

明 細 書

発明の名称：エッチング方法

技術分野

[0001] 本開示の例示的实施形態は、エッチング方法に関する。

背景技術

[0002] シリコン含有膜をエッチングする技術として、特許文献1及び特許文献2に記載されたエッチング方法がある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許出願公開第2016/0343580号明細書

特許文献2：特開2016-39310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、シリコン含有膜を有する多層膜及び単層膜を同時にエッチングするエッチング方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一つの例示的实施形態において、エッチング方法が提供される。前記エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングするエッチング工程とを含み、前記エッチング工程において、前記多層膜及び前記単層膜は、フッ化水素ガス、リン含有ガス及び炭素含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによって同時にエッチングされ、前記多層膜に第1の幅を有する第1の凹部が形成され、前記単層膜に前記第1の幅よりも広い第2の幅を有する第2の凹部が形成される。

[0006] 本開示の一つの例示的实施形態において、エッチング方法が提供される。前記エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングするエッチング工程とを含み、前記エッチング工程において、前記多層膜及び前記単層膜は、フッ化水素ガス、リン含有ガス及び炭素含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、前記多層膜に第1の凹部が形成され、前記単層膜に第2の凹部が形成される。

[0007] 本開示の一つの例示的实施形態において、エッチング方法が提供される。前記エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングするエッチング工程とを含み、前記エッチング工程において、前記多層膜及び前記単層膜は、リン含有ガス、フッ素含有ガス、ハイドロフルオロカーボンガス及びフッ素以外のハロゲン元素を含有するハロゲン含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、前記多層膜に第1の幅を有する第1の凹部が形成され、前記単層膜に前記第1の幅よりも広い第2の幅を有する第2の凹部が形成される。

[0008] 本開示の一つの例示的实施形態において、エッチング方法が提供される。前記エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングするエッチング工程とを含み、前記エッチング工程において、前記多層膜及び前記単層膜は、リン含有ガス、フッ素含有

ガス、ハイドロフルオロカーボンガス及びフッ素以外のハロゲン元素を含有するハロゲン含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、前記多層膜に第1の凹部が形成され、前記単層膜に第2の凹部が形成される。

[0009] 本開示の一つの例示的实施形態において、エッチング方法が提供される。前記エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングする第1のエッチング工程と、前記多層膜及び前記単層膜の少なくとも一方をエッチングする第2のエッチング工程とを含み、前記第1のエッチング工程において、前記多層膜及び前記単層膜は、フッ化水素ガス及びリン含有ガスを含む第1の処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、前記多層膜に第1の凹部が形成され、前記単層膜に第2の凹部が形成され、前記第2のエッチング工程において、前記多層膜及び前記単層膜は、フッ化水素ガス及びリン含有ガスを含む第2の処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、前記多層膜及び前記単層膜の少なくとも一方に第3の凹部が形成され、前記第1の処理ガスに含まれる前記リン含有ガスの流量は、前記第2の処理ガスに含まれる前記リン含有ガスの流量と異なる。

発明の効果

[0010] 本開示の一つの例示的实施形態によれば、シリコン含有膜を有する多層膜及び単層膜を同時にエッチングすることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

[図2]一つの例示的实施形態に係るエッチング方法のフローチャートである。

[図3]工程S T 1において準備される基板Wの一例を示す上面図である。

[図4]図3に示す基板WのA-A'断面の一部を示す図である。

[図5]工程S T 2においてエッチングされた基板Wの断面構造を示す図である。

。

[図6]P F₃の流量と多層膜M L及び単層膜S Lのエッチングレートとの関係を示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本開示の各実施形態について説明する。

[0013] 一つの例示的实施形態において、エッチング方法が提供される。

[0014] エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、基板は、第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、準備工程と、多層膜及び単層膜を同時にエッチングするエッチング工程とを含み、エッチング工程において、多層膜及び単層膜は、フッ化水素ガス、リン含有ガス及び炭素含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによって同時にエッチングされ、多層膜に第1の幅を有する第1の凹部が形成され、単層膜に第1の幅よりも広い第2の幅を有する第2の凹部が形成される。

[0015] エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、基板は、第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、準備工程と、多層膜及び単層膜を同時にエッチングするエッチング工程とを含み、エッチング工程において、多層膜及び単層膜は、フッ化水素ガス、リン含有ガス及び炭素含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、多層膜に第1の凹部が形成され、単層膜に第2の凹部が形成される。

[0016] エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、基板は、第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形

成された単層膜を有する、準備工程と、多層膜及び単層膜を同時にエッチングするエッチング工程とを含み、エッチング工程において、多層膜及び単層膜は、リン含有ガス、フッ素含有ガス、ハイドロフルオロカーボンガス及びフッ素以外のハロゲン元素を含有するハロゲン含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、多層膜に第1の幅を有する第1の凹部が形成され、単層膜に第1の幅よりも広い第2の幅を有する第2の凹部が形成される。

[0017] エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、基板は、第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、準備工程と、多層膜及び単層膜を同時にエッチングするエッチング工程とを含み、エッチング工程において、多層膜及び単層膜は、リン含有ガス、フッ素含有ガス、ハイドロフルオロカーボンガス及びフッ素以外のハロゲン元素を含有するハロゲン含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、多層膜に第1の凹部が形成され、単層膜に第2の凹部が形成される。

