

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-11167
(P2017-11167A)

(43) 公開日 平成29年1月12日(2017.1.12)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
H O 1 L 21/3065 (2006.01) H O 1 L 21/302 I O 5 A 5 F 0 0 4

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2015-126710 (P2015-126710)	(71) 出願人	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22) 出願日	平成27年6月24日 (2015.6.24)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100122507 弁理士 柏岡 潤二
		(72) 発明者	日▲高▼ 明 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	木村 壮一郎 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

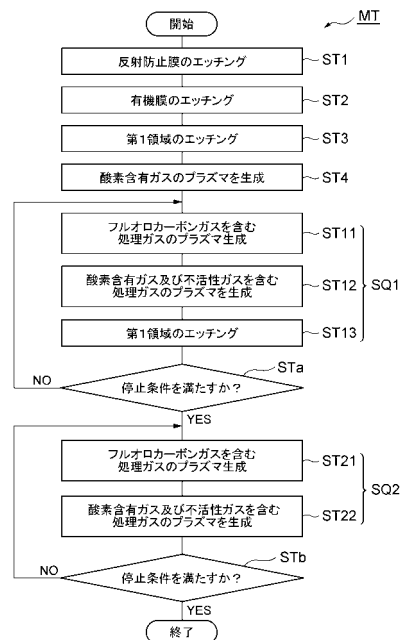
(54) 【発明の名称】 エッチング方法

(57) 【要約】

【課題】酸化シリコンから構成された第1領域を窒化シリコンから構成された第2領域に対して選択的にエッチングする方法が提供される。

【解決手段】一実施形態の方法は、第1シーケンスを一回以上実行する工程と、第2シーケンスを一回以上実行する工程と、を含む。第1シーケンスでは、フルオロカーボンを含む堆積物が被処理体上に形成され、次いで、堆積物中のフルオロカーボンのラジカルにより第1領域がエッチングされる。第2シーケンスでは、フルオロカーボンを含む堆積物が被処理体上に形成され、次いで、酸素の活性種により堆積物が減少され、且つ、不活性ガスから生成される活性種によって第1領域が更にエッチングされる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

酸化シリコンから構成された第 1 領域を窒化シリコンから構成された第 2 領域に対して選択的にエッチングする方法であって、

前記第 2 領域は凹部を画成し、前記第 1 領域は前記凹部を埋め、且つ前記第 2 領域を覆うように設けられており、前記第 1 領域上にはマスクが設けられており、

該方法は、

前記第 1 領域をエッチングするために、第 1 シーケンスを一回以上実行する工程と、

前記第 1 領域を更にエッチングするために、第 2 シーケンスを一回以上実行する工程と

、

を含み、

前記第 1 シーケンスが、

プラズマ処理装置の処理容器内においてフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成する第 1 工程であり、前記第 1 領域及び前記第 2 領域を有する被処理体上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成する、該第 1 工程と、

前記堆積物に含まれるフルオロカーボンのラジカルによって前記第 1 領域をエッチングする第 2 工程と、

を含み、

第 2 シーケンスを一回以上実行する前記工程は、第 1 シーケンスを一回以上実行する前記工程によって処理された前記被処理体に対して実行され、

前記第 2 シーケンスは、

前記処理容器内において、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成する第 3 工程であり、前記第 1 領域及び前記第 2 領域を有する被処理体上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成する、該第 3 工程と、

前記処理容器内において酸素ガス及び不活性ガスを含む処理ガスのプラズマを生成する第 4 工程と、

を含む、方法。

【請求項 2】

前記第 3 工程において前記プラズマの生成のために使用される高周波の電力が、前記第 1 工程において前記プラズマの生成のために使用される高周波の電力より大きい、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記処理容器において前記被処理体は載置台上に載置され、

前記第 4 工程において設定される前記処理容器内の空間の圧力は、前記第 1 工程において設定される前記処理容器内の空間の圧力よりも高く、

前記第 4 工程において前記載置台に供給される高周波バイアスの電力が、前記第 1 工程において前記載置台に供給される高周波バイアスの電力よりも小さい、

請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 シーケンスは、前記処理容器内において酸素ガス及び不活性ガスを含む処理ガスのプラズマを生成する工程を更に含む、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 5】

第 1 シーケンスを一回以上実行する前記工程が、前記第 2 領域が露出するときを含む期間において実行され、

第 1 シーケンスを一回以上実行する前記工程と第 2 シーケンスを一回以上実行する前記工程との間において、前記処理容器内において生成したフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマにより前記第 1 領域を前記凹部の底までエッチングする工程を更に含む、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明の実施形態は、エッチング方法に関するものであり、特に、酸化シリコンから構成された第1領域を窒化シリコンから構成された第2領域に対して選択的にエッチングする方法に関するものである。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

電子デバイスの製造においては、酸化シリコン(SiO_2)から構成された領域に対してホール又はトレンチといった開口を形成する処理が行われることがある。このような処理では、米国特許第7708859号明細書に記載されているように、一般的には、フルオロカーボンガスのプラズマに被処理体が晒されて、当該領域がエッチングされる。

10

【 0 0 0 3 】

また、酸化シリコンから構成された第1領域を、窒化シリコンから構成された第2領域に対して選択的にエッチングする技術が知られている。このような技術の一例としては、SAC(Self-Aligned Contact)技術が知られている。SAC技術については、特開2000-307001号公報に記載されている。

【 0 0 0 4 】

SAC技術の処理対象である被処理体は、酸化シリコン製の第1領域、窒化シリコン製の第2領域、及び所定の材質からなるマスクを有している。第2領域は、凹部を画成するように設けられており、第1領域は、当該凹部を埋め、且つ、第2領域を覆うように設けられており、マスクは、第1領域上に設けられており、凹部の上に開口を提供している。従来のSAC技術では、特開2000-307001号公報に記載されているように、第1領域のエッチングのために、フルオロカーボンガス、酸素ガス、及び希ガスを含む処理ガスのプラズマが生成され、フッ素及び/又はフルオロカーボンの活性種に被処理体が晒される。これにより、マスクの開口から露出した部分において第1領域がエッチングされて上部開口が形成される。さらに、活性種に被処理体が晒されることにより、第2領域によって囲まれた部分、即ち凹部内の第1領域が自己整合的にエッチングされる。これにより、上部開口に連続する下部開口が自己整合的に形成される。

20

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

30

【 特許文献1 】 米国特許第7708859号明細書

【 特許文献2 】 特開2000-307001号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

上述したSAC技術では、第1領域のエッチングが進行して第2領域が露出したときに、当該第2領域は、保護されていない状態で活性種に晒される。したがって、第2領域が浸食される。

【 0 0 0 7 】

本願発明者は、第2領域の浸食を抑制するために、被処理体上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成する工程と堆積物中のフルオロカーボンのラジカルにより第1領域をエッチングする工程とを含むシーケンスを実行する技術を開発している。この技術によれば、堆積物を、第2領域の露出時に当該第2領域の保護膜として機能させることができ、また、当該堆積物を第1領域のエッチングのためのラジカルのソースとしても機能させることができる。したがって、この技術によれば、第2領域の浸食を抑制しつつ第1領域をエッチングすることが可能である。

40

【 0 0 0 8 】

上記堆積物は、凹部を画成する第2領域の側壁面に沿った箇所にも形成される。即ち、堆積物は、部分的に、凹部を画成する第2領域の側壁面に沿って形成される。側壁面に沿って形成された堆積物は、当該側壁面に隣接する箇所において第1領域のエッチングを阻

50

害し、当該側壁面に隣接する箇所第1領域の残渣を生じさせる。その結果、凹部内に形成される開口の底部の幅は、当該開口の上部の幅に比して狭くなる。したがって、残渣の量を低減させる必要がある。残渣の量を低減させるための策としては、堆積物の膜厚を減少させるという策が考えられる。しかしながら、この策は、第2領域の浸食をもたらす。

【0009】

このような背景から、酸化シリコン製の第1領域のエッチングにおける窒化シリコン製の第2領域の浸食を抑制し、且つ、第2領域によって画成される凹部内の残渣を減少させることが必要となっている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

一態様においては、酸化シリコンから構成された第1領域を窒化シリコンから構成された第2領域に対して選択的にエッチングする方法が提供される。第2領域は凹部を画成し、第1領域は前記凹部を埋め、且つ第2領域を覆うように設けられており、第1領域上には所定の材質からなるマスク(例えば有機膜)が設けられている。この方法は、第1領域をエッチングするために、第1シーケンスを一回以上実行する工程と、第1領域を更にエッチングするために、第2シーケンスを一回以上実行する工程と、を含む。第1シーケンスは、(i)プラズマ処理装置の処理容器内においてフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成する第1工程であり、第1領域及び第2領域を有する被処理体上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成する、該第1工程と、(ii)堆積物に含まれるフルオロカーボンのラジカルによって第1領域をエッチングする第2工程と、を含む。第2シーケンスを一回以上実行する前記工程は、第1シーケンスを一回以上実行する前記工程によって処理された被処理体に対して適用される。第2シーケンスは、(iii)処理容器内において、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマを生成する第3工程であり、第1領域及び第2領域を有する被処理体上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成する、該第3工程と、(iv)処理容器内において酸素ガス及び不活性ガスを含む処理ガスのプラズマを生成する第4工程と、を含む。

10

20

【0011】

第1工程において被処理体上に形成される堆積物は、第2領域に対しては当該第2領域を保護する膜として機能し、第1領域に対しては第2工程において当該第1領域をエッチングするためのラジカルのソースとなる。堆積物中のフルオロカーボンは第2工程において第1領域の酸化シリコンと反応し、当該第1領域をエッチングする。したがって、第1シーケンスによれば、第2領域の浸食を抑制しつつ第1領域をエッチングすることが可能である。

30

【0012】

第2シーケンスの第3工程では、第2領域を保護するために、また、第1領域の残渣を除去するためのラジカルのソースを形成するために、第1シーケンスの実行後の被処理体上にフルオロカーボンを含む堆積物が形成される。続く第4工程では、凹部を画成する第2領域の側壁面に沿って形成された堆積物を減少させるために、酸素ガスのプラズマが生成される。また、第4工程では、不活性ガスのプラズマに由来する活性種によって堆積物と凹部内の第1領域の残渣との反応が促進されて、当該残渣が減少される。したがって、一態様に係る方法によれば、第2領域の浸食が抑制され、第2領域によって画成される凹部内の第1領域の残渣が減少される。

40

【0013】

一実施形態では、第3工程においてプラズマの生成のために使用される高周波の電力が、第1工程においてプラズマの生成のために使用される高周波の電力より大きい電力に設定される。この実施形態によれば、凹部内の残渣の除去に適した解離状態のフルオロカーボンを凹部内に供給することが可能となる。

