

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-132589

(P2011-132589A)

(43) 公開日 平成23年7月7日(2011.7.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C23C 16/455 (2006.01)	C23C 16/455	4K030
C23C 16/34 (2006.01)	C23C 16/34	4M104
H01L 21/28 (2006.01)	H01L 21/28 301R	
H01L 21/285 (2006.01)	H01L 21/285 C	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2009-295351 (P2009-295351)	(71) 出願人	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22) 出願日	平成21年12月25日 (2009.12.25)	(74) 代理人	100091513 弁理士 井上 俊夫
		(72) 発明者	加藤 寿 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内
		(72) 発明者	織戸 康一 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内
		(72) 発明者	菊地 宏之 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

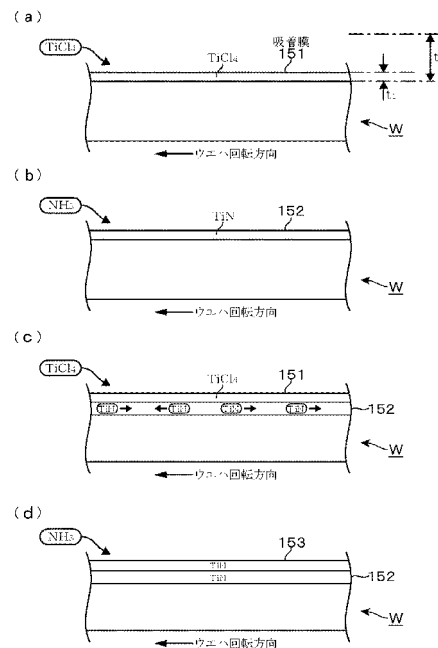
(54) 【発明の名称】 成膜装置、成膜方法及び記憶媒体

(57) 【要約】

【課題】真空容器内にて反応ガスによりチタンナイトライド膜を形成するにあたり、当該チタンナイトライド膜を速やかに成膜すると共に、表面形状が平滑なチタンナイトライド膜を得ること。

【解決手段】チタンナイトライド膜の成膜処理を行う時に、回転テーブル2と各ガスノズル31、32、41、42とを100rpm以上で相対的に回転させることによって、反応ガスの供給サイクル(反応生成物の成膜サイクル)を高速で行うことができるので、薄膜を速やかに形成することができ、またサイクル間の時間が極めて短いので、基板の表面に生成した反応生成物の結晶化による粒子径の粗大化が進行する前に次の反応生成物の層を上層側に積層して平滑な表面を得ることができる。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空容器内にてTiを含む第1の反応ガス及びNを含む第2の反応ガスを順番に基板の表面に供給してチタンナイトライド膜を形成する成膜装置において、

前記真空容器内に設けられ、基板を載置するための基板載置領域が設けられたテーブルと、

前記真空容器の周方向に互いに離れて設けられ、前記テーブル上の基板に前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを夫々供給するための第1の反応ガス供給手段及び第2の反応ガス供給手段と、

前記第1の反応ガスが供給される第1の処理領域と前記第2の反応ガスが供給される第2の処理領域との間に設けられ、両反応ガスの混合を防止するための分離領域と、

前記第1の処理領域と前記第2の処理領域とを基板がこの順番で位置するように、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と前記テーブルとを前記真空容器の周方向に相対的に回転させる回転機構と、

前記真空容器内を真空排気する真空排気手段と、

前記基板への成膜時に、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と前記テーブルとを前記回転機構を介して100rpm以上で回転させる制御部と、を備えたことを特徴とする成膜装置。

【請求項 2】

前記テーブル上の基板に対してNH₃ガスまたはH₂ガスの少なくとも一方のプラズマを供給するための活性化ガスインジェクターを備え、

この活性化ガスインジェクターは、前記回転機構により、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と共に前記テーブルに対して相対的に回転するように構成され、前記相対的な回転時に前記プラズマが前記第2の処理領域と前記第1の処理領域との間において基板に供給されるように配置されていることを特徴とする請求項1に記載の成膜装置。

【請求項 3】

前記分離領域は、分離ガスを供給する分離ガス供給手段を備えたことを特徴とする請求項1または2に記載の成膜装置。

【請求項 4】

前記分離領域は、前記分離ガス供給手段と、この分離ガス供給手段における前記周方向両側に位置し、当該分離領域から処理領域側に分離ガスが流れるための狭隘な空間を前記テーブルとの間に形成するための天井面と、を備えていることを特徴とする請求項3に記載の成膜装置。

【請求項 5】

前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段は、前記第1の処理領域及び前記第2の処理領域における夫々の天井面から離間して基板の近傍に夫々設けられ、前記基板の方向に向けて前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを夫々供給する手段であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれか一つに記載の成膜装置。

【請求項 6】

真空容器内にてTiを含む第1の反応ガス及びNを含む第2の反応ガスを順番に基板の表面に供給してチタンナイトライド膜を形成する成膜方法において、

基板を載置するための基板載置領域が設けられたテーブル上に基板を載置する工程と、

次いで、前記真空容器の周方向に互いに離れて設けられた第1の反応ガス供給手段及び第2の反応ガス供給手段から、前記テーブルの表面に対して夫々前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを供給する工程と、

前記第1の反応ガスが供給される第1の処理領域と前記第2の反応ガスが供給される第2の処理領域との間に設けられた分離領域において両反応ガスの混合を防止する工程と、

前記第1の処理領域と前記第2の処理領域とを基板がこの順番で位置するように、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と前記テーブルとを相対的に前

10

20

30

40

50

記真空容器の周方向に100rpm以上で回転させる工程と、
前記真空容器内を真空排気する工程と、を含むことを特徴とする成膜方法。

【請求項7】

前記テーブル上の基板に対して活性化ガスインジェクターからNH₃ガスまたはH₂ガスの少なくとも一方のプラズマを供給する工程を含み、

前記回転させる工程は、前記相対的回転時において前記第2の処理領域と前記第1の処理領域との間において前記プラズマが基板に対して供給されるように、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と共に前記活性化ガスインジェクターを前記テーブルに対して相対的に回転させる工程であることを特徴とする請求項6に記載の成膜方法。

10

【請求項8】

前記両ガスの混合を防止する工程は、分離ガス供給手段から前記分離領域に分離ガスを供給する工程を含むことを特徴とする請求項6または7に記載の成膜方法。

【請求項9】

前記分離ガスを供給する工程は、前記分離ガス供給手段における前記周方向両側に位置し、前記分離領域から処理領域側に分離ガスが流れるために前記テーブルと前記真空容器の天井面との間に形成された狭隘な空間に前記分離ガス供給手段から分離ガスを供給する工程であることを特徴とする請求項8に記載の成膜方法。

【請求項10】

前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを供給する工程は、前記第1の処理領域及び前記第2の処理領域における夫々の天井面から離間して基板の近傍に夫々設けられた前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段から、前記基板の方向に向けて前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを夫々供給する工程であることを特徴とする請求項6ないし9のいずれか一つに記載の成膜方法。

20

【請求項11】

真空容器内にてTiを含む第1の反応ガス及びNを含む第2の反応ガスを順番に基板の表面に供給してチタンナイトライド膜を形成する成膜装置に用いられるプログラムを格納する記憶媒体であって、

前記プログラムは、請求項6ないし10のいずれか一つに記載の基板処理方法を実施するようにステップ群が組まれていることを特徴とする記憶媒体。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、真空雰囲気にて基板に対して反応ガスによりチタンナイトライド膜の成膜を行う成膜装置、成膜方法及び記憶媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体装置の多層配線構造において、下層側の配線層と上層側の配線層との間の層間絶縁膜にこれらの配線層同士を接続するためのコンタクトホールを形成したコンタクト構造では、このコンタクトホール内に埋め込む金属材料としてアルミニウムを用いる場合がある。このコンタクトホールの内壁面には、アルミニウムが層間絶縁膜内へ拡散するのを防止するためのバリア膜として、例えばTiN（チタンナイトライド、窒化チタン）膜が形成される。

40

【0003】

このようなバリア膜をコンタクトホールの内壁面に形成するにあたり、従来のCVD（Chemical Vapor Deposition）法は被覆性が良好でないことから、これに代わる成膜手法として、例えばALD（Atomic Layer Deposition）法やMLD（Molecular Layer Deposition）法あるいはSFD（Sequential Flow Deposition）法などが検討されている。