[0018] 一つの例示的实施形態において、基板は、多層膜及び単層膜上に設けられたマスク膜であって、マスク膜は、多層膜上に第1の開口を規定する第1の側壁、及び、単層膜上に第2の開口を規定する第2の側壁を有する、マスク膜を含み、エッチング工程において、第1の凹部は、第1の開口において多層膜をプラズマによってエッチングして形成され、第2の凹部は、第2の開口において単層膜をプラズマによってエッチングして形成される。

[0019] 一つの例示的实施形態において、第1の凹部及び第2の凹部の一方は、ホールであり、第1の凹部及び第2の凹部の他方は、スリットである。

[0020] 一つの例示的实施形態において、2種類以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜及びシリコン窒化膜を含み、1種類のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜である。

[0021] 一つの例示的实施形態において、リン含有ガスは、ハロゲン化リンガスで

ある。

- [0022] 一つの例示的实施形態において、炭素含有ガスは、炭化水素ガス、フルオロカーボンガス、又はハイドロフルオロカーボンガスである。
- [0023] エッチング方法は、第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、基板は、第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、準備工程と、多層膜及び単層膜を同時にエッチングする第1のエッチング工程と、多層膜及び単層膜の一方をエッチングする第2のエッチング工程とを含み、第1のエッチング工程において、多層膜及び単層膜は、フッ化水素ガス及びリン含有ガスを含む第1の処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、多層膜に第1の凹部が形成され、単層膜に第2の凹部が形成され、第2のエッチング工程において、多層膜及び単層膜は、フッ化水素ガス及びリン含有ガスを含む第2の処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、多層膜及び単層膜の一方に第3の凹部が形成され、第1の処理ガスに含まれるリン含有ガスの流量は、第2の処理ガスに含まれるリン含有ガスの流量と異なる。
- [0024] 一つの例示的实施形態において、第1のエッチング工程が実行された後に、第2のエッチング工程が実行される。
- [0025] 一つの例示的实施形態において、第2のエッチング工程が実行された後に、第1のエッチング工程が実行される。
- [0026] 一つの例示的实施形態において、第1のエッチング工程では、複数のメモリセルが形成される複数のメモリホールが、第1の凹部として、多層膜に形成され、複数のコンタクトが形成される複数のコンタクトホールが、第2の凹部として、単層膜に形成され、第2のエッチング工程では、第1の領域から第2の領域に亘るスリットが、第3の凹部として、多層膜及び単層膜に形成される。
- [0027] 一つの例示的实施形態において、第1のエッチング工程では、複数のメモリセルが形成される複数のメモリホールが、第1の凹部として、多層膜に形

成され、第1の領域から第2の領域に亘るスリットが、第1の凹部及びとして、多層膜及び単層膜に形成され、第2のエッチング工程では、複数のコンタクトが形成される複数のコンタクトホールが、第2の凹部として、単層膜に形成される。

[0028] 一つの例示的实施形態において、第1のエッチング工程では、複数のコンタクトが形成される複数のコンタクトホールが、第2の凹部として、単層膜に形成され、第1の領域から第2の領域に亘るスリットが、第1の凹部及び第2の凹部として、多層膜及び単層膜に形成され、第2のエッチング工程では、複数のメモリセルが形成される複数のメモリホールが、第1の凹部として、多層膜に形成される。

[0029] 一つの例示的实施形態において、第1のエッチング工程では、第1の領域から第2の領域に亘るスリットが、第1の凹部及び第2の凹部として、多層膜及び単層膜に形成され、第2のエッチング工程では、複数のメモリセルが形成される複数のメモリホールが、第1の凹部として、多層膜に形成され、複数のコンタクトが形成される複数のコンタクトホールが、第2の凹部として、単層膜に形成される。

[0030] 以下、図面を参照して、本開示の各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または同様の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。特に断らない限り、図面に示す位置関係に基づいて上下左右等の位置関係を説明する。図面の寸法比率は実際の比率を示すものではなく、また、実際の比率は図示の比率に限られるものではない。

[0031] 図1は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図1に示すプラズマ処理装置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。耐腐食性を有する膜は、酸化アルミニウム、酸化イットリウムなどのセラミックから形成され得る。

- [0032] チャンバ本体 12 の側壁には、通路 12 p が形成されている。基板 W は、通路 12 p を通して内部空間 10 s とチャンバ 10 の外部との間で搬送される。通路 12 p は、ゲートバルブ 12 g により開閉される。ゲートバルブ 12 g は、チャンバ本体 12 の側壁に沿って設けられる。
- [0033] 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 10 s 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、基板支持器 14 を支持している。基板支持器 14 は、内部空間 10 s の中で基板 W を支持するように構成されている。
- [0034] 基板支持器 14 は、下部電極 18 及び静電チャック 20 を有する。基板支持器 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ており、略円盤形状を有する。下部電極 18 は、電極プレート 16 上に設けられている。下部電極 18 は、アルミニウムなどの導体から形成されており、略円盤形状を有する。下部電極 18 は、電極プレート 16 に電氣的に接続されている。
- [0035] 静電チャック 20 は、下部電極 18 上に設けられている。基板 W は、静電チャック 20 の上面の上に載置される。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 20 s を介して直流電源 20 p に接続されている。静電チャック 20 の電極に直流電源 20 p 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。基板 W は、その静電引力によって静電チャック 20 に引き付けられて、静電チャック 20 によって保持される。
- [0036] 基板支持器 14 上には、エッジリング 25 が配置される。エッジリング 25 は、リング状の部材である。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。基板 W は、静電チャック 20 上、且つ、エッジリング 25 によって囲まれた領域内に配置される。

