

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6328524号
(P6328524)

(45) 発行日 平成30年5月23日 (2018. 5. 23)

(24) 登録日 平成30年4月27日 (2018. 4. 27)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 7 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2014-175047 (P2014-175047)	(73) 特許権者	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22) 出願日	平成26年8月29日 (2014. 8. 29)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(65) 公開番号	特開2016-51750 (P2016-51750A)	(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(43) 公開日	平成28年4月11日 (2016. 4. 11)	(74) 代理人	100122507 弁理士 柏岡 潤二
審査請求日	平成29年5月15日 (2017. 5. 15)	(72) 発明者	斎藤 祐介 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	長友 優 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) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリコン酸化膜及びシリコン窒化膜が交互に設けられることによって構成された多層膜を有する第1領域と、単層のシリコン酸化膜を有する第2領域とをエッチングする方法であって、

プラズマ処理装置の処理容器内に、前記第1領域上及び前記第2領域上に設けられたマスクを有する被処理体を準備する工程と、

前記被処理体を収容した前記処理容器内でハイドロフルオロカーボンガスを含む第1の処理ガスのプラズマを生成する工程と、

前記被処理体を収容した前記処理容器内でフルオロカーボンガスを含む第2の処理ガスのプラズマを生成する工程と、
を含み、

前記第1の処理ガスのプラズマを生成する前記工程と前記第2の処理ガスのプラズマを生成する前記工程とが交互に繰り返される、方法。

【請求項2】

前記第1の処理ガスのプラズマを生成する工程において、前記多層膜のエッチングレートは、前記単層のシリコン酸化膜のエッチングレートよりも高く、

前記第2の処理ガスのプラズマを生成する工程において、前記単層のシリコン酸化膜のエッチングレートは、前記多層膜のエッチングレートよりも高い、

請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記フルオロカーボンガスは C_4F_6 を含む、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 の処理ガスは、三フッ化窒素ガスを更に含む、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 の処理ガスは、 H_2 ガスを更に含む、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 の処理ガスは、硫化カルボニルガス、炭化水素ガス、及び三塩化ホウ素ガスのうち少なくとも一つのガスを含む、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の方法。

10

【請求項 7】

前記マスクは、アモルファスカーボン製である、請求項 1 ~ 6 の何れか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、エッチング方法に関するものであり、特に、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜とが交互に設けられることによって構成された多層膜を有する第 1 領域と、単層のシリコン酸化膜を有する第 2 領域の双方にエッチングを行う方法に関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

半導体装置の一種として、3次元構造を有する NAND 型フラッシュメモリデバイスが知られている。3次元構造を有する NAND 型フラッシュメモリデバイスの製造においては、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜とが交互に設けられることによって構成される多層膜のエッチングを行って、当該多層膜に深いホールを形成する工程が行われる。このようなエッチングについては、下記の特許文献 1 に記載されている。

【0003】

具体的に、特許文献 1 には、多層膜上にマスクを有する被処理体を、処理ガスのプラズマに晒すことによって、当該多層膜のエッチングを行う方法が記載されている。

30

【0004】

ところで、エッチングの対象である被処理体には、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜とが交互に設けられることによって構成される多層膜を有する第 1 領域と、単層のシリコン酸化膜を有する第 2 領域とを有するものがある。このような被処理体にエッチングを行って、ホールのようなスペースを第 1 領域と第 2 領域の双方に形成することが求められている。これら第 1 領域及び第 2 領域の双方をエッチングすることが可能な処理ガスとしては、ハイドロフルオロカーボンガスを含む処理ガスが例示される。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0005】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2013 / 0059450 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述した第 1 領域及び第 2 領域の双方に対するエッチングでは、第 1 領域に形成されるスペースの深さと第 2 領域に形成されるスペースの深さの差異が小さいことが求められる。しかしながら、ハイドロ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 領域及び第 2 領域の双方をエッチングすると、第 1 領域に形成されるスペースの深さよりも、第 2 領域に形成されるスペースの深さが小さくなる。

50

【 0 0 0 7 】

また、第1領域及び第2領域の双方に形成されるスペースの幅が小さいことも求められる。そのための解決策として、通常、マスクの開口幅が狭められるか、或いは、メタンガスといった堆積性のガスが処理ガスに含められる。このような解決策によれば、スペースの幅は小さくなる。しかしながら、スペースは、垂直に形成されず、当該スペースの深さ方向に対して水平な方向に撚れた形状となり得る。即ち、スペースの垂直性に改善の余地がある。