【0014】

一実施形態では、処理容器内において被処理体は載置台上に載置され、第4工程において設定される処理容器内の空間の圧力は、第1工程において設定される前記処理容器内の

50

空間の圧力よりも高く、第4工程において載置台に供給される高周波バイアスの電力が、第1工程において載置台に供給される高周波バイアスの電力よりも小さい。この実施形態では、第4工程において高圧且つ高バイアスの条件が利用される。高圧且つ低バイアスの条件下では、低圧及び/又は高バイアスの条件に比して、活性種がより等方的に被処理体に衝突する。したがって、第2領域の側壁面に沿って形成された堆積物及び残渣の量を効率的に減少させることが可能となる。

【0015】

一実施形態では、第1シーケンスは、処理容器内において酸素ガス及び不活性ガスを含む処理ガスのプラズマを生成する工程を更に含んでもよい。この実施形態によれば、過剰な堆積物の量を低減させることができ、マスクの開口及びエッチングによって形成される開口の幅の過度の縮小又は閉塞を抑制することができる。

10

【0016】

一実施形態では、第1シーケンスを一回以上実行する前記工程が、第2領域が露出するときを含む期間において実行される。この実施形態の方法は、第1シーケンスを実行する一回以上実行する前記工程と第2シーケンスを一回以上実行する前記工程との間において、処理容器内において生成したフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマにより第1領域を凹部の底までエッチングする工程を更に含む。この実施形態によれば、より短縮された時間で第1領域を凹部の底までエッチングし、しかる後に凹部内の残渣を低減させることが可能となる。

20

【発明の効果】

【0017】

以上説明したように、酸化シリコン製の第1領域のエッチングにおける窒化シリコン製の第2領域の浸食を抑制し、且つ、第2領域によって画成される凹部内の残渣を減少させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】一実施形態に係るエッチング方法を示す流れ図である。

【図2】被処理体を例示する断面図である。

【図3】プラズマ処理装置の一例を概略的に示す図である。

【図4】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

30

【図5】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図6】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図7】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図8】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図9】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図10】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図11】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図12】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図13】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図14】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

40

【図15】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図16】図1に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図である。

【図17】図1に示す方法の実施後の被処理体を示す断面図である。

【図18】別の実施形態に係るエッチング方法を示す流れ図である。

【図19】更に別の実施形態に係るエッチング方法を示す流れ図である。

【図20】実験に用いたウエハを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、図面を参照して種々の実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

50

【 0 0 2 0 】

図 1 は、一実施形態に係るエッチング方法を示す流れ図である。図 1 に示す方法 M T は、被処理体に対するプラズマ処理によって、酸化シリコンから構成された第 1 領域を窒化シリコンから構成された第 2 領域に対して選択的にエッチングする方法である。

【 0 0 2 1 】

図 2 は、被処理体を例示する断面図である。図 2 に示すように、被処理体（以下、「ウエハ W」ということがある）は、基板 S B、第 1 領域 R 1、第 2 領域 R 2、及び、後にマスクを構成する有機膜 O L を有している。一例では、ウエハ W は、フィン型電界効果トランジスタの製造途中に得られるものであり、更に、隆起領域 R A、シリコン含有の反射防止膜 A L、及び、レジストマスク R M を有している。

10

【 0 0 2 2 】

隆起領域 R A は、基板 S B から隆起するように設けられている。この隆起領域 R A は、例えば、ゲート領域を構成し得る。第 2 領域 R 2 は、窒化シリコン（ $S i_3 N_4$ ）から構成されており、隆起領域 R A の表面、及び、基板 S B の表面上に設けられている。この第 2 領域 R 2 は、図 2 に示すように、凹部を画成するように延在している。一例では、凹部の深さは、約 1 5 0 n m であり、凹部の幅は、約 2 0 n m である。

【 0 0 2 3 】

第 1 領域 R 1 は、酸化シリコン（ $S i O_2$ ）から構成されており、第 2 領域 R 2 上に設けられている。具体的に、第 1 領域 R 1 は、第 2 領域 R 2 によって画成される凹部を埋め、当該第 2 領域 R 2 を覆うように設けられている。

20

【 0 0 2 4 】

有機膜 O L は、第 1 領域 R 1 上に設けられている。有機膜 O L は、有機材料、例えば、アモルファスカーボンから構成され得る。反射防止膜 A L は、有機膜 O L 上に設けられている。レジストマスク R M は、反射防止膜 A L 上に設けられている。レジストマスク R M は、第 2 領域 R 2 によって画成される凹部に当該凹部の幅よりも広い幅を有する開口を提供している。レジストマスク R M の開口の幅は、例えば、6 0 n m である。このようなレジストマスク R M のパターンは、フォトリソグラフィ技術により形成される。

【 0 0 2 5 】

方法 M T では、図 2 に示すウエハ W のような被処理体がプラズマ処理装置内において処理される。図 3 は、プラズマ処理装置の一例を概略的に示す図である。図 3 に示すプラズマ処理装置 1 0 は、容量結合型プラズマエッチング装置であり、略円筒状の処理容器 1 2 を備えている。処理容器 1 2 は、例えばアルミニウムから構成されており、当該処理容器 1 2 の内壁面には陽極酸化処理が施されている。この処理容器 1 2 は保安接地されている。

30

【 0 0 2 6 】

処理容器 1 2 の底部上には、略円筒状の支持部 1 4 が設けられている。支持部 1 4 は、例えば、絶縁材料から構成されている。支持部 1 4 は、処理容器 1 2 内において、処理容器 1 2 の底部から鉛直方向に延在している。また、処理容器 1 2 内には、載置台 P D が設けられている。載置台 P D は、支持部 1 4 によって支持されている。

【 0 0 2 7 】

載置台 P D は、その上面においてウエハ W を保持する。載置台 P D は、下部電極 L E 及び静電チャック E S C を有している。下部電極 L E は、第 1 プレート 1 8 a 及び第 2 プレート 1 8 b を含んでいる。第 1 プレート 1 8 a 及び第 2 プレート 1 8 b は、例えばアルミニウムといった金属から構成されており、略円盤形状を有している。第 2 プレート 1 8 b は、第 1 プレート 1 8 a 上に設けられており、第 1 プレート 1 8 a に電氣的に接続されている。

40

【 0 0 2 8 】

第 2 プレート 1 8 b 上には、静電チャック E S C が設けられている。静電チャック E S C は、導電膜である電極を絶縁層又は絶縁シート間に配置した構造を有している。静電チャック E S C の電極には、直流電源 2 2 がスイッチ 2 3 を介して電氣的に接続されている

50

。この静電チャックESCは、直流電源22からの直流電圧により生じたクーロン力等の静電力によりウエハWを吸着する。これにより、静電チャックESCは、ウエハWを保持することができる。

【0029】

第2プレート18bの周縁部上には、ウエハWのエッジ及び静電チャックESCを囲むようにフォーカスリングFRが配置されている。フォーカスリングFRは、エッチングの均一性を向上させるために設けられている。フォーカスリングFRは、エッチング対象の膜の材料によって適宜選択される材料から構成されており、例えば、石英から構成され得る。

【0030】

第2プレート18bの内部には、冷媒流路24が設けられている。冷媒流路24は、温調機構を構成している。冷媒流路24には、処理容器12の外部に設けられたチラーユニットから配管26aを介して冷媒が供給される。冷媒流路24に供給された冷媒は、配管26bを介してチラーユニットに戻される。このように、冷媒流路24とチラーユニットとの間では、冷媒が循環される。この冷媒の温度を制御することにより、静電チャックESCによって支持されたウエハWの温度が制御される。

【0031】

また、プラズマ処理装置10には、ガス供給ライン28が設けられている。ガス供給ライン28は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス、例えばHeガスを、静電チャックESCの上面とウエハWの裏面との間に供給する。

【0032】

また、プラズマ処理装置10は、上部電極30を備えている。上部電極30は、載置台PDの上方において、当該載置台PDと対向配置されている。下部電極LEと上部電極30とは、互いに略平行に設けられている。上部電極30と載置台PDの間には、ウエハWにプラズマ処理を行うための処理空間Sが提供されている。

【0033】

上部電極30は、絶縁性遮蔽部材32を介して、処理容器12の上部に支持されている。一実施形態では、上部電極30は、載置台PDの上面、即ち、ウエハ載置面からの鉛直方向における距離が可変であるように構成され得る。上部電極30は、天板34及び支持体36を含み得る。天板34は処理空間Sに面しており、当該天板34には複数のガス吐出孔34aが設けられている。この天板34は、一実施形態では、シリコンから構成されている。

【0034】

支持体36は、天板34を着脱自在に支持するものであり、例えばアルミニウムといった導電性材料から構成され得る。この支持体36は、水冷構造を有し得る。支持体36の内部には、ガス拡散室36aが設けられている。このガス拡散室36aからは、ガス吐出孔34aに連通する複数のガス通流孔36bが下方に延びている。また、支持体36には、ガス拡散室36aに処理ガスを導くガス導入口36cが形成されており、このガス導入口36cには、ガス供給管38が接続されている。

【0035】

ガス供給管38には、バルブ群42及び流量制御器群44を介して、ガスソース群40が接続されている。ガスソース群40は、複数のガスソースを含んでいる。一例では、ガスソース群40は、一以上のフルオロカーボンガスのソース、希ガスのソース、窒素ガス(N₂ガス)のソース、水素ガス(H₂ガス)のソース、及び、酸素含有ガスのソースを含んでいる。一以上のフルオロカーボンガスのソースは、一例では、C₄F₈ガスのソース、CF₄ガスのソース、及び、C₄F₆ガスのソースを含み得る。希ガスのソースは、Heガス、Neガス、Arガス、Krガス、Xeガスといった任意の希ガスのソースであることができ、一例では、Arガスのソースである。また、酸素含有ガスのソースは、一例では、酸素ガス(O₂ガス)のソースであり得る。なお、酸素含有ガスは、酸素を含有する任意のガスであってもよく、例えば、COガス又はCO₂ガスといった酸化炭素ガス

10

20

30

40

50

であってもよい。

【0036】

バルブ群42は複数のバルブを含んでおり、流量制御器群44はマスフローコントローラといった複数の流量制御器を含んでいる。ガスソース群40の複数のガスソースはそれぞれ、バルブ群42の対応のバルブ及び流量制御器群44の対応の流量制御器を介して、ガス供給管38に接続されている。

【0037】

また、プラズマ処理装置10では、処理容器12の内壁に沿ってデポシールド46が着脱自在に設けられている。デポシールド46は、支持部14の外周にも設けられている。デポシールド46は、処理容器12にエッチング副生物(デポ)が付着することを防止するものであり、アルミニウム材に Y_2O_3 等のセラミックスを被覆することにより構成され得る。

