

(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2018-93064  
(P2018-93064A)

(43) 公開日 平成30年6月14日(2018.6.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 1 0 5 A	2 G 0 8 4
HO 1 L 21/768 (2006.01)	HO 1 L 21/90 D	5 F 0 0 4
HO 1 L 23/522 (2006.01)	HO 1 L 27/10 4 3 4	5 F 0 3 3
HO 1 L 27/115 (2017.01)	HO 1 L 29/78 3 7 1	5 F 0 8 3
HO 1 L 21/336 (2006.01)	HO 5 H 1/46 M	5 F 1 0 1
審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 15 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2016-235363 (P2016-235363)	(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28年12月2日(2016.12.2)	(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
		(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
		(72) 発明者	菱沼 隼 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	広瀬 久 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			

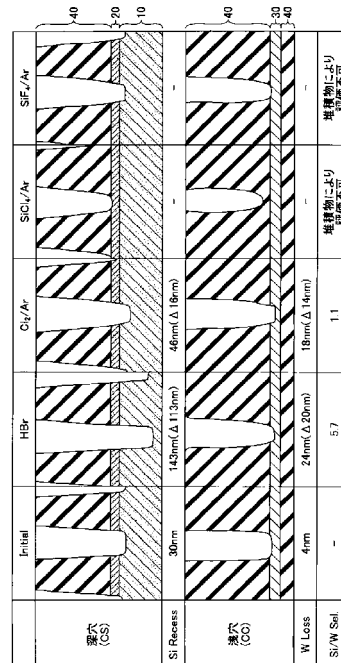
(54) 【発明の名称】 エッチング方法及びプラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】金属層に対するシリコン層の選択比を向上させることを目的とする。

【解決手段】シリコン層の上に絶縁膜を有する第1領域と、金属層の上に前記絶縁膜を有する第2領域と、を有する被処理体を処理する方法であって、所定のパターンに、第1ガスから生成したプラズマにより前記シリコン層と前記金属層とが露出するまで前記絶縁膜のエッチングを行う第1工程と、前記第1工程の後、臭化含有ガスを含む第2ガスから生成したプラズマにより更に前記シリコン層のエッチングを行う第2工程と、を含むエッチング方法が提供される。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

シリコン層の上に絶縁膜を有する第 1 領域と、金属層の上に前記絶縁膜を有する第 2 領域と、を有する被処理体を処理する方法であって、

所定のパターンに、第 1 ガスから生成したプラズマにより前記シリコン層と前記金属層とが露出するまで前記絶縁膜のエッチングを行う第 1 工程と、

前記第 1 工程の後、臭化含有ガスを含む第 2 ガスから生成したプラズマにより更に前記シリコン層のエッチングを行う第 2 工程と、

を含むエッチング方法。

## 【請求項 2】

前記第 2 工程にて、フロロカーボンガス、ハイドロフロロカーボンガス又はハイドロカーボンガスのいずれかを添加した前記第 2 ガスから生成したプラズマにより前記シリコン層のエッチングを行う、

請求項 1 に記載のエッチング方法。

## 【請求項 3】

前記第 2 ガスに添加するフロロカーボンガスは、

$C_4F_8$  ガス、 $C_4F_6$  ガス、 $C_5F_8$  ガス又は  $C_3F_8$  ガスのいずれかである、

請求項 1 又は 2 に記載のエッチング方法。

## 【請求項 4】

前記第 2 ガスに添加するハイドロフロロカーボンガスは、

$CH_2F_2$  ガス、 $CHF_3$  ガス又は  $CH_3F$  ガスのいずれかである、

請求項 1 又は 2 に記載のエッチング方法。

## 【請求項 5】

前記第 2 ガスに添加するハイドロカーボンガスは、

$CH_4$  ガス、 $C_2H_6$  ガス又は  $C_3H_8$  ガスのいずれかである、

請求項 1 又は 2 に記載のエッチング方法。

## 【請求項 6】

前記金属層は、

タングステン (W)、チタン (Ti)、アルミニウム (Al)、ルテニウム (Ru) 又は銅 (Cu) のいずれかである、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

## 【請求項 7】

前記シリコン層が露出した後の前記第 1 領域でのアスペクト比は、4.5 以上であり、

前記金属層が露出した後の前記第 2 領域でのアスペクト比は、4 以上である、

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

## 【請求項 8】

前記金属層に対する前記シリコン層の選択比は 5 以上である、

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

## 【請求項 9】

前記第 1 ガスは、フロロカーボンガスと酸素含有ガスとを含むガスである、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

## 【請求項 10】

前記第 1 工程及び前記第 2 工程は、同一のプラズマ処理装置を用いて実行される、

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

## 【請求項 11】

基板を載置する載置台を有する下部電極と、該下部電極に対向する上部電極と、該下部電極又は該上部電極のいずれかにプラズマ生成用の電力を印加する第 1 高周波電源と、該下部電極に前記プラズマ生成用の高周波電力よりも低い周波数のイオン引き込み用の電力を印加する第 2 高周波電源と、前記下部電極と上部電極との間のプラズマ空間にガスを供給するガス供給源と、供給した前記ガスにより生成されたプラズマを用いて基板の処理を

10

20

30

40

50

制御する制御装置とを有するプラズマ処理装置であって、

前記制御装置は、

前記絶縁膜上に形成されたマスクのパターンに、第1ガスを供給し、該第1ガスから生成したプラズマにより前記シリコン層と前記金属層とが露出するまで前記絶縁膜のエッチングを制御し、

前記エッチングの制御を行った後、前記第1ガスと異なるガスであって臭化含有ガスを含む第2ガスから生成したプラズマにより前記シリコン層のエッチングを行う、

プラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、エッチング方法及びプラズマ処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

