

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6584347号
(P6584347)

(45) 発行日 令和1年10月2日(2019.10.2)

(24) 登録日 令和1年9月13日(2019.9.13)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/318 (2006.01)	HO 1 L 21/318 B
HO 1 L 21/31 (2006.01)	HO 1 L 21/31 C
C 2 3 C 16/455 (2006.01)	C 2 3 C 16/455
C 2 3 C 16/42 (2006.01)	C 2 3 C 16/42
C 2 3 C 16/56 (2006.01)	C 2 3 C 16/56

請求項の数 8 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2016-40217 (P2016-40217)	(73) 特許権者	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28年3月2日(2016.3.2)	(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(65) 公開番号	特開2017-157715 (P2017-157715A)	(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(43) 公開日	平成29年9月7日(2017.9.7)	(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
審査請求日	平成30年8月9日(2018.8.9)	(72) 発明者	村田 昌弘 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】 成膜方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板の表面に Si 含有ガスを供給し、前記基板の前記表面に前記 Si 含有ガスを吸着させる工程と、

前記基板の表面にパージガスを供給する工程と、

前記基板の前記表面に窒化ガスを第1のプラズマにより活性化して供給し、前記基板の前記表面上に吸着した前記 Si 含有ガスを窒化し、SiN膜を堆積させる工程と、

前記基板の前記表面に NH₃ 及び N₂ を N₂ が NH₃ の3倍以上の比率で含む改質ガスを第2のプラズマにより活性化して供給し、前記基板の前記表面上に堆積した前記 SiN膜を改質する工程と、

前記基板の表面にパージガスを供給する工程と、を有し、

前記基板は、処理室内に設けられた回転テーブルの表面上に周方向に沿って載置され、

前記処理室内の前記回転テーブルの上方には、前記回転テーブルの回転方向に沿って順に配置された Si 含有ガス供給領域、第1のパージガス供給領域、窒化ガス供給領域、改質ガス供給領域及び第2のパージガス供給領域が設けられ、

前記回転テーブルを1回転させることにより、前記基板が前記 Si 含有ガス供給領域、前記第1のパージガス供給領域、前記窒化ガス供給領域、前記改質ガス供給領域及び前記第2のパージガス供給領域を通過することにより、前記 Si 含有ガスを吸着させる工程、前記パージガスを供給する工程、前記 SiN膜を堆積させる工程、前記 SiN膜を改質する工程及び前記パージガスを供給する工程を1サイクル行い、前記回転テーブルを連続的

に複数回回転させることにより、前記1サイクルを複数回繰り返す成膜方法。

【請求項2】

前記窒化ガスは、 NH_3 含有ガスである請求項1に記載の成膜方法。

【請求項3】

前記窒化ガスは、 N_2 を含まないガスである請求項2に記載の成膜方法。

【請求項4】

前記窒化ガスは、更にAr及び H_2 を含む請求項2又は3に記載の成膜方法。

【請求項5】

前記改質ガスは、更にArを含む請求項1乃至4のいずれか一項に記載の成膜方法。

【請求項6】

前記第2のプラズマは、前記第1のプラズマよりも前記基板の前記表面に近い位置で発生させられる請求項1乃至5のいずれか一項に記載の成膜方法。

【請求項7】

前記Si含有ガスを吸着させる工程、前記SiN膜を堆積させる工程及び前記SiN膜を改質する工程を順次繰り返し、前記基板の前記表面上に前記SiN膜を所定の膜厚まで堆積させる請求項1乃至6のいずれか一項に記載の成膜方法。

【請求項8】

前記窒化ガス供給領域の上方の前記処理室の外部には第1のプラズマ発生器が設けられ、
前記改質ガス供給領域の上方の前記処理室の外部には第2のプラズマ発生器が設けられ、
前記第2のプラズマ発生器は、前記第1のプラズマ発生器よりも低い位置に設けられている請求項1乃至7のいずれか一項に記載の成膜方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、成膜方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、ALD (Atomic Layer Deposition、原子層堆積法)を用いた成膜方法において、2個のプラズマ発生手段を搭載した成膜装置を用いて成膜を行う成膜方法が知られている(例えば、特許文献1参照)。

【0003】

かかる特許文献1に記載の成膜装置は、真空容器内に回転テーブルを有し、回転テーブル上に基板を載置可能に構成されている。そして、成膜装置は、基板の表面に第1の処理ガスを供給する第1の処理ガス供給手段と、第1のプラズマ処理用ガスを供給する第1のプラズマ処理用ガス供給手段と、第2のプラズマ処理用ガスを供給する第2のプラズマ処理用ガス供給手段とを備える。更に、成膜装置は、第1のプラズマ処理用ガスをプラズマ化する第1のプラズマ発生手段と、第2のプラズマ処理用ガスをプラズマ化する第2のプラズマ発生手段とを備え、第2のプラズマ発生手段と回転テーブルとの距離は、第1のプラズマ発生手段と回転テーブルとの距離よりも短く設定されている。これにより、第2のプラズマ処理用ガスのイオンエネルギー及びラジカル濃度を、第1のプラズマ処理用ガスのイオンエネルギー及びラジカル濃度より高くすることができる。

【0004】

かかる構造を有する成膜装置を用いて、第1の処理ガス供給手段からシリコン含有ガス、第1のプラズマ処理用ガス供給手段から NH_3 、第2のプラズマ処理用ガス供給手段から $\text{NH}_3/\text{Ar}/\text{H}_2$ の混合ガスを供給することにより、基板に吸着したシリコン含有ガスをイオンエネルギー及びラジカル濃度が低い NH_3 により窒化し、次いでイオンエネルギー及びラジカル濃度が低い $\text{NH}_3/\text{Ar}/\text{H}_2$ の混合ガスで改質処理を行うことができ、パターンの表面積に依存して面内成膜量に変化する所謂ローディング効果を抑制するこ

10

20

30

40

50

とができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2015-165549号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上述の特許文献1に記載の成膜方法を用いた場合であっても、回転テーブルの半径方向における基板の端部の成膜が不十分な場合があり、更なる面内均一性の向上が求められる場合がある。

10

【0007】

そこで、本発明は、面内均一性を高めることができる成膜方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するため、本発明の一態様に係る成膜方法は、基板の表面にSi含有ガスを供給し、前記基板の前記表面に前記Si含有ガスを吸着させる工程と、

前記基板の表面にパージガスを供給する工程と、

前記基板の前記表面に窒化ガスを第1のプラズマにより活性化して供給し、前記基板の前記表面上に吸着した前記Si含有ガスを窒化し、SiN膜を堆積させる工程と、

20

前記基板の前記表面にNH₃及びN₂をN₂がNH₃の3倍以上の比率で含む改質ガスを第2のプラズマにより活性化して供給し、前記基板の前記表面上に堆積した前記SiN膜を改質する工程と、

前記基板の表面にパージガスを供給する工程と、を有し、

前記基板は、処理室内に設けられた回転テーブルの表面上に周方向に沿って載置され、前記処理室内の前記回転テーブルの上方には、前記回転テーブルの回転方向に沿って順に配置されたSi含有ガス供給領域、第1のパージガス供給領域、窒化ガス供給領域、改質ガス供給領域及び第2のパージガス供給領域が設けられ、

前記回転テーブルを1回転させることにより、前記基板が前記Si含有ガス供給領域、前記第1のパージガス供給領域、前記窒化ガス供給領域、前記改質ガス供給領域及び前記第2のパージガス供給領域を通過することにより、前記Si含有ガスを吸着させる工程、前記パージガスを供給する工程、前記SiN膜を堆積させる工程、前記SiN膜を改質する工程及び前記パージガスを供給する工程を1サイクル行い、前記回転テーブルを連続的に複数回回転させることにより、前記1サイクルを複数回繰り返す。

30

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、面内均一性の高い成膜を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

40

【図1】本発明の実施形態に係る成膜方法を実施する成膜装置の一例の概略縦断面図である。

【図2】図1の成膜装置の概略平面図である。

【図3】図1の成膜装置の回転テーブルの同心円に沿った断面図である。

【図4】プラズマ発生部の一例を示す縦断面図である。

【図5】図1の成膜装置のプラズマ発生部の一例を示す分解斜視図である。

【図6】図1の成膜装置のプラズマ発生部に設けられる筐体の一例を示す斜視図である。

【図7】図1の成膜装置のプラズマ発生部の一例を示す平面図である。

【図8】プラズマ発生部に設けられるファラデーシールドの一部を示す斜視図である。

【図9】回転テーブルの回転方向に略平行なウエハの中心を通る横軸上における比較例、

50

実施例 1 ~ 5 及び参考例に係る成膜方法の実施結果を示した図である。

【図 1 0】回転テーブルの半径方向に平行なウエハの中心を通る縦軸上における比較例、実施例 1 ~ 5 及び参考例に係る成膜方法の実施結果を示した図である。

【図 1 1】比較例、実施例 1 ~ 6 及び参考例に係る成膜方法の成膜結果を面内均一性の観点から示した図である。

【図 1 2】比較例、実施例 1 ~ 6 及び参考例のウエハ上に成膜された SiN 膜の均一性の算出結果を示す。

【図 1 3】実施例 4 と比較例の X 軸上における膜厚分布を示した実施結果である。

【図 1 4】実施例 4 と比較例の Y 軸上における膜厚分布を示した実施結果である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、図面を参照して、本発明を実施するための形態の説明を行う。

