

明 細 書

発明の名称：

半導体装置の製造方法及び基板処理装置並びにプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、半導体デバイスの製造工程において基板を処理する半導体装置の製造方法及び基板処理装置並びにプログラムに関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造工程における基板（ウエハ）の熱処理では、基板保持具によって基板を保持し、基板保持具を処理室内に搬入する。その後、処理室を加熱した状態で処理室内に処理ガスを導入し、基板に対して薄膜形成処理が行われる。例えば、特許文献1には、基板の表面に形成された凹部を含むパターン上に窒化膜を形成する際、原料ガスを供給して形成した第1層を窒化させてNH終端を形成し、プラズマ処理によりその一部をN終端に改質させることを繰り返し行って、凹部内の窒化膜による埋め込み特性を向上させることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2018-186174号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示は、基板上の形成パターンに形成する膜のステップカバレッジを向上させることが可能な技術を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様によれば、例えば、基板を支持する基板支持具と、当該基板支持具に支持された前記基板の上部に配置された上部仕切板とを支持する仕切板支持具と、を有する基板保持具を処理室に収容する工程と、前記基板

と前記上部仕切板との距離を第1の間隔にして、ガス供給口から前記基板に第1ガスを供給する第1ガス供給工程と、前記基板と前記上部仕切板との距離を第2の間隔にして、ガス供給口から前記基板に第2ガスを供給する第2ガス供給工程と、を有する半導体装置の製造方法が提供される。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、基板上に形成されたパターンのステップカバレッジを向上させることが可能になる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置において、基板を搭載したボートを移載室に搬入した状態を示す処理室と収納室の略断面図である。

[図2]本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置において、基板を搭載したボートを上昇させて処理室に搬入した状態を示す処理室と収納室の略断面図である。

[図3]本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置の処理室における基板と仕切り板との間隔を示す基板と仕切り板との断面図である。

[図4]本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置の処理室における基板と仕切り板との間隔を切り替えたときの基板表面における材料ガス濃度の分布を示すグラフである。

[図5]本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置の処理室における基板の表面における材料ガスの濃度分布を可視化して表示した図で、基板と仕切り板との間隔が図3(c)に示したように広く設定した場合の基板の表面における材料ガスの濃度分布をしめす、基板の斜視図である。

[図6]本開示の一態様で好適に用いられる基板処理装置のコントローラの構成例を示すブロック図である。

[図7A]実施例1に係る半導体装置製造工程の概略を示すフロー図である。

[図7B]図7Aのフロー図のステップS705の詳細を示す詳細フロー図である。

[図8]実施例1に係る基板処理装置のCPUが読み込むプロセスレシピ例を示すプロセスレシピの一覧を示す表である。

[図9]本開示の一態様で好適に用いられる基板に形成されたトレンチ構造のパターンの断面図である。

[図10]本開示の一態様で好適に用いられる基板に形成されたトレンチ構造のパターンの断面図であって、トレンチ構造のパターンの内部を含む基板の表面にSiを含む層が形成された状態を示す。

[図11]本開示の一態様で好適に用いられる基板に形成されたトレンチ構造のパターンの断面図であって、トレンチ構造のパターンの内部を含む基板に形成された第1層が形成された状態を示す。

[図12]本開示の一態様で好適に用いられる基板に形成されたトレンチ構造のパターンの断面図であって、トレンチ構造のパターンの内部を含む基板に形成された第1層の一部にC1終端が形成された状態を示す。

[図13]本開示の一態様で好適に用いられる基板に形成されたトレンチ構造のパターンの断面図であって、トレンチ構造のパターンの内部を含む基板に形成された第1層の一部にC1終端が形成された上に第2層が積層して形成された状態を示す。

発明を実施するための形態

[0008] 本開示は、複数の基板を載置するボートと、ボートとは別体に構成され、ボートに載置された基板それぞれの上部に配置される複数の仕切り板と、基板と仕切り板との上下方向の位置関係を変更させる昇降機構を備えた基板処理装置を用いて、成膜処理中に仕切板と基板との間隔を切り替えるとともに供給するガス種を切り替えて成膜処理を行うことにより、基板上に形成されているパターン上に成膜して、パターンに対してステップカバレッジの良い膜を形成できるようにしたものである。

[0009] 以下、本開示の一態様を図面に基づいて詳細に説明する。本実施の形態を説明するための全図において同一機能を有するものは同一の符号を付すようにし、その繰り返しの説明は原則として省略する。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。

[0010] ただし、本開示は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。本開示の思想ないし趣旨から逸脱しない範囲で、その具体的構成を変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。

[0011] 図 1 及び図 2 を用いて、本開示の一態様について説明する。

[0012] [基板処理装置 100]

基板処理装置 100 は、鉛直方向に延びた円筒形状の反応管 110 と、反応管 110 の外周に設置された加熱部（炉体）としてのヒータ 101 と、ガス供給部を構成するガス供給用のノズル 120 を備える。ヒータ 101 は上下方向に複数のブロックに分割されて個々のブロックごとに温度を設定することが可能なゾーンヒータにより構成されている。

[0013] 反応管 110 は、例えば石英や SiC 等の材料で形成される。排気部を構成する排気管 130 から図示していない排気手段により反応管 110 の内部が排気される。反応管 110 の内部は外気に対して図示していない手段により気密にシールされる。

[0014] ここで、反応管 110 の内部に第 2 反応管を備えて構成しても、本開示の技術を適用することができる。

[0015] ガス供給用のノズル（以下、単にノズルと記す場合もある）120 は、反応管 110 の内部にガスを供給する多数の穴 121 が形成されている。

[0016] ガス供給用のノズル 120 に形成された多数の穴 121 を通して、反応管 110 の内部には、原料ガス、反応ガス及び不活性ガス（キャリアガス）が導入される。

[0017] 原料ガス、反応ガス、不活性ガス（キャリアガス）は、それぞれ図示していない原料ガス供給源、反応ガス供給源及び不活性ガス供給減から、図示していないマスフローコントローラ（MFC: Mass Flow Cont

roller)で流量が調整され、ノズル120に形成された多数の穴121から反応管110の内部に供給される。

[0018] 反応管110の内部は、マニホールド111に形成された排気管130から、図示していない排気手段により真空中に排気される。

[0019] [チャンバ180]

チャンバ180は反応管110の下部にマニホールド111を介して設置され、収納室500を備えている。収納室500では、基板搬入口310を介して図示していない移載機により基板10を基板支持具(基板支持部、ポート)300に載置(搭載)したり、移載機により基板10を基板支持具300から取り出すことが行われる。

[0020] ここで、チャンバ180は、SUS(ステンレス)又はAl(アルミニウム)等の金属材料で構成される。

[0021] チャンバ180の内部には、基板支持具300、仕切板支持部200、及び基板支持具300と仕切板支持部200と(これらを合わせて基板保持具と呼ぶ)を上下方向と回転方向に駆動する第1の駆動部を構成する上下方向駆動機構部400を備えている。

[0022] [基板支持部]

基板支持部は、少なくとも基板支持具300で構成され、収納室500の内部で基板搬入口310を介して図示していない移載機により基板10の移し替えを行ったり、移し替えた基板10を反応管110の内部に搬送して基板10の表面に薄膜を形成する処理を行ったりする。なお、基板支持部に、仕切板支持部200を含めて考えても良い。

