

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7190988号  
(P7190988)

(45)発行日 令和4年12月16日(2022.12.16)

(24)登録日 令和4年12月8日(2022.12.8)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 1 L 21/3065(2006.01) H 0 1 L 21/302 1 0 5 A  
H 0 5 H 1/46 (2006.01) H 0 5 H 1/46 M

請求項の数 9 (全13頁)

|          |                             |          |   |
|----------|-----------------------------|----------|---|
| (21)出願番号 | 特願2019-151424(P2019-151424) | (73)特許権者 | 000219967<br>東京エレクトロン株式会社<br>東京都港区赤坂五丁目3番1号   |
| (22)出願日  | 令和1年8月21日(2019.8.21)        | (74)代理人  | 100107766<br>弁理士 伊東 忠重                        |
| (65)公開番号 | 特開2021-34483(P2021-34483A)  | (74)代理人  | 100070150<br>弁理士 伊東 忠彦                        |
| (43)公開日  | 令和3年3月1日(2021.3.1)          | (72)発明者  | 大堀 高寛<br>宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番<br>東京エレクトロン宮城株式会社内 |
| 審査請求日    | 令和4年5月23日(2022.5.23)        | (72)発明者  | 三浦 太樹<br>宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番<br>東京エレクトロン宮城株式会社内 |
| 早期審査対象出願 |                             | (72)発明者  | 小笠原 正宏<br>宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番<br>最終頁に続く         |

(54)【発明の名称】 エッチング方法及び基板処理装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ボロン膜又はボロン含有膜が形成された基板を準備する工程と、  
塩素ガスとフッ素含有ガスと水素含有ガスとシリコン含有ガスと酸素含有ガスとから成る処理ガスを供給する工程と、  
前記処理ガスのプラズマによりマスクを介して前記ボロン膜又はボロン含有膜をエッチングする工程と、  
を有するエッチング方法。

【請求項2】

前記マスクは、シリコン含有膜である、  
請求項1に記載のエッチング方法。

【請求項3】

イオン引き込み用の高周波電力とプラズマ生成用の高周波電力とをこの順にパルス状に印加し、前記処理ガスのプラズマを生成する、  
請求項1又は2に記載のエッチング方法。

【請求項4】

前記フッ素含有ガスは三フッ化窒素(NF<sub>3</sub>)或いは四フッ化炭素(CF<sub>4</sub>)である、  
請求項1~3のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【請求項5】

前記水素含有ガスは水素ガス(H<sub>2</sub>)或いは臭化水素ガス(HBr)である、

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 6】

前記シリコン含有ガスは四塩化ケイ素ガス ( $\text{SiCl}_4$ ) 又は、四フッ化ケイ素ガス ( $\text{SiF}_4$ ) 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】

前記酸素含有ガスは酸素ガス ( $\text{O}_2$ )、二酸化炭素ガス ( $\text{CO}_2$ ) 又は硫化カルボニルガス ( $\text{COS}$ ) 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】

前記処理ガスは塩素ガス ( $\text{Cl}_2$ )、三フッ化窒素ガス ( $\text{NF}_3$ )、水素ガス ( $\text{H}_2$ )、四塩化ケイ素ガス ( $\text{SiCl}_4$ ) 及び酸素ガス ( $\text{O}_2$ ) を含む、

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】

チャンバと、ガス供給部と、制御部と、を有し、

前記制御部は、

前記チャンバ内にボロン膜又はボロン含有膜が形成された基板を準備する工程と、

前記ガス供給部から前記チャンバ内に塩素ガスとフッ素含有ガスと水素含有ガスとシリコン含有ガスと酸素含有ガスとから成る処理ガスを供給する工程と、

前記処理ガスのプラズマによりマスクを介して前記ボロン膜又はボロン含有膜をエッチングする工程と、を実行する、

基板処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、エッチング方法及び基板処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、特許文献 1 は、シリコン部分と窒化シリコン膜と酸化シリコン膜とを有する被処理基板において、シリコン部分を窒化シリコン膜および酸化シリコン膜に対して選択的にエッチングするエッチング方法であって、フッ素含有ガスと不活性ガスを励起した状態で被処理基板に供給して、シリコン部分をエッチングすることを提案している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2018 - 32664 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、ボロン膜又はボロン含有膜のエッチングの垂直性を高めることができる技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一の態様によれば、ボロン膜又はボロン含有膜が形成された基板を準備する工程と、塩素ガスとフッ素含有ガスと水素含有ガスとシリコン含有ガスと酸素含有ガスとから成る処理ガスを供給する工程と、前記処理ガスのプラズマによりマスクを介して前記ボロン膜又はボロン含有膜をエッチングする工程と、を有するエッチング方法が提供される。

【発明の効果】

【0006】

一の側面によれば、ボロン膜又はボロン含有膜のエッチングの垂直性を高めることがで

10

20

30

40

50

きる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】一実施形態に係る基板処理装置の一例を示す断面模式図。

