

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6235981号
(P6235981)

(45) 発行日 平成29年11月22日(2017.11.22)

(24) 登録日 平成29年11月2日(2017.11.2)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006.01)
HO 1 L 21/336 (2006.01)
HO 1 L 29/78 (2006.01)
HO 1 L 21/28 (2006.01)
HO 1 L 21/768 (2006.01)

HO 1 L 21/302 1 O 5 A
HO 1 L 29/78 3 O 1 X
HO 1 L 29/78 3 O 1 P
HO 1 L 21/28 L
HO 1 L 21/90 C

請求項の数 15 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2014-219285 (P2014-219285)
(22) 出願日 平成26年10月28日(2014.10.28)
(65) 公開番号 特開2016-27594 (P2016-27594A)
(43) 公開日 平成28年2月18日(2016.2.18)
審査請求日 平成29年7月6日(2017.7.6)
(31) 優先権主張番号 特願2014-135629 (P2014-135629)
(32) 優先日 平成26年7月1日(2014.7.1)
(33) 優先権主張国 日本国(JP)

早期審査対象出願

(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 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 渡邊 光
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 本田 昌伸
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】 被処理体を処理する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

下地層、該下地層上に互いに離間して設けられた二つの隆起領域、前記二つの隆起領域を覆う第1部分及び前記下地層を覆う第2部分を含む窒化シリコン製の窒化領域、及び、前記窒化領域を覆う酸化シリコン製の酸化領域を有する被処理体を処理して、前記二つの隆起領域の間を通過して前記下地層まで達する開口を形成する方法であって、

前記二つの隆起領域の間で前記第2部分を露出させる開口を前記酸化領域に形成する工程と、

前記開口内の酸化シリコン製の残渣及び前記第2部分をエッチングする工程であり、水素を含有するガス及び NF_3 ガスを含む混合ガスのプラズマに前記被処理体を晒して残渣及び前記第2部分を変質させることにより変質領域を形成し、該変質領域を除去する、該工程と、を含む方法。

【請求項2】

前記混合ガスは、 H_2 ガス及び NF_3 ガスを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記残渣及び前記第2部分をエッチングする前記工程は、

NH_3 ガス及び前記 NF_3 ガスを含む前記混合ガスのプラズマに前記被処理体を晒して前記変質領域を形成し、該変質領域を除去する工程と、

H_2 ガス及び前記 NF_3 ガスを含む前記混合ガスのプラズマに前記被処理体を晒して前

記変質領域を形成し、該変質領域を除去する工程と、を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記変質領域は、前記被処理体を加熱することによって、除去される、請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記変質領域は、容量結合型のプラズマ処理装置のシリコン製の上部電極に正イオンを引きつけることによって該上部電極から放出される二次電子に前記被処理体を晒すことによって、除去される、請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記開口を前記酸化領域に形成する前記工程は、

前記窒化領域上及び前記酸化領域上に保護膜を形成する工程であり、前記被処理体をフルオロカーボンガスのプラズマに晒して、前記酸化領域上に形成される保護膜よりも厚い保護膜を前記窒化領域上に形成する、該工程と、

前記酸化領域をエッチングする工程であり、フルオロカーボンガスのプラズマに前記被処理体を晒す、該工程と、を含む、

前記保護膜を形成する前記工程において前記被処理体を載置する載置台に供給される高周波バイアス電力が、前記酸化領域をエッチングする前記工程において前記載置台に供給される高周波バイアス電力よりも小さく、

前記保護膜を形成する前記工程において、前記被処理体の温度が 60 以上 250 以下の温度に設定される、

請求項 1 ～ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記保護膜を形成する前記工程では、前記載置台に高周波バイアス電力が供給されない、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記保護膜を形成する前記工程においては、前記フルオロカーボンガスとして、 C_4F_6 、 C_4F_8 、及び C_6F_6 のうち少なくとも一種を含むガスが用いられる、請求項 6 又は 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記保護膜を形成する前記工程及び前記酸化領域をエッチングする前記工程が交互に繰り返される、請求項 6 ～ 8 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 10】

前記開口を前記酸化領域に形成する前記工程は、

前記被処理体をフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマに晒す工程であり、前記酸化領域をエッチングし、且つ、該酸化領域上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成する、該工程と、

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り前記酸化領域をエッチングする工程と、

を含む、

前記被処理体をフルオロカーボンガスのプラズマに晒す前記工程と、前記フルオロカーボンのラジカルにより前記酸化領域をエッチングする前記工程とが、交互に繰り返される、

請求項 1 ～ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 11】

前記フルオロカーボンのラジカルにより前記酸化領域をエッチングする前記工程では、希ガスのプラズマに前記被処理体が晒される、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記フルオロカーボンのラジカルにより前記酸化領域をエッチングする前記工程では、

10

20

30

40

50

フルオロカーボンガスが供給されない、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記開口を前記酸化領域に形成する前記工程と前記残渣及び前記第 2 部分をエッチングする前記工程との間に、前記第 1 部分及び前記第 2 部分上に別の保護膜を形成する工程を更に含む、請求項 1 ~ 1 2 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記別の保護膜を形成する工程では、フルオロカーボンガスのプラズマ処理が実行されることにより、フルオロカーボンを含む前記別の保護膜が形成される、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記開口が形成された被処理体上の有機物を除去するためのアッシング処理を実行する工程を更に含む、

前記別の保護膜を形成する工程は、アッシング処理を実行する前記工程と前記残渣及び前記第 2 部分をエッチングする前記工程との間に、実行される、
請求項 1 3 又は 1 4 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、被処理体を処理する方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

フィン型の電界効果トランジスタといった素子を有する電子デバイスの製造においては、コンタクト形成のために、SAC (Self - Aligned Contact) 加工が用いられている。

【0003】

SAC 加工の対象となる被処理体は、下地層、二つの隆起領域、窒化領域、及び酸化領域を有している。下地層は、例えば多結晶シリコン層である。二つの隆起領域は、例えば、ゲートであり、多結晶シリコンから構成されている。これら隆起領域は互いに離間して下地層上に設けられている。窒化領域は、窒化シリコン製であり、二つの隆起領域及び下地層を覆うように設けられている。酸化領域は、酸化シリコン製であり、窒化領域を覆うように設けられている。

【0004】

SAC 加工では、酸化領域の表面から二つの隆起領域の間の領域を通過して下地層まで達するホールが酸化領域に形成される。一般的に、SAC 加工では、このような開口を形成するために、フルオロカーボンガスのプラズマを用いて、酸化領域がエッチングされ、下地層に接する窒化領域がエッチングされる。なお、このような SAC 加工については、特許文献 1 に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】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】

【0006】

フルオロカーボンガスのプラズマによる酸化領域のエッチングでは、ホールの底、特に、窒化領域の隅部に、酸化シリコンからなる残渣が発生する。したがって、形成されるホールの底の幅は狭くなる。このような形状のホールを更に深く加工するために、窒化領域をエッチングしようとしても、当該窒化領域のエッチングを十分に行うことができない。また、フルオロカーボンガスのプラズマ中の活性種、例えば、フッ素の活性種によって隆起領域を覆う窒化領域、特に、窒化領域の角部が削られてしまう。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

したがって、SACでは、隆起領域を覆う窒化領域の削れを低減しつつ、ホールといった開口内の残渣及び下地層直上の窒化領域をエッチングすることが必要である。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

一側面においては、被処理体を処理する方法が提供される。被処理体は、下地層、該下地層上に互いに離間して設けられた二つの隆起領域、二つの隆起領域を覆う第1部分及び下地層を覆う第2部分を含む窒化シリコン製の窒化領域、及び、窒化領域を覆う酸化シリコン製の酸化領域を有する。本方法は、被処理体を処理して、酸化領域から二つの隆起領域の間を通して下地層まで達する開口を形成するものである。この方法は、(1)二つの隆起領域の間で第2部分を露出させる開口を酸化領域に形成する工程(以下、「第1工程」という)と、(2)開口内の酸化シリコン製の残渣及び第2部分をエッチングする工程(以下、「第2工程」という)であり、水素を含有するガス及び NF_3 ガスを含む混合ガスのプラズマに被処理体を晒して残渣及び第2部分を変質させることにより変質領域を形成し、該変質領域を除去する、該工程と、を含む。

10

【 0 0 0 9 】

この方法では、残渣を化学的にケイフッ化アンモニウムに変質させて変質領域を形成し、当該変質領域を除去する。したがって、ホールの底の残渣を除去することが可能である。また、窒化シリコン製の第2部分をも、ケイフッ化アンモニウムに変質させて除去することができる。さらに、従来のフルオロカーボンガスのプラズマでは残渣を除去できないために第2部分を除去するまでに、隆起領域を覆う窒化領域、即ち第1部分、特に当該第1部分の肩部が大きく削られてしまうが、本方法によれば、残渣が除去されるので、第2部分の除去中の第1部分の削れを低減させることが可能である。

20

【 0 0 1 0 】

一実施形態では、第2工程に用いられる混合ガスは、 H_2 ガス及び NF_3 ガスを含んでもよい。この混合ガスによれば、残渣及び第2部分を一括して除去することが可能である。

【 0 0 1 1 】

一実施形態では、第2工程は、(2a) NH_3 ガス及び NF_3 ガスを含む混合ガスのプラズマに被処理体を晒して変質領域を形成し、該変質領域を除去する工程と、(2b) H_2 ガス及び NF_3 ガスを含む混合ガスのプラズマに被処理体を晒して変質領域を形成し、該変質領域を除去する工程と、を含む。

30

【 0 0 1 2 】

酸化シリコンをケイフッ化アンモニウムに変質させるためには、混合ガスからフッ化アンモニウムを生成する必要がある。混合ガスが NH_3 ガス及び NF_3 ガスを含む場合には、低解離のプラズマを発生させることによってフッ化アンモニウムを生成することができる。したがって、窒化シリコンの削れの原因となるフッ素及び HF の活性種の発生量を低減させることができ、窒化シリコンに対して酸化シリコンを比較的高い選択性でエッチングすることができる。一方、混合ガスが H_2 ガス及び NF_3 ガスを含む混合ガスを用いる場合には、高解離のプラズマを発生させることによってフッ化アンモニウムを生成することができる。 H_2 ガス及び NF_3 ガスを含む混合ガスを用いる場合には、高解離のプラズマ中で比較的多量のフッ素及び HF の活性種が生成される。したがって、窒化シリコンのエッチングに対する酸化シリコンのエッチング選択性は低くなるが、窒化シリコンのエッチングレートを高めることができる。

40

【 0 0 1 3 】

上記実施形態では、残渣及び第2部分の除去の初期段階、特に残渣の除去時に、 NH_3 ガス及び NF_3 ガスを含む混合ガスを用いることにより、残渣の除去が行われている期間中の第1部分の削れを抑制することができる。次いで、 H_2 ガス及び NF_3 ガスを含む混合ガスを用いることにより、第2部分のエッチングレートを高めることができる。したがって、第1部分の削れを更に低減しつつ、残渣及び第2部分を除去することが可能となる

50

。

【0014】

一実施形態では、被処理体を加熱することによって変質領域が除去されてもよい。或いは、一実施形態では、容量結合型のプラズマ処理装置のシリコン製の上部電極に正イオンを引きつけることによって該上部電極から放出される二次電子に被処理体を晒すことによって、変質領域が除去されてもよい。

【0015】

一実施形態では、第1工程は、(1a)窒化領域上及び酸化領域上に保護膜を形成する工程(以下、「第3工程」という)であり、被処理体をフルオロカーボンガスのプラズマに晒して、酸化領域上に形成される保護膜よりも厚い保護膜を窒化領域上に形成する、該工程と、(1b)酸化領域をエッチングする工程(以下、「第4工程」という)であり、フルオロカーボンガスのプラズマに被処理体を晒す、該工程と、を含む。この実施形態では、第3工程において被処理体を載置する載置台に供給される高周波バイアス電力が、第4工程において載置台に供給される高周波バイアス電力よりも小さく、第3工程において被処理体の温度が60 以上250 以下の温度に設定される。一実施形態では、第3工程及び第4工程は、交互に繰り返されてもよい。また、一実施形態では、第3工程において高周波バイアス電力が載置台に供給されなくてもよい。また、一実施形態では、第3工程において、フルオロカーボンガスとして、 C_4F_6 、 C_4F_8 、及び C_6F_6 のうち少なくとも一種を含むガスが用いられてもよい。