【 0 0 0 8 】

したがって、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜が交互に設けられることによって構成される多層膜を有する第1領域と単層のシリコン酸化膜を有する第2領域の双方に対するエッチングによって形成されるスペースの深さの差異を低減し、且つ、当該スペースの垂直性を改善することが求められている。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

一態様においては、シリコン酸化膜及びシリコン窒化膜が交互に設けられることによって構成された多層膜を有する第1領域と、単層のシリコン酸化膜を有する第2領域とをエッチングする方法が提供される。この方法は、(a)プラズマ処理装置の処理容器内に、第1領域上及び第2領域上に設けられたマスクを有する被処理体を準備する工程と、(b)被処理体を収容した処理容器内でハイドロフルオロカーボンガスを含む第1の処理ガスのプラズマを生成する工程と、(c)被処理体を収容した処理容器内でフルオロカーボンガスを含む第2の処理ガスのプラズマを生成する工程と、を含む。この方法では、第1の処理ガスのプラズマを生成する工程と第2の処理ガスのプラズマを生成する工程とが交互に繰り返される。

20

【 0 0 1 0 】

第1の処理ガスのプラズマは、第2領域よりも第1領域を優先的にエッチングする。一方、第2の処理ガスのプラズマは、第1領域よりも第2領域を優先的にエッチングする。上記方法では、このような第1の処理ガスのプラズマによるエッチングと第2の処理ガスのプラズマによるエッチングとを交互に複数回実行することにより、第1領域のエッチングレートと第2領域のエッチングレートとの差異を小さくすることができる。したがって、上記方法によれば、第1領域に形成されるスペースの深さと第2領域に形成されるスペースの深さの差異を低減させることが可能である。

30

【 0 0 1 1 】

また、第2の処理ガスに含まれるフルオロカーボンは、エッチングによって形成されるスペースを画成する側壁面に堆積して保護膜を形成する。したがって、当該側壁面が水平方向に削られることが抑制される。故に、幅が狭く且つ垂直性の高いスペースを、第1領域及び第2領域の双方に形成することが可能となる。

【 0 0 1 2 】

一実施形態では、マスクは、アモルファスカーボン製であってもよい。また、一実施形態では、第1の処理ガスは三フッ化窒素(NF_3)ガスを含んでいてもよい。 NF_3 からは、フッ素の活性種が生成される。したがって、第1領域及び第2領域のエッチングレートが高められる。また、一実施形態では、第1の処理ガスは、 H_2 ガスを更に含んでいてもよい。また、一実施形態では、第1の処理ガスは、硫化カルボニルガス、炭化水素ガス、及び三塩化ホウ素ガスのうち少なくとも一つのガスを含んでいてもよい。硫化カルボニルガス、炭化、及び三塩化ホウ素ガスに由来する分子又は原子は、側壁面に堆積し、保護膜を形成する。したがって、第1領域及び第2領域の双方に形成されるスペースの垂直性がより高められる。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

以上説明したように、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜が交互に設けられることによって構成される多層膜を有する第1領域と単層のシリコン酸化膜を有する第2領域の双方に

50

対するエッチングによって形成されるスペースの深さの差異を低減し、且つ、当該スペースの垂直性を改善することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【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】図1に示す方法の工程ST1において準備される被処理体の一例を示す図である。

【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に示す方法の実行中の途中段階の被処理体の状態の一例を示す断面図である。

【図5】図1に示す方法の実行後の被処理体の状態の一例を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

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。

【0016】

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MTは、第1領域及び第2領域の双方にエッチングを行ってホールといったスペースを形成する方法であり、工程ST1～工程ST4を含んでいる。この方法MTは、例えば、3次元構造を有するNANDフラッシュメモリの製造に用いることができるものである。

【0017】

方法MTの工程ST1は、被処理体（以下、「ウエハW」という）を準備する工程である。図2は、工程ST1において準備されるウエハWの一例を示す図である。図2に示すウエハWは、下地層UL、第1領域R1、第2領域R2、及び、マスクMSKを有する。下地層ULは、基板上に設けられた多結晶シリコン製の層であり得る。この下地層UL上には第1領域R1が設けられている。また、この下地層UL上には第2領域R2が設けられている。

【0018】

第1領域R1は、多層膜から構成されている。多層膜は、シリコン酸化膜IL1及びシリコン窒化膜IL2が交互に設けられることによって構成されている。シリコン酸化膜IL1の厚さは、例えば、5nm～50nmであり、シリコン窒化膜IL2の厚さは、例えば、10nm～75nmである。一実施形態では、シリコン酸化膜IL1及びシリコン窒化膜IL2は、合計24層以上積層されていてもよい。