【図2】従来のエッチング方法によるボロン含有膜のエッチングの一例を示す図。

【図3】一実施形態に係るエッチング方法によるボロン含有膜のエッチングの一例を示す図。

【図4】一実施形態に係るエッチング方法によるボロン含有膜のエッチングの一例を示す図。

【図5】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。

10

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図面を参照して本開示を実施するための形態について説明する。各図面において、同一構成部分には同一符号を付し、重複した説明を省略する場合がある。

【0009】

[基板処理装置]

一実施形態に係る基板処理装置1について、図1を用いて説明する。図1は、一実施形態に係る基板処理装置1の一例を示す断面模式図である。

【0010】

基板処理装置1は、チャンバ10を備える。チャンバ10は、その中に内部空間10sを提供する。チャンバ10はチャンバ本体12を含む。チャンバ本体12は、略円筒形状を有する。チャンバ本体12は、例えばアルミニウムから形成される。チャンバ本体12の内壁面上には、耐腐食性を有する膜が設けられている。当該膜は、酸化アルミニウム、酸化イットリウムなどのセラミックであってよい。

20

【0011】

チャンバ本体12の側壁には、通路12pが形成されている。基板Wは、通路12pを通して内部空間10sとチャンバ10の外部との間で搬送される。通路12pは、チャンバ本体12の側壁に沿って設けられるゲートバルブ12gにより開閉される。

【0012】

チャンバ本体12の底部上には、支持部13が設けられている。支持部13は、絶縁材料から形成される。支持部13は、略円筒形状を有する。支持部13は、内部空間10sの中で、チャンバ本体12の底部から上方に延在している。支持部13は、上部に載置台14を有する。載置台14は、内部空間10sの中において、基板Wを支持するように構成されている。

30

【0013】

載置台14は、基台18及び静電チャック20を有する。載置台14は、電極プレート16を更に有し得る。電極プレート16は、アルミニウムなどの導体から形成され、略円盤形状を有する。基台18は、電極プレート16上に設けられている。基台18は、アルミニウムなどの導体から形成されて、略円盤形状を有する。基台18は、電極プレート16に電氣的に接続されている。

40

【0014】

静電チャック20は、基台18上に設けられている。静電チャック20の上面に基板Wが載置される。静電チャック20は、本体及び電極を有する。静電チャック20の本体は、略円盤形状を有し、誘電体から形成される。静電チャック20の電極は、膜状の電極であり、静電チャック20の本体内に設けられている。静電チャック20の電極は、スイッチ20sを介して直流電源20pに接続されている。静電チャック20の電極に直流電源20pからの電圧が印加されると、静電チャック20と基板Wとの間に静電引力が発生する。その静電引力により、基板Wが静電チャック20に保持される。

【0015】

基台18の周縁部上には、基板Wのエッジを囲むように、エッジリング25が配置され

50

る。エッジリング 25 はフォーカスリングとも呼ばれる。エッジリング 25 は、基板 W に対するプラズマ処理の面内均一性を向上させる。エッジリング 25 は、シリコン、炭化シリコン又は石英などから形成され得る。

【0016】

基台 18 の内部には、流路 18 f が設けられている。流路 18 f には、チャンバ 10 の外部に設けられているチラーユニット（図示しない）から配管 22 a を介して温度調整用の熱交換媒体（冷媒、熱媒体）が供給される。流路 18 f に供給された熱交換媒体は、配管 22 b を介してチラーユニットに戻される。熱交換媒体と基台 18 との熱交換により、静電チャック 20 上に載置された基板 W の温度が調整される。

【0017】

基板処理装置 1 には、ガス供給ライン 24 が設けられている。ガス供給ライン 24 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 20 の上面と基板 W の裏面との間に供給する。

【0018】

基板処理装置 1 は、上部電極 30 を更に備える。上部電極 30 は、載置台 14 の上方に載置台 14 に対向して設けられている。上部電極 30 は、部材 32 を介して、チャンバ本体 12 の上部に支持されている。部材 32 は、絶縁性を有する材料から形成される。上部電極 30 と部材 32 は、チャンバ本体 12 の上部開口を閉じている。

【0019】

上部電極 30 は、天板 34 及び支持体 36 を含み得る。天板 34 の下面は、内部空間 10 s の側の下面であり、内部空間 10 s を画成する。天板 34 は、発生するジュール熱の少ない低抵抗の導電体又は半導体から形成され得る。天板 34 は、天板 34 をその板厚方向に貫通する複数のガス吐出孔 34 a を有する。

【0020】

支持体 36 は、天板 34 を着脱自在に支持する。支持体 36 は、アルミニウムなどの導電性材料から形成される。支持体 36 の内部には、ガス拡散室 36 a が設けられている。支持体 36 は、ガス拡散室 36 a から下方に延びる複数のガス孔 36 b を有する。複数のガス孔 36 b は、複数のガス吐出孔 34 a にそれぞれ連通している。支持体 36 には、ガス導入口 36 c が形成されている。ガス導入口 36 c は、ガス拡散室 36 a に接続している。ガス導入口 36 c には、ガス供給管 38 が接続されている。