【0012】

〔成膜装置の構成〕

図 1 に、本発明の実施形態に係る成膜方法を実施する成膜装置の一例の概略縦断面図を示す。また、図 2 に、本発明の実施形態に係る成膜方法を実施する成膜装置の一例の概略平面図を示す。なお、図 2 では、説明の便宜上、天板 11 の描画を省略している。

【0013】

図 1 に示すように、本発明の実施形態に係る成膜方法を実施する成膜装置は、平面形状が概ね円形である真空容器 1 と、この真空容器 1 内に設けられ、真空容器 1 の中心に回転中心を有すると共にウエハ W を公転させるための回転テーブル 2 と、を備えている。

【0014】

真空容器 1 は、内部で基板を処理するための処理室である。真空容器 1 は、回転テーブル 2 の後述する凹部 24 に対向する位置に設けられた天板（天井部）11 と、容器本体 12 とを備えている。また、容器本体 12 の上面の周縁部には、リング状に設けられたシール部材 13 が設けられている。そして、天板 11 は、容器本体 12 から着脱可能に構成されている。平面視における真空容器 1 の直径寸法（内径寸法）は、限定されないが、例えば 1100 mm 程度とすることができる。

【0015】

真空容器 1 内の上面側における中央部には、真空容器 1 内の中心部領域 C において互いに異なる処理ガス同士が混ざり合うことを抑制するために分離ガスを供給する、分離ガス供給管 51 が接続されている。

【0016】

回転テーブル 2 は、中心部にて概略円筒形状のコア部 21 に固定されており、このコア部 21 の下面に接続されると共に鉛直方向に伸びる回転軸 22 に対して、鉛直軸周り、図 2 に示す例では時計回りに、駆動部 23 によって回転自在に構成されている。回転テーブル 2 の直径寸法は、限定されないが、例えば 1000 mm 程度とすることができる。

【0017】

回転軸 22 及び駆動部 23 は、ケース体 20 に収納されており、このケース体 20 は、上面側のフランジ部分が真空容器 1 の底面部 14 の下面に気密に取り付けられている。また、このケース体 20 には、回転テーブル 2 の下方領域に窒素ガス等をパージガス（分離ガス）として供給するためのパージガス供給管 72 が接続されている。

【0018】

真空容器 1 の底面部 14 におけるコア部 21 の外周側は、回転テーブル 2 に下方側から近接するようにリング状に形成されて突出部 12a を為している。

【0019】

回転テーブル 2 の表面部には、直径寸法が例えば 300 mm のウエハ W を載置するための円形状の凹部 24 が基板載置領域として形成されている。この凹部 24 は、回転テーブル 2 の回転方向に沿って、複数箇所、例えば 5 箇所に設けられている。凹部 24 は、ウエハ W の直径よりも僅かに、具体的には 1 mm 乃至 4 mm 程度大きい内径を有する。また、

10

20

30

40

50

凹部 2 4 の深さは、ウエハ W の厚さにほぼ等しいか、又はウエハ W の厚さよりも大きく構成される。したがって、ウエハ W が凹部 2 4 に收容されると、ウエハ W の表面と、回転テーブル 2 のウエハ W が載置されない領域の表面とが同じ高さになるか、ウエハ W の表面が回転テーブル 2 の表面よりも低くなる。なお、凹部 2 4 の深さは、ウエハ W の厚さよりも深い場合であっても、あまり深くすると成膜に影響が出ることがあるので、ウエハ W の厚さの 3 倍程度の深さまでとすることが好ましい。

【 0 0 2 0 】

なお、ウエハ W の表面には、トレンチ、ビア等の窪みパターンが形成されている。本発明の実施形態に係る成膜方法は、窪みパターン内に埋め込み成膜を行うのに適した方法であるので、表面に窪みパターンが形成されてウエハ W の埋め込み成膜に好適に適用され得る。

10

【 0 0 2 1 】

凹部 2 4 の底面には、ウエハ W を下方側から突き上げて昇降させるための例えば後述する 3 本の昇降ピンが貫通する、図示しない貫通孔が形成されている。

【 0 0 2 2 】

図 2 に示すように、回転テーブル 2 における凹部 2 4 の通過領域と対向する位置には、例えば石英からなる複数本、例えば 5 本のノズル 3 1、3 2、3 3、4 1、4 2 が真空容器 1 の周方向に互いに間隔をおいて放射状に配置されている。これら各々のノズル 3 1、3 2、3 3、4 1、4 2 は、回転テーブル 2 と天板 1 1 との間に配置される。また、これら各々のノズル 3 1、3 2、3 3、4 1、4 2 は、例えば真空容器 1 の外周壁から中心部領域 C に向かってウエハ W に対向して水平に伸びるように取り付けられている。

20

【 0 0 2 3 】

図 2 に示す例では、原料ガスノズル 3 1 から時計回り（回転テーブル 2 の回転方向）に、分離ガスノズル 4 2、第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2、第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3、分離ガスノズル 4 1 がこの順番で配列されている。しかしながら、本実施形態に係る成膜装置は、この形態に限定されず、回転テーブル 2 の回転方向は反時計回りであっても良く、この場合、原料ガスノズル 3 1 から反時計回りに、分離ガスノズル 4 2、第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2、第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3、分離ガスノズル 4 1 がこの順番で配列されている。

【 0 0 2 4 】

第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2、第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3 の上方側には、図 2 に示すように、各々のプラズマ処理用ガスノズルから吐出されるガスをプラズマ化するために、プラズマ発生器 8 1 a、8 1 b が各々設けられている。これらプラズマ発生器 8 1 a、8 1 b については、後述する。

30

【 0 0 2 5 】

なお、本実施形態においては、各々の処理領域に 1 つのノズルを配置する例を示したが、各々の処理領域に複数のノズルを配置する構成であっても良い。例えば、第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2 は、複数のプラズマ処理用ガスノズルから構成され、各々、後述するアルゴン (Ar) ガス、アンモニア (NH₃) ガス、水素 (H₂) ガス等を供給する構成であっても良いし、1 つのプラズマ処理用ガスノズルのみを配置し、アルゴンガス、アンモニアガス及び水素ガスの混合ガスを供給する構成であっても良い。

40

【 0 0 2 6 】

原料ガスノズル 3 1 は、原料ガス供給部をなしている。また、第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2 は、第 1 のプラズマ処理用ガス供給部をなしており、第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3 は、第 2 のプラズマ処理用ガス供給部をなしている。さらに、分離ガスノズル 4 1、4 2 は、各々分離ガス供給部をなしている。なお、分離ガスは、上述のように、パージガスと呼んでもよい。

【 0 0 2 7 】

各ノズル 3 1、3 2、3 3、4 1、4 2 は、流量調整バルブを介して、図示しない各々のガス供給源に接続されている。

50

【 0 0 2 8 】

原料ガスノズル 3 1 から供給される原料ガスは、シリコン含有ガスである。シリコン含有ガスの一例としては、DCS [ジクロロシラン]、ジシラン (Si_2H_6)、HCD [ヘキサクロロジシラン]、DIPAS [ジイソプロピルアミノシラン]、3DMAS [トリシメチルアミノシラン]、BTBAS [ビスターシャルブチルアミノシラン]等のガスが挙げられる。

【 0 0 2 9 】

原料ガスノズル 3 1 から供給される原料ガスとして、シリコン含有ガスの他、 TiCl_4 [四塩化チタン]、 $\text{Ti}(\text{MPD})(\text{THD})$ [チタニウムメチルペンタンジオナトビステトラメチルヘプタンジオナト]、TMA [トリメチルアルミニウム]、TEMAZ [テトラキスエチルメチルアミノジルコニウム]、TEMHF [テトラキスエチルメチルアミノハフニウム]、 $\text{Sr}(\text{THD})_2$ [ストロンチウムビステトラメチルヘプタンジオナト]等の金属含有ガスを使用しても良い。

10

【 0 0 3 0 】

第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2 から供給される第 1 のプラズマ処理用ガスは、窒化ガスとして、アンモニア (NH_3) 含有ガスが選択される。 NH_3 を用いることにより、窪みパターンを含むウエハ W の表面上に窒化源である NH_2^* を供給し、シリコン含有ガスを窒化して SiN の分子層を堆積させることができる。なお、 NH_3 以外のガスとしては、 H_2 ガス、Ar 等を必要に応じて含んでよく、これらの混合ガスが第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2 から供給され、第 1 のプラズマ発生器 8 1 a が発生するプラズマにより活性化 (イオン化又はラジカル化) される。

