を形成するように、設けると良い。
- [0022] ガス排気エリア224内を区画する2つの内壁250は、内壁248と同様に、ガス排気エリア224を区画するように、設けられている。好適には、内壁250は、ガス排気エリア224を上端付近から排気口230（後述）付近まで区画する。好適には、ガス供給エリア222およびガス排気エリア224の外壁の外径は、同一寸法とすると、反応管203のゆがみを抑え、ヒータ207との間のデッドスペースを少なくすることができる等のメリットがある。同様の理由により、好適には、ガス供給エリア222とガス排気エリア224それぞれのガスの流路断面積は同じ面積とする。また、好適には、ガス供給エリア222内の各空間のガスの流路断面積と、ガス供給エリア222内の各空間に対面するガス排気エリア224内の各空間のガスの流路断面積を同じ面積とする。また、好適には、ガス排気スリット236は

ガス供給スリット235と同様に形成される。

[0023] ガス供給管310bからは、原料（原料ガス）として、例えば、膜を構成する所定元素（主元素）としてのSiおよびハロゲン元素を含むハロシラン系ガスが、第2のガス供給源としてのガス供給源360b、MFC320b、バルブ330b、ノズル304bを介して処理室201内へ供給される。原料ガスとは、熱分解性の原料ガスであって、気体状態の原料で、例えば、常温常圧下で液体状態である原料を気化することで得られるガスや、常温常圧下で気体状態である原料等のことである。ハロシランとは、ハロゲン基を有するシランのことである。すなわち、ハロゲン基には、塩素（Cl）、フッ素（F）、臭素（Br）、ヨウ素（I）等のハロゲン元素が含まれる。ハロシラン系ガスとしては、例えば、SiおよびClを含む原料ガス、すなわち、クロロシラン系ガスを用いることができる。クロロシラン系ガスは、Siソースとして作用する。クロロシラン系ガスとしては、例えば、ヘキサクロロジシラン（ Si_2Cl_6 、略称：HCDS）ガスを用いることができる。

[0024] ガス供給管310aからは、原料とは化学構造（分子構造）が異なる反応体（リアクタント）として、例えば、窒素（N）含有ガスとしての窒化ガスである窒化水素系ガスが、ガス供給源360a、MFC320a、バルブ330a、ノズル304aを介して処理室201内へ供給される。窒化水素系ガスは、Nソースとして作用する。窒化水素系ガスとしては、例えば、アンモニア（ NH_3 ）ガスを用いることができる。

[0025] ガス供給管310d～310fからは、不活性ガスとして、例えば、窒素（ N_2 ）ガスが、それぞれ第1のガス供給源としてのガス供給源360d、ガス供給源360e、第3のガス供給源としてのガス供給源360f、MFC320d～320f、バルブ330d～330f、ガス供給管310a～310c、ノズル304a～304cを介して処理室201内へ供給される。 N_2 ガスは、パージガス、キャリアガス、希釈ガス等として作用し、さらに、ウエハ200上に形成される膜の面内膜厚分布を制御する膜厚分布制御ガスとして作用する。

- [0026] 主に、ガス供給管 310a、MFC 320a、バルブ 330a、ノズル 304a により反応体供給系としての第 1 処理ガス供給系が構成される。第 1 処理ガス供給系にガス供給源 360a を含めてもよい。また、主に、ガス供給管 310b、MFC 320b、バルブ 330b、ノズル 304b により原料供給系としての第 2 処理ガス供給系が構成される。第 2 処理ガス供給系にガス供給源 360b を含めてもよい。また、主に、ガス供給管 310c、MFC 320c、バルブ 330c、ノズル 304c により反応体供給系としての第 3 処理ガス供給系が構成される。第 3 処理ガス供給系にガス供給源 360c を含めてもよい。また、主に、ガス供給管 310a～310f、MFC 320d～320f、バルブ 330d～330f、ノズル 304a～304c により、不活性ガス供給系が構成される。不活性ガス供給系にガス供給源 360d～360f を含めてもよい。
- [0027] ガス排気エリア 224 の下部には排気口 230 が設けられている。排気口 230 は排気管 231 に接続されている。排気管 231 には処理室 201 内の圧力を検出する圧力検出器（圧力検出部）としての圧力センサ 245 および圧力調整器（圧力調整部）としての APC（Auto Pressure Controller）バルブ 244 を介して真空排気装置としての真空ポンプ 246 が接続されており、処理室 201 内の圧力が所定の圧力（真空度）となるよう真空排気し得るように構成されている。真空ポンプ 246 の下流側の排気管 231 は廃ガス処理装置（図示せず）等に接続されている。なお、APC バルブ 244 は、弁を開閉して処理室 201 内の真空排気・真空排気停止ができ、更に弁開度を調節してコンダクタンスを調整して処理室 201 内の圧力調整をできるようになっている開閉弁である。主に、排気管 231、APC バルブ 244、圧力センサ 245 により排気部としての排気系が構成される。なお、真空ポンプ 246 も排気系に含めてもよい。
- [0028] 反応管 203 内には温度検出器としての不図示の温度センサが設置されており、温度センサにより検出された温度情報に基づきヒータ 207 への供給電力を調整することで、処理室 201 内の温度が所望の温度分布となるよう

に構成されている。

[0029] 図3に示すように、制御部（制御手段）であるコントローラ280は、CPU（Central Processing Unit）121a、RAM（Random Access Memory）121b、記憶装置121c、I/Oポート121dを備えたコンピュータとして構成されている。RAM121b、記憶装置121c、I/Oポート121dは、内部バス121eを介して、CPU121aとデータ交換可能なように構成されている。コントローラ280には、例えばタッチパネル等として構成された入出力装置122が接続されている。

