

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6294194号  
(P6294194)

(45) 発行日 平成30年3月14日(2018.3.14)

(24) 登録日 平成30年2月23日(2018.2.23)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/302 (2006.01)	HO 1 L 21/302 2 O 1 A
HO 1 L 21/31 (2006.01)	HO 1 L 21/31 B
HO 1 L 21/316 (2006.01)	HO 1 L 21/316 X
C 2 3 C 16/44 (2006.01)	C 2 3 C 16/44 A
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 1 O 1 G

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2014-178216 (P2014-178216)  
 (22) 出願日 平成26年9月2日(2014.9.2)  
 (65) 公開番号 特開2016-51884 (P2016-51884A)  
 (43) 公開日 平成28年4月11日(2016.4.11)  
 審査請求日 平成29年2月28日(2017.2.28)

(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  
 (74) 代理人 100107766  
 弁理士 伊東 忠重  
 (74) 代理人 100070150  
 弁理士 伊東 忠彦  
 (72) 発明者 三浦 繁博  
 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 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板処理方法及び基板処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理室内に設けられた回転テーブル上に、表面に凹形状パターンが形成された基板を載置し、回転テーブルを回転させながらエッチングガスを処理室内に供給し、前記基板の表面に形成された膜をエッチングするエッチング工程を含む基板処理方法であって、

前記処理室を、前記回転テーブルの回転方向に沿って前記エッチングガスが供給される処理領域と、前記エッチングガスが供給されずにパージガスが供給されるパージ領域とに区画し、前記回転テーブルを1回転させたときに前記基板が前記処理領域と前記パージ領域とを1回ずつ通過するようにし、

前記回転テーブルの回転速度を変化させることにより、前記膜をエッチングするエッチングレート又はエッチング後の前記膜の表面粗さを制御し、

前記膜が前記凹形状パターンを覆うように凹状に成膜されている場合であって、  
前記凹形状パターン内に成膜された前記膜をV字の断面形状にエッチングするときには、前記回転テーブルの回転速度を低下させる基板処理方法。

【請求項2】

前記エッチングレートを増加させたいときには前記回転テーブルの回転速度を低下させ、前記膜の表面粗さを小さくしたいときには前記回転テーブルの回転速度を増加させる請求項1に記載の基板処理方法。

【請求項3】

前記凹形状パターン内に成膜された前記膜をV字の断面形状にせず前記膜の表面粗さを

10

20

小さくするときには、前記回転テーブルの回転速度を増加させる請求項 1 又は 2 に記載の基板処理方法。

【請求項 4】

前記処理室内に、成膜用の原料ガスを供給する第 2 の処理領域を設けるとともに、前記処理領域を成膜用の処理ガスも供給可能に構成し、

前記エッチング工程でエッチングされるべき前記膜を、前記凹形状パターン内を含めた前記基板の表面上に成膜する成膜工程を更に有する請求項 3 に記載の基板処理方法。

【請求項 5】

前記エッチング工程は、前記凹形状パターン内に成膜された前記膜を前記 V 字の断面形状にエッチングする V 字エッチング工程を含む請求項 4 に記載の基板処理方法。

10

【請求項 6】

前記成膜工程と前記 V 字エッチング工程は、交互に複数回繰り返される請求項 5 に記載の基板処理方法。

【請求項 7】

前記成膜工程は、前記回転テーブルを複数回連続的に回転させながら、前記エッチングガスを前記処理室内に供給することなく前記成膜用の原料ガス及び前記成膜用の処理ガス及び前記パージガスを前記処理室内に供給する工程を含み、

前記 V 字エッチング工程は、前記回転テーブルを複数回連続的に回転させながら、前記成膜用の原料ガス及び前記成膜用の処理ガスを前記処理室内に供給することなく前記エッチングガス及び前記パージガスを前記処理室内に供給する工程を含む請求項 6 に記載の基板処理方法。

20

【請求項 8】

前記回転テーブルを複数回連続的に回転させながら前記成膜用の原料ガス及び前記成膜用の処理ガス、前記エッチングガス及び前記パージガスを同時に供給し、前記回転テーブルが 1 回転する間に前記成膜工程と前記 V 字エッチング工程とを 1 回ずつ行うサイクルを複数回繰り返す請求項 6 に記載の基板処理方法。

【請求項 9】

前記エッチング工程は、前記膜の表面粗さを小さくする表面粗さ抑制工程を更に含む請求項 5 乃至 8 のいずれか一項に記載の基板処理方法。

【請求項 10】

前記エッチング工程における前記回転テーブルの回転速度の変更は、前記成膜工程における前記回転テーブルの回転速度を基準速度とし、該基準速度よりも前記回転速度を増加させるか低下させるかにより行われる請求項 4 乃至 9 のいずれか一項に記載の基板処理方法。

30

【請求項 11】

処理室と、

該処理室内に設けられ、基板を表面上に載置可能な回転テーブルと、

該回転テーブルの前記表面に第 1 の成膜ガスを供給可能であり、第 1 の処理領域内に設けられた第 1 の成膜ガス供給部と、

前記第 1 の処理領域と前記回転テーブルの周方向に離間して設けられた第 2 の処理領域内に設けられ、前記第 1 の成膜ガスと反応する第 2 の成膜ガスを前記回転テーブルの前記表面に供給可能な第 2 の成膜ガス供給部と、

40

前記第 2 の処理領域内において前記第 2 の成膜ガス供給部と前記回転テーブルの周方向に離間して設けられ、前記回転テーブルの前記表面に第 1 のエッチングガスを供給可能な第 1 のエッチングガス供給部と、

前記第 2 の処理領域内において前記第 1 のエッチングガス供給部と接近して設けられ、前記回転テーブルの表面に到達前に前記第 1 のエッチングガスと直接的に反応可能に第 2 のエッチングガスを供給する第 2 のエッチングガス供給部と、

前記第 1 及び第 2 のエッチングガスにより前記第 1 及び第 2 の成膜ガスの反応生成物を熱エッチング可能なように前記回転テーブルを加熱する加熱手段と、を有し、

50

前記第 1 の処理領域と前記第 2 の処理領域は、前記処理室の天井面から下方に突出し、下面が前記回転テーブルと狭い空間を形成する凸状部を有する分離領域により区画され、前記分離領域には、前記狭い空間をパージガスで満たして前記第 1 の処理領域と前記第 2 の処理領域とを分離するためのパージガス供給手段が設けられ、

前記基板上に成膜のみを行うときには前記第 1 及び第 2 の成膜ガス供給部から前記第 1 及び第 2 の成膜ガスをそれぞれ供給するとともに、前記第 1 及び第 2 のエッチングガス供給部からの供給を停止するかパージガスを供給し、

前記反応生成物のエッチングのみを行うときには前記第 1 及び第 2 のエッチングガス供給部から前記第 1 及び第 2 のエッチングガスをそれぞれ供給するとともに、前記第 1 及び第 2 の成膜ガス供給部からの供給を停止するかパージガスを供給する制御を行う制御手段を更に有する基板処理装置。

10

【請求項 1 2】

前記制御手段は、前記基板の表面に凹形状パターンが形成されて前記反応生成物が前記凹形状パターンを覆うように凹状に成膜されている場合であって、前記凹形状パターン内に成膜された前記反応生成物を V 字の断面形状にエッチングするときには、前記回転テーブルの回転速度を低下させる制御を行う請求項 1 1 に記載の基板処理装置。

【請求項 1 3】

前記制御手段は、前記凹形状パターン内に成膜された前記反応生成物を V 字の断面形状にせず前記反応生成物の表面粗さを小さくするときには、前記回転テーブルの回転速度を増加させる制御を行う請求項 1 2 に記載の基板処理装置。

20

【請求項 1 4】

前記制御手段は、前記基板上に成膜のみを行う成膜工程と、前記反応生成物を V 字の断面形状にエッチングする V 字エッチング工程とを複数回交互に繰り返す制御を実行可能である請求項 1 2 に記載の基板処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板処理方法及び基板処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの回路パターンの更なる微細化に伴い、半導体デバイスを構成する種々の膜についても、更なる薄膜化及び均一化が要求されている。このような要求に応える成膜方法として、第 1 の反応ガスを基板に供給して基板の表面に第 1 の反応ガスを吸着させ、次に第 2 の反応ガスを基板に供給して基板の表面に吸着した第 1 の反応ガスを第 2 の反応ガスとを反応させることにより、反応生成物から構成される膜を基板上に堆積する、いわゆる分子層成膜法 (MLD: Molecular Layer Deposition、原子層成膜法 (ALD: Atomic Layer deposition) とも言う) が知られている (例えば、特許文献 1 参照)。このような成膜方法によれば、反応ガスが (準) 自己飽和的に基板表面に吸着し得るため、高い膜厚制御性、優れた均一性、及び優れた埋め込み特性を実現することができる。

30

【0003】

しかしながら、回路パターンの微細化に伴って、例えばトレンチ素子分離構造におけるトレンチや、ライン・スペース・パターンにおけるスペースのアスペクト比が大きくなるにつれて、分子層成膜法においても、トレンチやスペースを埋め込むことが困難な場合がある。

40

【0004】

例えば、30nm 程度の幅を有するスペースを酸化シリコン膜で埋め込もうとすると、狭いスペースの底部に反応ガスが進入し難いため、スペースを画成するライン側壁の上端部近傍での膜厚が厚くなり、底部側で膜厚が薄くなる傾向がある。そのため、スペースに埋め込まれた酸化シリコン膜にはボイドが生じる場合がある。そのような酸化シリコン膜が、例えば後続のエッチング工程においてエッチングされると、酸化シリコン膜の上面に

50

、ボイドと連通する開口が形成されることがある。そうすると、そのような開口からボイドにエッチングガス（又はエッチング液）が進入して汚染が生じたり、又は、後のメタライゼーションの際にボイド中に金属が入り込み、欠陥が生じたりするおそれがある。

【0005】

かかる問題は、ALD法に限らず、化学的気相成長（CVD：Chemical Vapor Deposition）法においても生じ得る。例えば、半導体基板に形成される接続孔に導電性物質の膜を埋め込んで、導電性の接続孔（いわゆるプラグ）を形成する際に、プラグ中にボイドが形成されてしまう場合がある。これを抑制するため、接続孔を導電性物質で埋め込む際に、接続孔の上部に形成される導電性物質のオーバーハング形状部をエッチバックにより除去する工程を繰り返して行うことにより、ボイドが抑制された導電性接続孔（いわゆるプラグ）を形成する方法が提案されている（例えば、特許文献2参照）。

