

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-98478  
(P2017-98478A)

(43) 公開日 平成29年6月1日(2017.6.1)

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

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2015-231532 (P2015-231532)  
(22) 出願日 平成27年11月27日 (2015.11.27)

(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  
(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 和田 敏治  
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  
Fターム(参考) 5F004 AA02 BA09 BB12 BB22 BB25  
BB28 CA06 DA00 DA01 DA23  
DA24 DB03 EA05 EA07 EA22  
EB01 EB04

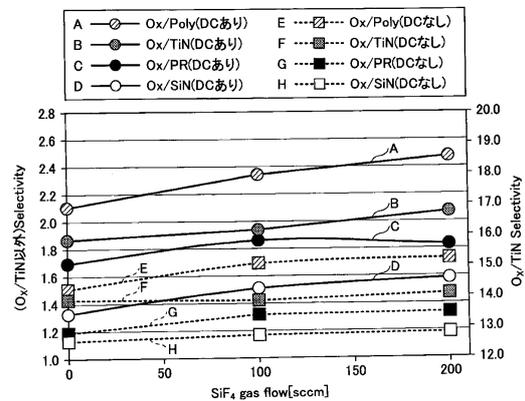
(54) 【発明の名称】 エッチング方法

(57) 【要約】

【課題】マスク選択比を向上させることを目的とする。

【解決手段】上部電極と下部電極とが対向して配置された処理容器内において被処理体上の絶縁層をエッチングする方法であって、前記処理容器内にフルオロカーボンガス及び四フッ化ケイ素(SiF<sub>4</sub>)ガスを含む処理ガスを供給し、前記上部電極及び前記下部電極の少なくともいずれかに高周波電力を印加してプラズマを生成し、生成した前記プラズマによりマスクを介して絶縁層をエッチングする、工程を含むエッチング方法が提供される。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

上部電極と下部電極とが対向して配置された処理容器内において被処理体上の絶縁層をエッチングする方法であって、

前記処理容器内にフルオロカーボンガス及び四フッ化ケイ素 ( $\text{SiF}_4$ ) ガスを含む処理ガスを供給し、

前記上部電極及び前記下部電極の少なくともいずれかに高周波電力を印加してプラズマを生成し、

生成した前記プラズマによりマスクを介して絶縁層をエッチングする、

工程を含むエッチング方法。

10

## 【請求項 2】

前記処理ガスの全流量に対する四フッ化ケイ素ガスの割合を制御することで、生成した前記プラズマに含まれる C フラジカルの F フラジカルに対する割合を増やす、

請求項 1 に記載のエッチング方法。

## 【請求項 3】

前記上部電極に負の直流電圧を供給する、

請求項 1 又は 2 に記載のエッチング方法。

## 【請求項 4】

前記処理ガスは、四フッ化炭素 ( $\text{CF}_4$ ) ガスを含み、

前記処理容器内に供給する四フッ化ケイ素ガスの、四フッ化炭素ガス及び四フッ化ケイ素ガスに対する割合を 10% ~ 75% の範囲に制御する、

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

20

## 【請求項 5】

前記処理容器内に供給する四フッ化ケイ素ガスの、四フッ化炭素ガス及び四フッ化ケイ素ガスに対する割合を 50% ~ 75% の範囲に制御する、

請求項 4 に記載のエッチング方法。

## 【請求項 6】

前記絶縁層は、Low-k 膜、シリコン酸化膜又はシリコン含有反射防止膜のいずれかである、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

30

## 【請求項 7】

前記エッチング方法は、容量結合型プラズマ装置において生成されたプラズマにより被処理体をエッチングする方法である、

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】

前記処理ガスは、炭素原子 C と酸素原子 O とを含むガス及び酸素 ( $\text{O}_2$ ) ガスを含まないガスである、

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

40

## 【0001】

本発明は、エッチング方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

エッチング装置を用いて、半導体デバイスの回路パターンを半導体ウェハ（以下、「ウェハ」ともいう。）上に微細加工する技術が提案されている（例えば、特許文献 1 を参照）。特許文献 1 では、ウェハ上の絶縁層をエッチングする際にポーリングを抑制する技術が開示されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 8 - 6 0 5 6 6 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかしながら、近年の更なる微細化の要求に応じるために、高精度のエッチング加工を実現するためには、ウェハに施されるエッチングの面内均一性を保ちつつ、被エッチング対象膜のエッチングに対してマスクがエッチングされる比率を示す選択比（以下、「マスク選択比」ともいう。）を高めることが重要になっている。

【 0 0 0 5 】

上記課題に対して、一側面では、本発明は、マスク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】

【 0 0 0 6 】

上記課題を解決するために、一の態様によれば、上部電極と下部電極とが対向して配置された処理容器内において被処理体上の絶縁層をエッチングする方法であって、前記処理容器内にフルオロカーボンガス及び四フッ化ケイ素（ $\text{SiF}_4$ ）ガスを含む処理ガスを供給し、前記上部電極及び前記下部電極の少なくともいずれかに高周波電力を印加してプラズマを生成し、生成した前記プラズマによりマスクを介して絶縁層をエッチングする、工程を含むエッチング方法が提供される。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

一の側面によれば、マスク選択比を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】一実施形態に係るエッチング装置の縦断面の一例を示す図。