20

【 0 0 3 1 】

第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3 から供給される第 2 のプラズマ処理用ガスは、 NH_3 の窒化力を高めるため、 NH_3 と N_2 の双方を含有する NH_3/N_2 含有ガスが選択される。 NH_3 に N_2 を添加することにより、 NH^* 及び NH_2^* の双方を発生させることができ、窒化力を向上させることができる。なお、このメカニズムの詳細については、後述する。

【 0 0 3 2 】

NH_3/N_2 含有ガスは、 NH_3/N_2 以外のガスとしては、Ar ガス、 H_2 ガス等を必要に応じて含んでよく、これらの混合ガスが第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3 から第 2 のプラズマ処理用ガスとして供給されてもよい。

30

【 0 0 3 3 】

このように、第 1 のプラズマ処理用ガスと第 2 のプラズマ処理用ガスは、組成比も含めた全体としては、異なるガスが選択される。

【 0 0 3 4 】

分離ガスノズル 4 1、4 2 から供給される分離ガスとしては、例えば窒素 (N_2) ガス等が挙げられる。

【 0 0 3 5 】

前述したように、図 2 に示す例では、原料ガスノズル 3 1 から時計回り (回転テーブル 2 の回転方向) に、分離ガスノズル 4 2、第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2、第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3、分離ガスノズル 4 1 がこの順番で配列されている。即ち、ウエハ W の実際の処理においては、原料ガスノズル 3 1 から供給された Si 含有ガスが窪みパターンを含む表面に吸着したウエハ W は、分離ガスノズル 4 2 からの分離ガス、第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2 からのプラズマ処理用ガス、第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3 からのプラズマ処理用ガス、分離ガスノズル 4 1 からの分離ガスの順番で、ガスに曝される。

40

【 0 0 3 6 】

これらのノズル 3 1、3 2、3 3、4 1、4 2 の下面側 (回転テーブル 2 に対向する側) には、前述の各ガスを吐出するためのガス吐出孔 3 5 が回転テーブル 2 の半径方向に沿って複数箇所に例えば等間隔に形成されている。各ノズル 3 1、3 2、3 3、4 1、4 2

50

の各々の下端縁と回転テーブル 2 の上面との離間距離が例えば 1 ~ 5 mm 程度となるように配置されている。

【 0 0 3 7 】

原料ガスノズル 3 1 の下方領域は、Si 含有ガスをウエハ W に吸着させるための第 1 の処理領域 P 1 である。また、第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2 の下方領域は、ウエハ W 上の薄膜の第 1 のプラズマ処理を行うための第 2 の処理領域 P 2 となり、第 2 のプラズマ処理用ガスノズル 3 3 の下方領域は、ウエハ W 上の薄膜の第 2 のプラズマ処理を行うための第 3 の処理領域 P 3 となる。

【 0 0 3 8 】

図 3 に、成膜装置の回転テーブルの同心円に沿った断面図を示す。なお、図 3 は、分離領域 D から第 1 の処理領域 P 1 を経て分離領域 D までの断面図である。

10

【 0 0 3 9 】

分離領域 D における真空容器 1 の天板 1 1 には、概略扇形の凸状部 4 が設けられている。凸状部 4 は、天板 1 1 の裏面に取り付けられており、真空容器 1 内には、凸状部 4 の下面である平坦な低い天井面 4 4 (第 1 の天井面) と、この天井面 4 4 の周方向両側に位置する、天井面 4 4 よりも高い天井面 4 5 (第 2 の天井面) とが形成される。

【 0 0 4 0 】

天井面 4 4 を形成する凸状部 4 は、図 2 に示すように、頂部が円弧状に切断された扇形の平面形状を有している。また、凸状部 4 には、周方向中央において、半径方向に伸びるように形成された溝部 4 3 が形成され、分離ガスノズル 4 1、4 2 がこの溝部 4 3 内に収容されている。なお、凸状部 4 の周縁部 (真空容器 1 の外縁側の部位) は、各処理ガス同士の混合を阻止するために、回転テーブル 2 の外端面に対向すると共に容器本体 1 2 に対して僅かに離間するように、L 字型に屈曲している。

20

【 0 0 4 1 】

原料ガスノズル 3 1 の上方側には、第 1 の処理ガスをウエハ W に沿って通流させるために、且つ分離ガスがウエハ W の近傍を避けて真空容器 1 の天板 1 1 側を通流するように、ノズルカバー 2 3 0 が設けられている。ノズルカバー 2 3 0 は、図 3 に示すように、原料ガスノズル 3 1 を収納するために下面側が開口する概略箱形のカバー体 2 3 1 と、このカバー体 2 3 1 の下面側開口端における回転テーブル 2 の回転方向上流側及び下流側に各々接続された板状体である整流板 2 3 2 とを備えている。なお、回転テーブル 2 の回転中心側におけるカバー体 2 3 1 の側壁面は、原料ガスノズル 3 1 の先端部に対向するように回転テーブル 2 に向かって伸び出している。また、回転テーブル 2 の外縁側におけるカバー体 2 3 1 の側壁面は、原料ガスノズル 3 1 に干渉しないように切り欠かれている。

30

【 0 0 4 2 】

次に、第 1 のプラズマ処理用ガスノズル 3 2、3 3 の上方側に各々配置される、第 1 のプラズマ発生器 8 1 a 及び第 2 のプラズマ発生器 8 1 b について、詳細に説明する。なお、本実施形態においては、第 1 のプラズマ発生器 8 1 a 及び第 2 のプラズマ発生器 8 1 b は、各々独立したプラズマ処理を実行することができるが、各々の具体的構成については、同様のものを使用することができる。

【 0 0 4 3 】

図 4 は、プラズマ発生器の一例を示す縦断面図である。また、図 5 は、プラズマ発生器の一例を示す分解斜視図である。さらに、図 6 は、プラズマ発生器に設けられる筐体の一例を示す斜視図である。

40

【 0 0 4 4 】

プラズマ発生器 8 1 a、8 1 b は、金属線等から形成されるアンテナ 8 3 をコイル状に例えば鉛直軸回りに 3 重に巻回して構成されている。また、プラズマ発生器 8 1 は、平面視で回転テーブル 2 の径方向に伸びる帯状体領域を囲むように、且つ回転テーブル 2 上のウエハ W の直径部分を跨ぐように配置されている。

【 0 0 4 5 】

アンテナ 8 3 は、整合器 8 4 を介して周波数が例えば 1 3 . 5 6 M H z 及び出力電力が

50

例えば5000Wの高周波電源85に接続されている。そして、このアンテナ83は、真空容器1の内部領域から気密に区画されるように設けられている。なお、図4において、アンテナ83と整合器84及び高周波電源85とを電氣的に接続するための接続電極86が設けられている。

【0046】

図4及び図5に示すように、第1のプラズマ処理用ガスノズル32の上方側における天板11には、平面視で概略扇形に開口する開口部11aが形成されている。

【0047】

開口部11aには、図4に示すように、開口部11aの開口縁部に沿って、この開口部11aに気密に設けられる環状部材82を有する。後述する筐体90は、この環状部材82の内周面側に気密に設けられる。即ち、環状部材82は、外周側が天板11の開口部11aに臨む内周面11bに対向すると共に、内周側が後述する筐体90のフランジ部90aに対向する位置に、気密に設けられる。そして、この環状部材82を介して、開口部11aには、アンテナ83を天板11よりも下方側に位置させるために、例えば石英等の誘導体により構成された筐体90が設けられる。

10

【0048】

また、環状部材82は、図4に示すように、鉛直方向に伸縮可能なペローズ82aを有している。また、プラズマ発生器81a、81bは、電動アクチュエータ等の図示しない駆動機構（昇降機構）により、各々独立して昇降可能に形成されている。プラズマ発生器81a、81bの昇降に対応して、ペローズ82aを伸縮させることで、プラズマ処理時における、プラズマ発生器81a、81bの各々とウエハW（即ち、回転テーブル2）との間の距離、即ち、（以後、プラズマ生成空間の距離と呼ぶことがある）を変更可能に構成されている。

20

【0049】

筐体90は、図6に示すように、上方側の周縁部が周方向に亘ってフランジ状に水平に伸び出してフランジ部90aをなすと共に、平面視において、中央部が下方側の真空容器1の内部領域に向かって窪むように形成されている。

【0050】

筐体90は、この筐体90の下方にウエハWが位置した場合に、回転テーブル2の径方向におけるウエハWの直径部分を跨ぐように配置されている。なお、環状部材82と天板11との間には、O-リング等のシール部材11cが設けられる。

30

【0051】

真空容器1の内部雰囲気は、環状部材82及び筐体90を介して気密に設定されている。具体的には、環状部材82及び筐体90を開口部11a内に落とし込み、次いで環状部材82及び筐体90の上面であって、環状部材82及び筐体90の接触部に沿うように棒状に形成された押圧部材91によって筐体90を下方側に向かって周方向に亘って押圧する。さらに、この押圧部材91を図示しないボルト等により天板11に固定する。これにより、真空容器1の内部雰囲気は気密に設定される。なお、図5においては、簡単のため、環状部材82を省略して示している。