【0019】

第2領域R2は、単層のシリコン酸化膜から構成されている。第2領域R2の厚さは、第1領域R1の厚さと略同様である。

【0020】

第1領域R1上及び第2領域R2上には、マスクMSKが設けられている。マスクMSKは、第1領域R1及び第2領域R2にホールといったスペースを形成するためのパターンを有している。マスクMSKは、例えば、アモルファスカーボン製であり得る。或いは、マスクMSKは、有機ポリマーから構成されていてもよい。

【0021】

再び図1を参照する。方法MTの工程ST1では、ウエハWがプラズマ処理装置の処理容器内に準備される。一例においては、プラズマ処理装置は容量結合型プラズマ処理装置であり得る。以下、方法MTの実施に用いることが可能なプラズマ処理装置の一例について説明する。図3は、プラズマ処理装置の一例を概略的に示す図であり、当該プラズマ処理装置の縦断面における構造を示している。

【0022】

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、略円筒状の処理容器12を備えている。処理容器12の内壁面は、陽極酸化処理されたアルミ

10

20

30

40

50

ニウムから構成されている。この処理容器 1 2 は保安接地されている。

【 0 0 2 3 】

処理容器 1 2 の底部上には、絶縁材料から構成された略円筒状の支持部 1 4 が設けられている。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。支持部 1 4 は、処理容器 1 2 内に設けられた載置台 P D を支持している。具体的には、図 3 に示すように、支持部 1 4 は、当該支持部 1 4 の内壁面において載置台 P D を支持し得る。

【 0 0 2 4 】

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 1 6 及び支持部 1 8 を含み得る。下部電極 1 6 は、例えばアルミニウムといった金属から構成されてお

10

【 0 0 2 5 】

り、略円盤形状をなしている。この下部電極 1 6 の上面の上には、支持部 1 8 が設けられている。支持部 1 8 は、ウエハ W を支持するものであり、ベース部 1 8 a 及び静電チャック 1 8 b を含んでいる。ベース部 1 8 a は、例えばアルミニウムといった金属製から構成されており、略円盤形状をなしている。ベース部 1 8 a は、下部電極 1 6 上に設置されており、下部電極 1 6 に電氣的に接続されている。静電チャック 1 8 b は、ベース部 1 8 a の上に設けられている。静電チャック 1 8 b 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 1 8 b の電極には、直流電源 2 2 が電氣的に接続されている。この静電チャック 1 8 b 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 を吸着保持することができる。

20

【 0 0 2 6 】

ベース部 1 8 a の周縁部上には、ウエハ W の周縁及び静電チャック 1 8 b 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 2 7 】

ベース部 1 8 a 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、一実施形態に係る温調機構を構成している。冷媒流路 2 4 には、外部に設けられたチラーユニットから配管 2 6 a , 2 6 b を介して所定温度の冷媒が循環供給される。このように循環される冷媒の温度を制御することにより、支持部 1 8 上によって支持されたウエハ W の温度が制御される。

30

【 0 0 2 8 】

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 1 8 b の上面とウエハ W の裏面との間に供給する。

【 0 0 2 9 】

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 1 6 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 1 6 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 が画成されている。

40

【 0 0 3 0 】

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。この上部電極 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、複数のガス吐出孔 3 4 a を提供している。この電極板 3 4 は、ジュール熱の少ない低抵抗の導電体又は半導体から構成され得る。

【 0 0 3 1 】

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 が

50

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 3 2 】

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含んでいる。複数のガスソースは、ハイドロフルオロカーボンガスのソース、及び、フルオロカーボンガスのソースを含んでいる。ハイドロフルオロカーボンガスは、後述する第 1 の処理ガスに含まれるガスである。ハイドロフルオロカーボンガスとしては、 $\text{C H}_2 \text{ F}_2$ ガスが例示される。また、フルオロカーボンガスは後述する第 2 の処理ガスに含まれるガスである。フルオロカーボンガスとしては、 $\text{C}_3 \text{ F}_8$ ガス、 $\text{C}_4 \text{ F}_6$ ガス、又は $\text{C}_4 \text{ F}_8$ ガスが例示される。

10

【 0 0 3 3 】

複数のガスソースは、三フッ化窒素 (N F_3) ガスのソース、水素 (H_2) ガスのソース、炭化水素ガスのソース、硫化カルボニルガスのソース、三塩化ホウ素 (B C l_3) ガスのソース、希ガスのソース、酸素 (O_2) ガスのソースを更に含み得る。炭化水素ガスとしては、メタン (C H_4) ガスが例示される。また、希ガスとしては、例えば、 H e 、 N e 、 A r 、 K r 、 X e といった任意の希ガスが例示される。なお、複数のガスソースは、上述したガス以外の別のガスのソースを含んでいてもよい。

