

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5357710号
(P5357710)

(45) 発行日 平成25年12月4日(2013.12.4)

(24) 登録日 平成25年9月6日(2013.9.6)

(51) Int.CI.

H01L 21/3065 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 105A

請求項の数 13 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2009-261018 (P2009-261018)
 (22) 出願日 平成21年11月16日 (2009.11.16)
 (65) 公開番号 特開2011-108782 (P2011-108782A)
 (43) 公開日 平成23年6月2日 (2011.6.2)
 審査請求日 平成24年11月14日 (2012.11.14)

(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 100120075
 弁理士 大山 浩明
 (72) 発明者 本田 昌伸
 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 粟野 正明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】基板処理方法、基板処理装置、プログラムを記録した記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

減圧可能に構成され、上部電極と下部電極が対向して配置された処理室内において、前記電極間に高周波電力を印加して所定のガスのプラズマを生起することで前記下部電極上に載置された基板に対して所定の処理を施す基板処理方法であって、

被エッチング膜上に形成された反射防止膜上に、複数の開口部を有するレジストパターンが形成された前記基板に対して、前記被エッチング膜をエッチングする前に前記レジストパターンの各開口部の側壁に堆積物を堆積させるステップを有し、

前記堆積ステップ後に前記エッチングを連続して行い、

前記堆積ステップは、前記処理室の圧力を100mTorr以上にし、CHF系ガスを1000sccm以上導入してプラズマを生起することを特徴とする基板処理方法。

【請求項2】

前記CHF系ガスはCHF₃ガスであることを特徴とする請求項1に記載の基板処理方法。

【請求項3】

前記堆積ステップにおける前記CHF₃ガスの流量は、1500sccm以上3000sccm以下であることを特徴とする請求項2に記載の基板処理方法。

【請求項4】

前記堆積ステップにおける前記処理室の圧力は、150mTorr以上であることを特徴とする請求項3に記載の基板処理方法。

【請求項 5】

前記堆積ステップにおける前記C H F系ガスのレジデンスタイムは0.1秒以下であることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 6】

前記基板の被エッチング膜と反射防止膜との間には、下層レジスト膜が形成されていることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の基板処理方法。

【請求項 7】

減圧可能に構成され、上部電極と下部電極が対向して配置された処理室内において、前記電極間に高周波電力を印加して所定のガスのプラズマを生起することで前記下部電極上に載置された基板に対して所定の処理を施す基板処理装置であって、

10

前記下部電極に所定の高周波電力を印加する電力供給装置と、

前記処理室内に所定のガスを供給するガス供給部と、

前記処理室内を排気して所定の圧力に減圧する排気部と、

被エッチング膜上に形成された反射防止膜上に、複数の開口部を有するレジストパターンが形成された前記基板に対して、前記被エッチング膜をエッチングする前に前記レジストパターンの各開口部の側壁に堆積物を堆積させるステップを実行する制御部を、備え、

前記制御部は、前記堆積ステップ後に前記エッチングを連続して行い、前記堆積ステップにおいて前記処理室内の圧力を100mTorr以上にし、C H F系ガスを1000sccm以上導入してプラズマを生起することを特徴とすることを特徴とする基板処理装置。

20

【請求項 8】

前記C H F系ガスはC H F₃ガスであることを特徴とする請求項7に記載の基板処理装置。

【請求項 9】

前記堆積ステップにおける前記C H F₃ガスの流量は、1500sccm以上3000sccm以下であることを特徴とする請求項8に記載の基板処理装置。

【請求項 10】

前記堆積ステップにおける前記処理室内の圧力は、150mTorr以上であることを特徴とする請求項9に記載の基板処理装置。

【請求項 11】

30

前記堆積ステップにおける前記C H F系ガスのレジデンスタイムは0.1秒以下であることを特徴とする請求項7～10のいずれかに記載の基板処理装置。

【請求項 12】

前記基板の被エッチング膜と反射防止膜との間には、下層レジスト膜が形成されていることを特徴とする請求項7～10のいずれかに記載の基板処理装置。

【請求項 13】

請求項1に記載の堆積ステップを実行するプログラムを記録したことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば半導体ウエハ、F P D基板などの基板上に薄膜を堆積させる堆積ステップを行う基板処理方法、基板処理装置、記憶媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスや液晶表示装置などのフラットパネルの製造工程においては、例えば半導体ウエハ、F P D基板などの基板に対して成膜、エッチングなどのプロセス処理を施すことで、基板上に所望の微小構造（例えばホールやトレンチなど）のパターンが形成される。半導体デバイスは年々高集積化する傾向にあり、例えば基板上に形成されるパターン

50

の微細化に応えるためにレジスト材料や露光技術の改善が進み、レジストパターンの開口寸法も相当小さくなっている。

【0003】

このような微細化が進むに連れて、基板上の被エッチング膜をレジストパターンをマスクとしてエッチングする際に、レジストパターンの開口寸法が広がったり、被エッチング膜の凹部の側壁のエッチングが進みすぎてホールやトレンチの微小寸法 (C D : Critical Dimension) が目標値とずれてしまったりして、設計通りのデバイス特性が得られないという問題が露見している。

【0004】

このような問題に対応するため、近年では例えばエッチング前に例えば C H F 系などの処理ガスを供給してレジストパターンに堆積物を堆積させる堆積ステップを行うことによってレジストパターンの開口寸法を小さくしておき、その後にエッチングすることで、被エッチング膜に形成されるパターンの微小寸法が目標値からずれることを防止したり、被エッチング膜にレジストパターンの開口寸法よりも狭い開口のパターンを形成したりする技術の開発が進んでいる（例えば特許文献 1, 2 参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2007 - 194284 号公報

【特許文献 2】特開 2007 - 273866 号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、上述した堆積ステップにおいてレジストパターンの開口部の側壁に堆積物を満遍なく良好に堆積させるためにはラジカル密度を高くすればよい。そのためには処理室内の圧力を例えば 100 mTorr 以上に高くして処理ガスを供給することが望ましい。

【0007】

しかしながら、堆積ステップで処理室内の圧力を高くするほど、エッチング後に形成されたパターンの微小寸法には基板面内で堆積度合いにばらつきが生じることがわかってきた。これは、処理室内の圧力を高くするほど処理ガスの解離が進行し易くなるので、基板の径方向で処理ガスの解離度に差が生じて、基板面内で堆積度合いのばらつきが生じることが主な要因と考えられる。このような微小寸法のばらつきは nm オーダー程度ではあるが、今後更なるパターンの微細化の要請に応えるにはこの程度のばらつきも無視できなくなる。

30

【0008】

そこで、本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、処理室内の圧力を高くしても、基板面内における堆積度合いのばらつきを効果的に抑制できる基板処理装置等を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

40

上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、減圧可能に構成され、上部電極と下部電極が対向して配置された処理室内において、前記電極間に高周波電力を印加して所定のガスのプラズマを生起することで前記下部電極上に載置された基板に対して所定の処理を施す基板処理方法であって、被エッチング膜上に形成された反射防止膜上に、複数の開口部を有するレジストパターンが形成された前記基板に対して、前記被エッチング膜をエッチングする前に前記レジストパターンの各開口部の側壁に堆積物を堆積させるステップを有し、前記堆積ステップは、前記処理室内の圧力を 100 mTorr 以上にし、 C H F 系ガスを 1000 sccm 以上導入してプラズマを生起することを特徴とする基板処理方法が提供される。