- [0037] 下部電極 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から配管 22 a を介して熱交換媒体（例えば冷媒）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。プラズマ処理装置 1 では、静電チャック 20 上に載置された基板 W の温度が、熱交換媒体と下部電極 18 との熱交換により、調整される。
- [0038] プラズマ処理装置 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 の裏面との間の間隙に供給する。
- [0039] プラズマ処理装置 1 は、上部電極 30 を更に備える。上部電極 30 は、基板支持器 14 の上方に設けられている。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。
- [0040] 上部電極 30 は、天板 34 及び支持体 36 を含む得る。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。
- [0041] 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。
- [0042] ガス供給管 38 には、流量制御器群 41 及びバルブ群 42 を介して、ガスソース群 40 が接続されている。流量制御器群 41 及びバルブ群 42 は、ガ

ス供給部を構成している。ガス供給部は、ガスソース群40を更に含んでいてもよい。ガスソース群40は、複数のガスソースを含む。複数のガスソースは、本エッチング方法で用いられる処理ガスのソースを含む。流量制御器群41は、複数の流量制御器を含む。流量制御器群41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。バルブ群42は、複数の開閉バルブを含む。ガスソース群40の複数のガスソースの各々は、流量制御器群41の対応の流量制御器及びバルブ群42の対応の開閉バルブを介して、ガス供給管38に接続されている。

[0043] プラズマ処理装置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。

[0044] 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部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12eが設けられている。排気口12e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、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。

[0045] プラズマ処理装置1には、高周波電源62及びバイアス電源64が結合されている。高周波電源62は、高周波電力HFを発生する電源である。高周波電力HFは、プラズマの生成に適した第1の周波数を有する。第1の周波数は、例えば27MHz～100MHzの範囲内の周波数である。高周波電源62は、整合器66及び電極プレート16を介して下部電極18に接続されている。整合器66は、高周波電源62の負荷側（下部電極18側）のイ

ンピーダンスを高周波電源62の出力インピーダンスに整合させるための回路を有する。なお、高周波電源62は、整合器66を介して、上部電極30に接続されていてもよい。高周波電源62は、一例のプラズマ生成部を構成している。

[0046] バイアス電源64は、電気バイアスを発生する電源である。バイアス電源64は、下部電極18に電氣的に接続されている。電気バイアスは、第2の周波数を有する。第2の周波数は、第1の周波数よりも低い。第2の周波数は、例えば400kHz〜13.56MHzの範囲内の周波数である。電気バイアスは、高周波電力HFと共に用いられる場合には、基板Wにイオンを引き込むために基板支持器14に与えられる。一例では、電気バイアスは、下部電極18に与えられる。電気バイアスが下部電極18に与えられると、基板支持器14上に載置された基板Wの電位は、第2の周波数で規定される周期内で変動する。なお、電気バイアスは、静電チャック20内に設けられたバイアス電極に与えられてもよい。

[0047] 一実施形態において、電気バイアスは、第2の周波数を有する高周波電力LFであってもよい。高周波電力LFは、高周波電力HFと共に用いられる場合には、基板Wにイオンを引き込むための高周波バイアス電力として用いられる。高周波電力LFを発生するように構成されたバイアス電源64は、整合器68及び電極プレート16を介して下部電極18に接続される。整合器68は、バイアス電源64の負荷側（下部電極18側）のインピーダンスをバイアス電源64の出力インピーダンスに整合させるための回路を有する。

[0048] なお、高周波電力HFを用いずに、高周波電力LF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、高周波電力LFの周波数は、13.56MHzよりも大きな周波数、例えば40MHzであってもよい。また、この場合には、プラズマ処理装置1は、高周波電源62及び整合器66を備えなくてもよい。この場合には、バイアス電源64は一例のプラズマ生成部を構成する。