【 0 0 3 4 】

一実施形態では、第 1 の処理ガスは、三フッ化窒素ガスを更に含み得る。また、一実施形態では、第 1 の処理ガスは、水素ガスを更に含み得る。また、一実施形態では、第 1 の処理ガスは、炭化水素ガス、硫化カルボニルガス、及び三塩化ホウ素ガスのうち少なくとも一つを更に含み得る。なお、第 1 の処理ガスは、これらガス以外の別のガスを更に含んでいてもよい。また、第 2 の処理ガスは、希ガス、及び酸素ガスを更に含み得る。なお、第 2 の処理ガスは、これらガス以外の別のガスを更に含んでいてもよい。

20

【 0 0 3 5 】

バルブ群 4 2 は複数のバルブを有している。また、流量制御器群 4 4 は、マスフローコントローラ (MFC) といった複数の流量制御器を有している。ガスソース群 4 0 の複数のガスソースはそれぞれ、流量制御器群 4 4 に含まれる対応の流量制御器及びバルブ群 4 2 に含まれる対応のバルブを介して、ガス供給管 3 8 に接続されている。プラズマ処理装置 1 0 では、複数のガスソースから選択されたガスが、ガス供給管 3 8 からガス拡散室 3 6 a に至り、ガス通流孔 3 6 b 及びガス吐出孔 3 4 a を介して処理空間 S に吐出される。例えば、第 1 の処理ガスが選択的に処理空間 S に吐出され、また、第 2 の処理ガスが選択的に処理空間 S に吐出される。

30

【 0 0 3 6 】

図 3 に戻り、プラズマ処理装置 1 0 は、接地導体 1 2 a を更に備え得る。接地導体 1 2 a は、略円筒状をなしており、処理容器 1 2 の側壁から上部電極 3 0 の高さ位置よりも上方に延びるように設けられている。

【 0 0 3 7 】

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 $\text{Y}_2 \text{ O}_3$ 等のセラミックスを被覆することにより構成され得る。

40

【 0 0 3 8 】

処理容器 1 2 の底部側においては、支持部 1 4 と処理容器 1 2 の内壁との間に排気プレート 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 $\text{Y}_2 \text{ O}_3$ 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 の下方において処理容器 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ボ

50

ンプを有しており、処理容器 1 2 内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 3 9 】

処理容器 1 2 の内壁には、導電性部材 (G N D ブロック) 5 6 が設けられている。導電性部材 5 6 は、高さ方向においてウエハ W と略同じ高さに位置するように、処理容器 1 2 の内壁に取り付けられている。この導電性部材 5 6 は、グラウンドに D C 的に接続されており、異常放電防止効果を発揮する。なお、導電性部材 5 6 はプラズマ生成領域に設けられていればよく、その設置位置は図 3 に示す位置に限られるものではない。

【 0 0 4 0 】

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 ~ 100 M H z の周波数、一例においては 40 M H z 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 1 6 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 1 6 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。なお、第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 を介して、上部電極 3 0 に接続されていてもよい。

【 0 0 4 1 】

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 k H z ~ 13.56 M H z の範囲内の周波数、一例においては 3 M H z の高周波電力を発生する。第 2 の高周波電源 6 4 は、整合器 6 8 を介して下部電極 1 6 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 1 6 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 2 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、直流電源部 7 0 を更に備えている。直流電源部 7 0 は、上部電極 3 0 に接続されている。直流電源部 7 0 は、負の直流電圧を発生し、当該直流電圧を上部電極 3 0 に与えることが可能である。

【 0 0 4 3 】

また、一実施形態において、プラズマ処理装置 1 0 は、制御部 C n t を更に備え得る。この制御部 C n t 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 1 0 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 1 0 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 1 0 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 1 0 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 1 0 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。

【 0 0 4 4 】

具体的に、制御部 C n t、バルブ群 4 2 に含まれる複数のバルブ、流量制御器群 4 4 に含まれる複数の流量制御器、排気装置 5 0 に制御信号を送出し、第 1 の処理ガス及び第 2 の処理ガスが選択的且つ交互に処理容器 1 2 内に供給され、また、当該処理容器 1 2 内の圧力が設定された圧力となるよう、制御を実行する。

【 0 0 4 5 】

また、制御部 C n t は、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 からの高周波電力が下部電極 1 6 に供給されるよう、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 に制御信号を送出することができる。一実施形態では、制御部 C n t は、高周波電力の O N と O F F がパルス状に切り換えられて下部電極 1 6 に供給されるよう、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 に制御信号を送出することができる。また、制御部 C n t は、高周波電力が O N となっている期間に上部電極 3 0 に印加される負の直流電圧より