40

【0052】

図6に示すように、筐体90の下面には、当該筐体90の下方側の処理領域P2、P3の各々を周方向に沿って囲むように、回転テーブル2に向かって垂直に伸び出す突起部92が形成されている。そして、この突起部92の内周面、筐体90の下面及び回転テーブル2の上面により囲まれた領域には、前述した第1のプラズマ処理用ガスノズル32及び第2のプラズマ処理用ガスノズル33が収納されている。なお、第1のプラズマ処理用ガスノズル32及び第2のプラズマ処理用ガスノズル33の基端部（真空容器1の内壁側）における突起部92は、第2のプラズマ処理用ガスノズル33の外形に沿うように概略円弧状に切り欠かれている。

【0053】

筐体90の下方側には、図4に示すように、突起部92が周方向に亘って形成されてい

50

る。シール部材 11c は、この突起部 92 によって、プラズマに直接曝されず、即ち、プラズマ生成領域から隔離されている。そのため、プラズマ生成領域からプラズマが例えばシール部材 11c 側に拡散しようとしても、突起部 92 の下方を經由して行くことになるので、シール部材 11c に到達する前にプラズマが失活することとなる。

【0054】

筐体 90 の上方側には、当該筐体 90 の内部形状に概略沿うように形成された導電性の板状体である金属板例えば銅などからなる、接地されたファラデーシールド 95 が収納されている。このファラデーシールド 95 は、筐体 90 の底面に沿うように水平に形成された水平面 95a と、この水平面 95a の外終端から周方向に亘って上方側に伸びる垂直面 95b と、を備えており、平面視で例えば概略六角形となるように構成されていても良い。

10

【0055】

図 7 は、プラズマ発生器の一例を示す平面図である。図 8 は、プラズマ発生器に設けられるファラデーシールドの一部を示す斜視図である。

【0056】

回転テーブル 2 の回転中心からファラデーシールド 95 を見た場合の右側及び左側におけるファラデーシールド 95 の上端縁は、各々、右側及び左側に水平に伸び出して支持部 96 を為している。そして、ファラデーシールド 95 と筐体 90 との間には、支持部 96 を下方側から支持すると共に筐体 90 の中心部領域 C 側及び回転テーブル 2 の外縁部側のフランジ部 90a に各々支持される棒状体 99 が設けられている。

20

【0057】

アンテナ 83 によって生成した電界がウエハ W に到達する場合、ウエハ W の内部に形成されているパターン（電気配線等）が電氣的にダメージを受けてしまう場合がある。そのため、図 8 に示すように、水平面 95a には、アンテナ 83 において発生する電界及び磁界（電磁界）のうち電界成分が下方のウエハ W に向かうことを阻止すると共に、磁界をウエハ W に到達させるために、多数のスリット 97 が形成されている。

【0058】

スリット 97 は、図 7 及び図 8 に示すように、アンテナ 83 の巻回方向に対して直交する方向に伸びるように、周方向に亘ってアンテナ 83 の下方位置に形成されている。ここで、スリット 97 は、アンテナ 83 に供給される高周波に対応する波長の $1/10000$ 以下程度の幅寸法となるように形成されている。また、各々のスリット 97 の長さ方向における一端側及び他端側には、これらスリット 97 の開口端を塞ぐように、接地された導電体等から形成される導電路 97a が周方向に亘って配置されている。ファラデーシールド 95 においてこれらスリット 97 の形成領域から外れた領域、即ち、アンテナ 83 の巻回された領域の中央側には、当該領域を介してプラズマの発光状態を確認するための開口部 98 が形成されている。なお、前述した図 2 においては、簡単のために、スリット 97 を省略しており、スリット 97 の形成領域例を、一点鎖線で示している。

30

【0059】

図 5 に示すように、ファラデーシールド 95 の水平面 95a 上には、ファラデーシールド 95 の上方に載置されるプラズマ発生器 81a、81b との間の絶縁性を確保するために、厚み寸法が例えば 2mm 程度の石英等から形成される絶縁板 94 が積層されている。即ち、プラズマ発生器 81a、81b は、各々、筐体 90、ファラデーシールド 95 及び絶縁板 94 を介して真空容器 1 の内部（回転テーブル 2 上のウエハ W）に対向するように配置されている。

40

【0060】

このように、第 1 のプラズマ発生器 81a と第 2 のプラズマ発生器 81b とは、ほぼ同様な構成を有するが、設置される高さが異なっている。即ち、回転テーブル 2 の表面と第 1 のプラズマ発生器 81a との間の距離と、回転テーブル 2 の表面と第 2 のプラズマ発生器 81b との間の距離とが異なっている。これは、筐体 90 の底面の高さを調整することにより、容易に高さを異ならせることができる。

50

【 0 0 6 1 】

具体的には、第1のプラズマ発生器81aの高さの方が、第2のプラズマ発生器81bの高さよりも高く設定される。上述のように、第1のプラズマ発生器81aの下方の領域は、筐体90により実質的に閉じられた第2の処理領域P2が形成されており、第2のプラズマ発生器81bの下方の領域も、筐体90により実質的に閉じられた第3の処理領域P3が形成されている。よって、回転テーブル2の表面との距離が小さい方、即ち、プラズマ発生器81a、81bが低く設置されている方が、より狭い空間を形成する。ここで、第2の処理領域P2における第1のプラズマ発生器81aと回転テーブル2の表面との間の距離を第1の距離、第3の処理領域P3における第2のプラズマ発生器81bと回転テーブル2の表面との間の距離を第2の距離とすると、第1の距離よりも相対的に小さい第2の距離によって、第3の処理領域P3においては、ウエハWに到達するイオン量が、第2の処理領域P2と比較して多くなる。よって、第3の処理領域P3においては、ウエハWに到達するラジカル量も、第2の処理領域P2と比較して多くなる。

10

【 0 0 6 2 】

なお、第1のプラズマ発生器81aと回転テーブル2の表面との間の第1の距離と、第2のプラズマ発生器81bと回転テーブル2の表面との間の第2の距離は、第1の距離が第2の距離より大きい限り、種々の値とすることができるが、例えば、第1の距離が80mm以上150mm以下、第2の距離が20mm以上80mm未満の範囲内に設定されてもよい。ただし、距離は、用途に応じて種々変更することができ、これらの値に限定されるものではない。

20

【 0 0 6 3 】

再び、本実施形態に係る成膜装置の他の構成要素について、説明する。

【 0 0 6 4 】

回転テーブル2の外周側において、回転テーブル2よりも僅かに下位置には、図2に示すように、カバー体であるサイドリング100が配置されている。サイドリング100の上面には、互いに周方向に離間するように例えば2箇所に排気口61、62が形成されている。別の言い方をすると、真空容器1の床面には、2つの排気口が形成され、これら排気口に対応する位置におけるサイドリング100には、排気口61、62が形成されている。

30

【 0 0 6 5 】

本明細書においては、排気口61、62のうち一方及び他方を、各々、第1の排気口61、第2の排気口62と呼ぶ。ここでは、第1の排気口61は、分離ガスノズル42と、この分離ガスノズル42に対して、回転テーブルの回転方向下流側に位置する第1のプラズマ発生器81aとの間に形成されている。また、第2の排気口62は、第2のプラズマ発生器81bと、このプラズマ発生器81bよりも回転テーブル2の回転方向下流側の分離領域Dとの間に形成されている。

【 0 0 6 6 】

第1の排気口61は、第1の処理ガスや分離ガスを排気するためのものであり、第2の排気口62は、プラズマ処理用ガスや分離ガスを排気するためのものである。これら第1の排気口61及び第2の排気口62は、各々、バタフライバルブ等の圧力調整部65が介設された排気管63により、真空排気機構である例えば真空ポンプ64に接続されている。

40

【 0 0 6 7 】

前述したように、中心部領域C側から外縁側に亘って筐体90を配置しているため、プラズマ処理領域P2、P3に対して回転テーブル2の回転方向上流側から通流してくるガスは、この筐体90によって排気口62に向かおうとするガス流が規制されてしまうことがある。そのため、筐体90よりも外周側におけるサイドリング100の上面には、ガスが流れるための溝状のガス流路101（図1及び図2参照）が形成されている。

【 0 0 6 8 】

天板11の下面における中央部には、図1に示すように、凸状部4における中心部領域

50

C側の部位と連続して周方向に亘って概略リング状に形成されると共に、その下面が凸状部4の下面(天井面44)と同じ高さ形成された突出部5が設けられている。この突出部5よりも回転テーブル2の回転中心側におけるコア部21の上方側には、中心部領域Cにおいて各種ガスが互いに混ざり合うことを抑制するためのラビリンス構造部110が配置されている。