【0010】

50

上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、減圧可能に構成され、上部電極と下部電極が対向して配置された処理室内において、前記電極間に高周波電力を印加して所定のガスのプラズマを生起することで前記下部電極上に載置された基板に対して所定の処理を施す基板処理装置であって、前記下部電極に所定の高周波電力を印加する電力供給装置と、前記処理室内に所定のガスを供給するガス供給部と、前記処理室内を排気して所定の圧力を減圧する排気部と、被エッチング膜上に形成された反射防止膜上に、複数の開口部を有するレジストパターンが形成された前記基板に対して、前記被エッチング膜をエッチングする前に前記レジストパターンの各開口部の側壁に堆積物を堆積させるステップを実行する制御部を備え、前記制御部は、前記堆積ステップにおいて前記処理室の圧力を100mTorr以上にし、CHF系ガスを1000sccm以上導入してプラズマを生起することを特徴とすることを特徴とする基板処理装置が提供される。

【0011】

上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、上記堆積ステップを実行するプログラムを記録したことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体が提供される。

【0012】

また、上記堆積ステップにおいてCHF系ガスは例えばCHF₃ガスである。この場合のCHF₃ガスの流量は、1500sccm以上3000sccm以下であることが好ましい。上記堆積ステップにおける前記処理室の圧力は、150mTorr以上であることが好ましい。上記堆積ステップにおける前記処理ガスのレジデンスタイムは0.1秒以下であることが好ましい。また、上記基板の被エッチング膜と反射防止膜との間には、下層レジスト膜が形成されていてもよい。

【0013】

なお、本明細書中1mTorrは($10^{-3} \times 101325 / 760$)Pa、1sccmは($10^{-6} / 60$)m³/secとする。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、エッチングに先立って行われる堆積ステップにおいて、処理ガスの流量を従来以上に大きく増加することで、処理室内の圧力を高くしても、基板面内における堆積度合いのばらつきを効果的に抑制できる。これにより、レジストパターンの開口の側壁に満遍なく堆積物を堆積させつつ、基板面内における堆積度合いの均一性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の実施形態にかかるプラズマ処理装置を示す断面図である。

【図2】エッチング前のウエハの膜構造の具体例を示す図である。

【図3】エッチング後のウエハの膜構造の具体例を示す図である。

【図4】処理ガスのガス流量とガス解離率との関係を示す図である。

【図5A】ウエハ上の被エッチング膜にトレンチを形成する際の堆積ステップ後の膜構造を示す図である。

【図5B】図5Aに示す膜構造に対して反射防止膜のエッチングを行った後の膜構造を示す図である。

【図5C】図5Bに示す膜構造に対して被エッチング膜のエッチングを行った後の膜構造を示す図である。

【図5D】図5Cに示す膜構造に対してアッシングを行った後の膜構造を示す図である。

【図6】本実施形態にかかる堆積ステップの流れを示す図である。

【図7】本実施形態にかかる堆積ステップにおいて処理ガスの流量を変えてウエハ面内のデポジションレートを測定した実験結果を示す図である。

【図8A】図7において処理ガス流量を200sccmとした場合のウエハWのセンタ部とエッジ部における開口部を比較した図である。

10

20

30

40

50

【図 8 B】図 7において処理ガス流量を 1000 sccmとした場合のウエハ W のセンタ部とエッジ部における開口部を比較した図である。

【図 8 C】図 7において処理ガス流量を 1500 sccmとした場合のウエハ W のセンタ部とエッジ部における開口部を比較した図である。

【図 8 D】図 7において処理ガス流量を 3000 sccmとした場合のウエハ W のセンタ部とエッジ部における開口部を比較した図である。

【図 9 A】ウエハのセンタ部とエッジ部の溝幅 C D 及びその寸法差 C D と、処理ガスの流量との関係を示す図であり、トレンチの線幅と溝幅の割合が 1 : 1 の密のレジストパターンのウエハを用いた場合である。

【図 9 B】ウエハのセンタ部とエッジ部の溝幅 C D 及びその寸法差 C D と、処理ガスの流量との関係を示す図であり、トレンチの線幅と溝幅の割合が 1 : 2 の密のレジストパターンのウエハを用いた場合である。

【図 9 C】ウエハのセンタ部とエッジ部の溝幅 C D 及びその寸法差 C D と、処理ガスの流量との関係を示す図であり、トレンチの線幅と溝幅の割合が 1 : 3 の密のレジストパターンのウエハを用いた場合である。

【図 9 D】ウエハのセンタ部とエッジ部の溝幅 C D 及びその寸法差 C D と、処理ガスの流量との関係を示す図であり、トレンチの線幅と溝幅の割合が粗のレジストパターンのウエハを用いた場合である。

【図 10】堆積ステップにおいて処理室内圧力を変えてウエハのセンタ部において開口部のトップ部とボトム部の溝幅 C D を測定した実験結果を示す図である。

【図 11】図 10における開口部のトップ部とボトム部の溝幅 C D をグラフにした図である。

【図 12】本実施形態を適用可能な他のウエハの層構造の具体例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0017】

(基板処理装置の構成例)

先ず、本発明の実施形態にかかる基板処理装置の構成例について図面を参照しながら説明する。ここでは、基板処理装置として、載置台を兼ねる 1 つの電極 (下部電極) に例えば 40 MHz の比較的高い周波数を有する第 1 高周波電力 (プラズマ生起用高周波電力) と、例えば 13.56 MHz の比較的低い周波数を有する第 2 高周波電力 (バイアス電圧用高周波電力) を重畠して印加して、ウエハ上に形成された被エッチング膜のエッチングを行うプラズマ処理装置を例に挙げて説明する。図 1 は本実施形態にかかるプラズマ処理装置の概略構成を示す断面図である。

【0018】

図 1 に示すようにプラズマ処理装置 100 は例えば表面が陽極酸化処理 (アルマイト処理) されたアルミニウムまたはステンレス鋼等の金属から成る円筒形状に成形された処理容器を有する処理室 (チャンバ) 102 を備える。処理室 102 は接地されている。処理室 102 内には、基板例えば半導体ウエハ (以下、単に「ウエハ」とも称する。) W を載置する載置台を兼ねた円板状の下部電極 (サセプタ) 110 と、下部電極 110 に対向して配設され、処理ガスやバージガスなどを導入するシャワーヘッドを兼ねた上部電極 120 とを備える。

【0019】

下部電極 110 は例えばアルミニウムからなる。下部電極 110 は処理室 102 の底部から垂直上方に延びる筒状部 104 に絶縁性の筒状保持部 106 を介して保持されている。下部電極 110 の上面には、ウエハ W を静電吸着力で保持するための静電チャック 112 が設けられている。静電チャック 112 は例えば導電膜からなる静電チャック電極 11