- [0049] 別の実施形態において、電気バイアスは、パルス状の電圧（パルス電圧）であってもよい。この場合、バイアス電源は、直流電源であってもよい。バイアス電源は、電源自体がパルス電圧を供給するように構成されていてよく、バイアス電源の下流側に電圧をパルス化するデバイスを備えるように構成されてもよい。一例では、パルス電圧は、基板Wに負の電位が生じるように下部電極18に与えられる。パルス電圧は、矩形波であってもよく、三角波であってもよく、インパルスであってもよく、又はその他の波形を有していてもよい。
- [0050] パルス電圧の周期は、第2の周波数で規定される。パルス電圧の周期は、二つの期間を含む。二つの期間のうち一方の期間におけるパルス電圧は、負極性の電圧である。二つの期間のうち一方の期間における電圧のレベル（即ち、絶対値）は、二つの期間のうち他方の期間における電圧のレベル（即ち、絶対値）よりも高い。他方の期間における電圧は、負極性、正極性の何れであってもよい。他方の期間における負極性の電圧のレベルは、ゼロよりも大きくてもよく、ゼロであってもよい。この実施形態において、バイアス電源64は、ローパスフィルタ及び電極プレート16を介して下部電極18に接続される。なお、バイアス電源64は、下部電極18に代えて、静電チャック20内に設けられたバイアス電極に接続されてもよい。
- [0051] 一実施形態において、バイアス電源64は、電気バイアスの連続波を下部電極18に与えてもよい。即ち、バイアス電源64は、電気バイアスを連続的に下部電極18に与えてもよい。
- [0052] 別の実施形態において、バイアス電源64は、電気バイアスのパルス波を下部電極18に与えてもよい。電気バイアスのパルス波は、周期的に下部電極18に与えられ得る。電気バイアスのパルス波の周期は、第3の周波数で規定される。第3の周波数は、第2の周波数よりも低い。第3の周波数は、例えば1 Hz以上、200 kHz以下である。他の例では、第3の周波数は、5 Hz以上、100 kHz以下であってもよい。
- [0053] 電気バイアスのパルス波の周期は、二つの期間、即ちH期間及びL期間を

含む。H期間における電気バイアスのレベル（即ち、電気バイアスのパルスのレベル）は、L期間における電気バイアスのレベルよりも高い。即ち、電気バイアスのレベルが増減されることにより、電気バイアスのパルス波が下部電極18に与えられてもよい。L期間における電気バイアスのレベルは、ゼロよりも大きくてもよい。或いは、L期間における電気バイアスのレベルは、ゼロであってもよい。即ち、電気バイアスのパルス波は、電気バイアスの下部電極18への供給と供給停止とを交互に切り替えることにより、下部電極18に与えられてもよい。ここで、電気バイアスが高周波電力LFである場合には、電気バイアスのレベルは、高周波電力LFの電力レベルである。電気バイアスが高周波電力LFである場合には、電気バイアスのパルスにおける高周波電力LFのレベルは、2 kW以上であってもよい。電気バイアスが負極性の直流電圧のパルス波である場合には、電気バイアスのレベルは、負極性の直流電圧の絶対値の実効値である。電気バイアスのパルス波のデューティ比、即ち、電気バイアスのパルス波の周期においてH期間が占める割合は、例えば1%以上、80%以下である。別の例では、電気バイアスのパルス波のデューティ比は5%以上50%以下であってもよい。或いは、電気バイアスのパルス波のデューティ比は、50%以上、99%以下であってもよい。

[0054] 一実施形態において、高周波電源62は、高周波電力HFの連続波を供給してもよい。即ち、高周波電源62は、高周波電力HFを連続的に供給してもよい。

[0055] 別の実施形態において、高周波電源62は、高周波電力HFのパルス波を供給してもよい。高周波電力HFのパルス波は、周期的に供給され得る。高周波電力HFのパルス波の周期は、第4の周波数で規定される。第4の周波数は、第2の周波数よりも低い。一実施形態において、第4の周波数は、第3の周波数と同じである。高周波電力HFのパルス波の周期は、二つの期間、即ちH期間及びL期間を含む。H期間における高周波電力HFの電力レベルは、二つの期間のうちL期間における高周波電力HFの電力レベルよりも

高い。L 期間における高周波電力 H F の電力レベルは、ゼロよりも大きくてもよく、ゼロであってもよい。

[0056] なお、高周波電力 H F のパルス波の周期は、電気バイアスのパルス波の周期と同期していてもよい。高周波電力 H F のパルス波の周期における H 期間は、電気バイアスのパルス波の周期における H 期間と同期していてもよい。或いは、高周波電力 H F のパルス波の周期における H 期間は、電気バイアスのパルス波の周期における H 期間と同期していなくてもよい。高周波電力 H F のパルス波の周期における H 期間の時間長は、電気バイアスのパルス波の周期における H 期間の時間長と同一であってもよく、異なってもよい。

[0057] プラズマ処理装置 1 においてプラズマ処理が行われる場合には、ガスがガス供給部から内部空間 10 s に供給される。また、高周波電力 H F 及び／又は電気バイアスが供給されることにより、上部電極 30 と下部電極 18 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内部空間 10 s の中のガスからプラズマを生成する。

[0058] プラズマ処理装置 1 は、制御部 80 を更に備え得る。制御部 80 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 80 は、プラズマ処理装置 1 の各部を制御する。制御部 80 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 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 80 では、表示装置により、プラズマ処理装置 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、プラズマ処理装置 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。プロセッサは、制御プログラムを実行し、レシピデータに従ってプラズマ処理装置 1 の各部を制御する。

[0059] なお、プラズマ処理空間において形成されるプラズマは、容量結合プラズマ (CCP ; C a p a c i t i v e l y C o u p l e d P l a s m a) の他に、誘導結合プラズマ (ICP ; I n d u c t i v e l y C o u p l e d