10

【0038】

処理容器12の底部側、且つ、支持部14と処理容器12の側壁との間には排気プレート48が設けられている。排気プレート48には、当該排気プレート48の板厚方向に貫通する複数の貫通孔が形成されている。排気プレート48は、例えば、アルミニウム材に Y_2O_3 等のセラミックスを被覆することにより構成され得る。この排気プレート48の下方、且つ、処理容器12には、排気口12eが設けられている。排気口12eには、排気管52を介して排気装置50が接続されている。排気装置50は、圧力調整弁、及び、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、処理容器12内の空間を所望の真空度まで減圧することができる。また、処理容器12の側壁にはウエハWの搬入出口12gが設けられており、この搬入出口12gはゲートバルブ54により開閉可能となっている。

20

【0039】

また、プラズマ処理装置10は、第1の高周波電源62及び第2の高周波電源64を更に備えている。第1の高周波電源62は、プラズマ生成用の高周波を発生する電源であり、例えば27~100MHzの周波数の高周波を発生する。第1の高周波電源62は、整合器66を介して下部電極LEに接続されている。整合器66は、第1の高周波電源62の出力インピーダンスと負荷側(下部電極LE側)の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。なお、第1の高周波電源62は、整合器66を介して上部電極30に接続されていてもよい。

30

【0040】

第2の高周波電源64は、ウエハWにイオンを引き込むための高周波バイアスを発生する電源であり、例えば、400kHz~13.56MHzの範囲内の周波数の高周波バイアスを発生する。第2の高周波電源64は、整合器68を介して下部電極LEに接続されている。整合器68は、第2の高周波電源64の出力インピーダンスと負荷側(下部電極LE側)の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。

【0041】

また、プラズマ処理装置10は、電源70を更に備えている。電源70は、上部電極30に接続されている。電源70は、処理空間S内に存在する正イオンを天板34に引き込むための電圧を、上部電極30に印加する。一例においては、電源70は、負の直流電圧を発生する直流電源である。別の一例において、電源70は、比較的low周波の交流電圧を発生する交流電源であってもよい。電源70から上部電極に印加される電圧は、-150V以下の電圧であり得る。即ち、電源70によって上部電極30に印加される電圧は、絶対値が150V以上の負の電圧であり得る。このような電圧が電源70から上部電極30に印加されると、処理空間S内に存在する正イオンが、天板34に衝突する。これにより、天板34から二次電子及び/又はシリコンが放出される。放出されたシリコンは、処理空間S内に存在するフッ素の活性種と結合し、フッ素の活性種の量を低減させる。

40

【0042】

また、一実施形態においては、プラズマ処理装置10は、制御部Cntを更に備え得る。この制御部Cntは、プロセッサ、記憶部、入力装置、表示装置等を備えるコンピュー

50

タであり、プラズマ処理装置 10 の各部を制御する。この制御部 C n t では、入力装置を用いて、オペレータがプラズマ処理装置 10 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うことができ、また、表示装置により、プラズマ処理装置 10 の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、制御部 C n t の記憶部には、プラズマ処理装置 10 で実行される各種処理をプロセッサにより制御するための制御プログラムや、処理条件に応じてプラズマ処理装置 10 の各部に処理を実行させるためのプログラム、即ち、処理レシピが格納される。

【0043】

以下、再び図 1 を参照して、方法 M T について詳細に説明する。以下、図 1 と共に、図 2、図 4 ~ 図 17 を適宜参照する。図 4 ~ 図 16 は、図 1 に示す方法の実施の途中段階における被処理体を示す断面図であり、図 17 は図 1 に示す方法の実施後の被処理体の断面図である。以下の説明では、方法 M T において図 2 に示すウエハ W が図 3 に示す一つのプラズマ処理装置 10 を用いて処理される例について説明する。なお、プラズマ処理装置 10 を用いて実施される方法 M T の各工程では、当該プラズマ処理装置 10 の各部の動作は制御部 C n t によって制御され得る。

10

【0044】

まず、方法 M T では、プラズマ処理装置 10 内に図 2 に示すウエハ W が搬入され、当該ウエハ W が載置台 P D 上に載置されて、当該載置台 P D の静電チャック E S C によって保持される。

【0045】

方法 M T では、次いで、工程 S T 1 が実行される。工程 S T 1 では、反射防止膜 A L がエッチングされる。このため、工程 S T 1 では、ガスソース群 40 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器 12 内に処理ガスが供給される。この処理ガスは、フルオロカーボンガスを含む。フルオロカーボンガスは、例えば、 C_4F_8 ガス及び CF_4 ガスのうち一種以上を含み得る。また、この処理ガスは、希ガス、例えば、Ar ガスを更に含み得る。また、工程 S T 1 では、排気装置 50 が作動され、処理容器 12 内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程 S T 1 では、第 1 の高周波電源 62 からの高周波が下部電極 L E に供給され、第 2 の高周波電源 64 からの高周波バイアスが下部電極 L E に供給される。

20

【0046】

以下に、工程 S T 1 における各種条件を例示する。

30

- ・処理容器内圧力：10 m T o r r (1 . 3 3 P a) ~ 5 0 m T o r r (6 . 6 5 P a)
- ・処理ガス
 - C_4F_8 ガス：10 s c c m ~ 3 0 s c c m
 - CF_4 ガス：150 s c c m ~ 3 0 0 s c c m
 - Ar ガス：200 s c c m ~ 5 0 0 s c c m
- ・プラズマ生成用の高周波の電力：300 W ~ 1 0 0 0 W
- ・高周波バイアスの電力：200 W ~ 5 0 0 W

【0047】

工程 S T 1 では、処理ガスのプラズマが生成され、フルオロカーボン及び / 又はフッ素の活性種によって、レジストマスク R M の開口から露出されている部分において反射防止膜 A L がエッチングされる。その結果、図 4 に示すように、反射防止膜 A L の全領域のうち、レジストマスク R M の開口から露出されている部分が除去される。即ち、反射防止膜 A L にレジストマスク R M のパターンが転写され、開口を提供するパターンが反射防止膜 A L に形成される。

40

【0048】

続く工程 S T 2 では、有機膜 O L がエッチングされる。このため、工程 S T 2 では、ガスソース群 40 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器 12 内に処理ガスが供給される。この処理ガスは、水素ガス及び窒素ガスを含み得る。なお、工程 S T 2 において用いられる処理ガスは、有機膜をエッチングし得るものであれば、他のガス

50

、例えば、酸素ガスを含む処理ガスであってもよい。また、工程ST2では、排気装置50が作動され、処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程ST2では、第1の高周波電源62からの高周波が下部電極LEに供給され、第2の高周波電源64からの高周波バイアスが下部電極LEに供給される。

【0049】

以下に、工程ST2における各種条件を例示する。

- ・処理容器内圧力：50mTorr (6.65Pa) ~ 200mTorr (26.6Pa)
- ・処理ガス
 - N₂ガス：200sccm ~ 400sccm
 - H₂ガス：200sccm ~ 400sccm
- ・プラズマ生成用の高周波の電力：500W ~ 2000W
- ・高周波バイアスの電力：200W ~ 500W

10

【0050】

工程ST2では、処理ガスのプラズマが生成され、反射防止膜ALの開口から露出されている部分において有機膜OLがエッチングされる。また、レジストマスクRMもエッチングされる。その結果、図5に示すように、レジストマスクRMが除去され、有機膜OLの全領域のうち、反射防止膜ALの開口から露出されている部分が除去される。即ち、有機膜OLに反射防止膜ALのパターンが転写され、開口MOを提供するパターンが有機膜OLに形成され、当該有機膜OLからマスクMKが生成される。

20

【0051】

一実施形態においては、工程ST2の実行後に工程ST3が実行される。工程ST3では、第1領域R1が、第2領域R2が露出する直前までエッチングされる。即ち、第2領域R2上に第1領域R1が僅かに残されるまで、当該第1領域R1がエッチングされる。このため、工程ST3では、ガスソース群40の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器12内に処理ガスが供給される。この処理ガスは、フルオロカーボンガスを含む。また、この処理ガスは、希ガス、例えば、Arガスを更に含み得る。また、この処理ガスは、酸素ガスを更に含み得る。また、工程ST3では、排気装置50が作動され、処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程ST3では、第1の高周波電源62からの高周波が下部電極LEに供給され、第2の高周波電源64からの高周波バイアスが下部電極LEに供給される。

30

【0052】

工程ST3では、処理ガスのプラズマが生成され、マスクMKの開口から露出されている部分において第1領域R1が、フルオロカーボン及び/又はフッ素の活性種によってエッチングされる。この工程ST3の処理時間は、当該工程ST3の終了時に、第2領域R2上に第1領域R1が所定の膜厚で残されるように、設定される。この工程ST3の実行の結果、図6に示すように、上部開口UOが部分的に形成される。

【0053】

なお、後述する工程ST11では、工程ST3における第1領域R1のエッチングよりも、第1領域R1を含むウエハWの表面上へのフルオロカーボンを含む堆積物の形成が優位となるモード、即ち、堆積モードとなる条件が設定される。一方、工程ST3では、堆積物の形成よりも第1領域R1のエッチングが優位となるモード、即ち、エッチングモードとなる条件が設定される。このため、一例では、工程ST3において利用されるフルオロカーボンガスは、C₄F₈ガス及びCF₄ガスのうち一種以上を含み得る。この例のフルオロカーボンガスは、工程ST11において利用されるフルオロカーボンガスの炭素原子数に対するフッ素原子数の比（即ち、フッ素原子数/炭素原子数）よりも、炭素原子数に対するフッ素原子数の比（即ち、フッ素原子数/炭素原子数）が高いフルオロカーボンガスである。また、一例では、フルオロカーボンの解離度を高めるために、工程ST3において利用されるプラズマ生成用の高周波の電力は、工程ST11において利用されるプラズマ生成用の高周波の電力よりも大きい電力に設定され得る。これらの例によれば、エ

40

50

ッチングモードを実現することが可能となる。また、一例では、工程 S T 3 において利用される高周波バイアスの電力も、工程 S T 1 1 の高周波バイアスの電力よりも大きい電力に設定され得る。この例によれば、ウエハ W に対して引き込まれるイオンのエネルギーが高められ、第 1 領域 R 1 を高速にエッチングすることが可能となる。

【 0 0 5 4 】

以下に、工程 S T 3 における各種条件を例示する。

- ・ 処理容器内圧力：1 0 m T o r r (1 . 3 3 P a) ~ 5 0 m T o r r (6 . 6 5 P a)
- ・ 処理ガス
 - C₄F₈ガス：1 0 s c c m ~ 3 0 s c c m
 - C F₄ガス：5 0 s c c m ~ 1 5 0 s c c m
 - A r ガス：5 0 0 s c c m ~ 1 0 0 0 s c c m
 - O₂ガス：1 0 s c c m ~ 3 0 s c c m
- ・ プラズマ生成用の高周波の電力：5 0 0 W ~ 2 0 0 0 W
- ・ 高周波バイアスの電力：5 0 0 W ~ 2 0 0 0 W