【0021】

ガス供給管 38 には、バルブ群 42、流量制御器群 44、及びガスソース群 40 が接続されている。ガスソース群 40、バルブ群 42、及び流量制御器群 44 は、ガス供給部を構成している。ガスソース群 40 は、複数のガスソースを含む。バルブ群 42 は、複数の開閉バルブを含む。流量制御器群 44 は、複数の流量制御器を含む。流量制御器群 44 の複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器である。ガスソース群 40 の複数のガスソースの各々は、バルブ群 42 の対応の開閉バルブ、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。

【0022】

基板処理装置 1 では、チャンバ本体 12 の内壁面及び支持部 13 の外周に沿って、シールド 46 が着脱自在に設けられている。シールド 46 は、チャンバ本体 12 に反応副生物が付着することを防止する。シールド 46 は、例えば、アルミニウムから形成された母材の表面に耐腐食性を有する膜を形成することにより構成される。耐腐食性を有する膜は、酸化イットリウムなどのセラミックから形成され得る。

【0023】

支持部 13 とチャンバ本体 12 の側壁との間には、バッフルプレート 48 が設けられている。バッフルプレート 48 は、例えば、アルミニウムから形成された母材の表面に耐腐食性を有する膜（酸化イットリウムなどの膜）を形成することにより構成される。バッフルプレート 48 には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート 48 の下方、且つ、チャンバ本体 12 の底部には、排気口 12 e が設けられている。排気口 12 e には、

10

20

30

40

50

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、圧力調整弁及びターボ分子ポンプなどの真空ポンプを含む。

#### 【 0 0 2 4 】

基板処理装置 1 は、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 を備えている。第 1 の高周波電源 6 2 は、第 1 の高周波電力（以下、「H F 電力又は H F パワー」ともいう。）を発生する電源である。第 1 の高周波電力は、プラズマの生成に適した周波数を有する。第 1 の高周波電力の周波数は、例えば 2 7 M H z ~ 1 0 0 M H z の範囲内の周波数である。第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 及び電極プレート 1 6 を介して基台 1 8 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（基台 1 8 側）のインピーダンスを整合させるための回路を有する。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。第 1 の高周波電源 6 2 は、一例のプラズマ生成部を構成している。

10

#### 【 0 0 2 5 】

第 2 の高周波電源 6 4 は、第 2 の高周波電力（以下、「L F 電力又は L F パワー」ともいう。）を発生する電源である。第 2 の高周波電力は、第 1 の高周波電力の周波数よりも低い周波数を有する。第 1 の高周波電力と共に第 2 の高周波電力が用いられる場合には、第 2 の高周波電力は基板 W にイオンを引き込むためのバイアス電圧用の高周波電力として用いられる。第 2 の高周波電力の周波数は、例えば 4 0 0 k H z ~ 1 3 . 5 6 M H z の範囲内の周波数である。第 2 の高周波電源 6 4 は、整合器 6 8 及び電極プレート 1 6 を介して基台 1 8 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（基台 1 8 側）のインピーダンスを整合させるための回路を有する。

20

#### 【 0 0 2 6 】

なお、第 1 の高周波電力を用いずに、第 2 の高周波電力を用いて、即ち、単一の高周波電力のみを用いてプラズマを生成してもよい。この場合には、第 2 の高周波電力の周波数は、1 3 . 5 6 M H z よりも大きな周波数、例えば 4 0 M H z であってもよい。また、この場合、基板処理装置 1 は、第 1 の高周波電源 6 2 及び整合器 6 6 を備えなくてもよい。第 2 の高周波電源 6 4 は一例のプラズマ生成部を構成する。

#### 【 0 0 2 7 】

基板処理装置 1 においてガスが、ガス供給部から内部空間 1 0 s に供給されて、プラズマを生成する。また、第 1 の高周波電力及び / 又は第 2 の高周波電力が供給されることにより、上部電極 3 0 と基台 1 8 との間で高周波電界が生成される。生成された高周波電界がプラズマを生成する。

30

#### 【 0 0 2 8 】

基板処理装置 1 は、電源 7 0 を備えている。電源 7 0 は、上部電極 3 0 に接続されている。電源 7 0 は内部空間 1 0 s 内に存在する正イオンを天板 3 4 に引き込むための電圧を、上部電極 3 0 に印加する。

#### 【 0 0 2 9 】

基板処理装置 1 は、制御部 8 0 を更に備え得る。制御部 8 0 は、プロセッサ、メモリなどの記憶部、入力装置、表示装置、信号の入出力インターフェイス等を備えるコンピュータであり得る。制御部 8 0 は、基板処理装置 1 の各部を制御する。制御部 8 0 では、入力装置を用いて、オペレータが基板処理装置 1 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る。また、制御部 8 0 では、表示装置により、基板処理装置 1 の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、記憶部には、制御プログラム及びレシピデータが格納されている。制御プログラムは、基板処理装置 1 で各種処理を実行するために、プロセッサによって実行される。プロセッサが、制御プログラムを実行し、レシピデータに従って基板処理装置 1 の各部を制御する。

40

#### 【 0 0 3 0 】

[ 従来のエッチング方法 ]

次に、かかる構成の基板処理装置 1 を使用して従来のエッチング方法によりボロン含有膜をエッチングしたときの結果の一例について、図 2 を参照しながら説明する。その後、