Plasma)、ECRプラズマ(Electron-Cyclotron-resonance plasma)、ヘリコン波励起プラズマ(HWP: Helicon Wave Plasma)、又は、表面波プラズマ(SWP: Surface Wave Plasma)等であってもよい。また、AC(Alternating Current)プラズマ生成部及びDC(Direct Current)プラズマ生成部を含む、種々のタイプのプラズマ生成部が用いられてもよい。一実施形態において、ACプラズマ生成部で用いられるAC信号(AC電力)は、100kHz~10GHzの範囲内の周波数を有する。従って、AC信号は、RF(Radio Frequency)信号及びマイクロ波信号を含む。一実施形態において、RF信号は、200kHz~150MHzの範囲内の周波数を有する。

[0060] 図2は、一つの例示的实施形態に係るエッチング方法(以下「本エッチング方法」という。)を示すフローチャートである。本エッチング方法は、基板を準備する準備工程(ST1)と、基板に設けられた多層膜及び単層膜をエッチングするエッチング工程(ST2)とを含む。また、本エッチング方法は、基板を準備する工程(ST3)並びに多層膜及び／又は単層膜をエッチングする工程(ST4)をさらに含んでよい。なお、本エッチング方法が工程ST3及び工程ST4を含む場合、工程ST3及び工程ST4が実行された後に、工程ST1及び工程ST2実行されてもよい。また、本エッチング方法は、例えば、図1に示すプラズマ処理装置1を用いて、基板に対して実行される。

[0061] 図3は、工程ST1において準備される基板Wの一例を示す上面図である。図4は、図3に示す基板WのAA'断面の一部を示す図である。基板Wは、DRAM、3D-NANDフラッシュメモリ等の半導体メモリデバイスを含む半導体デバイスの製造に用いられてよい。

[0062] 基板Wは、第1の領域RE1及び第2の領域RE2を有する。基板Wの平面視(図3の上面図)において、第1の領域RE1及び第2の領域RE2は、それぞれ基板W上で所定の範囲を有する領域である。第1の領域RE1及

び第2の領域RE2は、互いに隣接した2つの領域であってよく、また、互いに離れた2つの領域であってもよい。第1の領域RE1は、例えば、半導体メモリデバイスにおけるメモリセル領域であってよい。また、第2の領域RE2は、例えば、半導体メモリデバイスにおけるコンタクト領域や周辺回路領域であってよい。コンタクト領域は、一例では、1つ以上のメモリセルと周辺回路とを電氣的に接続するための1つ以上のコンタクトホールが設けられた領域である。

[0063] 基板Wは、第1の領域RE1から第2の領域RE2に亘って設けられた下地膜UFを有する。また、基板Wは、第1の領域RE1において、下地膜UF上に設けられた多層膜MLを有する。多層膜MLは、2種類以上のシリコン含有膜が積層された積層膜である。本実施形態において、多層膜MLは、シリコン窒化膜SF1及びシリコン酸化膜SF2が交互に繰り返して積層された積層膜である。

[0064] また、基板Wは、第2の領域RE2において、下地膜UF上に設けられた単層膜SLを有する。単層膜SLは、例えば、シリコン酸化膜やシリコン窒化膜等のシリコン含有膜からなる膜である。本実施形態において、単層膜SLは、シリコン酸化膜である。多層膜ML及び単層膜SLは、互いに同じ厚さを有してよく、また、異なる厚さを有してもよい。

[0065] 基板Wは、マスク膜MKをさらに有する。マスク膜MKは、多層膜ML及び単層膜SL上に設けられている。即ち、マスク膜MKは、第1の領域RE1から第2の領域RE2に亘って設けられている。マスク膜MKは、所定のパターンを有する。マスク膜MKには、第1の領域RE1において、1つ以上の開口OPMが設けられている（なお、第1の領域RE1に設けられた円形状の開口を開口OPM1、矩形形状のスリット（開口）を開口OPM2とも呼ぶ。）。本実施形態において、1つ以上の開口OPMのそれぞれは、マスク膜MKに形成された側壁により規定される開口である。また、マスク膜MKには、第2の領域RE2において、1つ以上の開口OPSが設けられている（なお、第2の領域RE2に設けられた円形状の開口を開口OPS1、

矩形形状のスリット（開口）を開口OPS2とも呼ぶ。）。本実施形態において、1つ以上の開口OPSは、マスク膜MKに形成された側壁により規定される開口である。

[0066] 開口OPM及び開口OPSは、一例では、多層膜ML及び／又は単層膜SLに、メモリセルが形成されるホール、コンタクトホール、ラインアンドスペース、スリット、トレンチ等を形成するための開口である。開口OPM及び開口OPSは、一例では、平面視において、円形状、楕円形状、線形状、矩形形状等の形状を有する。開口OPM及び開口OPSは、平面視において、同様の形状を有してよく、また、異なる形状を有してもよい。開口OPSは、開口OPMよりも広い幅（例えば、円形状の開口の径、楕円形状の開口の短径、線形状の開口の線幅、及び、矩形形状の開口短辺又は長辺の長さである。）を有してよい。また、開口OPM及び開口OPSは、一体に形成された開口であってもよい。一例として、開口OPM及び開口OPSは、第1の領域RE1から第2の領域RE2に亘って形成された1つのスリットの一部であってもよい。