[0030] 記憶装置121c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121c内には、基板処理装置の動作を制御する制御プログラムや、後述する基板処理の手順や条件等が記載されたプロセスレシピ等が、読み出し可能に格納されている。プロセスレシピは、後述する基板処理における各手順をコントローラ280に実行させ、所定の結果を得ることができるよう組み合わされたものであり、プログラムとして機能する。以下、プロセスレシピや制御プログラム等を総称して、単に、プログラムともいう。また、プロセスレシピを、単に、レシピともいう。本明細書においてプログラムという言葉を用いた場合は、レシピ単体のみを含む場合、制御プログラム単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。RAM121bは、CPU121a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。

[0031] I/Oポート121dは、上述のMFC320a～320f、バルブ330a～330f、圧力センサ245、APCバルブ244、真空ポンプ246、ヒータ207、ボート回転機構267、ボートエレベータ115等に接続されている。

[0032] CPU121aは、記憶装置121c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122からの操作コマンドの入力等に応じて記憶

装置 1 2 1 c からレシピを読み出すように構成されている。CPU 1 2 1 a は、読み出したレシピの内容に沿うように、MFC 3 2 0 a ~ 3 2 0 f による各種ガスの流量調整動作、バルブ 3 3 0 a ~ 3 3 0 f の開閉動作、APC バルブ 2 4 4 の開閉動作および圧力センサ 2 4 5 に基づく APC バルブ 2 4 4 による圧力調整動作、真空ポンプ 2 4 6 の起動および停止、不図示の温度センサに基づくヒータ 2 0 7 の温度調整動作、ボート回転機構 2 6 7 によるボート 2 1 7 の回転および回転速度調節動作、ボートエレベータ 1 1 5 によるボート 2 1 7 の昇降動作等を制御するように構成されている。

[0033] コントローラ 2 8 0 は、外部記憶装置 1 2 3 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。外部記憶装置 1 2 3 は、例えば、HDD 等の磁気ディスク、CD 等の光ディスク、MO 等の光磁気ディスク、USB メモリ等の半導体メモリ等を含む。記憶装置 1 2 1 c や外部記憶装置 1 2 3 は、コンピュータ読み取り可能な記録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。本明細書において記録媒体という言葉を用いた場合は、記憶装置 1 2 1 c 単体のみを含む場合、外部記憶装置 1 2 3 単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。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 1 2 3 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。

[0034] 以上の処理炉 2 0 2 では、バッチ処理される複数枚のウエハ 2 0 0 がボート 2 1 7 に対し多段に積層された状態において、ボート 2 1 7 がボート支持台 2 1 8 で支持されながら処理室 2 0 1 に収容され、ノズル 3 0 4 a ~ 3 0 4 c により処理室 2 0 1 に収容されたウエハ 2 0 0 に対してガス供給を行う。

[0035] ここで、近年、半導体の集積度を上げるために 3 次元化が進み、半導体膜を成膜するウエハの表面積が増加している。表面積増加に伴って成膜ガスの消費が大きくなり、ウエハに成膜する半導体膜の均一性が悪化するという問題が生じている。

[0036] また、一般的に半導体製造装置の一例としての縦型処理炉は高さ方向に配列したウエハの温度を均一化するために、ウエハ200を保持するポート217の上側と下側にダミーウエハを装填することで成長させる膜の均一化を図っている。しかしながら、ダミーウエハは通常、平坦状の平坦ウエハであるため、パターンが形成されたプロダクトウエハである製品ウエハとは表面積が異なる。近年、製品ウエハは、平坦ウエハに比べて50倍、100倍といった表面積を有したものもあり、年々拡大傾向となっている。ここで、表面積が大きいほど成膜ガスの消費量が大きくなる傾向があり、ダミーウエハと製品ウエハ上で消費される原料ガスが、ダミーウエハが装填される領域であるダミーウエハ支持領域と、製品ウエハが装填される領域であるプロダクトウエハ支持領域とで異なることとなる。そのため、高さ方向に積層したウエハに同じ量の原料を供給すると原料が余る箇所と不足する箇所が発生し、このウエハ面間で原料濃度差が発生することが要因で、ウエハ面間面内での膜の均一化が困難となってしまう。

[0037] 本実施形態によれば、半導体の製品ウエハの表面積増加に伴う膜厚、膜質均一性悪化の問題に対して、製品ウエハ上に形成される膜の基板面内面間均一性を向上させることとしている。

[0038] ここで、ガス供給エリア222には、3本のノズル304a～304cが設けられており、処理室201内へ複数種類のガスを供給することができるように構成されている。処理室201は、収容可能な最大のウエハ200の直径の104～108%の内径の筒状に構成されている。ノズル304a～304cは、処理室201の側部の一部を外側に張り出して形成されたガス供給エリア222内にそれぞれ隔離された状態で収容される。この処理室201内へ複数種類のガスを供給するノズル304a～304cの構成について、図4(A)及び図4(B)を参照して説明する。ノズル304a、ノズル304b、ノズル304cは、それぞれ第1のガス供給部、第2のガス供給部、第3のガス供給部として用いられる。

[0039] 図4(A)は、ガス供給エリア222の製品ウエハ200aが保持される

プロダクトウエハ支持領域のノズル304a～304c周辺の横断面図であって、図4(B)は、ノズル304a～304cと、ポート217に多段に積層されたウエハ200との位置関係を説明するための図である。

[0040] ポート217は、製品ウエハ200aを複数積層した状態で支持するプロダクトウエハ支持領域と、プロダクトウエハ支持領域の上方側にてダミーウエハ200bを支持可能な上方ダミーウエハ支持領域と、プロダクトウエハ支持領域の下方側にてダミーウエハ200bを支持可能な下方ダミーウエハ支持領域とを有する。ここで、製品ウエハ200aは、パターンが形成されたプロダクトウエハであって、ダミーウエハ200bは、パターンが形成されていない平坦状のウエハである。つまり、複数枚積層されたプロダクトウエハ200aの上方側と下方側にそれぞれ複数枚のダミーウエハ200bが積層されて支持されている。プロダクトウエハ支持領域に支持可能な枚数は、FOUP等のウエハ容器の収容数(25枚)の整数倍に設定されうる。