10

20

30

40

50

も絶対値の大きな負の直流電圧が、高周波電力がOFFになっている期間に上部電極30に印加されるよう、直流電源部70に制御信号を送出することができる。なお、第1の高周波電源62及び第2の高周波電源64の高周波電力のON及びOFFの周波数は、例えば、1kHz～40kHzである。ここで、高周波電力のON及びOFFの周波数とは、第1の高周波電源62及び第2の高周波電源64の高周波電力がONの期間とOFFの期間とからなる期間を1周期とする周波数である。また、1周期において高周波電力がONの期間が占めるデューティ比は、例えば、50%～90%であり得る。また、直流電源部70の直流電圧値の切り替えは、第1の高周波電源62及び第2の高周波電源64の高周波電力のON及びOFFの切り換えに同期され得る。

【0046】

再び図1を参照して、方法MTの説明を続ける。以下、図1と共に、図4及び図5も参照する。図4は、図1に示す方法の実行中の途中段階の被処理体の状態の一例を示す断面図である。また、図5は、図1に示す方法の実行後の被処理体の状態の一例を示す断面図である。工程ST1では、プラズマ処理装置の処理容器内にウエハWが準備される。プラズマ処理装置10を用いる場合には、処理容器12内に収容されたウエハWが、載置台PD上に配置され、静電チャック18bによって吸着保持される。次いで、方法MTでは、工程ST2及び工程ST3を含むシーケンスが複数回実行される。即ち、工程ST2及び工程ST3が交互に繰り返される。

【0047】

工程ST2では、プラズマ処理装置の処理容器内に第1の処理ガスが供給され、当該第1の処理ガスのプラズマが生成される。そして、第1の処理ガスに由来する分子又は原子の活性種にウエハWが晒される。工程ST2の実行のためにプラズマ処理装置10を用いる場合には、第1の処理ガスが処理容器12内に供給され、処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。また、下部電極16に第1の高周波電源62からの高周波電力、及び第2の高周波電源64からの高周波バイアス電力が供給される。

【0048】

続く工程ST3では、プラズマ処理装置の処理容器内に第2の処理ガスが供給され、当該第2の処理ガスのプラズマが生成される。そして、第2の処理ガスに由来する分子又は原子の活性種にウエハWが晒される。工程ST3の実行のためにプラズマ処理装置10を用いる場合には、第2の処理ガスが処理容器12内に供給され、処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。また、下部電極16に第1の高周波電源62からの高周波電力、及び第2の高周波電源64からの高周波バイアス電力が供給される。

【0049】

方法MTでは、上述した工程ST2及び工程ST3を含む複数回のシーケンスが実行される。工程ST2で用いられる第1の処理ガスは、ハイドロフルオロカーボンガスを含む。また、一実施形態では、第1の処理ガスは、三フッ化窒素ガスを更に含む。また、一実施形態では、第1の処理ガスは、水素ガスを更に含む。さらに、一実施形態では、第1の処理ガスは、炭化水素ガス、硫化カルボニルガス、及び三塩化ホウ素ガスのうち少なくとも一つを更に含む。ハイドロフルオロカーボンガスのプラズマは、シリコン酸化膜よりもシリコン窒化膜に対して高いエッチングレートを有する。即ち、第1の処理ガスのプラズマによる第1領域R1のエッチングレートは、当該第1の処理ガスのプラズマによる第2領域R2のエッチングレートよりも高い。したがって、工程ST2では、第2領域R2よりも第1領域R1が優先的にエッチングされる。

【0050】

一方、工程ST3で用いられる第2の処理ガスは、上述したように、フルオロカーボンガスを含む。一実施形態では、第2の処理ガスは、酸素ガス及び希ガスを更に含む。フルオロカーボンガスのプラズマは、シリコン窒化膜よりもシリコン酸化膜に対して高いエッチングレートを有する。即ち、第2の処理ガスのプラズマによる第2領域R2のエッチングレートは、第2の処理ガスのプラズマによる第1領域R1のエッチングレートよりも高い。したがって、工程ST3では、第1領域R1よりも第2領域R2が優先的にエッ

10

20

30

40

50

チングされる。

【 0 0 5 1 】

方法 M T では、かかる工程 S T 2 及び工程 S T 3 を含むシーケンスの複数回の繰り返しにより、第 1 領域 R 1 のエッチングレートと第 2 領域 R 2 のエッチングレートとの差異が低減される。したがって、方法 M T によれば、図 4 に示すように、第 1 領域 R 1 に形成されるスペース S P の深さと第 2 領域 R 2 に形成されるスペース S P の深さの差異が低減され得る。