10

20

30

40

50

4を絶縁膜内に挟み込んで構成される。静電チャック電極114には直流電源115が電気的に接続されている。この静電チャック112によれば、直流電源115からの直流電圧により、クーロン力でウエハWを静電チャック112上に吸着保持することができる。

【0020】

下部電極110の内部には冷却機構が設けられている。この冷却機構は、例えば下部電極110内の円周方向に延在する冷媒室116に、図示しないチラーユニットからの所定温度の冷媒（例えば冷却水）を配管を介して循環供給するように構成される。冷媒の温度によって静電チャック112上のウエハWの処理温度を制御できる。

【0021】

下部電極110と静電チャック112には伝熱ガス供給ライン118がウエハWの裏面に向けて配設されている。伝熱ガス供給ライン118には例えばHeガスなどの伝熱ガス（バックガス）が導入され、静電チャック112の上面とウエハWの裏面との間に供給される。これにより、下部電極110とウエハWとの間の熱伝達が促進される。下部電極110上に載置されたウエハWの周囲を囲むようにフォーカスリング119配置されている。フォーカスリング119は、例えば石英やシリコンからなり、筒状保持部106の上面に設けられている。

【0022】

上部電極120は処理室102の天井部に設けられている。上部電極120は接地されている。上部電極120には処理室102内での処理に必要なガスを供給する処理ガス供給部122が配管123を介して接続されている。処理ガス供給部122は、例えば処理室102内でのウエハのプロセス処理や処理室102内のクリーニング処理などに必要な処理ガスやバージガスなどを供給するガス供給源、ガス供給源からのガスの導入を制御するバルブ及びマスフローコントローラにより構成される。

【0023】

上部電極120には多数のガス通気孔125を有する下面の電極板124と、この電極板124を着脱可能に支持する電極支持体126とを有する。電極支持体126の内部にバッファ室127が設けられている。このバッファ室127のガス導入口128には上記処理ガス供給部122の配管123が接続されている。

【0024】

図1では説明を簡単にするため、ガス供給部122を一系統のガスラインで表現しているが、ガス供給部122は単一のガス種の処理ガスを供給する場合に限られるものではなく、複数のガス種を処理ガスとして供給するものであってもよい。この場合には、複数のガス供給源を設けて複数系統のガスラインで構成し、各ガスラインにマスフローコントローラを設けてもよい。

【0025】

このようなガス供給部122により処理室102内に供給する処理ガスとしては、例えば酸化膜のエッティングでは、Clなどを含むハロゲン系ガスが用いられる。具体的にはSiO₂膜などのシリコン酸化膜をエッティングする場合には、CHF₃ガスなどが処理ガスとして用いられる。HfO₂、HfSiO₂、ZrO₂、ZrSiO₄などの高誘電体薄膜をエッティングする場合には、BCl₃ガスを処理ガスとしたり、BCl₃ガスとO₂ガスとの混合ガスを処理ガスとして用いられる。ポリシリコン膜をエッティングする場合には、HBrガスとO₂ガスの混合ガスなどが処理ガスとして用いられる。

【0026】

また、エッティング前に行う後述の堆積ステップではその処理ガスとしてCHF系ガスが用いられる。本実施形態にかかる堆積ステップでは例えばCHF₃ガスが用いられる。

【0027】

処理室102の側壁と筒状部104との間には排気路130が形成され、この排気路130の入口または途中に環状のバッフル板132が取り付けられるとともに、排気路130の底部に排気口134が設けられている。この排気口134には排気管を介して排気部136が接続されている。排気部136は、例えば真空ポンプを備え、処理室102内を

10

20

30

40

50

所定の真空度まで減圧することができるようになっている。また、処理室 102 の側壁には、ウエハWの搬入出口を開閉するゲートバルブ 108 が取り付けられている。

【0028】

下部電極 110 には、2 周波重畠電力を供給する電力供給装置 140 が接続されている。電力供給装置 140 は、第 1 周波数の第 1 高周波電力（プラズマ生起用高周波電力）を供給する第 1 高周波電力供給機構 142 と、第 1 周波数よりも低い第 2 周波数の第 2 高周波電力（バイアス電圧発生用高周波電力）を供給する第 2 高周波電力供給機構 152 から構成されている。

【0029】

第 1 高周波電力供給機構 142 は、下部電極 110 側から順次接続される第 1 フィルタ 144、第 1 整合器 146、第 1 電源 148 を有している。第 1 フィルタ 144 は、第 2 周波数の電力成分が第 1 整合器 146 側に侵入することを防止する。第 1 整合器 146 は、第 1 高周波電力成分をマッチングさせる。

【0030】

第 2 高周波電力供給機構 152 は、下部電極 110 側から順次接続される第 2 フィルタ 154、第 2 整合器 156、第 2 電源 158 を有している。第 2 フィルタ 154 は、第 1 周波数の電力成分が第 2 整合器 156 側に侵入することを防止する。第 2 整合器 156 は、第 2 高周波電力成分をマッチングさせる。

【0031】

処理室 102 にはその周囲を囲むように磁場形成部 170 が配設されている。磁場形成部 170 は、処理室 102 の周囲に沿って上下に離間して配置された上部マグネットリング 172 と下部マグネットリング 174 を備え、処理室 102 内にプラズマ処理空間を囲むカスプ磁場を発生させる。なお、磁場形成部 170 は必ずしも設けなくてもよい。

【0032】

プラズマ処理装置 100 には、制御部（全体制御装置）160 が接続されており、この制御部 160 によってプラズマ処理装置 100 の各部が制御されるようになっている。また、制御部 160 には、オペレータがプラズマ処理装置 100 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマ処理装置 100 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなる操作部 162 が接続されている。

【0033】

さらに、制御部 160 には、プラズマ処理装置 100 で実行される各種処理（ウエハWに対するプラズマ処理など）を制御部 160 の制御にて実現するためのプログラムやプログラムを実行するために必要な処理条件（レシピ）などが記憶された記憶部 164 が接続されている。

【0034】

記憶部 164 には、例えば複数の処理条件（レシピ）が記憶されている。各処理条件は、プラズマ処理装置 100 の各部を制御する制御パラメータ、設定パラメータなどの複数のパラメータ値をまとめたものである。各処理条件は例えば処理ガスの流量比、処理室内圧力、高周波電力などのパラメータ値を有する。

【0035】

なお、これらのプログラムや処理条件はハードディスクや半導体メモリに記憶されてもよく、また C D - R O M、D V D 等の可搬性のコンピュータにより読み取り可能な記憶媒体に収容された状態で記憶部 164 の所定位置にセットするようになっていてよい。

【0036】

制御部 160 は、操作部 162 からの指示等に基づいて所望のプログラム、処理条件を記憶部 164 から読み出して各部を制御することで、プラズマ処理装置 100 での所望の処理を実行する。また、操作部 162 からの操作により処理条件を編集できるようになっている。

【0037】

10

20

30

40

50

(プラズマ処理装置の動作)

次に、プラズマ処理装置100の動作について説明する。例えばウエハWに対してプラズマ処理を行う場合には、図示しない搬送アームによって未処理ウエハWを処理室102にゲートバルブ108から搬入する。ウエハWが下部電極110上、すなわち静電チャック112上に載置されると、直流電源115をオンしてウエハWを静電チャック112に吸着保持し、プラズマ処理を開始する。