【0016】

60 以上250 以下の温度環境下では、窒化領域上に形成されるフルオロカーボンの保護膜の厚さは、酸化領域上に形成される当該保護膜の厚さよりも大きくなる。また、比較的低いバイアス電力が供給された状態では、窒化領域のエッチングレートは低くなる。したがって、上記実施形態によれば、第3工程において厚い保護膜を窒化領域上に形成することができ、第4工程において選択的に酸化領域をエッチングする際に窒化領域の削れを抑制することが可能となる。

【0017】

一実施形態では、第1工程は、(1c)被処理体をフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマに晒す工程(以下、「第5工程」という)であり、酸化領域をエッチングし、且つ、該酸化領域上にフルオロカーボンを含む堆積物を形成する、該工程と、(1d)堆積物に含まれるフルオロカーボンのラジカルにより酸化領域をエッチングする工程(以下、「第6工程」という)と、を含む。この実施形態では、第5工程と第6工程が、交互に繰り返される。

【0018】

この実施形態では、第5工程において生成されるフルオロカーボンガスのプラズマによって酸化領域がエッチングされ、当該酸化領域上に堆積物が形成される。次いで、第6工程において、堆積物に含まれるフルオロカーボンのラジカルを用いて酸化領域が更にエッチングされる。また、第6工程では、堆積物の量が減少する、したがって、再び第5工程を行うことにより、酸化領域のエッチングが更に進行する。かかる第5工程及び第6工程が交互に繰り返されることにより、酸化領域、即ちシリコン酸化膜のエッチングの停止を防止することが可能となる。その結果、酸化領域のエッチングを継続して行うことが可能となる。

【0019】

一実施形態では、第6工程では、希ガスのプラズマに被処理体が晒されてもよい。この実施形態では、希ガス原子のイオンが堆積物に衝突することにより、当該堆積物中のフルオロカーボンラジカルが酸化領域をエッチングする。なお、一実施形態の第6工程では、フルオロカーボンガスが実質的に供給されなくてもよい。

【0020】

一実施形態の方法は、第1部分及び第2部分上に別の保護膜を形成する工程を更に含み、該別の保護膜を形成する工程は第1工程と第2工程との間に実行される。別の保護膜を

形成する工程では、フルオロカーボンガスのプラズマ処理が実行されてもよい。即ち、別の保護膜は、フルオロカーボンを含む保護膜であってもよい。保護膜の形成に寄与する分子の量は、隆起領域の頂部近傍では多く、酸化領域に形成された開口の深部では少なくなる。したがって、保護膜の膜厚は、隆起領域の頂部近傍で大きくなり、開口の深部近傍では小さくなる。したがって、第 1 部分の削れを更に抑制しつつ、残渣及び第 2 部分をエッチングすることが可能となる。

【 0 0 2 1 】

一実施形態の方法は、前記開口が形成された被処理体上の有機物を除去するためのアッシング処理を実行する工程を更に含み得る。別の保護膜を形成する工程は、アッシング処理を実行する工程と第 2 工程との間に実行され得る。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 2 2 】

以上説明したように、SAC 加工において隆起領域を覆う窒化領域の削れを低減しつつ、ホールといった開口内の残渣及び下地層直上の窒化領域をエッチングすることが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 3 】

【 図 1 】 一実施形態に係る被処理体を処理する方法を示す流れ図である。

【 図 2 】 被処理体の一例を示す断面図である。

【 図 3 】 一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

20

【 図 4 】 図 1 に示す工程 S 1 の一実施形態を示す流れ図である。

【 図 5 】 図 4 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 図 6 】 図 4 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 図 7 】 図 4 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 図 8 】 図 1 に示す工程 S 1 の別の実施形態を示す流れ図である。

【 図 9 】 図 8 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 図 1 0 】 図 1 に示す工程 S 3 の一実施形態を示す流れ図である。

【 図 1 1 】 図 1 0 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 図 1 2 】 図 1 に示す工程 S 3 の別の実施形態を示す流れ図である。

【 図 1 3 】 図 1 2 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

30

【 図 1 4 】 図 1 2 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 図 1 5 】 別の実施形態に係る被処理体を処理する方法を示す流れ図である。

【 図 1 6 】 図 1 5 に示す方法の幾つかの工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 図 1 7 】 更に別の実施形態に係る被処理体を処理する方法を示す流れ図である。

【 図 1 8 】 更に別の実施形態に係る被処理体を処理する方法を示す流れ図である。

【 図 1 9 】 実験例 1、比較実験例 1、及び比較実験例 2 で計測した各種寸法を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 4 】

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ることとする。

40

【 0 0 2 5 】

図 1 は、一実施形態に係る被処理体を処理する方法を示す流れ図である。図 1 に示す方法 MT は、被処理体（以下、「ウエハ W」という）に開口を形成する方法である。この方法 MT は、一例においては、図 2 に示す被処理体にホールといった開口を形成するために利用することができる。

【 0 0 2 6 】

図 2 は、被処理体の一例を示す断面図である。図 2 に示すウエハ W は、下地層 1 0 0、複数の隆起領域 1 0 2、窒化領域 1 0 4、酸化領域 1 0 6、及び、マスク 1 0 8 を有している。このウエハ W は、例えば、フィン型電界効果トランジスタの製造中に得られる生産

50

物であり得る。

【0027】

下地層100は、例えば、多結晶シリコンから構成され得る。下地層100は、一例においては、基板に設けられたフィン型電界効果トランジスタのフィン領域であり、一对の側面と当該一对の側面の上端の間で延在する上面とによって規定される形状を有する。一例では、下地層100は、略直方体形状を有し得る。

【0028】

複数の隆起領域102は、下地層100よりも上方に隆起するように設けられた領域である。複数の隆起領域102は、下地層100上において互いに離間して設けられている。例えば、複数の隆起領域102は、互いに離間して略平行に配列されている。これら隆起領域102は、一例においては、フィン型電界効果トランジスタのゲート領域であり、多結晶シリコン製の領域であり得る。この一例においては、隆起領域102は、フィン領域である下地層100が延在する方向に直交する方向に延在しており、一对の側面と当該一对の側面の上端の間で延在する上面とによって規定される形状を有する。例えば、隆起領域102は、略直方体形状を有し得る。なお、隆起領域102の個数は2以上であれば、任意の個数であり得る。

【0029】

窒化領域104は、窒化シリコンから構成されており、第1部分104a及び第2部分104bを含んでいる。第1部分104aは、隆起領域102を覆うように設けられている。第1部分104aは、隆起領域102の表面に接している。また、第2部分104bは、第1部分104aに連続しており、隣接する隆起領域102の間において下地層100上に設けられている。

【0030】

酸化領域106は、酸化シリコンから構成されている。酸化領域106は、窒化領域104を覆うように設けられている。即ち、酸化領域106は、窒化領域104を覆うように隣接する隆起領域102の間に埋め込まれており、隆起領域102及び窒化領域104の上方に略平坦な面を提供している。この酸化領域106は、一例においてはフィン型電界効果トランジスタの層間絶縁層であり得る。

【0031】

酸化領域106上には、マスク108が設けられている。マスク108は、隣接する隆起領域102間の上方において開口するパターンを有している。このマスク108は、有機膜から構成されている。なお、マスク108は、フォトリソグラフィによって作成することが可能である。

【0032】

方法MTは、隣接する隆起領域102の間において酸化領域106の上面から下地層100の上面まで達する開口を形成するために利用される。即ち、隣接する隆起領域102の間に自己整合的に開口、例えば、ホールを形成するために利用される。以下、ウエハWに形成される開口がホールであるものとして説明を続ける。このホールは、一例においては、フィン領域のソース又はドレインに接続するコンタクト用のホールとなり得る。

【0033】

以下、方法MTの実施に利用可能なプラズマ処理装置について説明する。図3は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図3に示すプラズマ処理装置10は、容量結合型プラズマエッチング装置であり、処理容器12を備えている。処理容器12は、略円筒形状を有している。処理容器12は、例えば、アルミニウムから構成されており、そ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12は保安接地されている。

【0034】

処理容器12の底部上には、略円筒状の支持部14が設けられている。支持部14は、例えば、絶縁材料から構成されている。支持部14は、処理容器12内において、処理容器12の底部から鉛直方向に延在している。また、処理容器12内には、載置台PDが設

10

20

30

40

50

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 3 5 】

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、略円盤形状をなしている。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。

【 0 0 3 6 】

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一对の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。この静電チャック E S C は、直流電源 2 2 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 E S C は、ウエハ W を保持することができる。

【 0 0 3 7 】

第 2 プレート 1 8 b の周縁部上には、ウエハ W のエッジ及び静電チャック E S C を囲むようにフォーカスリング F R が配置されている。フォーカスリング F R 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 F R 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。

【 0 0 3 8 】

第 2 プレート 1 8 b の内部には、冷媒流路 2 4 が設けられている。冷媒流路 2 4 は、温調機構を構成している。冷媒流路 2 4 には、処理容器 1 2 の外部に設けられたチラーユニットから配管 2 6 a を介して冷媒が供給される。冷媒流路 2 4 に供給された冷媒は、配管 2 6 b 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 2 4 には、冷媒が循環するよう、供給される。この冷媒の温度を制御することにより、静電チャック E S C によって支持されたウエハ W の温度が制御される。

【 0 0 3 9 】

また、プラズマ処理装置 1 0 には、ガス供給ライン 2 8 が設けられている。ガス供給ライン 2 8 は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス、例えば H e ガスを、静電チャック E S C の上面とウエハ W の裏面との間に供給する。

【 0 0 4 0 】

また、プラズマ処理装置 1 0 には、加熱素子であるヒータ H T が設けられている。ヒータ H T は、例えば、第 2 プレート 1 8 b 内に埋め込まれている。ヒータ H T には、ヒータ電源 H P が接続されている。ヒータ電源 H P からヒータ H T に電力が供給されることにより、載置台 P D の温度が調整され、当該載置台 P D 上に載置されるウエハ W の温度が調整されるようになっている。なお、ヒータ H T は、静電チャック E S C に内蔵されていてもよい。

【 0 0 4 1 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、上部電極 3 0 を備えている。上部電極 3 0 は、載置台 P D の上方において、当該載置台 P D と対向配置されている。下部電極 L E と上部電極 3 0 とは、互いに略平行に設けられている。これら上部電極 3 0 と下部電極 L E との間には、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。

【 0 0 4 2 】

上部電極 3 0 は、絶縁性遮蔽部材 3 2 を介して、処理容器 1 2 の上部に支持されている。一実施形態では、上部電極 3 0 は、載置台 P D 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 3 0 は、電極板 3 4 及び電極支持体 3 6 を含み得る。電極板 3 4 は処理空間 S に面しており、当該電極板 3 4 には複数のガス吐出孔 3 4 a が設けられている。この電極板 3 4 は、一実施形態では、シリコン

10

20

30

40

50

から構成されている。

【 0 0 4 3 】

電極支持体 3 6 は、電極板 3 4 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。この電極支持体 3 6 は、水冷構造を有し得る。電極支持体 3 6 の内部には、ガス拡散室 3 6 a が設けられている。このガス拡散室 3 6 a からは、ガス吐出孔 3 4 a に連通する複数のガス通流孔 3 6 b が下方に延びている。また、電極支持体 3 6 には、ガス拡散室 3 6 a に処理ガスを導くガス導入口 3 6 c が形成されており、このガス導入口 3 6 c には、ガス供給管 3 8 が接続されている。

【 0 0 4 4 】

ガス供給管 3 8 には、バルブ群 4 2 及び流量制御器群 4 4 を介して、ガスソース群 4 0 が接続されている。ガスソース群 4 0 は、複数のガスソースを有している。複数のガスソースは、フルオロカーボンガスのソース、酸素ガス (O_2 ガス) のソース、希ガスのソース、不活性ガスのソース、 NF_3 ガスのソース、 NH_3 ガスのソース、及び、水素ガス (H_2 ガス) のソースを含み得る。なお、不活性ガスは、窒素ガス (N_2 ガス) であることができる。また、希ガスは、Ar ガス、He ガスといった任意の希ガスであることができる。また、フルオロカーボンガスは、 C_4F_6 、 C_4F_8 、及び C_6F_6 のうち少なくとも一種を含むガスであり得る。