【 0 0 5 2 】

また、第 2 の処理ガスに含まれるフルオロカーボンは、エッチングによって形成されるスペース S P を画成する側壁面 S W 及びマスク M S K の表面に堆積して保護膜 P F を形成する。したがって、当該側壁面 S W が水平方向に削られることが抑制される。故に、方法 M T によれば、幅が狭く且つ垂直性の高いスペースを、第 1 領域 R 1 及び第 2 領域 R 2 の双方に形成することが可能となる。

【 0 0 5 3 】

一実施形態の工程 S T 3 では、第 1 の処理ガス中のフルオロカーボンガスは、 C_4F_6 を含み得る。 C_4F_6 においては、C / F 比、即ち、フッ素に対して炭素の比が高い。したがって、 C_4F_6 を含む第 1 の処理ガスを用いる工程 S T 3 では、第 2 領域 R 2 のエッチングレートを第 1 領域 R 1 のエッチングレートよりも相当に高めることができる。故に、 C_4F_6 を含む第 1 の処理ガスを用いた工程 S T 3 により、工程 S T 2 において第 1 領域 R 1 に形成されるスペースの深さと第 2 領域 R 2 に形成されるスペースの深さとの差異をより小さくすることが可能である。なお、第 1 領域 R 1 に形成されるスペースの深さと第 2 領域に形成されるスペースの深さの差異を調整するために、また、これらスペースの開口の形状を調整するために、第 1 の処理ガスには、 C_4F_6 に加えて、 C_4F_8 及び / 又は CF_4 が添加されていてもよい。

【 0 0 5 4 】

一実施形態の工程 S T 2 では、第 1 の処理ガスに三フッ化窒素ガスが含まれる。三フッ化窒素ガスに由来するフッ素の活性種によれば、第 1 領域 R 1 及び第 2 領域 R 2 のエッチングレートが高められる。また、一実施形態の工程 S T 2 では、第 1 の処理ガスに水素ガスが含まれる。水素ガスに由来する水素の活性種は、保護膜 P F を改質する。したがって、エッチングによるマスク M S K の膜厚の減少を抑制することができ、マスク M S K の開口の拡大を抑制することができる。また、一実施形態の工程 S T 2 では、第 1 の処理ガスに、炭化水素ガス、硫化カルボニルガス、及び三塩化ホウ素ガスのうち少なくとも一つが含まれる。炭化水素ガス、硫化カルボニルガス、及び三塩化ホウ素ガスに由来する分子又は原子は、第 2 の処理ガスのフルオロカーボンと共に保護膜 P F を形成する。したがって、保護膜 P F が更に強化される。

【 0 0 5 5 】

なお、硫化カルボニルガスは、ハイドロフルオロカーボンに由来する活性種に対して側壁面 S W を保護する保護膜を形成するが、当該硫化カルボニルガスに由来する活性種は、マスク M S K をエッチングし得る。しかしながら、方法 M T では、工程 S T 3 において形成されるフルオロカーボンの保護膜により、硫化カルボニルガスに由来する活性種からマスク M S K が保護される。

【 0 0 5 6 】

方法 M T では、工程 S T 4 において、工程 S T 2 及び工程 S T 3 を含むシーケンスの実行を終了するか否かが判定される。例えば、工程 S T 2 及び工程 S T 3 を含むシーケンスの実行回数が所定回数に至ったか否かが判定される。工程 S T 4 において、上記シーケンスの実行を終了しないものと判定されると、再び工程 S T 2 及び工程 S T 3 を含むシーケンスが実行される。一方、工程 S T 4 において、当該シーケンスの実行を終了するものと判定されると、方法 M T は終了する。これにより、図 5 に示すように、第 1 領域 R 1 及び第 2 領域 R 2 の双方に、例えば下地層 U L まで達するスペース S P が形成される。なお、工程 S T 2 及び工程 S T 3 を含むシーケンスの実行回数は、各シーケンスでの工程 S T 2

10

20

30

40

50

の実行時間及び工程 S T 3 の実行時間、並びに、第 1 領域 R 1 の厚さ及び第 2 領域 R 2 の厚さといった種々の要件によって変更し得るものであるが、例えば、6 回である。

【 0 0 5 7 】

以下、方法 M T の工程 S T 2 及び工程 S T 3 の各種条件を例示する。工程 S T 2 の各種条件は、例えば、以下に示される範囲内の条件に設定される。

