

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6315809号
(P6315809)

(45) 発行日 平成30年4月25日(2018.4.25)

(24) 登録日 平成30年4月6日(2018.4.6)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 L 21/3065 (2006.01) HO 1 L 21/302 I O 5 A
 HO 1 L 21/768 (2006.01) HO 1 L 21/90 K
 HO 1 L 23/532 (2006.01)

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2014-174004 (P2014-174004)	(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28日(2014.8.28)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(65) 公開番号	特開2016-48771 (P2016-48771A)	(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(43) 公開日	平成28年4月7日(2016.4.7)	(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	戸村 壽樹 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】 エッチング方法

(57) 【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1領域及び前記第2領域を有する被処理体を、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第1工程であり、前記第1領域をエッチングし、且つ前記第1領域及び前記第2領域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り前記第1領域をエッチングする第2工程と、

を含み、

前記第1工程では、前記プラズマがパルス状の高周波電力によって生成され、

前記第1工程と前記第2工程とが交互に繰り返される、

方法。

【請求項2】

前記第1工程において前記被処理体にイオンを引き込むためにパルス状の高周波バイアス電力が供給される、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記高周波バイアス電力と前記高周波電力が同期する、請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記第2工程では、連続的に供給される高周波電力によって希ガスのプラズマが生成さ

れる、請求項 1 ~ 3 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る。

【背景技術】

【0002】

電子デバイスの製造においては、絶縁層であるシリコン酸化膜に対してホールやトレンチ等をエッチングによって形成する処理が行われることがある。シリコン酸化膜のエッチングでは、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ることにより、シリコン酸化膜がエッチングされる。

10

【0003】

フルオロカーボンガスのプラズマを用いたエッチングでは、フッ素の活性種によってシリコン酸化膜がエッチングされる。また、当該エッチングでは、フルオロカーボンがシリコン酸化膜に付着して堆積物を形成する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】米国特許第 7708859 号明細書

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述したシリコン酸化膜のエッチングでは、堆積物の膜厚が徐々に増加する。堆積物の膜厚が大きくなると、シリコン酸化膜をエッチングし得る活性種がシリコン酸化膜に到達することが阻害される。これにより、シリコン酸化膜のエッチングが途中で進行しなくなる。結果的に、シリコン酸化膜のエッチングレートが低下することになる。

【0006】

一方、被処理体には酸化シリコンから構成された第 1 領域と窒化シリコンから構成された第 2 領域を有するものがある。このような被処理体の第 1 領域を第 2 領域に対して選択的にエッチングすることに対する要求がある。上述したフルオロカーボンガスのプラズマによれば、堆積物が第 1 領域上よりも第 2 領域上において厚く形成されるので、第 2 領域のエッチングレートよりも第 1 領域のエッチングレートを高めることができる。

30

【0007】

しかしながら、エッチングの開始時には、第 2 領域上には堆積物が形成されていない。したがって、エッチングの開始時に第 2 領域がエッチングされる。

【0008】

このような状況から、酸化シリコンから構成された第 1 領域のエッチングレートの低下を抑制し、且つ、窒化シリコンから構成された第 2 領域に対する第 1 領域のエッチングの選択性を向上させることが必要となっている。

40

【課題を解決するための手段】

【0009】

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。この方法は、(a) 第 1 領域及び第 2 領域を有する被処理体を、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第 1 工程であり、第 1 領域をエッチングし、且つ第 1 領域及び第 2 領域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、(b) 堆積物に含まれる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第 2 工程と、を含む。この方法の第 1 工程では、プラズマがパルス状の高周波電力によって生成される。また、第 1 工程と第 2 工程とが交互に繰り返される。

50

【 0 0 1 0 】

この方法では、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領域がエッチングされるので、当該第1領域のエッチングの停止が抑制される。したがって、第1領域のエッチングレートの低下を抑制することができる。また、第1工程では、プラズマがパルス状の高周波電力によって生成される。このような高周波電力によって生成されるプラズマでは、パルスのオフ時間中にイオンフラックスよりもラジカルフラックスが遅く減衰する。したがって、ラジカルのみが照射される時間が存在することによりイオンフラックスの比率が低くなる。即ち、イオンよりもラジカルが多く生成される。堆積物で覆われていない状態の第2領域がエッチングされることが抑制される。故に、この方法によれば、第1領域のエッチングレートの低下を抑制し、且つ、第2領域に対する第1領域のエッチングの選択性を向上させることが可能となる。