【図 2】一実施形態に係るエッチング方法の一例を示すフローチャート。

【図 3】一実施形態に係るエッチング方法によるエッチング結果の一例を示す図。

【図 4】一実施形態に係るエッチング方法によるエッチング結果の一例を示す図。

【図 5】一実施形態に係るエッチング方法によるエッチング結果の一例を示す図。

【図 6】SAV方式を用いたエッチングを説明する図。

【図 7】一実施形態に係るエッチング方法をピアステップに適用した場合のエッチング結果の一例を示す図。

【図 8】一実施形態に係るエッチング方法を Si - ARC のエッチング工程に適用した場合のエッチング結果の一例を示す図。

【図 9】一実施形態に係る  $\text{SiF}_4$  ガスの流量比とマスク選択比の一例を示す図。

【図 10】一実施形態に係る  $\text{SiF}_4$  ガスの添加とマスク選択比のメカニズムを説明するための図。

【図 11】一実施形態に係る  $\text{SiF}_4$  ガスの添加量とマスク選択比の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

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。

【 0 0 1 0 】

[エッチング装置の全体構成]

まず、本発明の一実施形態にかかるエッチング方法により半導体ウェハ（以下、単に「ウェハ」という。）にプラズマエッチングを実行するエッチング装置 1 について、図 1 を参照して説明する。図 1 は、本実施形態にかかるエッチング装置 1 の縦断面の一例を示す。本実施形態にかかるエッチング装置 1 は、下部電極としても機能する載置台 20 と、上

10

20

30

40

50

部電極としても機能するガスシャワーヘッド25とを対向配置した平行平板型のエッチング装置（容量結合型エッチング装置）である。

【0011】

エッチング装置1は、例えば表面がアルマイト処理（陽極酸化処理）されたアルミニウムからなる円筒形の処理容器10を有している。処理容器10は、電氣的に接地されている。載置台20は、処理容器10の底部に設置され、ウェハWを載置する。ウェハWは、被処理体の一例である。載置台20は、たとえばアルミニウム（Al）やチタン（Ti）、炭化ケイ素（SiC）等から形成されている。載置台20の上面には、ウェハWを静電吸着するための静電チャック106が設けられている。静電チャック106は、絶縁体106bの間にチャック電極106aを挟み込んだ構造になっている。チャック電極106aには直流電圧源112が接続され、直流電圧源112からチャック電極106aに直流電圧HVが印加されることにより、クーロン力によってウェハWが静電チャック106に吸着される。

10

【0012】

載置台20は、支持体104により支持されている。支持体104の内部には、冷媒流路104aが形成されている。冷媒流路104aには、冷媒入口配管104b及び冷媒出口配管104cが接続されている。チラー107から出力された例えば冷却水やブライン等の冷却媒体（以下、「冷媒」ともいう。）は、冷媒入口配管104b、冷媒流路104a及び冷媒出口配管104cを循環する。冷媒により、載置台20及び静電チャック106は抜熱され、冷却される。

20

【0013】

伝熱ガス供給源85は、ヘリウムガス（He）やアルゴンガス（Ar）等の伝熱ガスをガス供給ライン130に通して静電チャック106上のウェハWの裏面に供給する。かかる構成により、静電チャック106は、冷媒流路104aに循環させる冷媒と、ウェハWの裏面に供給する伝熱ガスとによって温度制御される。この結果、ウェハを所定の温度に制御することができる。

【0014】

載置台20には、2周波重畳電力を供給する電力供給装置30が接続されている。電力供給装置30は、第1周波数の第1高周波電力（プラズマ生成用の高周波電力）を供給する第1高周波電源32と、第1周波数よりも低い第2周波数の第2高周波電力（バイアス電圧発生用の高周波電力）を供給する第2高周波電源34とを有する。第1高周波電源32は、第1整合器33を介して載置台20に電氣的に接続される。第2高周波電源34は、第2整合器35を介して載置台20に電氣的に接続される。第1高周波電源32は、例えば、60MHzの第1高周波電力を載置台20に印加する。第2高周波電源34は、例えば、13.56MHzの第2高周波電力を載置台20に印加する。なお、本実施形態では、第1高周波電力は載置台20に印加されるが、ガスシャワーヘッド25に印加されてもよい。

30

【0015】

第1整合器33は、第1高周波電源32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35は、第2高周波電源34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1整合器33は、処理容器10内にプラズマが生成されているときに第1高周波電源32の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。第2整合器35は、処理容器10内にプラズマが生成されているときに第2高周波電源34の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。

40

【0016】

ガスシャワーヘッド25は、その周縁部を被覆するシールドリング40を介して処理容器10の天井部の開口を閉塞するように取り付けられている。ガスシャワーヘッド25には、可変直流電源70が接続され、可変直流電源70から所定の直流（DC）電圧が印加される。ガスシャワーヘッド25は、シリコンから形成されてもよい。

50

## 【 0 0 1 7 】

ガスシャワーヘッド 2 5 には、ガスを導入するガス導入口 4 5 が形成されている。ガスシャワーヘッド 2 5 の内部にはガス導入口 4 5 から分岐したセンター側の拡散室 5 0 a 及びエッジ側の拡散室 5 0 b が設けられている。ガス供給源 1 5 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 a、5 0 b に供給され、拡散室 5 0 a、5 0 b にて拡散されて多数のガス供給孔 5 5 から載置台 2 0 に向けて導入される。

## 【 0 0 1 8 】

処理容器 1 0 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 1 0 内が排気される。これにより、処理容器 1 0 内を所定の真空度に維持することができる。処理容器 1 0 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 1 0 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。