[0023] 仕切板支持部200は、図1及び図2に示すように、基部201と天板204との間に支持された支柱202に複数枚の円板状の仕切板203が所定のピッチで固定されている。基板支持具300は、図1及び図2に示すように、基部301に複数の支持ロッド302が支持されており、この複数の支持ロッド302により複数の基板10が所定の間隔で支持される構成を有している。

- [0024] 基板支持具300には、基部301に支持された複数の支持ロッド302により複数の基板10が所定の間隔で載置されている。この支持ロッド302により支持された複数の基板10の間は、仕切板支持部200に支持された支柱202に所定に間隔で固定（支持）された円板状の仕切板203によって仕切られている。ここで、仕切板203は、基板10の上部と下部のいずれか又は両方に配置される。
- [0025] 基板支持具300に載置されている複数の基板10の所定の間隔は、仕切板支持部200に固定された仕切板203の上下の間隔と同じである。また、仕切板203の直径は、基板10の直径よりも大きく形成されている。
- [0026] 基板支持具300は、複数の支持ロッド302で、複数枚、例えば、5枚～50枚程度の基板10を垂直方向に多段に支持する。この垂直方向に多段に支持する基板10の上下の間隔は、例えば、約40mm～70mm程度に設定する。基板支持具300を構成する基部301及び複数の支持ロッド302は、例えば石英やSiC等の材料で形成される。なお、仕切板支持部200の仕切板203は、セパレータとも呼ぶ。
- [0027] 仕切板支持部200と基板支持具300とは、上下方向駆動機構部400により、反応管110と収納室500との間の上下方向、及び基板支持具300で支持された基板10の中心周りの回転方向に駆動される。
- [0028] 第1の駆動部を構成する上下方向駆動機構部400は、図1及び図2に示すように、駆動源として、上下駆動用モータ410と、回転駆動用モータ430と、基板支持具300を上下方向に駆動する基板支持具昇降機構としてのリニアアクチュエータを備えたポート上下機構420を備えている。
- [0029] 仕切板支持部昇降機構としての上下駆動用モータ410は、ボールねじ411を回転駆動することにより、ボールねじ412に螺合しているナット412をボールねじ412に沿って上下に移動させる。これにより、ナット412を固定しているベースプレート402と共に仕切板支持部200と基板支持具300とが反応管110と収納室500との間で上下方向に駆動される。ベースプレート402はガイド軸414と係合しているボールガイド4

15にも固定されており、ガイド軸414に沿って上下方向にスムーズに移動できる構成となっている。ボールねじ411とガイド軸414との上端部と下端部とは、それぞれ、固定プレート413と416に固定されている。なお、仕切板支持部昇降機構には、上下駆動用モータ410の動力が伝わる部材を含めても良い。

[0030] 回転駆動用モータ430とリニアアクチュエータを備えたボート上下機構420とは第2の駆動部を構成し、ベースプレート402に側板403で支持されている蓋体としてのベースフランジ401に固定されている。側板403を用いることにより、上下機構や回転機構等から、出るパーティクルの拡散を抑制することができる。覆う形状は、筒状や、柱状に構成される。カバー形状の一部または、底面に、移載室と連通する孔が設けられる。連通する孔により、カバー形状の内部は、移載室内の圧力と同様の圧力に構成される。

[0031] 一方、側板403に替えて、支柱を用いてもよい。この場合、上下機構や回転機構のメンテナンスが容易になる。

[0032] 回転駆動用モータ430は先端部に取り付けた歯部431と係合する回転伝達ベルト432を駆動し、回転伝達ベルト432と係合している支持具440を回転駆動する。支持具440は、仕切板支持部200を基部201で支持しており、回転伝達ベルト432を介して回転駆動用モータ430で駆動されることにより、仕切板支持部200と基板支持具300とを回転させる。

[0033] 支持具440は、ベースフランジ401の内筒部分4011との間を真空シール444で仕切られ、その下部を軸受け445でベースフランジ401の内筒部分4011に対して回転可能にガイドされている。

[0034] リニアアクチュエータを備えたボート上下機構420は軸421を上下方向に駆動する。軸421の先端部分にはプレート422が取り付けられている。プレート422は、軸受け423を介してボート300の基部301に固定された支持部441と接続されている。支持部441が軸受け423を

介してプレート422と接続されることにより、回転駆動用モータ430で仕切板支持部200を回転駆動したときに、基板支持具300も仕切板支持部200と一緒に回転することができる。

[0035] 一方、支持部441は、リニアガイド軸受け442を介して支持具440に支持されている。このような構成とすることにより、リニアアクチュエータを備えたボート上下機構420で軸421を上下方向に駆動した場合、仕切板支持部200に固定された支持具440に対して基板支持具300に固定された支持部441を相対的に上下方向に駆動することができる。

[0036] このように、支持具440と支持部441とを同心状に構成することで、回転駆動用モータ430を用いた回転機構の構造をシンプルにすることができる。また、基板支持具300と仕切板支持部200との回転の同期化制御が容易になる。

[0037] ただし、本実施例はこれに限らず、支持具440と支持部441とを同心上ではなく、別々に配置してもよい。

[0038] 仕切板支持部200に固定された支持具440と基板支持具300に固定された支持部441との間は、真空ベローズ443で接続されている。

[0039] 蓋体としてのベースフランジ401の上面には真空シール用のOリング446が設置されており、図2に示すように上下駆動用モータ410で駆動されてベースフランジ401の上面がチャンバ180に押し当てられる位置まで上昇させることにより、反応管110の内部を気密に保つことができる。

[0040] なお、真空シール用のOリング446は必ずしも必要ではなく、真空シール用のOリング446を用いずにベースフランジ401の上面をチャンバ180に押し当てることにより反応管110の内部を気密に保つようにしてもよい。更に、真空ベローズ443も、必ずしも設けなくてもよい。

[0041] 上記したような構成において、上下駆動用モータ410で駆動して図2に示したようにベースフランジ401の上面がチャンバ180に押し当てられるまで上昇させて基板支持部を反応管110の内部に挿入した状態において、ガス供給用のノズル120に形成された多数の穴121を通して、反応管

110の内部に原料ガス、又は反応ガス、又は不活性ガス（キャリアガス）を導入する。

[0042] ガス供給用のノズル120に形成された多数の穴121のピッチは、ボート300に載置された基板10の上下の間隔及び仕切板支持部200に固定された仕切板203の上下の間隔と同じである。なお、複数のノズルを横方向（基板10に対して水平方向）から挿入して、複数の基板10それぞれに対してガスを供給するように構成しても構わない

[0043] ここで、ベースフランジ401の上面がチャンバ180に押し当てられた状態において、仕切板支持部200の支柱202に固定された仕切板203の高さ方向の位置は固定であるのに対して、リニアアクチュエータを備えたボート上下機構420を駆動して基板支持具300の基部301に固定された支持部441を上下動させることにより、基板支持具300に支持されている基板10の仕切板203に対する高さ方向の位置を変えることができる。ガス供給用のノズル120に形成された穴121の位置も固定されているので、穴121に対してもボート300に支持されている基板10の高さ方向の位置（相対位置）を変えることができる。