50

【 0 0 0 4 】

これらの成膜手法においてTiN膜を成膜する場合には、例えばTiCl₄(塩化チタン)ガス及び例えばNH₃(アンモニア)ガスを半導体ウエハ上に交互に供給して、TiNの分子層が順次積層される。このような手法は、埋め込み特性(被覆率)が90%以上にもなり、埋め込み特性を大きく改善できるが、成膜速度が遅いため生産性が悪いという課題がある。また、各回のTiCl₄ガスの雰囲気TiCl₄ガスの吸着が飽和するまで維持しておく、即ち飽和吸着を行うと、膜表面のモフォロジー(面状態)を制御することができない。つまり、ウエハ上において反応ガスの吸着量が飽和するまで当該反応ガスの吸着時間(反応ガスの供給時間)を長く取ると、TiN膜の場合には、例えばNH₃ガスを供給している間に、ウエハの表面にて生成したTiN粒子の結晶化が進行することによって原子や分子のマイグレーション(移動)が起こり、薄膜の表面モフォロジーが悪化してしまう。尚、CVD法においては、このような結晶化の進行は避けられない。

10

【 0 0 0 5 】

そのため、次世代向けのキャパシター電極例えばZrO(酸化ジルコニウム)、TiO(酸化チタン)、TaO(酸化タンタル)などのバリア膜としてTiN膜を用いる場合には、当該TiN膜の表面形状が粗いと、キャパシター電極に部分的に電荷が集中してしまう。

更に、TiNのマイグレーションを抑えるために例えば低温で成膜を行う場合には、例えば反応ガスの分解が不十分となり、反応ガス中のCl(塩素)などが薄膜中に取り込まれて設定通りの電気特性が得られなくなってしまう場合もある。

20

特許文献1~3には、ALD法などについて記載されているが、既述の課題については検討されていない。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】 米国特許公報 7, 1 5 3, 5 4 2 号

【 特許文献 2 】 特許 3 1 4 4 6 6 4 号公報

【 特許文献 3 】 米国特許公報 6, 8 6 9, 6 4 1 号

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

30

【 0 0 0 7 】

本発明はこのような事情に基づいて行われたものであり、その目的は、真空容器内にて基板に対して反応ガスによりチタンナイトライド膜を形成するにあたり、当該チタンナイトライド膜を速やかに成膜できると共に、表面形状が平滑なチタンナイトライド膜を得ることのできる成膜装置、成膜方法及びこの方法を実施するプログラムを格納した記憶媒体を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

本発明の成膜装置は、

真空容器内にてTiを含む第1の反応ガス及びNを含む第2の反応ガスを順番に基板の表面に供給してチタンナイトライド膜を形成する成膜装置において、

40

前記真空容器内に設けられ、基板を載置するための基板載置領域が設けられたテーブルと、

前記真空容器の周方向に互いに離れて設けられ、前記テーブル上の基板に前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを夫々供給するための第1の反応ガス供給手段及び第2の反応ガス供給手段と、

前記第1の反応ガスが供給される第1の処理領域と前記第2の反応ガスが供給される第2の処理領域との間に設けられ、両反応ガスの混合を防止するための分離領域と、

前記第1の処理領域と前記第2の処理領域とを基板がこの順番で位置するように、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と前記テーブルとを前記真空容

50

器の周方向に相対的に回転させる回転機構と、

前記真空容器内を真空排気する真空排気手段と、

前記基板への成膜時に、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と前記テーブルとを前記回転機構を介して100rpm以上で回転させる制御部と、を備えたことを特徴とする。

【0009】

さらに前記テーブル上の基板に対してNH₃ガスまたはH₂ガスの少なくとも一方のプラズマを供給するための活性化ガスインジェクターを備え、

この活性化ガスインジェクターは、前記回転機構により、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と共に前記テーブルに対して相対的に回転するように構成され、前記相対的な回転時に前記プラズマが前記第2の処理領域と前記第1の処理領域との間において基板に供給されるように配置されているても良い。

前記分離領域は、分離ガスを供給する分離ガス供給手段を備えていても良いし、更にこの分離ガス供給手段における前記周方向両側に位置し、当該分離領域から処理領域側に分離ガスが流れるための狭隘な空間を前記テーブルとの間に形成するための天井面を備えていても良い。

前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段は、前記第1の処理領域及び前記第2の処理領域における夫々の天井面から離間して基板の近傍に夫々設けられ、前記基板の方向に向けて前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを夫々供給する手段であることが好ましい。

【0010】

本発明の成膜方法は、

真空容器内にてTiを含む第1の反応ガス及びNを含む第2の反応ガスを順番に基板の表面に供給してチタンナイトライド膜を形成する成膜方法において、

基板を載置するための基板載置領域が設けられたテーブル上に基板を載置する工程と、

次いで、前記真空容器の周方向に互いに離れて設けられた第1の反応ガス供給手段及び第2の反応ガス供給手段から、前記テーブルの表面に対して夫々前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを供給する工程と、

前記第1の反応ガスが供給される第1の処理領域と前記第2の反応ガスが供給される第2の処理領域との間に設けられた分離領域において両反応ガスの混合を防止する工程と、

前記第1の処理領域と前記第2の処理領域とを基板がこの順番で位置するように、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と前記テーブルとを相対的に前記真空容器の周方向に100rpm以上で回転させる工程と、

前記真空容器内を真空排気する工程と、を含むことを特徴とする。

前記テーブル上の基板に対して活性化ガスインジェクターからNH₃ガスまたはH₂ガスの少なくとも一方のプラズマを供給する工程を含み、

前記回転させる工程は、前記相対的回転時において前記第2の処理領域と前記第1の処理領域との間において前記プラズマが基板に対して供給されるように、前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段と共に前記活性化ガスインジェクターを前記テーブルに対して相対的に回転させる工程であることが好ましい。

前記両ガスの混合を防止する工程は、分離ガス供給手段から前記分離領域に分離ガスを供給する工程を含んでいても良いし、更に前記分離ガス供給手段における前記周方向両側に位置し、前記分離領域から処理領域側に分離ガスが流れるために前記テーブルと前記真空容器の天井面との間に形成された狭隘な空間に前記分離ガス供給手段から分離ガスを供給する工程を含んでいても良い。

前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを供給する工程は、前記第1の処理領域及び前記第2の処理領域における夫々の天井面から離間して基板の近傍に夫々設けられた前記第1の反応ガス供給手段及び前記第2の反応ガス供給手段から、前記基板の方向に向けて前記第1の反応ガス及び前記第2の反応ガスを夫々供給する工程であることが好ましい。

。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

本発明の記憶媒体は、

真空容器内にてTiを含む第1の反応ガス及びNを含む第2の反応ガスを順番に基板の表面に供給してチタンナイトライド膜を形成する成膜装置に用いられるプログラムを格納する記憶媒体であって、

前記プログラムは、前記いずれかの基板処理方法を実施するようにステップ群が組み立てられていることを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

本発明は、真空容器内にてTiを含む第1の反応ガスとNを含む第2の反応ガスとにより基板の表面にチタンナイトライド膜を形成するにあたって、基板を載置するためのテーブルと、前記2種類の反応ガスをテーブル上の基板に夫々供給するための第1の反応ガス供給手段及び第2の反応ガス供給手段と、を真空容器の周方向に相対的に100rpm以上で回転させて両反応ガスを交互に供給している。そのため、前記両反応ガスの供給サイクルを高速で行うことができるので、チタンナイトライド膜を速やかに成膜でき、またサイクル間の時間を極めて短くできるので、基板の表面に生成した反応生成物の結晶化による粒子径の粗大化が進行する前に次の反応生成物の層を上層側に積層して、いわば上層側の反応生成物により下層側の反応生成物における原子や分子のマイグレーション（移動）を規制することができるため、表面モフォロジーの良好な（表面形状が平滑な）チタンナイトライド膜を得ることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態に係る成膜装置の縦断面図である。

【 図 2 】 前記成膜装置の内部の概略構成を示す斜視図である。

【 図 3 】 前記成膜装置の横断平面図である。

【 図 4 】 前記成膜装置における処理領域及び分離領域を示す縦断面図である。

【 図 5 】 前記成膜装置における処理領域及び分離領域を示す縦断面図である。

【 図 6 】 前記成膜装置の一部を示す縦断面図である。

【 図 7 】 前記成膜装置においてTiN膜を成膜する時の作用の一例を示す模式図である。

【 図 8 】 前記成膜装置の真空容器内のガス流を示す概略図である。

【 図 9 】 従来のALD法を用いてTiN膜を成膜した場合の作用の一例を示す模式図である。

【 図 1 0 】 前記他の例の成膜装置を示す平面図である。

【 図 1 1 】 前記他の例の成膜装置を示す一部分解斜視図である。

【 図 1 2 】 前記他の例の成膜装置を示す一部拡大断面図である。

【 図 1 3 】 前記他の例の成膜装置における作用の一例を示す模式図である。

【 図 1 4 】 本発明の実施例において得られた結果を示す特性図である。

【 図 1 5 】 本発明の実施例において得られた結果を示す特性図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