10

【 0 0 1 1 】

一実施形態の第1工程では、被処理体にイオンを引き込むためにパルス状の高周波バイアス電力が供給されてもよい。一実施形態の第1工程では、高周波バイアス電力と高周波電力が同期していてもよい。

【 0 0 1 2 】

また、一実施形態の第2工程では、連続的に供給される高周波電力によって希ガスのプラズマが生成され得る。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 3 】

以上説明したように、酸化シリコンから構成された第1領域のエッチングレートの低下を抑制し、且つ、窒化シリコンから構成された第2領域に対する第1領域のエッチングの選択性を向上させることが可能となる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

【 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 】 一実施形態に係るプラズマ処理装置を示す図である。

【 図 3 】 図 1 に示す方法の各工程の前後の被処理体の状態を示す断面図である。

【 図 4 】 工程 S T 1 における高周波電力の波形及び高周波バイアス電力の波形を示す図である。

30

【 図 5 】 図 1 に示す方法の処理対象の別の一例を示す断面図である。

【 図 6 】 実験結果を示す図である。

【 図 7 】 実験結果を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 5 】

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。

【 0 0 1 6 】

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 の処理対象である被処理体（以下、「ウエハ」ということがある）は、酸化シリコンから構成された第1領域、及び、窒化シリコンから構成された第2領域を有するウエハである。図 1 に示す方法 M T は、このようなウエハ W に対して工程 S T 1 及び工程 S T 2 を交互に適用する。これにより、方法 M T は、第2領域に対して第1領域を選択的にエッチングする。

40

【 0 0 1 7 】

以下、図 1 に示す方法 M T を詳細に説明する前に、当該方法 M T の実施に用いることができるプラズマ処理装置について説明する。図 2 は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を示す図である。図 2 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 の内壁面は、例えば、陽極酸化処理されたアルミ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

50

いる。

【0018】

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が設けられている。載置台PDは、支持部14によって支持されている。

【0019】

載置台PDは、その上面においてウエハWを保持する。載置台PDは、下部電極LE及び静電チャックESCを有している。下部電極LEは、第1プレート18a及び第2プレート18bを含んでいる。第1プレート18a及び第2プレート18bは、例えばアルミ
10
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18bは、第1プレート18a上に設けられており、第1プレート18aに電氣的に接続されている。

【0020】

第2プレート18b上には、静電チャックESCが設けられている。静電チャックESC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ESCの電極には、直流電源22がスイッチ23を介して電氣的に接続されている。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
20
を保持することができる。

【0021】

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。

【0022】

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
30
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ESCによって支持されたウエハWの温度が制御される。

【0023】

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。

【0024】

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。これら上部電極30と下部電極LE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。
40

【0025】

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、電極板34及び電極支持体36を含み得る。電極板34は処理空間Sに面しており、当該電極板34には複数のガス吐出孔34aが設けられている。この電極板34は、一実施形態では、シリコンから構成されている。

【0026】

電極支持体 36 は、電極板 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。この電極支持体 36 は、水冷構造を有し得る。電極支持体 36 の内部には、ガス拡散室 36 a が設けられている。このガス拡散室 36 a からは、ガス吐出孔 34 a に連通する複数のガス通流孔 36 b が下方に延びている。また、電極支持体 36 には、ガス拡散室 36 a に処理ガスを導くガス導入口 36 c が形成されており、このガス導入口 36 c には、ガス供給管 38 が接続されている。

【0027】

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、フルオロカーボンガスのソース、希ガスのソース、及び、酸素 (O_2) ガスのソースといった複数のガスソースを含んでいる。フルオロカーボンガスは、例えば、 C_4F_6 ガス及び C_4F_8 ガスのうち少なくとも一種を含むガスである。また、希ガスは、Ar ガス、He ガスといった種々の希ガスのうち少なくとも一種を含むガスである。

10

【0028】

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。

【0029】

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。

20

【0030】

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 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 12 e が設けられている。排気口 12 e 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、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 12 g が設けられており、この搬入出口 12 g はゲートバルブ 54 により開閉可能となっている。

30

【0031】

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電力を発生する電源であり、27 ~ 100 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 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である。

40

【0032】

第 1 の高周波電源 62 は、高周波電力を連続的に下部電極 LE に供給することができる。また、第 1 の高周波電源 62 は、高周波電力をパルス状に下部電極 LE に供給することができる。即ち、第 1 の高周波電源 62 は、第 1 レベルの高周波電力と、当該第 1 レベルよりも小さい第 2 レベルの高周波電力とを、交互に下部電極 LE に供給することができる。例えば、第 2 レベルの高周波電力とは、その大きさが「0」の高周波電力であり得る。この場合には、第 1 の高周波電源 62 は、高周波電力の ON と OFF とを交互に切り換えて供給することができる。第 1 のレベルと第 2 のレベルとを交互に切り換える周波数は、2 kHz ~ 40 kHz であり得る。また、高周波電力が第 1 のレベルをとる期間と第 2 のレベルをとる期間とを含む 1 周期内において高周波電力が第 1 のレベルをとる期間が占め