## 【 0 0 1 9 】

エッチング装置 1 には、装置全体の動作を制御する制御部 1 0 0 が設けられている。制御部 1 0 0 は、C P U (Central Processing Unit) 1 0 5、R O M (Read Only Memory) 1 1 0 及び R A M (Random Access Memory) 1 1 5 を有している。C P U 1 0 5 は、これらの記憶領域に格納された各種レシピに従って、後述されるエッチング等の所望の処理を実行する。レシピにはエッチング条件等の処理条件に対する装置の制御情報であるプロセス時間、圧力(ガスの排気)、高周波電力や電圧、各種ガス流量、処理容器内温度(上部電極温度、処理容器の側壁温度、ウェハ W 温度、静電チャック温度等)、チラー 1 0 7 の冷媒温度などが記載されている。なお、これらのプログラムや処理条件を示すレシピは、ハードディスクや半導体メモリに記憶されてもよい。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收容された状態で所定位置にセットされ、読み出されるようにしてもよい。

## 【 0 0 2 0 】

エッチングするときには、ゲートバルブ G の開閉が制御され、ウェハ W が処理容器 1 0 に搬入され、載置台 2 0 に載置される。直流電圧源 1 1 2 からチャック電極 1 0 6 a に直流電圧 H V が印加されることにより、クーロン力によってウェハ W が静電チャック 1 0 6 に吸着され、保持される。

## 【 0 0 2 1 】

次いで、処理ガス、高周波電力が処理容器 1 0 内に供給され、プラズマが生成される。生成されたプラズマによりウェハ W がプラズマ処理される。プラズマ処理後、チャック電極 1 0 6 a にウェハ W の吸着時とは正負が逆の直流電圧 H V が印加され、ウェハ W の電荷が除電され、ウェハ W が静電チャック 1 0 6 から剥がされる。ゲートバルブ G の開閉が制御され、ウェハ W が処理容器 1 0 から搬出される。

## 【 0 0 2 2 】

## [ エッチング方法 ]

本実施形態では、上記構成のエッチング装置 1 を用いて、ポリシリコン (Poly-Si)、窒化シリコン (S i N) 膜、フォトレジスト (P R)、窒化チタン (T i N) 膜等のレジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜 (S i O<sub>x</sub>) をエッチングする。ただし、マスクの種類は上記の例に限られない。また、被エッチング対象膜は、シリコン酸化膜に限らず、L o w - k 膜等の絶縁層のエッチングに適用できる。

## 【 0 0 2 3 】

処理容器 1 0 内にウェハ W が搬入され、載置台 2 0 に保持されると、制御部 1 0 0 は、図 2 に示す本実施形態に係るエッチング方法を開始する。まず、制御部 1 0 0 は、フルオロカーボンガス(炭素及びフッ素を含むガス)に四フッ化ケイ素 (S i F<sub>4</sub>) ガスを添加した混合ガスを、ガス供給源 1 5 から処理容器 1 0 内に供給する(ステップ S 1 0)。本実施形態では、炭素 (C) ガス及びフッ素 (F) ガスを含むガスの一例として四フッ化炭素 (C F<sub>4</sub>) ガスが供給される。ただし、フルオロカーボンガスは、C F<sub>4</sub> ガスに限らず、オクタフルオロシクロブタン (C<sub>4</sub> F<sub>8</sub>) ガス、ヘキサフルオロ - 1, 3 - ブタジエン (C

10

20

30

40

50

4 F<sub>6</sub>) ガス等であってもよい。

【0024】

次に、制御部100は、第1高周波電源32から出力される第1周波数の第1高周波電力HF(プラズマ生起用高周波電力)を下部電極として機能する載置台20に印加する(ステップS12)。また、制御部100は、第2高周波電源34から出力される第2周波数の第2高周波電力LF(バイアス電圧発生用の高周波電力)を載置台20に印加する(ステップS12)。

【0025】

次に、制御部100は、可変直流電源70から上部電極として機能するガスシャワーヘッド25に負の直流電圧DCを出力する(ステップS14)。以上のステップS10~S14に示すエッチング条件の下、プラズマが生成され、そのプラズマの作用により、マスクを介して、例えばシリコン酸化膜(SiO<sub>x</sub>)等のシリコン含有酸化膜がエッチングされ(ステップS16)、本処理が終了する。

10

【0026】

なお、ステップS12において第2高周波電力LFは印加されなくてもよい。また、ステップS14において負の直流電圧DCは印加されなくてもよい。ただし、後述されるように負の直流電圧DCは印加する方が、マスク選択比が向上するため好ましい。

【0027】

[エッチング結果1]

以上に説明した、本実施形態にかかるエッチング結果1の一例について、図3~図5に基づき説明する。図3~図5の各グラフは、以下のエッチング条件により本実施形態に係るエッチング方法によって、シリコン酸化膜(SiO<sub>2</sub>)をエッチングした結果を示す。

20

【0028】

(エッチング条件)

- ・載置台の温度 10
- ・第1高周波電力HF 300W
- ・第2高周波電力LF 100W
- ・負の直流電圧DC 印加する場合と、印加しない場合あり
- ・ガス CF<sub>4</sub>, SiF<sub>4</sub>
- ・圧力 80mT(10.67Pa)

30

図3のグラフの横軸は、供給するSiF<sub>4</sub>ガスの流量を示し、縦軸は、マスク選択比を示す。実線A, B, C, Dは、エッチング中、負の直流電圧DCを印加した場合のエッチング結果を示す。具体的には、実線Aは、ポリシリコンのレジスト膜をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。実線Bは、窒化チタン(TiN)をマスク(メタルハードマスク)としてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。実線Cは、フォトレジスト膜(PR)をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。実線Dは、窒化シリコン(SiN)膜をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。