〔 第 1 の実施の形態 〕

本発明の第1の実施の形態の成膜装置は、図1（図3のI-I'線に沿った断面図）～図3に示すように、平面形状が概ね円形である扁平な真空容器（チャンバー）1と、この真空容器1内に設けられ、当該真空容器1の中心に回転中心を有する回転テーブル2と、を備えている。真空容器1は天板11が容器本体12から着脱できるように構成されている。この天板11は、真空容器1内が減圧されることにより、容器本体12の上面の周縁部にリング状に設けられたシール部材例えばリング13を介して容器本体12側に引きつけられて気密状態を維持しているが、容器本体12から分離するときには図示しない駆動機構により上方に持ち上げられる。

【 0 0 1 5 】

10

20

30

40

50

回転テーブル 2 は、中心部にて円筒形状のコア部 2 1 に固定され、このコア部 2 1 は、鉛直方向に伸びる回転軸 2 2 の上端に固定されている。回転軸 2 2 は真空容器 1 の底面部 1 4 を貫通し、その下端が当該回転軸 2 2 を鉛直軸回りにこの例では時計回りに回転させる回転機構である駆動部 2 3 に取り付けられている。そして、後述するように、回転テーブル 2 はこの駆動部 2 3 により、薄膜の成膜中において例えば 100rpm ~ 240rpm で鉛直方向軸回りに回転できるように構成されている。回転軸 2 2 及び駆動部 2 3 は、上面が開口した筒状のケース体 2 0 内に収納されている。このケース体 2 0 はその上面に設けられたフランジ部分が真空容器 1 の底面部 1 4 の下面に気密に取り付けられており、ケース体 2 0 の内部雰囲気と外部雰囲気との気密状態が維持されている。

【0016】

回転テーブル 2 の表面部には、図 2 及び図 3 に示すように回転方向（周方向）に沿って複数枚例えば 5 枚の基板である半導体ウエハ（以下「ウエハ」という）W を載置するための円形状の凹部 2 4 が設けられている。なお図 3 には便宜上 1 個の凹部 2 4 だけにウエハ W を描いてある。ここで図 4 は、回転テーブル 2 を同心円に沿って切断しかつ横に展開して示す展開図であり、凹部 2 4 は、図 4 (a) に示すようにその直径がウエハ W の直径よりも僅かに例えば 4 mm 大きく、またその深さはウエハ W の厚みと同等の大きさに設定されている。従ってウエハ W を凹部 2 4 に落とし込むと、ウエハ W の表面と回転テーブル 2 の表面（ウエハ W が載置されない領域）とが揃うことになる。凹部 2 4 の底面には、ウエハ W の裏面を支えて当該ウエハ W を昇降させるための 3 本の昇降ピンが貫通する貫通孔（いずれも図示せず）が形成されている。

この凹部 2 4 は、ウエハ W を位置決めして回転テーブル 2 の回転に伴う遠心力により飛び出さないようにするためのものであり、本発明の基板載置領域に相当する部位である。

【0017】

図 2 及び図 3 に示すように真空容器 1 には、回転テーブル 2 における凹部 2 4 の通過領域と各々対向する上位置に、第 1 の反応ガスノズル 3 1 及び第 2 の反応ガスノズル 3 2 と 2 本の分離ガスノズル 4 1、4 2 とが真空容器 1 の周方向（回転テーブル 2 の回転方向）に互いに間隔をおいて中心部から放射状に伸びている。この例では、後述の搬送口 1 5 から見て時計回りに第 2 の反応ガスノズル 3 2、分離ガスノズル 4 1、第 1 の反応ガスノズル 3 1 及び分離ガスノズル 4 2 がこの順に配列されている。これら反応ガスノズル 3 1、3 2 及び分離ガスノズル 4 1、4 2 は、例えば真空容器 1 の側周壁に取り付けられており、その基端部であるガス導入ポート 3 1 a、3 2 a、4 1 a、4 2 a は当該側壁を貫通している。

これらのガスノズル 3 1、3 2、4 1、4 2 は、真空容器 1 の周壁部から真空容器 1 内に導入されている。

【0018】

第 1 の反応ガスノズル 3 1 及び第 2 の反応ガスノズル 3 2 は、夫々図示しない流量調整バルブなどを介して、夫々第 1 の反応ガス（処理ガス）である Ti（チタン）を含む反応ガス例えば TiCl₄（塩化チタン）ガス及び第 2 の反応ガスである N（窒素）を含む反応ガス例えば NH₃（アンモニア）ガスの供給源（いずれも図示せず）に接続されている。また、分離ガスノズル 4 1、4 2 は、いずれも流量調整バルブなどを介して分離ガス（不活性ガス）である N₂（窒素）ガスが貯留されたガス供給源（図示せず）に接続されている。

【0019】

反応ガスノズル 3 1、3 2 には、下方側に反応ガスを吐出するための処理ガス供給口として例えば口径が 0.3 mm の吐出孔 3 3 が真下を向いてノズルの長さ方向に例えば 2.5 mm の間隔を置いて配列されている。また分離ガスノズル 4 1、4 2 には、下方側に分離ガスを吐出するための例えば口径が 0.5 mm の吐出孔 4 0 が真下を向いて長さ方向に例えば 10 mm 程度の間隔を置いて穿設されている。反応ガスノズル 3 1、3 2 は夫々第 1 の反応ガス供給手段及び第 2 の反応ガス供給手段に相当し、分離ガスノズル 4 1、4 2

10

20

30

40

50

は分離ガス供給手段に相当する。また、反応ガスノズル 3 1、3 2 の下方領域は夫々 T i C l 4 ガスをウエハ W に吸着させるための第 1 の処理領域 9 1 及び N H 3 ガスをウエハ W に吸着させるための第 2 の処理領域 9 2 となる。

【 0 0 2 0 】

既述の図 1 ~ 図 4 では省略しているが、反応ガスノズル 3 1、3 2 は、図 5 (a) に示すように、処理領域 9 1、9 2 における天井面 4 5 から離間してウエハ W の近傍に夫々設けられており、ノズル 3 1、3 2 の長さ方向に沿ってこれらのノズル 3 1、3 2 を上方側から覆うと共に、下方側が開口するノズルカバー 1 2 0 を備えている。回転テーブル 2 の回転方向におけるノズルカバー 1 2 0 の両側面部は、下端部が水平方向に伸び出してフランジ状の整流部材 1 2 1 をなしている。この整流部材 1 2 1 は、処理領域 9 1、9 2 内への分離ガスの回り込み及びノズル 3 1、3 2 の上方側への反応ガスの舞い上がりを抑えるためのものであり、回転テーブル 2 の中心側から外周側に向かうにつれて、幅寸法が大きくなっている。そのため、図 5 (b) に示すように、これらのノズル 3 1、3 2 の上流側から各処理領域 9 1、9 2 に向かってくる分離ガスは、ノズルカバー 1 2 0 の上方領域を通過して排気口 6 1、6 2 へと各々排気されていき、各処理領域 9 1、9 2 における反応ガスの濃度が高く保たれることになる。尚、この図 5 は、回転テーブル 2 の周方向に沿って装置を縦断して展開した図であり、成膜装置では処理領域 9 1、9 2 及び分離領域 D よりも外方領域に排気口 6 1、6 2 が設けられているが、各ガスの流れを示すために便宜上処理領域 9 1、9 2 及び分離領域 D と排気口 6 1、6 2 とを同一平面に示している。また、この整流部材 1 2 1 は、図 5 のように回転テーブル 2 の回転方向両側面に形成しても良いし、上流側及び下流側の一方だけに設けても良い。

【 0 0 2 1 】

分離ガスノズル 4 1、4 2 は、第 1 の処理領域 9 1 と第 2 の処理領域 9 2 とを分離するための分離領域 D を形成するためのものであり、この分離領域 D における真空容器 1 の天板 1 1 には図 2 ~ 図 4 に示すように、回転テーブル 2 の回転中心を中心としかつ真空容器 1 の内周壁の近傍に沿って描かれる円を周方向に分割してなる、平面形状が扇型で下方に突出した凸状部 4 が設けられている。分離ガスノズル 4 1、4 2 は、この凸状部 4 における前記円の周方向中央にて当該円の半径方向に伸びるように形成された溝部 4 3 内に収められている。即ち分離ガスノズル 4 1 (4 2) の中心軸から凸状部 4 である扇型の両縁 (回転テーブル 2 の回転方向上流側の縁及び下流側の縁) までの距離は同じ長さに設定されている。

なお、溝部 4 3 は、本実施形態では凸状部 4 を二等分するように形成されているが、他の実施形態においては、例えば溝部 4 3 から見て凸状部 4 における回転テーブル 2 の回転方向上流側が前記回転方向下流側よりも広くなるように溝部 4 3 を形成してもよい。