50

る割合、即ちデューティ比は、20%以上80%以下であり得る。

【0033】

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電力を発生する電源であり、400kHz～13.56MHzの範囲内の周波数、一例においては3MHzの高周波バイアス電力を発生する。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である。

【0034】

第2の高周波電源64は、高周波バイアス電力を連続的に下部電極LEに供給することができる。また、第2の高周波電源64は、高周波バイアス電力をパルス状に下部電極LEに供給することができる。即ち、第2の高周波電源64は、第1レベルの高周波バイアス電力と、当該第1レベルよりも小さい第2レベルの高周波バイアス電力とを交互に下部電極LEに供給することができる。例えば、第2レベルの高周波バイアス電力とは、その大きさが「0」の高周波バイアス電力であり得る。この場合には、第2の高周波電源64は、高周波バイアス電力のONとOFFとを交互に切り換えて供給することができる。また、第1のレベルと第2のレベルとを交互に切り換える周波数は、2kHz～40kHzでことができ、高周波バイアス電力が第1のレベルをとる期間と第2のレベルをとる期間とを含む1周期内において高周波バイアス電力が第1のレベルをとる期間が占める割合、即ちデューティ比は、20%以上80%以下であり得る。なお、高周波バイアス電力の第1レベルは高周波電力の第1レベルとは異なるレベルであり得る。

【0035】

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、比較的低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150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。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。

【0036】

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。この制御部Cnt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Cnt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。

【0037】

以下、再び図1を参照して、方法MTについて詳細に説明する。また、以下の説明では、図1に加えて、図3及び図4を参照する。図3は、図1に示す方法の各工程の前後の被処理体の状態を示す断面図である。図4は、工程ST1における高周波電力の波形及び高周波バイアス電力の波形を示す図である。

【0038】

図1に示す方法MTは、図3の(a)に示す一例のウエハWに対して適用され得る。図3の(a)に示すウエハWは、基板SB、第1領域R1及び第2領域R2を含んでいる。

10

20

30

40

50

第1領域R1及び第2領域R2は基板SB上に設けられている。第1領域R1は酸化シリコンから構成されており、第2領域R2は窒化シリコンから構成されている。第1領域R1の表面及び第2領域R2の表面は、方法MTの適用開始前又は方法MTの実施の途中で同時に露出される。

【0039】

方法MTでは、まず、工程ST1（第1工程）が実行される。工程ST1では、ウエハWがフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマに晒される。フルオロカーボンガスは、例えば、 C_4F_6 ガス及び C_4F_8 ガスのうち少なくとも一種を含む。また、この処理ガスは、Arガス、Heガスといった種々の希ガスのうち少なくとも一種の希ガスを含み得る。さらに、この処理ガスは、酸素(O_2)ガスを含み得る。処理ガスは、プラズマ生成用の高周波電力HFが供給されることにより発生する高周波電界によって励起される。工程ST1では、処理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。

10

【0040】

図4に示すように、工程ST1では、処理ガスのプラズマの生成のために、パルス状に高周波電力HFが供給される。図4において、高周波電力HFが高いレベルをとっている期間は、当該高周波電力HFが第1のレベルをとっている期間である。また、高周波電力HFが低いレベルをとっている期間は、当該高周波電力HFが第2のレベルをとっている期間である。工程ST1において、高周波電力HFの第1のレベルと第2のレベルとを交互に切り換える周波数は、 $2kHz \sim 40kHz$ であることができ、デューティ比は、20%以上80%以下であり得る。デューティ比が20%以上であることにより、プラズマを維持することが可能となる。また、デューティ比が80%以下、且つ、より小さい比であることによって、第2領域R2のエッチングをより効果的に抑制することが可能となる。