【0038】

プラズマ処理は、予め設定された処理条件(レシピ)に基づいて実行される。具体的には処理室102内が所定の圧力に減圧され、上部電極120から所定の処理ガスを所定の流量および流量比で処理室102内に導入される。

10

【0039】

この状態で、下部電極110に、第1電源148から第1高周波として10MHz以上、例えば100MHzを供給し、第2電源158から第2高周波として2MHz以上10MHz未満、例えば3MHzの第2の高周波電力を供給する。これにより、第1高周波の働きで下部電極110と上部電極120との間に処理ガスのプラズマが発生するとともに、第2高周波の働きで下部電極110にセルフバイアス電圧(-Vdc)が発生し、ウエハWに対してプラズマ処理を実行することができる。このように、下部電極110に第1高周波および第2高周波を供給してこれらを重畠させることにより、プラズマを適切に制御して良好なプラズマ処理を行うことができる。

【0040】

20

プラズマ処理が終了すると、直流電源115をオフして静電チャック112の吸着保持力を除去し、図示しない搬送アームによってウエハWをゲートバルブ108から搬出する。

【0041】

(ウエハのプラズマ処理)

次に、ウエハWに対するプラズマ処理について図面を参照しながらより具体的に説明する。ここでは、例えば図2に示すような膜構造200を有するウエハWに対してエッチングを実行することで、図3に示すような被エッチング膜230にトレンチのパターンを形成する場合を例に挙げる。図2に示す膜構造200は、シリコン(Si)基材210上に酸化膜220、被エッチング膜230、反射防止膜240、レジストパターン250が積層して構成される。レジストパターン250にはトレンチを形成するための開口部260がパターニングされている。

30

【0042】

このようなウエハW上の被エッチング膜230をエッチングする場合には、先ず反射防止膜240をレジストパターン250をマスクとしてエッチングし、続いて被エッチング膜230をエッチングし、最後に残った反射防止膜240とレジストパターン250とを除去することにより、図3に示すようなトレンチを形成することができる。

【0043】

このとき、ウエハWの膜構造200に対してそのままエッチングを行うと、例えばレジストパターンの開口寸法が広がったり、被エッチング膜の凹部の側壁のエッチングが進みすぎてホールやトレンチの微小寸法(例えばホールの径やトレンチの線幅や溝幅)が目標値とずれてしまったりして、設計通りのデバイス特性が得られないという問題がある。図3は、トレンチの線幅d'が目標値dより小さくなってしまった例である。

40

【0044】

このため、本実施形態では、エッチングを行う前に、レジストパターン250に堆積物を堆積させる堆積ステップを行うことによってレジストパターン250の開口寸法を小さくしておき、その後にエッチングに移るようにする。この堆積ステップでは、例えば所定圧力にした処理室102内にCHF系ガスなどの処理ガスを供給してプラズマを発生させる。

【0045】

50

ところで、このような堆積ステップにおいてレジストパターンに堆積物を良好に堆積させるためにはプリカーサであるラジカルの密度を高くすればよい。そのためには処理室102内の圧力を高くして処理ガスを供給することが望ましい。

【0046】

しかしながら、堆積ステップで処理室102内の圧力を高くするほど、エッティング後に形成されるトレンチの線幅又は溝幅の微小寸法(CD: Critical Dimension)にnmオーダー程度の僅かなばらつきが生じることがわかつてきた。

【0047】

そこで、発明者は様々な実験を行ってみたところ、処理ガスの流量を増大することで、ウエハ面内の堆積度合いのばらつきを大幅に抑制できることを見出した。これは、処理ガスの流量を増大することでウエハ径方向における処理ガスの解離度の差を抑制できるのでウエハ面内の堆積度合いのばらつきを抑制できると推察できる。
10

【0048】

すなわち、処理室102内の圧力が高いほど処理ガスの解離が進行しすぎてウエハの径方向の解離度に差が生じるため、ウエハ面内に堆積度合いのばらつきが生じやすい。これに対して、処理ガスの流量を増大することでウエハの径方向の解離度の差を抑制することでウエハ面内に生じる堆積度合いのばらつきを抑制できると考えられる。

【0049】

この点を処理ガスの流量と解離度との関係を用いてより具体的に説明する。一般にガス流量とガス解離度との関係は、横軸にガス流量の逆数をとり、縦軸に解離度の百分率をとると、図4に示すような曲線になる。図4において、黒丸はウエハ面内のセンタ部(中央部)での解離度であり、白四角はエッジ部(周縁部)の解離度である。
20

【0050】

図4に示す傾向を大局的に見れば、曲線の領域Bに示すように処理ガスの流量が少ないほどガス解離率も大きくなる傾向にある。ところが、その領域Bよりも処理ガスの流量をさらに増大すると、ガス解離率がほとんど変化しない領域Aがある。

【0051】

ウエハWの面内位置(ここではセンタ部とエッジ部)によってはガスの解離の種類も若干変わるので図4に示す曲線上の位置も若干ずれることになる。このため、例えば従来のようにガス流量が200sccm程度の場合には領域Bになるので、この領域Bで堆積ステップを行うとウエハ面内のセンタ部(黒丸)とエッジ部(白四角)の解離度には差が生じる。
30

【0052】

これに対して、例えばガス流量を1000sccm以上に増大すると領域Aになるので、曲線上の位置がずれっていても、ウエハ面内のセンタ部とエッジ部の解離度にはほとんど差が生じなくなる。このため、ガス流量を増大することで、ウエハ面内に堆積度合いのばらつきも抑制されると考えられる。なお、図4に示す領域Cでは、ガス解離率がほとんど変化しないものの、ガス流量が少なすぎて所望量の堆積物が堆積しないためこの領域は使えない。

【0053】

そこで、本実施形態では、処理ガスの流量を1000sccm以上に増大して堆積ステップを行った上でエッティングを行う。これによれば、ウエハ面内におけるレジストパターンの開口寸法のばらつきを抑制することができ、それによりエッティング後に形成されるトレンチの微小寸法(CD)のばらつきを抑制することができる。
40

【0054】

(ウエハ処理の具体例)

次に、このような本実施形態における堆積ステップを含むウエハ処理をプラズマ処理装置100により実行する場合の具体例について図面を参照しながら説明する。ここでは、図2に示すような膜構造200を有するウエハWに対して、先ず堆積ステップにてトレンチ形状の開口部260を有するレジストパターン250に堆積物270を堆積する堆積ス
50

テップを行った上でエッチングステップを行い，最後にアッシングステップを行うことによってトレンチを形成する。

【0055】

この場合の各ステップにおける膜構造の模式図を図5A～図5Dに示す。図6は本実施形態の堆積ステップにおける処理の流れの概略を示す図である。なお，ここでのウエハ処理は，制御部160が所定のプログラムに基づいてプラズマ処理装置100の各部を制御することにより実行される。

【0056】

(堆積ステップ)