[0044] すなわち、図3（a）に示すような搬送の基準位置関係に対して、基板支持具300に支持されている基板10の位置をリニアアクチュエータを備えたボート上下機構420を駆動して上下方向に調整することで、ノズル120に形成された穴121及び仕切板203との位置関係を、図3（b）に示すように基板10の位置を搬送ポジション（ホーム位置）10-1よりも高くして上側の仕切板2032との間の隙間G1を狭くしたり、図3（c）に示すように基板10の位置を搬送ポジション（ホーム位置）10-1よりも低くして、上側の仕切板2032との間の隙間G2を広くすることができる。

[0045] このように、ノズル120に形成された穴121に対する基板10の位置を変えることにより、穴121から噴出されるガス流122と基板10との位置関係を変えることができる。

- [0046] 図3（b）に示したように基板10の位置を高くして上側の仕切板2032との間の隙間G1を狭くした状態、及び図3（c）に示すように基板10の位置を低くして、上側の仕切板2032との間の隙間G2を広くした状態において、ノズル120に形成された穴121からガスを供給した場合に、基板10の表面に形成される膜の面内分布をシミュレーションした結果を図4に示す。
- [0047] 図4において、Narrowで示す点列510は、図3（b）のような状態、すなわち、基板10の位置を高くして上側の仕切板2032との間の隙間G1を狭くして、基板10を穴121から噴出されるガス流122の位置よりも高くした状態で成膜した場合を示す。この場合、基板10の周辺部に比較的厚い膜が形成され、基板10の中央部分に形成される膜の厚さが周辺部と比べて薄い凹状の膜厚分布となる。
- [0048] これに対して、Wideで示す点列521は、図3（c）のような状態、すなわち、基板10の位置を低くして上側の仕切板2032との間の隙間G2を広くして、基板10を穴121から噴出されるガス流122の位置よりも低くした状態で成膜した場合を示す。この場合、基板10の中央部分が周辺部と比べて比較的厚い膜が形成される凸状の膜厚分布となる。
- [0049] このように、基板10の位置を変えることにより、基板10の表面に形成される薄膜の基板10の面内分布が変化することがわかる。
- [0050] 図5には、基板10と仕切板2032及びノズル120に形成された穴121との関係を図3（c）のような位置関係に設定した場合に、矢印611の方向からガスを供給したときの基板10の表面におけるガスの分圧の分布をシミュレーションにより求めた結果を示す。図4の膜厚分布は、図5のa-a'断面における膜厚の分布に相当する。
- [0051] 図5に示すように、基板10と仕切板2032及びノズル120に形成された穴121との関係を図3（c）のような位置関係に設定した場合に、ノズル120に形成された穴121に近い部分から基板10の中心部分にかけて濃い色で表示された部分において、ガスの分圧が比較的高くなっている。

一方、ノズル120に形成された穴121から離れた基板10の周辺部分におけるガスの分圧は比較的低くなっている。

[0052] この状態で、回転駆動用モータ430を駆動して支持具440を回転駆動することにより仕切板支持部200と基板支持具300とを回転させて基板支持具300に支持されている基板10を回転させることにより、基板10の周方向における膜厚のばらつきを（膜厚分布）を低減することができる。

[0053] [コントローラ]

図1に示す様に、基板処理装置100は、各部の動作を制御するコントローラ260と接続されている。

[0054] コントローラ260の概略を図6に示す。制御部（制御手段）であるコントローラ260は、CPU（Central Processing Unit）260a、RAM（Random Access Memory）260b、記憶装置260c、入出力ポート（I/Oポート）260dを備えたコンピュータとして構成されている。RAM260b、記憶装置260c、I/Oポート260dは、内部バス260eを介して、CPU260a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260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261や、外部記憶装置262が接続可能に構成されている。

[0055] 記憶装置260cは、例えばフラッシュメモリ、HDD（Hard Disk Drive）、SSD（Solid State Drive）等で構成されている。記憶装置260c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などが記載されたプロセスレシピおよびデータベース等が読み出し可能に格納されている。

[0056] なお、プロセスレシピは、後述する基板処理工程における各手順をコントローラ260に実行させ、所定の結果を得ることが出来るように組み合わせられたものであり、プログラムとして機能する。

[0057] 以下、このプログラム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。なお、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、プログラム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、その両方を含む場合がある。また、RAM 260bは、CPU 260a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。

[0058] I/Oポート260dは、基板搬入口310、上下駆動用モータ410、リニアアクチュエータを備えたボート上下機構420、回転駆動用モータ430、ヒータ101、マスフローコントローラ（不図示）、温度調整器（不図示）、真空ポンプ（不図示）、等に接続されている。

[0059] なお、本開示における「接続」とは、各部が物理的なケーブルで繋がっているという意味も含むが、各部の信号（電子データ）が直接または間接的に送信／受信可能になっているという意味も含む。例えば、各部の間に、信号を中継する機材や、信号を変換または演算する機材が設けられていても良い。

[0060] CPU 260aは、記憶装置260cからの制御プログラムを読み出して実行すると共に、コントローラ260からの操作コマンドの入力等に応じて記憶装置260cからプロセスレシピを読み出すことが可能なように構成されている。そして、CPU 260aは、読み出されたプロセスレシピの内容に沿うように、基板搬入口310の開閉動作、上下駆動用モータ410の駆動、リニアアクチュエータを備えたボート上下機構420及び1240の駆動、回転駆動用モータ430の回転動作、ヒータ101への電力供給動作などを制御することが可能なように構成されている。

[0061] なお、コントローラ260は、専用のコンピュータとして構成されている場合に限らず、汎用のコンピュータとして構成されていても良い。例えば、上述のプログラムを格納した外部記憶装置（例えば、磁気テープ、フレキシブルディスクやハードディスク等の磁気ディスク、CDやDVD等の光ディスク、MOなどの光磁気ディスク、USBメモリ、SSDやメモリカード等の半導体メモリ）262を用意し、係る外部記憶装置262を用いて汎用のコンピュータにプログラムをインストールすること等により、本実施形態に

係るコントローラ 260 を構成することができる。

[0062] なお、コンピュータにプログラムを供給するための手段は、外部記憶装置 262 を介して供給する場合に限らない。例えば、ネットワーク 263（インターネットや専用回線）等の通信手段を用い、外部記憶装置 262 を介せずにプログラムを供給するようにしても良い。なお、記憶装置 260c や外部記憶装置 262 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る。以下、これらを総称して、単に記録媒体ともいう。なお、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 260c 単体のみを含む場合、外部記憶装置 262 単体のみを含む場合、または、その両方を含む場合がある。

[0063] [基板処理工程（成膜工程）]

次に、図 1 及び図 2 で説明した基板処理装置を用いて基板上に膜を形成する基板処理工程（成膜工程）について図 7A と図 7B 及び図 8 乃至図 13 を用いて説明する。