20

【0041】

一実施形態の工程ST1では、ウエハWにプラズマ中のイオンを引き込むための高周波バイアス電力LFが、当該工程ST1の実行期間中、連続的に供給され得る。別の実施形態の工程ST1では、高周波バイアス電力LFもパルス状に供給され得る。図4において、高周波バイアス電力LFが高いレベルをとっている期間は、当該高周波バイアス電力LFが第1のレベルをとっている期間である。また、高周波バイアス電力LFが低いレベルをとっている期間は、当該高周波バイアス電力LFが第2のレベルをとっている期間である。工程ST1において、高周波バイアス電力LFの第1のレベルと第2のレベルとを交互に切り換える周波数は、 $2kHz \sim 40kHz$ であることができ、デューティ比は、20%以上80%以下であり得る。また、工程ST1において高周波バイアス電力LFは高周波電力HFに同期していてもよい。或いは、工程ST1において高周波バイアス電力LFは高周波電力HFに同期していなくてもよい。

30

【0042】

プラズマ処理装置10を用いて工程ST1を実施する場合には、ガスソース群40から処理ガスが処理容器12内に供給される。また、工程ST1では、第1の高周波電源62から高周波電力がパルス状に下部電極LEに供給される。また、工程ST1では、第2の高周波電源64からの高周波バイアス電力が、連続的に或いはパルス状に、下部電極LEに供給され得る。また、工程ST1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、 $20mTorr (2.666Pa) \sim 50mTorr (6.666Pa)$ の範囲内の圧力に設定される。これにより、処理容器12内において処理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。工程ST1では、上部電極30に電源70からの負の直流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ST1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。

40

50

【 0 0 4 3 】

工程 S T 1 では、初期的には図 3 の (a) に示す状態のウエハ W の第 1 領域 R 1 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 T 1 では、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。また、工程 S T 1 では、フルオロカーボンを含む堆積物が第 1 領域 R 1 に付着する。これにより、図 3 の (b) に示すように、フルオロカーボンを含む堆積物 D P が第 1 領域 R 1 上に形成される。この堆積物 D P の膜厚は、工程 S T 1 の実行時間の経過につれて増加する。

【 0 0 4 4 】

また、工程 S T 1 では、初期的には図 3 の (a) に示す状態のウエハ W の第 2 領域 R 2 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。かかる活性種が第 2 領域 R 2 に衝突すると、図 3 の (b) に示すように、フルオロカーボン堆積物が変質したカーボン含有比率の高い保護膜 T R が第 2 領域 R 2 の表面に形成され得る。保護膜 T R は、第 2 領域 R 2 を構成するシリコン及び窒素、処理ガスに含まれる原子及び / 又は分子を含有する。例えば、保護膜 T R は、シリコン及び窒素に加えて、処理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 S T 1 では、図 3 の (b) に示すように、保護膜 T R 上に堆積物 D P が形成される。

【 0 0 4 5 】

なお、工程 S T 1 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。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、カーボン含有比率の高い保護膜 T R の形成速度が増加し、フッ素の活性種による第 2 領域 R 2 のエッチングが抑制される。一方、第 1 領域 R 1 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、また、当該第 1 領域 R 1 上にはフルオロカーボンの活性種によってフルオロカーボンの堆積物 D P が形成される。

【 0 0 4 6 】

また、工程 S T 1 では、上述したように、高周波電力 H F がパルス状に供給される。高周波電力 H F がパルス状に供給される場合には、パルスのオフ時間中にイオンフラックスよりもラジカルフラックスが遅く減衰する。したがって、ラジカルのみが照射される時間が存在することによりイオンフラックスの比率が低くなる。即ち、イオンよりもラジカルが多く生成される。これにより、堆積物 D P に覆われていない状態の第 2 領域 R 2 がエッチングされることが抑制される。

【 0 0 4 7 】

このような工程 S T 1 の処理によって第 1 領域 R 1 上に形成された堆積物 D P の膜厚が大きくなると、第 1 領域 R 1 をエッチングし得る活性種が第 1 領域 R 1 に到達することが当該堆積物 D P によって阻害される。したがって、工程 S T 1 を連続的に継続すると、第 1 領域 R 1 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、方法 M T では、次いで、工程 S T 2 (第 2 工程) が実行される。

【 0 0 4 8 】

工程 S T 2 では、堆積物 D P に含まれるフルオロカーボンのラジカルにより第 1 領域 R 1 がエッチングされる。一実施形態の工程 S T 2 では、工程 S T 1 の処理後のウエハ W が、希ガスのプラズマに晒される。工程 S T 2 では、図 4 に示すように、高周波電力 H F 及び高周波バイアス電力の双方が、当該工程 S T 2 の実行期間中に連続的に供給される。この工程 S T 2 の処理時間と工程 S T 1 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 S T 1 の処理時間と工程 S T 2 の処理時間の合計において工程 S T 1 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。