10

【0006】

しかしながら、特許文献2に記載された発明においては、導電性物質の膜の成膜とエッチバックとを異なる装置で行わなければならない、装置間でのウエハの搬送や、各装置内での処理条件の安定化に時間を要するため、スループットを向上できないという問題があった。

【0007】

また、かかる特許文献2に記載された問題を解決すべく、基板表面に形成される凹形状パターンでのボイドの発生を低減しつつ、高スループットで埋め込むことが可能な成膜方法及び成膜装置として、基板が載置される回転テーブルと、回転テーブルの基板載置面に対して成膜用の第1及び第2の反応ガスを供給可能な第1及び第2の反応ガス供給部と、第1及び第2の反応ガスが互いに反応して生成された反応生成物を改質する改質ガス及びエッチングするエッチングガスを活性化して供給する活性化ガス供給部とを含む成膜装置を用いて、同一処理室内で回転テーブルの回転により成膜、改質及びエッチングを順に繰り返す成膜方法が提案されている（例えば、特許文献3参照）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2010-56470号公報

【特許文献2】特開2003-142484号公報

【特許文献3】特開2012-209394号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上述の特許文献3に記載の成膜方法では、エッチングレート、エッチングされた膜の表面粗さ等のエッチング条件を細かく制御することができず、成膜とエッチングとのバランスを最適な条件とすることが困難であり、基板表面に形成された凹形状パターンの形状（アスペクト比等）、成膜する膜の種類等によっては、高品質の成膜を行うことが困難な場合もあった。

【0010】

そこで、本発明は、エッチングレート、エッチング後の膜の表面粗さ等のエッチング条件が制御可能であり、多様な条件下でも所望の基板処理を行うことができる基板処理方法及び基板処理装置を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するため、本発明の一態様に係る基板処理方法は、処理室内に設けられた回転テーブル上に、表面に凹形状パターンが形成された基板を載置し、回転テーブルを回転させながらエッチングガスを処理室内に供給し、前記基板の表面に形成された膜をエッチングするエッチング工程を含む基板処理方法であって、

前記処理室を、前記回転テーブルの回転方向に沿って前記エッチングガスが供給される

50

処理領域と、前記エッチングガスが供給されずにパージガスが供給されるパージ領域とに区画し、前記回転テーブルを1回転させたときに前記基板が前記処理領域と前記パージ領域とを1回ずつ通過するようにし、

前記回転テーブルの回転速度を変化させることにより、前記膜をエッチングするエッチングレート又はエッチング後の前記膜の表面粗さを制御し、

前記膜が前記凹形状パターンを覆うように凹状に成膜されている場合であって、  
前記凹形状パターン内に成膜された前記膜をV字の断面形状にエッチングするときには、前記回転テーブルの回転速度を低下させる。

#### 【0012】

本発明の他の態様に係る基板処理装置は、処理室と、  
該処理室内に設けられ、基板を表面上に載置可能な回転テーブルと、  
該回転テーブルの前記表面に第1の成膜ガスを供給可能であり、第1の処理領域内に設けられた第1の成膜ガス供給部と、

前記第1の処理領域と前記回転テーブルの周方向に離間して設けられた第2の処理領域内に設けられ、前記第1の成膜ガスと反応する第2の成膜ガスを前記回転テーブルの前記表面に供給可能な第2の成膜ガス供給部と、

前記第2の処理領域内において前記第2の成膜ガス供給部と前記回転テーブルの周方向に離間して設けられ、前記回転テーブルの前記表面に第1のエッチングガスを供給可能な第1のエッチングガス供給部と、

前記第2の処理領域内において前記第1のエッチングガス供給部と接近して設けられ、前記回転テーブルの表面に到達前に前記第1のエッチングガスと直接的に反応可能に第2のエッチングガスを供給する第2のエッチングガス供給部と、

前記第1及び第2のエッチングガスにより前記第1及び第2の成膜ガスの反応生成物を熱エッチング可能なように前記回転テーブルを加熱する加熱手段と、を有し、

前記第1の処理領域と前記第2の処理領域は、前記処理室の天井面から下方に突出し、下面が前記回転テーブルと狭い空間を形成する凸状部を有する分離領域により区画され、前記分離領域には、前記狭い空間をパージガスで満たして前記第1の処理領域と前記第2の処理領域とを分離するためのパージガス供給手段が設けられ、

前記基板上に成膜のみを行うときには前記第1及び第2の成膜ガス供給部から前記第1及び第2の成膜ガスをそれぞれ供給するとともに、前記第1及び第2のエッチングガス供給部からの供給を停止するかパージガスを供給し、

前記反応生成物のエッチングのみを行うときには前記第1及び第2のエッチングガス供給部から前記第1及び第2のエッチングガスをそれぞれ供給するとともに、前記第1及び第2の成膜ガス供給部からの供給を停止するかパージガスを供給する制御を行う制御手段を更に有する。

#### 【発明の効果】

#### 【0013】

本発明によれば、エッチング条件を制御し、所望の基板処理を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0014】

【図1】本発明の実施形態に係る基板処理装置の一例の断面図である。

【図2】本発明の実施形態に係る基板処理装置の一例の斜視図である。

【図3】本発明の実施形態に係る基板処理装置の一例の概略上面図である。

【図4】本発明の実施形態に係る基板処理装置のガスノズル及びノズルカバーの構成図である。

【図5】本発明の実施形態に係る基板処理装置の一例の一部断面図である。

【図6】本発明の実施形態に係る基板処理装置の一例の他の一部断面図である。

【図7】エッチング工程における真空容器内の $N_2$ 体積濃度を示したシミュレーション図である。図7(a)は、回転テーブルの回転速度を20rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図である。図7(b)は回転テーブルの回転速度を120rpmとした

10

20

30

40

50

ときのシミュレーション結果を示した図である。図7(c)は回転テーブルの回転速度を240rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図である。

【図8】図7と同様の条件下において、第2の処理領域P2のHF体積濃度のシミュレーション結果を示した図である。

【図9】エッチング工程における第2の処理領域P2のNH<sub>3</sub>体積濃度のシミュレーション結果を示した図である。図9(a)は、回転テーブル2の回転速度を20rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図である。図9(b)は回転テーブル2の回転速度を120rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図である。図9(c)は回転テーブル2の回転速度を240rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図である。

10

【図10】本発明の実施形態に係る基板処理方法で実施するエッチング工程の回転数依存性を調べた実験結果である。

【図11】回転テーブル2の回転速度とエッチング後のシリコン酸化膜の表面粗さとの関係を探るために行った実験の結果を示す図である。図11(a)~(d)は、回転テーブルの回転速度を20rpm、60rpm、120rpm、240rpmとしたときのエッチング後の膜の表面を示したSEM(Scanning Electron Microscopy)画像である。図11(e)は、エッチング前の膜の表面を示したSEM画像である。図11(f)は、各々の回転速度におけるエッチング量を示した図である。

【図12】ウエハWの表面にビア、トレンチ等の凹形状パターンが形成されている場合のエッチングと回転テーブルの回転速度との関係を示す実験結果である。図12(a)は、エッチング前の成膜時のビアの状態を示す図である。図12(b)は、回転速度を20rpmとしたエッチング後のビアの状態を示す図である。図12(c)は、回転速度を60rpmとしたエッチング後のビアの状態を示す図である。図12(d)は、回転速度を120rpmとしたエッチング後のビアの状態を示す図である。図12(e)は、回転速度を240rpmとしたエッチング後のビアの状態を示す図である。

20

【図13】図12で示した実験結果を、ビアの位置毎にエッチング量(nm)で数値として示した図である。

【図14】本発明の実施形態に係る基板処理方法の一例の前段の工程を示した図である。図14(a)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第1の成膜工程の一例を示した図である。図14(b)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第1のエッチング工程の一例を示した図である。図14(c)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第2の成膜工程の一例を示した図である。図14(d)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第2のエッチング工程の一例を示した図である。図14(e)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第3の成膜工程の一例を示した図である。

30

【図15】本発明の実施形態に係る基板処理方法の一例の後段の工程を示した図である。図15(a)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第3のエッチング工程の一例を示した図である。図15(b)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第4の成膜工程の一例を示した図である。図15(c)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第4のエッチング工程の一例を示した図である。図15(d)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の最終埋め込み工程の一例を示した図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0015】

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。

【0016】

以下、添付の図面を参照しながら、本発明の限定的でない例示の実施形態について説明する。添付の全図面中、同一または対応する部材または部品については、同一または対応する参照符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面は、部材もしくは部品間の相対比を示すことを目的とせず、したがって、具体的な寸法は、以下の限定的でない実施形態に照らし、当業者により決定されるべきものである。

【0017】

50

## 〔基板処理装置〕

はじめに、本発明の本実施形態に係る基板処理装置について図面を用いて説明する。

## 【0018】

図1は、本実施形態に係る基板処理装置の一例の断面図であり、図2は、本実施形態に係る基板処理装置の一例の斜視図である。また、図3は、本実施形態に係る基板処理装置の一例の概略上面図である。

## 【0019】

図1から図3までを参照すると、この基板処理装置は、ほぼ円形の平面形状を有する扁平な真空容器（処理室、チャンバ）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回転テーブル2と、を備えている。真空容器1は、有底の円筒形状を有する容器本体12と、容器本体12の上面に対して、例えばリングなどのシール部材13（図1）を介して気密に着脱可能に配置される天板11とを有している。

## 【0020】

回転テーブル2は、中心部にて円筒形状のコア部21に固定され、このコア部21は、鉛直方向に伸びる回転軸22の上端に固定されている。回転軸22は真空容器1の底部14を貫通し、その下端が回転軸22（図1）を鉛直軸回りに回転させる駆動部23に取り付けられている。回転軸22及び駆動部23は、上面が開口した筒状のケース体20内に収納されている。このケース体20はその上面に設けられたフランジ部分が真空容器1の底部14の下面に気密に取り付けられており、ケース体20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。

## 【0021】

回転テーブル2の表面には、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（図示の例では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24が設けられている。なお図3には便宜上1個の凹部24だけにウエハWを示す。この凹部24は、ウエハWの直径（例えば300mm）よりも僅かに例えば4mm大きい内径と、ウエハWの厚さにほぼ等しい深さとを有している。したがって、ウエハWを凹部24に載置すると、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）とが同じ高さになる。