3D-NANDフラッシュメモリ等の三次元積層半導体メモリの製造には、プラズマを用いて積層膜に複数の穴を形成するエッチング工程がある（例えば、特許文献1～3を参照）。このエッチング工程では、例えば60層やそれ以上の多層膜のそれぞれが露出する穴をエッチングにより形成する。

【0003】

3D-NANDのデバイス構造を形成するエッチング工程の一例として、絶縁膜であるSiO<sub>2</sub>層に穴をエッチング加工する際、基板のシリコン層、および中間に位置する金属層に対して、同時に且つ高選択的にエッチング加工する工程がある。このエッチング工程では、SiO<sub>2</sub>層の中間に位置する金属層を露出する比較的浅い穴が形成されるとともに、金属層の下方にあるシリコン層を露出する深い穴が形成される。

20

【0004】

このエッチング工程により金属層及びシリコン層が露出した後、コンタクト抵抗を下げるため、シリコン層を更にエッチングして、シリコン層に凹み（以下、「シリセス」という。）を形成する工程が行われる。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0005】

【特許文献1】特開2009-170661号公報

【特許文献2】特開2009-266944号公報

【特許文献3】特開2014-90022号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

シリセスの工程では、シリコン層をエッチングにより削りながら、露出した金属層が削られることを抑制する必要がある。つまり、シリセスの工程では、金属層に対するシリコン層の選択比が高いプロセスが望まれている。

40

【0007】

しかしながら、フッ素ガスを含むプロセスガス（例えば、CF<sub>4</sub>ガス、Arガス及びO<sub>2</sub>ガス）では、シリセスの工程でシリコン層を削る際に金属層も削られてしまうため、金属層に対するシリコン層の選択比を向上させることは困難である。

【0008】

上記課題に対して、一側面では、本発明は、金属層に対するシリコン層の選択比を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するために、一の態様によれば、シリコン層の上に絶縁膜を有する第1

50

領域と、金属層の上に前記絶縁膜を有する第2領域と、を有する被処理体を処理する方法であって、所定のパターンに、第1ガスから生成したプラズマにより前記シリコン層と前記金属層とが露出するまで前記絶縁膜のエッチングを行う第1工程と、前記第1工程の後、臭化含有ガスを含む第2ガスから生成したプラズマにより更に前記シリコン層のエッチングを行う第2工程と、を含むエッチング方法が提供される。

【発明の効果】

【0010】

一の側面によれば、金属層に対するシリコン層の選択比を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】一実施形態に係る3D-NANDフラッシュメモリの多層膜と穴の一例を示す図。

【図2】従来のガスによる深穴と浅穴のエッチング結果の一例を示す図。

【図3】一実施形態に係るプラズマ処理装置の一例を示す図。

【図4】一実施形態に係るHBrによるエッチングのSi/W選択比の一例を示す図。

【図5】一実施形態に係る各種ガスによるエッチングのSi/W選択比の一例を示す図。

【図6】一実施形態に係るHBrによるエッチングの時間変化の一例を示す図。

【図7】一実施形態に係るC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>の添加によるSi/W選択比の一例を示す図。

【図8】一実施形態に係るC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>添加時のエッチングの時間変化の一例を示す図。

【図9】一実施形態に係るCH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>の添加によるSi/W選択比の一例を示す図。

【図10】一実施形態に係るCH<sub>4</sub>の添加によるSi/W選択比の一例を示す図。

【図11】一実施形態に係るC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>及びArの添加によるSi/W選択比の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明を実施するための形態について図面を参照して説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の構成については、同一の符号を付することにより重複した説明を省く。

【0013】

[はじめに]

3D-NANDフラッシュメモリ等のデバイスの製造には、プラズマを用いて積層膜に複数の穴を形成するエッチング工程がある。このエッチング工程は、例えば図1に示すように、エッチングによりSiO<sub>2</sub>層40に穴5(コンタクトホール)を形成する。このとき、シリコン層10(Si)及び中間に位置する金属層30(例えばW)に対して、同時にエッチングが行われる。図1の例では、金属層30とSiO<sub>2</sub>層40は4層の積層構造になっているが、これに限られるものではなく、例えば60層から100層といった多数層の構造であってもよい。シリコン層10を露出する穴5は深い穴であり、以下、「深穴CS」という。また、金属層30を露出する穴5は深穴CSよりも浅い穴であり、以下、「浅穴CC」という。

【0014】

図1の例では、深穴CSのSiO<sub>2</sub>層40とシリコン層10(Si)との間にSiN層20を有する。SiN層20は、深穴CSのSiO<sub>2</sub>層40をエッチングする際のエッチングストップ層である。SiN層20が露出するまでSiNに対するSiO<sub>2</sub>の選択比が高いエッチング条件でSiO<sub>2</sub>層40をエッチングを行い、その後、SiN層20をエッチングする条件にて、下地のシリコン層10を露出させる。このSiN層20は、深穴CSのSiO<sub>2</sub>層40と金属層30の間にも有してもよい。

【0015】

深穴CSは、浅穴CCよりも深く削らなければならないため、浅穴CCのエッチングが終了した後も深穴CSのエッチングは継続して行われる。深穴CSのエッチングが終了し、シリコン層10が露出した時、シリコン層10の表面にダメージが入り、コンタクト抵

10

20

30

40

50

抗が上昇してしまう。そのため、浅穴CCにて金属層30が露出し、深穴CSにてシリコン層10が露出した後、コンタクト抵抗を下げるため、シリコン層を更にエッチングして、ダメージが入ったシリコン層の表面を取り除き、シリコン層に凹み(Siリセス)を形成する工程が行われる。よって、Siリセスの工程の間、浅穴CCに露出する下地の金属層30が削られないようにプロセス条件を適正化する必要がある。

#### 【0016】

図2は、従来のガスを用いたSiリセスの結果の一例を示す。図2の左側に示すイニシャルの状態では、深穴CSではシリコン層10が30nm削られ、浅穴CCではタングステンWの金属層30が4nm口スしている。