【0029】

なお、右側の縦軸は、窒化チタンをマスクとした場合のマスク選択比を示し、左側の縦軸は、窒化チタン以外をマスクとした場合のマスク選択比を示す。

40

【0030】

一方、点線E, F, G, Hは、エッチング中、負の直流電圧DCを印加しなかった場合のエッチング結果を示す。点線Eは、実線Aと同じマスクによって酸化シリコン膜をエッチングしたときのマスク選択比である。点線F, G, Hは、同様に実線B, C, Dと同じマスクによって酸化シリコン膜をエッチングしたときのマスク選択比である。

【0031】

図3の結果から、本実施形態にかかるエッチング方法によれば、CF<sub>4</sub>ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加することで、マスク選択比を向上させることができることがわかる。また、CF<sub>4</sub>ガスに対するSiF<sub>4</sub>ガスの添加量が多い程、マスク選択比を向上させることができ

50

る。さらに、窒化チタン (TiN) の場合、マスク選択比は他の材質をマスクにしてエッチングしたよりも顕著に高くなる。更に、エッチング中に DC を印加することでさらにマスク選択比を向上させることができることがわかる。ただし、SiF<sub>4</sub> ガスの流量が過剰になると、シリコン酸化膜等のエッチングが困難になる。

#### 【0032】

図4の横軸は、エッチング中に負の直流電圧 DC を印加し、全処理ガス (CF<sub>4</sub> + SiF<sub>4</sub>) に対する SiF<sub>4</sub> ガスの流量比を示す。図4の縦軸 (左側) は、SiO<sub>2</sub> のエッチングレート (Etching rate) (以下、「ER」ともいう。) を示す。図4の縦軸 (右側) は、マスク選択比を示す。

#### 【0033】

図4のグラフ中の実線 I, J, K, L, M は、ER を示し、点線 N, O, P, R は、マスク選択比を示す。実線 I は、酸化膜 (O<sub>x</sub>) をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときの ER を示す。実線 J は、窒化シリコン (SiN) 膜をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときの ER を示す。実線 K は、窒化チタン (TiN) 膜をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときの ER を示す。実線 L は、ポリシリコン膜 (Poly) をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときの ER を示す。実線 M は、フォトレジスト (PR) をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときの ER を示す。

#### 【0034】

また、図4の点線 N は、ポリシリコン膜 (Poly) をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。線 O は、フォトレジスト (PR) をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。線 P は、窒化シリコン (SiN) 膜をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。線 R は、窒化チタン (TiN) 膜をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。

#### 【0035】

以上の結果から、点線 N, O, P, R に示すいずれの素材をマスクとして選択しても、SiF<sub>4</sub> ガスを添加するとマスク選択比が向上することがわかる。特に、エッチング中に DC を印加し、かつ、全処理ガス (CF<sub>4</sub> + SiF<sub>4</sub>) に対する SiF<sub>4</sub> ガスの流量比が 10% から 75% までの範囲になるように SiF<sub>4</sub> ガスの添加量を制御することが好ましい。これにより、マスク選択比を高めることができる。

#### 【0036】

更に、図4の結果から、エッチング中に DC を印加し、かつ、全処理ガス (CF<sub>4</sub> + SiF<sub>4</sub>) に対する SiF<sub>4</sub> ガスの流量比が 50% から 75% までの範囲になるように SiF<sub>4</sub> ガスの添加量を制御すると、さらにマスク選択比を高めることができるためより好ましい。

#### 【0037】

また、実線 I, J, K, L, M に示すいずれの素材をマスクとして選択しても、SiF<sub>4</sub> ガスを添加すると多少 ER が低下するものの、図5に示すように、ウェハ W の径方向に ER の面内均一性 (Uniformity) は保たれていることがわかる。つまり、SiF<sub>4</sub> ガスを添加した場合であっても、ウェハの径方向の ER の面内均一性 (Uniformity) は「2.7」であり、SiF<sub>4</sub> ガスを添加していない場合のウェハの径方向の ER の面内均一性「3.2」と同様に、ER の面内均一性が保たれていることがわかる。

#### 【0038】

##### [エッチング結果2]

次に、本実施形態に係るエッチング方法を適用した場合のエッチング結果2について説明する。以上に説明した本実施形態にかかるエッチング方法は、例えば、セルフ・アライメント・ビア (SAV: Self-Aligned Via) 方式を用いるエッチングに本実施形態にかかるエッチング方法を使用することができる。SAV方式を用いる方法では、レジスト等の有機膜と、窒化チタン等の金属含有膜により形成されるハードマスクとをマスクとして、

10

20

30

40

50

本実施形態にかかるエッチング方法によりエッチングが行われる。これにより、例えば、配線層間膜として用いられる低誘電率膜（Low - k膜）にホールを形成することができる。図6を参照して、SAV方式を用いた本実施形態にかかるエッチング方法について説明する。

【0039】

SAV方式を用いるエッチング方法では、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低誘電率膜（Low - k膜）をエッチングする際、有機膜及び金属含有膜をマスクとしてエッチングすることで、Low - k膜にホール等を形成する。なお、Low - k膜とは、SiO<sub>2</sub>よりも比誘電率が低い膜の総称である。

【0040】

図6(a)に示すように、ウェハW上には、被エッチング対象膜であるLow - k膜201の上に順にテトラエトキシシラン202（TEOS）、TiN膜203が積層されている。TiN膜203は、金属含有膜の一例である。Low - k膜201は、例えば、SiOCH膜である。なお、ウェハWとLow - k膜201との間には、下地膜が形成されていてもよい。

【0041】

SAV方式を用いてウェハWをエッチングする場合、まず、図6(a)に示すように、TiN膜203をマスクとしてLow - k膜201をエッチングする。これにより、図6(b)に示すように、Low - k膜201にビアVが形成される（ビアステップ）。このとき、Low - k膜201に対するTiN膜203の選択比が十分でないと、TiN膜203をマスクとしてプラズマエッチングを行う際に、TiN膜203の一部が侵食される、所謂、エンクローチメントが発生するおそれがある。