10

【 0 0 5 5 】

一実施形態では、次いで、工程 S T 4 が実行される。工程 S T 4 では、処理容器 1 2 内において酸素含有ガスを含む処理ガスのプラズマが生成される。このため、工程 S T 4 では、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器 1 2 内に処理ガスが供給される。この処理ガスは、一例では、酸素含有ガスとして、酸素ガスを含み得る。また、処理ガスは、希ガス（例えば、A r ガス）又は窒素ガスといった不活性ガスを更に含み得る。また、工程 S T 4 では、排気装置 5 0 が作動され、処理容器 1 2 内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程 S T 4 では、第 1 の高周波電源 6 2 からの高周波の電力が下部電極 L E に供給される。なお、工程 S T 4 では、第 2 の高周波電源 6 4 からの高周波バイアスが下部電極 L E に供給されなくてもよい。

20

【 0 0 5 6 】

工程 S T 4 では、酸素の活性種が生成され、当該酸素の活性種によってマスク M K の開口 M O がその上端部分において広げられる。具体的には、図 7 に示すように、開口 M O の上端部分を画成するマスク M K の上側肩部がテーパ形状を呈するように、エッチングされる。これにより、以後の工程で生成される堆積物がマスク M K の開口 M O を画成する面に付着しても、当該開口 M O の幅の縮小量を低減させることができる。

30

【 0 0 5 7 】

なお、後述する工程 S T 1 2 は、各シーケンスにおいて形成される微量の堆積物を減少させるものであり、堆積物の過剰な減少を抑制する必要がある。一方、工程 S T 4 では、マスク M K の開口 M O の上端部分の幅を広げるために実行されるものであり、その処理時間の短さが要求される。

【 0 0 5 8 】

以下に、工程 S T 4 における各種条件を例示する。

- ・ 処理容器内圧力：3 0 m T o r r (3 . 9 9 P a) ~ 2 0 0 m T o r r (2 6 . 6 P a)
- ・ 処理ガス
 - O₂ガス：5 0 s c c m ~ 5 0 0 s c c m
 - A r ガス：2 0 0 s c c m ~ 1 5 0 0 s c c m
- ・ プラズマ生成用の高周波の電力：1 0 0 W ~ 5 0 0 W
- ・ 高周波バイアスの電力：0 W ~ 2 0 0 W


40

【 0 0 5 9 】

次いで、方法 M T では、第 1 領域 R 1 をエッチングするために、シーケンス S Q 1 が一回以上実行される。シーケンス S Q 1 は、少なくとも第 2 領域 R 2 が露出するときを含む期間において、第 1 領域 R 1 をエッチングするために実行される。一実施形態では、シーケンス S Q 1 が複数回実行される。シーケンス S Q 1 は、工程 S T 1 1、工程 S T 1 2、及び、工程 S T 1 3 を含んでいる。

50

【 0 0 6 0 】

工程 S T 1 1 では、ウエハ W が收容された処理容器 1 2 内で、処理ガスのプラズマが生成される。このため、工程 S T 1 1 では、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器 1 2 内に処理ガスが供給される。この処理ガスは、フルオロカーボンガスを含む。また、この処理ガスは、希ガス、例えば、A r ガスを更に含み得る。また、工程 S T 1 1 では、排気装置 5 0 が作動され、処理容器 1 2 内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程 S T 1 1 では、第 1 の高周波電源 6 2 からの高周波が下部電極 L E に供給される。なお、第 2 の高周波電源 6 4 からの高周波バイアスが下部電極 L E に供給されてもよい。この工程 S T 1 1 では、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成され、解離したフルオロカーボンが、ウエハ W の表面上に堆積して、 図 8 に示すように堆積物 D P を形成する。

10

【 0 0 6 1 】

上述したように、工程 S T 1 1 では、堆積モードとなる条件が選択される。このため、一例では、フルオロカーボンガスとして、 C_4F_6 ガスが利用される。

【 0 0 6 2 】

以下に、工程 S T 1 1 における各種条件を例示する。

- ・ 処理容器内圧力：10 m T o r r (1 . 3 3 P a) ~ 5 0 m T o r r (6 . 6 5 P a)
- ・ 処理ガス
 - C_4F_6 ガス：2 s c c m ~ 1 0 s c c m
 - A r ガス：5 0 0 s c c m ~ 1 5 0 0 s c c m
- ・ プラズマ生成用の高周波の電力：1 0 0 W ~ 5 0 0 W
- ・ 高周波バイアスの電力：0 W ~ 5 0 W

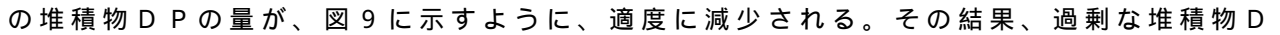
20

【 0 0 6 3 】

続く工程 S T 1 2 では、処理容器 1 2 内において酸素含有ガス及び不活性ガスを含む処理ガスのプラズマが生成される。このため、工程 S T 1 2 では、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器 1 2 内に処理ガスが供給される。一例では、この処理ガスは、酸素含有ガスとして、酸素ガスを含む。また、一例では、この処理ガスは、不活性ガスとして、A r ガスといった希ガスを含む。不活性ガスは、窒素ガスであってもよい。また、工程 S T 1 2 では、排気装置 5 0 が作動され、処理容器 1 2 内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程 S T 1 2 では、第 1 の高周波電源 6 2 からの高周波が下部電極 L E に供給される。工程 S T 1 2 では、第 2 の高周波電源 6 4 からの高周波バイアスが下部電極 L E に供給されなくてもよい。

30

【 0 0 6 4 】

工程 S T 1 2 では、酸素の活性種が生成され、当該酸素の活性種によって、ウエハ W 上の堆積物 D P の量が、 図 9 に示すように、適度に減少される。その結果、過剰な堆積物 D P によって開口 M O 及び上部開口 U O が閉塞されることが防止される。また、工程 S T 1 2 で利用される処理ガスでは、酸素ガスが不活性ガスによって希釈されているので、堆積物 D P が過剰に除去されることを抑制することができる。

【 0 0 6 5 】

以下に、工程 S T 1 2 における各種条件を例示する。

- ・ 処理容器内圧力：10 m T o r r (1 . 3 3 P a) ~ 5 0 m T o r r (6 . 6 5 P a)
- ・ 処理ガス
 - O_2 ガス：2 s c c m ~ 2 0 s c c m
 - A r ガス：5 0 0 s c c m ~ 1 5 0 0 s c c m
- ・ プラズマ生成用の高周波の電力：1 0 0 W ~ 5 0 0 W
- ・ 高周波バイアスの電力：0 W

40

【 0 0 6 6 】

一実施形態では、各シーケンスの工程 S T 1 2、即ち一回の工程 S T 1 2 は 2 秒以上実行され、且つ、工程 S T 1 2 において堆積物 D P が 1 n m / 秒以下のレートでエッチングされ得る。プラズマ処理装置 1 0 のようなプラズマ処理装置を用いて上記シーケンスを実

50

行するには、工程 S T 1 1、工程 S T 1 2、及び工程 S T 1 3 の各工程間の遷移のためのガスの切り換えに時間を要する。したがって、放電の安定に要する時間を考慮すると、工程 S T 1 2 は 2 秒以上実行される必要がある。しかしながら、このような時間長の期間における堆積物 D P のエッチングのレートが高すぎると、第 2 領域 R 2 を保護するための堆積物が過剰に除去され得る。このため、工程 S T 1 2 において 1 n m / 秒以下のレートで堆積物 D P がエッチングされる。これにより、ウエハ W 上に形成されている堆積物 D P の量を適度に調整することが可能となる。なお、工程 S T 1 2 における堆積物 D P のエッチングの 1 n m / 秒以下のレートは、処理容器内の圧力、処理ガス中の酸素の希ガスによる希釈の度合い、即ち、酸素濃度、及び、プラズマ生成用の高周波の電力を、上述した条件から選択することによって達成され得る。

10

【 0 0 6 7 】

続く工程 S T 1 3 では、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。この工程 S T 1 3 では、堆積物 D P 中のフルオロカーボンと第 1 領域 R 1 の酸化シリコンとの反応を促進させる処理が行われる。このため、工程 S T 1 3 では、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器 1 2 内に処理ガスが供給される。この処理ガスは、不活性ガスを含む。不活性ガスは、一例では、A r ガスといった希ガスであり得る。或いは、不活性ガスは、窒素ガスであってもよい。また、工程 S T 1 3 では、排気装置 5 0 が作動され、処理容器 1 2 内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程 S T 1 3 では、第 1 の高周波電源 6 2 から高周波が下部電極 L E に供給される。また、工程 S T 1 3 では、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアスが下部電極 L E に供給される。

20

【 0 0 6 8 】

以下に、工程 S T 1 3 における各種条件を例示する。

- ・ 処理容器内圧力：1 0 m T o r r (1 . 3 3 P a) ~ 5 0 m T o r r (6 . 6 5 P a)
- ・ 処理ガス
 - A r ガス：5 0 0 s c c m ~ 1 5 0 0 s c c m
- ・ プラズマ生成用の高周波の電力：1 0 0 W ~ 5 0 0 W
- ・ 高周波バイアスの電力：2 0 W ~ 3 0 0 W

【 0 0 6 9 】

工程 S T 1 3 では、不活性ガスのプラズマが生成され、イオンがウエハ W に対して引き込まれる。これにより、堆積物 D P 中に含まれるフルオロカーボンのラジカルと第 1 領域 R 1 の酸化シリコンとの反応が促進され、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。この工程 S T 1 3 の実行により、図 1 0 に示すように、第 2 領域 R 2 によって提供される凹部内の第 1 領域 R 1 がエッチングされ、下部開口 L O が形成される。

30

【 0 0 7 0 】

シーケンス S Q 1 の実行回数は、第 2 領域 R 2 によって画成される凹部内の第 1 領域 R 1 の膜厚等に依存して設定される。例えば、当該凹部内の第 1 領域 R 1 を凹部の底までエッチングできれば、シーケンス S Q 1 の実行回数は 1 回であってもよい。この場合には、後述する工程 S T a の判定は不要であり、シーケンス S Q 1 の実行後、後述するシーケンス S Q 2 が実行される。