【 0 0 4 5 】

バルブ群 4 2 は複数のバルブを含んでおり、流量制御器群 4 4 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 4 0 の複数のガスソースはそれぞれ、バルブ群 4 2 の対応のバルブ及び流量制御器群 4 4 の対応の流量制御器を介して、ガス供給管 3 8 に接続されている。

【 0 0 4 6 】

また、プラズマ処理装置 1 0 では、処理容器 1 2 の内壁に沿ってデポシールド 4 6 が着脱自在に設けられている。デポシールド 4 6 は、支持部 1 4 の外周にも設けられている。デポシールド 4 6 は、処理容器 1 2 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。

【 0 0 4 7 】

処理容器 1 2 の底部側、且つ、支持部 1 4 と処理容器 1 2 の側壁との間には排気プレート 4 8 が設けられている。排気プレート 4 8 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 4 8 の下方、且つ、処理容器 1 2 には、排気口 1 2 e が設けられている。排気口 1 2 e には、排気管 5 2 を介して排気装置 5 0 が接続されている。排気装置 5 0 は、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 1 2 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 1 2 の側壁にはウエハ W の搬入出口 1 2 g が設けられており、この搬入出口 1 2 g はゲートバルブ 5 4 により開閉可能となっている。

【 0 0 4 8 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 を更に備えている。第 1 の高周波電源 6 2 は、プラズマ生成用の第 1 の高周波電力を発生する電源であり、 $27 \sim 100 \text{ MHz}$ の周波数、一例においては 40 MHz の高周波電力を発生する。第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 を介して下部電極 LE に接続されている。整合器 6 6 は、第 1 の高周波電源 6 2 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である。

【 0 0 4 9 】

第 2 の高周波電源 6 4 は、ウエハ W にイオンを引き込むための第 2 の高周波電力、即ち高周波バイアス電力を発生する電源であり、 $400 \text{ kHz} \sim 13.56 \text{ MHz}$ の範囲内の周波数、一例においては 13 MHz の高周波バイアス電力を発生する。第 2 の高周波電源 6 4 は、整合器 6 8 を介して下部電極 LE に接続されている。整合器 6 8 は、第 2 の高周波電源 6 4 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

10

20

30

40

50

合させるための回路である。

【0050】

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電極板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に存在する正イオンが、電極板34に衝突する。これにより、電極板34から二次電子及び/又はシリコンが放出される。

10

【0051】

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タであり、プラズマ処理装置10の各部を制御する。具体的に、制御部Cntは、バルブ群42、流量制御器群44、排気装置50、第1の高周波電源62、整合器66、第2の高周波電源64、整合器68、電源70、ヒータ電源HP、及びチラーユニットに接続されている。

【0052】

制御部Cntは、入力されたレシピに基づくプログラムに従って動作し、制御信号を送出する。制御部Cntからの制御信号により、ガスソース群から供給されるガスの選択及び流量、排気装置50の排気、第1の高周波電源62及び第2の高周波電源64からの電力供給、電源70からの電圧印加、ヒータ電源HPの電力供給、チラーユニットからの冷媒流量及び冷媒温度を制御することが可能である。

20

【0053】

再び図1を参照し、制御部Cntの各種制御と共に、方法MTの各工程について詳細に説明する。図1に示すように、方法MTでは、まず、工程S1が実行される。工程S1では、隣接する隆起領域102の間で第2部分104bを露出させる開口が酸化領域106に形成される。図4は、図1に示す工程S1の一実施形態を示す流れ図である。以下、図4と共に、図5、図6、及び図7を参照する。図5、図6、及び図7は、図4に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

30

【0054】

図4に示すように、一実施形態の工程S1は、工程SA11~工程SA17を含んでいる。工程SA11では、図2に示すウエハWの酸化領域106を変質させることにより、変質領域が形成される。具体的に、工程SA11では、ウエハWが、第1のガスのプラズマに晒される。この第1のガスは、水素、窒素、及びフッ素を含有する。例えば、第1のガスは、 H_2 ガス、 N_2 ガス、及び NF_3 ガスの混合ガス、或いは、 NH_3 ガス及び NF_3 ガスの混合ガスであり得る。また、第1のガスは、Arガスといった希ガスを含んでもよい。この第1のガスのプラズマにウエハWが晒されると、酸化領域106を構成する酸化シリコンが、ケイフッ化アンモニウム($(NH_4)_2SiF_6$)に変質する。これにより、図5の(a)に示すように、酸化領域106の少なくとも一部が変質領域106aへと変質する。

40

【0055】

プラズマ処理装置10を用いて工程SA11を行う場合には、制御部Cntは、ガスソース群40から上述した第1のガス供給するよう、バルブ群42及び流量制御器群44を制御する。また、制御部Cntは、第1のガスを励起させるため、高周波電力を下部電極LEに供給するよう、第1の高周波電源62を制御する。

【0056】

工程SA11では、処理容器12内の圧力は、例えば、400mTorr~600mTorr(53.33Pa~79.99Pa)の圧力に設定される。また、第1の高周波電

50

源 6 2 から供給される高周波電力は、例えば、800W～1200Wの間の電力に設定される。また、工程 S A 1 1 では、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアス電力は供給されなくてもよい。また、第 1 のガスとして、 H_2 ガス、 N_2 ガス、及び NF_3 ガスの混合ガスを用いる場合には、当該混合ガス中の NF_3 ガスと H_2 ガスの分圧は、1 : 2 ~ 1 : 10 の範囲内の分圧、例えば、1 : 2.5 の分圧に制御される。また、ウエハ W の温度は、60 以下の温度、例えば、0 の温度に制御される。このため、制御部 C n t は、プラズマ処理装置 10 のヒータ電源 H P を制御して、載置台 P D の温度を調整することができる。また、工程 S A 1 1 の処理時間は、30 秒～60 秒に設定され得る。

【0057】

次いで、一実施形態の工程 S 1 では、工程 S A 1 2 が行われる。工程 S A 1 2 では、変質領域 106 a が除去される。一例では、変質領域 106 a は、ウエハ W を加熱することによって除去される。この例では、ウエハ W は、例えば 60 ～250 の温度範囲内の温度に加熱され得る。プラズマ処理装置 10 においてウエハ W が加熱される場合には、制御部 C n t は、ヒータ電源 H P を制御することにより、載置台 P D の温度を調整する。これにより、ウエハ W が加熱される。なお、工程 S A 1 2 では、ウエハ W はプラズマ処理装置 10 とは別の加熱処理装置を用いて加熱されてもよい。

【0058】

また、工程 S A 1 2 の別の一例では、ウエハ W に対して二次電子が照射されることにより変質領域 106 a が除去される。この例の工程 S A 1 2 をプラズマ処理装置 10 を用いて実行する場合には、ガスソース群 40 から不活性ガス又は希ガスが処理容器 12 内に供給され、排気装置 50 により処理容器 12 内の圧力が設定値に減圧される。なお、工程 S A 1 2 で用いられるガスは、当該ガスが励起されることにより正イオンを生じさせることが可能なガスである。したがって、工程 S A 1 2 では、 H_2 ガスが用いられてもよい。また、この例の工程 S A 1 2 では、電源 70 からプラズマ処理装置 10 の上部電極 30 に電圧が印加される。また、この例の工程 S A 1 2 では、ガスを励起させるために、第 1 の高周波電源 6 2 から高周波電力が下部電極 L E に供給される。これにより、処理容器 12 内において正イオンが生成される。なお、この例の工程 S A 1 2 では、必要に応じて、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアス電力が下部電極 L E に供給されてもよい。

【0059】

二次電子を利用する工程 S A 1 2 では、処理容器 12 内の圧力は、例えば、40 m T o r r ~ 60 m T o r r (5 . 3 3 P a ~ 7 . 9 9 P a) の圧力に設定される。第 1 の高周波電源 6 2 から供給される高周波電力は、例えば、200W～400Wの間の電力に設定される。また、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアス電力は供給されなくてもよい。また、電源 70 からプラズマ処理装置 10 の上部電極 30 に印加される電圧は、その絶対値が 1000 V の負の直流電圧であり得る。なお、工程 S A 1 2 において上部電極 30 に印加される負の直流電圧の絶対値は、少なくとも 500 V 以上であればよく、例えば 800 V ~ 1200 V の範囲内の絶対値に設定され得る。また、希ガスとして A r ガスが供給される場合には、当該 A r ガスの流量は 300 s c c m ~ 500 s c c m の範囲内の流量に設定され得る。また、ウエハ W の温度は、60 以下の温度、例えば、40 に制御される。また、処理時間は、20 秒～40 秒に設定され得る。

【0060】

これらの例に係る工程 S A 1 2 によれば、変質領域 106 a のケイフッ化アンモニウムが昇華する。その結果、図 5 の (b) に示すように、変質領域 106 a が除去される。

【0061】

これらの工程 S A 1 1 及び工程 S A 1 2 は、窒化領域 104 の上面が露出するまで、交互に所定回数（例えば、7 回）実行される。工程 S A 1 3 では、工程 S A 1 1 及び工程 S A 1 2 の繰り返し回数が停止条件を満たすか否かが判定される。即ち、工程 S A 1 3 では、工程 S A 1 1 及び S A 1 2 が所定回数実行されたか否かが判定される。この停止条件が満たされない場合には、工程 S A 1 1 及び工程 S A 1 2 が再び繰り返される。一方、停止条件が満たされる場合には、プロセスは工程 S A 1 4 に移行する。このように工程 S A 1

10

20

30

40

50

1 及び工程 S A 1 2 が繰り返される結果、図 5 の (c) に示すように、酸化領域 1 0 6 が部分的に除去され、窒化領域 1 0 4、即ち第 1 部分 1 0 4 a の上面が露出する。これら工程 S A 1 1 及び工程 S A 1 2 の処理は、窒化領域 1 0 4 に対して酸化領域 1 0 6 を比較的高い選択比で除去することができる。したがって、窒化領域 1 0 4 の損傷が抑制され得る。

【 0 0 6 2 】

次いで、工程 S 1 では、工程 S A 1 4 が実行される。工程 S A 1 4 では、窒化領域 1 0 4 及び酸化領域 1 0 6 上に保護膜が形成される。この工程 S A 1 4 では、窒化領域 1 0 4 上に形成される保護膜の厚さが酸化領域 1 0 6 上に形成される保護膜の厚さよりも大きくなるように、保護膜の形成が調整される。

10

【 0 0 6 3 】

具体的に、工程 S A 1 4 では、ウエハ W が第 2 のガスのプラズマに晒される。第 2 のガスは、フルオロカーボンガスを含むガスである。フルオロカーボンガスは、 C_4F_6 、 C_4F_8 、及び C_6F_6 のうち少なくとも一種を含有するガスであり得る。また、第 2 のガスは、Ar ガスといった希ガス、及び、 O_2 ガスを更に含み得る。工程 S A 1 4 では、下部電極 L E に供給される高周波バイアス電力が、後述する工程 S A 1 5 において下部電極 L E に供給される高周波バイアス電力よりも小さい電力となるように調整される。例えば、工程 S A 1 4 では、下部電極 L E に高周波バイアス電力が供給されない。これにより、窒化領域 1 0 4 のエッチングレートが低くなり、窒化領域 1 0 4 は実質的にはエッチングされなくなる。

20

【 0 0 6 4 】

また、工程 S A 1 4 では、ウエハ W の温度が 60 以上 250 以下の温度に設定される。これにより、図 6 の (a) に示すように、フルオロカーボン系の保護膜 P F が窒化領域 1 0 4 及び酸化領域 1 0 6 上に形成され、酸化領域 1 0 6 上の保護膜 P F の厚さよりも窒化領域 1 0 4 上の保護膜 P F の厚さが大きくなる。なお、250 を超える温度領域では、マスク 1 0 8 のガラス転移温度となり、また、当該温度では、酸化領域 1 0 6 に形成される保護膜の厚さと窒化領域 1 0 4 の保護膜の厚さの差が少なくなる。また、60 より低い温度でも、酸化領域 1 0 6 に形成される保護膜の厚さと窒化領域 1 0 4 の保護膜の厚さの差が少なくなる。