【 0 0 4 9 】

プラズマ処理装置 1 0 を用いて工程 S T 2 を実施する場合には、ガスソース群 4 0 から

10

20

30

40

50

希ガスが供給される。また、工程 S T 2 では、希ガスに加えて酸素ガス (O ₂ 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 S T 2 では、第 1 の高周波電源 6 2 からの高周波電力が下部電極 L E に連続的に供給される。また、工程 S T 2 では、第 2 の高周波電源 6 4 からの高周波バイアス電力が下部電極 L E に連続的に供給され得る。また、工程 S T 2 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、2 0 m T o r r (2 . 6 6 6 P a) ~ 5 0 m T o r r (6 . 6 6 6 P a) の範囲内の圧力に設定される。これにより、処理容器 1 2 内において希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 T 2 では、上部電極 3 0 に電源 7 0 からの負の直流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、- 1 5 0 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 1 5 0 V 以上の負の電圧であり得る。この工程 S T 2 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。

10

【 0 0 5 0 】

工程 S T 2 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 D P に衝突する。これにより、堆積物 D P 中のフルオロカーボンのラジカルが、第 1 領域 R 1 のエッチングを進行させる。また、この工程 S T 2 により第 1 領域 R 1 上の堆積物 D P の膜厚が減少する。また、工程 S T 2 では、第 2 領域 R 2 上の堆積物 D P の膜厚も減少する。ただし、第 2 領域 R 2 上には保護膜 T R が存在するので、第 2 領域 R 2 のエッチングは抑制される。このような工程 S T 2 の実行により、ウエハ W は図 3 の (c) に示す状態となる。

20

【 0 0 5 1 】

なお、工程 S T 2 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 T 2 の実行期間中には、工程 S T 1 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第 2 領域 R 2 のエッチングが抑制される。一方、第 1 領域 R 1 は堆積物 D P 中のフルオロカーボンのラジカルによってエッチングされる。

30

【 0 0 5 2 】

また、工程 S T 2 において酸素ガスが供給されない場合には、第 1 領域 R 1 が第 2 領域 R 2 に対して更に選択的にエッチングされ得る。

【 0 0 5 3 】

方法 M T では、工程 S T 2 の実行の後、再び、工程 S T 1 が実行される。先の工程 S T 2 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 T 1 を実行して上述した処理ガスのプラズマにウエハ W を晒すと、第 1 領域 R 1 を更にエッチングすることができる。その後、更に工程 S T 2 が実行することで、堆積物 D P 中のフルオロカーボンのラジカルにより第 1 領域 R 1 をエッチングすることができる。

【 0 0 5 4 】

40

方法 M T では、工程 S T 3 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 T 1 及び工程 S T 2 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 T 1 及び工程 S T 2 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、方法 M T が終了する。

【 0 0 5 5 】

以上説明した方法 M T では、工程 S T 1 及び工程 S T 2 を交互に複数回実行することにより、第 1 領域 R 1 のエッチングの停止を防止することができる。その結果、第 1 領域 R 1 のエッチングを継続することができる。さらに、方法 M T では、第 1 領域 R 1 を第 2 領域 R 2 に対して選択的にエッチングすることができる。特に、方法 M T では、工程 S T 1

50

においてパルス状に高周波電力HFが供給されるので、堆積物DPで覆われていない状態の第2領域R2がエッチングされることが抑制される。したがって、第2領域R2のエッチングに対する第1領域R1のエッチングの選択性が高められる。

【0056】

図5は、図1に示す方法の処理対象の別の一例を示す断面図である。図5に示すウエハは、第1領域R1及び第2領域R2を有するウエハW2であり、このウエハW2に対しても方法MTを適用することができる。具体的に、ウエハW2は、下地層100、複数の隆起領域102、第1領域R1、第2領域R2、及び、マスク108を有している。このウエハW2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物であり得る。

10

【0057】

下地層100は、例えば、多結晶シリコンから構成され得る。下地層は、一例においてはフィン領域であり、略直方体形状を有している。複数の隆起領域102は、下地層100上に設けられており、互いに略平行に配列されている。これら隆起領域102は、例えば、ゲート領域であり得る。第2領域R2は、窒化シリコンから構成されており、隆起領域102を覆うように設けられている。また、複数の隆起領域102は、第1領域R1内に埋め込まれている。即ち、第1領域R1は、第2領域R2を介して隆起領域102を覆うように設けられている。この第1領域R1は、酸化シリコンから構成されている。第1領域R1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。