## 【0022】

図2及び図3は、真空容器1内の構造を説明する図であり、説明の便宜上、天板11の図示を省略している。図2及び図3に示すように、回転テーブル2の上方には、各々例えば石英からなる第1及び第2の成膜ガスノズル311、312、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322、及び分離ガスノズル41、42が配置されている。図示の例では、真空容器1の周方向に間隔をおいて、搬送口15（後述）から時計回り（回転テーブル2の回転方向）に第2の成膜ガスノズル312、分離ガスノズル41、第1の成膜ガスノズル311、分離ガスノズル42、及び第1及び第2のエッチングガスノズル321、322の順に配列されている。これらのノズル311、312、321、322、41、及び42は、それぞれの基端部であるガス導入ポート311a、312a、321a、322a、41a、及び42a（図3）が容器本体12の外周壁に固定され、真空容器1の外周壁から真空容器1内に導入されている。そして、容器本体12の半径方向に沿って回転テーブル2に対してノズルが平行に伸びるように取り付けられている。

## 【0023】

本実施形態の基板処理方法においては、第1の成膜ガスノズル311から供給する第1の成膜ガスとして、例えば、Si含有ガスを用いることができる。Si含有ガスとしては、種々のガスを用いることができるが、例えばLTOガスをを用いてもよい。また、第2の成膜ガスノズル312から供給する第2の成膜ガスとして、例えば、酸化ガスを用いてもよい。酸化ガスとしては、酸素（ $O_2$ ）ガス及び/又はオゾン（ $O_3$ ）ガスを用いてもよい。これにより、 $SiO_2$ 膜をウエハW上に形成することができる。

## 【0024】

また、例えば、第1のエッチングガスノズル321から供給する第1のエッチングガス

10

20

30

40

50

としてアンモニア ( $\text{NH}_3$ ) ガスを用い、第2のエッチングガスノズル322から供給する第2のエッチングガスとしてフッ化水素 ( $\text{HF}$ ) ガスを用いてもよい。このため、図2、図3に示したように、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322を2本配置し、一方の第2のガスノズル321からアンモニアガスを、他方の第2のガスノズル322からフッ化水素 ( $\text{HF}$ ) を供給するように構成できる。この場合、一方の第1のエッチングガスノズル321がアンモニアガス供給用のエッチングガスノズル、他方の第2のエッチングガスノズル322がフッ化水素ガス供給用のエッチングガスノズルとなる。なお、この際、アンモニアガスと、フッ化水素ガスを供給するノズル321、322はどちらが回転テーブルの回転方向の上流側に配置されていてもよい。すなわち、上流側の第1のエッチングガスノズル321からフッ化水素ガスを供給し、他方の第2のエッチングガスノズル322からアンモニアガスを供給してもよい。このようにエッチングガスノズル321、322を2本設ける場合、第1のエッチングガスノズル321と第2のエッチングガスノズル322とは図2、図3に示すように隣接し、両者が互いに略平行になるように配置することが好ましいが、係る形態に限定されるものではない。例えば、第1のエッチングガスノズル321と第2のエッチングガスノズル322とは、第1のエッチングガスと第2のエッチングガスとの直接的な反応が可能な範囲において、離隔して配置することも可能である。

10

## 【0025】

また、予めアンモニアガスと、フッ化水素ガスと、を混合しておき、第1及び第2のエッチングガスノズルを1本のノズルにより供給するように構成することもできる。

20

## 【0026】

更に、エッチングガス及びエッチング方法については、種々のガス及び方法を採用することができる。例えば、 $\text{ClF}_3$ 等のF含有ガスを用いて高温エッチングによりエッチングしてもよいし、 $\text{NF}_3$ 等のF含有ガスをプラズマにより分解し、フラジカルによるエッチングを行ってもよい。

## 【0027】

第1及び第2の成膜ガスノズル311、312には、それぞれ第1及び第2の成膜ガスが貯留される第1及び第2の成膜ガス供給源が開閉バルブや流量調整器(ともに不図示)を介して接続されている。また、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322には、それぞれ第1及び第2のエッチングガスが貯留される第1及び第2のエッチングガス供給源が開閉バルブや流量調整器(ともに不図示)を介して接続されている。

30

## 【0028】

第1及び第2の成膜ガスは、成膜しようとする膜に応じて、種々の成膜ガスを用いることができる。本実施形態においては、シリコン酸化膜 ( $\text{SiO}_2$  膜) を成膜する場合を例に挙げて説明する。この場合、第1の成膜ガスとしては、シリコン含有ガスを好ましく用いることができる。具体的なシリコン含有ガスは特に限定されるものではないが、上述のLTOの他、例えば3DMAS(トリスジメチルアミノシラン  $\text{Si}(\text{N}(\text{CH}_3)_2)_3\text{H}$ )、4DMAS(テトラキスジメチルアミノシラン  $\text{Si}(\text{N}(\text{CH}_3)_2)_4$ )等のアミノシラン系や、TCS(テトラクロロシラン  $\text{SiCl}_4$ )、DCS(ジクロロシラン  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ )、 $\text{SiH}_4$ (モノシラン)、HCD(ヘキサクロロジシラン  $\text{Si}_2\text{Cl}_6$ )等を好ましく用いることができる。

40

## 【0029】

また、第2の成膜ガスとしては、上述のように、水素ガスと、酸化ガスと、を好ましく用いることができ、酸化ガスとしては、酸素ガスおよび/またはオゾンガスを好ましく用いることができる。特に緻密なシリコン酸化膜が得られることから、酸化ガスはオゾンガスを含んでいることがより好ましい。

## 【0030】

また、分離ガスノズル41、42には、ArやHeなどの希ガスや $\text{N}_2$ ガス(窒素ガス)などの不活性ガスの供給源が開閉バルブや流量調整器(ともに不図示)を介して接続されている。不活性ガスとしては特に限定されるものではなく、上記のように希ガスや、N

50



2 ガス等を用いることができるが、例えばN<sub>2</sub>ガスを好ましく用いることができる。なお、これらの不活性ガスは、いわゆるパージガスとして用いられる。

【0031】

第1及び第2の成膜ガスノズル311、312、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322には、回転テーブル2に向かって下方に開口する複数のガス吐出孔33（図5参照）が、第1及び第2の成膜ガスノズル311、312、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322の長さ方向に沿って配列されている。ガス吐出孔33の配置については特に限定されるものではないが、例えば10mmの間隔で配列することができる。第1の成膜ガスノズル31の下方領域は、第1の成膜ガスをウエハWに吸着させるための第1の処理領域P1となる。第1及び第2のエッチングガスノズル321、322及び第2の成膜ガスノズル312の下方領域は、第2の処理領域P2となる。第2の処理領域P2には、第2の成膜ガスノズル312と第1及び第2のエッチングガスノズル321、322が共存しているが、エッチングを行う際には、第2の成膜ガスノズルからは第2の成膜ガスを供給しないか、希ガスやN<sub>2</sub>ガス等のパージガスを供給し、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322から第1及び第2のエッチングガスをそれぞれ供給することにより、第2の処理領域P2内でエッチング工程を行うことができる。なお、この場合、第1の処理領域P1でも、第1の成膜ガスノズル311から第1の成膜ガスを供給しないか、希ガスやN<sub>2</sub>ガス等のパージガスを供給する。

10

【0032】

一方、成膜を行う際には、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322からはエッチングガスを供給しないか、又は希ガスやN<sub>2</sub>ガス等のパージガスを供給し、第2の成膜ガスノズル312から第2の成膜ガスを供給することにより、第1及び第2の処理領域P1、P2内で成膜工程を行うことができる。

20

【0033】

更に、第1及び第2の成膜ガスノズル311、312から第1及び第2の成膜ガス、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322から第1及び第2のエッチングガスを同時に供給し、回転テーブル2を反時計方向に回転させることにより、回転テーブル2の1回転の中で成膜工程とエッチング工程の双方を行うことも可能である。なお、回転テーブル2を反時計方向に回転させるのは、成膜工程は、Si含有ガス等の原料ガスからなる第1の成膜ガスをウエハW上に吸着させてから酸化ガスからなる第2の成膜ガスを供給し、原料ガスとウエハWの表面上で反応させる必要があるからであり、第1の成膜ガス、第2の成膜ガスの順でウエハWに供給されるように回転テーブル2を回転させる必要があるからである。回転テーブル2を反時計回りとするれば、第1の成膜ガスノズル311、第2の成膜ガスノズル312の順でウエハWが通過した後、第2のエッチングノズル322、第1のエッチングノズル321を通過するので、成膜からエッチングの順でサイクルを繰り返すことになり、短サイクルでの成膜及びエッチングが可能となる。

30

【0034】

図2及び図3に示すように、第1の成膜ガスノズル311には、ノズルカバー34が設けられていることが好ましい。以下、図4を参照しながら、ノズルカバー34について説明する。ノズルカバー34は、第1のガスノズル311の長手方向に沿って延び、コ字型の断面形状を有する基部35を有している。基部35は、第1の成膜ガスノズル311を覆うように配置されている。基部35の長手方向に延びる2つの開口端の一方には、整流板36Aが取り付けられ、他方には、整流板36Bが取り付けられている。本実施形態においては、整流板36A、36Bは回転テーブル2の上面と平行に取り付けられている。また、本実施形態においては、図2及び図3に示すように、回転テーブル2の回転方向に対して第1のガスノズル31の上流側に整流板36Aが配置され、下流側に整流板36Bが配置されている。

40

【0035】

図4(b)に明瞭に示されるように、整流板36A、36Bは、第1のガスノズル31の中心軸に対して左右対称に形成されている。また、整流板36A、36Bの回転テーブ

50

ル 2 の回転方向に沿った長さは、回転テーブル 2 の外周部に向かうほど長くなっており、このため、ノズルカバー 3 4 は、概ね扇形状の平面形状を有している。ここで、図 4 ( b ) に点線で示す扇の開き角度  $\theta$  は、後述する凸状部 4 ( 分離領域 D ) のサイズをも考慮して決定されるが、例えば  $5^\circ$  以上  $90^\circ$  未満であると好ましく、具体的には例えば  $8^\circ$  以上  $10^\circ$  未満であると更に好ましい。

#### 【 0 0 3 6 】

なお、本実施形態においては、第 1 の成膜ガスノズル 3 1 1 のみにノズルカバー 3 4 が設けられた例を示したが、第 1 及び第 2 のエッチングガスノズル 3 2 1、3 2 2 及び第 2 の成膜ガスノズル 3 1 1、3 1 2 についても同様のノズルカバーを設けてもよい。