50

基板処理装置 1 を使用して一実施形態に係るエッチング方法によりボロン含有膜をエッチングしたときの結果の一例について、図 3 を参照しながら説明する。

#### 【 0 0 3 1 】

従来のエッチング方法及び後述する一実施形態に係るエッチング方法では、図 2 ( a ) に示すように、下地膜 1 0 0 の上にボロン含有膜 1 1 0 が形成され、その上にマスク 1 2 0 が形成された基板に対してエッチングを実行する。下地膜 1 0 0 は、例えば、酸化シリコン膜 (  $S i O_2$  )、窒化シリコン膜 (  $S i N$  ) 等のシリコン含有膜から形成されてもよい。ボロン含有膜 1 1 0 は、エッチング対象膜の一例である。エッチング対象膜は、ボロン含有膜 1 1 0 の代わりにボロン膜であってもよい。本例では、ボロン含有膜 1 1 0 はボロンがドーブされたシリコン膜であるが、これに限られない。本例では、マスク 1 2 0 は酸化シリコン膜であるが、これに限られず、窒化シリコン膜等のシリコン含有膜であってもよい。マスク 1 2 0 には、上面からみてホール H のパターンが形成されているが、これに限られず、溝のパターンが形成されてもよい。

10

#### 【 0 0 3 2 】

ボロン含有膜 1 1 0 は、マスク 1 2 0 を介して下地膜 1 0 0 が露出するまでエッチングされ、エッチングによりボロン含有膜 1 1 0 にホール H ( 深穴 ) が形成される。ボロン含有膜 1 1 0 の上面に形成されたホール H の開口の直径を「 T O P C D 」という。アスペクト比は、ボロン含有膜 1 1 0 の T O P C D と、ボロン含有膜 1 1 0 の厚さとの比 ( = ボロン含有膜 1 1 0 の厚さ / T O P C D ) であり、本例では 2 0 ~ 3 0 以上となる。

#### 【 0 0 3 3 】

従来のエッチング方法のプロセス条件は以下である。

##### < プロセス条件 >

|                     |                                     |
|---------------------|-------------------------------------|
| 圧力                  | 3 0 m T ( 4 . 0 0 P a )             |
| H F パワー             | 8 0 0 W                             |
| L F パワー             | 4 5 0 0 W                           |
| H F、L F の D u t y 比 | L F D u t y 1 3 %、H F D u t y 5 0 % |
| H F、L F のパルス周波数     | 2 . 0 k H z                         |
| ガス種                 | 塩素 ( $C l_2$ ) 1 5 0 s c c m        |
| 温度 ( 静電チャック温度 )     | 1 2 0                               |
| エッチング時間             | 2 4 0 秒                             |

30

なお、上記プロセス条件下でボロン含有膜 1 1 0 をエッチングする工程の前に、自然酸化膜の除去工程を実行する。自然酸化膜の除去工程は、三フッ化窒素 (  $N F_3$  ) ガスと酸素 (  $O_2$  ) ガスとをチャンバ 1 0 内に供給して約 5 秒間行う。これにより、基板上の自然酸化膜を除去できる。

#### 【 0 0 3 4 】

自然酸化膜の除去工程の後、制御部 8 0 は、上記プロセス条件に従い基板処理装置 1 の各部を制御した。制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内の圧力を 3 0 m T に制御し、静電チャック 2 0 の温度を 1 2 0 に制御し、塩素ガスをチャンバ 1 0 内に供給し、載置台 1 4 に H F 電力及び L F 電力を印加した。H F 電力及び L F 電力の印加は、パルス周波数が 2 . 0 k H z になるように、L F 電力、H F 電力の順に印加した。具体的には、L F 電力を D u t y 1 3 % で印加し、その間 H F 電力をオフする。次に H F 電力を D u t y 5 0 % で印加し、その間 L F 電力をオフした。次に残りの 3 7 % の時間、L F 電力及び H F 電力をオフした。かかるパルスの電力印加を 2 . 0 k H z の周波数で繰り返した。

40

#### 【 0 0 3 5 】

その結果、従来のエッチング方法により形成されたホール H 形状を図 2 ( b ) 及び ( c ) に示した。従来のエッチング方法では、図 2 ( b ) に示すように、ボロン含有膜 1 1 0 に形成されたホール H のエッチング形状がホール H の先端に向かって細くなり、ホール H の縦断面形状がテーパ状になった ( 課題 1 ) 。

#### 【 0 0 3 6 】

また、図 2 ( c ) に示すように、ボロン含有膜 1 1 0 にホール H をエッチングする際の

50

マスク選択比が十分でなく、ホールHの底部が下地膜100まで到達する前にマスク120が消失する場合があった(課題2)。

【0037】

課題1について、さらに詳しく説明する。酸化シリコン膜で形成されているマスク120は、塩素ガスでエッチングされ難い。また、図2(b)に示すように、ボロン含有膜110をエッチングした際に生成される反応副生物130は酸化シリコン膜であるマスク120の側壁に付着し易い。ボロン含有膜110を塩素ガスの単一ガスでエッチングする場合、マスク120には、 $BCl_xO_y$ 及び $SiCl_xO_y$ の反応副生物130が付着し、堆積する。その結果、図2(b)に示すように、ボロン含有膜110に形成されたホールHのTOP CD(従来のエッチング方法で形成されたホールHのTOP CDを「TOP CD1」と表記する。)は、反応副生物130により縮小される。なお、ボロン含有膜110に形成されたホールHの底面の直径を「BTM CD」といい、従来のエッチングでボロン含有膜110に形成されたBTM CDを「BTM CD1」と表記する。