【 0 0 2 2 】

従って分離ガスノズル 4 1、4 2 における前記回転方向両側には、前記凸状部 4 の下面である例えば平坦な低い天井面 4 4 (第 1 の天井面) が存在し、この天井面 4 4 の前記回転方向両側には、当該天井面 4 4 よりも高い天井面 4 5 (第 2 の天井面) が存在することになる。この凸状部 4 の役割は、回転テーブル 2 との間に第 1 の反応ガス及び第 2 の反応ガスの侵入を阻止してこれら反応ガスの混合を阻止するための狭隘な空間である分離空間を形成することにある。

即ち、分離ガスノズル 4 1 を例にとると、回転テーブル 2 の回転方向上流側から N H 3 ガスが侵入することを阻止し、また回転方向下流側から T i C l 4 ガスが侵入することを阻止する。

【 0 0 2 3 】

この例では直径 3 0 0 m m のウエハ W を被処理基板としており、この場合凸状部 4 は、回転テーブル 2 の回転中心から 1 4 0 m m 外周側に離れた部位 (後述の突出部 5 との境界部位) においては、周方向の長さ (回転テーブル 2 と同心円の円弧の長さ) が例えば 1 4 6 m m であり、ウエハ W の載置領域 (凹部 2 4) の最も外側部位においては、周方向の長さが例えば 5 0 2 m m である。なお図 4 (a) に示すように、当該外側部位において分離

ガスノズル 4 1 (4 2) の両脇から夫々左右に位置する凸状部 4 の周方向の長さ L でみれば、長さ L は 2 4 6 mm である。

【 0 0 2 4 】

また図 4 (a) に示すように凸状部 4 の下面即ち天井面 4 4 における回転テーブル 2 の表面までの高さ h は、例えば 0 . 5 mm から 4 mm に設定されている。そのため、分離領域 D の分離機能を確保するためには、回転テーブル 2 の回転数の使用範囲などに応じて、凸状部 4 の大きさや凸状部 4 の下面 (第 1 の天井面 4 4) と回転テーブル 2 の表面との高さ h を例えば実験などに基づいて設定することになる。なお分離ガスとしては、窒素 (N 2) ガスに限られずアルゴン (A r) ガスなどの不活性ガスなどを用いることができる。

【 0 0 2 5 】

天板 1 1 の下面には、回転テーブル 2 におけるコア部 2 1 よりも外周側の部位と対向するようにかつ当該コア部 2 1 の外周に沿って突出部 5 が設けられている。この突出部 5 は凸状部 4 における回転テーブル 2 の回転中心側の部位と連続して形成されており、その下面が凸状部 4 の下面 (天井面 4 4) と同じ高さに形成されている。図 2 及び図 3 は、前記天井面 4 5 よりも低くかつ分離ガスノズル 4 1、4 2 よりも高い位置にて天板 1 1 を水平に切断して示している。なお突出部 5 と凸状部 4 とは、必ずしも一体であることに限られるものではなく、別体であってもよい。

【 0 0 2 6 】

真空容器 1 の天板 1 1 の下面、つまり回転テーブル 2 のウエハ載置領域 (凹部 2 4) から見た天井面は既述のように第 1 の天井面 4 4 とこの天井面 4 4 よりも高い第 2 の天井面 4 5 とが周方向に存在するが、図 1 では、高い天井面 4 5 が設けられている領域についての縦断面を示しており、図 6 では、低い天井面 4 4 が設けられている領域についての縦断面を示している。扇型の凸状部 4 の周縁部 (真空容器 1 の外縁側の部位) は図 2 及び図 6 に示されているように回転テーブル 2 の外端面に対向するように L 字型に屈曲して屈曲部 4 6 を形成している。扇型の凸状部 4 は天板 1 1 側に設けられていて、容器本体 1 2 から取り外せるようになっていたことから、前記屈曲部 4 6 の外周面と容器本体 1 2 との間には僅かに隙間がある。この屈曲部 4 6 も凸状部 4 と同様に両側から反応ガスが侵入することを防止して、両反応ガスの混合を防止する目的で設けられており、屈曲部 4 6 の内周面と回転テーブル 2 の外端面との隙間、及び屈曲部 4 6 の外周面と容器本体 1 2 との隙間は、回転テーブル 2 の表面に対する天井面 4 4 の高さ h と同様の寸法に設定されている。この例においては、回転テーブル 2 の表面側領域からは、屈曲部 4 6 の内周面が真空容器 1 の内周壁を構成していると見ることができる。

【 0 0 2 7 】

容器本体 1 2 の内周壁は、分離領域 D においては図 6 に示すように前記屈曲部 4 6 の外周面と接近して垂直面に形成されているが、分離領域 D 以外の部位においては、図 1 に示すように例えば回転テーブル 2 の外端面と対向する部位から底面部 1 4 に亘って縦断面形状が矩形に切り欠かれて外方側に窪んだ構造になっている。この窪んだ部位における既述の第 1 の処理領域 9 1 及び第 2 の処理領域 9 2 に連通する領域を夫々第 1 の排気領域 E 1 及び第 2 の排気領域 E 2 と呼ぶことにすると、これらの第 1 の排気領域 E 1 及び第 2 の排気領域 E 2 の底部には、図 3 に示すように、夫々第 1 の排気口 6 1 及び第 2 の排気口 6 2 が形成されている。図 1 に示すように、これら排気口 6 1、6 2 は、各々排気路 6 3 を介して真空排気手段である例えば真空ポンプ 6 4 に接続されている。なお図 1 中、6 5 は圧力調整手段であり、各々の排気路 6 3 毎に設けられている。

【 0 0 2 8 】

既述のように、排気口 6 1、6 2 は、分離領域 D の分離作用が働くように、平面で見るときに前記分離領域 D の前記回転方向両側に設けられている。詳しく言えば、回転テーブル 2 の回転中心から見て第 1 の処理領域 9 1 とこの第 1 の処理領域 9 1 に対して例えば回転方向下流側に隣接する分離領域 D との間に第 1 の排気口 6 1 が形成され、回転テーブル 2 の回転中心から見て第 2 の処理領域 9 2 とこの第 2 の処理領域 9 2 に対して例えば回転方向下流側に隣接する分離領域 D との間に第 2 の排気口 6 2 が形成されており、これらの

10

20

30

40

50

排気口61、62は、夫々各反応ガス(TiCl₄ガス及びNH₃ガス)の排気を専用に(個別に)行うように配置されている。この例では一方の排気口61は、第1の反応ガスノズル31とこの反応ガスノズル31に対して前記回転方向下流側に隣接する分離領域Dの第1の反応ガスノズル31側の縁の延長線との間に設けられ、また他方の排気口61は、第2の反応ガスノズル32とこの反応ガスノズル32に対して前記回転方向下流側に隣接する分離領域Dの第2の反応ガスノズル32側の縁の延長線との間に設けられている。即ち、第1の排気口61は、図3中に一点鎖線で示した回転テーブル2の中心と第1の処理領域91とを通る直線L1と、回転テーブル2の中心と前記第1の処理領域91の下流側に隣接する分離領域Dの上流側の縁を通る直線L2との間に設けられ、第2の排気口62は、この図3に二点鎖線で示した回転テーブル2の中心と第2の処理領域92とを通る直線L3と、回転テーブル2の中心と前記第2の処理領域92の下流側に隣接する分離領域Dの上流側の縁を通る直線L4との間に位置している。

10

【0029】

この例では、排気口61、62を回転テーブル2よりも低い位置に設けることで真空容器1の内周壁と回転テーブル2の周縁との間の隙間から排気するようにしているが、真空容器1の底面部に設けることに限られず、真空容器1の側壁に排気口61、62を設けてもよい。

【0030】

前記回転テーブル2と真空容器1の底面部14との間の空間には、図1に示すように加熱手段であるヒータユニット7が設けられており、回転テーブル2を介して回転テーブル2上のウエハWをプロセスレシピで決められた温度に加熱するように構成されている。前記回転テーブル2の周縁付近の下方側には、回転テーブル2の上方空間から排気領域Eに至るまでの雰囲気とヒータユニット7が置かれている雰囲気とを区画するために、ヒータユニット7を全周に亘って囲むようにカバー部材71が設けられている。このカバー部材71は上縁が外側に屈曲されてフランジ形状に形成され、その屈曲面と回転テーブル2の下面との間の隙間を小さくして、カバー部材71内に外方からガスが侵入することを抑えている。

20

【0031】

ヒータユニット7が配置されている空間よりも回転中心寄りの部位における底面部14は、回転テーブル2の下面の中心部付近、コア部21に接近してその間は狭い空間になっており、また当該底面部14を貫通する回転軸22の貫通穴についてもその内周面と回転軸22との隙間が狭くなっていて、これら狭い空間は前記ケース体20内に連通している。そして前記ケース体20にはパージガスであるN₂ガスを前記狭い空間内に供給してパージするためのパージガス供給管72が設けられている。また真空容器1の底面部14には、ヒータユニット7の下方側位置にて周方向の複数部位に、ヒータユニット7の配置空間をパージするためのパージガス供給管73が設けられている。