【0042】

図7は、ビア（Via）ステップにおいて、本実施形態にかかるエッチング方法を適用した場合のエンクローチメントの効果を説明する図である。所定のスペースSを隔てて整列されたラインLを含むラインアンドスペース（L/S）パターンの概略平面図及び断面図である。図7に示すように、エンクローチメントは、所定のスペースSを隔てて整列されたラインLを含むパターンにおいて、ホールVHを形成する前のラインLの幅L1とホールVHを形成した後のラインLの幅L2との差であり、（L1 - L2）で定められる。

【0043】

図7の左側のビアステップは、比較例であり、TiN膜203をマスクとしたLow - k膜201のエッチングにおいて、フルオロカーボンを含む処理ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加しなかった場合のエッチング結果の一例を示す。図7の中央は、本実施形態の一例であり、TiN膜203をマスクとしたLow - k膜201のエッチングにおいて、フルオロカーボンを含む処理ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加した場合のエッチング結果の一例を示す。図7の右側は、本実施形態の一例であり、トレンチステップにおいて、フルオロカーボンを含む処理ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加した場合のエッチング結果の一例を示す。

【0044】

この結果によれば、ビアステップにおいて、本実施形態のフルオロカーボンを含む処理ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加した場合のエンクローチメントは「8.2」であり、比較例のSiF<sub>4</sub>ガスを添加しなかった場合のエンクローチメントは「18.4」である。よって、本実施形態に係るエッチング方法をビアステップに適用することにより、TiNのマスクの一部が殆ど侵食されておらず、エンクローチメントが抑制されていることがわかる。また、図7の太線で囲んだ部分に示すように、ビアステップ及びトレンチステップにおいて、本実施形態のように処理ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加した場合には、比較例のSiF<sub>4</sub>ガスを添加しなかった場合に比べてマスクの残膜が増えている。つまり、マスク選択比が向上していることがわかる。

【0045】

[エッチング結果3]

図8は、シリコン反射防止膜（Si - ARC）のエッチング中に、本実施形態にかかる

10

20

30

40

50

エッチング方法を適用した場合のエッチング結果の一例を示す。図8の(a)の左側は、下地膜301上のシリコン含有反射防止膜(Si-ARC)302を有機膜のマスクでエッチングする際、フルオロカーボンを含む処理ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加しなかった場合のエッチング結果の一例を示す。図8の(a)の右側は、Si-ARC302を有機膜のマスクでエッチングする際、フルオロカーボンを含む処理ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加した場合のエッチング結果の一例を示す。

【0046】

図8は、以下のエッチング条件により本実施形態に係るエッチング方法によって、Si-ARC301をエッチングした結果を示す。

【0047】

(エッチング条件)

- ・載置台の温度 10
- ・第1高周波電力HF 300W
- ・第2高周波電力LF 100W
- ・負の直流電圧DC 印加する
- ・ガス H<sub>2</sub>、Ar、SiF<sub>4</sub>ガス
- ・圧力 50mT(6.6661Pa)

図8の(a)及び図8の(b)では、比較例(SiF<sub>4</sub>ガス添加なし)にかかるSi-ARC302は、本実施形態(SiF<sub>4</sub>ガス添加あり)に係るSi-ARC302よりも先が細くなり、Si-ARC302のトップCD(TCD:ホール上部のCD)とボトムCD(BCD:ホール底部のCD)との差が大きくなるCDシュリンクが生じている。これに対して、本実施形態では、CDシュリンクは小さくなり、エッチング形状が良好になっている。

【0048】

また、図8の(b)に示すように、本実施形態(SiF<sub>4</sub>ガス添加あり)に係るSi-ARC302では、比較例(SiF<sub>4</sub>ガス添加なし)にかかるSi-ARC302よりも残膜が多くなっており、マスク選択比が向上していることがわかる。

【0049】

[エッチング結果4]

図9の(a)の横軸は、全処理ガス(CF<sub>4</sub>+SiF<sub>4</sub>)に対するSiF<sub>4</sub>ガスの流量比を示す。図9の(a)の縦軸は、プラズマ中のSiF、CF<sub>2</sub>、CF、Fの強度の比率を示す。なお、強度の測定において、CF<sub>2</sub>の強度は252nmの波長の光を検出することにより得られる。CFの強度は256nmの波長の光を検出することにより得られる。Fの強度は704nmの波長の光を検出することにより得られる。

【0050】

この結果によれば、全処理ガス(CF<sub>4</sub>+SiF<sub>4</sub>)に対するSiF<sub>4</sub>ガスの流量比を変えることで、プラズマの組成を変えることができることがわかる。具体的には、全処理ガス(CF<sub>4</sub>+SiF<sub>4</sub>)に対するSiF<sub>4</sub>ガスの流量比が高くなる程、高次のCF成分(CF<sub>2</sub>)が低次のCF成分やF成分よりも相対的に増えることがわかる。

【0051】

図9の(b)の横軸は、全処理ガス(CF<sub>4</sub>+SiF<sub>4</sub>)に対するSiF<sub>4</sub>ガスの流量比を示す。図9の(b)の縦軸(左側)は、マスク選択比を示し、図9の(b)の縦軸(右側)は、プラズマ中のFに対するCF<sub>2</sub>の強度の割合を示す。