10

【0038】

一方、ボロン含有膜110は、塩素ガスでエッチングされ易く、かつ、図2(b)に示すように、エッチングの際に生成される反応副生物130がマスク120の直下のボロン含有膜110の側壁に付着し難い。その理由としては、反応副生物130とマスク120である酸化シリコン膜との結合が優位に働き、反応副生物130とボロン含有膜110との結合が優位に働かないためであると考えられる。

【0039】

以上の理由から、マスク120の直下のボロン含有膜110の側面に反応副生物130が保護膜として形成され難いために、マスク120の直下のボロン含有膜110の側面方向へのエッチングが促進される。この結果、図2(b)に示すように、マスク120の直下にてボロン含有膜110の側面がエッチングされ、ホールHが外側に膨らむボーイング(Bowling)形状が発生した。

20

【0040】

これに対して、ボロン含有膜110に形成されたホールHのTOP CD1を広げるために、塩素ガスにフッ素(F)系のガスを添加することが考えられる。この場合、ボロン含有膜110のTOP CD1は広がるが、酸化シリコン膜のマスク120がエッチングされ、マスク120のパターンが崩れ、かつ、マスク選択比が減少する結果となる。

30

【0041】

この原因としてはボロン含有膜110の化学反応性が少ないため、塩素ガスを使用した場合、ボロン含有膜110に形成されたホールHのBTM CD1が広がり難いことが挙げられる。これに対して、塩素ガスにフッ素系のガス等の反応性が高いガスを添加して使用すると、ボロン含有膜110の化学反応は促進されるが、マスク120までエッチングされ、マスク120が崩れてしまうと推定される。

【0042】

そこで、以下に説明する一実施形態に係るエッチング方法では、塩素ガスに特定のガスを加えてエッチングを行うことで上記課題を解決する。以下、一実施形態に係るエッチング方法について説明する。

40

【0043】

[一実施形態に係るエッチング方法]

図3を参照しながら、基板処理装置1を使用して一実施形態に係るエッチング方法によりボロン含有膜に形成されたホールHの形状について説明する。図3(a)は図2(b)と同一図であり、比較例として、図2(a)の基板に対して従来のエッチング方法によりエッチングを実行したときの結果の一例を示す図である。図3(b)は、図2(a)の基板に対して一実施形態に係るエッチング方法によりエッチングを実行したときの結果の一例を示す図である。

【0044】

本実施形態に係るエッチング方法のプロセス条件は、処理ガスのガス種以外は、従来の

50

エッチング方法のプロセス条件と同じである。ガス種は以下である。

<プロセス条件>

ガス種 塩素 ( $\text{Cl}_2$ ) 150 sccm、三フッ化窒素 ( $\text{NF}_3$ ) 10 sccm、水素 ( $\text{H}_2$ ) 40 sccm、四塩化ケイ素 ( $\text{SiCl}_4$ ) 5 sccm、酸素 ( $\text{O}_2$ ) 10 sccm  
 処理ガスのうち、三フッ化窒素ガスはフッ素含有ガスの一例であり、フッ素含有ガスは、これに限らず四フッ化炭素 ( $\text{CF}_4$ ) ガスであってもよい。また、水素ガスは水素含有ガスの一例であり、水素含有ガスはこれに限らず臭化水素 ( $\text{HBr}$ ) ガスであってもよい。また、四塩化ケイ素ガスはシリコン含有ガスの一例であり、シリコン含有ガスはこれに限らず四フッ化シリコン ( $\text{SiF}_4$ ) ガスであってもよい。また、酸素は、酸素含有ガスの一例であり酸素含有ガスは、これに限らず二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) ガスや硫化カルボニル ( $\text{COS}$ ) ガスであってもよい。

10

【0045】

なお、シリコン含有ガス及び酸素含有ガスは処理ガスに含まなくてもよい。例えば、処理ガスは、塩素ガスとフッ素含有ガスと水素含有ガスとの混合ガス又はこれらのガスを含むガスであってもよい。また、処理ガスは、塩素ガスとフッ素含有ガスと水素含有ガスとシリコン含有ガスと酸素含有ガスとの混合ガス又はこれらのガスを含むガスであってもよい。

【0046】

本実施形態に係るエッチング方法においても、上記プロセス条件下でボロン含有膜 110 をエッチングする工程の前に、三フッ化窒素 ( $\text{NF}_3$ ) ガスと酸素 ( $\text{O}_2$ ) ガスの混合ガスをチャンバ 10 内に供給して、自然酸化膜を除去する工程を実行してもよい。

20

【0047】

( $\text{NF}_3$  /  $\text{H}_2$  の添加とその効果)