【0069】

前述したように筐体90は中心部領域C側に寄った位置まで形成されているので、回転テーブル2の中央部を支持するコア部21は、回転テーブル2の上方側の部位が筐体90を避けるように回転中心側に形成されている。そのため、中心部領域C側では、外縁部側よりも、各種ガス同士が混ざりやすい状態となっている。そのため、コア部21の上方側にラビリンス構造部110を形成することにより、ガスの流路を稼ぎ、ガス同士が混ざり合うことを防止することができる。

10

【0070】

より具体的には、ラビリンス構造部110は、回転テーブル2側から天板11側に向かって垂直に伸びる壁部と、天板11側から回転テーブル2に向かって垂直に伸びる壁部とが、各々周方向に亘って形成されると共に、回転テーブル2の半径方向において交互に配置された構造を有する。ラビリンス構造部110では、例えば原料ガスノズル31から吐出されて中心部領域Cに向かおうとする第1の処理ガスは、ラビリンス構造部110を乗り越えていく必要がある。そのため、中心部領域Cに向かうにつれて流速が遅くなり、拡散しにくくなる。結果として、処理ガスが中心部領域Cに到達する前に、中心部領域Cに供給される分離ガスにより、処理領域P1側に押し戻されることになる。また、中心部領域Cに向かおうとする他のガスについても、同様にラビリンス構造部110によって中心部領域Cに到達しにくくなる。そのため、処理ガス同士が中心部領域Cにおいて互いに混ざり合うことが防止される。

20

【0071】

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、加熱機構であるヒータユニット7が設けられている。ヒータユニット7は、回転テーブル2を介して回転テーブル2上のウエハWを例えば室温~760程度に加熱することができる構成となっている。なお、図1における参照符号71aは、ヒータユニット7の側方側に設けられたカバー部材であり、参照符号7aは、このヒータユニット7の上方側を覆う覆い部材である。また、真空容器1の底面部14には、ヒータユニット7の下方側において、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、周方向に亘って複数個所に設けられている。

30

【0072】

図2に示すように、真空容器1の側壁には、ウエハWの受け渡しを行うための搬送口15が形成されている。この搬送口15は、ゲートバルブGより気密に開閉自在に構成されている。

【0073】

回転テーブル2の凹部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。そのため、回転テーブル2の下方側の受け渡し位置に対応する箇所には、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図示しない昇降ピン及び昇降機構が設けられている。

40

【0074】

また、本実施形態に係る成膜装置には、装置全体の動作を制御するためのコンピュータからなる制御部120が設けられている。この制御部120のメモリ内には、後述の基板処理を行うためのプログラムが格納されている。このプログラムは、装置の各種動作を実行するようにステップ群が組み立てられており、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等の記憶媒体である記憶部121から制御部120内にインストールされる。

【0075】

50

〔成膜方法〕

次に、本発明の実施形態に係る成膜方法について説明する。本発明の実施形態に係る成膜方法は、A L D法（Atomic Layer Deposition、原子層堆積法）又はM L D法（Molecular Layer Deposition、分子層堆積法）による成膜が可能な成膜装置であれば、種々の成膜装置により実施することができるが、本実施形態では、上述の回転テーブル式の成膜装置を用いて実施する例について説明する。

【0076】

なお、第1のプラズマ処理を行う第2の処理領域P2におけるプラズマ発生器81aと回転テーブル2との間の第1の距離が、第2のプラズマ処理を行う第3の処理領域P3におけるプラズマ発生器81bと回転テーブル2との間の第2の距離よりも大きく設定した例を挙げて説明する。また、原料ガスノズル31から供給する原料ガスとしてはDCS（ SiH_2Cl_2 、ジクロロシラン）、第1のプラズマ処理用ガスノズル32から供給する第1のプラズマ処理用ガスとしては NH_3 、Ar及び H_2 の混合ガス、第2のプラズマ処理用ガスノズル33から供給する第2のプラズマ処理用ガスノズルとしては NH_3 、 N_2 及び、Arの混合ガスを用いる例を挙げて説明する。但し、これらは一例として挙げるものであり、原料ガスとしては種々のSi含有ガス、第1のプラズマ処理用ガスとしては種々の窒化ガス、第2のプラズマ処理用ガスとしては種々の NH_3 及び N_2 の双方を含有する改質ガスを用いることができる。

10

【0077】

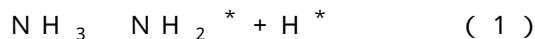
本実施形態では、第1のプラズマ処理用ガスとして、 NH_3 を含有するが N_2 を含有しない窒化ガスを用い、第2のプラズマ処理用ガスとして、 NH_3 及び N_2 を含有する改質ガスを用いるが、まず、その理由について説明する。

20

【0078】

プラズマ中で、 NH_3 、 N_2 が単独のガスとして各々存在する場合には、以下の式（1）、（2）に示すように、各々で可逆反応が発生する。

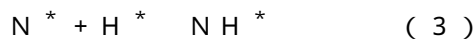
【0079】



2つのガスがプラズマ中に存在する場合には、以下の式（3）～（5）に示すように、 N^* が H^* と反応することで、 NH^* 、 NH_2^* の双方が発生し、窒化力が増加するとともに、式（1）、（2）の可逆反応を防ぐ。

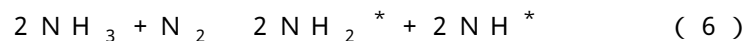
30

【0080】



よって、式（6）に示されるように、結果的には、 NH_3 に N_2 を添加してプラズマにより活性化することにより、窒化力を増加させる方向に作用する。

【0081】



かかるメカニズムを利用し、本実施形態では、改質用の第2のプラズマ処理用ガスとして、 NH_3 と N_2 との混合ガスを用い、窒化力を高め、膜質を向上させる。

40

【0082】

但し、 N_2 がある濃度以上になった場合には、窒化ガスである NH_3 を希釈し過ぎ、窒化源である NH_3 が不足してしまうので、 NH_3/N_2 の最適な流量比が存在する。以下、その流量比についても言及しつつ本発明の実施形態に係る成膜方法について説明する。

【0083】

まず、上述した成膜装置へのウエハWの搬入に際しては、まず、ゲートバルブGを開放する。そして、回転テーブル2を間欠的に回転させながら、搬送アーム10により搬送口15を介して回転テーブル2上に載置する。

【0084】

50

次いで、ゲートバルブGを閉じて、ヒータユニット7により、ウエハWを所定の温度に加熱する。ウエハWの温度は、用途に応じて適宜適切な値に設定されてよいが、300～600の範囲に設定されてもよく、例えば、400程度に設定されてもよい。

【0085】

続いて、第1の処理ガスノズル31から原料ガスであるDCSを、所定の流量で供給すると共に、第1のプラズマ処理用ガスノズル32及び第2のプラズマ処理用ガスノズル34から、所定の流量で第1及び第2のプラズマ処理用ガスを供給する。ここで、第1のプラズマ処理用ガスはNH₃、Ar及びH₂の混合ガスであり、第2のプラズマ処理用ガスはNH₃、N₂及び、Arの混合ガスである。第1のプラズマ処理用ガスは、ウエハWの表面に吸着したSi含有ガスと反応してSiN膜の分子層をウエハWの表面上に堆積させるための窒化ガスであり、第2のプラズマ処理用ガスは、ウエハWの表面上に堆積したSiN膜を更に窒化し、SiN膜の膜質を向上させるための改質ガスである。改質ガスが、上述の式(6)の反応を発生するガスであり、窒化力を高める効果を有する。

【0086】

そして、圧力調整部65により真空容器1内を所定の圧力に調整する。また、プラズマ発生器81a、81bでは、各々、アンテナ83に対して、所定の出力の高周波電力を印加する。なお、圧力は、用途に応じて適切な値に設定されてよいが、0.2～2.0 Torrの範囲に設定されてもよく、例えば、0.75 Torr程度に設定されてもよい。

【0087】

以下、図2を用いて説明する。ウエハWの表面では、回転テーブル2の回転によって第1の処理領域P1において原料ガス(Si含有ガス)であるDCSが吸着する。第1の処理ガスが吸着したウエハWは、回転テーブル2の回転により、分離領域Dを通過する。この分離領域Dでは、ウエハWの表面に分離ガスが供給され、第1の処理ガスに関する、不要な物理吸着分が除去される。

【0088】

ウエハWは次に、回転テーブル2の回転により、第2の処理領域P2に到達する。第2の処理領域P2では、第1のプラズマ処理用ガスノズル32から供給された第1のプラズマ処理用ガス(NH₃含有ガス)がプラズマによって活性化され、NH₂^{*}によりDCSが窒化され、形成したシリコン窒化膜(SiN膜)がウエハWの表面上に堆積する。