[0041] ノズル304a～304cはガス供給エリア222内の下部より上部に、その長さ方向(上下方向)に沿って設けられている。つまり、ノズル304a～304cは、それぞれ処理室201内に収容されたポート217に沿って上下方向に一本のみ延伸し、直管型でチューブ状(管状)のロングノズルとしてそれぞれ構成されている。

[0042] また、ノズル304a～304cは、処理室201の外周付近のガス供給エリア222内にノズル304a、ノズル304b、ノズル304cの順で並んで配置されている。つまり、原料ガス又は不活性ガスを供給するノズル304bの両側に、不活性ガス又は窒化ガスを供給するノズル304a、304cが配置される。すなわち、原料ガスを供給するノズル304bを中央に配置し、ノズル304bを挟むように不活性ガス又は窒化ガスを供給するノズル304a、304cが配置される。

[0043] ノズル304aは、下端がガス供給源360a、360dから流体が流通可能な状態で、ガス供給管310aに接続される。

[0044] ノズル304bは、下端がガス供給源360b、360eから流体が流通

可能な状態で、ガス供給管 310b に接続される。

[0045] ノズル 304c は、下端がガス供給源 360c, 360f から流体が流通可能な状態で、ガス供給管 310c に接続される。

[0046] ノズル 304a, 304c の側面には、ガスを供給するガス供給孔 232a, 232c がそれぞれ複数形成されている。この複数のガス供給孔 232a, 232c はピンホール状の小さな円孔であり、これらのうち、ノズル 304a, 304c のそれぞれ最も上方に形成されたガス供給孔 232a, 232c の上端が、上方ダミーウエハ支持領域で支持される最も上方のダミーウエハ 200b に対応させて配置されるとともに、ノズル 304a, 304c のそれぞれ最も下方に形成されたガス供給孔 232a, 232c の下端が、それぞれ下方ダミーウエハ支持領域で支持される最も下方のダミーウエハ 200b に対応させて配置される。つまり、ノズル 304a, 304c には、上方ダミーウエハ領域、プロダクトウエハ領域及び下方ダミーウエハ領域にそれぞれ複数のガス供給孔 232a, 232c が形成されている。好ましくは、ガス供給孔 232a, 232c は、ダミーウエハ 200b を含む全てのウエハ 200 のそれぞれの表面（上面）又はガス供給スリット 235 の開口に対応するように、所定の間隔で形成されうる。

[0047] ノズル 304b の側面には、ガスを供給するガス供給口としてのガス供給孔 232b が複数形成されている。この複数のガス供給孔 232b のうち、ノズル 304b の最も上方に形成されたガス供給孔 232b の上端が、上方ダミーウエハ支持領域で支持される最も下方のダミーウエハ 200b よりも低い位置に配置されるとともに、ノズル 304b の最も下方に形成されたガス供給孔 232b の下端が、下方ダミーウエハ支持領域で支持される最も上方のダミーウエハ 200b よりも高い位置に配置される。つまり、ノズル 304b の側面には、プロダクトウエハ支持領域にのみ複数のガス供給孔 232b が形成され、上方ダミーウエハ支持領域及び下方ダミーウエハ支持領域にはガス供給孔 232b が形成されていない。言い換えれば、ダミーウエハ支持領域に原料ガスを供給しないようノズル 304b の側面に形成されるガ

ス供給孔 232b の開口面積を少なくするよう構成されている。

[0048] ガス供給孔 232a ~ 232c は、それぞれ反応管 203 の中心を向くように開口している。

[0049] (2) 基板処理工程

上述の基板処理装置を用い、半導体装置の製造工程の一工程として、基板としてのウエハ 200 上に膜を形成する基板処理シーケンス例、すなわち、成膜シーケンス例について説明する。以下の説明において、基板処理装置を構成する各部の動作はコントローラ 280 により制御される。

[0050] ここでは一例として、ウエハ 200 として、表面に凹凸構造が作り込まれた表面積の大きいパターンが形成された製品ウエハ 200a を用い、上述の基板処理装置を用いて、下記成膜シーケンスにより Si 原料ガスと窒化ガスを供給してシリコン窒化膜 (Si_3N_4 膜) を形成する例について説明する。以下において、製品ウエハ 200a をウエハ 200 と記して説明する。

[0051] 本明細書において「ウエハ」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものを意味する場合や、ウエハとその表面に形成された所定の層や膜との積層体を意味する場合がある。本明細書において「ウエハの表面」という言葉を用いた場合は、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等の表面を意味する場合がある。本明細書において「ウエハ上に所定の層を形成する」と記載した場合は、ウエハそのものの表面上に所定の層を直接形成することを意味する場合や、ウエハ上に形成されている層等の上に所定の層を形成することを意味する場合がある。本明細書において「基板」という言葉を用いた場合も、「ウエハ」という言葉を用いた場合と同義である。

[0052] (ウエハチャージおよびボートロード)

複数枚のウエハ 200 がボート 217 に装填 (ウエハチャージ) されると、マニホールド 226 の下端開口が開放される。その後、図 1 に示すように、複数枚のウエハ 200 を支持したボート 217 は、ボートエレベータ 115 によって持ち上げられて処理室 201 内へ搬入 (ボートロード) される。

この状態で、シールキャップ 219 は、Ｏリング 220 を介してマニホール
ド 226 の下端をシールした状態となる。

[0053] (圧力調整および温度調整)