[0064] 本開示は、成膜プロセス及びエッチングプロセスの何れにも適用することができるが、半導体装置（デバイス）の製造工程の一工程として、図 9 に示すような基板 10 上に形成されたトレンチ構造のパターン 1210（以下、単にトレンチ 1210 と記す場合もある）の表面に、図 10 に示すように第 1 層 1220 を形成する。なお、第 1 層は、原料ガスに含まれる元素を含むこととなる。次に反応ガスと反応させて図 11 に示すように表面に NH 終端を有する第 2 層 1221 を形成する。なお、第 2 層は、原料ガスに含まれる元素と反応ガスに含まれる限度とを含むこととなる。更に、図 12 に示すようにその NH 終端の一部に Cl 終端 1230 を形成する構成とする。その後、図 13 に示すように、表面に NH 終端が形成されて一部が Cl 終端 1230 で覆われた第 2 層 1221 上に新たな第 3 層 1222 を積層して形成する。なお、第 3 層は、原料ガスに含まれる元素を含むこととなる。更に、その表面に NH 終端を形成し、NH 終端の一部に Cl 終端を形成する工程を所定回数繰り返して実行する方法について説明する。

- [0065] 基板上にSiを含む膜を形成する工程、および形成した膜の表面にNH₃終端やCl₂終端などを形成する工程は、上述した基板処理装置100の反応管110の内部で実行される。上述した通り、製造工程の実行は、図6のコントローラ260のCPU260aのプログラム実行によってなされる。
- [0066] 本実施形態による基板処理工程（半導体装置の製造工程）では、まず、上下駆動用モータ410で駆動して図2に示したようにベースフランジ401の上面がチャンバ180に押し当てられるまで上昇させて基板支持部を反応管110の内部に挿入する。
- [0067] 次に、この状態において、リニアアクチュエータを備えたボート上下機構420で軸421を上下方向に駆動することにより、ボート300に載置された基板10の仕切板203に対する高さ（間隔）を、図3（a）に示した初期状態から、図3（c）に示すように基板10を搬送ポジション（ホーム位置）10-1よりも低い位置に下降させて基板10と仕切板203との間隔を広げて、間隔G2のように設定する。このように基板10の位置がノズル120に設けたガス供給用の穴121よりも低い場所に位置する状態に設定することにより、仕切板203に対する基板10の高さ（仕切板203と基板10との間隔）が第1の所望の値となるように調整する。
- [0068] この状態で、（a）反応管110の内部に収容された基板10に対して、ガス供給用のノズル120から原料ガスを供給して基板10の表面に及びトレンチ構造のパターン1210の内部に、Siを含む層を形成する工程と、（b）反応管110の内部の原料ガスを含む残留ガスを除去する工程と、を行う。
- [0069] 原料ガスを供給することで基板10の表面にSiを含む層が形成される。この時、基板10と仕切板203との間隔G2が比較的大きくなるように設定されているので、基板10と仕切板203との間を流れる原料ガスの流速は、比較的遅くなる。その結果、原料ガスは、トレンチ構造のパターン1210の底部1212の付近まで供給され、図10に示すように、トレンチ構造のパターン1210の底部1212を含む表面に原料ガスによる第1層1

220が形成される。なお、第1層は、原料ガスに含まれる元素を含むこととなる。

[0070] 次に、基板10と仕切板203との間隔をG2に維持した状態で、
(c) 反応管110の内部に収容された基板10に対して、ガス供給用のノズル120から反応を供給して、原料ガスにより形成した第1層1220と反応させる工程と、(d) 反応管110の内部の反応ガスを含む残留ガスを除去する工程と、
を実行する。

[0071] 原料ガスによる第1層1220が形成された基板10の表面に、反応ガスを加熱した状態で供給して第1層1220と反応させる事により、第1層1220の表面に、NH末端を有する第2層1221が形成される。なお、第2層は、原料ガスに含まれる元素と反応ガスに含まれる元素とを含むこととなる。

[0072] この時、基板10と仕切板203との間隔は、原料ガスを供給した時と同じ間隔2を維持しているので、原料ガスの場合と同様に、トレンチ構造のパターン1210の内部において、底部1212の付近まで反応ガスが供給され、図10に示すように、トレンチ構造のパターン1210の底部1212を含む表面に形成された第1層1220の表面にも、NH末端が形成される。

[0073] 次に、基板10を搬送ポジション（ホーム位置）10-1よりも高い位置に上昇させて基板10と仕切板203との間隔をG2よりも狭いG1に維持した状態で、(e) 基板10に対して、ガス供給用のノズル120から成膜阻害ガスを供給して、原料ガスにより形成した第1層1220の表面に形成されたNH末端の一部をC1末端1230に置き替える工程と、(f) 反応管110の内部の反応ガスを含む残留ガスを除去する工程と、を実行する。

[0074] この時、基板10と仕切板203との間隔は、原料ガス及び反応ガスを供給した時の間隔G2と比べて狭いG1に設定されているので、基板10と仕切板203との間を流れる成膜阻害ガスの流速が遅くなる。

- [0075] これにより、図12に示すように、基板10の表面とトレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近にC1終端1230が形成される。一方、流速が早いために成膜阻害ガスはトレンチ構造のパターン1210の底部1212までは届かず、トレンチ構造パターンの底部1212及びその近傍では、C1終端1230が形成されず、NH終端が露出した状態となる。
- [0076] C1終端1230は原料ガスで形成される第3層1222に対して成膜抑制層（吸着抑制層）、すなわち、インヒビターとして作用する。その結果、C1終端1230が形成されている部分を含む基板10の表面に第3層1222を形成すると、C1終端1230が形成されている部分における第3層1222の成膜速度は、C1終端1230が形成されておらず、第2層1221が露出している部分と比べると遅くなる。なお、第3層は、原料ガスに含まれる元素を含むこととなる。
- [0077] なお、成膜阻害層をインヒビターと称することもでき、また、成膜阻害層を形成するために基板に対して供給する成膜阻害ガスそのものをインヒビターと称することもできる。本明細書において、インヒビターという言葉を用いた場合は、成膜阻害層のみを含む場合、成膜阻害ガスのみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。
- [0078] その結果、図13に示すように、トレンチ構造のパターン1210の底部1212付近における第3層1222の成膜速度を低下させることなくC1終端1230が形成されている基板10の表面とトレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近におけるSiを含む第3層1222の成膜速度を低下させることができる。
- [0079] 上記（a）～（f）の工程を複数回繰り返して、基板10に形成されたトレンチ構造のパターンの表面に薄膜を形成する。
- [0080] また、上記（a）～（f）の工程を複数回繰り返して実行している間、又は上記（a）と（c）と（e）の工程において、回転駆動用モータ430に回転伝達ベルト432で接続されている支持具440を回転駆動用モータ430で回転駆動させながら薄膜の形成を行う。