【 0 0 7 1 】

一実施形態では、シーケンス S Q 1 は繰り返して実行される。即ち、シーケンス S Q 1 が複数回実行される。この実施形態では、工程 S T a において、停止条件が満たされるかが判定される。停止条件はシーケンス S Q 1 が所定回数実行されている場合に満たされるものと判定される。工程 S T a において、停止条件が満たされないと判定される場合には、工程 S T 1 1 からシーケンス S Q 1 が実行される。この実施形態では、シーケンス S Q 1 の繰り返しのに伴い、図 1 1 に示すように、工程 S T 1 1 では堆積物 D P がウエハ W 上に形成される。そして、図 1 2 に示すように、工程 S T 1 2 では、堆積物 D P の量が減少される。そして、図 1 3 に示すように、工程 S T 1 3 では更に第 1 領域 R 1 がエッチングされ、下部開口 L O の深さが深くなる。最終的には、図 1 4 に示すように、凹部の底にある第 2 領域 R 2 が露出するまで第 1 領域 R 1 がエッチングされる。一方、工程 S T a に

40

50

において、停止条件が満たされると判定される場合には、次いで、シーケンス S Q 2 が一回以上実行される。

【 0 0 7 2 】

方法 M T のシーケンス S Q 1 で形成される堆積物 D P は、図 1 4 に示すように、マスク M K 上及び第 2 領域 R 2 の上面 T S 上のみならず、凹部を画成する第 2 領域 R 2 の側壁面 S W F に沿っても形成される。この堆積物 D P によって側壁面 S W F に隣接する箇所第 1 領域 R 1 のエッチングは阻害される、その結果、シーケンス S Q 1 の実行後には、側壁面 S W F に隣接する箇所において第 1 領域 R 1 の残渣 R S が生じる。方法 M T では、残渣 R S を除去すべく、シーケンス S Q 2 が一回以上実行される。シーケンス S Q 2 は工程 S T 2 1 及び工程 S T 2 2 を含んでいる。

10

【 0 0 7 3 】

工程 S T 2 1 では、ウエハ W が収容された処理容器 1 2 内で、処理ガスのプラズマが生成される。このため、工程 S T 2 1 では、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器 1 2 内に処理ガスが供給される。この処理ガスは、フルオロカーボンガスを含む。また、この処理ガスは、希ガス、例えば、A r ガスを更に含む。また、工程 S T 2 1 では、排気装置 5 0 が作動され、処理容器 1 2 内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程 S T 2 1 では、第 1 の高周波電源 6 2 から高周波が下部電極 L E に供給される。これにより、フルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマが生成され、解離したフルオロカーボンが、ウエハ W の表面上に堆積して、図 1 5 に示すように堆積物 D P を形成する。

20

【 0 0 7 4 】

工程 S T 2 1 では、堆積モードとなる条件が選択される。このため、一例では、フルオロカーボンガスとして、C₄F₆ ガスが利用される。また、一実施形態の工程 S T 2 1 では、プラズマの生成のために使用される高周波の電力が、工程 S T 1 1 でプラズマの生成のために使用される電力よりも大きい電力に設定される。

【 0 0 7 5 】

以下に、工程 S T 2 1 における各種条件を例示する。

- ・ 処理容器内圧力：1 0 m T o r r (1 . 3 3 P a) ~ 5 0 m T o r r (6 . 6 5 P a)
- ・ 処理ガス
 - C₄F₆ ガス：2 s c c m ~ 1 0 s c c m
 - A r ガス：5 0 0 s c c m ~ 1 5 0 0 s c c m
- ・ プラズマ生成用の高周波の電力：1 0 0 W ~ 7 0 0 W
- ・ 高周波バイアスの電力：0 W ~ 5 0 W

30

【 0 0 7 6 】

続く工程 S T 2 2 では、処理容器 1 2 内において酸素含有ガス及び不活性ガスを含む処理ガスのプラズマが生成される。このため、工程 S T 2 2 では、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器 1 2 内に処理ガスが供給される。一例では、この処理ガスは、酸素含有ガスとして、酸素ガスを含む。また、一例では、この処理ガスは、不活性ガスとして、A r ガスといった希ガスを含む。不活性ガスは、窒素ガスであってもよい。また、工程 S T 2 2 では、排気装置 5 0 が作動され、処理容器 1 2 内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程 S T 2 2 では、第 1 の高周波電源 6 2 から高周波が下部電極 L E に供給される。

40

【 0 0 7 7 】

一実施形態の工程 S T 2 2 では、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアスが工程 S T 1 1 で使用される第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアスの電力よりも低い電力に設定される。例えば、工程 S T 2 2 では、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアスが 0 W に設定される。また、一実施形態の工程 S T 2 2 では、処理容器 1 2 内の空間の圧力が、工程 S T 1 1 における処理容器 1 2 内の空間の圧力よりも高い圧力に設定される。

【 0 0 7 8 】

以下に、工程 S T 2 2 における各種条件を例示する。

50

- ・処理容器内圧力：40 mTorr (5.33 Pa) ~ 120 mTorr (16.0 Pa)
- ・処理ガス
 - ₂ガス：0.1 sccm ~ 20 sccm
 - Arガス：10 sccm ~ 500 sccm
- ・プラズマ生成用の高周波の電力：25 W ~ 100 W
- ・高周波バイアスの電力：0 W ~ 25 W

【0079】

工程ST22では、酸素の活性種が生成され、当該酸素の活性種によって堆積物DPの量が減少される。また、不活性ガスのプラズマに由来する活性種によって、堆積物DP中のフルオロカーボンと残渣RSとの反応が促進されて、図16に示すように、残渣RSが減少される。

10

【0080】

シーケンスSQ2の実行回数は、残渣RSが十分に除去される回数として予め設定されている。例えば、残渣RSが十分に除去されるのであれば、シーケンスSQ2の実行回数は1回であってもよい。この場合には、後述する工程STbの判定は不要であり、シーケンスSQ2の実行後、方法MTは終了する。

【0081】

一実施形態では、シーケンスSQ2は繰り返して実行される。即ち、シーケンスSQ2が複数回実行される。この実施形態では、工程STbにおいて、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件はシーケンスSQ2が所定回数実行されている場合に満たされるものと判定される。工程STbにおいて、停止条件が満たされないと判定される場合には、工程ST21からシーケンスSQ2が実行される。一方、工程STbにおいて、停止条件が満たされると判定される場合には、方法MTは終了する。このとき、図17に示すように、残渣RSが除去され、下部開口LOの底部における幅が広がる。

20

【0082】

以上説明した方法MTでは、シーケンスSQ1の工程ST11において形成される堆積物DPが、第2領域R2に対しては当該第2領域R2を保護する膜として機能する。また、堆積物DPは、第1領域R1に対しては工程ST13において当該第1領域R1をエッチングするためのラジカルのソースとなる。したがって、シーケンスSQ1によれば、第2領域R2の浸食を抑制しつつ第1領域R1をエッチングすることが可能である。

30

【0083】

また、シーケンスSQ2の工程21では、第2領域R2を保護するために、また、第1領域R1の残渣を除去するためのラジカルのソースを形成するために、シーケンスSQ1の実行後のウエハW上にフルオロカーボンを含む堆積物DPが更に形成される。続く工程ST22では、側壁面SWFに沿って形成された堆積物DPを減少させるために、酸素ガスのプラズマが生成される。また、工程ST22では、不活性ガスのプラズマに由来する活性種によって堆積物DPと残渣RSとの反応が促進されて、当該残渣RSが減少される。したがって、方法MTによれば、第2領域R2の浸食が抑制され、第2領域R2によって画成される凹部内の第1領域R1の残渣が減少される。

40

【0084】

また、シーケンスSQ1の工程ST11及びシーケンスSQ2の工程ST21では、第1領域R1のエッチングのためのラジカルのソースである堆積物DPがウエハWの略全表面上に形成される。この堆積物DPは、フォーカスリングFR上にも堆積する。したがって、第1領域R1をエッチングするラジカルのウエハWの面内における濃度差が、小さくなる。その結果、第1領域R1のエッチングの面内均一性が向上される。

【0085】

また、幅が異なる複数の開口を単一のウエハWの第1領域R1に形成する場合には、広い開口が形成される箇所には多量の堆積物DPが形成され、狭い開口が形成される領域には少量の堆積物が形成されるが、このような堆積物DPの量の差異は、工程ST12及び

50

工程 S T 2 2 において低減される。その結果、これらの箇所におけるエッチングレートの差異が低減される。例えば、広い開口が形成される箇所において、堆積物 D P の量に起因してエッチングレートが低下すること、或いは、エッチングが停止することを抑制することができる。

【 0 0 8 6 】

一実施形態では、上述したように、工程 S T 2 1 においてプラズマの生成のために使用される高周波の電力が、工程 S T 1 1 においてプラズマの生成のために使用される高周波の電力より大きい電力に設定される。この実施形態によれば、凹部内の残渣 R S の除去に適した解離状態のフルオロカーボンが凹部に供給することが可能となる。

【 0 0 8 7 】

また、一実施形態では、工程 S T 2 2 において設定される処理容器 1 2 内の空間の圧力は、工程 S T 1 1 において設定される処理容器 1 2 内の空間の圧力よりも高く、工程 S T 2 2 において下部電極 L E に供給される高周波バイアスの電力が、工程 S T 1 1 において下部電極 L E に供給される高周波バイアスの電力よりも小さい。即ち、この実施形態では、工程 S T 2 2 において高圧且つ低バイアスの条件が利用される。高圧且つ低バイアスの条件下では、低圧及び / 又は高バイアスの条件に比して、活性種がより等方的にウエハ W に衝突する。したがって、側壁面 S W F に沿って形成された堆積物 D P 及び残渣 R S の量を効率的に減少させることが可能となる。

【 0 0 8 8 】

更なる実施形態では、第 2 領域 R 2 が露出されるときを含む期間に実行されるシーケンス S Q 1 (以下、「第 1 シーケンス」という) において第 1 領域 R 1 がエッチングされる量が、以後に実行されるシーケンス S Q 1 (以下、「第 2 シーケンス」という) において第 1 領域 R 1 がエッチングされる量よりも少なくなるように、シーケンス S Q 1 の繰り返しにおける条件が設定されてもよい。一例においては、第 1 シーケンスの実行時間が、第 2 シーケンスの実行時間よりも短く設定される。この例では、第 1 シーケンスにおける工程 S T 1 1 の実行時間長、工程 S T 1 2 の実行時間長、及び工程 S T 1 3 の実行時間長の比は、第 2 シーケンスにおける工程 S T 1 1 の実行時間長、工程 S T 1 2 の実行時間長、及び工程 S T 1 3 の実行時間長の比と同様に設定され得る。例えば、第 1 シーケンスでは、工程 S T 1 1 の実行時間長は 2 秒 ~ 5 秒の範囲の時間長から選択され、工程 S T 1 2 の実行時間長は 2 秒 ~ 5 秒の範囲の時間長から選択され、工程 S T 1 3 の実行時間長は 5 秒 ~ 1 0 秒の範囲の時間長から選択される。また、第 2 シーケンスでは、工程 S T 1 1 の実行時間長は 2 秒 ~ 1 0 秒の範囲の時間長から選択され、工程 S T 1 2 の実行時間長は 2 秒 ~ 1 0 秒の範囲の時間長から選択され、工程 S T 1 3 の実行時間長は 5 秒 ~ 2 0 秒の範囲の時間長から選択される。