【 0 0 6 5 】

プラズマ処理装置 1 0 を用いて工程 S A 1 4 を行う場合には、制御部 C n t は、ガスソース群 4 0 から第 2 のガスを供給するように、バルブ群 4 2 及び流量制御器群 4 4 を制御する。また、制御部 C n t は、下部電極 L E に高周波電力が供給されるように第 1 の高周波電源 6 2 を制御する。また、制御部 C n t は、高周波バイアス電力が低い電力となるように、例えば、高周波バイアス電力が供給されないように、第 2 の高周波電源 6 4 を制御する。また、制御部 C n t は、プラズマ処理装置 1 0 のヒータ電源 H P を制御することにより、載置台 P D の温度を調整し、これによりウエハ W の温度を調整する。

30

【 0 0 6 6 】

例えば、工程 S A 1 4 では、処理容器 1 2 内の圧力は、10 m T o r r ~ 30 m T o r r (1 . 3 3 3 P a ~ 4 P a) の圧力に設定される。また、工程 S A 1 4 では、第 1 の高周波電源 6 2 から、60 M H z 且つ 500 W ~ 2000 W の高周波電力が下部電極 L E に供給される。また、第 2 のガス中の C_4F_6 ガス、Ar ガス、 O_2 ガスの流量はそれぞれ、15 s c c m ~ 25 s c c m の流量、500 s c c m ~ 600 s c c m の流量、10 s c c m ~ 20 s c c m の流量に設定される。また、工程 S A 1 4 の処理時間は、10 秒 ~ 20 秒であり得る。

40

【 0 0 6 7 】

次いで、工程 S 1 では、工程 S A 1 5 が実行される。工程 S A 1 5 では、酸化領域 1 0 6 がエッチングされる。本例においては、隣接する隆起領域 1 0 2 の間に存在する酸化領域 1 0 6 がエッチングされる。

【 0 0 6 8 】

50

具体的に、工程 S A 1 5 では、第 3 のガスのプラズマに晒される。第 3 のガスは、フルオロカーボンガスを含むガスである。フルオロカーボンガスは、 C_4F_6 、 C_4F_8 、及び C_6F_6 のうち少なくとも一種を含有するガスであり得る。また、第 3 のガスは、Ar ガスといった希ガス、及び、 O_2 ガスを更に含み得る。工程 S A 1 5 では、下部電極 L E に比較的高い高周波バイアス電力が供給される。これにより、比較的薄い保護膜 P F がその上に形成されている酸化領域 1 0 6 が、図 6 の (b) に示すように、エッチングされる。

【 0 0 6 9 】

プラズマ処理装置 1 0 を用いて工程 S A 1 5 を行う場合には、制御部 C n t は、ガスソース群 4 0 から第 3 のガスを供給するように、バルブ群 4 2 及び流量制御器群 4 4 を制御する。また、制御部 C n t は、下部電極 L E に高周波電力が供給されるように第 1 の高周波電源 6 2 を制御する。また、制御部 C n t は、下部電極 L E に高周波バイアス電力が供給されるように第 2 の高周波電源 6 4 を制御する。

10

【 0 0 7 0 】

例えば、工程 S A 1 5 では、処理容器 1 2 内の圧力は、 $10\text{ mTorr} \sim 30\text{ mTorr}$ ($1.333\text{ Pa} \sim 4\text{ Pa}$) の圧力に設定される。また、工程 S A 1 5 では、第 1 の高周波電源 6 2 から、 60 MHz 且つ $500\text{ W} \sim 2000\text{ W}$ の高周波電力が下部電極 L E に供給される。また、工程 S A 1 5 では、第 2 の高周波電源 6 4 から、 $1000\text{ W} \sim 2000\text{ W}$ の高周波バイアス電力が下部電極 L E に供給される。また、第 3 のガス中の C_4F_6 ガス、Ar ガス、 O_2 ガスの流量はそれぞれ、 $15\text{ sccm} \sim 25\text{ sccm}$ の流量、 $500\text{ sccm} \sim 600\text{ sccm}$ の流量、 $10\text{ sccm} \sim 20\text{ sccm}$ の流量に設定される。また、工程 S A 1 5 の処理時間は、 $10\text{ 秒} \sim 30\text{ 秒}$ であり得る。なお、工程 S A 1 5 におけるウエハ W の温度は、工程 S A 1 4 におけるウエハ W の温度と同じ温度であってもよく、或いは、工程 S A 1 4 のウエハ W の温度よりも低い温度であってもよい。

20

【 0 0 7 1 】

これらの工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 は交互に所定回数実行される。工程 S A 1 6 では、工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 の繰り返し回数が停止条件を満たすか否かが判定される。即ち、工程 S A 1 6 では、工程 S A 1 4 及び S A 1 5 が所定回数実行されたか否かが判定される。この停止条件が満たされない場合には、工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 が再び繰り返される。一方、停止条件が満たされる場合には、工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 の実行が終了する。このように工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 が交互に所定回数実行されることにより、図 6 の (c) に示すように、隣接する隆起領域 1 0 2 の間に存在する酸化領域 1 0 6 が、ある深さまでエッチングされる。なお、図 6 の (c) では、酸化領域 1 0 6 のエッチングは窒化領域 1 0 4 の第 2 部分 1 0 4 b の上面まで達していないが、工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 は、酸化領域 1 0 6 のエッチングが第 2 部分 1 0 4 b の上面に達するまで実行されてもよい。

30

【 0 0 7 2 】

これらの工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 によれば、露出直後において保護膜が形成されていない窒化領域 1 0 4 の削れを抑制しつつ、酸化領域 1 0 6 をエッチングすることが可能となる。かかる工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 を所定回数実行すると、窒化領域 1 0 4 上では保護膜 P F が維持される。また、フルオロカーボンを含むガスのエッチングでは、酸化領域 1 0 6 上への保護膜の形成と酸化領域 1 0 6 のエッチングとが同時に進行する。したがって、工程 S A 1 4 及び工程 S A 1 5 を所定回数実行した後に、工程 S A 1 5 と同様のエッチングを実行することによって、酸化領域 1 0 6 を更にエッチングすることができる。これにより、酸化領域 1 0 6 のエッチングレートを高めることが可能である。

40

【 0 0 7 3 】

具体的には、工程 S A 1 6 に続いて、工程 S A 1 7 を実行することができる。工程 S A 1 7 では、工程 S A 1 5 と同様の条件で、隣接する隆起領域 1 0 2 の間に存在する酸化領域 1 0 6 のエッチングが進められる。この工程 S A 1 7 をプラズマ処理装置 1 0 を用いて行う場合には、制御部 C n t は、工程 S A 1 5 における制御と同様の制御を実行すること

50

ができる。この工程 S A 1 7 を行うと図 7 の (a) に示すように、ウエハ W には、第 2 部分 1 0 4 b を露出させる開口 O P が形成される。但し、図 7 の (a) に示すように、第 2 部分 1 0 4 b と第 1 部分 1 0 4 a によって囲まれた隅部には、酸化シリコンから構成された残渣 1 0 6 b が残される。この残渣 1 0 6 b の除去については後述する。

【 0 0 7 4 】

以下、工程 S 1 の別の実施形態について説明する。図 8 は、図 1 に示す工程 S 1 の別の実施形態を示す流れ図である。図 8 に示すように、別の実施形態では、工程 S 1 は、上述した工程 S A 1 1、工程 S A 1 2、及び工程 S A 1 3 に加えて、工程 S B 1 4 及び工程 S B 1 5 を含んでいる。以下、図 8 と共に、図 9 を参照して工程 S B 1 4 及び工程 S B 1 5 について説明する。図 9 は、図 8 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

10

【 0 0 7 5 】

図 8 に示す工程 S 1 では、工程 S A 1 1 及び工程 S A 1 2 の所定回数の実行により、ウエハ W は、図 5 の (c) に示す状態となる。図 8 に示す工程 S 1 では、この状態のウエハ W に対して、工程 S B 1 4 及び工程 S B 1 5 が所定回数実行される。

【 0 0 7 6 】

工程 S B 1 4 では、ウエハ W がフルオロカーボンガスを含む第 4 のガスのプラズマに晒される。工程 S B 1 4 では、第 4 のガスが励起されることによりプラズマが生成され、生成されたプラズマにウエハ W が晒される。第 4 のガスは、フルオロカーボンガスを含むガスである。フルオロカーボンガスは、 C_4F_6 、 C_4F_8 、及び C_6F_6 のうち少なくとも一種を含有するガスであり得る。また、第 4 のガスは、Ar ガスといった希ガス、及び、 O_2 ガスを更に含み得る。

20

【 0 0 7 7 】

プラズマ処理装置 1 0 を用いて工程 S B 1 4 を実行する場合には、ガスソース群 4 0 から第 4 のガスが処理容器 1 2 内に供給される。また、工程 S B 1 4 では、第 1 の高周波電源 6 2 から高周波電力が下部電極 L E に供給される。また、工程 S B 1 4 では、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアス電力が下部電極 L E に供給され得る。また、工程 S B 1 4 では、排気装置 5 0 によって処理容器 1 2 内の空間の圧力が所定の圧力に設定される。例えば、処理容器 1 2 内の空間の圧力は、 20 mTorr (2.666 Pa) ~ 50 mTorr (6.666 Pa) の範囲内の圧力に設定される。さらに、工程 S B 1 4 では、上部電極 3 0 と載置台 P D の上面との間の距離が、 20 mm ~ 50 mm の範囲内の距離に設定される。これにより、処理容器 1 2 内においてフルオロカーボンガスのプラズマが生成され、載置台 P D 上に載置されたウエハ W が当該プラズマに晒される。なお、工程 S B 1 4 では、上部電極 3 0 に電源 7 0 からの電圧が印加されてもよい。電源 7 0 によって上部電極 3 0 に印加される電圧は、 -150 V 以下の電圧であり得る。即ち、電源 7 0 によって上部電極 3 0 に印加される電圧は、絶対値が 150 V 以上の負の電圧であり得る。この工程 S B 1 4 の実行時のプラズマ処理装置 1 0 の各部の動作は、制御部 C n t によって制御され得る。

30

【 0 0 7 8 】

工程 S B 1 4 では、初期的には図 5 の (c) に示す状態を有するウエハ W の酸化領域 1 0 6 に、フルオロカーボンに由来する原子及び / 又は分子の活性種、例えば、フッ素及び / 又はフルオロカーボンの活性種が衝突する。これにより、工程 S B 1 4 では、酸化領域 1 0 6 がエッチングされる。また、工程 S B 1 4 では、図 9 の (a) に示すように、フルオロカーボンを含む堆積物が酸化領域 1 0 6 に付着する。これにより、フルオロカーボンを含む堆積物 D P が酸化領域 1 0 6 上に形成される。この堆積物 D P の膜厚は、工程 S B 1 4 の実行時間の経過につれて増加する。

40

【 0 0 7 9 】

また、工程 S B 1 4 では、初期的には図 5 の (c) に示すウエハ W の窒化領域 1 0 4 にも、フルオロカーボンに由来する原子及び / 又は分子の活性種、例えば、フッ素及び / 又はフルオロカーボンの活性種が衝突する。かかる活性種が窒化領域 1 0 4 に衝突すると、

50

図9の(a)に示すように、窒化領域104の表面からある深さの表層部分が改質され、改質領域TRが形成され得る。改質領域TRは、窒化領域104を構成するシリコン及び窒素、第4のガスに含まれる原子及び/又は分子を含有する。例えば、改質領域TRは、シリコン及び窒素に加えて、第4のガスに含まれる炭素、フッ素、及び酸素を含有し得る。また、工程SB14では、改質領域TR上に堆積物DPが形成される。

【0080】

なお、工程SB14において電源70からの電圧が上部電極30に印加される場合には、処理空間Sに存在する正イオンが、電極板34に衝突する。これにより、電極板34から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、例えば、フッ素ラジカル及びフッ素イオンと結合し、フッ素の活性種の量を低減させる。これにより、フッ素の活性種による窒化領域104のエッチングが抑制される。一方、酸化領域106はプラズマ中のフルオロカーボンの活性種によってエッチングされる。