#### 【0017】

一方、図2の右側は、従来条件(リファレンス)であるCF<sub>4</sub>(四フッ化炭素)ガス、Ar(アルゴン)ガス及びO<sub>2</sub>(酸素)ガスによるプラズマによってSiリセスのためのエッチングが行われ、深穴CSにイニシャル状態から28nm(=58nm-30nm)の更なる凹み(Siリセス)が形成されるとともに、タングステン(W)が22nm(=26nm-4nm)削られていることがわかる。

#### 【0018】

このとき、タングステン(W)に対するシリコン(Si)の選択比(以下、「Si/W選択比」という。)は、1.3である。つまり、CF<sub>4</sub>ガス、Arガス及びO<sub>2</sub>ガスによるプラズマによってシリコン層10にSiリセスを形成するとき、Si/W選択比が所定以上になっておらず、金属層30の削れを抑制できていないことがわかる。そこで、本実施形態に係るエッチング方法では、Si/W選択比が5以上となるようにガスの条件を適正化し、金属層30をほぼ削らずにSiリセスを行う。

#### 【0019】

以下では、まず、本実施形態に係るエッチング方法を実行するプラズマ処理装置の全体構成を説明する。その後、金属層30をほぼ削らずにSiリセスを行うことが可能なガスの候補を選択し、そのガスの候補によるエッチング結果を考察して、Siリセス時に使用するべきガスを特定する。

#### 【0020】

[プラズマ処理装置の全体構成]

まず、本発明の一実施形態に係るプラズマ処理装置1の全体構成について、図3を参照しながら説明する。ここでは、プラズマ処理装置1の一例として容量結合型プラズマエッチング装置を挙げる。

#### 【0021】

本実施形態にかかるプラズマ処理装置1は、特に半導体ウェハW(以下、「ウェハW」とも呼ぶ。)をエッチングするエッチング装置に限定されず、ウェハWにCVD(Chemical Vapor Deposition)による成膜を行う成膜装置であってもよい。プラズマ処理装置1は、ウェハWにPVD(Physical Vapor Deposition)による成膜を行う成膜装置、原子層エッチング(ALE:Atomic Layer Etching)装置、原子層堆積(ALD:Atomic Layer Deposition)装置であってもよい。

#### 【0022】

プラズマ処理装置1は、例えばアルミニウム等の導電性材料からなる処理容器2と、処理容器2の内部にガスを供給するガス供給源11とを有する。処理容器2は電氣的に接地されている。処理容器2の内部には下部電極21と、これに対向して平行に配置された上部電極22とを有する。下部電極21は、ウェハWを載置する載置台としても機能する。下部電極21と上部電極22とのギャップは、例えば40mmである。

#### 【0023】

下部電極21には、第1整合器33を介して第1高周波電源32が接続され、第2整合器35を介して第2高周波電源34が接続される。第1高周波電源32は、例えば100MHzの周波数の第1高周波電力(プラズマ生成用の高周波電力HF)を下電極21に印加する。第2高周波電源34は、100MHzよりも低い、例えば3MHzの第2高周

10

20

30

40

50

波電力（イオン引き込み用の高周波電力 L F ）を下部電極 2 1 に印加する。

【 0 0 2 4 】

第 1 整合器 3 3 は、第 1 高周波電源 3 2 の内部（または出力）インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させる。第 2 整合器 3 5 は、第 2 高周波電源 3 4 の内部（または出力）インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させる。これにより、処理容器 2 の内部にプラズマが生成されているときには、第 1 高周波電源 3 2 及び第 2 高周波電源 3 4 の各々について、内部インピーダンスと負荷インピーダンスとが見かけ上一致するように機能する。

【 0 0 2 5 】

上部電極 2 2 は、その周縁部を被覆するシールドリング 4 1 を介して処理容器 2 の天井部に取り付けられている。上部電極 2 2 には、ガス供給源 1 1 から導入されたガスを拡散する拡散室 5 0 が設けられている。拡散室 5 0 には、ガス導入口 4 5 が形成されている。ガス供給源 1 1 から出力されたガスは、ガス導入口 4 5 を介して拡散室 5 0 に供給され、ガス流路 5 5 を経て、開口 2 8 から下部電極 2 1 と上部電極 2 2 との間のプラズマ空間に供給される。このようにして上部電極 2 2 は、ガスを供給するガスシャワーヘッドとしても機能する。

10

【 0 0 2 6 】

処理容器 2 の底面には排気口 6 0 が形成されており、排気口 6 0 に接続された排気装置 6 5 によって処理容器 2 の内部が排気される。これによって、処理容器 2 の内部を所定の真空度に維持することができる。処理容器 2 の側壁には、ゲートバルブ G が設けられている。ゲートバルブ G は、処理容器 2 からウェハ W の搬入及び搬出を行う際に搬出入口を開閉する。

20

【 0 0 2 7 】

[ 制御装置のハードウェア構成 ]

プラズマ処理装置 1 には、装置全体の動作を制御する制御装置 1 0 0 が設けられている。制御装置 1 0 0 は、C P U (Central Processing Unit) 1 0 1、R O M (Read Only Memory) 1 0 2 及び R A M (Random Access Memory) 1 0 3 を有している。

【 0 0 2 8 】

R O M 1 0 2 には、制御装置 1 0 0 により実行される基本プログラム等が記憶されている。R A M 1 0 3 には、レシピが格納されている。レシピにはプロセス条件（エッチング条件）に対するプラズマ処理装置 1 の制御情報が設定されている。制御情報には、プロセス時間、圧力（ガスの排気）、高周波電力や電圧、各種ガス流量、チャンバ内温度（例えば、上部電極温度、チャンバの側壁温度、ウェハの設定温度）等が含まれる。なお、レシピは、ハードディスクや半導体メモリに記憶されていてもよい。また、レシピは、C D - R O M、D V D 等の可搬性のコンピュータにより読み取り可能な記憶媒体に収容された状態で、記憶領域の所定位置にセットするようにしてもよい。