【0052】

図9の(b)の実線Sは、ポリシリコンのレジスト膜をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。実線Tは、窒化シリコン(SiN)膜をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。実線Uは、フォトレジスト膜(PR)をマスクとしてシリコン酸化膜をエッチングしたときのマスク選択比を示す。実線Vは、OES(Optical Emission Spectroscopy)により得られる、プラズマ中のCF<sub>2</sub>/Fの発光強度比を示す。OESとは、放電プラズマ中より得られる元素固

10

20

30

40

50

有の輝線スペクトル(原子スペクトル)の波長を定性し、発光強度から定量を行う手法のことである。

【0053】

これによれば、全処理ガス(CF<sub>4</sub> + SiF<sub>4</sub>)に対するSiF<sub>4</sub>ガスの流量比が高くなる程、マスク選択比が向上することがわかる。以上から、処理ガス中のSiF<sub>4</sub>ガスの流量比を高くすることで、マスク選択比が向上することがわかる。そして、全処理ガス(CF<sub>4</sub> + SiF<sub>4</sub>)に対するSiF<sub>4</sub>ガスの流量比が高くなる程、プラズマ中の高次のCF成分(CF<sub>2</sub>)が低次のCF成分やF成分よりも相対的に増えていることがわかる。

【0054】

[SiF<sub>4</sub>ガスの添加とマスク選択比]

次に、SiF<sub>4</sub>ガスの添加とマスク選択比について説明する。上記エッチング結果から、プラズマ中の高次のCF成分(CF<sub>2</sub>)が低次のCF成分やF成分よりも相対的に増えると、マスク選択比が向上するという関係が想定される。

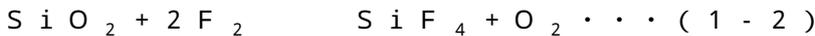
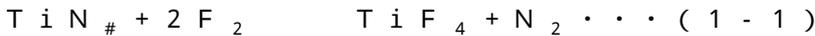
【0055】

前提として、プラズマ中のレジデンスタイム(プラズマ空間にラジカルが滞留する時間)が長い程、CFラジカルからFラジカルに解離し、CFラジカルよりもFラジカルの比率が相対的に高いプラズマになることがわかっている。

【0056】

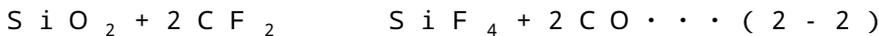
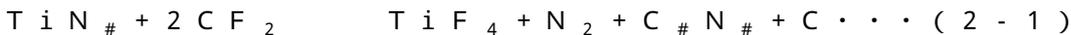
ここでは、窒化チタン(TiN)をマスクとし、シリコン酸化膜(SiO<sub>2</sub>)をエッチングする場合を例に挙げて、SiF<sub>4</sub>ガスからFリッチなプラズマ(CFラジカルよりもFラジカルの比率が相対的に高いプラズマ)を生成したときの化学反応式を示す。

・SiF<sub>4</sub>ガスからFリッチなプラズマ



同様に、SiF<sub>4</sub>ガスからCFリッチなプラズマ(FラジカルよりもCFラジカルの比率が相対的に高いプラズマ)を生成したときの化学反応式を示す。

・SiF<sub>4</sub>ガスからCFリッチなプラズマ



以上の二組の化学式を比較すると、CFリッチなプラズマでは、式(2-1)に示すように、炭素Cが窒化チタンのマスクの表面に堆積することがわかる。エッチング装置1内のウェハW上のプラズマ空間を模式的に示した図10を参照して、CFリッチなプラズマの作用により、炭素Cが窒化チタンのマスクの表面に堆積するメカニズムを説明する。

【0057】

処理容器10内に供給されるフルオロカーボンガスを含む処理ガスにSiF<sub>4</sub>ガスを添加すると、電子、イオン、CFラジカル(CF<sup>\*</sup>)、Fラジカル(F<sup>\*</sup>)、SiFラジカル(SiF<sup>\*</sup>)が含まれるプラズマが生成される。プラズマ中のSiFラジカルは、Fラジカルと化学反応してSiF<sub>4</sub>となる。SiF<sub>4</sub>は蒸気圧が高く、直ぐに揮発する。そのため、SiF<sub>4</sub>はガスとなって処理容器10外に排気される。

【0058】

一方、SiFラジカルは、CFラジカルとは反応しない。その結果、プラズマ中のFラジカルの濃度は上がらず、かつ、CFラジカルの濃度は下がらない。このため、プラズマ中のレジデンスタイムが長くなってもFラジカルよりもCFラジカルの比率が相対的に高いCFリッチなプラズマの状態が維持される。これにより、プラズマ中の炭素Cが窒化チタンのマスクの表面に堆積し、炭素層がマスクをコーティングする。本実施形態にかかるエッチング方法では、エッチング中、マスク表面の炭素層が保護膜として機能するため、マスク選択比が向上すると考えられる。

【0059】

[エッチング結果5]

最後に、図11を参照して、本実施形態に係るエッチング方法を適用した場合のエッチ

10

20

30

40

50

ング結果5について説明する。図11の左側は、ピラストップ及びトレンチステップにおいて、 $CF_4$ ガス及びArガスに $SiF_4$ ガスを添加量Aだけ添加した場合のエッチング結果の一例を示し、図11の右側は、 $CF_4$ ガス及びArガスを含む処理ガスに $SiF_4$ ガスを添加量Aよりも多い添加量Bだけ添加した場合のエッチング結果の一例を示す。

【0060】

いずれの場合にも、直径が300mmのウェハWのエッジからの距離が30mmのウェハ位置及びエッジからの距離が5mmのウェハ位置におけるエッチング結果が示されている。これによれば、ウェハWの外周30mmおよび最外周5mmにおいてマスク（例えば、TiN膜203）のマスク選択比が向上し、被エッチング対象膜（例えば、Low-k膜201）が先細りせず、良好なエッチング形状となっている。