【0089】

ここで、第1のプラズマ処理用ガスは、NH₃含有ガス等の窒化ガスであれば、種々のガスを用いることができるが、例えば、Ar、NH₃及びH₂を含む混合ガスであってもよい。また、Ar、NH₃及びH₂の含有量及び比率も、用途に応じて種々の設定としてよいが、例えば、Arを2000 sccm、NH₃を300 sccm、H₂を600 sccm含む混合ガスであってもよい。第1のプラズマ処理用ガスは、ウエハWの表面に吸着したSi成分の窒化に重点を置き、窒化源であるNH₃を十分に供給する。よって、第1のプラズマ処理用ガスには、N₂を含まない。また、第1のプラズマ発生器81aは、第2のプラズマ発生器81bよりも高い位置に設置され、NH₃をプラズマ化したNH₂^{*}がウエハWの全面に広く行き渡るようにする。NH₂^{*}は、広く拡散する性質を有するので、この役割に適していると言える。

【0090】

なお、一般的に、プラズマ処理用のガスのプラズマによって発生する活性種としては、イオン及びラジカルが知られており、イオンは、主として窒化膜の改質処理に寄与し、ラジカルは、主として窒化膜の形成処理に寄与する。また、イオンは、ラジカルと比較して、寿命が短く、プラズマ発生部81a、81bと、回転テーブル2との間の距離を長くすることにより、ウエハWに到達するイオンエネルギーが大きく減少する。

【0091】

ここで、第2の処理領域P2では、第1のプラズマ発生部81aと回転テーブル2との間の距離が、第2の距離と比較して大きい距離に設定されている。この比較的大きい第1の距離によって、第2の処理領域P2において、ウエハWに到達するイオンは大きく低減

10

20

30

40

50

され、ウエハWには主としてラジカルが供給される。即ち、第2の処理領域P2においては、ウエハW上の第1の処理ガスは、比較的イオンエネルギーが小さいプラズマによって、(初期)窒化され、薄膜成分である窒化膜の分子層が1層又は複数層形成される。また、形成された窒化膜は、プラズマによって、ある程度の改質処理もなされる。

【0092】

また、成膜プロセスの初期においては、活性種のウエハへの影響が大きく、例えばイオンエネルギーが大きいプラズマを使用した場合、ウエハ自身が窒化されてしまうことがある。この観点からも、第2の処理領域P2における処理では、先ず、比較的イオンエネルギーが小さいプラズマによってプラズマ処理を行うことが好ましい。

【0093】

第1の距離としては、限定されないが、比較的イオンエネルギーが小さいプラズマによって、効率的にウエハW上に窒化膜を成膜する観点から、80mm以上150mm以下の範囲内とすることが好ましく、例えば、90mmに設定してもよい。

【0094】

次に、第2の処理領域P2を通過したウエハWは、回転テーブル2の回転により、第3の処理領域P3に到達する。第3の処理領域P3では、第2のプラズマ処理用ガスノズル33から供された第2のプラズマ処理用ガスをプラズマで活性化することにより、SiN膜が更に窒化され、堆積したSiN膜が改質処理される。

【0095】

ここで、第2のプラズマ処理用ガスは、 NH_3 及び N_2 の双方を含有する改質ガスであれば、種々のガスを用いることができるが、例えば、Ar、 NH_3 及び N_2 を含む混合ガスであってもよい。また、Ar、 NH_3 及び N_2 の含有量(流量)及び比率も、用途に応じて種々の設定としてよいが、 NH_3 対 N_2 の比率は、 N_2 が NH_3 よりも高い流量を有する比率に設定されることが好ましく、 N_2 が NH_3 の2倍以上の流量を有する比率に設定されることがより好ましい。更に、 N_2 が NH_3 の3倍以上の流量を有する比率に設定されることが更に好ましく、 N_2 が NH_3 の3倍以上の流量を有する比率に設定されることがより一層好ましい。例えば、Arの流量を2000sccmとしたときに、 NH_3 (sccm)/ N_2 (sccm)は、600/1400、500/1500、300/1700、200/1800といった比率とすることができる。後に、実施例を用いて説明するが、上述の比率のうち、最も良好な面内均一性で成膜できたのは、 $\text{NH}_3/\text{N}_2 = 300/1700$ であった。このように、第2のプラズマ処理用ガスの NH_3/N_2 の比率は、 N_2 が NH_3 の3倍以上の含有量となるような設定であることが好ましい。

【0096】

このような比率で NH_3 及び N_2 を含有する混合ガスを第2のプラズマ処理用ガスノズル33から供給し、第2のプラズマ発生器81bで発生したプラズマを用いて活性化することにより、上述の式(6)で説明した反応が起こり、窒化力を高めることができる。また、 N_2 のプラズマは、寿命は短い、高いエネルギーを有するとともに、あまり拡散せず、アンテナ83の下に集中する性質がある。第2のプラズマ発生器81bのアンテナ83は、半径方向においてウエハWの両端よりも長く形成されているので、アンテナ83の下に NH_2^* 、 NH^* を集中させることができ、ウエハWの径方向端部にあるSiN膜も十分に窒化することができる。これにより、ウエハW上のSiN膜の面内均一性を高めることができる。

【0097】

また、第3の処理領域P3では、第2のプラズマ発生部81bと回転テーブル2との間の距離が、前述した第1の距離よりも小さい第2の距離に設定されている。第1の距離よりも相対的に小さい第2の距離によって、第3の処理領域P3においては、ウエハWに到達するイオン量が、第2の処理領域P2と比較して多くなる。なお、留意すべきことは、第3の処理領域P3においては、ウエハWに到達するラジカル量も、第2の処理領域P2と比較して多くなるということである。したがって、第3の処理領域P3においては、ウエハW上の第1の処理ガスは、比較的イオンエネルギーが大きく、高密度のラジカルを有

10

20

30

40

50

するプラズマによって、窒化され、形成された窒化膜は、第2の処理領域P2と比較して、より効率的に改質処理される。

【0098】

第2の距離としては、第1の距離よりも小さければ限定されないが、より効率的に窒化膜を改質する観点から、20mm以上80mm未満の範囲内とすることが好ましく、例えば、60mmの距離（高さ）に設定してもよい。

【0099】

プラズマ処理されたウエハWは、回転テーブル2の回転により、分離領域Dを通過する。この分離領域Dは、不要な窒化ガス、改質ガスが、第1の処理領域P1へと侵入しないように、第1の処理領域P1と第3の処理領域P3とを分離する領域である。

10

【0100】

本実施形態においては、回転テーブル2の回転を続けることにより、ウエハW表面への原料ガス（Si含有ガス）の吸着、ウエハW表面に吸着した原料ガス成分（Si）の窒化、及び反応生成物（SiN）のプラズマ改質が、この順番で多数回に亘って行われる。即ち、ALD法による成膜処理と、形成された膜の改質処理とが、回転テーブル2の回転によって、多数回に亘って行われる。

【0101】

なお、本実施形態に係る基板処理装置における処理領域P1、P2の間には、回転テーブル2の周方向両側に分離領域Dを配置している。そのため、分離領域Dにおいて、原料ガスとプラズマ処理用ガスとの混合が阻止されながら、各ガスが排気口61、62に向かって排気されていく。

20

【0102】

〔実施例〕

次に、本発明の実施形態に係る成膜方法を実施した実施例について説明する。まず、実施例に用いた成膜装置は、上述の実施形態で説明した回転テーブル式の2つのプラズマ発生器81a、81bを搭載したALD成膜装置である。

【0103】

真空容器1内のウエハWの温度は、400に設定した。真空容器1内の圧力は、0.75 Torrとした。回転テーブル2の回転速度は10rpmに設定した。第2の処理領域P2、即ち第1のプラズマ処理用ガスを供給する第1のプラズマ発生器81aの回転テーブル2の表面との距離は90mmに設定した。また、第3の処理領域P3、即ち第2のプラズマ処理用ガスを供給する第2のプラズマ発生器81bの回転テーブル2の表面との距離は60mmに設定した。原料ガスノズル31から供給される原料ガスは、Si含有ガスであるDCSを用い、流量は1000sccmに設定した。第1のプラズマ処理用ガスノズル32から供給される窒化ガスは、NH₃/Ar/H₂の混合ガスとし、NH₃の流量を300sccm、Arの流量を2000sccm、H₂の流量を600sccmに設定した。以上は、固定された条件である。

30

【0104】

第2のプラズマ処理用ガスノズル33から供給される改質ガスは、NH₃/N₂/Arの混合ガスとし、Arの流量は2000sccmで固定したが、NH₃(sccm)/N₂(sccm)の流量を種々変化させた。

40

【0105】

比較例がNH₃(sccm)/N₂(sccm) = 2000/0であり、これは従来から実施されているN₂を添加しない改質処理である。

【0106】

実施例1がNH₃(sccm)/N₂(sccm) = 1500/500であり、実施例2がNH₃(sccm)/N₂(sccm) = 1000/1000である。実施例3がNH₃(sccm)/N₂(sccm) = 500/1500であり、実施例4がNH₃(sccm)/N₂(sccm) = 300/1700である。実施例5がNH₃(sccm)/N₂(sccm) = 200/1800であり、参考例がNH₃(sccm)/N₂(s