- [0081] 基板10の仕切板203に対する高さ（間隔）を、原料ガスを供給するときと反応ガスを供給するときには図3（c）に示すような基板10を加工させて基板10と仕切板203との間隔G2が大きい状態にする。一方、成膜阻害ガスを供給するときには図3（b）に示すように基板10を上昇させて基板10と仕切板203との間隔G1を小さくした状態にする。このように基板10と仕切板203との間隔をG1とG2との間で周期的に変化させながら実行する。
- [0082] このようにしてトレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近における第1層1220の成膜速度を低下させることにより、トレンチ構造のパターン1210の底部1212付近にも第1層1220を十分な厚さに形成することができ、トレンチ構造のパターン1210における第1層1220のステップカバレッジを、C1終端1230を形成する工程を行わない場合と比べて、向上させることができる。
- [0083] すなわち、図13に示すように、一部にC1終端が形成された第2層1221の上に第3層1222を積層し、この第3層1222をSi窒化層化して一部にC1終端を形成し、さらにその上に新たな第3層1222を積層することを順次繰り返すことにより、トレンチ構造のパターン1210の入り口部1211が塞がれてしまう前に、トレンチ構造のパターン1210の底部1212の付近に、第3層1222として信号回路を形成するのに十分な厚さ積層することができる。
- [0084] なお、本明細書において「基板」という言葉を用いた場合は、「基板そのもの」を意味する場合や、「基板とその表面に形成された所定の層や膜等との積層体（集合体）」を意味する場合（すなわち、表面に形成された所定の層や膜等を含めて基板と称する場合）がある。また、本明細書において「基板の表面」という言葉を用いた場合は、「基板そのものの表面（露出面）」を意味する場合や、「基板上に形成された所定の層や膜等の表面、すなわち、積層体としての基板の最表面」を意味する場合がある。
- [0085] なお、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。

[0086] 次に、具体的な成膜工程の例について、図7Aに示したフロー図に沿って説明する。

[0087] (プロセス条件設定) : S701

まず、CPU260aは、記憶装置260cに記憶されたプロセスレシピ及び関連するデータベースを読み込んで、プロセス条件を設定する。記憶装置260cに替えて、ネットワークを介してプロセスレシピ及び関連するデータベースを入手するようにしてもよい。

[0088] 図8に、CPU260aが読み込むプロセスレシピ800の一例を示す。プロセスレシピ800の主な項目としては、ガス流量810、温度データ820、処理サイクル数830、ボート高さ840、ボート高さ調整時間間隔850などがある。

[0089] ガス流量810には、第1ガス流量811、第2ガス流量812、キャリアガス流量813などの項目がある。ただし、図8では、成膜障害ガス流量の表示を省略している。温度データ820としては、ヒータ101による反応管110内部における加熱温度821がある。

[0090] ボート高さ840には、図3(b)及び図3(c)で説明したように、基板10と仕切板203との間隔の最小値(G1)と最大値(G2)の設定値が含まれる。

[0091] ボート高さ調整時間間隔850は、基板10と仕切板203との間隔を図3(b)に示したような最小値に維持する時間及び図3(c)に示したような最大値に維持する時間との切り替えの時間間隔を設定する。すなわち、基板10の表面と仕切板203との間隔(ノズル120のガス供給用の穴121の位置に対する基板10の位置)を図3(b)のように設定した場合と図3(c)のように設定した場合とに交互に切り替えながら処理して基板10上に薄膜を形成する。これにより、基板10の表面に、中心部分と外周部分の膜厚がほぼ同じである平坦な膜厚分布を有し、かつ、基板10に形成されたトレンチ構造のパターン1210の内部においてステップカバレッジの良

い薄膜を形成することができる。

[0092] (基板搬入) : S 7 0 2

ボート 3 0 0 を収納室 5 0 0 に収納した状態で、上下駆動用モータ 4 1 0 を駆動してボールねじ 4 1 1 を回転駆動し、ボート 3 0 0 をピッチ送りして、収納室 5 0 0 の基板搬入口 3 1 0 を介して、新たな基板 1 0 を 1 枚ずつボート 3 0 0 に搭載して保持する。

[0093] 基板 1 0 の一部には、図 9 に示すような断面形状を有するトレンチ構造のパターン 1 2 1 0 が形成されている。

[0094] ボート 3 0 0 への新たな基板 1 0 の搭載が完了すると、基板搬入口 3 1 0 を閉じて収納室 5 0 0 の内部を外部に対して密閉した状態で上下駆動用モータ 4 1 0 を駆動してボールねじ 4 1 1 を回転駆動しボート 3 0 0 を上昇させて、ボート 3 0 0 を収納室 5 0 0 から反応管 1 1 0 の内部に搬入する。

[0095] この時、上下駆動用モータ 4 1 0 によって持ち上げられるボート 3 0 0 の高さは、S 7 0 1 で読み込んだプロセスレシピに基づいて、反応管 1 1 0 の管壁に形成された穴 1 2 3 を通してノズル 1 2 0 から反応管 1 1 0 の内部に供給されるガスの吹き出し位置（ノズル 1 2 0 の先端部分の高さ）との差高さ方向の位置の差が、図 3 (b) 又は図 3 (c) に示すような状態に設定される。

[0096] (圧力調整) : S 7 0 3

ボート 3 0 0 が反応管 1 1 0 の内部に搬入された状態で、反応管 1 1 0 の内部を図示していない真空ポンプによって排気管 1 3 0 から真空排気し、反応管 1 1 0 の内部が所望の圧力となるように調整する。

[0097] (温度調整) : S 7 0 4

図示していない真空ポンプによって真空排気された状態で、ステップ S 7 0 4 で読み込んだレシピに基づいて、反応管 1 1 0 の内部が所望の圧力（真空度）となるように反応管 1 1 0 の内部をヒータ 1 0 1 によって加熱する。この際、反応管 1 1 0 の内部が所望の温度分布となるように、図示していない温度センサが検出した温度情報に基づきヒータ 1 0 1 への通電量がフィー

ドバック制御される。ヒータ101による反応管110の内部の加熱は、少なくとも基板10に対する処理が完了するまでの間は継続して行われる。

[0098] 〔膜形成工程〕：S705

続いて、トレンチ構造のパターン1210の内部を含む基板10の表面に、Siを含む層を積層して形成するために、図7Bに示すように、以下のような詳細なステップを実行する。

(基板と仕切板の間隔をG2に設定)：S7051

[0099] 先ず、ノズル120の穴121、及び仕切板支持部200の仕切板203に対するボート300に搭載された基板10の表面の相対的な位置(高さ)を調整して、仕切板203と基板10との間隔が比較的広い、図3(c)に示すG2となるように設定する。ただし、S704の温度調整の工程で仕切板203と基板10との間隔がG2に設定されている場合には、基板10の表面の高さはそのままにする。なお、G2の間隔は、例えば、14～30mmとなるように調整される。なお、本明細書における「14～30mm」のような数値範囲の表記は、下限値および上限値がその範囲に含まれることを意味する。よって、「14～30mm」とは「14mm以上30mm以下」を意味する。他の数値範囲についても同様である。

[0100] この基板10の表面の高さの設定は、ステップS701で読み込んだプロセスレシピに基づいてリニアアクチュエータを備えたボート上下機構420を作動させて軸421を上下方向に駆動することにより行う。

[0101] (原料ガス供給)：S7052

次に、回転駆動用モータ430を回転駆動して、回転伝達ベルト432を介して支持具440を回転させて仕切板支持部200とボート300とを回転させる。

[0102] このボート300の回転を維持した状態で、ノズル120の穴121から反応管110の内部に原料ガスとして原料ガスを流量調整された状態で導入して、基板10の表面に第1層1220を形成する。する。反応管110に供給された原料ガスのうち、基板10の表面での反応に寄与しなかったガス

は、排気管 130 から排気される。

[0103] これにより、ポート 300 に搭載された基板 10 に対して原料ガスが供給されることとなる。供給する原料ガスの流量は、図示していないマスフローコントローラ (MFC) により調整される。