30

【 0 0 2 9 】

C P U 1 0 1 は、R O M 1 0 2 に格納された基本プログラムに基づき、プラズマ処理装置 1 の全体の制御を行う。C P U 1 0 1 は、R A M 1 0 3 に格納されたレシピの手順に従い、所定の種類のガスを供給するように制御し、ウェハ W にエッチング処理等の所望の処理を制御する。

40

【 0 0 3 0 】

[ ガスの適正化とエッチング方法 ]

次に、かかる構成のプラズマ処理装置 1 を用いて金属層 3 0 をほぼ削らずに S i リセスを行うことが可能なガスの適正化と、S i リセスのエッチング方法について説明する。図 1 に示すように、本実施形態に係るエッチング方法では、まず、第 1 ガスから生成したプラズマによりシリコン層 1 0 と金属層 3 0 とが露出するまで S i O<sub>2</sub> 層 4 0 及び S i N 層 2 0 のエッチングを行う第 1 工程が実行される。

【 0 0 3 1 】

そして、第 1 工程を行った後、H B r（臭化含有）ガスを含む第 2 ガスから生成したブ

50

ラズマによりシリコン層 10 の更なるエッチングを行う第 2 工程が実行される。第 1 工程及び第 2 工程は、同一のプラズマ処理装置 1 により実行される。

【0032】

本実施形態では、絶縁膜の一例として  $\text{SiO}_2$  層及び  $\text{SiN}$  層を挙げて説明するが、絶縁膜は、これに限らず、 $\text{SiO}_x$  層やその他の酸化膜、 $\text{SiC}$  層、 $\text{SiCN}$  層、 $\text{SiOC}$  層であってもよい。また、本実施形態では、金属層の一例としてタングステン W を挙げて説明するが、金属層は、これに限らず、チタン (Ti)、アルミニウム (Al)、ルテニウム (Ru) 又は銅 (Cu) であってもよい。

【0033】

また、本実施形態では、シリコン層 10 が露出した穴 5 の第 1 領域でのアスペクト比は、4.5 以上であり、金属層 30 が露出した穴 5 の第 2 領域でのアスペクト比は、4 以上である。

10

【0034】

第 1 工程は、シリセスのエッチングを行う第 2 工程の準備工程であり、浅穴 CC がタングステン W の金属層 30 まで到達して金属層 30 が露出し、かつ、深穴 CS がシリコン層 10 まで到達してシリコン層 10 が露出するまでエッチングが行われる。

【0035】

第 1 工程で使用する第 1 ガスは、フロロカーボンガスと酸素含有ガスとを含むガスである。フロロカーボンガスの一例としては  $\text{CF}_4$  ガス、 $\text{C}_4\text{F}_8$  ガス、 $\text{C}_4\text{F}_6$  ガスが挙げられ、酸素含有ガスの一例としては  $\text{O}_2$  ガスが挙げられる。また、フロロハイドロカーボンガスが用いられてもよい。フロロハイドロカーボンの一例としては、 $\text{CHF}_3$  ガスや  $\text{CHF}_2$  ガスが挙げられる。さらに、アルゴンなどの希ガスが添加されてもよい。

20

【0036】

第 1 工程が完了した後、第 2 工程においてシリセスのためのエッチングが実行される。第 2 工程で使用する第 2 ガスは、 $\text{Si/W}$  選択比が 5 以上になるようなガスが使用される。

【0037】

(ガスの適正化)

図 4 は、本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 に以下の候補となる各種ガスを供給して、シリセスのエッチングを行った結果の  $\text{Si/W}$  選択比の一例を示す。図 4 には、候補となるガスとして、 $\text{HBr}$  ガス、 $\text{Cl}_2$  (塩素) ガス及び Ar ガスの混合ガス、 $\text{SiCl}_4$  (四塩化ケイ素) 及び Ar ガスの混合ガス、 $\text{SiF}_4$  (四フッ化ケイ素) ガス及び Ar ガスの混合ガスの 4 候補が示されている。

30

【0038】

図 4 の最左に示す初期状態では、第 1 工程が完了した時点での深穴 CS と浅穴 CC との底部の断面を示す。この時点で、深穴 CS に形成されたシリセスは 30 nm であり、浅穴 CC に露出したタングステン W の金属層の口は 4 nm である。

【0039】

上記各種ガスを用いて第 2 工程のエッチングを行った結果、 $\text{HBr}$  ガスによる第 2 工程のエッチングでは、深穴 CS のシリセスが 143 nm (初期値との差分 113 nm) となり、浅穴 CC のタングステン W の口が 24 nm (初期値との差分 20 nm) となった。その結果、 $\text{Si/W}$  選択比が 5.7 (= 113 / 20) となった。以上から、第 2 工程において  $\text{HBr}$  ガスによるエッチングを実行すれば、タングステン W をほぼ削らずにシリコン層 10 のシリセスを行うことができることがわかった。

40

【0040】

なお、他の候補となったガスでは、 $\text{Si/W}$  選択比が 5 以上でない又はエッチング時に発生する堆積物により評価ができない状態であった。以上から、第 1 工程の後、シリセスを行う第 2 工程では、 $\text{HBr}$  ガスを含む第 2 ガスから生成したプラズマによりシリコン層のエッチングを行うことで、タングステン W をほぼ削らずにシリセスを行うことができることが証明された。加えて、 $\text{HBr}$  ガスを含む第 2 ガスを用いることでボーイング (

50

Bowling)を抑制し、図4に示すようにエッチングの垂直形状を得ることができる。

【0041】

次に、図4の候補のガスの他に、 $\text{CHF}_3$  (フルオロホルム)ガス、 $\text{CHF}_2$  (ジフルオロメタン)ガス、 $\text{NF}_3$  (三フッ化窒素)ガス及びArガスの混合ガス、 $\text{SF}_6$  (六フッ化硫黄)及びArガスの混合ガスを候補のガスに選び、それぞれのガスを用いて第2工程を実行した。その結果の一例を図5に示す。