50

c c m) = 0 / 2 0 0 0 である。参考例は、 N_2 を含有しているが、 NH_3 を含有しておらず、 NH_3 と N_2 の混合ガスではないので、実施例ではなく参考例としている。

【 0 1 0 7 】

図 9 は、X 軸上、即ち回転テーブル 2 の回転方向に略平行なウエハ W の中心を通る横軸上における比較例、実施例 1 ~ 5 及び参考例に係る成膜方法の実施結果を示した図である。図 9 において、横軸はウエハ W 上の X 軸上における位置、縦軸は Si N 膜の膜厚を示している。

【 0 1 0 8 】

図 9 に示されるように、 NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 3 0 0 / 1 7 0 0 の実施例 4 における膜厚が最も大きく、また、良好な均一性が得られている。 N_2 が添加されていない比較例は、実施例 1 ~ 5 のいずれよりも小さい膜厚となっている。また、 NH_3 を含まない参考例は、比較例よりも更に膜厚が小さい。よって、図 9 より、X 軸上において、実施例 1 ~ 6 は総て比較例及び参考例よりも均一性が良好であり、そのうち実施例 4 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 3 0 0 / 1 7 0 0 の流量比が最も良好であることが示された。

【 0 1 0 9 】

図 1 0 は、Y 軸上、即ち回転テーブル 2 の半径方向に平行なウエハ W の中心を通る縦軸上における比較例、実施例 1 ~ 5 及び参考例に係る成膜方法の実施結果を示した図である。図 1 0 において、横軸はウエハ W 上の Y 軸上における位置、縦軸は Si N 膜の膜厚を示している。

【 0 1 1 0 】

図 1 0 に示されるように、Y 軸上においても、 NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 3 0 0 / 1 7 0 0 の実施例 4 における膜厚が最も大きく、また、良好な均一性が得られている。 N_2 が添加されていない比較例は、実施例 1 ~ 5 のいずれよりも小さい膜厚となっている。また、 NH_3 を含まない参考例は、比較例よりも更に膜厚が小さい点も、図 9 と同様である。よって、図 1 0 より、Y 軸上においても、実施例 1 ~ 6 は総て比較例及び参考例よりも均一性が良好であり、そのうち実施例 4 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 3 0 0 / 1 7 0 0 の流量比が最も良好であることが示された。

【 0 1 1 1 】

図 1 1 は、比較例、実施例 1 ~ 5 及び参考例に係る成膜方法の成膜結果を面内均一性の観点から示した図である。図 1 1 において、横軸は N_2 濃度 (%) を示し、右側に行く程 N_2 密度が高くなる。また、縦軸は膜厚のウエハ W 内の均一性 (\pm %) を示し、0 に近づく程均一性は良好であることを意味する。

【 0 1 1 2 】

図 1 1 に示されるように、実施例 4 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 3 0 0 / 1 7 0 0 の場合が最も均一性が良好であり、次に実施例 5 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 2 0 0 / 1 8 0 0 の場合の均一性が良好である。続いて、実施例 3 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 5 0 0 / 1 5 0 0 、新たに追加された実施例 6 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 6 0 0 / 1 4 0 0 、実施例 2 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 1 0 0 0 / 1 0 0 0 、実施例 1 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 1 5 0 0 / 5 0 0 の順に良好となっている。そして、これら実施例 1 ~ 6 の均一性は、いずれも比較例の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 2 0 0 0 / 0 及び参考例の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 0 / 2 0 0 0 の場合よりも高い。

【 0 1 1 3 】

このように、実施例 1 ~ 6 の膜厚の均一性は、総て比較例及び参考例よりも良好であり、その中でも、実施例 4 の NH_3 (s c c m) / N_2 (s c c m) = 3 0 0 / 1 7 0 0 の比率が最も均一性が良好であることが示された。つまり、第 2 のプラズマ処理用ガスに用いる改質ガスには、 NH_3 及び N_2 の双方を含有する混合ガスを用いることが好ましく、更に、 N_2 の流量が NH_3 の流量よりも大きい所定の比率に面内均一性を良好にする最適値があることが示された。

10

20

30

40

50

【0114】

図12は、比較例、実施例1～6及び参考例のウエハW上に成膜されたSiN膜の均一性の算出結果を示した図である。

【0115】

図12において、膜厚の平均値がWIN AVG (nm)、最大値がMax (nm)、最小値がMin (nm)、均一性がWin Unif (±%)で示されている。図9～図11で示した結果と合致して、均一性は実施例4が±1.16%で最も良好であり、次いで、実施例5が±1.32%で2番目に良好であり、実施例3が1.68で3番目に良好である。更に、±1.92%の実施例6、±2.48%の実施例2、±2.99%の実施例1の順に均一性が良好であり、これらは、±3.72%の比較例及び±5.35%の参考例よりも良好な結果となっている。

10

【0116】

また、膜厚に関しても、実施例4が23.09nmで最も厚くなっており、実施例1～6の方が、比較例及び参考例よりも大きな膜厚が得られているが、均一性程には全体で大きな差は見られない。よって、本実施例によれば、所定の膜厚を得つつ、面内均一性を向上させることができる。

【0117】

図13は、実施例4と比較例のX軸上における膜厚分布を示した実施結果である。図13に示されるように、実施例4では、膜厚全体が向上しているとともに、左側と右側の端部の膜厚が比較例よりも大幅に向上し、全体として膜厚均一性が向上していることが分かる。即ち、比較例においては、X軸上の中央領域よりも左側と右側の端部の膜厚が大きく低下しており、山なりの膜厚分布となっているが、実施例4においては、左側と右側の端部の膜厚の低下が小さく、全体で略水平な膜厚分布が得られていることが分かる。

20

【0118】

このように、最適条件である実施例4に係る成膜方法によれば、比較例よりも膜厚均一性を大幅に向上させることができることが示された。

【0119】

図14は、実施例4と比較例のY軸上における膜厚分布を示した実施結果である。図14に示されるように、実施例4では、X軸上と同様に、膜厚全体が向上しているとともに、軸側と外側の端部の膜厚が比較例よりも大幅に向上し、全体として膜厚均一性が向上していることが分かる。即ち、比較例においては、Y軸上の中央領域よりも軸側と外側の端部の膜厚が大きく低下しており、山なりの膜厚分布となっているが、実施例4においては、軸側と外側の端部の膜厚の低下が小さく、全体で略水平な膜厚分布が得られていることが分かる。特に、比較例では、外側において大きな膜厚の低下が見られるが、実施例4では、外側の膜厚が大幅に向上していることが分かる。

30

【0120】

このように、最適条件である実施例4に係る成膜方法によれば、比較例よりも膜厚均一性を大幅に向上させることができることが示された。

【0121】

なお、実施例1～6の条件は、飽くまで例示であり、更なる実験により、更に良好な条件を発見し得る。

40

【0122】

このように、本発明の実施形態及び実施例に係る成膜方法によれば、第1のプラズマ処理用ガスをNH₃含有ガスとし、第2のプラズマ処理用ガスをNH₃及びN₂含有ガスとすることにより、窒化膜の面内均一性を向上させることができる。更に、第2のプラズマ処理用ガスにおいて、N₂の含有比率をNH₃よりも高くし、更に最適な条件を見出すことにより、面内均一性を大幅に向上させることができる。