図 3 (b) の一実施形態に係るエッチング方法の結果では、図 3 (a) の従来のエッチング方法の結果と比較して、マスク 120 に付着する反応副生物 130 を薄くすることができた。その理由は、三フッ化窒素ガス及び水素ガスの添加によりマスク 120 に付着した反応副生物 130 が三フッ化窒素ガス及び水素ガスと反応してエッチングされたか、又はマスク 120 に付着する前に三フッ化窒素ガス及び水素ガスと反応して除去されたためである。その結果、図 3 (b) に示すように、ボロン含有膜 110 に形成されたホール H の TOP CD (本実施形態のエッチング方法で形成されたホール H の TOP CD を「TOP CD 2」と表記する。)を、TOP CD 1 と比べて広く制御できた。なお、本実施形態のエッチング方法で形成されたホール H の底部の CD である BTM CD を「BTM CD 2」と表記する。

30

【0048】

これにより、本実施形態のエッチング方法では、TOP CD 2 > TOP CD 1 に制御でき、これによってホール H の間口を広くできた。このように TOP CD 2 を狭くしないように制御できたため、塩素ガスによるボロン含有膜 110 のエッチングにおいて、ホール H に入射するイオンの直進性を確保でき、ホール H の底部の BTM CD 2 を広げ易くなった。この結果、BTM CD 2 > BTM CD 1 に制御することができ、ボロン含有膜 110 に形成されたホール H のエッチング形状をより垂直にすることができた。

40

【0049】

また、エッチング中、処理ガスに含まれる水素ガスの水素 (H) が、ボロン含有膜 110 をエッチングしたときに生成される  $\text{BCl}_x\text{O}_y$  の反応副生物 130 のうちのボロン (B) と反応し、BH ラジカル等の化合物となって排出されると考えられる。このため、マスク 120 の側面やボロン含有膜 110 のホール H の側面に反応副生物 130 をより付着し難くすることができた。これによっても、ホール H の BTM CD 2 が、処理ガスに水素ガスを含まない従来のエッチング方法により形成されたホール H の BTM CD 1 よりも広がり易くなったと考えられる。

【0050】

なお、副次的な効果として、フッ素のラジカル (F ラジカル) のスカベンジにより三フ

50



ッ化窒素ガスの制御性を向上させることができた。すなわち、三フッ化窒素ガスのみを塩素ガスに添加すると、酸化シリコン膜のマスク120がエッチングされ、マスク120の形状が崩れる課題を解消することが困難になる。これに対して、本実施形態に係るエッチング方法では、三フッ化窒素ガスとともに水素ガスを添加する。これにより、フッ素(F)が水素(H)と反応してフッ化水素(HF)となることによってFが消費される。この結果、三フッ化窒素ガスの流量を制御することで、マスク120の側面に付着した反応副生物130の量を容易に制御できるようになった。

#### 【0051】

マスク120の側面に付着した反応副生物130を完全に除去するとマスク120の保護膜が形成されず、マスク120の形状が崩れることが生じ得る。これに対して、本実施形態に係るエッチング方法では、マスク120の側面に付着した反応副生物130の量(厚さ)を制御できた。つまり、ボロン含有膜110のTOP CD2を制御することができた。これにより、BTM CD2を制御でき、ホールHの形状の垂直性を高めることができた。

#### 【0052】

(SiCl<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>の添加とその効果)

次に、処理ガスに更に四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスを含めた場合の作用及び効果について、図4を参照しながら説明する。図4(a)は、一実施形態に係るエッチング方法において、三フッ化窒素ガス及び水素ガスを添加し、四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスを添加しなかった場合のエッチングの一例を示す。図4(b)は、一実施形態に係るエッチング方法において、三フッ化窒素ガス、水素ガス、四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスを添加した場合のエッチングの一例を示す。

#### 【0053】

図4(a)に示すように、塩素ガスに三フッ化窒素ガス及び水素ガスを添加し、四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスを添加しない場合、マスク120の選択比が不十分になる場合があった。これに対して、図4(b)に示すように、塩素ガスに三フッ化窒素ガス、水素ガス、四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスを添加した場合、マスク120の選択比を向上させることができる。

#### 【0054】

その理由としては、塩素ガスに更に四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスを添加することで、ボロン含有膜110に対してマスク120に選択的にSiCl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>の反応副生物130が付着し易くなったためである。その結果、マスク120の上面にSiCl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>の反応副生物130を付着させることができた。これと同時に、マスク120の側面には、フッ素(F)が水素(H)と反応してフッ化水素(HF)となることによってFが消費され、これによりマスク120の側面に付着する反応副生物130の量(厚さ)を制御できた。つまり、本実施形態に係るエッチング方法では、四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスを添加することで、マスク120への反応副生物130の堆積とボロン含有膜110のエッチングとのバランスを精度良く制御できた。これにより、ホールHの垂直性を向上させながら、マスク120の選択比を向上させることができる。

#### 【0055】

更に、反応副生物130の生成に関与しなかった酸素ガスは、ボロン含有膜110を酸化させるか、若しくは、BCl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>及びSiCl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>の反応副生物130の生成に使用され、ボロン含有膜110の側壁への保護膜の形成に寄与する。そのため、ボロン含有膜110の横方向へのエッチングが反応副生物130の保護膜により抑制され、これにより、ホールHのエッチング形状をより垂直にすることができる。