【0042】

(HBrガス)

図5では、上記に挙げた候補のガスのうち5以上のSi/W選択比を有するガスは、HBrガスのみであった。以上から、上記候補のガスのうち第2工程のガスとして好ましいガスは、HBrガスであることがわかった。なお、図4及び図5は、第2工程におけるエッチング時間を90秒に設定して行ったエッチングの結果である。

【0043】

次に、HBrガスを用いて第2工程におけるエッチング時間を変化させた結果を図6に示す。図6(a)は、HBrガスを用いて第2工程におけるエッチング時間を30秒、90秒、150秒としたときの深穴CSのSiリセス及び浅穴CCの底部の断面を示す。図6(a)の最左の断面は、初期状態においてSiリセスを30nmとしたとき、タングステンWのロスが4nmであることを示す。図6(a)のその右の欄には、順に、第2工程においてHBrガスを使用し、エッチング時間が30秒、90秒、150秒のときのSiリセスとタングステンWのロスの結果を示す。エッチング時間が30秒のとき、Siリセスは68nm(初期値との差分38nm)、タングステンWのロスは10nm(初期値との差分6nm)であった。エッチング時間が90秒及び150秒のときには、エッチング時間に比例してSiリセスとタングステンWのロスが増加した。図6(b)のグラフでは、横軸にエッチング時間(E/T)を示し、縦軸にSiリセスとタングステンWのロスの結果を示す。この結果、SiリセスとタングステンWのロスはエッチング時間に比例することがわかった。換言すれば、エッチング時間によっては、Si/W選択比は変わらないことがわかる。

【0044】

本実施形態では、Siリセスの初期値が30nmであり、初期値から更に30nmエッチングされたとき、つまり、Siリセスが60nm(初期値との差分30nm)のとき、所望のコンタクト抵抗の低下が得られる。前述のように、エッチング時間によってSi/W選択比は変わらないため、図6(b)のグラフから、実験により得られたSiリセスの線とSiリセスが60nm(初期値との差分30nm)の線との交点である27秒のエッチング時間で、所望のSiリセスの形状が得られると推定される。

【0045】

(HBrガス+添加ガス： $\text{C}_4\text{F}_6$ )

次に、HBrガスに $\text{C}_4\text{F}_6$ ガスを添加して、第2工程のエッチングを行った。図7に、 $\text{C}_4\text{F}_6$ ガスをHBrに添加したときのSi/W選択比の一例を示す。なお、図7及び後述する図8～図11は、第2工程におけるエッチング時間を90秒に設定した結果である。

【0046】

図7の最左の初期状態に対して、その右欄には、順に、HBrガスに添加する $\text{C}_4\text{F}_6$ ガスの流量比が「0(添加なし)」、「0.035」、「0.070」の場合の第2工程のエッチング結果の一例を示す。

【0047】

この結果、HBrガスに $\text{C}_4\text{F}_6$ ガスを添加しない場合、前述した通り、Si/W選択比は「5.7」であるのに対して、HBrガスに対する $\text{C}_4\text{F}_6$ ガスの流量比が「0.035」の場合にはSi/W選択比は「6.4」となった。また、HBrガスに対する $\text{C}_4\text{F}_6$ ガスの流量比が「0.070」の場合、Si/W選択比は「19」となった。この結果、HBrガスに $\text{C}_4\text{F}_6$ ガスを添加することでSi/W選択比をより改善できることが

10

20

30

40

50

わかった。

【0048】

これは、第2工程のエッチング時に生成された $C_4F_6$ ガスによる堆積物がタングステンW上に付着するために、HBrガスに $C_4F_6$ ガスを添加することでSi/W選択比が向上すると考えられる。よって、HBrガスに添加するガスは、 $C_4F_6$ ガスに限らず、堆積性のある $C_4F_8$ 、 $C_5F_8$ 等のフロロカーボンガスであってもよい。これによってもSi/W選択比をより向上させることができる。

【0049】

図8は、本実施形態に係る $C_4F_6$ 添加時のエッチング時間の変化に対するエッチング結果の一例を示す。図8の最左の初期状態に対して、その右欄には、順に、HBrガスに $C_4F_6$ ガスを添加させた状態で第2工程のエッチング時間が35秒及び90秒となったときのSiリセスとタングステンWのロスの結果の一例を示す。いずれの場合にもHBrガスと $C_4F_6$ ガスとの流量比は同じである。

10

【0050】

エッチング時間が30秒のとき、Siリセスは60nm（初期値との差分30nm）、タングステンWのロスは6nm（初期値との差分2nm）であった。エッチング時間が90秒のとき、Siリセスは107nm（初期値との差分77nm）であった。この結果、SiリセスとタングステンWのロスはエッチング時間に比例することがわかった。換言すれば、エッチング時間によってSi/W選択比は変わらないことがわかる。

【0051】

20

（HBrガス+添加ガス： $CH_2F_2$ ）

次に、HBrガスに $CH_2F_2$ ガスを添加して、第2工程のエッチングを行った。図9に、HBrに $CH_2F_2$ ガスを添加したときのSi/W選択比の一例を示す。

【0052】

図9(a)の最左の初期状態に対して、その右欄には、順に、HBrガスに添加する $CH_2F_2$ ガスの流量比が「0.25」、「0.5」、「0.75」の場合の第2工程のエッチング結果の一例が示されている。また、図9(b)のグラフでは、HBrガスに添加する $CH_2F_2$ ガスの流量比が「0.25」のときの $CH_2F_2$ ガスの流量を基準流量Aとして、横軸に $CH_2F_2$ ガスの流量を示し、縦軸にSiリセス及びタングステンWのロスを示す。