20

【0058】

このウエハW2に対して方法MTを適用すると、ウエハW2の第1領域R1を第2領域R2に対して選択的にエッチングすることができ、隣接する隆起領域102の間の領域においてホールを自己整合的に形成することができる。特に、エッチングの進行に伴い第2領域R2が露出した際には当該第2領域R2上には堆積物DPが形成されていないが、工程ST1において高周波電力HFをパルス状に供給することにより、堆積物DPによって覆われていない当該第2領域R2のエッチングを抑制することができる。また、第1領域R1のエッチングの停止を防止しつつ、当該第1領域R1のエッチングを進行させることができる。かかる方法MTにより形成されたホールは、隣接する隆起領域102の間の領域を通過して下地層100の表面まで延在する。当該ホールは、例えば、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。

30

【0059】

以下、方法MTの評価のために行った実験例について説明する。以下に説明する実験例は単に例示のために示されるものであって、本発明を限定するものではない。

【0060】

実験例では、第1領域R1及び第2領域R2を有するウエハに、プラズマ処理装置10を用いて方法MTを適用した。実験例では、工程ST1及び工程ST2を含むサイクルの実行回数、即ち、サイクル数を種々に変更した。以下に実験例の処理条件を記す。

40

【0061】

[実験例の処理条件]

< 工程ST1 >

- ・高周波電力HF：周波数40MHz、500W
- ・高周波バイアス電力LF：周波数3MHz、50W
- ・電源70の直流電圧：-300V
- ・高周波電力HF及び高周波バイアス電力LFのパルス状の供給の周波数：20kHz
- ・高周波電力HF及び高周波バイアス電力LFのパルス状の供給のデューティ比：60%
- ・処理ガス

C₄F₆ガス：32sccm

50

Ar ガス：1500 s c c m

O₂ ガス：20 s c c m

- ・1 サイクル中の工程 S T 1 の実行時間：1 秒

< 工程 S T 2 >

- ・高周波電力 H F：周波数 40 M H z，500 W
- ・高周波バイアス電力 L F：周波数 3 M H z、50 W
- ・電源 70 の直流電圧：- 300 V
- ・高周波電力 H F 及び高周波バイアス電力 L F のパルス状の供給の周波数：20 k H z
- ・高周波電力 H F 及び高周波バイアス電力 L F のパルス状の供給のデューティ比：60 %
- ・ガス

C₄F₆ ガス：0 s c c m

Ar ガス：1500 s c c m

O₂ ガス：0 s c c m

- ・1 サイクル中の工程 S T 2 の実行時間：5 秒

【0062】

また、参考のため比較実験例 1、比較実験例 2、及び比較実験例 3 を行った。比較実験例 1 では、工程 S T a 及び工程 S T b を含む方法を、当該工程 S T a 及び工程 S T b を含むサイクルの実行回数を種々に変更して、実験例のウエハと同様のウエハに対して適用した。なお、工程 S T a は、高周波電力 H F 及び高周波バイアス電力 L F の双方を連続的に供給した点のみ実験例の工程 S T 1 とは異なる工程とした。また、工程 S T b は、実験例の工程 S T 2 と同様の工程とした。即ち、比較実験例 1 では、工程 S T a 及び工程 S T b の双方において高周波電力 H F 及び高周波バイアス電力 L F を連続的に供給した。

【0063】

比較実験例 2 では、工程 S T c 及び工程 S T d を含む方法を、当該工程 S T d 及び工程 S T d を含むサイクルの実行回数を種々に変更して、実験例のウエハと同様のウエハに対して適用した。なお、工程 S T c は、実験例の工程 S T 1 と同様の工程とした。また、工程 S T d は、高周波電力 H F 及び高周波バイアス電力 L F の双方をパルス状に供給した点のみ実験例の工程 S T 2 とは異なる工程とした。即ち、比較実験例 2 では、工程 S T c 及び工程 S T d の双方において高周波電力 H F 及び高周波バイアス電力 L F をパルス状に供給した。

【0064】

比較実験例 3 では、工程 S T a の実行時間を 1.5 秒に設定し、その他の処理条件は比較実験例 1 の処理条件と同様の処理条件の方法を、実験例と同様のウエハに適用した。

【0065】

そして、実験例、比較実験例 1、比較実験例 2、及び比較実験例 3 のそれぞれを適用した後のウエハから第 1 領域 R 1 のエッチング量、即ち第 1 領域 R 1 の膜厚減少量と、第 2 領域 R 2 の膜厚減少量を求めた。図 6 及び図 7 は実験結果を示す図である。図 6 において横軸はサイクル数であり、縦軸は第 1 領域のエッチング量である。また、図 7 において横軸はサイクル数であり、縦軸は第 2 領域の膜厚減少量である。