処理室 201 内、すなわち、ウエハ 200 が存在する空間が所望の圧力（
真空度）となるように、真空ポンプ 246 によって真空排気（減圧排気）さ
れる。この際、処理室 201 内の圧力は圧力センサ 245 で測定され、この
測定された圧力情報に基づき APC バルブ 244 がフィードバック制御され
る。また、処理室 201 内のウエハ 200 が所望の成膜温度となるように、
ヒータ 207 によって加熱される。この際、処理室 201 内が所望の温度分
布となるように、温度センサが検出した温度情報に基づきヒータ 207 への
通電具合がフィードバック制御される。また、回転機構 267 によるウエハ
200 の回転を開始する。処理室 201 内の排気、ウエハ 200 の加熱およ
び回転は、いずれも、少なくともウエハ 200 に対する処理が終了するまで
の間は継続して行われる。

[0054] (成膜ステップ)

その後、次のステップ A, B を順次実行する。

[0055] [ステップ A]

このステップでは、処理室 201 内のウエハ 200 に対して HCDS ガス
を供給する。具体的には、バルブ 330b を開き、ガス供給管 310b 内へ
HCDS ガスを流す。HCDS ガスは、MFC 320b により流量調整され
、ノズル 304b を介して処理室 201 内へ供給され、排気口 230 より排
気される。このとき、ノズル 304b の両側のノズル 304a, 304c か
ら処理室 201 内のウエハ 200 に対して不活性ガスとしての N₂ ガスを供給
する。具体的には、バルブ 330d, 330f を開き、ガス供給管 310a
, 310c 内へ N₂ ガスを流す。N₂ ガスは、MFC 320d, 320f により
それぞれ流量調整され、ノズル 304a, 304c を介して処理室 201 内
へ供給され、排気口 230 より排気される。すなわち、ウエハ 200 に対し
て HCDS ガスと N₂ ガスが供給される。

- [0056] ステップAにおける処理条件としては、
HCDSガス供給流量：0.001～2slm (Standard Liters Per Minute)、好ましくは0.01～1slm
N₂ガス供給流量（ガス供給管毎）：0.5～5slm
ガス供給時間：0.1～120秒、好ましくは1～60秒
処理温度：250～800℃、好ましくは400～700℃
処理圧力：1～2666Pa、好ましくは67～1333Pa
が例示される。
- [0057] 上述の条件下でウエハ200に対してHCDSガスを供給することにより、ウエハ200の最表面上に、第1層として、Clを含むSi含有層が形成される。
- [0058] ウエハ200上に第1層を形成した後、バルブ330bを閉じ、処理室201内へのHCDSガスの供給を停止する。そして、処理室201内を真空排気し、処理室201内に残留するガス等を処理室201内から排除する。このとき、バルブ330d～330fを開いた状態とし、ノズル304a～304cを介して処理室201内へN₂ガスを供給する。ノズル304a～304cから供給されるN₂ガスはパージガスとして作用し、これにより、処理室201内がパージされる（パージステップ）。パージステップにおいて、ノズル304a～304cのそれぞれから供給するN₂ガスの流量は、それぞれ例えば0.1～2slmの範囲内の流量とする。他の処理条件は、上述のステップAにおける処理条件と同様である。
- [0059] 原料としては、HCDSガスの他、モノクロロシラン（SiH₃Cl、略称：MCS）ガス、ジクロロシラン（SiH₂Cl₂、略称：DCS）ガス、トリクロロシラン（SiHCl₃、略称：TCS）ガス、テトラクロロシラン（SiCl₄、略称：STC）ガス、オクタクロロトリシラン（Si₃Cl₈、略称：OCTS）ガス等のクロロシラン原料ガスを用いることができる。
- [0060] 不活性ガスとしては、N₂ガスの他、Arガス、Heガス、Neガス、Xeガス等の希ガスを用いることができる。この点は、後述するステップBにお

いても同様である。

[0061] [ステップB]

ステップAが終了した後、処理室201内のウエハ200、すなわち、ウエハ200上に形成された第1層に対してNH₃ガスを供給する。具体的には、バルブ330a, 330cを開き、ガス供給管310a, 310c内へNH₃ガスを流す。NH₃ガスは、MFC320a, 320cによりそれぞれ流量調整され、ノズル304a, 304cを介して処理室201内へ供給され、排気口230より排気される。このとき、ウエハ200に対してNH₃ガスが供給される。なお、このとき、バルブ330d~330fのうち少なくともいずれかを開き、ノズル304a~304cのうち少なくともいずれかを介して処理室201内へN₂ガスを流すようにしてもよい。

[0062] 本ステップにおける処理条件としては、

NH₃ガス供給流量：1~10slm

NH₃ガス供給時間：0.1~120秒、好ましくは1~60秒

N₂ガス供給流量（ガス供給管毎）：0~2slm

処理圧力：1~4000Pa、好ましくは1~3000Pa

が例示される。他の処理条件は、ステップAにおける処理条件と同様な処理条件とする。

[0063] 上述の条件下でウエハ200に対してNH₃ガスを供給することにより、ウエハ200上に形成された第1層の少なくとも一部が窒化（改質）される。第1層が改質されることで、ウエハ200上に、SiおよびNを含む第2層、すなわち、SiN層が形成される。第2層を形成する際、第1層に含まれていたCl等の不純物は、NH₃ガスによる第1層の改質反応の過程において、少なくともClを含むガス状物質を構成し、処理室201内から排出される。これにより、第2層は、第1層に比べてCl等の不純物が少ない層となる。

[0064] 第2層が形成された後、バルブ330a, 330cを閉じ、処理室201内へのNH₃ガスの供給を停止する。そして、ステップAのパージステップと

同様の処理手順、処理条件により、処理室 201 内に残留するガス等を処理室 201 内から排除する。

[0065] 反応体としては、 NH_3 ガスの他、例えば、ジアゼン (N_2H_2) ガス、ヒドラジン (N_2H_4) ガス、 N_3H_8 ガス等の窒化水素系ガスを用いることができる。