30

【0053】

この結果、HBrガスに対する $CH_2F_2$ ガスの流量比が「0.25」の場合にはSi/W選択比は「5.2」となった。また、HBrガスに対する $CH_2F_2$ ガスの流量比が「0.5」の場合、Si/W選択比は「6.0」となり、HBrガスに対する $CH_2F_2$ ガスの流量比が「0.75」の場合、Si/W選択比は「10」となった。この結果、HBrガスに $CH_2F_2$ ガスを添加することで $CH_2F_2$ ガスの堆積性によりSi/W選択比を改善できることがわかった。

【0054】

なお、HBrガスに添加するガスは、 $CH_2F_2$ ガスに限らず、堆積性のある $CHF_3$ 、 $CH_3F$ 等のハイドロフロロカーボンガスを添加してもよい。これによっても、Si/W選択比を改善させることができる。

40

【0055】

（HBrガス+添加ガス： $CH_4$ ）

次に、HBrガスに $CH_4$ ガスを添加して、第2工程のエッチングを行った。図10に、HBrに $CH_4$ ガスを添加したときのSi/W選択比の一例を示す。この結果、HBrガスに $CH_4$ ガスを添加しない場合（図10の中央）、前述したようにSi/W選択比は「5.7」であるのに対して、HBrガスに $CH_4$ ガスを添加した場合（図10の右）、Si/W選択比は「7.5」となった。この結果、HBrガスに $CH_4$ ガスを添加することで $CH_4$ ガスの堆積性によりSi/W選択比を改善できることがわかった。

【0056】

50

なお、HBrガスに添加するガスは、CH<sub>4</sub>ガスに限らず、堆積性のあるCH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>等のハイドロカーボンガスを添加してもよい。これによっても、Si/W選択比を改善させることができる。

【0057】

(HBrガス+添加ガス+アルゴンガス)

最後に、HBrガスにC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>ガスを添加し、更にArガス又はCO(一酸化炭素)ガスを加えた混合ガスにより第2工程のエッチングを行った結果の一例を図11に示す。この結果によれば、HBrガスにC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>ガスを添加し、更にArガスを加えた場合のSi/W選択比は「21」であり、HBrガスにC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>ガスを添加した場合のSi/W選択比「19」と比較して、同程度の改善が見られた。

10

【0058】

また、HBrガスにC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>ガスを添加し、更にCOガスを加えた場合のSi/W選択比は「16」であり、HBrガスにC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>ガスを添加した場合のSi/W選択比「19」と比較して、同程度の改善が見られた。

【0059】

よって、HBrガスにC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>ガスを添加し、更にArガス又はCOガスを加えた状態で第2工程のエッチングを行ってもよいことがわかった。なお、COガスと同様に、HBrガスにC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>ガスを添加し、更にCO<sub>2</sub>ガスを加えた状態で第2工程のエッチングを行ってもよい。

【0060】

以上に説明したように、本実施形態のエッチング方法によれば、金属層に対するシリコン層の選択比を向上させることができる。また、ボーイング(Bowling)を抑制し、エッチングの垂直形状を得ることができる。なお、上記に説明した全実験において、ウェハWに印加されるシース電圧は900V以下である。

20

【0061】

以上、エッチング方法及びプラズマ処理装置を上記実施形態により説明したが、本発明にかかるエッチング方法及びプラズマ処理装置は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内で種々の変形及び改良が可能である。上記複数の実施形態に記載された事項は、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。

【0062】

例えば、本発明は、図3の平行平板型2周波印加装置だけでなく、その他のプラズマ処理装置に適用可能である。その他のプラズマ処理装置としては、容量結合型プラズマ(CCP:Capacitively Coupled Plasma)装置、誘導結合型プラズマ(ICP:Inductively Coupled Plasma)処理装置、ラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ処理装置、ヘリコン波励起型プラズマ(HWP:Helicon Wave Plasma)装置、電子サイクロトロン共鳴プラズマ(ECR:Electron Cyclotron Resonance Plasma)装置、表面波プラズマ処理装置等であってもよい。

30

【0063】

本明細書では、エッチング対象の基板としてウェハWについて説明したが、これに限らず、LCD(Liquid Crystal Display)、FPD(Flat Panel Display)等に用いられる各種基板や、フォトリソマスク、CD基板、プリント基板等であってもよい。

40

【符号の説明】

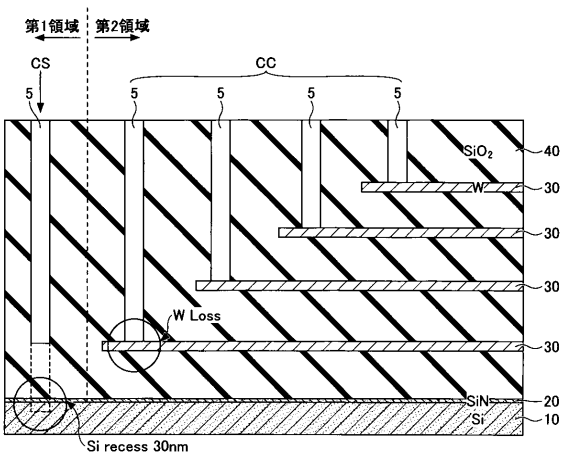
【0064】

- 1：プラズマ処理装置
- 2：処理容器
- 3：上部電極
- 5：穴(コンタクトホール)
- 10：シリコン層
- 11：ガス供給源
- 21：下部電極(載置台)

50

- 2 2 : 上部電極
- 3 0 : 金属層
- 3 2 : 第 1 高周波電源
- 3 4 : 第 2 高周波電源
- 4 0 : SiO<sub>2</sub> 層
- 4 5 : ガス導入口
- 5 0 : 拡散室
- 6 5 : 排気装置
- 1 0 0 : 制御装置