[0104] このとき原料ガスと一緒にキャリアガスとして、不活性ガスが反応管 110 の内部に供給され、排気管 130 から排気される。

[0105] 原料ガスとしては、例えば、モノクロロシラン (SiH_3Cl 、略称: MCS) ガス、ジクロロシラン (SiH_2Cl_2 、略称: DCS) ガス、トリクロロシラン (SiHCl_3 、略称: TCS) ガス、テトラクロロシラン (SiCl_4 、略称: STC) ガス、ヘキサクロロジシランガス (Si_2Cl_6 、略称: HCDS) ガス、オクタクロロトリシラン (Si_3Cl_8 、略称: OCTS) ガス等のクロロシラン系ガスを用いることができる。また、原料ガスとしては、例えば、テトラフルオロシラン (SiF_4) ガス、ジフルオロシラン (SiH_2F_2) ガス等のフルオロシラン系ガス、テトラブロモシラン (SiBr_4) ガス、ジブロモシラン (SiH_2Br_2) ガス等のブロモシラン系ガス、テトラヨードシラン (SiI_4) ガス、ジヨードシラン (SiH_2I_2) ガス等のヨードシラン系ガスを用いることもできる。また、原料ガスとしては、例えば、テトラキス (ジメチルアミノ) シラン ($\text{Si}[\text{N}(\text{CH}_3)_2]_4$ 、略称: 4DMAS) ガス、トリス (ジメチルアミノ) シラン ($\text{Si}[\text{N}(\text{CH}_3)_2]_3\text{H}$ 、略称: 3DMAS) ガス、ビス (ジエチルアミノ) シラン ($\text{Si}[\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2]_2\text{H}_2$ 、略称: BDEAS) ガス、ビス (ターシャリーブチルアミノ) シラン ($\text{SiH}_2[\text{NH}(\text{C}_4\text{H}_9)]_2$ 、略称: BTBAS) ガス等のアミノシラン系ガスを用いることもできる。原料ガスとしては、これらのうち 1 以上を用いることができる。

[0106] また、不活性ガスとしては、例えば、窒素 (N_2) ガスを用いることができ、その他、アルゴン (Ar) ガス、ヘリウム (He) ガス、ネオン (Ne) ガス、キセノン (Xe) ガス等の希ガスを用いることができる。キャリアガスとしては、これらのうち 1 以上を用いることができる。

[0107] キャリアガスは、ノズル120を介して反応管110の内部に供給され、排気管130から排気される。このときヒータ101の温度は、基板10の温度が、例えば250～550℃の範囲内の温度となるような温度に設定する。

[0108] このように基板10と仕切板203との間隔G2を大きくして、基板10と仕切板203との間隔が広くなるように設定した状態で基板10と仕切板203との間に原料ガスである原料ガスを流すことにより、基板10と仕切板203との間を流れる原料ガスの流速が比較的遅くなる。

[0109] その結果、原料ガスは、トレンチ構造のパターン1210の底部1212の付近まで供給されやすくなり、図10に示すように、基板10の表面だけでなく、トレンチ構造のパターン1210の内部の底部1212を含む領域にも、原料ガスによる第1層1220が形成される。

[0110] （原料ガス排気）：S7053

反応管110の内部に所定の時間ノズル120を介して原料ガスである原料ガスを供給して基板10のトレンチ構造のパターン1210の底部1212にも第1層1220が形成された後、原料ガスの供給を停止する。このとき、図示していない真空ポンプにより反応管110の内部を真空排気し、反応管110内に残留する未反応もしくは薄膜1220形成に寄与した後の原料ガスを反応管110の内部から排除する。

[0111] このときノズル120からのキャリアガス（不活性ガス）の反応管110内部への供給を維持する。キャリアガスはパージガスとして作用し、反応管110の内部に残留する未反応もしくは第1層1220の形成に寄与した後の原料ガスを反応管110の内部から排除する効果を高めることができる。

[0112] また、パージガスとしては、例えば、窒素（N₂）ガス、アルゴン（Ar）ガス、ヘリウム（He）ガス、ネオン（Ne）ガス、キセノン（Xe）ガス等の希ガスを用いることができる。

[0113] （所定回数実施）：S7054

ステップS705における上記した詳細ステップS7051～ステップS

7053を含むS7059までのステップを順に行うサイクルを所定回数（n回）行ったかをチェックし、所定回収実行した場合にはステップS706に進む。

[0114] 一方、所定の回数に達していない場合には、ステップS7055に進む。

[0115] （反応ガス供給）：S7055

反応管110の内部の残留ガスを除去した後、回転駆動用モータ430を駆動してポート300の回転を維持した状態で、反応ガスをノズル120から反応管110の内部に供給し、反応に寄与しなかった反応ガスを排気管130から排気する。これにより、基板10に対して反応ガスが供給されることとなる。具体的に供給する反応ガスの流量は、図示していないマスフローコントローラにより調整される。このときのヒータ101の温度は、原料ガス供給ステップと同様の温度に設定する。

[0116] ここで、基板10と仕切板203との間は、原料ガスを供給した時と同じ間隔G2（例えば、14～30mm）に設定されているので、基板10と仕切板203との間を流れる反応ガスの流速は比較的早くなる。その結果、反応ガスは、原料ガスと同様にトレンチ構造のパターン1210の底部1212の付近まで供給される。

[0117] 反応ガスは、加熱されて活性化された状態で基板10の表面に供給されることにより、原料ガスにより基板10の表面及び底部1212を含むトレンチ構造のパターン1210の内部に形成された第1層1220の表面を窒化して、図12に示すように第2層1221を形成する。そして、この第2層1221の表面には、NH終端が形成されている。

[0118] なお、反応ガスとしては、ジアゼン（ N_2H_2 ）ガス、アンモニア（ NH_3 ）、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。

[0119] （残留ガス排気）：S7056

反応ガスをノズル120から反応管110の内部に一定の時間供給した後、ノズル120から反応管110の内部への反応ガスの供給を停止する。そ

して、ステップS 7 0 5 3と同様の処理手順により、図示していない真空ポンプにより反応管1 1 0の内部を真空排気して、反応管1 1 0の内部に残留する未反応の反応ガスや反応副生成物を反応管1 1 0の内部から排除する。

[0120] このときノズル1 2 0から不活性ガスを反応管1 1 0内部へ供給する。不活性ガスはパージガスとして作用し、反応管1 1 0の内部に残留する未反応もしくは第2層1 2 2 1の形成に寄与した後の反応ガスを反応管1 1 0の内部から排除する効果を高めることができる。なお、不活性ガスとしては、S 7 0 5 2で説明したガスと同様のガスを用いることができる。

[0121] (基板の高さをG 1に設定) : S 7 0 5 7

次に、仕切板2 0 3に対して基板1 0の位置を上げて仕切板2 0 3と基板1 0の間隔をG 2よりも狭くして、図3 (b)に示すように、G 1に設定する。G 2これは、ステップS 7 0 1で読み込んだプロセスレシピに基づいてリニアアクチュエータを備えたボート上下機構4 2 0を作動させて軸4 2 1を上方向に駆動させて、ノズル1 2 0の穴1 2 1、及び仕切板支持部2 0 0の仕切板2 0 3に対するボート3 0 0に搭載された基板1 0の表面の相対的な位置(高さ)を第1の高さから第2の高さに切り替えることにより行われる。なお、G 1の間隔は、3~1 4 m mとなるように調整される。