【 0 0 8 9 】

工程 S T 1 1 で生成されるフルオロカーボンの解離種は、第 2 領域 R 2 上に堆積して当該第 2 領域 R 2 を保護するが、第 1 領域 R 1 がエッチングされて第 2 領域 R 2 が露出したときには、第 2 領域 R 2 を微量ではあるもののエッチングすることがある。そこで、一実施形態では、第 2 領域 R 2 が露出する期間において第 1 シーケンスが実行される。これにより、エッチング量が抑えられつつ堆積物 D P がウエハ W 上に形成され、当該堆積物 D P によって第 2 領域 R 2 がより確実に保護される。しかる後に、エッチング量の多い第 2 シーケンスが実行される。したがって、この実施形態によれば、第 2 領域 R 2 の浸食を更に抑制しつつ、第 1 領域 R 1 をエッチングすることが可能となる。

【 0 0 9 0 】

また、第 2 シーケンスの実行の後に実行されるシーケンス S Q 1 (以下、「第 3 シーケンス」という) の工程 S T 1 3 では、高周波バイアスの電力が、第 1 シーケンス及び第 2 シーケンスの工程 S T 1 3 において利用される高周波バイアスの電力よりも、大きい電力に設定されてもよい。例えば、第 1 シーケンス及び第 2 シーケンスの工程 S T 1 3 では、高周波バイアスの電力が 2 0 W ~ 1 0 0 W の電力に設定され、第 3 シーケンスの工程 S T 1 3 では、高周波バイアスの電力が 1 0 0 W ~ 3 0 0 W の電力に設定される。なお、一例

10

20

30

40

50

の第3シーケンスでは、工程ST11の実行時間長は2秒～10秒の範囲の時間長から選択され、工程ST12の実行時間長は2秒～10秒の範囲の時間長から選択され、工程ST13の実行時間長は5秒～15秒の範囲の時間長から選択される。このように、第3シーケンスの工程ST13では比較的大きい電力の高周波バイアスが利用されるので、ウエハWに引きつけられるイオンのエネルギーが高められる。その結果、下部開口LOが深くても、当該下部開口LOの深部までイオンを供給することが可能となる。

【0091】

以下、別の実施形態に係るエッチング方法について説明する。図18は、別の実施形態に係るエッチング方法を示す流れ図である。図18に示す方法MT2は、工程ST13の実行の後に実行される工程ST14をシーケンスSQ1が更に含む点で、方法MTと異なっている。なお、方法MT2がプラズマ処理装置10を用いて実行される場合には、当該方法MT2の各工程におけるプラズマ処理装置10の各部の動作は制御部Cntによって制御され得る。

10

【0092】

方法MT2の工程ST14は、工程ST12と同様の工程である。工程ST14の処理における条件には、工程ST12の処理に関して上述した条件が採用され得る。上述したように、工程ST13ではウエハWに対してイオンが引き込まれる。これにより、堆積物DPを構成する物質がウエハWから放出され、当該物質がウエハWに再度付着する。ウエハWに再付着した物質は、堆積物DPを構成し、開口MO及び下部開口LOの幅を狭めることがあり、場合によっては、開口MO及び下部開口LOを閉塞させることがある。方法MT2では、工程ST14の実行によって、図10及び図13に示したウエハWが、酸素の活性種に晒される。これにより、開口MO及び下部開口LOの幅を狭める堆積物DPを減少させることができる。その結果、開口MO及び下部開口LOの閉塞をより確実に防止することができる。

20

【0093】

以下、更に別の実施形態に係るエッチング方法について説明する。図19は、更に別の実施形態に係るエッチング方法を示す流れ図である。図19に示す方法MT3は、工程ST5を更に含む点において方法MT及び方法MT2とは異なっている。なお、方法MT3がプラズマ処理装置10を用いて実行される場合には、当該方法MT3の各工程におけるプラズマ処理装置10の各部の動作は制御部Cntによって制御され得る。

30

【0094】

方法MT3では、シーケンスSQ1は第2領域R2が露出するときを含む期間において実行される。即ち、第2領域R2が露出するときにおいて当該第2領域R2上に堆積物を形成して当該第2領域R2を十分に保護するよう、シーケンスSQ1が実行される。そして、シーケンスSQ1の実行後に、凹部の底まで第1領域R1をエッチングするために工程ST5が実行される。しかる後に、シーケンスSQ2が実行される。即ち、工程ST5は、シーケンスSQ1の一回以上の実行とシーケンスSQ2の一回以上の実行との間に実行される。

【0095】

工程ST5では、ガスソース群40の複数のガスソースのうち選択されたガスソースから処理容器12内に処理ガス(第2の処理ガス)が供給される。この処理ガスは、フルオロカーボンガスを含む。また、この処理ガスは、希ガス、例えば、Arガスを更に含む得る。また、この処理ガスは、酸素ガスを更に含む得る。また、工程ST5では、排気装置50が作動され、処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程ST5では、第1の高周波電源62からの高周波が下部電極LEに供給される。また、第2の高周波電源64からの高周波バイアスが下部電極LEに対して供給される。

40

【0096】

工程ST5では、処理ガスのプラズマが生成され、凹部内の第1領域R1が、フルオロカーボン及び/又はフッ素の活性種によってエッチングされる。この工程ST5においては、エッチングモードとなる条件が選択される。このため、一例では、工程ST5におい

50

て利用されるフルオロカーボンガスは、 C_4F_6 ガスである。なお、工程 S T 5 において利用されるフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス及び CF_4 ガスのうち一種以上を含んでいてもよい。また、一例では、フルオロカーボンガスの解離度を高めるために、工程 S T 5 において利用されるプラズマ生成用の高周波の電力は、工程 S T 1 1 において利用されるプラズマ生成用の高周波の電力よりも大きい電力に設定され得る。また、一例では、工程 S T 5 において利用される高周波バイアスの電力も、工程 S T 1 1 の高周波バイアスの電力よりも大きい電力に設定され得る。この例によれば、ウエハ W に対して引き込まれるイオンのエネルギーが高められ、第 1 領域 R 1 を高速にエッチングすることが可能となる。

【0097】

以下に、工程 S T 5 における各種条件を例示する。

- ・処理容器内圧力：10 m Torr (1 . 3 3 Pa) ~ 5 0 m Torr (6 . 6 5 Pa)
- ・処理ガス
 - C_4F_6 ガス：2 s c c m ~ 1 0 s c c m
 - Ar ガス：5 0 0 s c c m ~ 2 0 0 0 s c c m
 - O_2 ガス：2 s c c m ~ 2 0 s c c m
- ・プラズマ生成用の高周波電力：1 0 0 W ~ 5 0 0 W
- ・高周波バイアス電力：2 0 W ~ 3 0 0 W
- ・電源 7 0 の電圧：0 V ~ 9 0 0 V

【0098】

方法 M T 3 では、シーケンス S Q 1 の実行によって形成された堆積物 D P によって第 2 領域 R 2 が保護された状態で、工程 S T 5 が実行される。工程 S T 5 では、フルオロカーボンガスのプラズマにより第 1 領域が更にエッチングされる。この工程 S T 5 における第 1 領域 R 1 のエッチングレートは、シーケンス S Q 1 における第 1 領域 R 1 のエッチングのレートよりも高い。したがって、方法 M T 3 によれば、より短縮された時間で第 1 領域 R 1 を凹部の底までエッチングすることができる。また、方法 M T 3 によれば、工程 S T 5 の実行の後に残渣 R S を減少させることが可能となる。

【0099】

以上、種々の実施形態について説明してきたが、上述した実施形態に限定されることなく種々の変形態様を構成可能である。例えば、方法 M T、方法 M T 2、及び方法 M T 3 の各工程では、プラズマ生成用の高周波は下部電極 L E ではなく上部電極 3 0 に供給されてもよい。また、方法 M T、方法 M T 2、及び方法 M T 3 の実施には、プラズマ処理装置 1 0 以外のプラズマ処理装置を用いることができる。例えば、方法 M T、方法 M T 2、及び方法 M T 3 の実施に、誘導結合型のプラズマ処理装置、又は、マイクロ波といった表面波によってプラズマを生成するプラズマ処理装置のように、任意のプラズマ処理装置を用いることが可能である。

【0100】

また、シーケンス S Q 1 における工程 S T 1 1、工程 S T 1 2、及び工程 S T 1 3 の実行順序が変更されてもよい。例えば、シーケンス S Q 1 において、工程 S T 1 3 の実行後に工程 S T 1 2 が実行されてもよい。

【0101】

また、方法 M T、方法 M T 2、及び方法 M T 3 から工程 S T 3 が省略されてもよい。この場合には、上部開口 U O の形成のために工程 S T 3 の代わりにシーケンス S Q 1 を実行することが可能である。

【0102】

以下、方法 M T の評価のために行った実験例 1 ~ 3 について説明するが、本発明はこれら実験例に限定されるものでない。

【0103】

実験例 1 ~ 3 では、図 2 0 の (a) に示すウエハ W E を準備した。ウエハ W E は、基板 S B 上にシリコン酸化膜 O X を有し、当該シリコン酸化膜 O X 上にマスク M K E を有する

10

20

30

40

50

ものであった。シリコン酸化膜OXの膜厚は2 μm であり、マスクMKEの開口の幅は19 nmであった。実験例1～3では、プラズマ処理装置10を用いて、ウエハWEに対して、シーケンスSQ1を12回実行し、次いで、シーケンスSQ2を実行した。実験例1～3のシーケンスSQ2の実行回数はそれぞれ、6回、12回、18回であった。また、比較実験例において、ウエハWEを準備し、プラズマ処理装置10を用いて、当該ウエハWEに対してシーケンスSQ1を12回実行した。比較実験例ではシーケンスSQ2は実行しなかった。

【0104】

実験例1～3及び比較実験例におけるシーケンスSQ1の条件を示す。

<工程ST11>

処理容器12内の空間の圧力：20 sccm (2.66 Pa)

C₄F₆ガス流量：4 sccm

Arガス流量：750 sccm

プラズマ生成用の高周波：40 MHz、300 W

高周波バイアス：13 MHz、50 W

処理時間：10秒

<工程ST12>

処理容器12内の空間の圧力：80 sccm (10.6 Pa)