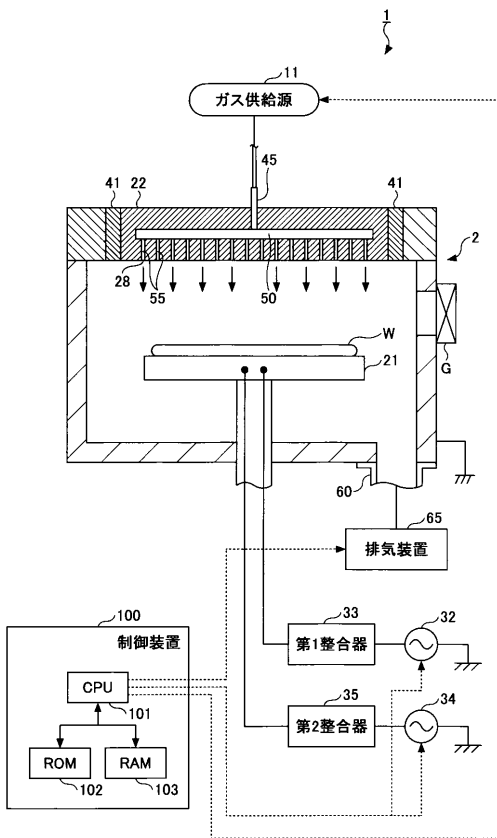
【 図 1 】



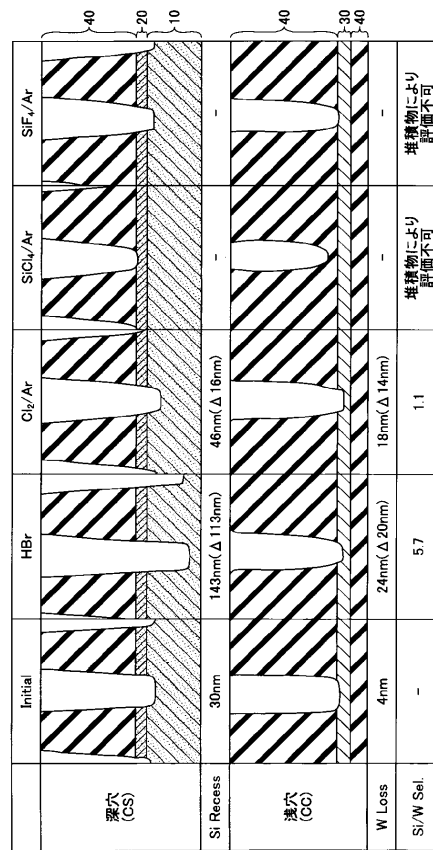
【 図 2 】

	Initial	Siリセス従来条件 (CF <sub>4</sub> /Ar/O <sub>2</sub> )	
深穴 (CS)			40 20 10
Si Recess	30nm	58nm (Δ 28nm)	
浅穴 (CC)			40 30 40
W Loss	4nm	26nm (Δ 22nm)	
Si/W Sel.	-	1.3	

【図3】



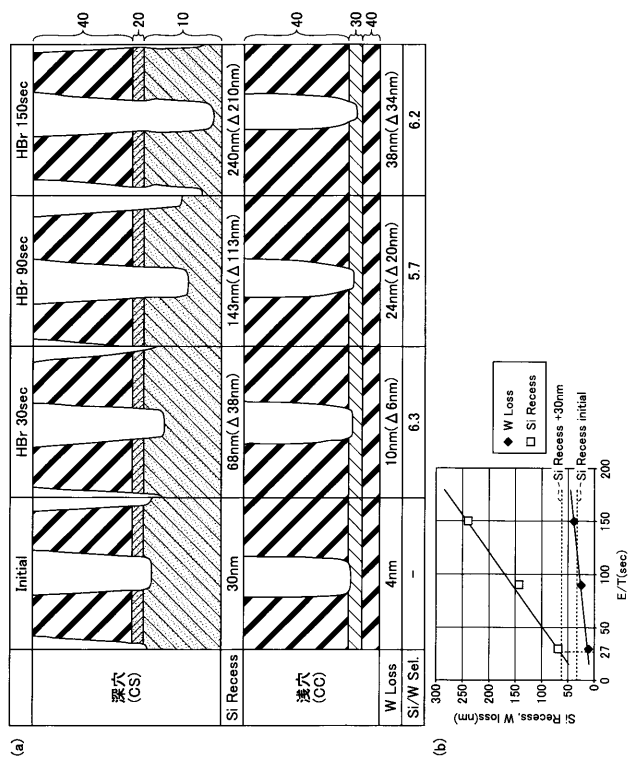
【図4】



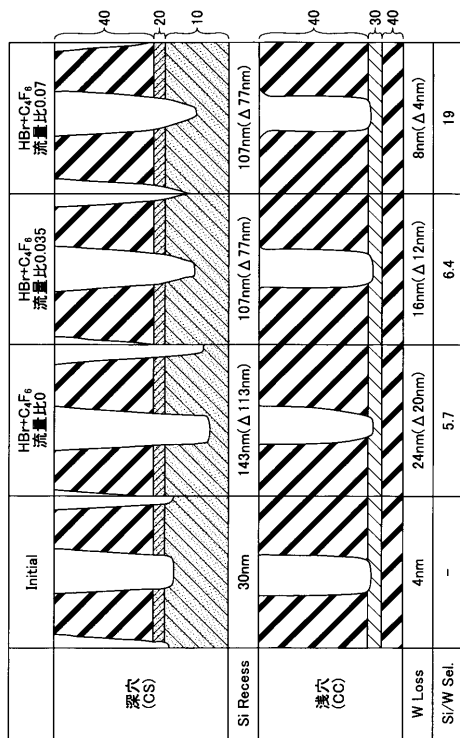
【図5】

	Initial	CHF <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	NF <sub>3</sub> /Ar	SF <sub>6</sub> /Ar	HBr	Cl <sub>2</sub> /Ar
Si Recess (nm)	30	34	34	58	56	143	46
W Loss (nm)	4	8	8	28	18	24	18
Si/W sel.	-	1.0	1.0	1.2	1.9	5.7	1.1