先ず，処理室102内にウエハWを搬入して図6に示す堆積ステップを実行する。堆積ステップでは，ステップS110にて処理室102内を例えば100mTorr以上の高い圧力にする。次いでステップS120にて処理室102内に堆積ステップ用の処理ガス（例えばCHF₃ガス）を1000sccm以上の大流量で供給し，下部電極110に第1高周波，第2高周波の各高周波電力を印加して処理ガスをプラズマ化する。こうして，堆積ステップが開始され，ウエハW上には例えばCとHとからなる堆積物が堆積し始める。

10

【0057】

続いてステップS130にて堆積ステップの終了時間が経過したか否かを判断する。終了時間が経過したと判断した場合は，一連の堆積ステップを終了する。これにより，例えば図5Aに示すようにウエハW上に堆積物270が適切な膜厚で堆積する。堆積物270はレジストパターン250の上部とともに，開口部260の側壁に堆積する。これにより，レジストパターン250の開口部260を調整することによって，凹部の寸法D（又は図2に示す凸部の寸法d）を調整することができる。なお，堆積ステップの終了時間は，例えば記憶部164に処理レシピとして記憶されているものを読み出して用いることができる。

20

【0058】

(エッチングステップ)

次に，このように堆積物270が堆積した状態でエッチングステップを連続して行う。ここでのエッチングステップでは，先ず堆積物270をマスクとして反射防止膜240をエッチングし，その後に被エッチング膜230をエッチングする。反射防止膜240のエッチングでは，処理室102内の圧力を調整してエッチングガスとして例えばCHF₃ガスとCF₃1ガスの混合ガスを供給し，下部電極110に第1高周波，第2高周波の各高周波電力を印加して処理ガスをプラズマ化する。このプラズマにより，反射防止膜240がエッチングされる。この反射防止膜240は，レジストパターン250と堆積物270と同様の有機系膜であるため，反射防止膜240のエッチングを行うと，レジストパターン250と堆積物270の露出部分もエッチングされて，例えば図5Bに示すように開口部260の底部に被エッチング膜230が露出する。

30

【0059】

なお，開口部260の底部に堆積物270が残留している場合には，それが無くなるまではCF₃1ガスの流量を減らすように流量比(CHF₃ガス/CF₃1ガス)を制御して，堆積物のエッチングレートを低下させるようにしてもよい。これによれば開口部260の底部の堆積物が無くなるまで開口部260の側壁に堆積物を堆積させることができるので，より開口部260の径を小さくすることができる。

40

【0060】

続いて，被エッチング膜230のエッチングでは，被エッチング膜230が例えばSiN膜の場合には，エッチングガスとして例えばCHF₃ガス，CF₄ガス，及びArガスの混合ガスを供給し，下部電極110に第1高周波，第2高周波の各高周波電力を印加して処理ガスのプラズマを形成する。このプラズマにより，図5Cに示すように被エッチング膜230がエッチングされ，トレンチが形成される。

【0061】

50

なお、エッティングステップが終了すると、アッシングステップを行って、残りのレジストパターン 250 と反射防止膜 240 をすべて除去することにより、図 5 D に示すように所望の溝幅微小寸法 D のトレーニングが形成される。

【0062】

(ガス流量を変えた実験結果)

ここで、本実施形態にかかる堆積ステップをプラズマ処理装置 100 を用いて行った実験結果を図面を参照しながら説明する。ここでは、処理室 102 内の圧力を 150 mTorr に固定して、CHF₃ ガスを処理ガスとしてその流量を変えてそれぞれ堆積ステップを行った。CHF₃ ガスを 1000 sccm 以上の大流量 (ここでは 1000 sccm, 1500 sccm, 3000 sccm) 供給した場合を 200 sccm の小流量供給した場合と比較する。

【0063】

図 7 はそれぞれの堆積ステップ後にウエハ W の高さ方向のデポジションレートを測定してプロットしたものである。図 7 では、横軸にウエハ面内位置をとり、縦軸にデポジションレートをとっている。なお、その他の堆積ステップの処理条件は以下の通りである。

【0064】

[堆積ステップの処理条件]

第 1 高周波電力 : 750 W

第 2 高周波電力 : 300 W

上部電極温度 : 60 deg

側壁温度 : 60 deg

下部電極温度 : 40 deg

処理時間 : 60 sec

【0065】

図 7 によれば、CHF₃ ガスを 1000 sccm 以上の大流量供給した場合は、200 sccm の小流量供給した場合に比してデポジションレートの面内均一性が大幅に向上していることがわかる。

【0066】

また、200 sccm, 1000 sccm, 1500 sccm, 3000 sccm の各実験においてウエハ W のセンタ部とエッジ部における開口部を比較したものをそれぞれ図 8 A ~ 図 8 D に示す。図 8 A ~ 図 8 D において、センタ部の開口底部の溝幅微小寸法 (溝幅 C D) を C, エッジ部の開口底部の溝幅微小寸法 (溝幅 C D) を E とし、その寸法差 C D (= C - E) とすると、C D は、200 sccm の場合には 18 nm であるのにに対して、1000 sccm, 1500 sccm, 3000 sccm と流量を増大していくほど、6 nm, 4 nm, 0 nm と大幅に減少していることがわかる。

【0067】

さらに、上記と同様の実験をレジストパターンを変えて行った場合の実験結果を図 9 A ~ 図 9 D に示す。図 9 A, 図 9 B, 図 9 C は密のレジストパターンの場合であり、図 9 D は粗のレジストパターンの場合である。さらに図 9 A, 図 9 B, 図 9 C はそれぞれ、線幅と溝幅の割合が 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3 の場合である。図 9 A ~ 図 9 D はそれぞれのレジストパターンが形成されたウエハに対して上記と同様の実験を行って、横軸に CHF₃ ガスの流量をとり、縦軸にセンタ部とエッジ部の溝幅 C D とこれらの寸法差 C D をとってグラフにしたものである。

【0068】

図 9 A ~ 図 9 D によれば、すべての場合において CHF₃ ガスを 1000 sccm 以上の大流量供給した場合は、200 sccm の小流量供給した場合に比してセンタ部とエッジ部の寸法差 C D が大幅に減少している。さらに、CHF₃ ガスを 1000 sccm 以上供給した場合は、3000 sccm までの範囲では流量が大きくなるほどセンタ部とエッジ部の寸法差 C D が減少する。しかも、寸法差 C D の減少する変化率はレジストパターンが密から粗になるに連れて大きくなる。

10

20

30

40

50

【0069】

このように、本実施形態では、堆積ステップにおいて処理室102内の圧力を例えば100mTorr以上の高い圧力にすることでラジカル密度を高めつつ、処理ガスを1000sccm以上の大流量で供給することでウエハ面内における堆積物270の堆積量のばらつきを抑えることができる。これにより、エッティング後に形成されるトレンチの微小寸法(CD)変化量のばらつきを抑えることができるので、ウエハ面内の全域にわたって設計通りのトレンチを形成できる。

【0070】

上記実験結果に鑑みれば、処理ガスがCHF₃ガスの場合にはその流量が3000sccmまでの範囲では1000sccm以上にすることが好ましく、1500sccm以上にすることがより好ましい。