[0066] [所定回数実施]

上述したステップ A、B を非同時に、すなわち、同期させることなく行うサイクルを所定回数 (n 回、n は 1 以上の整数) 行うことにより、ウエハ 200 上に、所定組成および所定膜厚の SiN 膜を形成することができる。上述のサイクルは、複数回繰り返すのが好ましい。すなわち、上述のサイクルを 1 回行う際に形成される第 2 層の厚さを所望の膜厚よりも薄くし、第 2 層を積層することで形成される SiN 膜の膜厚が所望の膜厚になるまで、上述のサイクルを複数回繰り返すのが好ましい。

[0067] (アフターパージおよび大気圧復帰)

成膜ステップが終了した後、ノズル 304a~304c のそれぞれからパージガスとしての N_2 ガスを処理室 201 内へ供給し、排気口 230 から排気する。これにより、処理室 201 内がパージされ、処理室 201 内に残留するガスや反応副生成物が処理室 201 内から除去される (アフターパージ)。その後、処理室 201 内の雰囲気が一不活性ガスに置換され (不活性ガス置換)、処理室 201 内の圧力が常圧に復帰される (大気圧復帰)。

[0068] (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 115 によりシールキャップ 219 が下降され、マニホールド 226 の下端が開口される。そして、処理済のウエハ 200 が、ボート 217 に支持された状態でマニホールド 226 の下端から反応管 203 の外部に搬出 (ボートアンロード) される。ボートアンロードの後、マニホールド 226 の下端開口が O リング 220 を介して不図示のシャッタによりシールされる (シャッタクローズ)。処理済のウエハ 200 は、反応管 203 の外部に搬出された後、ボート 217 より取り出される (ウエハディスチャージ)。

[0069] (3) 変形例

次に、本実施形態の変形例について図5～図7を用いて説明する。なお、これらの変形例は任意に組み合わせることができる。なお、特に説明がない限り、各変形例の各構成は、上述の実施形態における構成と同様とする。

[0070] (変形例1)

本変形例におけるガス供給エリア222には、図5に示されるように、3本のノズル304a～304cが設けられており、処理室201内へ複数種類のガスを供給することができるように構成されている。本変形例では、上述した実施形態におけるノズルと原料ガスを供給するノズル304bのガス供給孔の形状が異なる。

[0071] ノズル304bの側面には、ガスを供給するガス供給口としての縦長形状のスリット状の開口部332bが形成されている。このノズル304bの開口部332bの上端が、上方ダミーウエハ支持領域で支持される最も下方のダミーウエハ200bよりも低い位置に配置されるとともに、開口部332bの下端が、下方ダミーウエハ支持領域で支持される最も上方のダミーウエハ200bよりも高い位置に配置される。つまり、ノズル304bには、開口部332bが、プロダクトウエハ支持領域にのみ形成され、上方ダミーウエハ支持領域及び下方ダミーウエハ支持領域に形成されていない。このような構成により、上述した成膜ステップAの原料ガス供給時には、ノズル304bの開口部332bを介して処理室201内のウエハ200に対して原料ガスが供給され、ノズル304bの両側に配置されたノズル304a, 304cのガス供給孔232a, 232cを介して不活性ガスが供給される。

[0072] (変形例2)

本変形例におけるガス供給エリア222には、図6に示されるように、3本のノズル404a, 304b, 404cが設けられており、処理室201内へ複数種類のガスを供給することができるように構成されている。本変形例では、上述した変形例1と、原料ガスを供給するノズル304bの両側に配置されるノズルの形状が異なる。

- [0073] ノズル404a, 304b, 404cはガス供給エリア222内の下部より上部に、その長さ方向（上下方向）に沿って設けられている。ノズル304bは、処理室201内に收容されたポート217に沿って上下方向に延伸し、I字型でチューブ状（管状）のロングノズルとして構成されている。また、ノズル404a, 404cは、多孔ノズルであって、それぞれ処理室201内に收容されたポート217に沿って上下方向に延伸し、U字型でチューブ状（管状）のロングノズルとして構成されている。
- [0074] ノズル404aは、下端がガス供給源360a, 360dから流体が流通可能な状態で、ガス供給管310aに接続される上昇管404a-1と、上昇管404a-1の上端と流体が流通可能な状態で接続され、上昇管404a-1に略平行に形成される下降管404a-2と、で構成される。
- [0075] ノズル304bは、下端がガス供給源360b, 360eから流体が流通可能な状態で、ガス供給管310bに接続される。
- [0076] ノズル404cは、下端がガス供給源360c, 360fから流体が流通可能な状態で、ガス供給管310cに接続される上昇管404c-1と、上昇管404c-1の上端と流体が流通可能な状態で接続され、上昇管404c-1にそれぞれ略平行に形成される下降管404c-2と、で構成される。
- [0077] ノズル404a, 404cの側面には、ガス供給孔232a, 232cが、それぞれ上昇管404a-1, 404c-1の上方ダミーウエハ支持領域と下方ダミーウエハ支持領域、及び下降管404a-2, 404c-2の上方ダミーウエハ支持領域、プロダクトウエハ支持領域、下方ダミーウエハ支持領域に複数形成される。つまり、不活性ガスを供給するノズル404a, 404cのダミーウエハ領域におけるガス供給孔232a, 232cを上述した実施形態及び変形例1におけるノズル304a, 304cのガス供給孔232a, 232cと比較して多くする。これにより、さらに、ダミーウエハ支持領域におけるSi原料濃度を低くすることができ、ウエハ面間面内の膜厚均一性の制御が容易となる。