10

【0061】

また、図11の右側のように $SiF_4$ ガスの添加量を増やすことで、ウェハWの外周30mm及び最外周5mmのいずれにおいても、トップCD（TCD：ホール上部のCD）、ミドルCD（MCD：ホール中央部のCD）、ボトムCD（BCD：ホール底部のCD）の差がより小さくなっていることがわかる。このように、本実施形態にかかるエッチング方法によれば、均一なエッチングが得られにくいウェハWの外周側においてもエッチングの垂直性が確保される。これにより、本実施形態にかかるエッチング方法によれば、ウェハの外周側においても内周側と同様に均一にマスク選択比を向上させることができる。

【0062】

以上から、フルオロカーボンを含む処理ガスに $SiF_4$ ガスを添加することにより、ウェハWのマスク選択比を外周側も含めて全体的に向上させることができる。

20

【0063】

ただし、処理ガスに二酸化炭素（ $CO_2$ ）ガスと、一酸化炭素（CO）ガスと、酸素（ $O_2$ ）ガスを含むと、 $SiO$ と言われる酸化膜が生成され、エッチング中に堆積されるため、エッチングが困難になる。よって、本実施形態にかかるエッチング方法に使用する処理ガスは、炭素Cと酸素Oとの両方を含むガスを含まない。また、本実施形態にかかるエッチング方法に使用する処理ガスは、酸素 $O_2$ ガスを含まない。

【0064】

以上、エッチング方法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。

30

【0065】

例えば、本発明にかかるエッチング方法は、容量結合型プラズマ（CCP:Capacitively Coupled Plasma）装置に適用可能である。本発明にかかるエッチング方法は、その他のプラズマ装置として誘導結合型プラズマ（ICP:Inductively Coupled Plasma）装置には適用は難しい。

【0066】

ICP装置は、処理容器の上部にプラズマが生成され、処理用以内に広がっておらず、処理容器の下方に載置された載置台側にプラズマを引き寄せる仕組みになっている。一方、図1のエッチング装置1に一例が示されるCCP装置は、生成されたプラズマが、処理容器10内の上部、下部、側壁等に広がっている。このようにCCP装置では、プラズマがプラズマ空間に広がっているため、ウェハWのエッジ側に対するプラズマの寄与率がICP装置よりも高くなる。このため、本発明にかかるエッチング方法は、CCP装置にて使用されることで、ICP装置にて使用される場合と比べて、処理ガスに $SiF_4$ ガスを添加することによるウェハWの外周側へのマスク選択比の向上等の影響はICP装置の場合よりも大きくなる。

40

【0067】

本明細書では、エッチング対象として半導体ウェハWについて説明したが、LCD（Liquid Crystal Display）、FPD（Flat Panel Display）等に用いられる各種基板や、フ

50

オトマスク、CD基板、プリント基板等であっても良い。

【符号の説明】

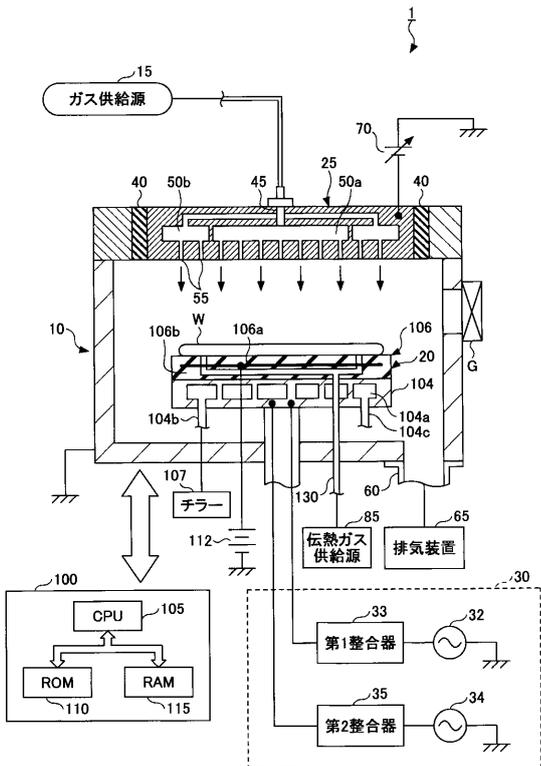
【0068】

- 1 : エッチング装置
- 2 ArFレジスト膜
- 3 シリコン反射防止膜
- 4 有機層
- 7 保護膜
- 10 処理容器
- 15 ガス供給源
- 20 載置台(下部電極)
- 25 ガスシャワーヘッド(上部電極)
- 30 電力供給装置
- 32 第1高周波電源
- 34 第2高周波電源
- 70 可変直流電源
- 100 制御部
- 106 静電チャック
- 201 Low-k膜
- 203 TiN膜
- 302 シリコン含有反射防止膜(Si-ARC)