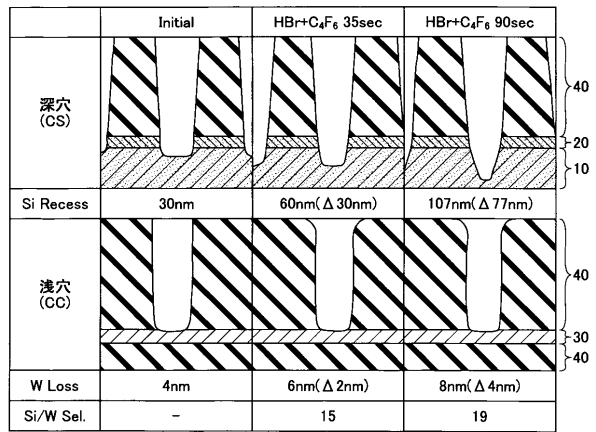
【図6】



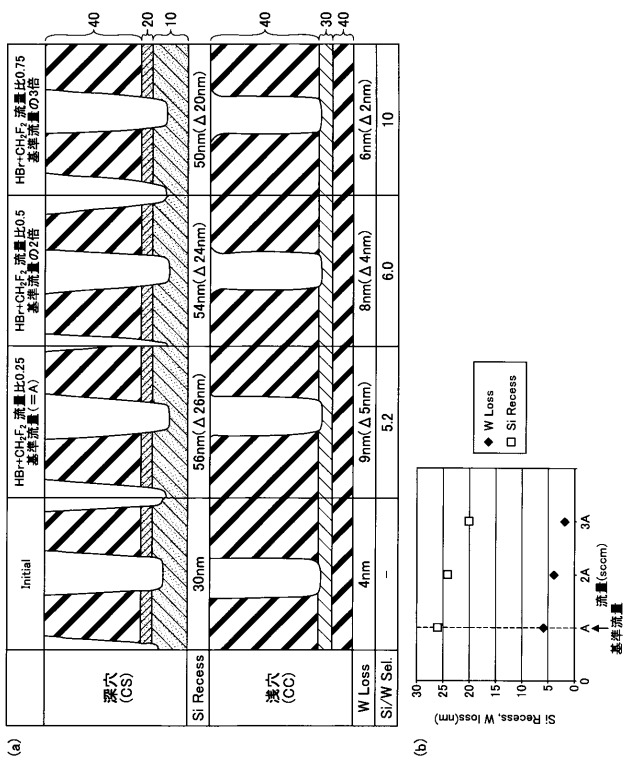
【 図 7 】



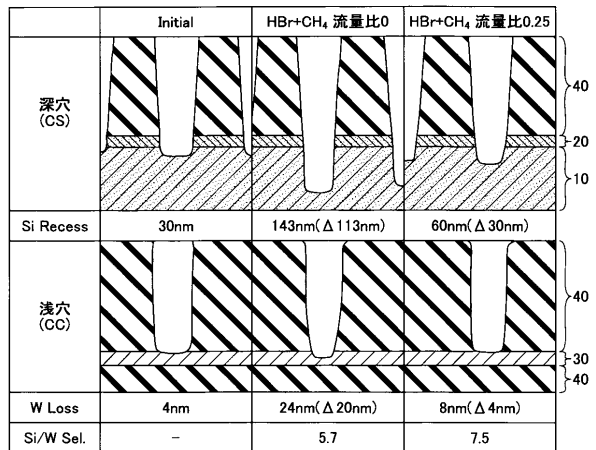
【 図 8 】



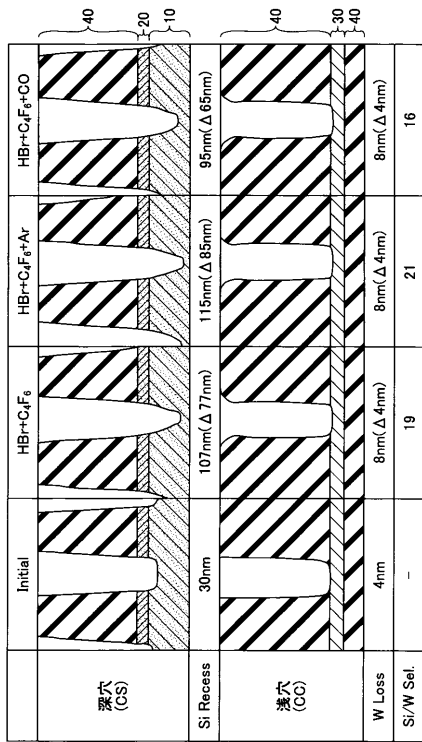
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I								テーマコード(参考)
<b>H 0 1 L 29/788 (2006.01)</b>				H 0 1 L	21/302			3 0 1 M			
<b>H 0 1 L 29/792 (2006.01)</b>											
<b>H 0 5 H 1/46 (2006.01)</b>											

Fターム(参考)	2G084	AA02	AA04	AA05	BB11	CC05	CC12	CC13	CC15	CC16	CC17
		CC33	DD02	DD15	DD24	DD38	DD55	FF15			
	5F004	AA02	BA04	DA00	DA01	DA03	DA15	DA16	DA23	DA26	DB02
		DB03	DB07	EA23	EA28	EB01					
	5F033	KK01	NN13	QQ08	QQ09	QQ12	QQ15	QQ21	QQ39	RR01	RR04
		RR06	VV16	WW00	XX00	XX04					
	5F083	EP76	ER23	GA10	GA27	JA39	JA56	MA06	MA16	PR03	PR06
	5F101	BD30	BD34	BE07	BH13						