#### 【0056】

なお、本実施形態に係るエッチング方法において処理ガスを供給するとき、三フッ化窒素ガス及び水素ガスと、四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスとの両方を同時に供給してもよい。または、三フッ化窒素ガス及び水素ガスと、四塩化ケイ素ガス及び酸素ガスとの一方のガスを先に供給し、他方のガスを後から供給してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

[ エッチング方法のシーケンス ]

次に、一実施形態に係るエッチング方法のシーケンスについて、図5を参照して説明する。図5は、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である。本実施形態に係るエッチング方法は、制御部80により制御され、基板処理装置1において実行される。

【 0 0 5 8 】

本処理が開始されると、下地膜100の上にボロン含有膜110が形成され、その上に酸化シリコン膜のマスク120が形成された基板をチャンバ10内に搬入し、載置台14に載置して準備する(ステップS1)。

10

【 0 0 5 9 】

次に、チャンバ10内に塩素ガス、フッ素含有ガス、水素含有ガス、シリコン含有ガス、酸素含有ガスを含む処理ガスを供給する(ステップS2)。次に、載置台14にLF電力、HF電力をこの順にそれぞれのDuty比で印加する(ステップS3)。これにより、生成された処理ガスのプラズマによって、ボロン含有膜110がエッチングされ(ステップS4)、本処理は終了する。なお、ステップS2の前に自然酸化膜を除去する工程を実行してもよい。

【 0 0 6 0 】

以上に説明したように、本実施形態にかかるエッチング方法は、ボロン膜又はボロン含有膜が形成された基板を準備する工程と、塩素ガスとフッ素含有ガスと水素含有ガスとを含む処理ガスを供給する工程と、前記処理ガスのプラズマによりマスクを介して前記ボロン膜又はボロン含有膜をエッチングする工程とを有する。かかるエッチング方法により、ボロン膜又はボロン含有膜のエッチングの垂直性を高めることができる。

20

【 0 0 6 1 】

前記処理ガスを供給する工程は、塩素ガスとフッ素含有ガスと水素含有ガスとシリコン含有ガスと酸素含有ガスとを含んでもよい。これにより、マスクの選択比を向上させることができる。

【 0 0 6 2 】

本実施形態にかかるエッチング方法によるエッチング後のボロン膜又はボロン含有膜は、例えば、下地膜100のマスクとして機能することができるが、エッチング後のボロン膜又はボロン含有膜の機能は、これに限らない。

30

【 0 0 6 3 】

今回開示された一実施形態に係るエッチング方法及び基板処理装置は、すべての点において例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で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、矛盾しない範囲で他の構成も取り得ることができ、また、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。

【 0 0 6 4 】

本開示の基板処理装置は、Atomic Layer Deposition(ALD)装置、Capacitively Coupled Plasma(CCP)、Inductively Coupled Plasma(ICP)、Radial Line Slot Antenna(RLSA)、Electron Cyclotron Resonance Plasma(ECR)、Helicon Wave Plasma(HWP)のいずれのタイプの装置でも適用可能である。

40

【 0 0 6 5 】

また、基板処理装置の一例としてプラズマ処理装置を挙げて説明したが、基板処理装置は、基板にエッチングを施す装置であればよく、プラズマ処理装置に限定されるものではない。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 6 】

- 1            基板処理装置
- 10          チャンバ

50

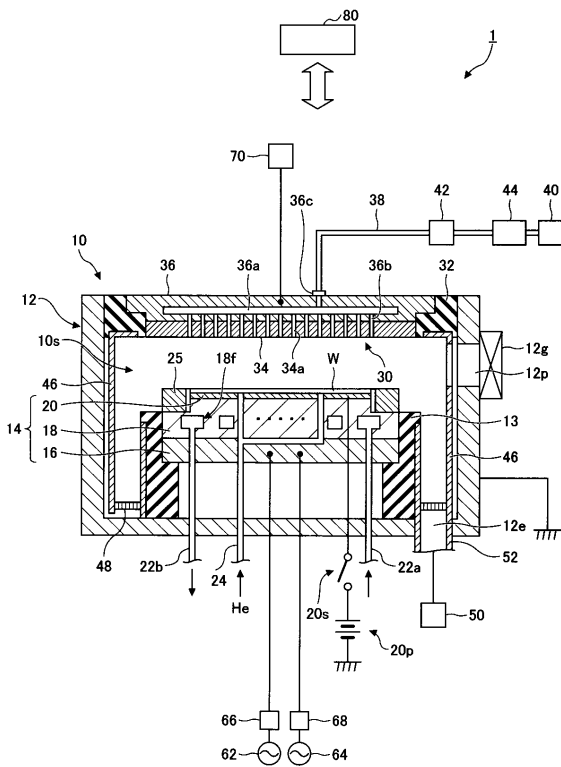
- 1 4 載置台
- 1 6 電極プレート
- 1 8 基台
- 2 0 静電チャック
- 3 0 上部電極
- 3 4 天板
- 3 6 支持体
- 3 8 ガス供給管
- 4 0 ガスソース群
- 4 2 バルブ群
- 4 4 流量制御器群
- 4 6 シールド
- 4 8 バッフルプレート
- 7 0 電源
- 8 0 制御部
- 1 0 0 下地膜
- 1 1 0 ボロン含有膜
- 1 2 0 マスク
- 1 3 0 反応副生物
- W 基板