[0078] そして、この複数のガス供給孔 232 a, 232 c のうち、ノズル 404 a, 404 c のそれぞれ最も上方に形成されたガス供給孔 232 a, 232 c の上端が、上方ダミーウエハ支持領域で支持される最も上方のダミーウエハ 200 b に対応させて配置されるとともに、ノズル 404 a, 404 c のそれぞれ最も下方に形成されたガス供給孔 232 a, 232 c の下端が、それぞれ下方ダミーウエハ支持領域で支持される最も下方のダミーウエハ 200 b に対応させて配置される。このような構成により、上述した成膜ステップ A の原料ガス供給時には、ノズル 304 b の開口部 332 b を介して処理室 201 内のウエハ 200 に対して原料ガスが供給され、ノズル 304 b の両側に配置されたノズル 404 a, 404 c のガス供給孔 232 a, 232 c を介してそれぞれ不活性ガスが供給される。

[0079] つまり、ノズル 404 a, 404 c は、上方ダミーウエハ支持領域及び下方ダミーウエハ支持領域に配置される複数のガス供給孔 232 a, 232 c の長手方向で平均した実質的な開口面積が、プロダクトウエハ支持領域に配置される複数のガス供給孔 232 a, 232 c の長手方向で平均した実質的な開口面積に比べて大きくなるように形成されている。

[0080] また、ノズル 404 a, 404 c は、ガス供給孔 232 a, 232 c のそれぞれノズル長手方向に平均化された開口幅が、ノズル 404 a, 404 c の流路断面積の平方根の 1% 以下であるように構成されている。ここでノズル長手方向に平均化された開口幅は、ガス供給孔 232 a 等の長手方向の単位長さあたりのコンダクタンスと等しいコンダクタンスを有する、長手方向の連続スリットの開口幅の意味を含む。また、ノズル 304 b の開口部 332 b の開口幅は、ノズル 304 b の流路面積の平方根の 3% 以上であるように構成されている。開口部 332 b は、強度上の要請から、上端から下端まで連続する 1 つの開口に代えて、途中で両側を橋渡しされて上下に断続的に伸びる複数のスリットとして形成されうる。

[0081] (変形例 3)

本変形例におけるガス供給エリア 222 には、図 7 に示されるように、3

本のノズル 304 a, 304 b, 404 c が設けられており、処理室 201 内へ複数種類のガスを供給することができるように構成されている。本変形例では、上述した変形例 1 と、原料ガスを供給するノズル 304 b の一方側に配置されるノズルの形状が異なる。

- [0082] ノズル 304 a, 304 b, 404 c はガス供給エリア 222 内の下部より上部に、その長さ方向（上下方向）に沿って設けられている。また、ノズル 304 a, 304 b は、処理室 201 内に収容されたポート 217 に沿って上下方向に延伸し、I 字型でチューブ状（管状）のロングノズルとしてそれぞれ構成されている。また、ノズル 404 c は、処理室 201 内に収容されたポートに沿って上下方向に延伸し、U 字型でチューブ状（管状）のロングノズルとして構成されている。
- [0083] ノズル 304 a は、下端がガス供給源 360 a, 360 d から流体が流通可能な状態で、ガス供給管 310 a に接続される。
- [0084] ノズル 304 b は、下端がガス供給源 360 b, 360 e から流体が流通可能な状態で、ガス供給管 310 b に接続される。
- [0085] ノズル 404 c は、下端がガス供給源 360 c, 360 f から流体が流通可能な状態で、ガス供給管 310 c に接続される上昇管 404 c-1 と、上昇管 404 c-1 の上端と流体が流通可能な状態で接続され、上昇管 404 c-1 にそれぞれ略平行に形成される下降管 404 c-2 と、で構成される。
- [0086] ノズル 404 c の下降管 404 c-2 の側面には、上方ダミーウエハ支持領域、プロダクトウエハ支持領域及び下方ダミーウエハ支持領域に、複数のガス供給孔 232 c が形成される。また、ノズル 404 c の上昇管 404 c-1 には、ガス供給孔 232 c が形成されていない。
- [0087] そして、ノズル 304 a 及びノズル 404 c の下降管 404 c-2 にそれぞれ形成された複数のガス供給孔 232 a, 232 c のうち、ノズル 304 a、ノズル 404 c の下降管 404 c-2 のそれぞれ最も上方に形成されたガス供給孔 232 a, 232 c の上端が、上方ダミーウエハ支持領域で支持

される最も上方のダミーウエハ200bに対応させて配置されるとともに、ノズル304a、ノズル404cの下降管404c-2のそれぞれ最も下方に形成されたガス供給孔232a、232cの下端が、それぞれ下方ダミーウエハ支持領域で支持される最も下方のダミーウエハ200bに対応させて配置される。このような構成により、上述した成膜ステップAの原料ガス供給時には、ノズル304bの開口部332bを介して処理室201内のウエハ200に対して原料ガスが供給され、ノズル304bの両側に配置されたノズル304a、404cのガス供給孔232a、232cを介して不活性ガスが供給される。

[0088] ここで、本変形例におけるU字型（リターン形状）のノズル404cを用いて、不活性ガス（パージガス）を供給することにより、形成される膜の膜質が良好となる。これは、膜厚均一性に有効なパージガス（N₂ガス）は、例えば2～10slmの大流量で供給する場合が多い。I字型のノズルでは、ポート217の下方領域では、十分に温まりきらないうちにパージガスがウエハ200に対して供給されることとなり、ポート217の上方と下方で温度ムラが生じてしまうが、U字型とすることにより、パージガスを十分に温めてからウエハ200に対して供給することが可能となる。温度が上がることで気体分子の拡散速度が向上し、膜質を維持しながら原料の交互供給間隔の短縮が期待できる。また、NH₃がラジカル又はプリカーサになる温度はHCDSのそれよりも高い。つまり、NH₃がプリカーサになるには所定温度以上が必要であり、処理温度を所定温度ぎりぎりまで低温化しようとする、十分な時間、NH₃をノズル内に留まらせることが望ましく、U字型化による容積の増加は難分解性の反応ガスに対しても好ましい。