Arガス流量：100 sccm

O₂ガス流量：3 sccm

プラズマ生成用の高周波：40 MHz、50 W

高周波バイアス：13 MHz、0 W

処理時間：4秒

<工程ST13>

処理容器12内の空間の圧力：20 sccm (2.66 Pa)

Arガス流量：950 sccm

プラズマ生成用の高周波：40 MHz、500 W

高周波バイアス：13 MHz、50 W

処理時間：4秒

【0105】

実験例1～3のシーケンスSQ2の条件を示す

<工程ST21>

処理容器12内の空間の圧力：20 sccm (2.66 Pa)

C₄F₆ガス流量：4 sccm

Arガス流量：750 sccm

プラズマ生成用の高周波：40 MHz、500 W

高周波バイアス：13 MHz、0 W

処理時間：10秒

<工程ST22>

処理容器12内の空間の圧力：80 sccm (10.6 Pa)

Arガス流量：100 sccm

O₂ガス流量：3 sccm

プラズマ生成用の高周波：40 MHz、50 W

高周波バイアス：13 MHz、0 W

処理時間：4秒

【0106】

実験例1～3及び比較実験例では、上述した条件での処理によってシリコン酸化膜OXをエッチングした後にアッシング処理を行った。そして、実験例1～3及び比較実験例では、図20の(b)に示すように、ウエハWEのシリコン酸化膜OXに形成された開口の上端の幅UW、及び当該開口の底部の幅BWを、当該ウエハWEのSEM画像から測定し

10

20

30

40

50

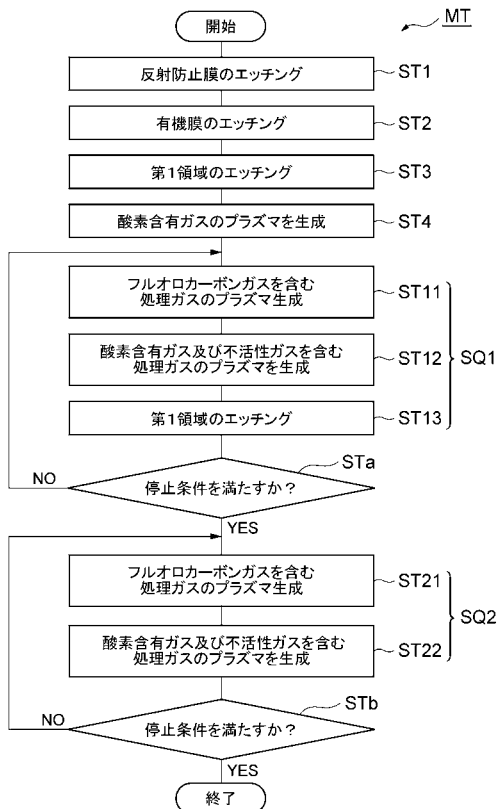
た。その結果、実験例 1 では、幅 UW は 21.6 nm 、幅 BW は 12.7 nm であった。実験例 2 では、幅 UW は 22.2 nm 、幅 BW は 15.9 nm であった。実験例 3 では、幅 UW は 23.5 nm 、幅 BW は 19.7 nm であった。また、比較実験例では、幅 UW は 21.0 nm 、幅 BW は 6.4 nm であった。したがって、実験例 1 ~ 3 では、比較実験例に比して、開口の底部の幅を広げることが可能であることが確認された。

【符号の説明】

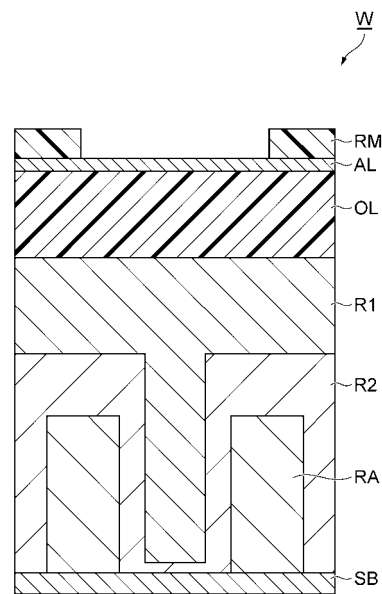
【0107】

10 ... プラズマ処理装置、12 ... 処理容器、30 ... 上部電極、PD ... 載置台、LE ... 下部電極、ESC ... 静電チャック、FR ... フォーカスリング、40 ... ガスソース群、50 ... 排気装置、62 ... 第 1 の高周波電源、64 ... 第 2 の高周波電源、Cnt ... 制御部、W ... ウエハ、R1 ... 第 1 領域、R2 ... 第 2 領域、MK ... マスク、DP ... 堆積物、RS ... 残渣。