10

【0071】

また、上記実験では処理室102内の圧力を150mTorrに固定したが、これに限られるものではなく150mTorrより高い圧力に設定してもよい。なお、処理室102内の圧力が高い方が開口部の側壁に満遍なく堆積物を堆積させることができる。

【0072】

(処理室内圧力を変えた実験結果)

ここで、CHF₃ガスの流量を固定して処理室102内の圧力を変えてそれぞれ堆積ステップを行った実験結果について図面を参照しながら説明する。ここでは、CHF₃ガスの流量を少量の100sccmに固定して、処理室102内の圧力を150mTorr以上(ここでは、150mTorr, 200mTorr, 250mTorr)の場合を、75mTorrにした場合と比較する。

20

【0073】

図10はそれぞれの堆積ステップ後に開口部のトップ部とボトム部の溝幅CDを測定して比較したものである。図11はこれらの溝幅CDを縦軸にとって、横軸に処理室内圧力をとってグラフにしたものである。なお、その他の堆積ステップの処理条件は上述したものと同様である。

【0074】

図10、図11によれば、処理室102内の圧力が75mTorrのように低い場合には、開口部の側壁にトップ部からボトム部にかけて溝幅が小さくなるように傾斜して堆積物が堆積する。

30

【0075】

これに対して、150mTorr以上の高い圧力の場合には、開口部の側壁にトップ部からボトム部にかけて溝幅がほぼ変わらず、ほぼ垂直に堆積物が堆積する。しかも、250mTorrまでの範囲では処理室102内の圧力が高くなるほど、トップ部とボトム部との寸法差が小さくなることがわかる。

【0076】

このように図10、図11に示す実験結果によれば、開口部のトップ部からボトム部の寸法差を少なくするには、処理室102内の圧力は150mTorr以上がより好ましい。なお、図10、図11に示す実験のようにCHF₃ガスが100sccm程度の少量の場合には、150mTorr以上では処理室102内の圧力を高くするほど開口部の底部への堆積量が増加する。

40

【0077】

この点、CHF₃ガスの流量を1000sccm以上に増大させると、図8B～図8Dに示すように、開口部の側壁に垂直に堆積物を堆積させることができるとともに、開口部の底部に堆積物が堆積することを抑制できる。

【0078】

なお、本実施形態ではウエハW上にトレンチのパターンを形成した場合について説明したが、トレンチの代わりに、ホールを形成する場合に本発明を適用してもよい。また、上記実施形態にかかる堆積ステップでは、被エッティング膜上にレジストパターンを形成した

50

ウエハを用いた場合を例に挙げて説明したが、必ずしもこれに限定されるものではない。例えば被エッチング膜とレジストパターンとの間に有機膜からなる下層レジスト膜を形成したウエハを用いてもよい。具体的には図12に示すように被エッチング膜230の上に下層レジスト膜252、そのマスク254を形成した上に反射防止膜240、レジストパターン250を形成したウエハを用いてそのレジストパターン250に堆積物を堆積させてもよい。

【0079】

また、本実施形態では被エッチング膜がSiN膜の場合を例に挙げて説明したが、これに限られるものではない。例えばレジストパターン250をマスクとしてエッチングする薄膜であればどのような被エッチング膜230に適用してもよい。被エッチング膜230としては例えばSiO₂などの酸化膜、SiNなどの窒化膜、Si膜の他、TEOS膜、Ti膜、TiN膜などのメタル膜が挙げられる。

【0080】

また、堆積ステップにおいて処理ガスのレジデンスタイムは、開口部の底部よりも側壁に堆積物を堆積させ易くする観点から、例えば0.1秒以下にすることが好ましい。

【0081】

ここで、レジデンスタイムとは、処理ガスの処理室102内の処理に寄与する部分における滞留時間を意味し、下部電極面積（図1では、ウエハWの面積とフォーカスリング15の面積の合計）に上下の電極間距離を乗算して求めた処理室内の有効体積、すなわち処理ガスがプラズマ化する空間の体積をV[m³]、排気速度をS[m³/秒]、処理室102内の圧力をp[Pa]、処理ガスの総流量をQ(Pa·m³/秒)とすれば、レジデンスタイム[秒]は、下記(1)式に基づいて求めることができる。

【0082】

$$= V / S = p V / Q \quad \dots \quad (1)$$

【0083】

また、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェアのプログラムを記憶した記憶媒体等の媒体をシステムあるいは装置に供給し、そのシステムあるいは装置のコンピュータ（又はCPUやMPU）が記憶媒体等の媒体に記憶されたプログラムを読み出して実行することによっても、本発明が達成され得る。

【0084】

この場合、記憶媒体等の媒体から読み出されたプログラム自体が上述した実施形態の機能を実現することになり、そのプログラムを記憶した記憶媒体等の媒体は本発明を構成することになる。プログラムを供給するための記憶媒体等の媒体としては、例えば、フロッピー（登録商標）ディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、CD-R、CD-RW、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-RW、DVD+RW、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROMなどが挙げられる。また、媒体に対してプログラムを、ネットワークを介してダウンロードして提供することも可能である。

【0085】

なお、コンピュータが読み出したプログラムを実行することにより、上述した実施形態の機能が実現されるだけでなく、そのプログラムの指示に基づき、コンピュータ上で稼動しているOSなどが実際の処理の一部又は全部を行い、その処理によって上述した実施形態の機能が実現される場合も、本発明に含まれる。

【0086】

さらに、記憶媒体等の媒体から読み出されたプログラムが、コンピュータに挿入された機能拡張ボードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに書き込まれた後、そのプログラムの指示に基づき、その機能拡張ボードや機能拡張ユニットに備わるCPUなどが実際の処理の一部又は全部を行い、その処理によって上述した実施形態の機能が実現される場合も、本発明に含まれる。

【0087】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は

10

20

30

40

50

係る例に限定されることは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【0088】

例えば上記実施形態では基板処理装置として、下部電極のみに2種類の高周波電力を重畳して印加してプラズマを生起させるタイプのプラズマ処理装置を例に挙げて説明したが、これに限定されるものではなく、別のタイプ例えば下部電極のみに1種類の高周波電力を印加するタイプや2種類の高周波電力を上部電極と下部電極にそれぞれ印加するタイプのプラズマ処理装置に適用してもよい。さらに、本発明を適用可能な基板処理装置としては、プラズマ処理装置に限定されることなく、成膜処理を行う熱処理装置に適用してもよい。