[0067] 本実施形態では、図3に示すように、一例として、マスク膜MKの第1の領域RE1に、平面視において円形状を有する複数の開口OPM1が設けられている。また、マスク膜MKの第2の領域RE2に、平面視において円形状を有する複数の開口OPS1が設けられている。一例として、第1の領域RE1に設けられた開口OPM1の幅（径）は、第2の領域RE2に設けられた開口OPM1の幅（径）よりも小さい。開口OPM1の幅（径）は、開口OPS2の幅（径）よりも大きくてもよく、また、開口OPS2の幅（径）と同じであってもよい。

[0068] また、本実施形態では、図3に示すように、マスク膜MKの第1の領域RE1から第2の領域RE2に亘って、平面視においてスリット形状を有する開口が設けられている。当該開口は、マスク膜MKの第1の領域RE1に設けられた部分である開口OPM2と、第2の領域RE2に設けられた部分である開口OPS2とを有する。開口OPM2及び開口OPS2の幅は、開口

OPM1及び／又は開口OPS1の幅（径）よりも広くても狭くてもよく、また、開口OPM1及び／又は開口OPS1の幅（径）と同一であってもよい。また、開口OPM2の幅は、開口OPS2の幅と異なってもよい。また、図3におけるスリット形状を有する開口は、第1の領域RE1及び第2の領域RE2のいずれか一方のみに設けられてもよい。すなわち、当該開口は、開口OPM2及び開口OPS2のいずれか一方のみを有するスリットであってもよい。

[0069] マスク膜MKは、工程ST2における多層膜ML及び単層膜SLのエッチングレートよりも低いエッチングレートを有する材料から形成される。マスク膜MKは、有機材料から形成されてよい。マスク膜MKは、例えば、アモルファスカーボン膜、フォトレジスト膜、又はSOC膜（スピンオンカーボン膜）であってよい。マスク膜MKは、窒化チタン、タングステン、炭化タングステンのような金属含有材料から形成された金属含有マスクであってもよい。

[0070] 以下、各図を参照しつつ、プラズマ処理装置1において図2に示す本エッチング方法が基板Wに対して実行される例を説明する。本例では、制御部80がプラズマ処理装置1の各部を制御することにより、プラズマ処理装置1において本エッチング方法が実行される。

[0071] （工程ST1：基板Wの準備）

工程ST1において、基板Wがチャンバ10の内部空間10s内に準備される。図3及び図4に示す基板Wの各構成を形成するプロセスの少なくとも一部は、内部空間10s内で行われてよい。また、基板Wの各構成の全部又は一部がプラズマ処理装置1の外部の装置又はチャンバで形成された後、基板Wが内部空間10s内に搬入され、静電チャック20上に載置されてもよい。

[0072] （工程ST2：多層膜ML及び単層膜SLのエッチング）

次に、工程ST2において、多層膜ML及び単層膜SLがエッチングされる。工程ST2は、第1のエッチング工程の一例である。まず、チャンバ1

0 内に、プラズマを生成するための処理ガスが供給される。処理ガスは、H F 種を生成するガス種を含む。H F 種を生成するガス種は、一例では、H F ガス（フッ化水素ガス）を含み得る。H F 種を生成するガス種は、別の例では、 H_2 及び C_xF_y （ x 及び y は自然数）、 H_2 及び $C_sH_tF_u$ 、 $C_sH_tF_u$ （ s 、 t 及び u は自然数）単独でもよい。また、処理ガスは、H F 種を生成するガスの他に、フッ素その他のハロゲン元素を含むガスを含んでもよい。処理ガスは、少なくとも一つのハロゲン含有分子を含み得る。処理ガスは、少なくとも一つのハロゲン含有分子として、フルオロカーボン又はハイドロフルオロカーボンの少なくとも一つを含み得る。フルオロカーボンは、例えば CF_4 、 C_3F_8 、 C_4F_6 、又は C_4F_8 の少なくとも一つである。ハイドロフルオロカーボンは、例えば CH_2F_2 、 CHF_3 、又は CH_3F の少なくとも一つである。ハイドロフルオロカーボンは、二つ以上の炭素を含んでもよい。また、ハイドロフルオロカーボンは、三つの炭素、又は四つの炭素を含んでもよい。ハイドロフルオロカーボンは、例えば、 C_2HF_5 、 $C_2H_2F_4$ 、 $C_2H_3F_3$ 、 $C_2H_4F_2$ 、 C_3HF_7 、 $C_3H_2F_2$ 、 $C_3H_2F_6$ 、 $C_3H_2F_4$ 、 $C_3H_3F_5$ 、 $C_4H_5F_5$ 、 $C_4H_2F_6$ 、 $C_5H_2F_{10}$ 及び $c-C_5H_3F_7$ からなる群から選択される少なくとも1種であってよい。一例では、炭素含有ガスは、 C_4F_8 、 $C_3H_2F_4$ 及び $C_4H_2F_6$ からなる群から選択される少なくとも1種である。また、ハロゲン含有分子は、炭素を含有しなくてもよい。ハロゲン含有分子は、例えば、三フッ化窒素ガス（ NF_3 ガス）又は六フッ化硫黄ガス（ SF_6 ガス）である。また、処理ガスは、フッ素以外のハロゲン元素を含有するハロゲン含有ガスを更に含んでもよい。ハロゲン含有ガスは、例えば、 Cl_2 、 SiH_2Cl_2 、 $SiCl_4$ 、 Si_2Cl_6 、 $CHCl_3$ 、 CCl_4 及び BCl_3 からなる群から選択される少なくとも一種である。ハロゲン含有ガスは、例えば、 HBr 、 NF_3 であってもよい。H F ガスを用いる場合には炭素含有ガスを含むのが良い。炭素含有ガスはマスク上に炭素含有デポを形成して、マスクをエッチングから保護できる。