#### 【 0 0 3 7 】

図 2 及び図 3 を参照すると、真空容器 1 内には 2 つの凸状部 4 が設けられている。凸状部 4 は、頂部が円弧状に切断された略扇型の平面形状を有し、本実施形態においては、内円弧が突出部 5 ( 後述 ) に連結し、外円弧が、真空容器 1 の容器本体 1 2 の内周面に沿うように配置されている。図 5 は、第 1 のガスノズル 3 1 から第 2 のガスノズル 3 2 1、3 2 2 まで回転テーブル 2 の同心円に沿った真空容器 1 の断面を示している。図示のとおり、凸状部 4 は、天板 1 1 の裏面に取り付けられている。このため、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 ) とが存在している。

#### 【 0 0 3 8 】

また、図 5 に示すとおり、凸状部 4 には周方向中央において溝部 4 3 が形成されており、溝部 4 3 は、回転テーブル 2 の半径方向に沿って延びている。溝部 4 3 には、分離ガスノズル 4 2 が収容されている。もう一つの凸状部 4 にも同様に溝部 4 3 が形成され、ここに分離ガスノズル 4 1 が収容されている。なお、図中に示す参照符号 4 2 h は、分離ガスノズル 4 2 に形成されるガス吐出孔である。ガス吐出孔 4 2 h は、分離ガスノズル 4 2 の長手方向に沿って所定の間隔 ( 例えば  $10\text{ mm}$  ) をあけて複数個形成されている。また、ガス吐出孔 4 2 h の開口径は例えば  $0.3\text{ mm}$  から  $1.0\text{ mm}$  とすることができる。図示を省略するが、分離ガスノズル 4 1 にも同様にガス吐出孔を形成することができる。

#### 【 0 0 3 9 】

高い天井面 4 5 の下方の空間には、第 1 の成膜ガスノズル 3 1 1、第 1 及び第 2 のエッチングガスノズル 3 2 1、3 2 2 がそれぞれ設けられている。第 1 の成膜ガスノズル 3 1 1、第 2 のエッチングガスノズル 3 2 1、3 2 2 は、天井面 4 5 から離間してウエハ W の近傍に設けられている。なお、図 5 に示すように、第 1 の成膜ガスノズル 3 1 1 が設けられる高い天井面 4 5 の下方の空間 4 8 1 と、第 2 のエッチングガスノズル 3 2 1、3 2 2 及び第 2 の成膜ガスノズル 3 1 2 が設けられる高い天井面 4 5 の下方の空間 4 8 2 が設けられる。

#### 【 0 0 4 0 】

低い天井面 4 4 は、狭隘な空間である分離空間 H を回転テーブル 2 に対して形成している。分離ガスノズル 4 2 から不活性ガス、例えば  $\text{N}_2$  ガスが供給されると、この  $\text{N}_2$  ガスは、分離空間 H を通して空間 4 8 1 及び空間 4 8 2 へ向かって流れる。このとき、分離空間 H の容積は空間 4 8 1 及び 4 8 2 の容積よりも小さいため、 $\text{N}_2$  ガスにより分離空間 H の圧力を空間 4 8 1 及び 4 8 2 の圧力に比べて高くすることができる。すなわち、空間 4 8 1 及び 4 8 2 の間において、分離空間 H は圧力障壁を提供する。しかも、分離空間 H から空間 4 8 1 及び 4 8 2 へ流れ出る  $\text{N}_2$  ガスは、第 1 の処理領域 P 1 からの第 1 のガスと、第 2 の処理領域 P 2 からの第 2 のガスとに対するカウンターフローとして働く。したがって、第 1 の処理領域 P 1 からの第 1 のガスと、第 2 の処理領域 P 2 からの第 2 のガスとが分離空間 H により分離される。よって、真空容器 1 内において第 1 の成膜ガスと、第 1 及び第 2 のエッチングガス及び第 2 の成膜ガスとが混合して反応することを抑制できる。

#### 【 0 0 4 1 】

なお、回転テーブル 2 の上面に対する天井面 4 4 の高さ  $h_1$  は、成膜時の真空容器 1 内の圧力、回転テーブル 2 の回転速度、供給する分離ガス (  $\text{N}_2$  ガス ) の供給量などを考慮

10

20

30

40

50

し、分離空間Hの圧力を空間481及び482の圧力に比べて高くするのに適した高さに設定することが好ましい。

【0042】

このように、分離空間Hが形成された分離領域Dは、パージガスをウエハWに対して供給する領域とも言えるので、パージガス供給領域と呼んでもよい。

【0043】

再び図1～図3を参照すると、天板11の下面には、回転テーブル2を固定するコア部21の外周を囲むように突出部5が設けられている。この突出部5は、本実施形態においては、凸状部4における回転中心側の部位と連続しており、突出部5の下面は天井面44と同じ高さに形成されている。

【0044】

先に参照した図1は、図3のI-I'線に沿った断面図であり、天井面45が設けられている領域を示している一方、図6は、天井面44が設けられている領域を示す一部断面図である。図6に示すように、略扇型の凸状部4の周縁部(真空容器1の外縁側の部位)には、回転テーブル2の外端面に対向するようにL字型に屈曲する屈曲部46を形成することができる。この屈曲部46は、回転テーブル2と容器本体12の内周面との間の空間を通して、空間481及び空間482(図5)の間でガスが流通するのを抑制できる。扇型の凸状部4は、天板11に設けられ、天板11が容器本体12から取り外せるようになっていることから、屈曲部46の外周面と容器本体12の間には僅かに隙間がある。屈曲部46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46の外周面と容器本体12との隙間は、例えば回転テーブル2の上面に対する天井面44の高さと同様の寸法に設定することができる。

【0045】

再び図3を参照すると、回転テーブル2と容器本体の内周面との間において、空間481と連通する第1の排気口610と、空間482と連通する第2の排気口620とが形成されている。第1の排気口610及び第2の排気口620は、図1に示すように各々排気管630を介して真空排気手段である例えば真空ポンプ640に接続されている。なお図1中、圧力調整器650が設けられている。

【0046】

回転テーブル2と真空容器1の底部14との間の空間には、図1及び図6に示すように加熱手段であるヒータユニット7を設けることができ、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できる。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の下方の空間へガスが侵入するのを抑えるために、リング状のカバー部材71が設けられている。図6に示すように、このカバー部材71は、回転テーブル2の外縁部及び外縁部よりも外周側を下方側から臨むように設けられた内側部材71aと、この内側部材71aと真空容器1の内壁面との間に設けられた外側部材71bと、を備えた構成にできる。外側部材71bは、凸状部4の外縁部に形成された屈曲部46の下方にて、屈曲部46と近接して設けられ、内側部材71aは、回転テーブル2の外縁部下方(及び外縁部よりも僅かに外側の部分の下方)において、ヒータユニット7を全周に亘って取り囲んでいる。

【0047】

図1に示すように、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部14は、回転テーブル2の下面の中心部付近におけるコア部21に接近するように上方側に突出して突出部12aをなしている。この突出部12aとコア部21との間は狭い空間になっている。また、底部14を貫通する回転軸22の貫通孔の内周面と回転軸22との隙間が狭くなっていて、これら狭い空間はケース体20に連通している。そしてケース体20にはパージガスである $N_2$ ガスを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。さらに、真空容器1の底部14には、ヒータユニット7の下方において周方向に所定の角度間隔で、ヒータユニット7の配置空間をパージするための複数のパージガス供給管73が設けられている(図6には一つのパージガ

10

20

30

40

50

ス供給管73を示す)。さらにまた、ヒータユニット7と回転テーブル2との間には、ヒータユニット7が設けられた領域へのガスの侵入を抑えるために、外側部材71bの内周壁(内側部材71aの上面)から突出部12aの上端部との間を周方向に亘って覆う蓋部材7aが設けられている。蓋部材7aは例えば石英で作製することができる。

【0048】

パージガス供給管72から $N_2$ ガスを供給すると、この $N_2$ ガスは、回転軸22の貫通孔の内周面と回転軸22との隙間と、突出部12aとコア部21との間の隙間とを通して、回転テーブル2と蓋部材7aとの間の空間を流れ、第1の排気口610又は第2の排気口620(図3)から排気される。また、パージガス供給管73から $N_2$ ガスを供給すると、この $N_2$ ガスは、ヒータユニット7が収容される空間から、蓋部材7aと内側部材71aとの間の隙間(不図示)を通して流出し、第1の排気口610又は第2の排気口620(図3)から排気される。これら $N_2$ ガスの流れにより、真空容器1の中央下方の空間と、回転テーブル2の下方の空間とを通して、空間481及び空間482内のガスが混合するのを抑制することができる。

【0049】

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 $N_2$ ガスを供給するように構成できる。この空間52に供給された分離ガスは、突出部5と回転テーブル2との狭い空間50(図6)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。空間50は分離ガスにより空間481及び空間482よりも高い圧力に維持される。したがって、空間50により、第1の処理領域P1に供給される第1の成膜ガスと、第2の処理領域P2に供給される第1及び第2のエッチングガス及び第2の成膜ガスとが、中心領域Cを通して混合することが抑制される。すなわち、空間50(又は中心領域C)は分離空間H(又は分離領域D)と同様に機能することができる。

【0050】

さらに、真空容器1の側壁には、図2、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との間で基板であるウエハWの受け渡しを行うための搬送口15を形成できる。この搬送口15は図示しないゲートバルブにより開閉できる。この場合、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の受け渡しを行うこととなる。このため、回転テーブル2の下方側において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及びその昇降機構(いずれも図示せず)を設けることができる。

【0051】

また、本実施形態による基板処理装置には、図1に示すように、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100を設けることができる。制御部100のメモリ内には、制御部100の制御の下に、後述する基板処理方法を基板処理装置に実施させるプログラムが格納することができる。このプログラムは後述の基板処理方法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などの媒体102に記憶されており、所定の読み取り装置により記憶部101へ読み込まれ、制御部100内にインストールできる。

【0052】

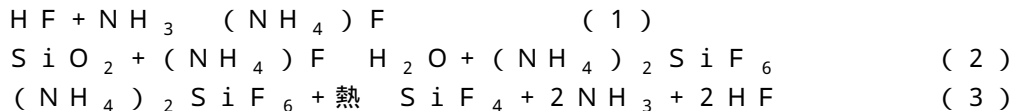
[基板処理方法]