10

【0081】

このような工程SB14の処理により形成された堆積物DPの膜厚が大きくなると、酸化領域106をエッチングし得る活性種が酸化領域106に到達することが当該堆積物DPによって阻害される。したがって、工程SB14を連続的に継続すると、酸化領域106のエッチングが停止する。このようなエッチングの停止を防止するために、次いで、工程SB15が実行される。

【0082】

工程SB15では、堆積物DPに含まれるフルオロカーボンのラジカルにより酸化領域106がエッチングされる。一実施形態の工程SB15では、工程SB14の処理後のウエハWが、希ガスのプラズマに晒される。この工程SB15の処理時間と工程SB14の処理時間は任意に設定され得る。一実施形態においては、工程SB14の処理時間と工程SB15の処理時間の合計において工程SB14の処理時間が占める割合は、30%~70%の範囲内の割合に設定され得る。

20

【0083】

プラズマ処理装置10を用いて工程SB15を実行する場合には、ガスソース群40から希ガスが供給される。また、工程SB15では、希ガスに加えて酸素ガス(O₂ガス)が供給されてもよく、或いは、酸素ガスが供給されなくてもよい。また、工程SB15では、第1の高周波電源62からの高周波電力が下部電極LEに供給される。また、工程SB15では、第2の高周波電源64からの高周波バイアス電力が下部電極LEに供給され得る。また、工程SB15では、排気装置50によって処理容器12内の空間の圧力が所定の圧力に設定される。例えば、処理容器12内の空間の圧力は、20mTorr(2.666Pa)~50mTorr(6.666Pa)の範囲内の圧力に設定される。さらに、工程SB15では、上部電極30と載置台PDの上面との間の距離が、20mm~50mmの範囲内の距離に設定される。これにより、処理容器12内において希ガスのプラズマが生成され、載置台PD上に載置されたウエハWが当該プラズマに晒される。なお、工程SB15では、上部電極30に電源70からの電圧が印加されてもよい。電源70によって上部電極30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。この工程SB15の実行時のプラズマ処理装置10の各部の動作は、制御部Cntによって制御され得る。

30

40

【0084】

工程SB15では、希ガス原子の活性種、例えば、希ガス原子のイオンが、堆積物DPに衝突する。これにより、図9の(b)に示すように、堆積物DP中のフルオロカーボンラジカルが、酸化領域106のエッチングを進行させる。また、この工程SB15により、堆積物DPの膜厚が減少する。また、工程SB15では、図9の(b)に示すように、窒化領域104上の堆積物DPの膜厚も減少する。ただし、窒化領域104上には改質領域TRが存在するので、窒化領域104のエッチングは抑制される。

【0085】

50

なお、工程 S B 1 5 において電源 7 0 からの電圧が上部電極 3 0 に印加される場合には、処理空間 S に存在する正イオンが、電極板 3 4 に衝突する。これにより、電極板 3 4 からシリコンが放出される。工程 S B 1 5 の実行期間中には、工程 S B 1 4 において生成されたフッ素の活性種が除去されずに処理容器 1 2 内に残存し得る。電極板 3 4 から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。これにより、フッ素の活性種による窒化領域 1 0 4 のエッチングが抑制される。一方、酸化領域 1 0 6 は堆積物 D P 中のフルオロカーボンラジカルによってエッチングされる。また、工程 S B 1 5 において酸素ガスが供給されない場合には、酸化領域 1 0 6 が窒化領域 1 0 4 に対して更に選択的にエッチングされ得る。

【 0 0 8 6 】

10

図 8 に示す工程 S 1 では、工程 S B 1 5 の実行の後、再び、工程 S B 1 4 が実行される。先の工程 S B 1 5 の実行によって堆積物 D P の膜厚が減少しているので、再び工程 S B 1 4 を実行して第 4 のガスのプラズマにウエハ W を晒すと、酸化領域 1 0 6 を更にエッチングすることができる。その後、更に工程 S B 1 5 を実行することで、堆積物 D P 中のフルオロカーボンラジカルにより酸化領域 1 0 6 をエッチングすることができる。

【 0 0 8 7 】

図 8 に示す工程 S 1 では、工程 S B 1 6 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、例えば、工程 S B 1 4 及び工程 S B 1 5 を含むサイクルの繰り返し回数が所定回数に達したときに満たされたものと判定される。停止条件が満たされない場合には、工程 S B 1 4 及び工程 S B 1 5 を含むサイクルが再び実行される。一方、停止条件が満たされる場合には、工程 S 1 が終了する。

20

【 0 0 8 8 】

図 8 に示す工程 S 1 によれば、工程 S B 1 4 及び工程 S B 1 5 を交互に複数回実行することにより、酸化領域 1 0 6 のエッチングの停止を防止することができる。その結果、酸化領域 1 0 6 のエッチングを継続することができる。さらに、酸化領域 1 0 6 を窒化領域 1 0 4 に対して選択的にエッチングすることができる。かかる工程 S 1 の実行により、ウエハ W は、図 7 の (a) に示す状態となる。

【 0 0 8 9 】

再び図 1 を参照する。方法 M T では、次いで、工程 S 2 が実行される。工程 S 2 では、マスク 1 0 8 が除去される。マスク 1 0 8 は、酸素ガスのプラズマを用いたアッシング処理によって除去される。この工程 S 2 では、ウエハ W 上に堆積している堆積物、即ち、フルオロカーボンを含む堆積物も除去される。即ち、工程 S 2 では、ウエハ W 上の有機物が除去される。この工程 S 2 により、ウエハ W は図 7 の (b) に示した状態となる。プラズマ処理装置 1 0 において工程 S 2 を実行する場合には、制御部 C n t は、酸素ガスを処理容器 1 2 内に供給するよう、バルブ群 4 2 及び流量制御器群 4 4 を制御する。また、制御部 C n t は、処理容器 1 2 内に供給されたガスを励起させるため、高周波電力を下部電極 L E に供給するよう、第 1 の高周波電源 6 2 を制御する。また、制御部 C n t は、高周波バイアス電力を下部電極 L E に供給するよう、第 2 の高周波電源 6 4 を制御してもよい。

30

【 0 0 9 0 】

40

方法 M T では、次いで、工程 S 3 が実行される。工程 S 3 では、残渣 1 0 6 b 及び第 2 部分 1 0 4 b がエッチングされる。このため、ウエハ W は、水素を含むガス及び N F₃ ガスを含む混合ガスのプラズマに晒される。これにより、変質領域が形成される。そして、変質領域が除去される。

【 0 0 9 1 】

以下、図 1 0 及び図 1 1 を参照して、工程 S 3 の一実施形態について詳細に説明する。図 1 0 は、図 1 に示す工程 S 3 の一実施形態を示す流れ図である。図 1 1 は、図 1 0 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 0 0 9 2 】

図 1 0 に示すように、一実施形態の工程 S 3 は、工程 S A 2 1 及び工程 S A 2 2 を含ん

50

でいる。工程 S A 2 1 では、図 7 の (b) に示す状態のウエハ W が、 H_2 ガス及び NF_3 ガスを含む第 5 のガス (混合ガス) のプラズマに晒される。この第 5 のガスは、更に N_2 ガス、及び Ar ガスといった希ガスを含んでいてもよい。この工程 S A 2 1 では、第 5 のガスのプラズマが生成されることにより、フッ化アンモニウム、フッ素の活性種、及び、HF の活性種が生成される。フッ化アンモニウムは残渣 1 0 6 b を構成する酸化シリコンと反応する。これにより、図 1 1 の (a) に示すように、残渣 1 0 6 b を構成する酸化シリコンがケイフッ化アンモニウムに変質して、当該残渣 1 0 6 b から変質領域 1 0 6 c が形成される。また、HF の活性種は第 2 部分 1 0 4 b を構成する窒化シリコンと反応する。これにより、第 2 部分 1 0 4 b を構成する窒化シリコンがケイフッ化アンモニウムに変質して、当該第 2 部分 1 0 4 b から変質領域 1 0 4 c が形成される。

10

【 0 0 9 3 】

プラズマ処理装置 1 0 を用いて工程 S A 2 1 を行う場合には、制御部 C n t は、ガスソース群 4 0 から第 5 のガスを供給するようにバルブ群 4 2 及び流量制御器群 4 4 を制御する。また、制御部 C n t は、第 5 のガスを励起させるため、高周波電力を下部電極 L E に供給するように第 1 の高周波電源 6 2 を制御する。

【 0 0 9 4 】

工程 S A 2 1 では、処理容器 1 2 内の圧力は、例えば、 $400\text{ mTorr} \sim 600\text{ mTorr}$ ($53.33\text{ Pa} \sim 79.99\text{ Pa}$) の圧力に設定される。また、第 1 の高周波電源 6 2 から供給される高周波電力は、例えば、 $800\text{ W} \sim 1200\text{ W}$ の間の電力に設定される。また、工程 S A 2 1 では、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアス電力は供給されなくてもよい。また、第 5 のガス中の NF_3 ガスと H_2 ガスの分圧は、 $1:2 \sim 1:10$ の範囲内の分圧、例えば、 $1:2.5$ の分圧に制御される。また、ウエハ W の温度は、 60°C 以下の温度、例えば、 0°C の温度に制御される。このため、制御部 C n t は、プラズマ処理装置 1 0 のヒータ電源 H P を制御して、載置台 P D の温度を調整することができる。また、工程 S A 2 1 の処理時間は、 $30\text{ 秒} \sim 60\text{ 秒}$ に設定され得る。

20

【 0 0 9 5 】

続く工程 S A 2 2 では、変質領域 1 0 6 c 及び変質領域 1 0 4 c が除去される。変質領域 1 0 6 c 及び変質領域 1 0 4 c の除去のために行われる処理は、上述した工程 S A 1 2 と同様である。また、工程 S A 2 2 をプラズマ処理装置 1 0 を用いて実行する場合には、制御部 C n t は、工程 S A 1 2 における制御と同様の制御を実行する。この工程 S A 2 2 が実行されることにより、図 1 1 の (b) に示すように、酸化領域 1 0 6 の上面から隣接する隆起領域 1 0 2 の間を通して下地層 1 0 0 の上面まで達するホール H L が形成される。

30

【 0 0 9 6 】

これらの工程 S A 2 1 及び工程 S A 2 2 は、交互に所定回数実行されてもよい。工程 S A 2 3 では、工程 S A 2 1 及び工程 S A 2 2 の繰り返し回数が停止条件を満たすか否かが判定される。即ち、工程 S A 2 3 では、工程 S A 2 1 及び S A 2 2 が所定回数実行されたか否かが判定される。この停止条件が満たされない場合には、工程 S A 2 1 及び工程 S A 2 2 が再び繰り返される。一方、停止条件が満たされる場合には、工程 S 3 が終了する。即ち、方法 M T が終了する。

40

【 0 0 9 7 】

なお、従来から用いられているフルオロカーボンガスのプラズマでは、残渣 1 0 6 b を除去できないので、第 2 部分 1 0 4 b を除去するまでに、第 1 部分 1 0 4 a、特に第 1 部分 1 0 4 a の肩部 1 0 4 s (図 1 1 の (b) を参照) が、フッ素の活性種又は HF の活性種によって大きく削られてしまう。一方、図 1 0 に示す実施形態の工程 S 3 によれば、残渣 1 0 6 b が除去されるので、第 1 部分 1 0 4 a、特に肩部 1 0 4 s の削れを低減することができる。また、図 1 0 に示す実施形態の工程 S 3 によれば、残渣 1 0 6 b 及び第 2 部分 1 0 4 b を一括して除去することが可能である。

【 0 0 9 8 】

以下、図 1 2、図 1 3、及び図 1 4 を参照して、工程 S 3 の別の実施形態について詳細

50

に説明する。図 1 2 は、図 1 に示す工程 S 3 の別の実施形態を示す流れ図である。図 1 3 及び図 1 4 は、図 1 2 に示す各工程に関連する被処理体の断面を示す図である。

【 0 0 9 9 】

図 1 2 に示すように、一実施形態の工程 S 3 は、工程 S B 2 1 ~ 工程 S B 2 6 を含んでいる。工程 S B 2 1 では、図 7 の (b) に示す状態のウエハ W が、 NH_3 ガス及び NF_3 ガスを含む第 6 のガス (混合ガス) のプラズマに晒される。この第 6 のガスは、更に Ar ガスといった希ガスを含んでいてもよい。この工程 S B 2 1 により、図 1 3 の (a) に示すように、残渣 1 0 6 b を構成する酸化シリコンがケイフッ化アンモニウムに変質して、変質領域 1 0 6 c が形成される。