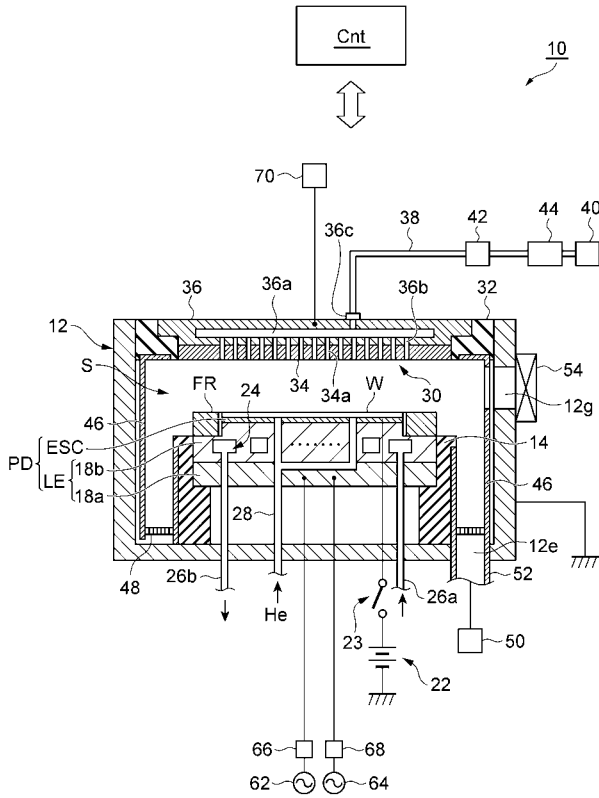
【図 1】



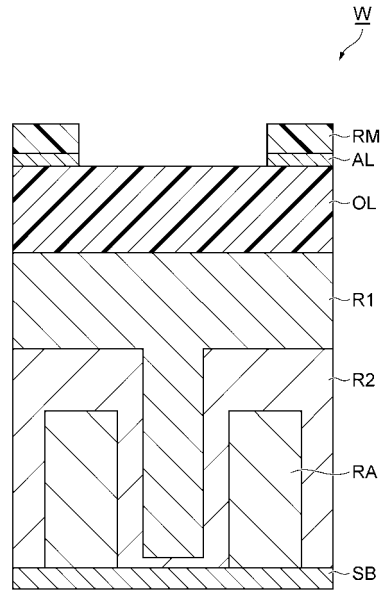
【図 2】



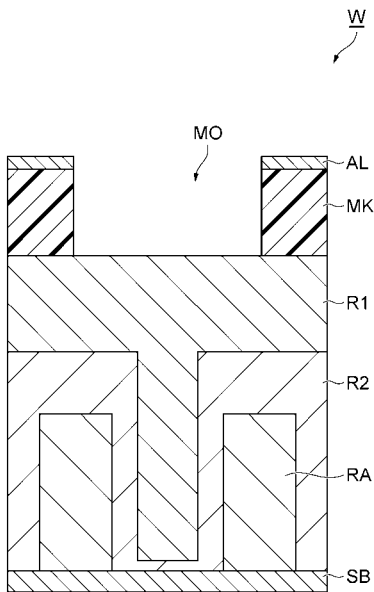
【 図 3 】



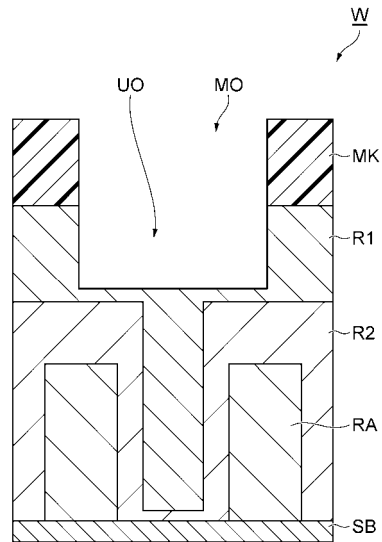
【 図 4 】



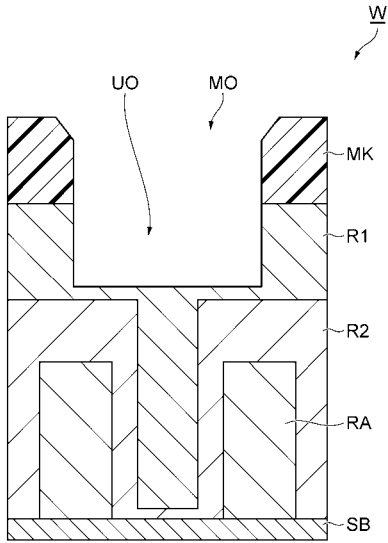
【 図 5 】



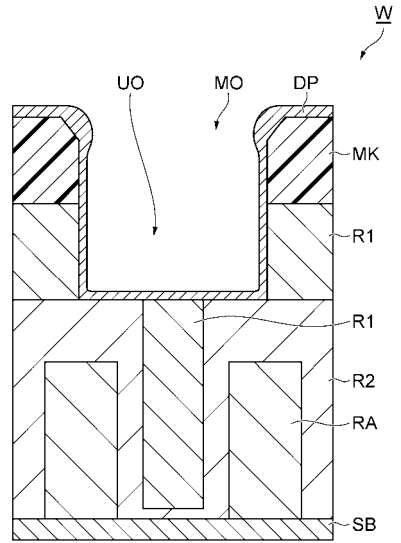
【 図 6 】



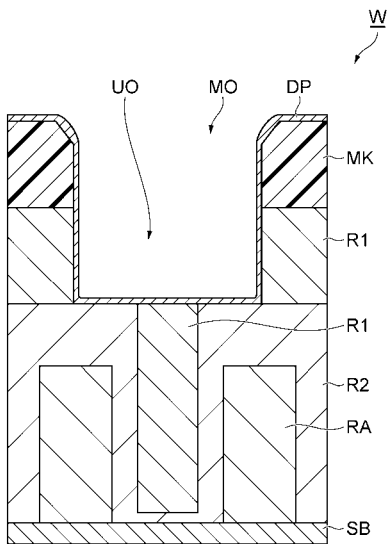
【 図 7 】



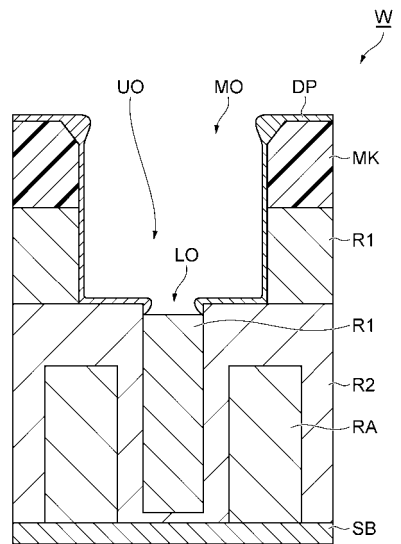
【 図 8 】



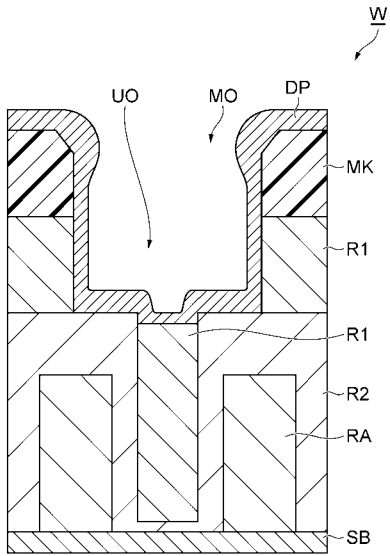
【 図 9 】



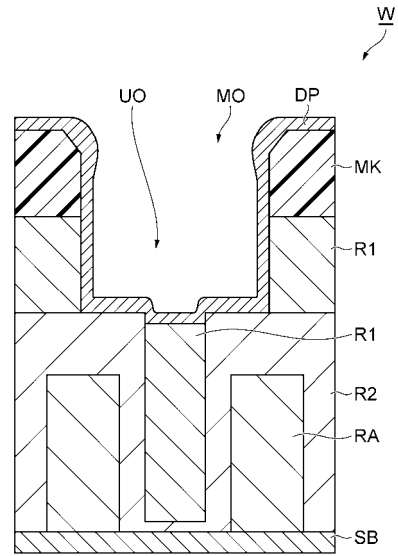
【 図 10 】



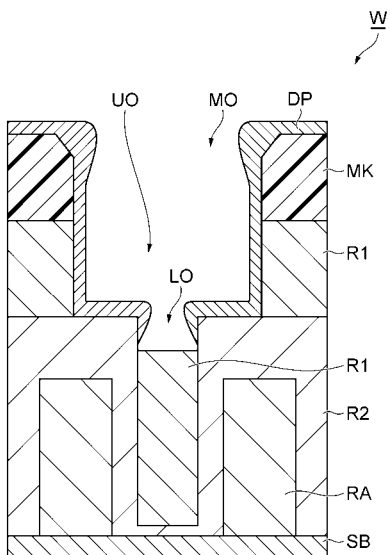
【 図 1 1 】



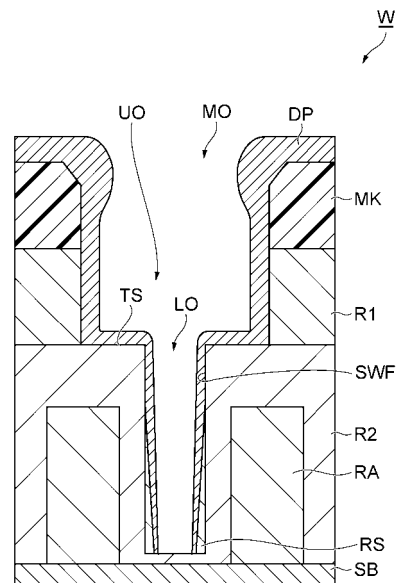
【 図 1 2 】



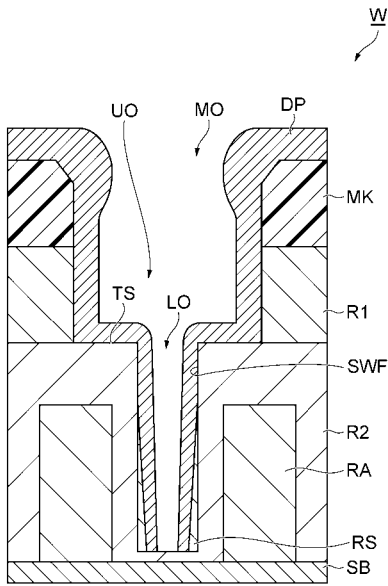
【 図 1 3 】



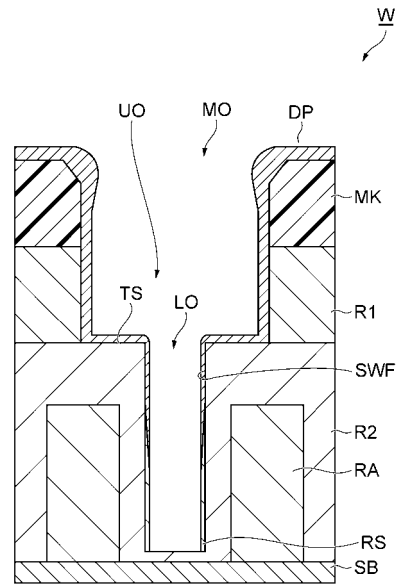
【 図 1 4 】



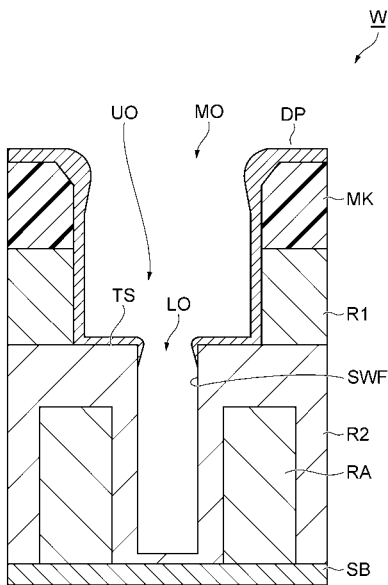
【 図 1 5 】



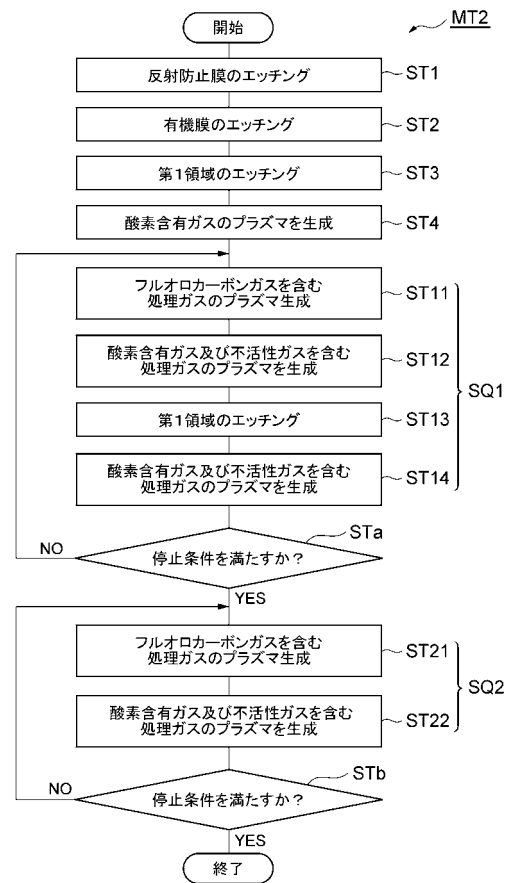
【 図 1 6 】



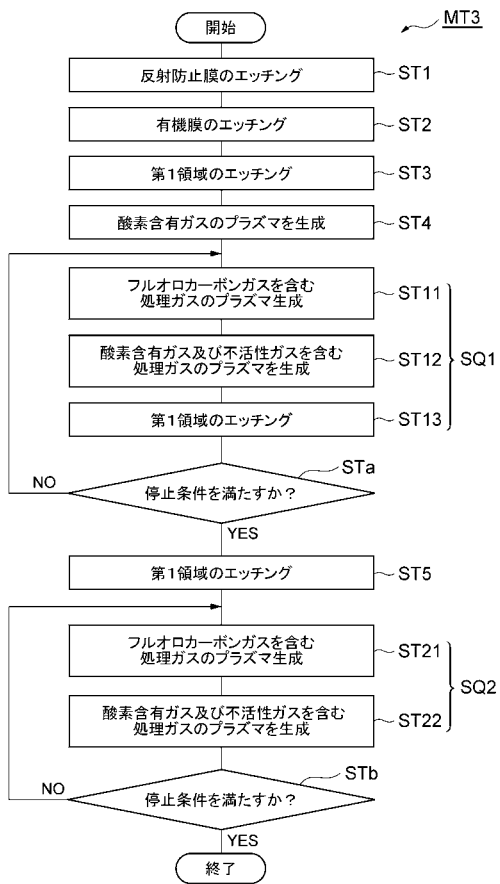
【 図 1 7 】



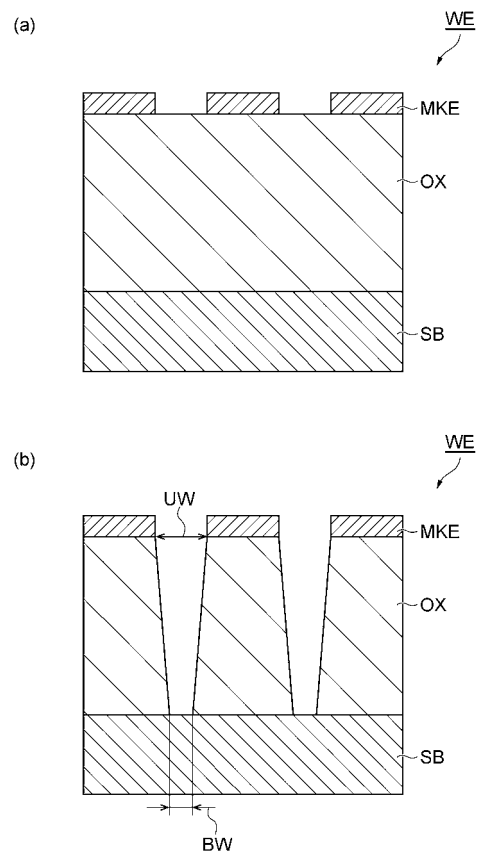
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



フロントページの続き

(72)発明者 杉本 勝

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内

Fターム(参考) 5F004 AA02 CA02 CA03 DA00 DA01 DA23 DA24 DA25 DA26 DB03

EA28