次に、上述の基板処理装置を用いた本発明の実施形態に係る基板処理方法について説明する。本実施形態に係る基板処理方法は、種々の膜に対して適用可能であるが、本実施形態においては、シリコン酸化膜のエッチング及び成膜に関連する基板処理方法について説明する。なお、既に説明した構成要素については、上述の実施形態に係る基板処理装置と同一の参照符号を付して、その説明を省略する。

【0053】

まず、シリコン酸化膜の熱エッチングは、化学反応式(1)~(3)のような反応が発生することにより行われる。

【0054】



SiO<sub>2</sub>膜をエッチングする際、SiO<sub>2</sub>とHFでは反応しないため、アンモニアを添加してフッ化アンモニウムとしてSiO<sub>2</sub>エッチングを行う。よって、本実施形態に係る基板処理方法では、第1のエッチングガスノズル321からアンモニアを供給し、第2のエッチングガスノズル322からフッ化水素を供給する。

10

【0055】

本発明の本実施形態に係る基板処理方法は、種々のシミュレーションを含む実験で得られた知見に基づいてなされており、まずそれらの知見を理解した方が本実施形態の理解が容易であるので、まず、種々のシミュレーションを含む実験結果について説明する。

【0056】

図7は、分離ガスノズル41、42からN<sub>2</sub>ガスを供給し、第1及び第2のエッチングガスノズル321、322から第1及び第2のエッチングガスを供給した場合の真空容器1内のN<sub>2</sub>体積濃度を示したシミュレーション図である。

20

【0057】

なお、シミュレーション条件は、真空容器1内の圧力が8 Torr、回転テーブル2の温度が150℃であり、軸付近にある分離ガス供給管51からは1slmの流量でN<sub>2</sub>ガスを供給し、回転テーブル2と対向している分離ガスノズル41、42及び第1の成膜ガスノズル311からは5slmの流量でN<sub>2</sub>ガスを供給している。また、第2のエッチングガスノズル322からは200sccmのHFガス、第1のエッチングガスノズル322からは600sccmのNH<sub>3</sub>ガスを供給している。かかる条件下で、回転テーブル2の回転速度を20、120、240rpmに変化させて、各回転速度における真空容器1内のN<sub>2</sub>ガスの体積濃度をシミュレーションした。

【0058】

30

図7(a)は、回転テーブル2の回転速度を20rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図であり、図7(b)は回転テーブル2の回転速度を120rpm、図7(c)は回転テーブル2の回転速度を240rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図である。

【0059】

図7(a)~(c)において、領域QのN<sub>2</sub>体積濃度が最も高く、領域R、領域S、領域Oの順にN<sub>2</sub>体積濃度が高いことを示している。

【0060】

図7(a)~(c)を比較すると、N<sub>2</sub>ガスが供給されずに第1及び第2のエッチングガスが供給されている第2の処理領域P2において、図7(a)よりも図7(b)の方が領域Q、Rの面積が大きくなり、更に図7(c)が最も領域Q、Rの面積が大きくなっている。つまり、回転テーブル2の回転速度が高い程、第2の処理領域P2におけるN<sub>2</sub>ガスの体積濃度が高くなっている。これは、回転テーブル2の回転速度が高い程、分離領域DからのN<sub>2</sub>ガスの流入が大きいことを意味している。つまり、回転テーブル2が高速で回転する程、回転テーブル2の回転につられてN<sub>2</sub>ガスが分離領域Dから多く流出することになる。よって、回転速度が大きい程、第2の処理領域P2内における第1及び第2のエッチングガスの体積濃度は小さくなり、N<sub>2</sub>ガスの体積濃度が大きくなる。

40

【0061】

図8は、図7と同様の条件下において、第2の処理領域P2のHF体積濃度のシミュレーション結果を示した図である。また、図7(a)~(c)と同様に、図8(a)は、回

50

転テーブル2の回転速度を20rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図であり、図8(b)は回転テーブル2の回転速度を120rpm、図8(c)は回転テーブル2の回転速度を240rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図である。

【0062】

図8においては、HF体積濃度が、領域Q~Wの7段階に分類され、領域Qが最もHF体積濃度が高く、順にHF体積濃度が低くなって領域Wが最低のHF体積濃度の領域を示している。

【0063】

図8(a)~(c)を比較すると、回転テーブル2の回転速度が高くなるにつれてHF体積濃度の低い領域T~Wの面積が増加し、回転速度が240rpmのときに最もHF体積濃度が低い結果を示している。

10

【0064】

図9は、図7、8と同様の条件下において、第2の処理領域P2のNH<sub>3</sub>体積濃度のシミュレーション結果を示した図である。また、図7(a)~(c)及び図8(a)~(c)と同様に、図9(a)は、回転テーブル2の回転速度を20rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図であり、図9(b)は回転テーブル2の回転速度を120rpm、図9(c)は回転テーブル2の回転速度を240rpmとしたときのシミュレーション結果を示した図である。

【0065】

図9においても、図8と同様に、NH<sub>3</sub>体積濃度が、領域Q~Wの7段階に分類され、領域Qが最もHF体積濃度が高く、順にHF体積濃度が低くなって領域Wが最低のHF体積濃度の領域を示している。

20

【0066】

そして、図9(a)~(c)を比較すると、回転テーブル2の回転速度が高くなるにつれてNH<sub>3</sub>体積濃度の低い領域T~Wの面積が増加し、回転速度が240rpmのときに最もNH<sub>3</sub>体積濃度が低い結果を示している。

【0067】

図7~9に示されるように、回転テーブル2の回転速度が高くなればなる程、エッチングを行う第2の処理領域P2における第1及び第2のエッチングガス(NH<sub>3</sub>、HF)の体積濃度は低くなり、N<sub>2</sub>ガスの体積濃度が高くなる。この結果、回転速度が高い程、エッチングレートが低下するが、N<sub>2</sub>ガスの割合が多くなり、エッチング自体はマイルドになるとということが推測される。

30

【0068】

図10は、本発明の実施形態に係る基板処理方法で実施するエッチング工程の回転数依存性を調べた実験結果である。より詳細には、図10は、回転テーブルの回転速度とエッチングレートとの関係をウエハの中心において調べた実験結果である。

【0069】

なお、エッチングは、ウエハWの表面上の平坦な領域に成膜されたSiO<sub>2</sub>膜を対象とし、回転テーブル2の温度は200、真空容器1内の圧力は8Torr、HFガスの流量は200sccm、NH<sub>3</sub>の流量は600sccmとした。

40

【0070】

図10において、横軸が回転テーブル2の回転速度(rpm)、縦軸がエッチングレート(nm/min)を示している。図10に示されるように、エッチングレートは、回転テーブル2の回転速度が20rpmのとき28.79nm/min、60rpmのとき26.66nm/min、120rpmのとき21.39nm/min、240rpmのとき14.37nm/minであり、回転速度が低い程エッチングレートが高く、回転速度が増加するにつれてエッチングレートが低下するという結果であった。

【0071】

このように、図10に示した実験結果から、回転テーブル2の回転速度を低下させるとエッチングレートは増加し、回転速度を増加させるとエッチングレートが低下することが

50

示された。

【 0 0 7 2 】

図 1 1 は、回転テーブル 2 の回転速度とエッチング後のシリコン酸化膜の表面粗さとの関係を知るために行った実験の結果を示す図である。

【 0 0 7 3 】

図 1 1 における実験は、回転テーブル 2 の温度が 1 5 0 、真空容器 1 内の圧力が 8 T o r r、HF ガスの流量が 2 0 0 s c c m、NH<sub>3</sub> ガスの流量が 6 0 0 s c c m、エッチング時間は 1 分間という条件下で行った。

【 0 0 7 4 】

図 1 1 ( a ) ~ ( d ) は、それぞれ回転テーブル 2 の回転速度を 2 0 r p m、6 0 r p m、1 2 0 r p m、2 4 0 r p m としたときのエッチング後の膜の表面を示した S E M ( Scanning Electron Microscopy ) 画像であり、図 1 1 ( e ) は、エッチング前の膜の表面を示した S E M 画像である。また、図 1 1 ( f ) は、各々の回転速度におけるエッチング量を示した図である。

10

【 0 0 7 5 】

図 1 1 ( a ) ~ ( d ) に示されるように、回転速度が高い程、エッチング後の膜の表面は滑らかになり、表面粗さが小さくなっている。これは、回転速度が高い程、1 回の回転テーブル 2 の回転でエッチングガスに曝される時間が短くなり、エッチング反応の量が小さくなるため、1 回のエッチング量が少ないエッチングを数多く行うことになり、よりきめ細かなエッチング処理が可能となるためと考えられる。

20

【 0 0 7 6 】

このように、エッチング後の膜の表面粗さを小さくしたい場合には、回転テーブル 2 の回転速度を高くしてエッチングを行うことが有効である。

【 0 0 7 7 】

図 1 2 は、ウエハ W の表面にビア、トレンチ等の凹形状パターンが形成されている場合のエッチングと回転テーブルの回転速度との関係を示す実験結果である。図 1 2 に示す実験では、ウエハ W の表面にビア、トレンチ等の凹形状パターンが形成されており、凹形状パターン内に凹状の成膜を行ってからエッチングを行った。

【 0 0 7 8 】

図 1 2 ( a ) は、エッチング前の成膜時のビアの状態を示す図であり、図 1 2 ( b ) は、回転テーブル 2 の回転速度を 2 0 r p m としたエッチング後のビアの状態を示す図である。同様に、図 1 2 ( c ) は、回転テーブル 2 の回転速度を 6 0 r p m としたエッチング後のビアの状態を示す図であり、図 1 2 ( d ) は、回転テーブル 2 の回転速度を 1 2 0 r p m としたエッチング後のビアの状態を示す図であり、図 1 2 ( e ) は、回転テーブル 2 の回転速度を 2 4 0 r p m としたエッチング後のビアの状態を示す図である。

30

【 0 0 7 9 】

図 1 2 に係る実験では、回転テーブル 2 の温度が 1 5 0 、真空容器 1 内の圧力が 8 T o r r、HF ガスの流量が 2 0 0 s c c m、NH<sub>3</sub> ガスの流量が 6 0 0 s c c m で、回転テーブル 2 の回転速度を 2 0 r p m、6 0 r p m、1 2 0 r p m、2 4 0 r p m に設定し、1 分間エッチングを行った場合の熱エッチング量を、ビアの深さ方向で分割して各々測定した。ビアは、8 n m の深さを有し、深さ方向に 2 n m に区切り、表面と最上部側面を T O P & T - S i d e、次の 2 n m を T - M、次の真中の 2 n m を M I D、次の底寄りの 2 n m を M - B、底の 2 n m を B T M と呼ぶこととした。