【 0 1 0 0 】

上述した第 5 のガス、即ち、 H_2 ガス及び NF_3 ガスに比べて、第 6 のガス、即ち、 NH_3 ガス及び NF_3 ガスを含むガスは、低解離のプラズマを発生させることによってフッ化アンモニウムを生成することができる。したがって、第 5 のガスに比べて、第 6 のガスによれば、プラズマ中でのフッ素の活性種及び HF の活性種の発生量が低減される。その結果、第 2 部分 1 0 4 b の変質及び削れを抑制しつつ、残渣 1 0 6 b を変質させて、変質領域 1 0 6 c を形成することができる。

【 0 1 0 1 】

プラズマ処理装置 1 0 を用いて工程 S B 2 1 を行う場合には、制御部 C n t は、ガスソース群 4 0 から第 6 のガスを供給するようにバルブ群 4 2 及び流量制御器群 4 4 を制御する。また、制御部 C n t は、第 6 のガスを励起させるため、高周波電力を下部電極 L E に供給するように第 1 の高周波電源 6 2 を制御する。

【 0 1 0 2 】

工程 S B 2 1 では、処理容器 1 2 内の圧力は、例えば、 $400\text{mTorr} \sim 600\text{mTorr}$ ($53.33\text{Pa} \sim 79.99\text{Pa}$) の圧力に設定される。また、第 1 の高周波電源 6 2 から供給される高周波電力は、例えば、 $800\text{W} \sim 1200\text{W}$ の間の電力に設定される。また、工程 S B 2 1 では、第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアス電力は供給されなくてもよい。また、ウエハ W の温度は、60 以下の温度、例えば、0 の温度に制御される。このため、制御部 C n t は、プラズマ処理装置 1 0 のヒータ電源 H P を制御して、載置台 P D の温度を調整することができる。また、工程 S B 2 1 の処理時間は、30 秒 ~ 60 秒に設定され得る。

【 0 1 0 3 】

続く工程 S B 2 2 では、変質領域 1 0 6 c が除去される。変質領域 1 0 6 c の除去のために行われる処理は、上述した工程 S A 1 2 と同様である。また、工程 S B 2 2 をプラズマ処理装置 1 0 を用いて実行する場合には、制御部 C n t は、工程 S A 1 2 における制御と同様の制御を実行する。この工程 S B 2 2 が実行されることにより、図 1 3 の (b) に示すように、変質領域 1 0 6 c が除去される。即ち、残渣 1 0 6 b が除去される。

【 0 1 0 4 】

これらの工程 S B 2 1 及び工程 S B 2 2 は、交互に所定回数実行されてもよい。工程 S B 2 3 では、工程 S B 2 1 及び工程 S B 2 2 の繰り返し回数が停止条件を満たすか否かが判定される。即ち、工程 S B 2 3 では、工程 S B 2 1 及び S B 2 2 が所定回数実行されたか否かが判定される。この停止条件が満たされない場合には、工程 S B 2 1 及び工程 S B 2 2 が再び繰り返される。一方、停止条件が満たされる場合には、プロセスは工程 S B 2 4 に移行する。

【 0 1 0 5 】

工程 S B 2 4 では、図 1 3 の (b) に示す状態のウエハ W が、第 5 のガスのプラズマに晒される。工程 S B 2 4 の処理は、上述した工程 S A 2 1 と同様の処理である。この工程 S B 2 4 が実行されることにより、第 2 部分 1 0 4 b を構成する窒化シリコンがケイフッ化アンモニウムに変質する。これにより、図 1 4 の (a) に示すように、第 2 部分 1 0 4 b から変質領域 1 0 4 c が形成される。

【 0 1 0 6 】

続く工程 S B 2 5 では、変質領域 1 0 4 c が除去される。変質領域 1 0 4 c の除去のために行われる処理は、上述した工程 S A 1 2 と同様である。また、工程 S B 2 5 をプラズマ処理装置 1 0 を用いて実行する場合には、制御部 C n t は、工程 S A 1 2 における制御と同様の制御を実行する。かかる工程 S B 2 5 が実行されることにより、図 1 4 の (b) に示すように、変質領域 1 0 4 c が除去される。即ち、第 2 部分 1 0 4 b が除去される。その結果、図 1 4 の (b) に示すように、酸化領域 1 0 6 の上面から隣接する隆起領域 1 0 2 の間を通過して下地層 1 0 0 の上面まで達するホール H L が自己整合的に形成される。

【 0 1 0 7 】

図 1 2 に示す実施形態の工程 S 3 によれば、残渣 1 0 6 b の除去時には、低解離状態のプラズマを発生させることによりフッ化アンモニウムを生成することが可能な第 6 のガスが用いられる。したがって、残渣 1 0 6 b の除去が行われている期間中の第 1 部分 1 0 4 a の削れを抑制することができる。次いで、 H_2 ガス及び NF_3 ガスを含む第 5 のガスを用いることにより、第 2 部分 1 0 4 b のエッチングレートを高めることができる。したがって、図 1 2 に示す実施形態の工程 S 3 によれば、第 1 部分 1 0 4 a の削れを更に低減しつつ、残渣 1 0 6 b 及び第 2 部分 1 0 4 b を除去することが可能となる。

【 0 1 0 8 】

以下、別の実施形態に係る被処理体を処理する方法について、図 1 5 を参照しつつ説明する。図 1 5 は、別の実施形態に係る被処理体を処理する方法を示す流れ図である。図 1 6 は、図 1 5 に示す方法の幾つかの工程に関連する被処理体の断面を示す図である。図 1 5 に示す方法 M T 2 は、工程 S 2 と工程 S 3 との間に実行される工程 S 4 を含む点で方法 M T とは、異なっている。

【 0 1 0 9 】

工程 S 4 では、第 1 部分 1 0 4 a 及び第 2 部分 1 0 4 b 上に保護膜 P F 2 が形成される。この保護膜 P F 2 の形成のために、工程 S 4 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、工程 S 2 の実行後のウエハ W、即ち、図 7 の (b) に示すウエハ W が当該プラズマによって処理される。フルオロカーボンガスとしては、 C_4F_6 、 C_4F_8 、 C_6F_6 、 C_3F_8 、及び C_5F_8 のうち少なくとも一種を含むガスが用いられる。また、工程 S 4 に用いられる処理ガスは、Ar ガスといった希ガスを更に含み得る。この処理ガスの全流量に対するフルオロカーボンガスの流量の割合は、1 % 以下の割合であってもよく、残りの割合は希ガスが占めていてもよい。なお、工程 S 4 において保護膜 P F 2 の形成のために使用される処理ガスは、フルオロカーボンガスに代えて、ハイドロフルオロカーボンガス、又はシリコン含有ガスを含んでいてもよい。ハイドロフルオロカーボンガスとしては、 CH_2F_2 又は CHF_3 を含むガスが例示される。また、シリコン含有ガスとしては、 SiF_4 と H_2 を含むガス、又は、 $SiCl_4$ と H_2 を含むガスが例示される。

【 0 1 1 0 】

プラズマ処理装置 1 0 を用いて工程 S 4 を行う場合には、制御部 C n t は、ガスソース群 4 0 からフルオロカーボンガスを含む処理ガスを供給するように、バルブ群 4 2 及び流量制御器群 4 4 を制御する。また、制御部 C n t は、下部電極 L E に高周波電力が供給されるように第 1 の高周波電源 6 2 を制御する。また、制御部 C n t は、高周波バイアス電力が低い電力となるように、例えば、高周波バイアス電力が供給されないように、第 2 の高周波電源 6 4 を制御する。なお、例えば、工程 S 4 において下部電極 L E に供給される高周波電力は、5 0 0 W であり、工程 S 4 における処理容器 1 2 内の圧力は、3 0 m T o r r (4 P a) であり得る。

【 0 1 1 1 】

工程 S 4 では、図 1 6 の (a) に示すように、フルオロカーボンの分子によって保護膜 P F 2 が、第 1 部分 1 0 4 a、第 2 部分 1 0 4 b、及び、残渣 1 0 6 b 上に形成される。保護膜 P F 2 の形成に寄与する分子の量は、隆起領域 1 0 2 の頂部近傍、即ち開口 O P の開口端近傍では多く、開口 O P の深部では少なくなる。したがって、保護膜 P F 2 の膜厚は、隆起領域 1 0 2 の頂部近傍で大きくなり、開口 O P の深部近傍では小さくなる。即ち

、第 1 部分 1 0 4 a 上では保護膜 P F 2 の膜厚は大きくなり、残渣 1 0 6 b 及び第 2 部分 1 0 4 b 上では保護膜 P F 2 の膜厚は小さくなる。

【 0 1 1 2 】

方法 M T 2 では、かかる保護膜 P F 2 が形成された後に、工程 S 3 が実行される。上述したように、第 1 部分 1 0 4 a 上では保護膜 P F 2 の膜厚は大きく、残渣 1 0 6 b 及び第 2 部分 1 0 4 b 上では保護膜 P F 2 の膜厚は小さいので、工程 S 3 の実行時には、第 2 部分 1 0 4 b 及び残渣 1 0 6 b 上に形成された保護膜 P F 2 は、早期に消失し、残渣 1 0 6 b 及び第 2 部分 1 0 4 b はエッチングされる。一方、第 1 部分 1 0 4 a 上に形成された保護膜 P F 2 は、工程 S 3 の実行期間中において維持される。したがって、図 1 6 の (b) に示すように、工程 S 3 の実行による第 1 部分 1 0 4 a の削れ、特に肩部 1 0 4 s の削れが更に抑制される。

10

【 0 1 1 3 】

なお、工程 S 4 の実行と工程 S 3 における変質領域の形成及び変質領域の除去を含むシーケンスの 1 回以上の実行とが交互に行われてもよい。図 1 7 及び図 1 8 は、更に別の実施形態に係る被処理体を処理する方法を示す流れ図である。図 1 7 に示す方法 M T 3 では、工程 S 4 の実行後、図 1 0 を参照して説明した工程 S A 2 1 及び工程 S A 2 2 を含むシーケンス S Q の実行が 1 回以上行われる。方法 M T 3 では、工程 S 4 の実行と 1 回以上のシーケンス S Q の実行とが交互に所定回数行われる。工程 S 5 において停止条件が満たされない、即ち、工程 S 4 の実行と 1 回以上のシーケンス S Q の実行との交互の繰り返しの回数が所定回数に至っていないと判定される場合には、工程 S 4 が再び実行される。一方、工程 S 5 において、停止条件が満たされる、即ち、工程 S 4 の実行と 1 回以上のシーケンス S Q の実行との交互の繰り返しの回数が所定回数に至っていると判定される場合には、方法 M T 3 が終了する。

20

【 0 1 1 4 】

図 1 8 に示す方法 M T 4 では、工程 S 4 の実行後、図 1 2 を参照して説明した工程 S B 2 1 及び工程 S B 2 2 を含むシーケンス S Q 1 の実行が 1 回以上行われる。方法 M T 4 では、工程 S 4 の実行と 1 回以上のシーケンス S Q 1 の実行とが交互に所定回数行われる。工程 S 6 において、停止条件が満たされない、即ち、工程 S 4 の実行と 1 回以上のシーケンス S Q 1 の実行との交互の繰り返しの回数が所定回数に至っていないと判定される場合には、工程 S 4 が再び実行される。一方、工程 S 6 において、停止条件が満たされる、即ち、工程 S 4 の実行と 1 回以上のシーケンス S Q 1 の実行との交互の繰り返しの回数が所定回数に至っていると判定される場合には、工程 S 4 の実行と、図 1 2 を参照して説明した工程 S B 2 4 及び工程 S B 2 5 を含むシーケンス S Q 2 の 1 回以上の実行とが交互に所定回数行われる。工程 S 7 において、停止条件が満たされない、即ち、工程 S 4 の実行と 1 回以上のシーケンス S Q 2 の実行との交互の繰り返しの回数が所定回数に至っていないと判定される場合には、工程 S 4 が再び実行される。一方、工程 S 7 において、停止条件が満たされる、即ち、工程 S 4 の実行と 1 回以上のシーケンス S Q 2 の実行との交互の繰り返しの回数が所定回数に至っていると判定される場合には、方法 M T 4 が終了する。