[0122] (成膜阻害ガス供給) : S 7 0 5 5

反応管1 1 0の内部の残留ガスを除去した後、回転駆動用モータ4 3 0を駆動してボート3 0 0の回転を維持した状態で、成膜阻害ガスである成膜阻害ガスをノズル1 2 0から反応管1 1 0の内部に供給し、反応に寄与しなかった成膜阻害ガスを排気管1 3 0から排気する。これにより、基板1 0に対して成膜阻害ガスが供給されることとなる。供給する成膜阻害ガスの流量は、図示していないマスフローコントローラにより調整される。

[0123] このときのヒータ1 0 1の温度は、原料ガスである原料ガス供給ステップ及び反応ガス供給ステップと同様の温度に維持する。

[0124] ここで、基板1 0と仕切板2 0 3との間隔G 1が原料ガスを流したときの間隔G 2よりも狭くなるように設定されているので、基板1 0と仕切板2 0

3との間を流れる成膜阻害ガスの流速は、原料ガス及び反応ガスの場合よりも遅くなり、成膜阻害ガスは、原料ガス及び反応ガスと比べてトレンチ構造のパターン1210の底部1212の付近までは供給されにくくなる。

[0125] このような状態で成膜阻害ガスを流すと、基板10の表面においては、供給された成膜阻害ガスが基板10の表面に形成された第2層1221と反応して、基板10の表面にC1終端1230の層が形成される。

[0126] なお、成膜阻害ガスとしては、塩化水素(HCl)ガス、塩素(Cl₂)ガスなどが用いることができる。

[0127] 一方、トレンチ構造のパターン1210においては、成膜阻害ガスは入り口部1211の付近までしか届かず、トレンチ構造のパターン1210の底部1212までは届かない。その結果、図12に示すように、トレンチ構造のパターン1210の底部1212には、C1終端1230が形成されず、第2層1221の表面のNH終端が露出した状態になっている。

[0128] (残留ガス排気) : S7056

トレンチ構造のパターン1210の部分にC1終端1230を形成した後、ノズル120から反応管110の内部への成膜阻害ガスの供給を停止する。そして、ステップS7053と同様の処理手順により、反応管110の内部に残留する未反応もしくはC1終端1230の形成に寄与した後の成膜阻害ガスや反応副生成物を反応管110の内部から排除する。

[0129] このときノズル120からのキャリアガスを反応管110内部へ供給する。キャリアガスはパージガスとして作用し、反応管110の内部に残留する未反応もしくはC1終端1230の形成に寄与した後の成膜阻害ガスを反応管110の内部から排除する効果を高めることができる。

[0130] (S7051へ戻る)

成膜阻害ガスの残留ガスや反応副生成物の反応管110の内部からの排出が完了した後、処理はS7051に戻って、仕切板203に対する基板10の位置を下降させて仕切板203と基板10の間隔をG2に設定する。

[0131] 次に、S7052に進んで、トレンチ構造のパターン1210の底部12

12を含む基板10の表面に、原料ガスによる第3層1222を形成する。

[0132] ここで、基板10の表面やトレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近に形成されたC1終端1230は、原料ガスにより形成されるSiを含む層の形成に対してインヒビター（成膜阻害層）として作用する。

[0133] このようにC1終端1230がSiを含む層の形成に対してインヒビターとして作用することにより、C1終端1230が形成されている基板10の表面及びトレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近においては、第3層1222の成膜速度が遅くなる。これにより、成長した第3層1222でトレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近が塞がれてしまうのを遅らせることができる。

[0134] 一方、C1終端1230が形成されておらず、NH終端が露出しているトレンチ構造のパターン1210の底部1212付近においては、第3層1222が成膜速度を低減されることなく形成される。

[0135] C1終端1230が形成されていない状態でトレンチ構造のパターン1210に第3層1222を形成する場合、一般的に、入り口部1211における第3層1222の成長速度は底部1212近傍における成長速度よりも早い。そのために、トレンチ構造のパターン1210の底部1212が深い場合には底部1212近傍における第3層1222が十分に形成される前にトレンチ構造のパターン1210の入り口部1211が第3層1222で塞がれてしまう。

[0136] これに対して本開示では、上記したように基板10の表面及びトレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近にC1終端1230が形成されているので、図13に示すように、トレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近が塞がれてしまう前に、底部1212を含むトレンチ構造のパターン1210の内面に、回路パターンを構成するのに十分な膜厚を備えた第3層1222を形成することができ、C1終端1230を形成しない場合と比べて、トレンチ構造のパターン1210の内面に十分なステップカバレージを有する第3層1222を形成することができるようになった。

[0137] このように、トレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近における第3層1222の成長を遅らせて、トレンチ構造のパターン1210の底部1212付近において第3層1222を成長させるようにしたことにより、トレンチ構造のパターン1210のステップカバレッジを、C1終端1230を形成しない場合と比べて向上させることができるようになった。

[0138] (所定回数実施) : S7054

S7054でチェックして、ステップS705における上記した詳細ステップS7051～ステップS7053とステップS7055～ステップS7059までを順に行うサイクルを所定回数(n回)行う。これにより、基板10のトレンチ構造のパターン1210の部分に、表面にNH終端が形成され一部がC1終端1230で覆われた第2層1221の上に新たな第3層1222を積層し、この第3層1222の一部にC1終端を形成し、さらにその上に新たな第3層1222を積層することを順次繰り返すことにより、トレンチ構造のパターン1210の入り口部1211が塞がれてしまう前に、トレンチ構造のパターン1210の底部1212の付近に、第3層1222として信号回路を形成するのに十分な厚さ積層することができる。上述のサイクルは、複数回繰り返すのが好ましく、例えば10～80回ほど行うことが好ましく、より好ましくは10～15回ほど行う。

[0139] このように、ステップS701で読み込んだプロセスレシピに基づいてリニアアクチュエータを備えたボート上下機構420を作動させて軸421を上下方向に駆動することにより、第1層1220の形成時と第2層1221形成時における仕切板203と基板10との間隔G2と、C1終端1230形成時における仕切板203と基板10との間隔G1とを切り替えながら原料ガス供給工程(S7052)と反応ガス供給工程(S7055)と成膜阻害ガス供給工程(S7058)を含む各工程を繰り返して実行することにより、基板10のトレンチ構造のパターン1210の部分に、第3層1222を積層して形成することができる。

[0140] なお、上記に説明した例においては、原料ガス供給工程(S7052)と

反応ガス供給工程（S7055）と成膜阻害ガス供給工程（S7057）とにおいて、回転駆動用モータ430で基板10を搭載したボート300を回転させる例を説明したが、残留ガス排気工程（S7053とS7056、S7058）の間も継続して回転させるようにしてもよい。

[0141] （アフターパージ）：S706

上記ステップS705の一連の工程を所定の回数繰り返して実行した後、ノズル120からN₂ガスを反応管110の内部へ供給し、排気管130から排気する。N₂ガスはパージガスとして作用し、これにより反応管110の内部が不活性ガスでパージされ、反応管110の内部に残留するガスや副生成物が反応管110内から除去される。