40

【 0 0 8 0 】

まず、図 1 2 ( a ) に示すように、ビア内に、膜厚 3 8 n m を有する S i O<sub>2</sub> 膜を凹形状に沿って凹状に成膜した。

【 0 0 8 1 】

図 1 2 ( b ) に示すように、これを、回転テーブル 2 を 2 0 r p m の回転速度で回転させながら 1 分間エッチングを行った所、T O P の残った膜の厚さが 3 ~ 9 n m、T - S i d e が 4 ~ 6 n m であった。一方、B T M でエッチング後に残った膜厚は 3 0 ~ 3 1 n m

50

であり、BTM（底部）と比較してTOP及びT-Side（最上部）のエッチング量が大きく、全体として略V字形状にエッチングされた。

【0082】

また、図12(c)に示すように、回転テーブル2を60rpmの回転速度で回転させながら1分間エッチングを行った所、TOPの残った膜の厚さが3~8nm、T-Sideが6~10nmであった。一方、BTMでエッチング後に残った膜厚は30~31nmであり、BTM（底部）と比較してTOP及びT-Side（最上部）のエッチング量の方が大きく、図12(b)より最上部と底部の差が小さいV字であるが、全体としては略V字形状にエッチングされた。

【0083】

更に、図12(d)に示すように、回転テーブル2を120rpmの回転速度で回転させながら1分間エッチングを行った所、TOPの残った膜の厚さが11~17nm、T-Sideが12~13nmであった。一方、BTMでエッチング後に残った膜厚は29~30nmであり、BTM（底部）と比較してTOP及びT-Side（最上部）のエッチング量の方が大きいものの、その差は図12(b)よりも小さくなり、全体としてはV字形状よりもストレートな凹形状に近い形状にエッチングされた。

【0084】

なお、回転テーブル2の回転数120rpmは、成膜時にも一般的に用いる回転テーブルの回転速度である。

【0085】

また、図12(e)に示すように、回転テーブル2を240rpmの回転速度で回転させながら1分間エッチングを行った所、TOPの残った膜の厚さが25~26nm、T-Sideが29nmであった。一方、BTMでエッチング後に残った膜厚は30~33nmであり、BTM（底部）と比較してTOP及びT-Side（最上部）のエッチング量はあまり差が無くなり、全体としてはストレートな凹形状に近い形状にエッチングされた。

【0086】

このように、図12に示す実験結果から、回転テーブル2の回転速度を低くすると凹形状パターン内に成膜された膜がV字形状にエッチングされ、回転テーブル2の回転速度を高くすると、凹形状パターンに沿った形状にエッチングされ易いことが分かった。

【0087】

図13は、図12で示した実験結果を、ビアの位置毎にエッチング量(nm)で数値として示した図である。図13に示されるように、回転速度が20rpmの場合、TOPとT-Sideのエッチング量が他の箇所と比較して大きく、V字形状にエッチングされていることが分かる。一方、回転速度が240rpmの場合、TOP及びT-Sideを含めて総ての箇所がほぼ同じエッチングレートとなっているため、凹形状に沿った凹状に膜がエッチングされることが分かる。回転速度が60rpm、120rpmの場合は、その中間の状態を各々示している。

【0088】

よって、図12及び図13の実験結果から、凹形状パターン内に成膜された膜をV字状にエッチングしたい場合には回転テーブル2の回転速度を低下させてエッチングを行えばよく、凹形状に沿った形状で、また膜の表面粗さを抑制してエッチングを行いたい場合には、回転テーブル2の回転速度を高くしてエッチングを行えばよいことが分かった。

【0089】

今まで説明した実験結果を踏まえて、回転テーブル2の回転速度を適切に制御してエッチングを行う本発明の実施形態に係る基板処理方法について説明する。

【0090】

図14は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の一例の前段の工程を示した図である。図14は、ウエハWの表面に、凹形状パターンが形成され、凹形状パターン内にシリコン酸化膜を成膜してから凹形状パターン内のシリコン酸化膜をV字形状の断面にエッチン

10

20

30

40

50



グする工程を示している。

【0091】

以下、図14の他、図1～6も参照しながら、ウエハWの搬入から、実際の基板処理動作に即して本実施形態に係る基板処理方法について説明する。

【0092】

まず、図示しないゲートバルブを開き、図2、3に示されるように、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の底部側から不図示の昇降ピン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。

10

【0093】

続いてゲートバルブを閉じ、真空ポンプ640により真空容器1内を引き切りの状態にした後、分離ガスノズル41、42から分離ガスである $N_2$ ガスを所定の流量で吐出し、分離ガス供給管51及びパージガス供給管72、73からも $N_2$ ガスを所定の流量で吐出する。これに伴い、圧力調整手段650により真空容器1内を予め設定した処理圧力に調整する。次いで、回転テーブル2を時計回りに例えば120rpmの回転速度で回転させながらヒータユニット7によりウエハWを例えば450℃に加熱する。

【0094】

次に、成膜工程を実行する。成膜工程では、第1の成膜ガスノズル311からはSi含有ガスを供給し、第2の成膜ガスノズル312からは酸化ガスを供給する。また、第1のエッチングガスノズル321及び第2のエッチングガスノズル322からは、 $N_2$ ガスをパージガスとして供給するか、又は何もガスを供給しない。なお、Si含有ガスは、種々のガスを用いることができるが、本実施例では、LTOを用いた例を挙げて説明する。また、酸化ガスも、種々のガスを用いることができるが、ここでは、酸素ガスを用いた例を挙げて説明する。

20

【0095】

ウエハWが第1の処理領域Pを通過したときに、原料ガスであるLTOが第1の成膜ガスノズル311から供給されてウエハWの表面上に吸着する。表面上にLTOが吸着したウエハWは、回転テーブル2の回転により分離ガスノズル42を有する分離領域Dを通過してパージされた後、第2の処理領域P2に入る。第2の処理領域では、第2の成膜ガスノズル312から酸素ガスが供給され、LTOに含まれるSi成分が酸素ガスにより酸化され、反応生成物である $SiO_2$ がウエハWの表面に堆積する。第2の処理領域P2を通過したウエハWは、分離ガスノズル41を有する分離領域Dを通過してパージされた後、第1の処理領域P1に入る。ここでまた第1の成膜ガスノズル311からLTOが供給され、LTOがウエハWの表面に吸着する。そして、ここから同様のサイクルを繰り返すことにより、ウエハWの表面に反応生成物である $SiO_2$ が堆積し、 $SiO_2$ 膜が成膜される。

30

【0096】

必要に応じて、所定の膜厚まで $SiO_2$ 膜が成膜された後、第1の成膜ガスノズル311からはLTOの供給を停止し、第2の成膜ガスノズル312からは酸素ガスを供給し続け、回転テーブル2の回転を継続することにより、 $SiO_2$ 膜の改質処理を行うようにしてもよい。

40

【0097】

図14(a)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第1の成膜工程の一例を示した図である。

【0098】

図14(a)に示すように、成膜工程を実行することにより、凹形状パターンの1つであるビア80内にシリコン酸化膜90が成膜される。図14(a)に示すように、最初にビア80内に形成されるシリコン酸化膜90は、凹形状に沿った断面形状を有する。

50

## 【0099】

図14(b)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第1のエッチング工程の一例を示した図である。エッチング工程では、シリコン酸化膜90が、V字の断面形状にエッチングされる。エッチング工程は、具体的には、以下のように実行される。

## 【0100】

図2、3に示される第1及び第2の成膜ガスノズル311、312からのLTO及び酸素ガスの供給は停止し、何も供給されないかわりに $N_2$ ガスがパージガスとして供給された状態となる。回転テーブル2は、熱エッチングに適した温度に設定され、例えば、150程度に設定される。また、回転テーブル2の回転速度は、20~60rpmの低速回転に設定され、例えば20rpmに設定される。この状態で、第1のエッチングガスノズル321から $NH_3$ ガス、第2のエッチングガスノズル322からHFガスが供給され、エッチング処理が開始する。 $NH_3$ とHFは、上述の化学反応式(1)に示したように反応してフッ化アンモニウムとなり、化学反応式(2)、(3)で示したように熱分解が発生してシリコン酸化膜90がエッチングされる。その際、回転テーブル2が低速の20rpmで回転しているため、図12、13で説明したように、シリコン酸化膜90はV字の断面形状にエッチングされる。ビア80内のシリコン酸化膜90をV字形状にエッチングすることにより、最上部の開口が広い孔をシリコン酸化膜90に形成することができ、次の成膜時に底部までシリコン酸化膜90を埋め込むことができ、ボトムアップ性が高く、ボイドが発生し難い成膜を行うことができる。

## 【0101】

図14(c)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第2の成膜工程の一例を示した図である。第2の成膜工程では、第1のエッチング工程でV字状にエッチングされたシリコン酸化膜90上に更にシリコン酸化膜が成膜され、膜厚が増加する。V字状にエッチングされたシリコン酸化膜90上に成膜されるため、成膜時に入口が塞がれず、シリコン酸化膜90の底部から膜を堆積することができる。

## 【0102】

なお、基板処理装置の動作は、図14(a)で説明した第1の成膜工程と同様の動作でよいので、その説明を省略する。

## 【0103】

図14(d)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第2のエッチング工程の一例を示した図である。第2のエッチング工程では、第1のエッチング工程と同様に、シリコン酸化膜90がV字形状にエッチングされる。なお、基板処理装置の動作は、図14(b)で説明した第1のエッチング工程と同様でよいので、その説明を省略する。

## 【0104】

図14(e)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第3の成膜工程の一例を示した図である。第3の成膜工程では、第2の成膜工程と同様に、V字にエッチングされたシリコン酸化膜90上に、更にシリコン酸化膜90が堆積され、膜厚が増大する。

## 【0105】

図15は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の一例の後段の工程を示した図である。図15(a)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第3のエッチング工程の一例を示した図であり、図15(b)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第4の成膜工程の一例を示した図である。また、図15(c)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の第4のエッチング工程の一例を示した図であり、図15(d)は、本発明の実施形態に係る基板処理方法の最終埋め込み工程の一例を示した図である。

## 【0106】

図15(a)~(c)に示すように、エッチング、成膜、エッチングを必要な回数だけ繰り返し、シリコン酸化膜90内にボイドが発生しないようにしながら、ビア80を埋め込んでゆく。エッチング工程及び成膜工程の繰り返し回数は、ビア80等の凹形状パターンのアスペクト比を含めた形状に応じて、適切な回数とすることができる。アスペクト比が大きければ、繰り返し回数は多くなる。また、トレンチよりもビアの方が、繰り返し回