【0066】

図 6 に示すように、実験例、即ち、工程 S T 1 のみにおいて高周波電力 H F をパルス状に供給する方法 M T によれば、比較実験例 2 及び比較実験例 3 よりも第 1 領域のエッチング量を大きく維持することができることが確認された。即ち、実験例によれば、比較実験例 1 と略同等の第 1 領域のエッチング量を得ることができた。また、図 7 に示すように、実験例によれば、第 2 領域の膜厚減少量を、比較実験例 1 よりも相当に低減することが可能であることが確認された。したがって、実験例によれば、第 1 領域のエッチングレートの低下を抑制し、且つ、第 2 領域に対する第 1 領域のエッチングの選択性を向上させることが可能であることが確認された。

【符号の説明】

【0067】

10

20

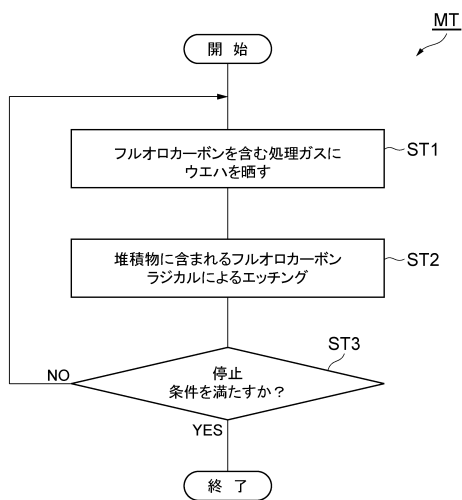
30

40

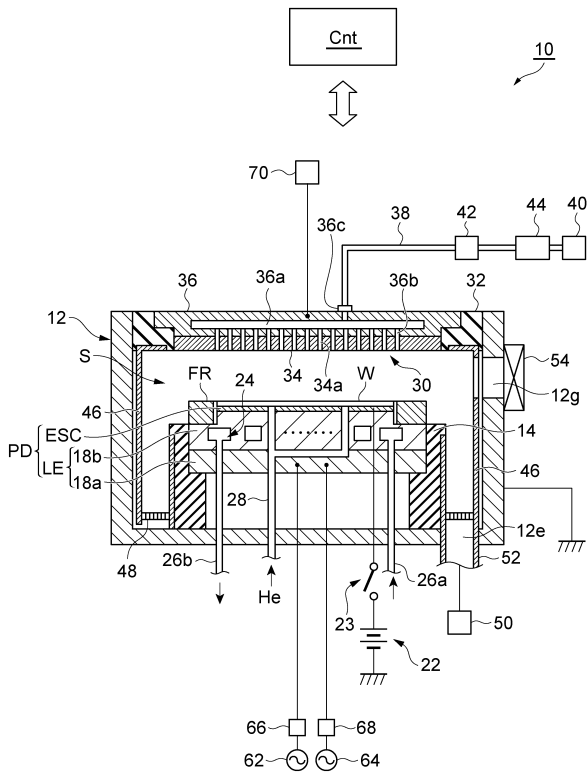
50

10 ... プラズマ処理装置、12 ... 処理容器、PD ... 載置台、ESC ... 静電チャック、LE ... 下部電極、30 ... 上部電極、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、W, W2 ... ウエハ、DP ... 堆積物、R1 ... 第1領域、R2 ... 第2領域、HF ... 高周波電力、LF ... 高周波バイアス電力、W ... ウエハ、W2 ... ウエハ、R1 ... 第1領域、R2 ... 第2領域、DP ... 堆積物。