30

【0032】

このようにパージガス供給管72、73を設けることにより、ケース体20内からヒータユニット7の配置空間に至るまでの空間がN₂ガスでパージされ、このパージガスが回転テーブル2とカバー部材71との間の隙間から排気領域Eを介して排気口61、62に排気される。これによって既述の第1の処理領域91と第2の処理領域92との一方から回転テーブル2の下方を介して他方にTiCl₄ガスあるいはNH₃ガスの回り込みが防止されるため、このパージガスは分離ガスの役割も果たしている。

40

【0033】

また真空容器1の天板11の中心部には分離ガス供給管51が接続されていて、天板11とコア部21との間の空間52に分離ガスであるN₂ガスを供給するように構成されている。この空間52に供給された分離ガスは、前記突出部5と回転テーブル2との狭い隙間50を介して回転テーブル2のウエハ載置領域側の表面に沿って周縁に向けて吐出されることになる。この突出部5で囲まれる空間には分離ガスが満たされているので、第1の処理領域91と第2の処理領域92との間で回転テーブル2の中心部を介して反応ガス(

50

TiCl₄ガス及びNH₃ガス)が混合することを防止している。

【0034】

更に真空容器1の側壁には図2及び図3に示すように外部の搬送アーム10と回転テーブル2との間でウエハWの受け渡しを行うための搬送口15が形成されており、この搬送口15は図示しないゲートバルブにより開閉されるようになっている。また回転テーブル2におけるウエハ載置領域である凹部24はこの搬送口15に臨む位置にて搬送アーム10との間でウエハWの受け渡しが行われることから、回転テーブル2の下方側において当該受け渡し位置に対応する部位に、凹部24を貫通してウエハWを裏面から持ち上げるための受け渡し用の昇降ピン16の昇降機構(図示せず)が設けられる。

【0035】

また、この成膜装置は、既述の図1に示したように、装置全体の動作のコントロールを行うためのコンピュータからなる制御部80を備えており、制御部80は、図示しないCPU、メモリ、処理プログラム及びワークメモリを備えている。このメモリには、ウエハWに対して行う処理の種別毎に、ウエハWの加熱温度、各反応ガスの流量、真空容器1内の処理圧力及び回転テーブル2の回転数などのレシピ(処理条件)が記憶されており、ウエハWに対して反応ガスを供給して薄膜の成膜処理を行う時には、回転テーブル2の回転数は、薄膜を速やかに成膜すると共に、後述の実施例に示すように、薄膜の表面モフォロジーを良好にする(表面の面状態を平滑にする)ために、例えば100rpm~240rpmに設定される。前記処理プログラムは、ハードディスク、コンパクトディスク、光磁気ディスク、メモリカード、フレキシブルディスクなどの記憶媒体85から制御部80内

【0036】

次に、上述の第1の実施の形態の作用について、図7及び図8を参照して説明する。先ず、図示しないゲートバルブを開き、外部から搬送アーム10により搬送口15を介してウエハWを回転テーブル2の凹部24内に受け渡す。この受け渡しは、凹部24が搬送口15に臨む位置に停止したときに、凹部24の底面の貫通孔を介して真空容器1の底部側から昇降ピン16が昇降することにより行われる。このようなウエハWの受け渡しを回転テーブル2を間欠的に回転させて行い、回転テーブル2の5つの凹部24内に夫々ウエハWを載置する。続いて、ゲートバルブを閉じて圧力調整手段65の開度を全開にして真空容器1内を引き切りの状態にして、回転テーブル2を例えば100rpmで時計回りに回

【0037】

次いで、真空容器1内の圧力値が所定の値例えば1066.4Pa(8Torr)となるように圧力調整手段65の開度を調整する。また、第1の反応ガスノズル31から例えば100sccmでTiCl₄ガスを供給すると共に、第2の反応ガスノズル32から例えば5000sccmでNH₃ガスを供給する。更に、分離ガスノズル41、42からいずれも10000sccmでN₂ガスを供給すると共に、分離ガス供給管51及びパージガス供給管72、73からも所定の流量でN₂ガスを真空容器1内に供給する。

【0038】

そして、回転テーブル2の回転により、ウエハWが第1の処理領域91を通過すると、図7(a)に示すように、当該ウエハWの表面にはTiCl₄ガスが吸着する。この時、回転テーブル2を既述のように高速で回転させると共に反応ガスの流量や処理圧力を既述のように設定しているので、ウエハW上のTiCl₄の吸着膜151の膜厚t₁は、TiCl₄ガスの吸着量が飽和するまで例えばウエハWをTiCl₄ガスの雰囲気中に静置した時の飽和膜厚t₀よりも薄くなる。このようにTiCl₄ガスの吸着膜厚t₁を飽和膜厚t₀よりも薄く形成するにあたって、既述のように回転テーブル2の回転中心から外周側に向かって回転テーブル2と水平に第1の反応ガスノズル31をウエハWに近接させて設けると共に、吐出孔33を当該ガスノズル31の長さ方向に亘って等間隔に設けているこ

10

20

30

40

50

とから、更には各処理領域 9 1、9 2 間に分離領域 D を各々設けて真空容器 1 内におけるガス流の安定化を図っていることから、TiCl₄ガスがウエハ W 上に均一に供給されて、吸着膜 1 5 1 の膜厚がウエハ W の面内に亘って均一となる。

【0039】

次いで、このウエハ W が第 2 の処理領域 9 2 を通過すると、図 7 (b) に示すように、ウエハ W の表面の吸着膜 1 5 1 が窒化されて TiN 膜 1 5 2 の分子層が 1 層あるいは複数層生成する。この TiN 膜 1 5 2 は、結晶化に伴う原子や分子のマイグレーション (移動) によって、グレインサイズが大きくなろうと (粒成長しよう) とする。この粒成長が進行するにつれて TiN 膜 1 5 2 の表面モフォロジーが悪化して (表面状態が粗くなって) いくことになるが、既述のように回転テーブル 2 を高速で回転させているので、表面に TiN 膜 1 5 2 が形成されたウエハ W は、その後第 1 の処理領域 9 1 を直ぐに通過して、続いて第 2 の処理領域 9 2 に速やかに到達する。即ち、ウエハ W の表面への TiCl₄ガスの吸着と、この TiCl₄ガスの窒化処理と、からなる処理のサイクル間の時間 (TiN 膜 1 5 2 の結晶化が進行する時間) が極めて短く設定されていると言える。そのため、図 7 (c)、(d) に示すように、下層側の TiN 膜 1 5 2 の結晶化の進行する前に上層側に TiN 膜 1 5 3 が積層されることによって、下層側の TiN 膜 1 5 2 における原子や分子の移動が上層側の反応生成物である TiN 膜 1 5 3 によって阻害され、いわば下層側の TiN 膜 1 5 2 の表面状態 (粒成長) が上層側の TiN 膜 1 5 3 によって規制されていることになる。また、吸着膜 1 5 1 の膜厚 t_1 が既述のように薄く形成されているので、TiN 膜 1 5 2 において TiN 粒子の結晶化が起こったとしても、成長後のグレインサイズ (表面モフォロジーの悪化の度合い) が小さく抑えられる。従って、この下層側の TiN 膜 1 5 2 は、後述の実施例にて説明するように、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法やサイクル間の時間が長い従来の ALD (Atomic Layer Deposition) 法などにより成膜した場合と比較して、グレインサイズが極めて小さく、且つ表面状態が平滑となる。

10

20

【0040】

また、上層側の TiN 膜 1 5 3 は、続いて速やかにウエハ W が処理領域 9 1、9 2 を通過するので、同様に更に上層側に形成される TiN 膜によって原子や分子の移動が規制されることになる。こうしてウエハ W が第 1 の処理領域 9 1 と第 2 の処理領域 9 2 とをこの順番で交互に複数回通過することにより、既述のグレインサイズが極めて小さく表面が平滑な反応生成物が順次積層されて TiN 膜の薄膜が形成される。この薄膜は、既述のように回転テーブル 2 を高速で回転させていることから、例えば従来の ALD 法よりも速やかに成膜される。この時の成膜速度は、各反応ガスの供給量や真空容器 1 内の処理圧力などに応じて変化するが、一例を挙げると例えば 5 . 4 7 nm / min 程度となる。