【0123】

以上、本発明の好ましい実施形態及び実施例について詳説したが、本発明は、上述した実施形態及び実施例に制限されることはなく、本発明の範囲を逸脱することなく、上述し

50

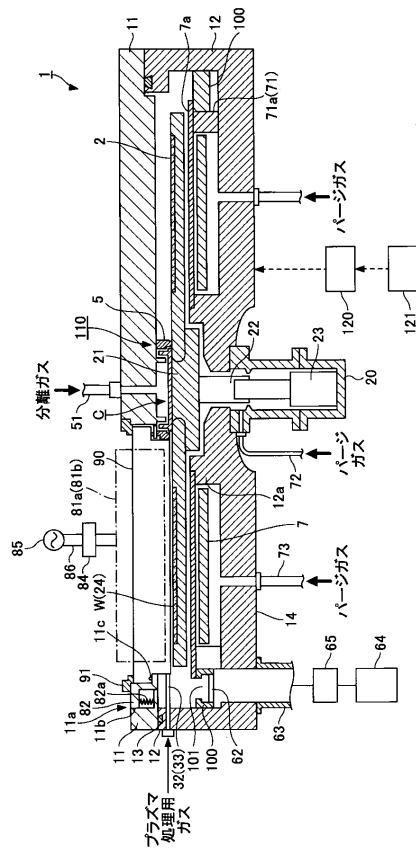
た実施形態及び実施例に種々の変形及び置換を加えることができる。

【符号の説明】

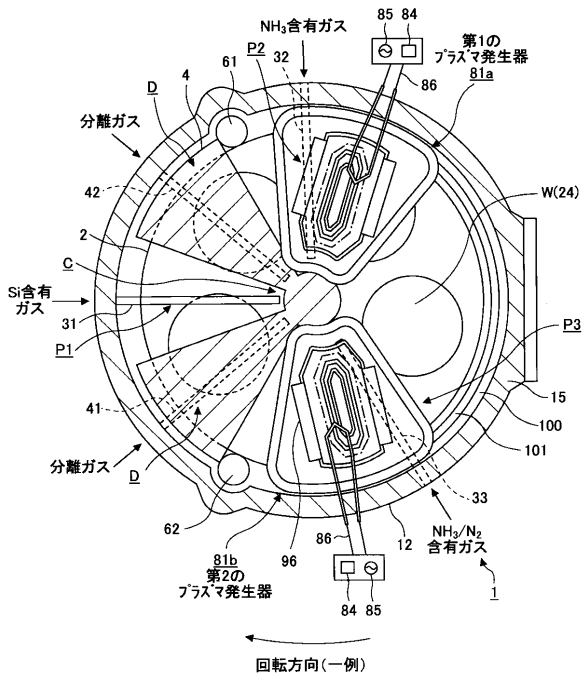
【0124】

- 1 真空容器
- 2 回転テーブル
- 24 凹部
- 31 原料ガスノズル
- 32 第1のプラズマ処理用ガスノズル
- 33 第2のプラズマ処理用ガスノズル
- 41、42 分離ガスノズル
- 81 a、81 b プラズマ発生器
- 83 アンテナ
- 90 筐体
- P1、P2、P3 処理領域
- T トレンチ
- W ウエハ

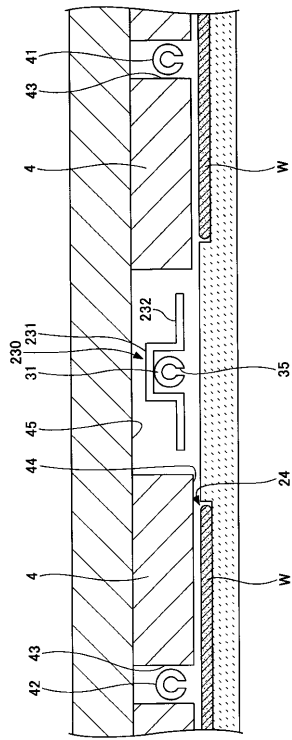
【図1】



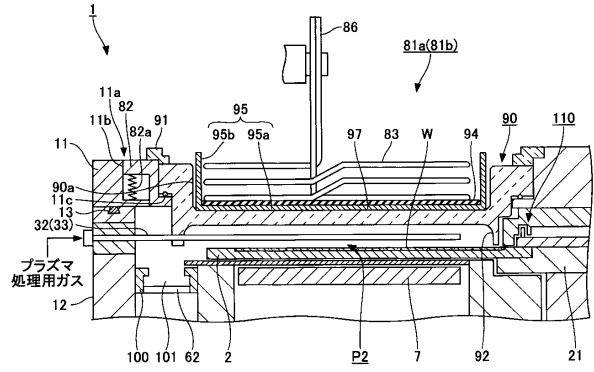
【図2】



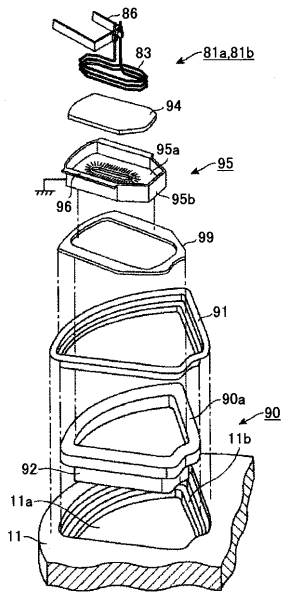
【 図 3 】



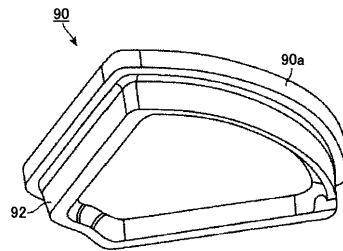
【 図 4 】



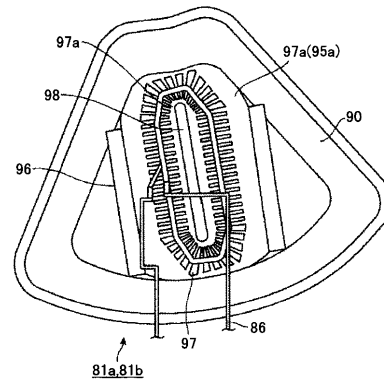
【 図 5 】



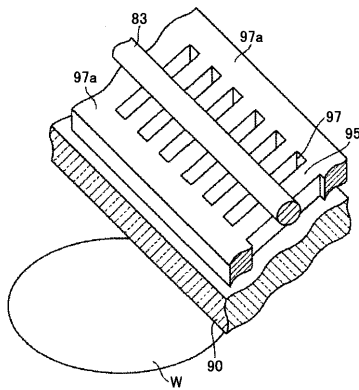
【 図 6 】



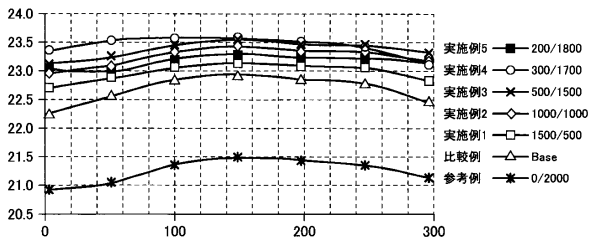
【 図 7 】



【 図 8 】



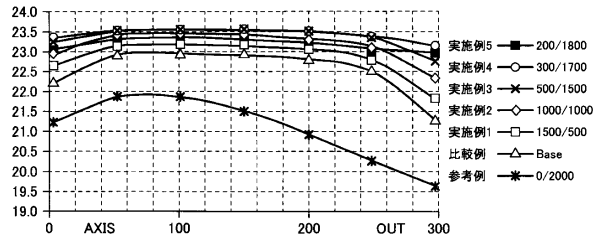
【 図 9 】



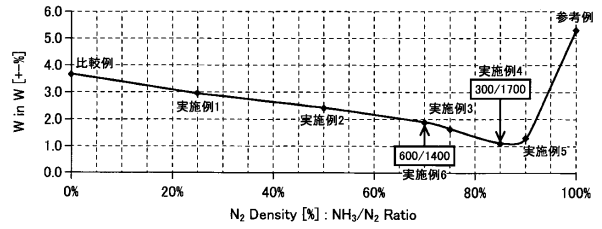
【 図 1 2 】

N ₂ 濃度 [%]	N ₂ 添加									
	0%	25%	50%	70%	75%	85%	90%	100%	0/2000	参考例
Dual[90/80]	Base	Base	Base	Base	Base	Base	Base	Base	Base	Base
2nd RF:NH ₂ /N ₂	2000/0	1500/500	1000/1000	600/1400	500/1500	300/1700	200/1800	200/1800	200/1800	0/2000
Win AVG (nm)	比較例	実施例1	実施例2	実施例6	実施例3	実施例4	実施例5	実施例5	実施例5	参考例
	22.43	22.78	23.07	23.26	23.25	23.33	23.09	23.09	23.09	21.02
Max (nm)	22.95	23.17	23.46	23.58	23.54	23.57	23.35	23.35	23.35	21.89
Min (nm)	21.28	21.81	22.32	22.89	22.76	23.03	22.74	22.74	22.74	19.64
Win Unif (±%)	3.72	2.99	2.48	1.92	1.68	1.16	1.32	1.32	1.32	5.35

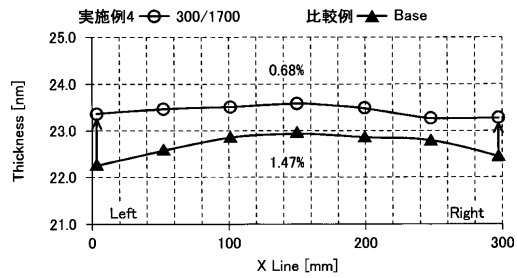
【 図 1 0 】



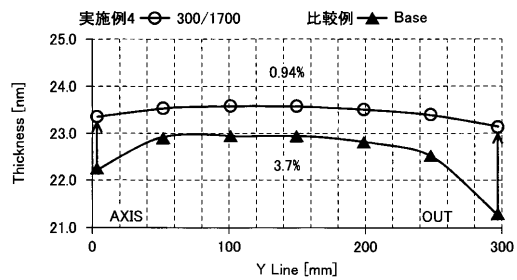
【 図 1 1 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 潤

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 三浦 繁博

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

審査官 長谷川 直也

(56)参考文献 国際公開第2013/137115(WO, A1)

国際公開第2006/088062(WO, A1)

特開2015-165549(JP, A)

特開2015-181149(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/02、21/205、21/31-21/32、

21/365、21/469-21/475、21/86、

C23C 16/00-16/56