< 工程 S T 2 の各種条件 >

・第 1 の処理ガス

CH₂F₂ ガスの流量：50 ~ 150 s c c m

NF₃ ガスの流量：50 ~ 150 s c c m

H₂ ガスの流量：50 ~ 300 s c c m

CH₄ ガスの流量：50 ~ 150 s c c m

CO_S ガスの流量：5 ~ 20 s c c m

BCl₃ ガスの流量：5 ~ 20 s c c m

- ・第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力の周波数：27 ~ 100 MHz
- ・第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力：500 ~ 2700 W
- ・第 2 の高周波電源 6 4 の高周波電力の周波数：0.4 ~ 13 MHz
- ・第 2 の高周波電源 6 4 の高周波電力：1000 ~ 7000 W
- ・処理容器 1 2 内の圧力：2.66 ~ 13.3 Pa (20 ~ 100 mT)
- ・処理時間：180 秒 ~ 600 秒

10

【 0 0 5 8 】

工程 S T 3 の各種条件は、例えば、以下に示される範囲内の条件に設定される。

< 工程 S T 3 の各種条件 >

・第 2 の処理ガス

C₄F₆ の流量：20 ~ 100 s c c m

C₄F₈ の流量：20 ~ 100 s c c m

O₂ ガスの流量：20 ~ 100 s c c m

Ar ガスの流量：100 ~ 500 s c c m

- ・第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力の周波数：27 ~ 100 MHz
- ・第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力：500 ~ 2700 W
- ・第 2 の高周波電源 6 4 の高周波電力の周波数：0.4 ~ 13 MHz
- ・第 2 の高周波電源 6 4 の高周波電力：1000 ~ 7000 W
- ・処理容器 1 2 内の圧力：2.66 ~ 13.3 Pa (20 ~ 100 mT)
- ・処理時間：180 秒 ~ 600 秒

20

30

【 0 0 5 9 】

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 の実行に用いられるプラズマ処理装置は、容量結合型プラズマ処理装置に限定されるものではなく、誘導結合型プラズマ処理装置であってもよく、或いは、マイクロ波をプラズマ源として用いるプラズマ処理装置であってもよい。また、上述した方法 M T では工程 S T 2 が工程 S T 3 よりも先に実行されているが、工程 S T 3 が工程 S T 2 よりも先に実行されてもよい。

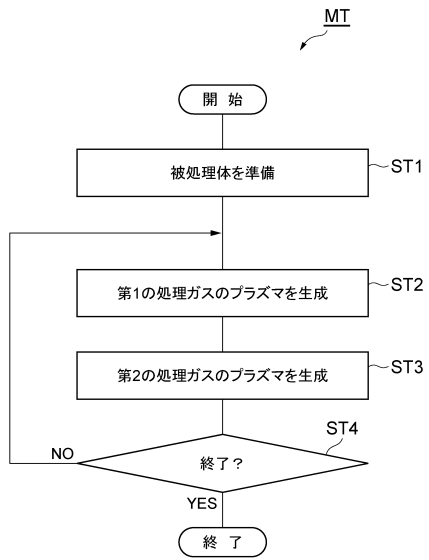
40

【 符号の説明 】

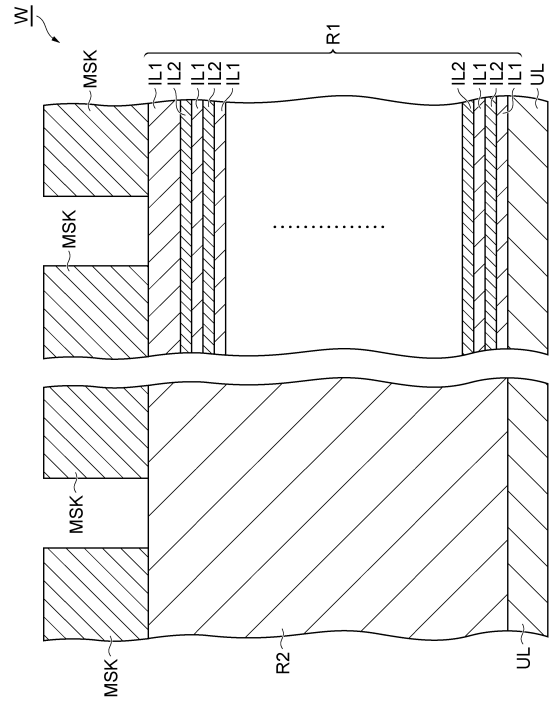
【 0 0 6 0 】

10 ... プラズマ処理装置、12 ... 処理容器、16 ... 下部電極、18 b ... 静電チャック、30 ... 上部電極、34 a ... ガス吐出孔、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、C n t ... 制御部、W ... ウエハ、R 1 ... 第 1 領域、I L 1 ... シリコン酸化膜、I L 2 ... シリコン窒化膜、R 2 ... 第 2 領域、M S K ... マスク、P F ... 保護膜、S P ... スペース。