30

【0041】

この時、分離領域 D において N₂ガスを供給し、また中心部領域 C においても分離ガスである N₂ガスを供給しているため、既述のように回転テーブル 2 を高速で回転させている場合であっても、図 8 に示すように、TiCl₄ガスと NH₃ガスとが混合しないように各ガスが排気されることとなる。また、分離領域 D においては、屈曲部 4 6 と回転テーブル 2 の外端面との間の隙間が既述のように狭くなっているため、TiCl₄ガスと NH₃ガスとは、回転テーブル 2 の外側を介しても混合しない。従って、第 1 の処理領域 9 1 の雰囲気と第 2 の処理領域 9 2 の雰囲気とが完全に分離され、TiCl₄ガスは排気口 6 1 に、また NH₃ガスは排気口 6 2 に夫々排気される。この結果、TiCl₄ガス及び NH₃ガスが雰囲気中においてもウエハ W 上においても混じり合うことがない。また、回転テーブル 2 の下方側を N₂ガスによりパージしているため、排気領域 E に流入したガスが回転テーブル 2 の下方側を潜り抜けて、例えば TiCl₄ガスが NH₃ガスの供給領域に流れ込むといったおそれは全くない。こうして成膜処理が終了すると、ガスの供給を停止して真空容器 1 内を真空排気し、その後回転テーブル 2 の回転を停止して各ウエハ W を搬入時と逆の動作によって順次搬送アーム 1 0 により搬出する。

40

ここで処理パラメータの一例について記載しておく、真空容器 1 の中心部の分離ガス

50

供給管 5 1 からの N₂ ガスの流量は例えば 5 0 0 0 s c c m である。また 1 枚のウエハ W に対する反応ガス供給のサイクル数、即ちウエハ W が処理領域 9 1、9 2 の各々を通過する回数は目標膜厚に応じて変わるが、多数回例えば 6 0 0 回である。

【 0 0 4 2 】

上述の実施の形態によれば、真空容器 1 内の回転テーブル 2 上にウエハ W を載置して、このウエハ W に対して反応ガスを供給して真空雰囲気下においてチタンナイトライド膜の成膜を行うにあたり、薄膜の成膜処理を行う時に、回転テーブル 2 と各ガスノズル 3 1、3 2、4 1、4 2 とを 1 0 0 r p m 以上で相対的に真空容器 1 の周方向に回転させるようにしている。そのため、反応ガスの供給サイクル（反応生成物の成膜サイクル）を高速で行うことができるので、薄膜を速やかに形成することができ、スループットを高めることができる。また、サイクル間の時間が極めて短いので、基板の表面に生成した反応生成物の結晶化による粒子径の粗大化が進行する前に次の反応生成物の層を上層側に積層して、いわば上層側の反応生成物により下層側の反応生成物における原子や分子のマイグレーション（移動）を規制することができるため、結果として表面形状を悪化させるマイグレーションを抑制することができ、従って従来の C V D 法やサイクル間の時間が長い A L D 法によって成膜した薄膜よりも表面形状が平滑な薄膜を得ることができる。

10

【 0 0 4 3 】

そのため、この T i N 膜を次世代キャパシター電極例えば Z r O（酸化ジルコニウム）、T i O（酸化チタン）、T a O（酸化タンタル）などのバリア膜として用いた場合には、当該電極における電荷の集中を抑制し、良好な電気的特性を得ることができる。また、半導体装置の多層構造において、上層側の配線層と下層側の配線層との間の層間絶縁膜にこれら配線層同士を接続するアルミニウムなどの金属層を埋め込むためのコンタクトホールなどの凹部に、層間絶縁膜への金属層の拡散を防止するためのバリア膜としてこの T i N 膜を用いる時には、このコンタクトホールのアスペクト比が 5 0 程度まで大きい場合であっても、同様に表面が平滑で被覆性の高い薄膜を速やかに得ることができる。

20

【 0 0 4 4 】

また、ウエハ W 上に吸着させる吸着膜 1 5 1 の膜厚 t_1 について、飽和膜厚 t_0 よりも薄くしているため、T i N 粒子の結晶化が起こったとしても成長するグレインのサイズを極めて小さく抑えることができる。即ち、本発明では回転テーブル 2 を高速で回転させることにより、吸着膜 1 5 1 の膜厚 t_1 を薄く（グレインサイズを小さく）制御していると言える。

30

【 0 0 4 5 】

一方、回転テーブル 2 の回転数を低速例えば 3 0 r p m 以下に設定して T i N 膜 1 5 2 の成膜処理を行った場合には、図 9（a）に示すように、例えば吸着膜 1 5 1 の膜厚 t_2 がほぼ飽和膜厚 t_0 と等しくなり、薄膜の表面モフォロジーが悪化することになる。つまり、同図（b）に示すように、この吸着膜 1 5 1 の形成されたウエハ W に対して N H₃ ガスを供給して T i N 膜 1 5 2 が生成すると、T i C l₄ の吸着膜 1 5 1 の形成とこの吸着膜 1 5 1 の窒化とからなる処理サイクル間の時間が長く取られることになるので、同図（c）に示すように、T i N 膜 1 5 2 の上層に次の T i N 膜 1 5 3 が形成されるまでの間に、当該 T i N 膜 1 5 2 中において T i N 粒子の結晶化が進行することによって原子や分子のマイグレーション（移動）が起こり、表面モフォロジーが悪化してしまう。この時、吸着膜 1 5 1 の膜厚 t_2 が既述の膜厚 t_1 よりも厚くなっていることから、結晶化によって成長する粒子のサイズ（表面状態の悪化）もこの膜厚 t_2 に応じて大きくなる場合がある。

40

【 0 0 4 6 】

そのため、この表面状態の荒れた T i N 膜 1 5 2 の表面に T i C l₄ ガスが供給されると、図 9（d）に示すように、上層側の吸着膜 1 5 1 は下層側の T i N 膜 1 5 2 の表面に倣って形成されるので、当該吸着膜 1 5 1 の表面についても同様に荒れた状態となる。その後、この上層側の吸着膜 1 5 1 に N H₃ ガスが供給されると、同様に上層側の T i N 膜 1 5 3 についても結晶化が進行するので、表面がより一層荒れてしまう。こうして順次積

50

層するTiN膜の各々について結晶化が進行することにより、得られる薄膜の表面は極めて凹凸の大きな状態となってしまう。従って、回転テーブル2の回転数をこのように低速に設定して成膜処理を行った場合には、表面モフォロジーを制御することは極めて困難である。また、回転テーブル2の回転数を遅く設定すると、成膜速度についても遅くなってしまう。

【0047】

以上のことから、本発明では、回転テーブル2の回転数を高速に設定してTiN膜の成膜を行うことにより、表面モフォロジーの良好なTiN膜を速やかに成膜できることが分かる。ここで、本発明の成膜装置では、回転テーブル2上のウエハWに対向させて各反応ガスノズル31、32を設けていることから、例えば反応ガスの流量を多くすることにより、あるいは処理圧力を高く設定することにより、ウエハW上に吸着する反応ガスの吸着量が飽和するようにしても良い。この場合においても、回転テーブル2を高速で回転させているので、TiN膜152の結晶化が進行する前に続く上層側のTiN膜153を成膜することができ、良好な表面モフォロジーの薄膜を得ることができるし、また各反応サイクルにおける膜厚を稼ぐことができるので、スループットを更に高めることができる。このように反応ガスの供給量を増やしたり処理圧力を高めたりした場合であっても、各反応ガスは同様に個別に排気される。

10

【0048】

既述の第1の反応ガスとしては、上述の例の他に、Tiを含むガス例えばTDMAT(テトラキスジメチルアミノチタン)ガスなどを用いても良いし、第2の反応ガスとしては、NH₃ガスをラジカル化させて用いても良い。また、回転テーブル2の回転数としては、高すぎると例えば薄膜の被覆性が低くなるので、例えば240rpm以下であることが好ましい。即ち、後述の実施例においてTiN膜を成膜する実験を行った時には、回転テーブル2の回転数が240rpmでも良好な被覆性となっていたため、少なくとも240rpm以下であれば良好な被覆性が得られると言える。

20

【0049】

[第2の実施の形態]

第1の実施の形態では、TiCl₄ガスの吸着膜151の形成と、この吸着膜151の窒化によるTiN膜152の形成と、からなる成膜サイクルを複数回繰り返して薄膜を成膜するようにしたが、例えばTiN膜152に不純物が含まれている場合などには、成膜サイクルの間にTiN膜152に対してプラズマ処理を行うようにしても良い。このようにプラズマ処理を行う場合の成膜装置の一例について、第2の実施の形態として図10～図12を参照して以下に説明する。

30

【0050】

この例では、例えば搬送口15よりも回転テーブル2の回転方向上流側に既述の第2の反応ガスノズル32が設けられており、第2の反応ガスノズル32と当該第2の反応ガスノズル32における回転テーブル2の回転方向下流側の分離領域Dとの間には、ウエハWに対してプラズマ処理を行うための活性化ガスインジェクター220が設けられている。この活性化ガスインジェクター220は、回転テーブル2の外周側から回転中心側に向かって当該回転テーブル2に対して水平に伸びるガス導入ノズル34及び一对のシース管(図示せず)と、これらガス導入ノズル34及び一对のシース管が配置される領域を長さ方向に亘って上方側から覆うように設けられ、既述のノズルカバー120と同様に構成された例えば石英からなるカパー体221と、を備えている。図中222は、既述の整流部材121と同様の寸法に設定された気流規制面222であり、223は、真空容器1の天板11からカパー体221を吊り下げるために当該カパー体221の長さ方向に沿って設けられた支持体である。尚、図10中37は、シース管の基端部(真空容器1の内壁側)に接続された保護管である。