10

20

30

40

50

数が多くなることが推定される。

【0107】

図14(b)~(e)、図15(a)~(c)に示したエッチング工程及び成膜工程を繰り返し、最終的には、図15(d)に示すように、ビア80が完全にシリコン酸化膜90で埋め込まれる。

【0108】

このように、成膜工程とV字形状エッチングを繰り返すことにより、ボイドの無い埋め込みを行うことができる。

【0109】

なお、後半に行うエッチング工程において、V字形状の形成よりもエッチング後のシリコン酸化膜90の表面粗さを小さくすることの方が重要になってきたら、回転テーブル2の回転速度を高速に設定し、表面粗さを抑制するエッチングを行うようにしてもよい。このように、回転テーブル2の回転速度を工程に応じて制御することにより、所望の埋め込みを行うことができる。なお、回転テーブル2の回転速度の設定は、レシピに基づいて、制御部100で行うようにしてよい。

10

【0110】

また、本実施形態においては、成膜工程とエッチング工程とを複数回交互に繰り返し、ウエハWの表面に形成された凹形状パターンに埋め込み成膜を行う例について説明したが、最初から成膜されたウエハWを搬入し、エッチングのみ行うようにしてもよい。また、第1及び第2の成膜ガスノズル311、312、及び第1及び第2のエッチングガスノズル321、322の双方から成膜ガス及びエッチングガスを各々同時に供給し、回転テーブル2を反時計回りに回転させ、1回転の中で成膜とエッチングを順次繰り返すような基板処理方法としてもよい。

20

【0111】

以上、本発明の好ましい実施形態について詳説したが、本発明は、上述した実施形態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、上述した実施形態に種々の変形及び置換を加えることができる。

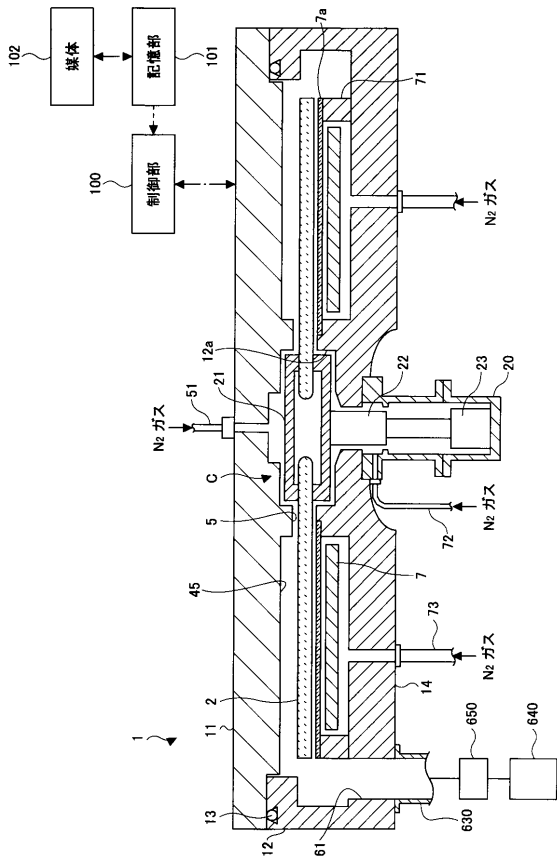
【符号の説明】

【0112】

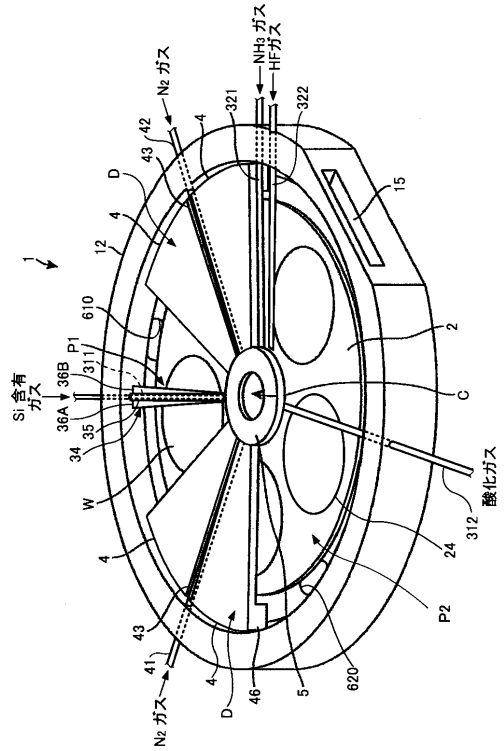
- 1 真空容器
- 2 回転テーブル
- 41、42 分離ガスノズル
- 100 制御部
- 311、312 成膜ガスノズル
- 321、322 エッチングガスノズル
- W 基板(半導体ウエハ)
- P1 第1の処理領域
- P2 第2の処理領域
- D 分離領域