[0073] 工程S T 2において用いられる処理ガスは、少なくとも一つのリン含有分

子を更に含み得る。リン含有分子は、十酸化四リン (P_4O_{10})、八酸化四リン (P_4O_8)、六酸化四リン (P_4O_6) 等の酸化物であってもよい。十酸化四リンは、五酸化二リン (P_2O_5) と呼ばれることがある。リン含有分子は、三フッ化リン (PF_3)、五フッ化リン (PF_5)、三塩化リン (PCl_3)、五塩化リン (PCl_5)、三臭化リン (PBr_3)、五臭化リン (PBr_5)、ヨウ化リン (PI_3) のようなハロゲン化物 (ハロゲン化リン) であってもよい。即ち、リンを含む分子は、フッ化リン等、ハロゲン元素としてフッ素を含んでもよい。或いは、リンを含む分子は、ハロゲン元素としてフッ素以外のハロゲン元素を含んでもよい。リン含有分子は、フッ化ホスホリル (POF_3)、塩化ホスホリル ($POCl_3$)、臭化ホスホリル ($POBr_3$) のようなハロゲン化ホスホリルであってもよい。リン含有分子は、ホスフィン (PH_3)、リン化カルシウム (Ca_3P_2 等)、リン酸 (H_3PO_4)、リン酸ナトリウム (Na_3PO_4)、ヘキサフルオロリン酸 (HPF_6) 等であってもよい。リン含有分子は、フルオロホスフィン類 (H_xPF_y) であってもよい。ここで、 x と y の和は、3 又は 5 である。フルオロホスフィン類としては、 HPF_2 、 H_2PF_3 が例示される。処理ガスは、少なくとも一つのリン含有分子として、上記のリン含有分子のうち一つ以上のリン含有分子を含み得る。例えば、処理ガスは、少なくとも一つのリン含有分子として、 PF_3 、 PCl_3 、 PF_5 、 PCl_5 、 $POCl_3$ 、 PH_3 、 PBr_3 、又は PBr_5 の少なくとも一つを含み得る。なお、処理ガスに含まれる各リン含有分子が液体又は固体である場合、各リン含有分子は、加熱等によって気化されてチャンバ 10 内に供給され得る。

[0074] 工程 ST2 において用いられる処理ガスは、炭素及び水素を更に含んでもよい。処理ガスは、水素を含む分子として、 H_2 、炭化水素 (C_xH_y)、ハイドロフルオロカーボン ($C_xH_yF_z$)、又は NH_3 の少なくとも一つを含んでもよい。炭化水素は、例えば CH_4 又は C_3H_6 である。ここで、 x 及び y の各々は自然数である。処理ガスは、炭素を含む分子として、フルオロカーボン又は炭化水素 (例えば CH_4) を含んでもよい。処理ガスは、酸素を更に含んでもよい。処理ガスは、例えば O_2 を含んでもよい。或いは、処理ガ

スは、酸素を含んでいなくてもよい。

[0075] 工程ST2において用いられる処理ガスは、リン含有ガス、フッ素含有ガス、並びに、フッ化水素、水素 (H_2)、アンモニア、及び炭化水素からなる群から選択される少なくとも一つを含有する水素含有ガスを含んでよい。フッ素含有ガスは、フルオロカーボン及び／又はハイドロフルオロカーボンであってよい。また、処理ガスは、リン含有ガス、フッ素含有ガス、ハイドロフルオロカーボンガス、及びフッ素以外のハロゲン元素を含有するハロゲン含有ガスであってもよい。フッ素含有ガスは、例えば三フッ化窒素ガス (NF_3 ガス) 又は六フッ化硫黄ガス (SF_6 ガス) である。

[0076] 工程ST2において、チャンバ10内のガスの圧力が指定された圧力に設定される。工程ST2では、チャンバ10内のガスの圧力は、10mTorr (1.3Pa) 以上、100mTorr (13.3Pa) 以下の圧力に設定され得る。また、工程ST2では、チャンバ10内で処理ガスからプラズマを生成するために、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。第1の高周波電力のレベルは、2kW以上、10kW以下のレベルに設定され得る。第2の高周波電力のレベルは、2kW (基板Wの単位面積当りの電力のレベルでは2.83W/cm²) 以上のレベルに設定され得る。第2の高周波電力のレベルは、10kW (基板Wの単位面積当りの電力のレベルでは14.2W/cm²) 以上のレベルに設定されてもよい。