30

【 0 1 1 5 】

以下、上述した種々の実施形態に係る方法の評価のために行った実験例 1 について説明する。この実験例 1 では、図 2 に示すウエハ W を処理対象として、図 3 に示すプラズマ処理装置 1 0 を用いて、図 1、図 4、及び図 1 0 に示す方法 M T の処理を行った。図 1 0 に示す各工程の実験例 1 での処理条件を以下に示す。

40

< 処理条件 >

・ 工程 S A 2 1

$N F_3$ ガス流量 / H_2 ガス流量 / N_2 ガス流量 / $A r$ ガス流量 = 1 2 0 s c c m / 3 0 0 s c c m / 3 0 0 s c c m / 1 0 0 0 s c c m

第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力 : 1 0 0 0 W

ウエハ W の温度 : 0

処理時間 : 4 5 秒

50

・ 工程 S A 2 2

ウエハ W の温度： 1 8 0

処理時間： 6 0 秒

・ 工程 S A 2 1 と 工程 S A 2 2 の実行回数： 5 回

【 0 1 1 6 】

また、比較実験例 1 及び比較実験例 2 において、同様のウエハ W に対して、実験例 1 の工程 S A 2 1 及び工程 S A 2 2 に代えて以下に示す処理条件の工程 S 1 0 1、工程 S 1 0 2 をそれぞれ行った。

< 比較実験例 1 の工程 S 1 0 1 の処理条件 >

$$C_4F_8 \text{ ガス流量} / Ar \text{ ガス流量} / N_2 \text{ ガス流量} / O_2 \text{ ガス流量} = 120 \text{ sccm} / 300 \text{ sccm} / 300 \text{ sccm} / 1000 \text{ sccm}$$

第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力： 4 0 0 W

第 2 の高周波電源 6 4 の高周波バイアス電力： 5 0 W

処理時間： 3 0 秒

< 比較実験例 2 の工程 S 1 0 2 の処理条件 >

$$CH_2F_2 \text{ ガス流量} / Ar \text{ ガス流量} / O_2 \text{ ガス流量} = 30 \text{ sccm} / 600 \text{ sccm} / 14 \text{ sccm}$$

第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力： 2 0 0 W

第 2 の高周波電源 6 4 の高周波バイアス電力： 2 0 0 W

処理時間： 1 0 秒

【 0 1 1 7 】

そして、実験例 1、比較実験例 1、及び比較実験例 2 のそれぞれの処理後のウエハ W の各種寸法、即ち、図 1 9 に示す各種の寸法を計測した。具体的に、幅 C D、削れ量 y 1、削れ量 y 2、及びエッチング量 E A を計測した。なお、幅 C D は、第 2 部分 1 0 4 b の上面が存在していた位置、即ち、酸化領域 1 0 6 の底面が存在していた位置での、開口 O P の幅である。また、削れ量 y 1 は、開口 O P の中心線 C A から当該中心線 C A に直交する方向に 4 0 nm の位置での第 1 部分 1 0 4 a の削れ量であり、実験例 1 については工程 S A 2 1 及び工程 S A 2 2 の処理によって発生した第 1 部分 1 0 4 a の削れ量であり、比較実験例 1 については工程 S 1 0 1 の処理によって発生した第 1 部分 1 0 4 a の削れ量であり、比較実験例 2 については工程 S 1 0 2 の処理によって発生した第 1 部分 1 0 4 a の削れ量である。また、エッチング量 E A は、第 2 部分 1 0 4 b が深さ方向にエッチングされた距離である。

【 0 1 1 8 】

表 1 に計測結果を示す。表 1 に示すように、実験例 1 によれば、残渣 1 0 6 b を除去して開口 O P の幅 C D を大きくすることができ、第 2 部分 1 0 4 b を大きくエッチングすることができ、且つ、第 1 部分 1 0 4 a の削れを低減させることが可能であることが確認された。一方、比較実験例 1 では、残渣 1 0 6 b の除去が不十分である結果、開口 O P の幅 C D が小さくなっていた。また、比較実験例 1 では、第 1 部分 1 0 4 a が大きく削られていた。また、比較実験例 2 では、第 2 部分 1 0 4 b のエッチング量が小さくなっていた。したがって、これらの計測結果から、方法 M T の有効性が確認された。

【 表 1 】

	Δy_1 (nm)	Δy_2 (nm)	第 2 部分のエッチング量 E A (nm)	C D (nm)
実験例	6.0	8.5	8.7	13.5
比較実験例 1	26.6	30.0	6.3	8.9
比較実験例 2	7.6	10.1	4.8	10.3

【 0 1 1 9 】

以下、実験例 2 及び実験例 3 について説明する。実験例 2 では、窒化シリコン製の領域及び酸化シリコン製の領域を有するウエハを第 5 のガスのプラズマに晒し、次いで、変質領域を除去した。また、実験例 3 では、窒化シリコン製の領域及び酸化シリコン製の領域

を有するウエハを第 6 のガスのプラズマに晒し、次いで、変質領域を除去した。以下、実験例 2 及び実験例 3 の処理条件を記す。

< 実験例 2 の処理条件 >

・ 第 5 のガスによるプラズマ処理

NF_3 ガス流量 / H_2 ガス流量 / N_2 ガス流量 / Ar ガス流量 = 120 sccm / 300 sccm / 300 sccm / 800 sccm

第 1 の高周波電源 62 の高周波電力：1000 W

ウエハ W の温度：0

処理時間：30 秒

・ 変質領域の除去処理

ウエハ W の温度：180

< 実験例 3 の処理条件 >

・ 第 6 のガスによるプラズマ処理

NF_3 ガス流量 / NH_3 ガス流量 / Ar ガス流量 = 30 sccm / 90 sccm / 120 sccm

第 1 の高周波電源 62 の高周波電力：200 W

ウエハ W の温度：0

処理時間：30 秒

・ 変質領域の除去処理

ウエハ W の温度：180

【0120】

実験例 2 及び実験例 3 のそれぞれについて、窒化シリコン製の領域及び酸化シリコン製の領域が深さ方向に削られた距離を求めて、当該距離から、窒化シリコン製の領域のエッチングに対する酸化シリコン製の領域のエッチングの選択比を求めた。実験例 2、即ち、第 5 のガスを用いた実験例では選択比は 3 . 15 であった。また、実験例 3、即ち、第 6 のガスを用いた実験例では選択比は 15 . 2 であった。この結果から、第 6 のガスを用いることにより、第 1 部分 104 a の削れを更に低減させることができ、且つ、酸化領域 106 を除去することが可能であることが確認された。

【0121】

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、上述したプラズマ処理装置 10 は、容量結合型のプラズマ処理装置であったが、方法 MT の実施のために用いることができるプラズマ処理装置は、容量結合型のプラズマ処理装置、マイクロ波を用いるプラズマ処理装置といったように任意のプラズマ処理装置であってよい。また、工程 S1 は、図 4 及び図 6 に示した実施形態の工程に限定されるものではない。例えば、工程 S1 は、フルオロカーボンガスといった処理ガスを用いるプラズマエッチングのみを含んでいてもよい。

【符号の説明】

【0122】

10 ... プラズマ処理装置、12 ... 処理容器、ESC ... 静電チャック、LE ... 下部電極、30 ... 上部電極、34 ... 電極板、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、70 ... 電源、Cnt ... 制御部、W ... ウエハ、100 ... 下地層、102 ... 隆起領域、104 ... 窒化領域、104 a ... 第 1 部分、104 b ... 第 2 部分、106 ... 酸化領域、106 b ... 残渣、104 c , 106 c ... 変質領域。