30

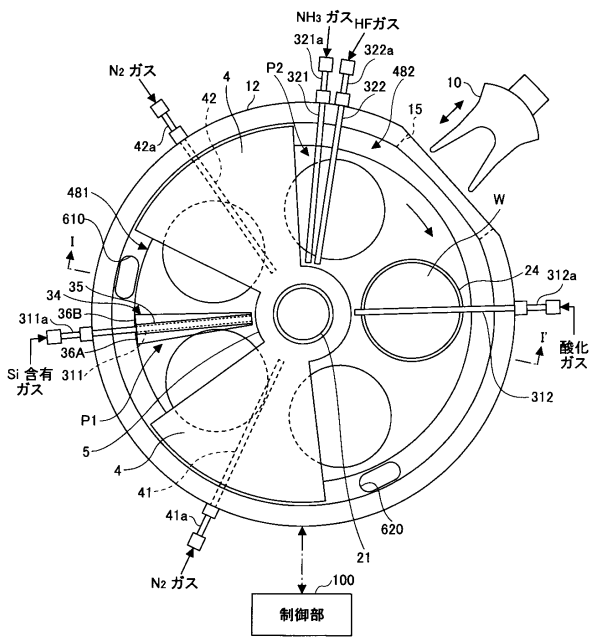
【図1】



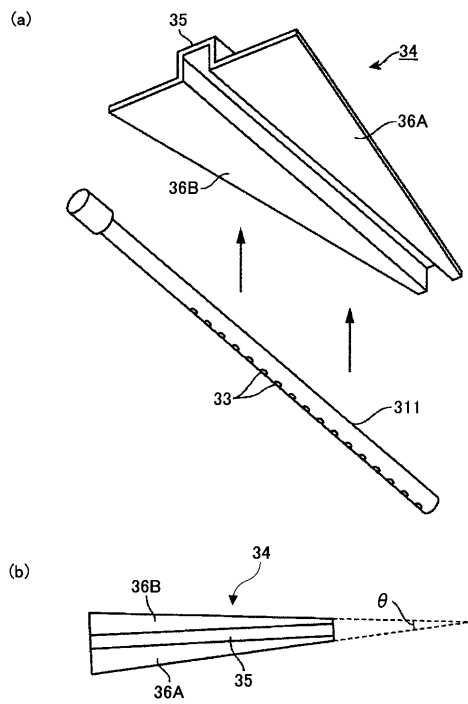
【図2】



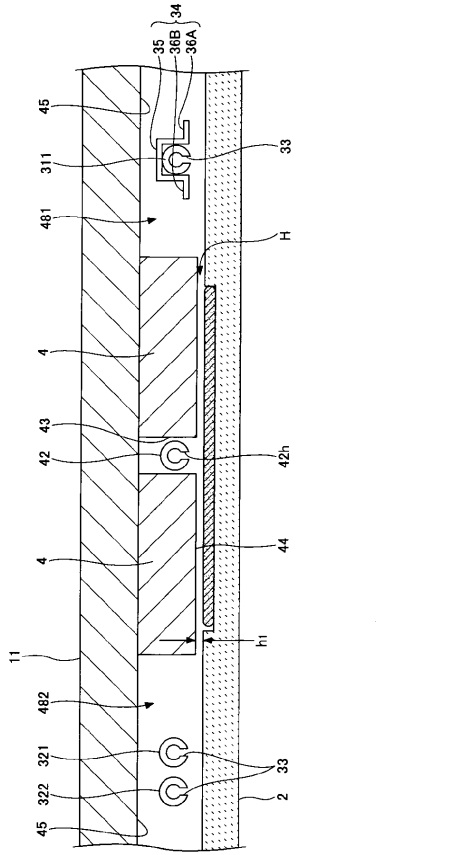
【図3】



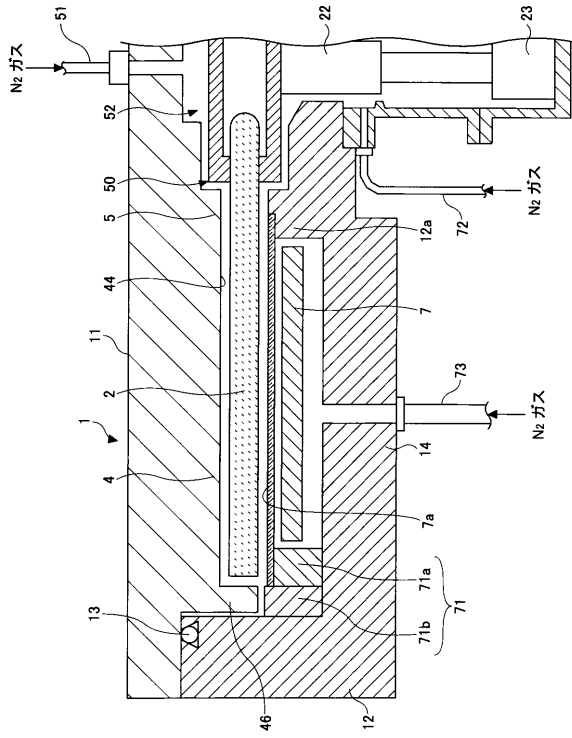
【図4】



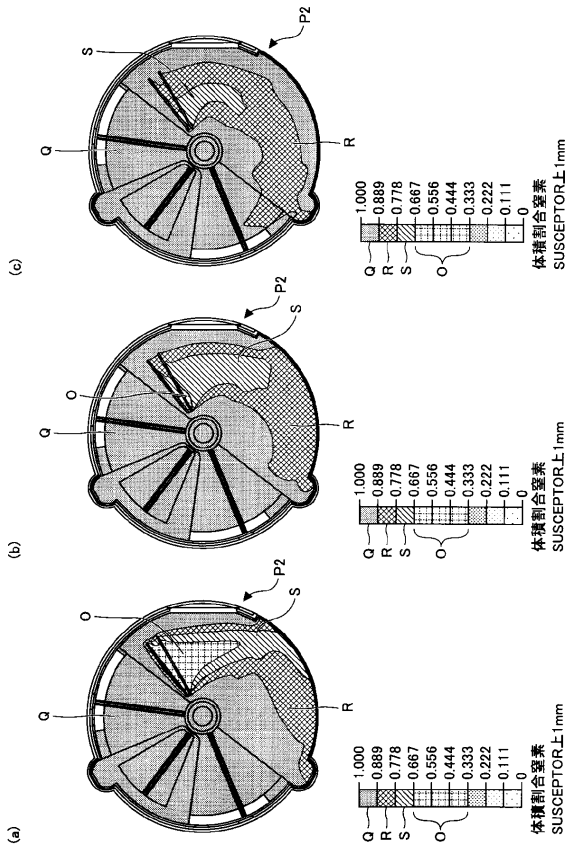
【図5】



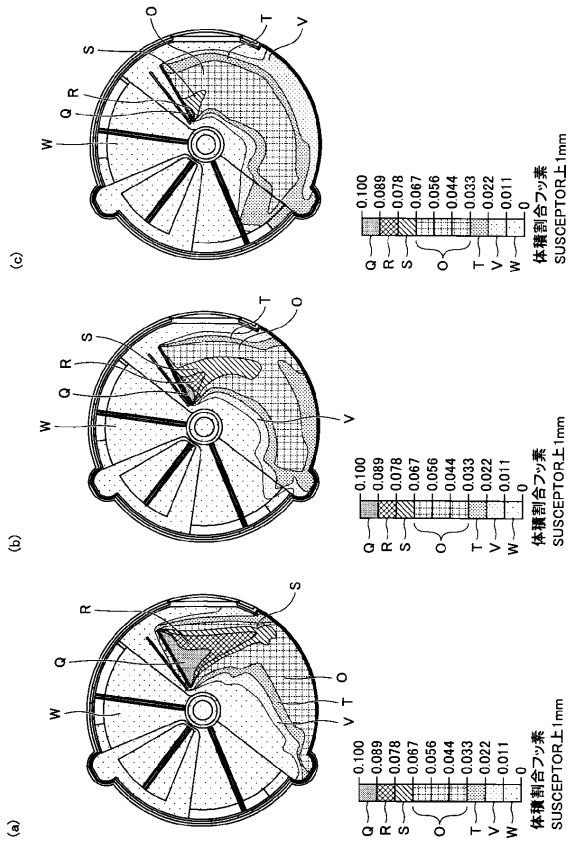
【図6】



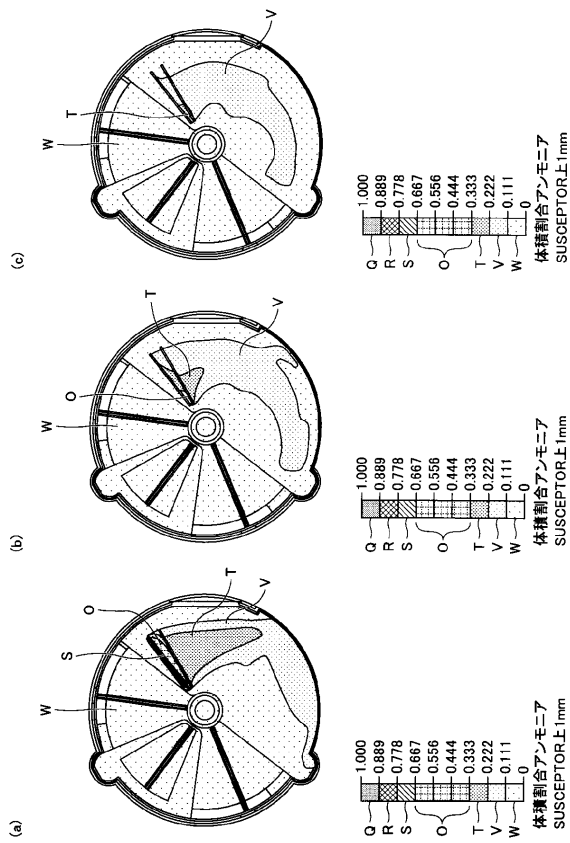
【図7】



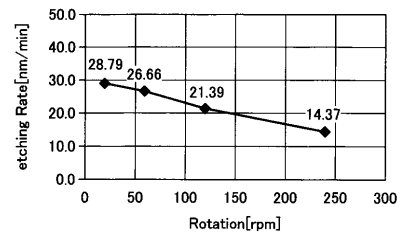
【図8】



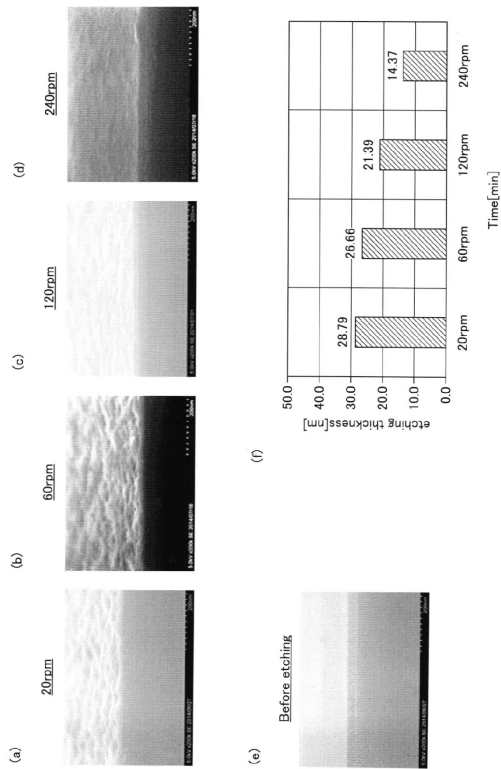
【図9】



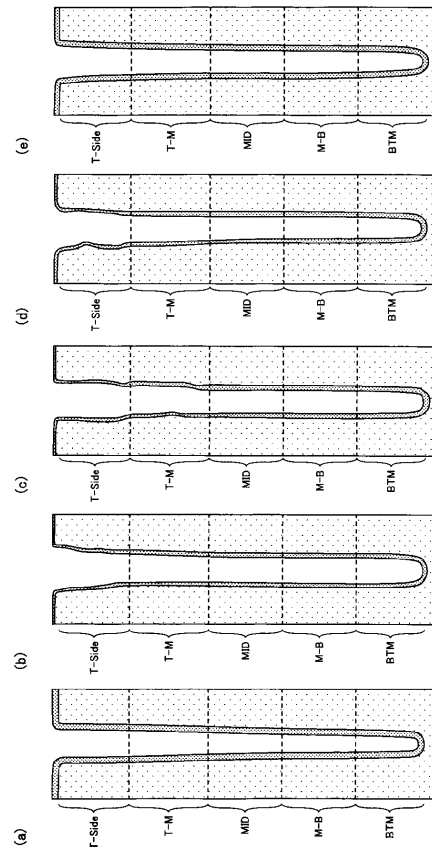
【図10】



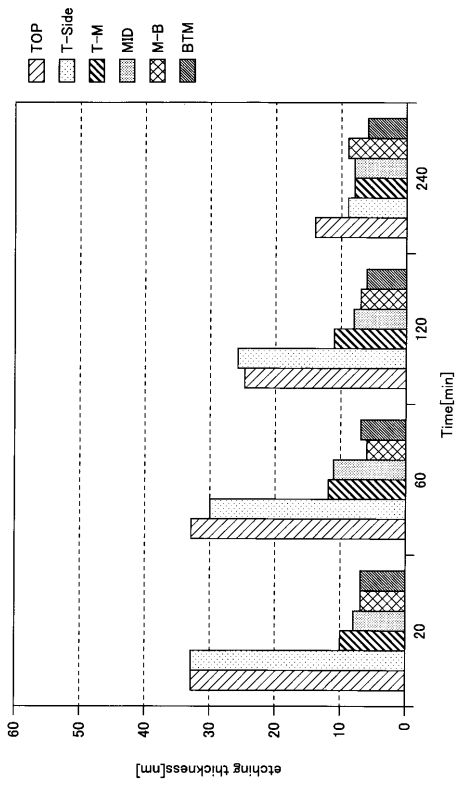
【図11】



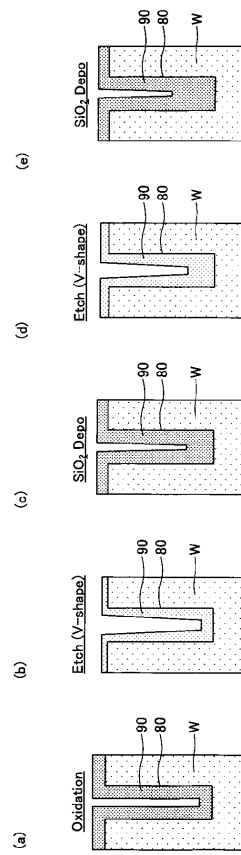
【図12】



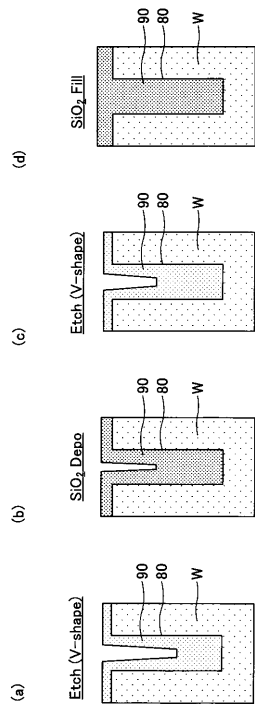
【 1 3 】



【 1 4 】



【 1 5 】



---

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 菊地 宏之  
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

審査官 佐藤 靖史

- (56)参考文献 特開2012-209394(JP,A)  
特開平08-274072(JP,A)  
特開2012-124512(JP,A)  
特開2010-153805(JP,A)  
特開2013-135154(JP,A)  
特開2010-263245(JP,A)  
特開2008-235857(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302  
C23C 16/44  
H01L 21/3065  
H01L 21/31  
H01L 21/316