10

【産業上の利用可能性】

【0089】

本発明は、例えば半導体ウエハ、FPD基板などの基板上に薄膜を堆積させる堆積ステップを行う基板処理方法、基板処理装置、記憶媒体に適用可能である。

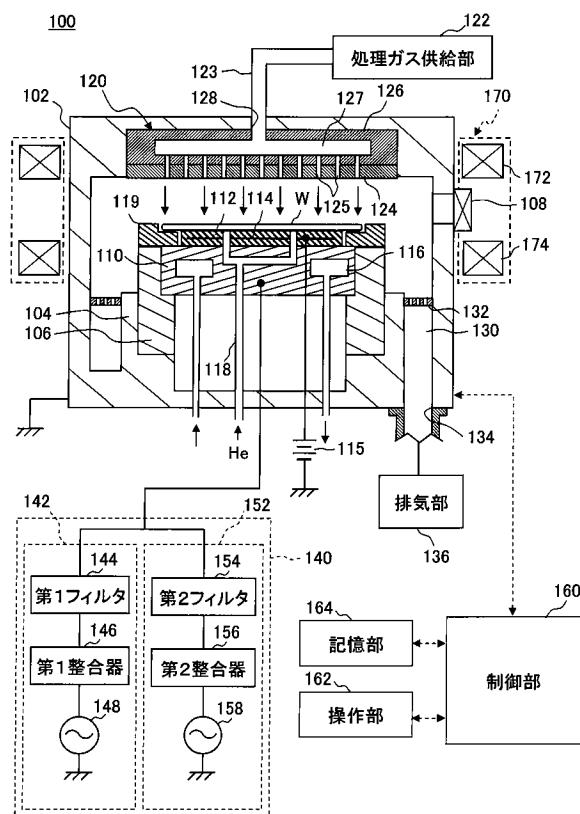
【符号の説明】

【0090】

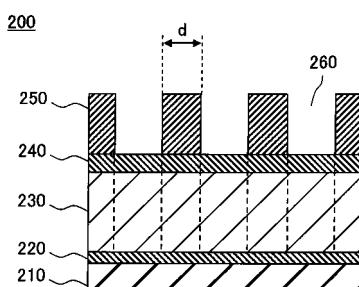
100	プラズマ処理装置	
102	処理室	
104	筒状部	20
106	筒状保持部	
108	ゲートバルブ	
110	下部電極	
112	静電チャック	
114	静電チャック電極	
115	直流電源	
116	冷媒室	
118	伝熱ガス供給ライン	
119	フォーカスリング	
120	上部電極	30
122	処理ガス供給部	
123	配管	
124	電極板	
125	ガス通気孔	
126	電極支持体	
127	バッファ室	
128	ガス導入口	
130	排気路	
132	バッフル板	
134	排気口	40
136	排気部	
140	電力供給装置	
142	第1高周波電力供給機構	
144	第1フィルタ	
146	第1整合器	
148	第1電源	
152	第2高周波電力供給機構	
154	第2フィルタ	
156	第2整合器	
158	第2電源	50

1 6 0	制御部	
1 6 2	操作部	
1 6 4	記憶部	
1 7 0	磁場形成部	
1 7 2	上部マグネットリング	
1 7 4	下部マグネットリング	
2 0 0	膜構造	
2 1 0	シリコン基材	
2 2 0	酸化膜	
2 3 0	被エッチング膜	10
2 4 0	反射防止膜	
2 5 0	レジストパターン	
2 5 2	下層レジスト膜	
2 5 4	マスク	
2 6 0	開口部	
2 7 0	堆積物	
W	ウエハ	