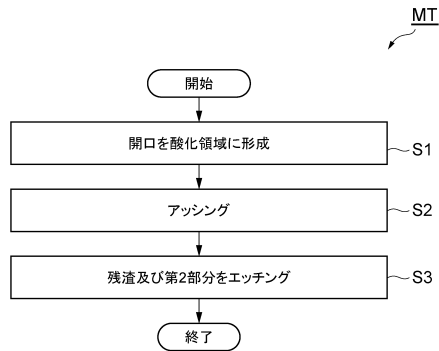
10

20

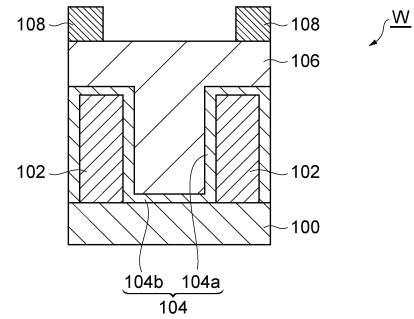
30

40

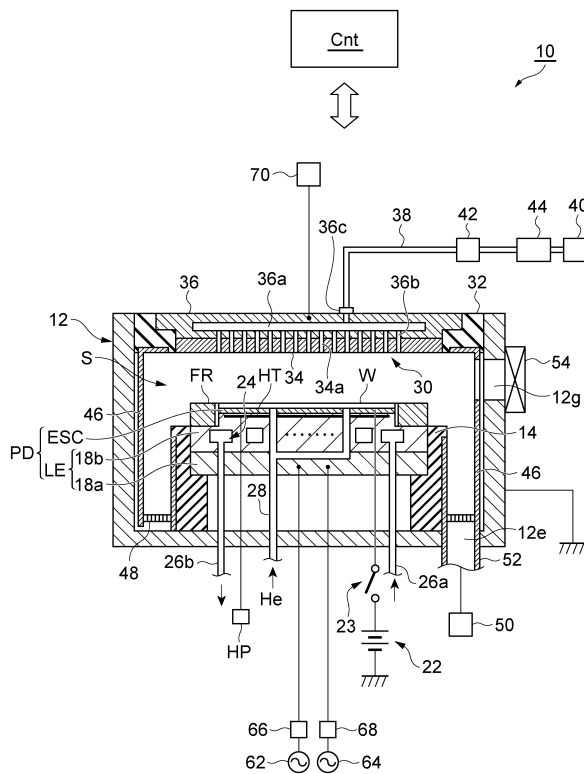
【図 1】



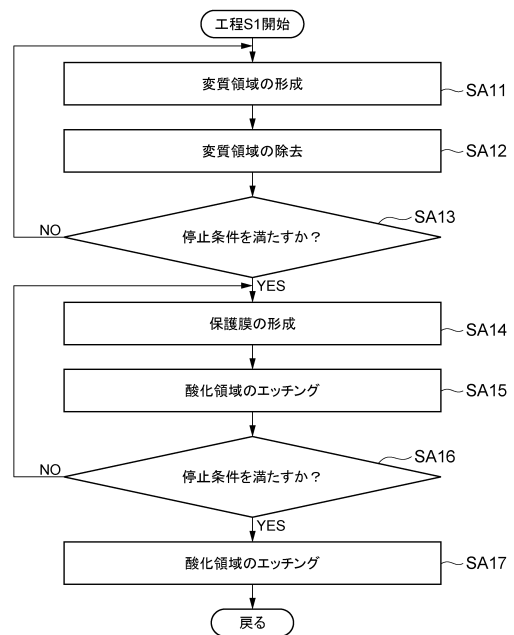
【図 2】



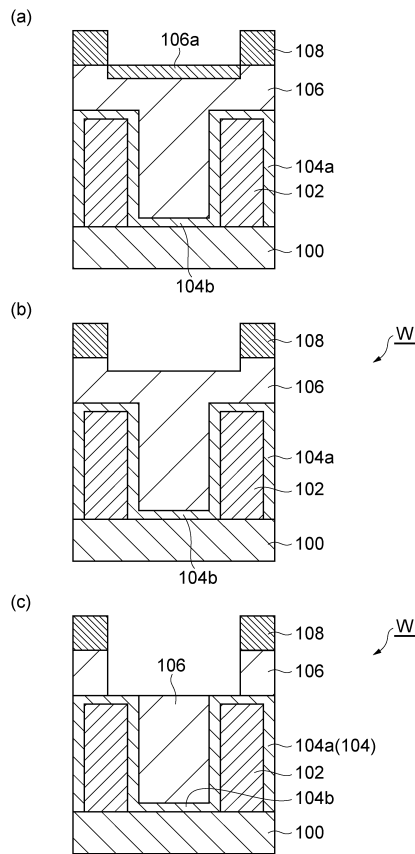
【図 3】



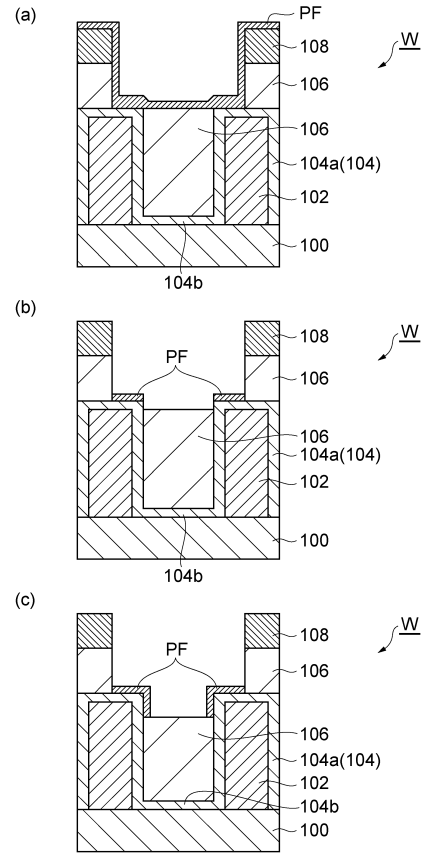
【図 4】



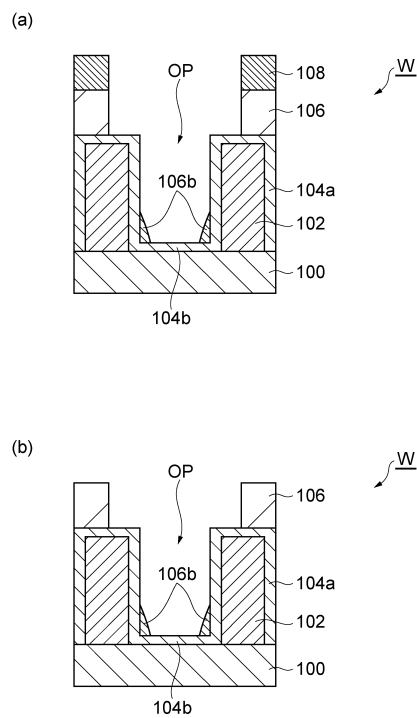
【図 5】



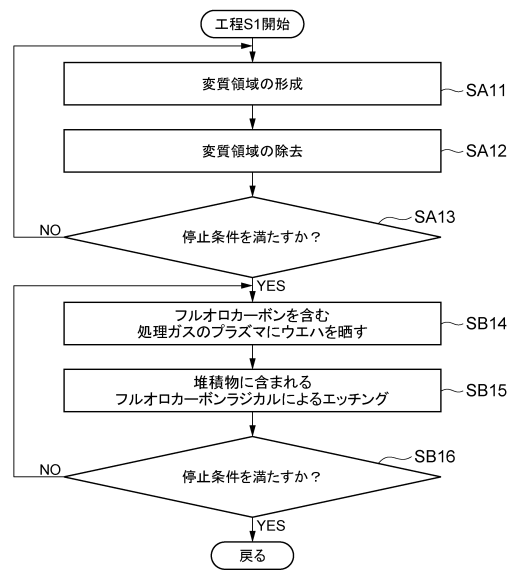
【図 6】



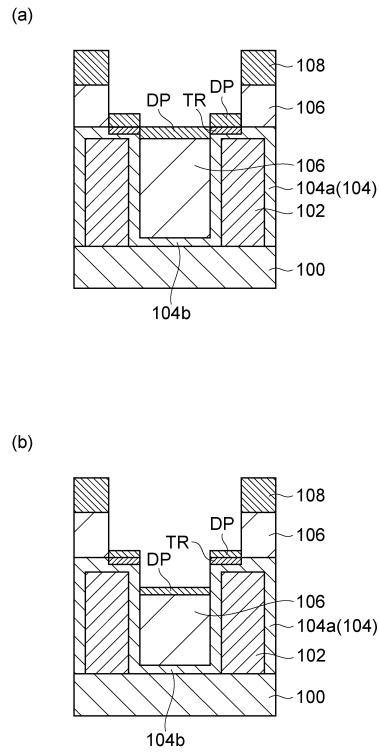
【図 7】



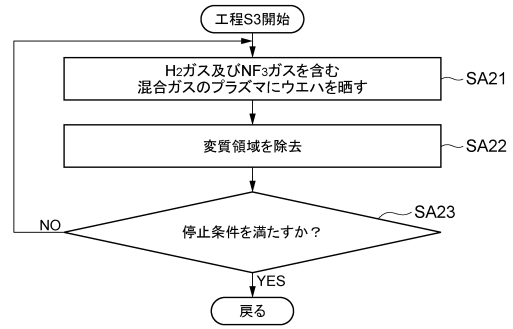
【図 8】



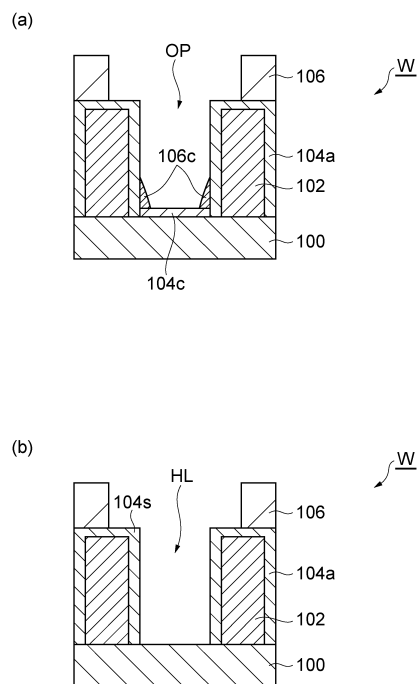
【図 9】



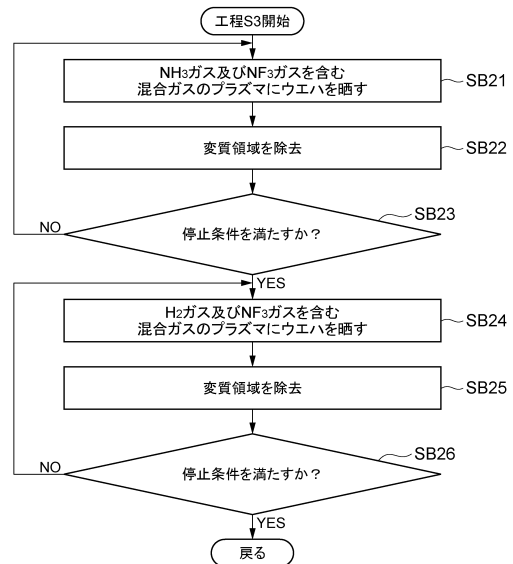
【図 10】



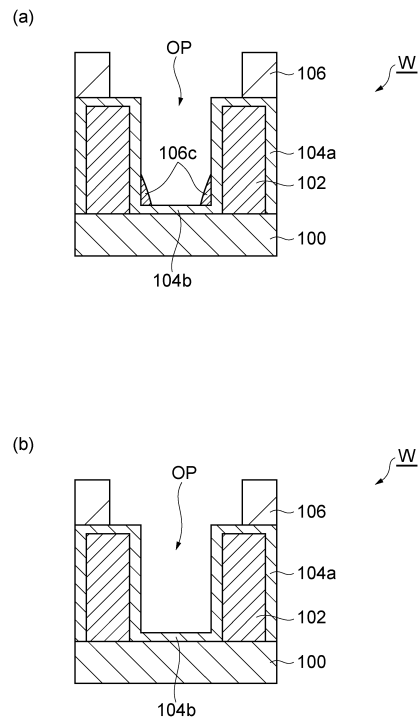
【図 11】



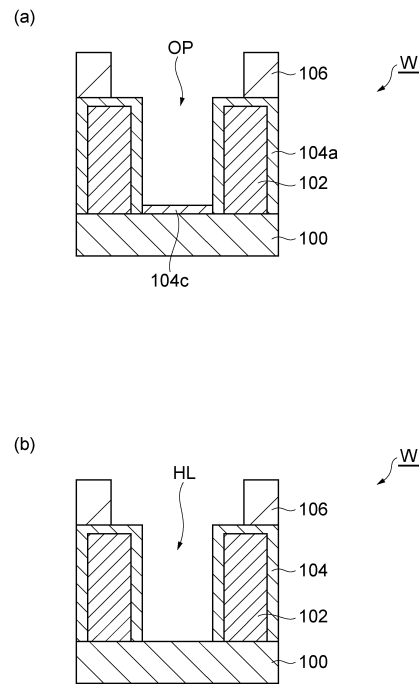
【図 12】



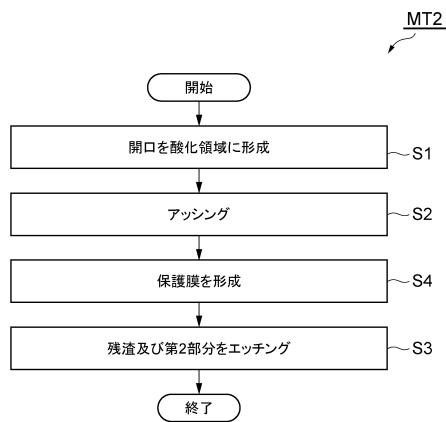
【図 1 3】



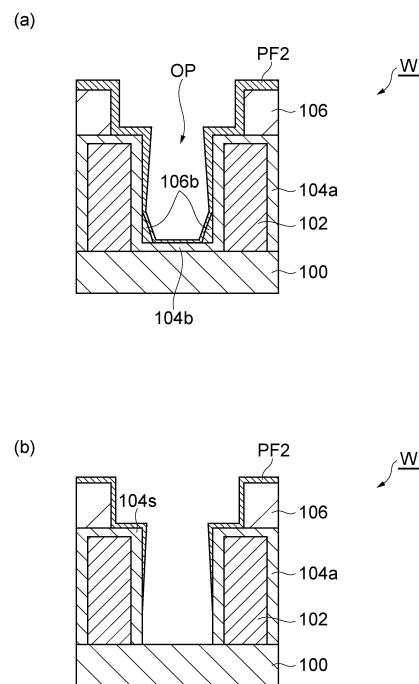
【図 1 4】



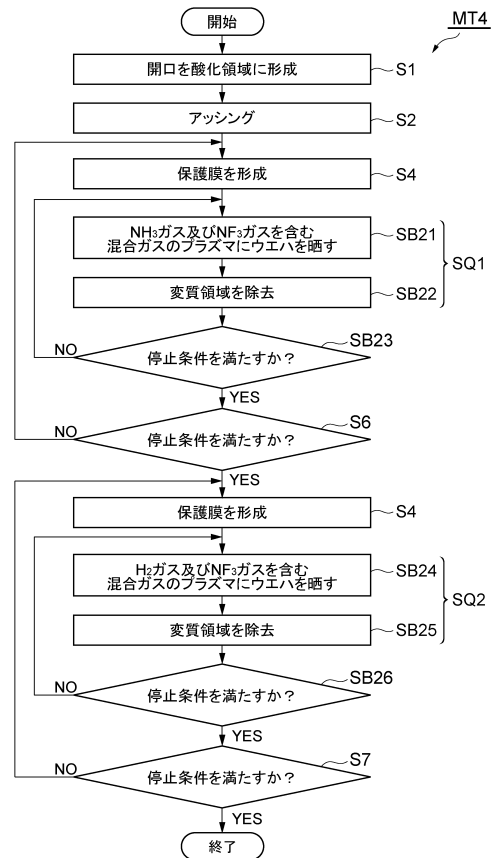
【図 1 5】



【図 1 6】



【 図 1 8 】

[illegible]

フロントページの続き

(72)発明者 辻 晃弘

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 正山 旭

(56)参考文献 特開2000-307001(JP,A)

特開平03-044469(JP,A)

特表2013-529391(JP,A)

特表2013-522882(JP,A)

特開2007-189237(JP,A)

特開平04-061333(JP,A)

特開2015-154047(JP,A)

特開2015-173240(JP,A)

特開2015-216208(JP,A)

米国特許出願公開第2015/0235860(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065

H01L 21/28

H01L 21/336

H01L 21/768

H01L 29/78