[0089] <他の実施形態>

以上、本発明の実施形態を具体的に説明した。但し、本発明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。

[0090] 上述の実施形態や変形例では、NH₃ガス等の窒化ガスを、2本のノズル3

04 a, 304 c から供給する例について説明したが、本発明はこのような態様に限定されない。例えば、窒化ガスを、ノズル304 a とノズル304 c の少なくともいずれか一方から供給するようにすればよい。

[0091] また、上記実施形態や変形例では、原料ガスを供給するノズル304 b の側面にプロダクトウエハ支持領域にのみ複数のガス供給孔232 b を形成する例について説明したが、本発明はこのような態様に限定されない。例えば、ノズル304 b の両側に配置される不活性ガスを供給するノズル304 a 、304 c の側面に形成されるガス供給孔232 a, 232 c の開口面積の合計と比較して、ノズル304 b の側面のダミーウエハ支持領域に形成されるガス供給孔232 b 又は開口部332 b の開口面積の合計を小さくした場合にも好適に適用可能である。

[0092] また、上記実施形態や変形例では、原料ガスを供給するノズル304 b の側面にプロダクトウエハ支持領域にのみ複数のガス供給孔232 b を形成する例について説明したが、本発明はこのような態様に限定されない。例えば、ノズル304 b の側面に形成されるガス供給孔232 b 又は開口部332 b の開口面積の合計と比較して、不活性ガスを供給するノズル304 a, 304 c の側面に形成されるダミーウエハ支持領域におけるガス供給孔232 a, 232 c の開口面積の合計を大きくした場合にも好適に適用可能である。

[0093] 上述の実施形態では、基板上に主元素としてSiを含む膜を形成する例について説明したが、本発明はこのような態様に限定されない。すなわち、本発明は、Siの他、ゲルマニウム(Ge)、ボロン(B)等の半金属元素を主元素として含む膜を基板上に形成する場合にも、好適に適用することができる。また、本発明は、チタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、ニオブ(Nb)、タンタル-Ta)、モリブデン(Mo)、タングステン(W)、イットリウム(Y)、ランタン(La)、ストロンチウム(Sr)、アルミニウム(Al)等の金属元素を主元素として含む膜を基板上に形成する場合にも、好適に適用することができる。

[0094] 例えば、原料として、チタニウムテトラクロライド (TiCl_4) ガスやトリメチルアルミニウム ($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ 、略称：TMA) ガスを用い、以下に示す成膜シーケンスにより、基板上に、チタン窒化膜 (TiN膜)、チタン酸窒化膜 (TiON膜)、チタンアルミニウム炭窒化膜 (TiAlCN膜)、チタンアルミニウム炭化膜 (TiAlC膜)、チタン炭窒化膜 (TiCN膜)、チタン酸化膜 (TiO膜) 等を形成する場合にも、本発明を好適に適用することができる。

[0095] $(\text{TiCl}_4 \rightarrow \text{NH}_3) \times n \Rightarrow \text{TiN}$
 $(\text{TiCl}_4 \rightarrow \text{NH}_3 \rightarrow \text{O}_2) \times n \Rightarrow \text{TiON}$
 $(\text{TiCl}_4 \rightarrow \text{TMA} \rightarrow \text{NH}_3) \times n \Rightarrow \text{TiAlCN}$
 $(\text{TiCl}_4 \rightarrow \text{TMA}) \times n \Rightarrow \text{TiAlC}$
 $(\text{TiCl}_4 \rightarrow \text{TEA}) \times n \Rightarrow \text{TiCN}$
 $(\text{TiCl}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O}) \times n \Rightarrow \text{TiO}$

[0096] 基板処理に用いられるレシピは、処理内容に応じて個別に用意し、電気通信回線や外部記憶装置 123 を介して記憶装置 121c 内に格納しておくことが好ましい。そして、処理を開始する際、CPU 121a が、記憶装置 121c 内に格納された複数のレシピの中から、基板処理の内容に応じて、適正なレシピを適宜選択することが好ましい。これにより、1 台の基板処理装置で様々な膜種、組成比、膜質、膜厚の膜を、再現性よく形成することができるようになる。また、オペレータの負担を低減でき、操作ミスを回避しつつ、処理を迅速に開始できるようになる。

[0097] 上述のレシピは、新たに作成する場合に限らず、例えば、基板処理装置に既にインストールされていた既存のレシピを変更することで用意してもよい。レシピを変更する場合は、変更後のレシピを、電気通信回線や当該レシピを記録した記録媒体を介して、基板処理装置にインストールしてもよい。また、既存の基板処理装置が備える入出力装置 122 を操作し、基板処理装置に既にインストールされていた既存のレシピを直接変更するようにしてもよい。

[0098] また、上述の実施形態や変形例等は、適宜組み合わせ用いることができる。このときの処理手順、処理条件は、例えば、上述の実施形態の処理手順、処理条件と同様とすることができる。

[0099] 上述の実施形態や変形例等の手法により形成されるSiN膜等は、絶縁膜、スペーサ膜、マスク膜、電荷蓄積膜、ストレス制御膜等として広く用いることが可能である。近年、半導体デバイスの微細化に伴い、ウエハ上に形成される膜に対して面内膜厚均一性の要求が厳しくなっている。高密度パターンが表面に形成されたパターンウエハ上へフラット分布を有する膜を形成することが可能な本発明は、この要求に答える技術として非常に有益であると考えられる。

[0100] <実施例>

以下、上述の実施形態及び変形例で得られる効果を裏付けるシミュレーション結果及び評価結果について図8～図12に基づいて説明する。

[0101] 比較例では、図8(A)に示す3本のノズル304a, 404b, 404cを用いて、ボート217に多段に積層されたウエハ200に対してそれぞれガスを供給した。ノズル304a, 404cから供給するN₂ガスの流量をそれぞれ100sccmに設定し、ノズル404bから供給するHCDSガスの流量を480sccmに設定した。ノズル404bの側面には、上方ダミーウエハ支持領域、プロダクトウエハ支持領域及び下方ダミーウエハ支持領域にHCDSガスを供給する開口部432bが形成されている。