40

【0051】

真空容器1の外部には、高周波電源180が設けられており、整流器181を介してシース管内に埋設された図示しない電極に対して例えば13.56MHz、例えば1500

50

W以下の高周波電力を供給できるように構成されている。ガス導入ノズル34は、側方側に長さ方向に沿って複数箇所に形成されたガス孔341を介して、プラズマ発生用の処理ガス例えばNH₃ガス及びH₂ガスの少なくとも一方が真空容器1の外部からシース管に向かって水平に吐出されるように構成されている。

【0052】

この第2の実施の形態において成膜処理を行う場合には、各ガスノズル31、32、41、42から各ガスを真空容器1内に供給すると共に、ガス導入ノズル34からプラズマ生成用の処理ガス例えばNH₃ガスを所定の流量例えば5000sccmで真空容器1に供給する。また、図示しない高周波電源から電極36a、36bに対して所定の値の電力例えば400Wの高周波を供給する。

10

【0053】

活性化ガスインジェクター220では、ガス導入ノズル34からシース管35a、35bに向かって吐出されたNH₃ガスは、これらのシース管35a、35b間に供給される高周波によって活性化されてイオンなどの活性種となり、この活性種(プラズマ)が下方に向かって吐出される。図13(a)、(b)に示すように、表面に吸着膜151が形成され、続いてこの吸着膜151が窒化されてTiN膜152の成膜されたウエハWは、活性化ガスインジェクター220の下方領域に到達すると、同図(c)に示すようにプラズマに曝されて、例えば表面のTiN膜152にCl(塩素)などの不純物が含まれている場合には、この不純物が膜中から排出されていく。そして、既述の第1の実施の形態と同様に、同図(d)に示すように、その後当該TiN膜152の上層側に次のTiN膜153が速やかに積層されて、下層側のTiN膜152における原子や分子の移動が規制される。こうして吸着膜151の生成と、この吸着膜151の窒化によるTiN膜152の生成と、プラズマによる不純物の低減(除去)と、をこの順序で複数回繰り返すことにより、不純物の極めて少なく、且つ表面が平滑な薄膜が速やかに成膜される。

20

【0054】

この第2の実施の形態によれば、既述の第1の実施の形態の効果に加えて、以下の効果がある。即ち、ウエハWに対してプラズマ処理を行うことにより薄膜中の不純物の量を低減できるので、電気的特性を向上させることができる。また、真空容器1の内部において成膜サイクルを行う度に改質処理を行っているので、いわば回転テーブル2の周方向においてウエハWが各処理領域91、92を通過する経路の途中において成膜処理に干渉しないように改質処理を行っているので、例えば薄膜の成膜が完了した後で改質処理を行うよりも短時間で改質処理を行うことができる。

30

また、既述の例においては、ガス供給系(ノズル31、32、41、42)に対して回転テーブル2を回転させるようにしたが、回転テーブル2に対してガス供給系を周方向に回転させる構成としても良い。

【実施例】

【0055】

続いて、本発明の効果を確認するために行った実験について説明する。

(実験例1)

まず、回転テーブル2の回転数を以下に示すように種々変えてTiN膜の成膜を行い、得られたTiN膜の表面をSEM(電子顕微鏡)を用いて観察した。尚、その他の成膜条件例えば反応ガスの供給量や処理圧力などについては、各実験例において同じ条件としたため、説明を省略する。また、ウエハWの加熱温度としては250以上例えば400とした。

40

(回転テーブル2の回転数: rpm)

比較例1: 30

実施例1: 100、240

【0056】

(実験結果)

その結果、図14に得られたSEM写真を示すように、比較例1では表面状態が粗く、

50

従来のCVD法やSFD法を用いて成膜した面状態に近くなっていた。既述のように、TiNは250以上で結晶化するため、この実験における加熱温度において特にTiN粒子の結晶化を妨げない場合には、このようにTiN粒子の結晶化に起因する凹凸が膜表面に現れると考えられる。

一方、実施例1に示すように、回転テーブル2の回転数を高くして100rpmとした場合には、TiN膜の表面モフォロジーが向上し、更に240rpmでは極めて表面が平滑になることが分かった。従って、回転テーブル2を高速で回転させることによって、既述のように成膜サイクル間の時間が短くなり、上層側のTiN膜により下層側のTiN膜の結晶化を抑制できることが分かった。

【0057】

10

(実験例2)

次いで、実験例1と同じ条件にて成膜した各サンプルについて、AFM(原子間力顕微鏡)を用いてTiN膜の表面粗さを測定した。尚、測定長としては10nmとした。

その結果、図15に示すように、回転テーブル2の回転数が30rpmの場合には表面粗さが2nm程度となっていたが、100rpm以上では0.5nm程度もの小さい値となっていた。