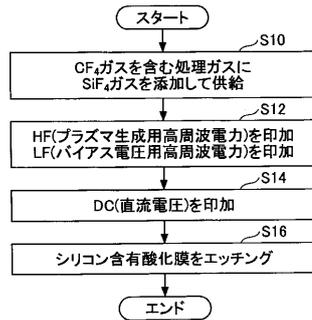
10

20

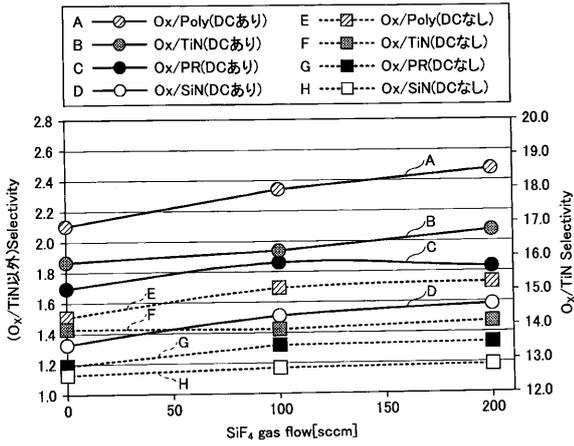
【図1】



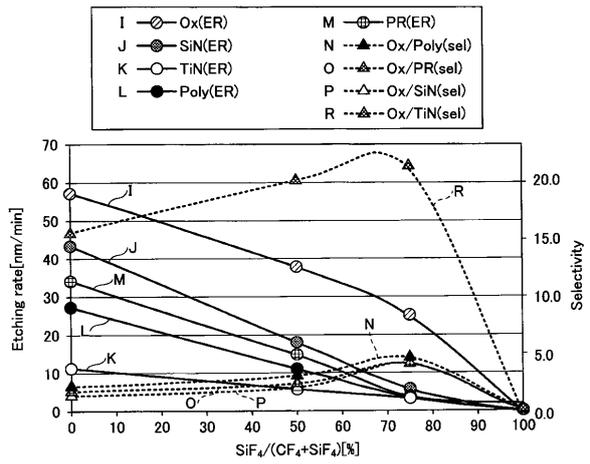
【図2】



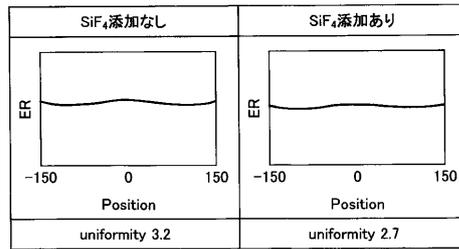
【 図 3 】



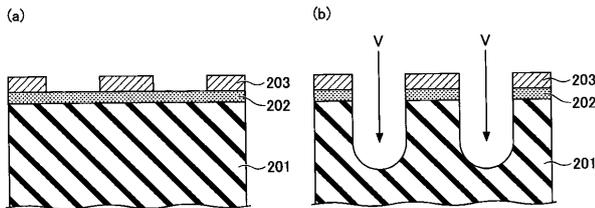
【 図 4 】



【 図 5 】



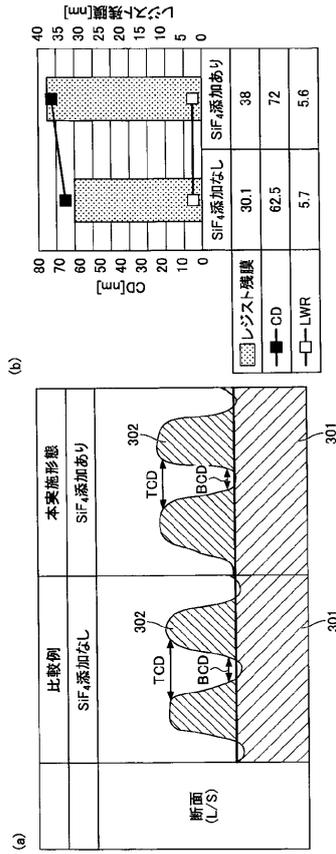
【 図 6 】



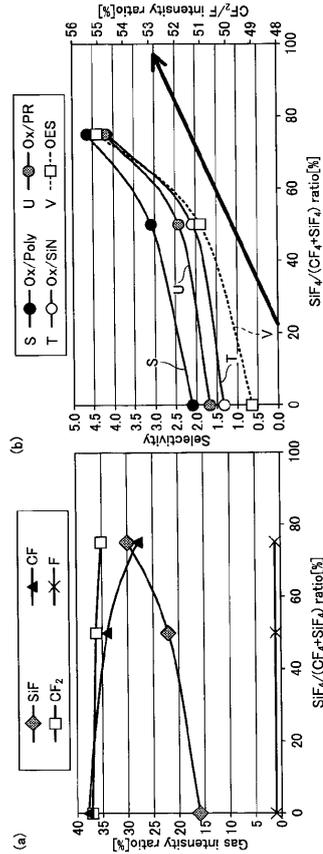
【 図 7 】

	比較例 Viaステップ (SiF <sub>4</sub> 添加なし)	本実施形態 Viaステップ (SiF <sub>4</sub> 添加あり)	本実施形態 Trenchステップ (SiF <sub>4</sub> 添加あり)
平面 (L/S)			
断面 (L/S)			
マスク(TiN) エンクロージメント	18.4	8.2	14.2
マスク(TiN) 残膜	8.3	9.2	8.2
断面 (L/S)			
マスク(TiN) 残膜	14.4	16.8	18.8

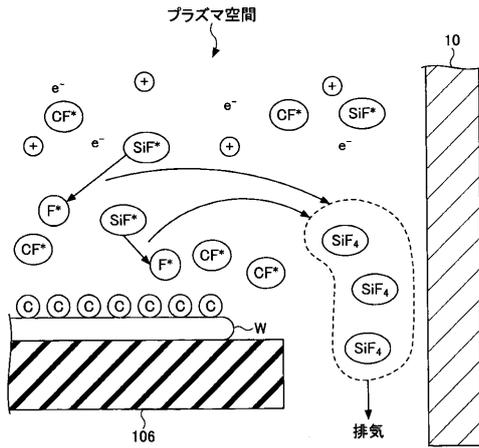
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