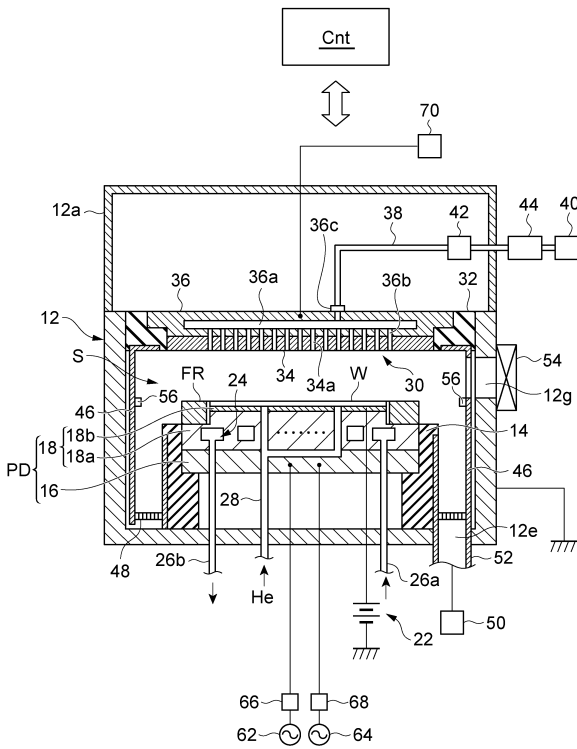
【図1】



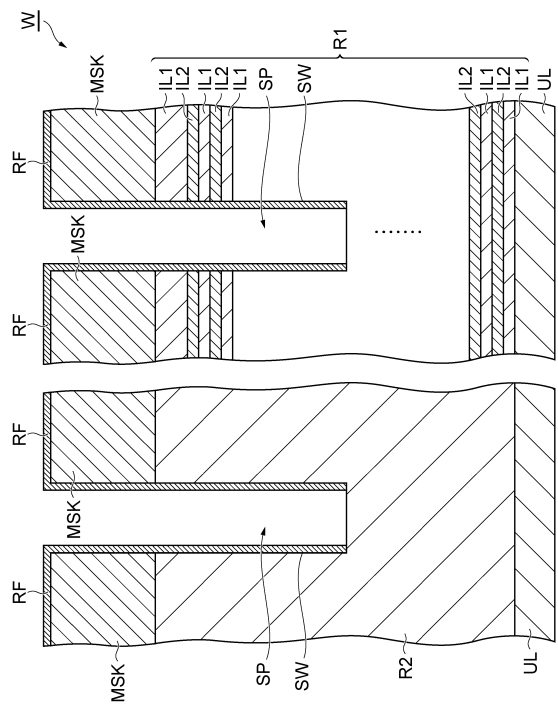
【図2】



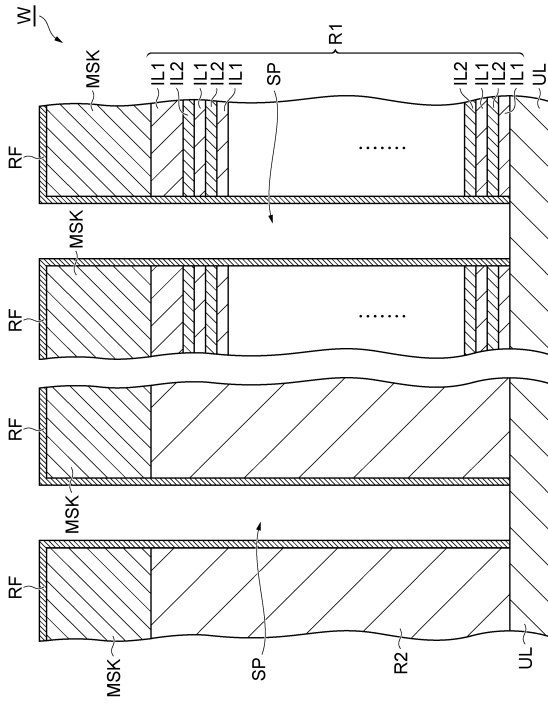
【図3】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 菱沼 隼
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 高山 航
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 富永 翔
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 金子 雄基
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 齊田 寛史

- (56)参考文献 国際公開第2014/069559(WO, A1)
特開2014-17406(JP, A)
特開2002-110650(JP, A)
特開平9-129595(JP, A)
特開平5-160077(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065