【符号の説明】

【0058】

D 分離領域

E 排気領域

1 真空容器

W ウエハ

31、32 反応ガスノズル

41、42 分離ガスノズル

61、62 排気口

91、92 処理領域

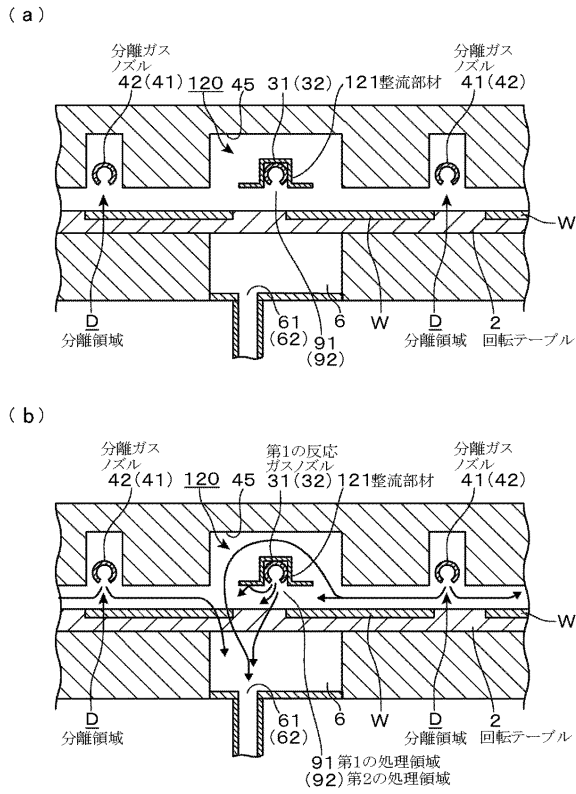
151 吸着膜

152 TiN膜

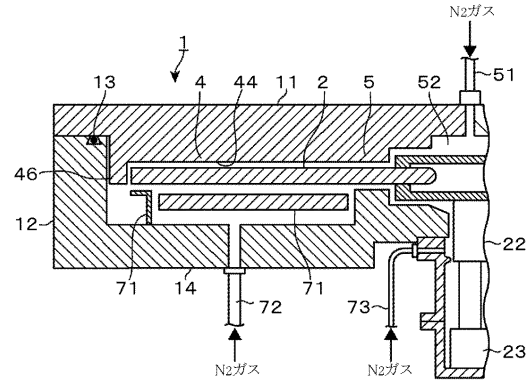
153 TiN膜

20

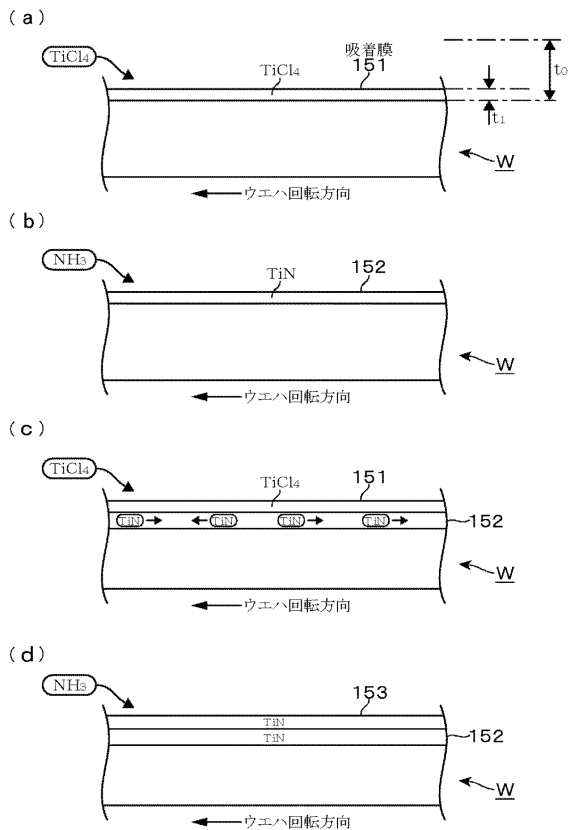
【 図 5 】



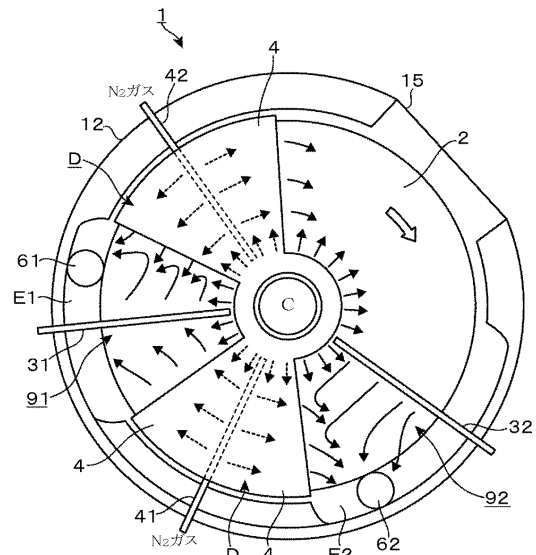
【 図 6 】



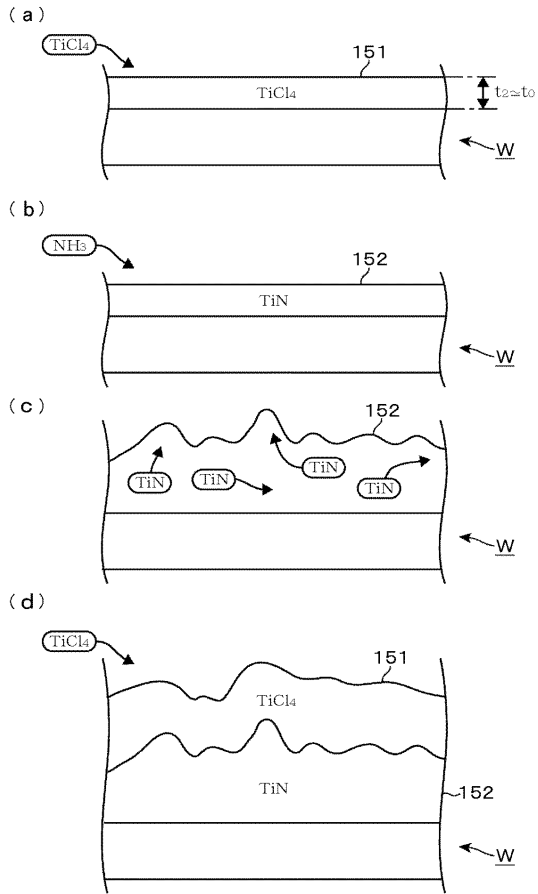
【 図 7 】



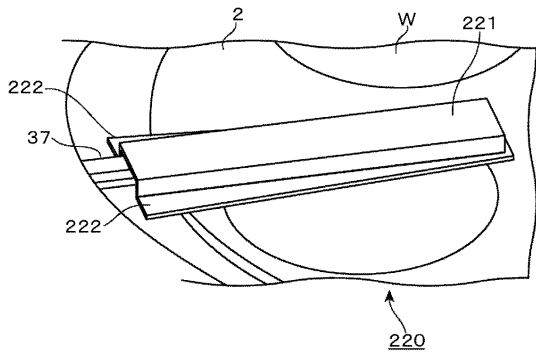
【 図 8 】



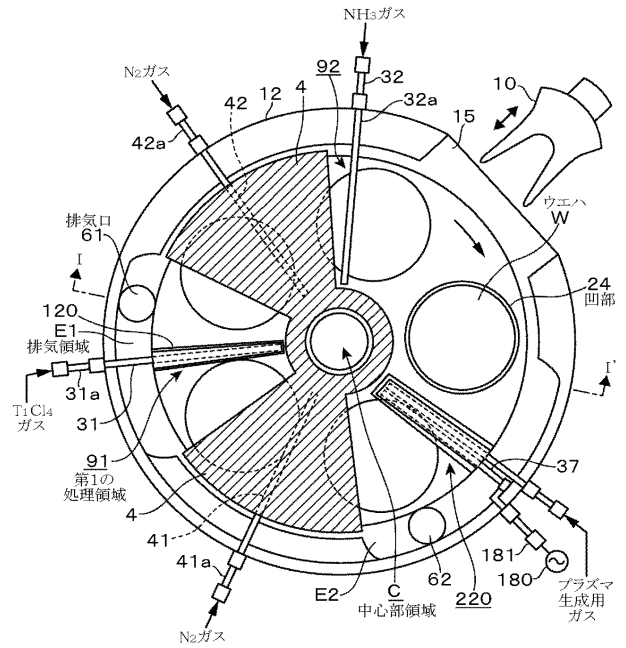
【図9】



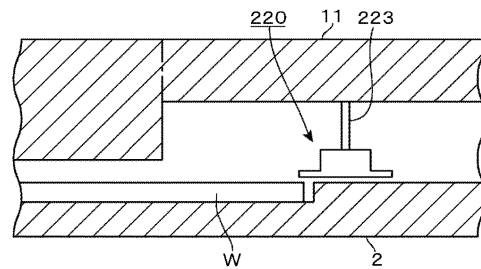
【図11】



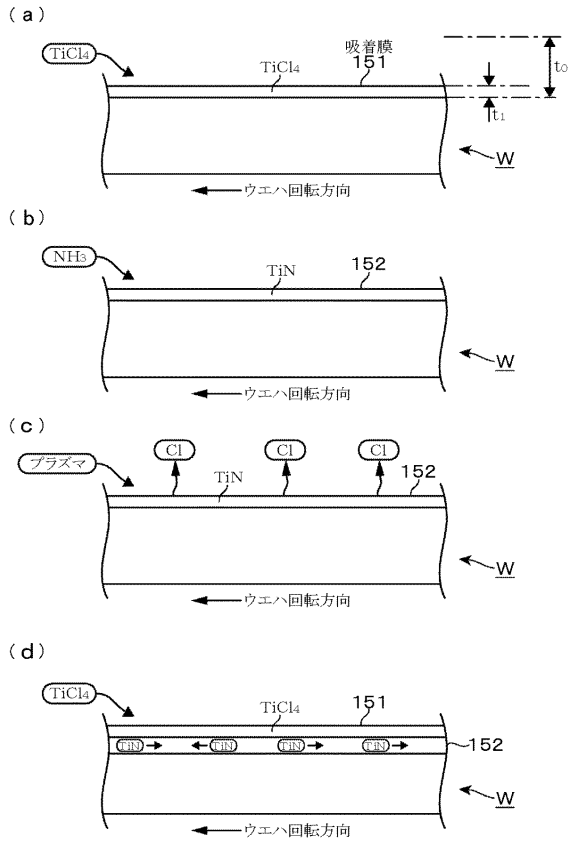
【図10】



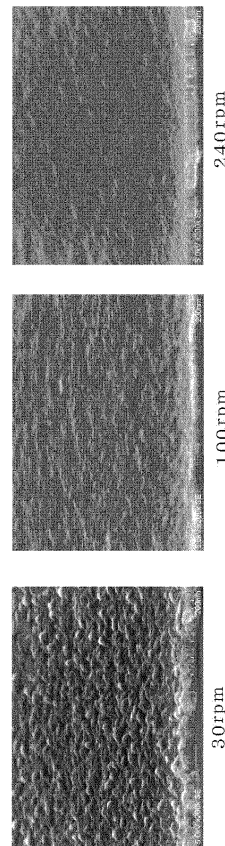
【図12】



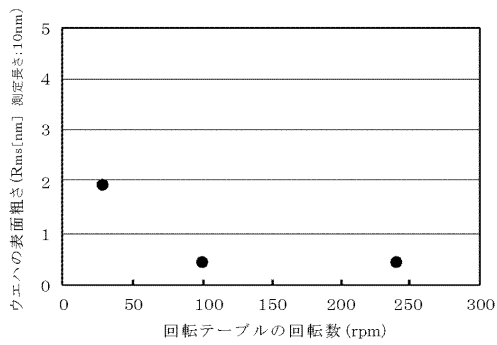
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 尾谷 宗之
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 熊谷 武司
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 成嶋 健索
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 西森 崇
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- Fターム(参考) 4K030 AA03 AA13 AA18 BA18 BA38 CA04 CA12 EA03 EA06 FA01
FA10 GA06 HA01 JA12 KA02 LA15
4M104 BB30 DD44 DD45 DD49 DD81 HH12