[0142] （基板搬出）：S707

その後、上下駆動用モータ410を駆動してボールねじ411を逆方向に回転駆動し、仕切板支持部200とボート300を反応管110から下降させて、表面に所定の厚さの薄膜が形成された基板10を搭載したボート300を収納室500に搬送する。

[0143] （降温）：S706

収納室500において、ボート300から薄膜が形成された基板10を基板搬入口310を介して収納室500の外部に取り出した後、ヒータ101による加熱を停止させた状態で収納室500内部の温度を降温させて基板10の処理を終了する。

[0144] 上記に説明した例においては、基板10のトレンチ構造のパターン1210の部分に、第3層1222を積層して形成する例について説明したが、本実施例はこれに限られるものではない。例えば、SiO₂膜、Si₃N₄（窒化シリコン）膜、又はTiN（窒化チタン）膜を形成することもできる。また、これらの膜に限るものではない。例えば、W、Ta、Ru、Mo、Zr、Hf、Al、Si、Ge、Ga等又は、これら元素と同族の元素、で構成される元素単体の膜や、これら元素と窒素との化合物膜（窒化膜）、これら元素と酸素との化合物膜（酸化膜）等にも適用することが可能である。なお、

これらの膜を形成する際には、上述のハロゲン含有ガスや、ハロゲン元素、アミノ基、シクロペンタ基、酸素（O）、炭素（C）、アルキル基、等の少なくともいずれかを含むガスを用いることができる。

[0145] 本開示によれば、トレンチ構造のパターン1210の入り口部1211付近における第3層1222の成長を遅らせて、トレンチ構造のパターン1210の底部1212付近において第3層1222を成長させるようにしたことにより、トレンチ構造のパターン1210のステップカバレッジを、C1終端1230を形成しない場合と比べて向上させることができるようになった。

[0146] また、C1終端1230を加熱した成膜阻害ガスを供給する事で実現したので、成膜阻害ガスを励起するためのプラズマ発生手段を備えることを必要とせず、比較的単純な構成の装置を用いて、トレンチ構造のパターン1210のステップカバレッジの向上を図ることができるようになった。

[0147] 本開示の適用例として成膜処理工程について説明したが、本開示はこれに限られず、エッチングプロセスに適用することもできる。

[0148] 本開示をエッチングプロセスに適用する場合、リニアアクチュエータを備えたボート上下機構420を作動させて軸421を上下方向に駆動することにより、基板10と基板10の上側の仕切板203との間隔を狭くした状態（図3（b）の状態）でエッチングガスを供給することで、DED（Depo Etch Depo）処理の内、E処理が可能となる。ここで、DED処理とは、成膜処理とエッチング処理を繰り返し行い、所定の膜を形成する処理を意味する。上述のE処理とは、エッチング処理を意味する。

[0149] また、エッチングガス供給中に、基板10と基板10の上側の仕切板203との間隔を広げることにより（図3（c）の状態）、エッチングの基板面内均一性を調整することが可能となる。

符号の説明

[0150] 100, 900, 1000, 1100・・・基板処理装置 101・・・ヒータ 110・・・反応管 120・・・ガス供給用のノズル

1 2 1 . . . 穴 2 0 0 . . . 仕切板支持部 2 0 3 . . . 仕切板
2 6 0 . . . コントローラ 3 0 0 . . . 基板支持具（ポート） 4 0
0 . . . 上下方向駆動機構部 5 0 0 . . . 収納室。

請求の範囲

- [請求項1] 基板を支持する基板支持具と、当該基板支持具に支持された前記基板の上部に配置された上部仕切板とを支持する仕切板支持具と、を有する基板保持具を処理室に収容する工程と、
- 前記基板と前記上部仕切板との距離を第1の間隔にして、ガス供給口から前記基板に第1ガスを供給する第1ガス供給工程と、
- 前記基板と前記上部仕切板との距離を第2の間隔にして、ガス供給口から前記基板に第2ガスを供給する第2ガス供給工程と、
- を有する半導体装置の製造方法。
- [請求項2] 前記第1ガス供給工程では、前記第1の間隔が、前記第2の間隔より広い請求項1に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項3] 前記第2ガス供給工程では、前記第2の間隔が、前記第1の間隔より狭い請求項1又は請求項2に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項4] 前記第1ガス供給工程では、前記基板が、ガス供給口よりも下部に配置される請求項1～請求項3のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項5] 前記第2ガス供給工程では、前記基板が、ガス供給口よりも上部に配置される請求項1～請求項4のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項6] 前記基板支持具は、複数の前記基板を上下方向に所定の間隔をあけて支持し、前記仕切板支持具は、複数の前記基板の間それぞれに前記上部仕切板を支持する請求項1～請求項5のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項7] 前記第2ガスは、成膜阻害ガスとして用いられる請求項1～請求項6のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項8] 前記第1ガス供給工程と前記第2ガス供給工程との間に、前記基板と前記上部仕切板との距離を前記第1の間隔に維持した状態で、ガス供給口から前記基板に第3ガスを供給する第3ガス供給工程を更に有

する請求項 1 ～請求項 7 のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項9] 前記第 1 ガスは原料ガス、前記第 3 ガスは反応ガスである請求項 8 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項10] 前記基板には、トレンチが形成されている請求項 1 ～請求項 9 のうちいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項11] 基板を支持する基板支持具と、当該基板支持具に支持された前記基板の上部に配置された上部仕切板を支持する仕切板支持具と、を有する基板保持具と、

前記基板支持具に前記基板を支持した状態で前記基板保持具を収容する処理室と、

前記基板保持具を上下方向に駆動して前記処理室に対して出し入れをする第 1 の駆動部と、

前記基板支持具又は前記仕切板支持具のいずれか一方を前記上下方向に駆動して前記基板支持具に支持された前記基板と前記仕切板支持具に支持された仕切板との間隔を変化させる第 2 駆動部と、

前記処理室の内部に収容された前記基板に対してガスを供給するガス供給部と、

前記基板保持具を前記処理室に収容する処理と、前記基板と前記上部仕切板との距離を第 1 の間隔にして、ガス供給部に設けられたガス供給口から前記基板に第 1 ガスを供給する第 1 ガス供給処理と、前記基板と前記上部仕切板との距離を第 2 の間隔にして、ガス供給部に設けられたガス供給口から前記基板に第 2 ガスを供給する第 2 ガス供給処理と、を行うように、前記第 2 駆動部と前記ガス供給部とを制御することが可能なよう構成される制御部と、

を有する基板処理装置。

[請求項12] 基板を支持する基板支持具と、当該基板支持具に支持された前記基板の上部に配置された上部仕切板とを支持する仕切板支持具と、を有

する基板保持具を基板処理装置の処理室に収容する手順と、
前記基板と前記上部仕切板との距離を第 1 の間隔にして、ガス供給口から前記基板に第 1 ガスを供給する第 1 ガス供給手順と、
前記基板と前記上部仕切板との距離を第 2 の間隔にして、ガス供給口から前記基板に第 2 ガスを供給する第 2 ガス供給手順と、
をコンピュータにより前記基板処理装置に実行させるプログラム。