[0102] 実施例では、上述した変形例3に係る図8(B)に示す3本のノズル304a, 304b, 404cを用いて、ボート217に多段に積層されたウエハ200に対してそれぞれガスを供給した。ノズル304a, 404cから供給するN₂ガスの流量をそれぞれ500sccmに設定し、ノズル304bから供給するHCDSガスの流量を480sccmに設定した。

[0103] 図9(A)は、図8(A)に示す比較例に係るノズルを用いた場合の処理炉202内のSi原料の濃度分布を示すシミュレーション結果を示す図であって、図9(B)は、図9(A)の製品ウエハの面内面間膜厚分布を示す図

である。図10(A)は、図8(B)に示す実施例に係るノズルを用いた場合の処理炉202内のSi原料の濃度分布を示すシミュレーション結果を示す図であって、図10(B)は、図10(A)の製品ウエハの面内面間膜厚分布を示す図である。図9(B)及び図10(B)の縦軸は、Si原料の分圧[Pa]を示している。図9(B)及び図10(B)の横軸は、ポート217に載置される製品ウエハのウエハ番号を示している。

[0104] 図9(A)に示されているように、比較例に係るノズルを用いた場合には、原料ガスを供給するノズル404bの側面に上方ダミーウエハ支持領域及び下方ダミーウエハ支持領域にも開口部432bが形成されているため、ポート217の上から下まで均一に原料ガスが供給される。しかしながら、ダミーウエハ支持領域に支持されるダミーウエハは平坦ウエハであり、パターンが形成された製品ウエハは、表面積の大きい構造ウエハであるので原料ガスの消費量が異なる。このため、処理室201内に存在するSi原料の濃度(分圧)は、上方及び下方ダミーウエハ支持領域とプロダクトウエハ支持領域とで差が生じてしまう。上方及び下方ダミーウエハ支持領域では、余ったガスが多いため空間の原料濃度が上がり、プロダクトウエハ支持領域では原料濃度が下がる。処理室201内で濃度差が生じると濃度拡散によりプロダクトウエハ支持領域でもそれぞれ上方及び下方ダミーウエハ支持領域に近い領域と、上方及び下方ダミーウエハ支持領域から遠い領域とで濃度差が生じる。そのため、プロダクトウエハに成膜される膜の均一性が悪化する。

[0105] また、図9(B)に示されているように、比較例に係るノズルを用いた場合には、ウエハ面内においてエッジ周辺と中央とで供給されるSi原料の分圧に開きがあるのに対して、図10(B)に示されているように、本実施例に係るノズルを用いた場合には、ウエハの面内均一性が良好であることが確認できる。

[0106] また、図9(B)に示されているように、比較例に係るノズルを用いた場合には、ポート217の高さ方向に積層されたウエハの位置によっても供給されるSi原料の分圧に開きがあるのに対して、図10(B)に示されてい

るように、本実施例に係るノズルを用いた場合には、ウエハの面間均一性が良好であることが確認できる。すなわち、本実施例によれば、製品ウエハに供給されるSi原料濃度の均一性が改善されている。

[0107] すなわち、本実施例に係るノズルを用いた場合には、比較例に係るノズルを用いた場合と比較して、ポート217に積層されたウエハの高さ方向に対し、Si原料の濃度が均一化していることが確認できる。特に、ポート217の上方側と下方側のSiの濃度を下げることができ、面間均一性が改善することが確認できる。

[0108] 図11は、比較例に係るノズルと実施例に係るノズルをそれぞれ用いて製品ウエハにSiN膜を形成した場合の膜厚面内均一性を比較して示した図であって、図12は、比較例に係るノズルと実施例に係るノズルをそれぞれ用いて製品ウエハにSiN膜を形成した場合の面間均一性を比較して示した図である。図11の縦軸は、ウエハ位置を示している。図11の横軸は、製品ウエハに形成されたSiN膜の面内均一性[%]を示している。図12の縦軸は、ウエハ位置を示している。図12の横軸は、製品ウエハに形成されたSiN膜の膜厚[Å]を示している。

[0109] 図11に示されているように、比較例に係るノズルを用いて形成された膜の面内均一性は、ポート217の中央位置において4.5%程度であるのに対して、ポート217の下方位置においては7.5%程度、ポート217の上方位置において9.2%程度と、ウエハの高さ位置によって大きく異なっていた。これに対して、実施例に係るノズルを用いて形成された膜の面内均一性は4%程度で、ポート217の高さ方向においてもほとんど差がなかった。

[0110] また、図12に示されているように、比較例に係るノズルを用いて形成された膜の面間均一性は7%程度であるのに対して、実施例に係るノズルを用いて形成された膜の面間均一性が2%程度であって、面間均一性も良好であることが確認された。

[0111] すなわち、比較例に係るノズルを用いた場合と比較して、本実施例に係る

ノズルを用いた場合には、ボート 2 1 7 の高さ方向における上方から下方において製品ウエハの膜厚の面内面間均一性が良好で、ボート 2 1 7 に多段に積層された製品ウエハの上方から下方まで均一な膜厚を得ることができた。

符号の説明

- [0112] 2 0 0 ウエハ（基板）
2 1 7 ボート（基板保持具）
3 0 4 a, 4 0 4 a ノズル（第 1 のガス供給部）
3 0 4 b ノズル（第 2 のガス供給部）
3 0 4 c, 4 0 4 c ノズル（第 3 のガス供給部）
2 3 2 a, 2 3 2 b, 2 3 2 c ガス供給孔
3 3 2 b 開口部