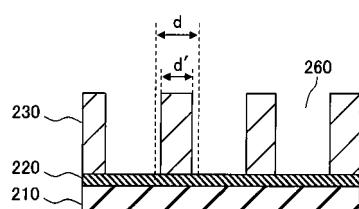
【図1】



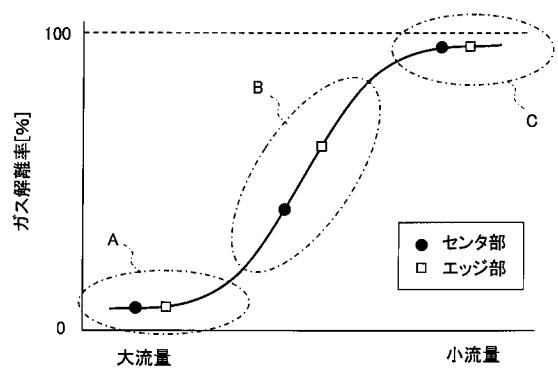
【図2】



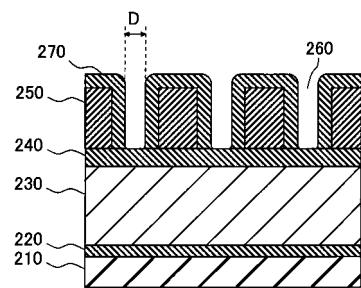
【図3】



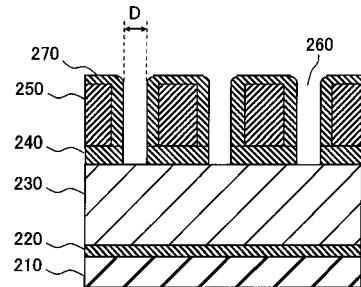
【図4】



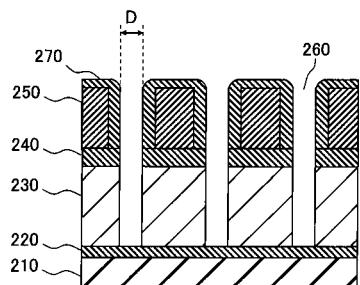
【図5 A】



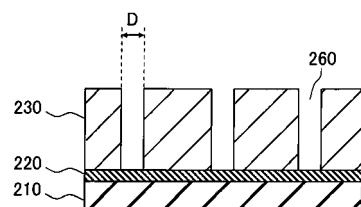
【図5 B】



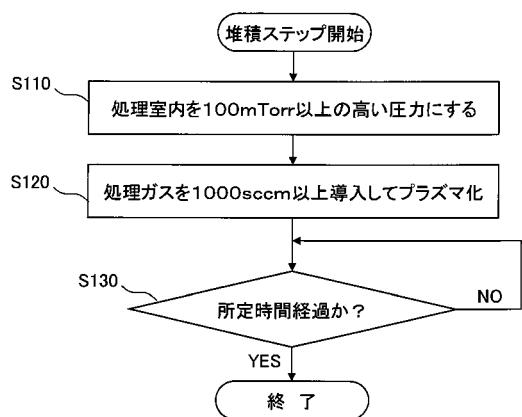
【図5 C】



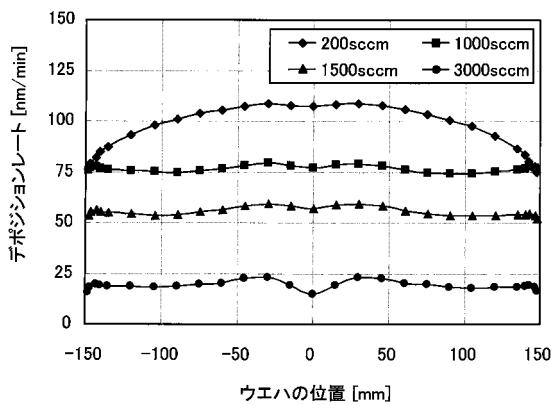
【図5 D】



【図6】



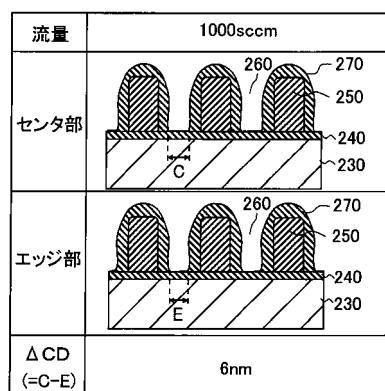
【図7】



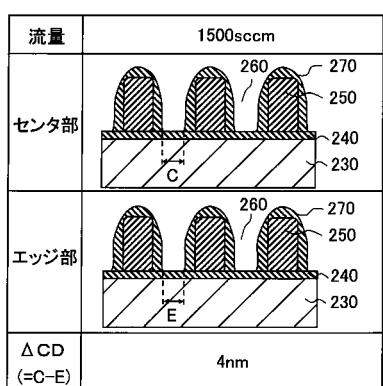
【図8A】

流量	200sccm
センタ部	
エッジ部	
ΔCD (=C-E)	18nm

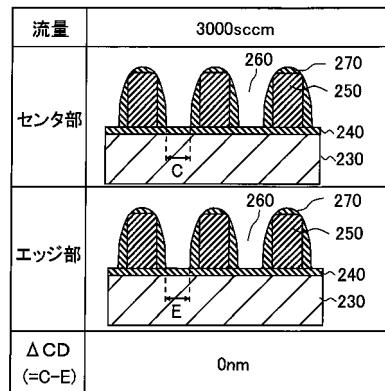
【図8B】



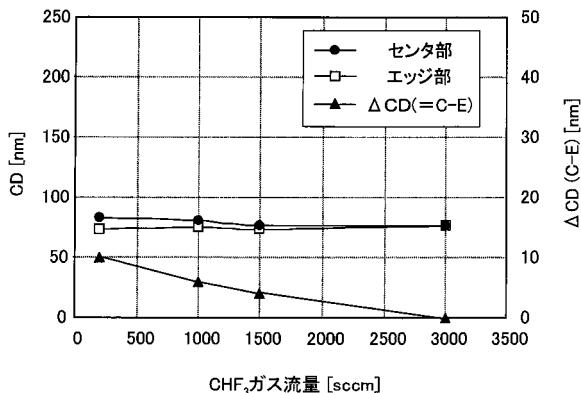
【図 8 C】



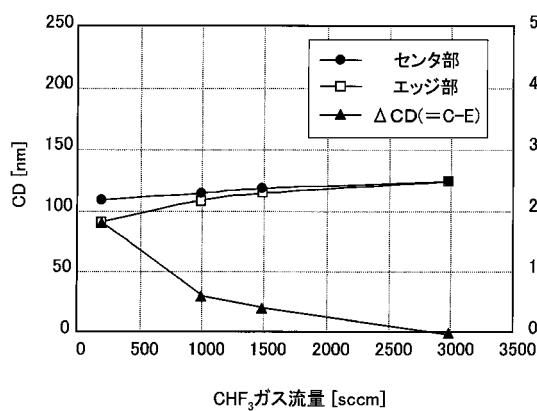
【図 8 D】



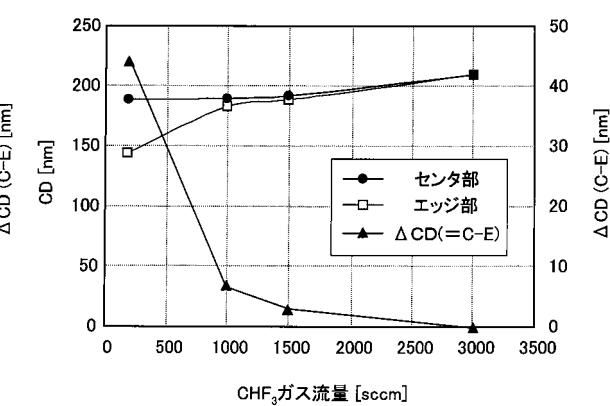
【図 9 A】



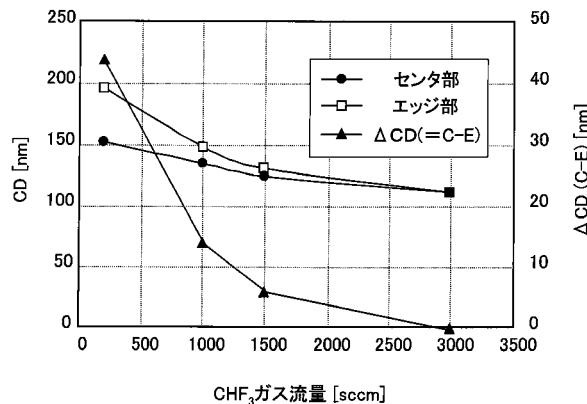
【図 9 B】



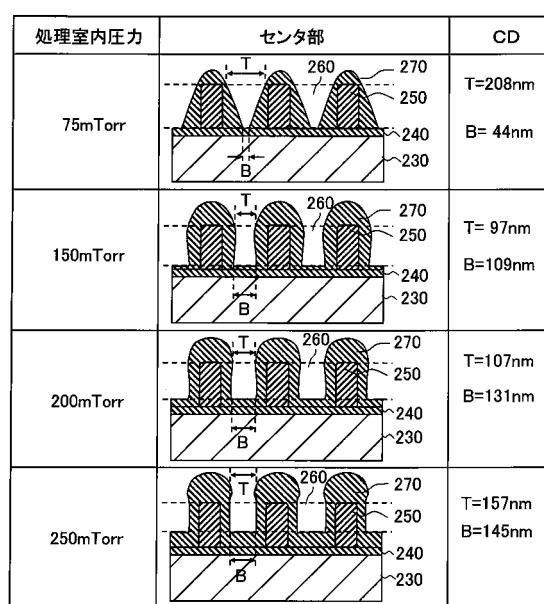
【図 9 C】



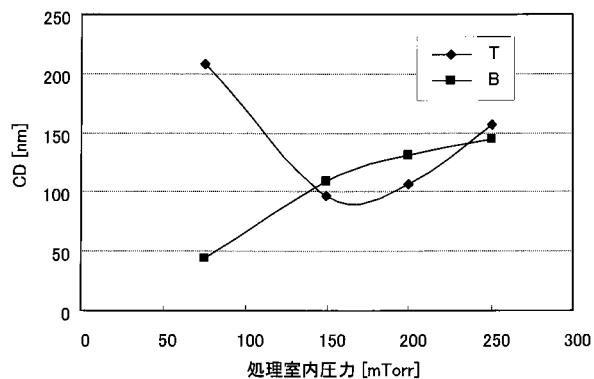
【図 9 D】



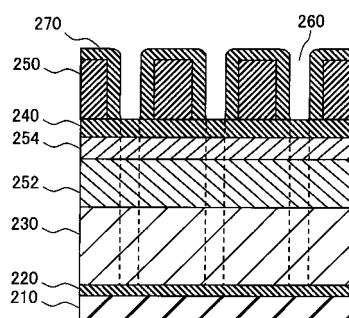
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-156591(JP,A)
特表2008-529313(JP,A)
国際公開第2008/045764(WO,A1)
特開2010-192825(JP,A)
特開2010-093039(JP,A)
特開2007-194284(JP,A)
特開2007-273866(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
H01L 21/205
H01L 21/31
C23C 16/52