10

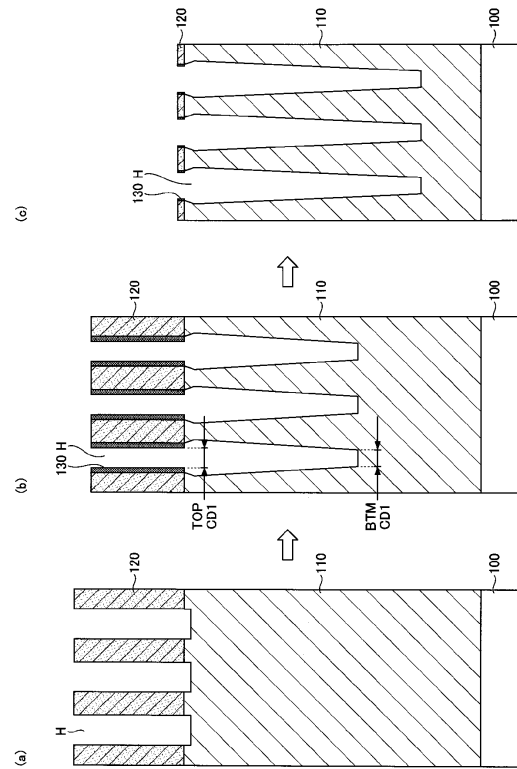
20

【図面】

【図 1】



【図 2】

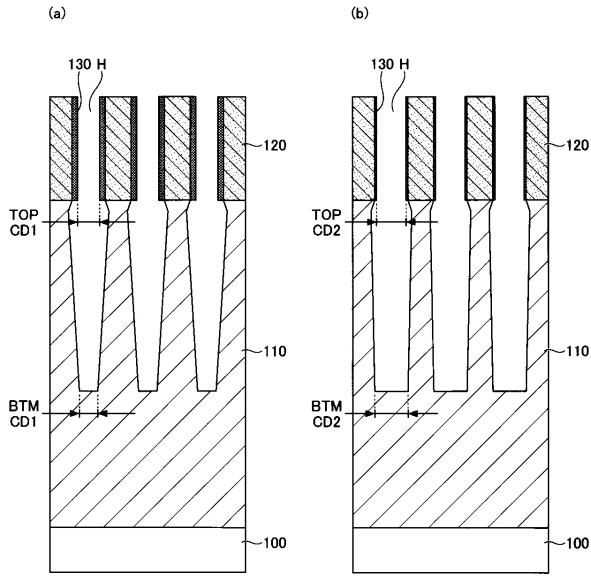


30

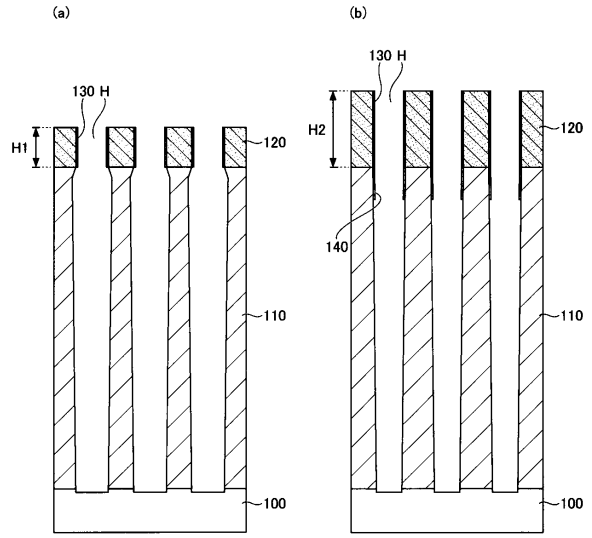
40

50

【図3】



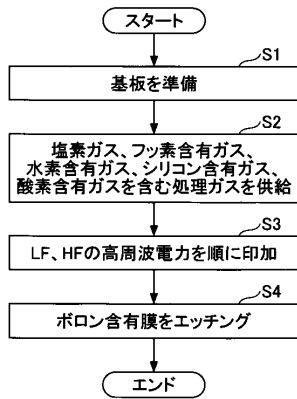
【図4】



10

20

【図5】



30

40

50

---

フロントページの続き

東京エレクトロン宮城株式会社内

審査官 宇多川 勉

- (56)参考文献 特開 2018 - 160689 (JP, A)  
特開 2014 - 229751 (JP, A)  
米国特許出願公開第 2016 / 0005602 (US, A1)  
米国特許出願公開第 2013 / 0048606 (US, A1)  
米国特許出願公開第 2002 / 0072016 (US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01L 21 / 3065  
H01L 21 / 302  
H01L 21 / 461  
H05H 1 / 00 - 1 / 54