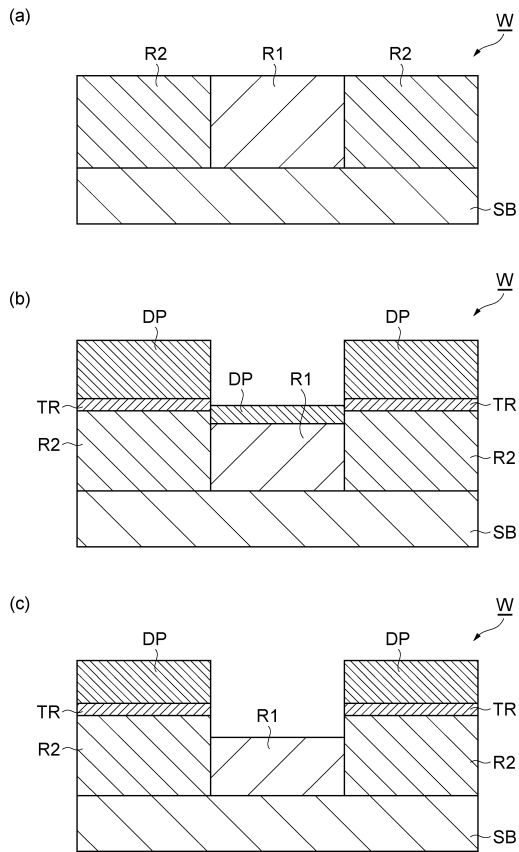
【図1】



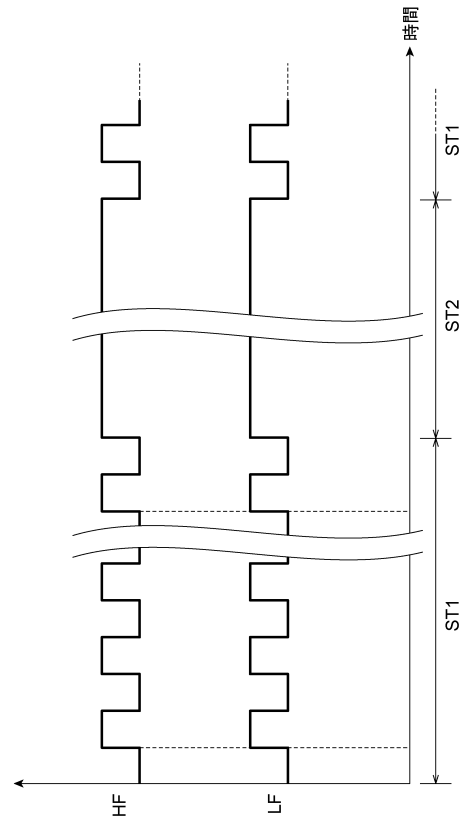
【図2】



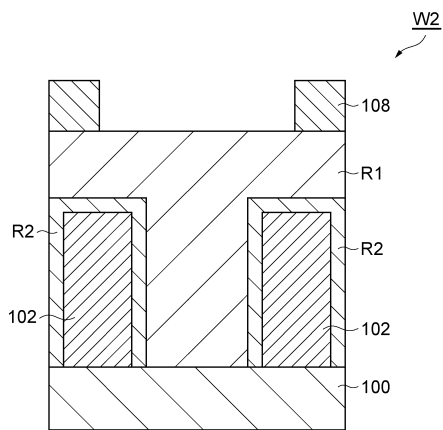
【図3】



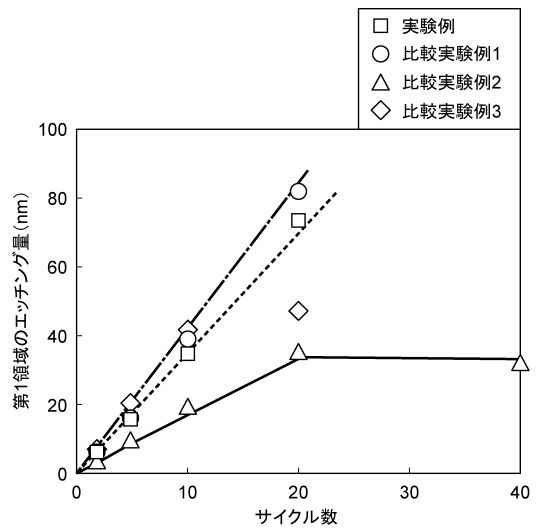
【図4】



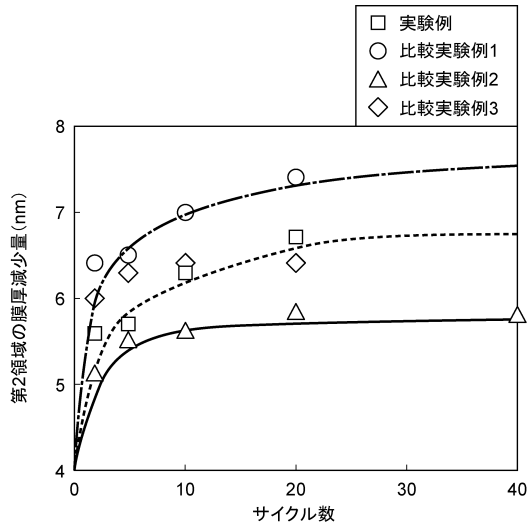
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

審査官 齊田 寛史

- (56)参考文献 特表2003-507880(JP,A)
特開平7-74145(JP,A)
特開2013-33856(JP,A)
特表2010-519758(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
H01L 21/768
H01L 23/532