[0077] 一実施形態において、工程ST2の開始時の基板Wの温度は、20℃以下の温度、例えば0℃以下、一例では−40℃又は−70℃に設定されてもよい。工程ST2の開始時の基板Wの温度を設定するために、制御部80はチラーユニットおよび静電チャックと基板裏面との間の伝熱ガス (例えばHe) の圧力を制御し得る。

[0078] 工程ST2では、処理ガスから形成されたプラズマからの化学種により、多層膜ML及び単層膜SLが同時にエッチングされる (図5参照)。具体的には、多層膜MLのうち開口OPMにおいて露出されている部分がエッチングされ、マスク膜MKの開口OPMの形状に基づいて、マスク膜MKから連

続して多層膜MLに凹部RCMが形成される。また、単層膜SLのうち開口OPSにおいて露出されている部分がエッチングされ、マスク膜MKの開口OPSの形状に基づいて、マスク膜MKから連続して単層膜SLに凹部RCSが形成される。

[0079] 以上、一例として、図3に示す開口パターンを有するマスク膜MKを用いて、多層膜ML及び単層膜SLを同時にエッチングして凹部を形成する方法について説明したが、図3に示す開口パターンに対応する凹部を、複数回に分けて形成してもよい。例えば、図3に示す複数の開口の一部に対応する凹部を、上記で説明した工程ST1及びST2により形成した後に、当該複数の開口の残りに対応する凹部を、以下で説明する工程ST3及びST4により形成してもよい。以下、かかる工程ST3及びST4の一例を説明する。

[0080] (工程ST3：基板Wの準備)

工程ST2及び他の工程を経た後に、工程ST3において、基板Wに対して、工程ST1と同様の工程が実行される。一例として、基板Wが3D NANDフラッシュメモリが形成される基板である場合、当該他の工程は、例えば、工程ST2において多層膜MLに形成された凹部（開口）に、メモリセルを形成する工程である。

[0081] 工程ST3で準備される基板Wは、マスク膜MKを有する。当該マスク膜MKは、工程ST1において準備されるマスク膜MKとは異なるパターンを有する。工程ST1で準備されるマスク膜MKは、第1の領域RE1に1つ以上の開口OPMが設けられており、第2の領域RE2に1つ以上の開口OPSが設けられている。他方で、工程ST3で準備されるマスク膜MKは、第1の領域RE1及び第2の領域RE2の少なくとも一方に1つ以上の開口OPM及び／又は開口OPSが設けられている。

[0082] 一例として、基板Wが3D NANDフラッシュメモリが形成される基板である場合、第1の領域RE1は、一例では、メモリセルが形成される領域であるメモリセル領域であってよい。また、第2の領域RE2は、一例では、メモリセルと周辺回路とを電氣的に接続するためのコンタクトが形成され

るコンタクト領域であってよい。開口OPMは、一例では、メモリセルが形成されるメモリホールを多層膜MLに形成するための開口（一例では開口OPM1）であってよい。また、開口OPSは、一例では、コンタクトホールを単層膜SLに形成するための開口（一例では開口OPS1）であってよい。また、開口OPMは、一例では、メモリセル領域において多層膜MLにスリットを形成するための開口（一例では開口OPM2）であってよい。当該スリットは、メモリセル領域からコンタクト領域に亘って設けられたスリットであってよい。この場合、開口OPSは、当該スリットを単層膜SLに形成するための開口（一例では開口OPS2）であってよい。

[0083] （工程ST4：多層膜ML及び／又は単層膜SLのエッチング）

次に、工程ST4において、工程ST3で準備されたマスク膜MKを用いて、多層膜ML及び／又は単層膜SLがエッチングされる。工程ST4は、第2のエッチング工程の一例である。工程ST4において、多層膜ML及び単層膜SLは、工程ST2と同一の条件でエッチングされてよく、また、異なる条件でエッチングされてもよい。一例では、工程ST4において、多層膜ML及び／又は単層膜SLをエッチングする処理ガスは、工程ST2と同様に、リン含有ガスを含んでよい。工程ST4で用いられるリン含有ガスは、工程ST2で用いられるリン含有ガスと同一の種類（物質）のガスであってよく、また、異なる種類（物質）のガスであってよい。また、工程ST2及び工程ST4で、リン含有ガスは、チャンバ10に、同一での流量で供給されてよく、また、異なる流量で供給されてもよい。工程ST4で用いられるリン含有ガスの種類及び／流量は、一例では、エッチングされる膜（多層膜か単層膜か等）や開口OPM及び／又は開口OPSの開口幅に応じて、適宜選択されてよい。

[0084] <実施例>

以下、本エッチング方法の評価のために行った実験について説明する。本実験では、処理ガスとして、 O_2 、 $C_4F_6H_2$ 、HF及び PF_3 を用いた。また、 PF_3 の流量を変化させて、多層膜ML及び単層膜SLのエッチングレートの

変化を確認した。また、処理ガスにおける PF_3 の流量の割合は、4 % から 19 % である。また、処理ガスにおける HF の流量の割合は 50 % 以上である。また、図 6 における実線は、マスク膜 MK の開口幅が 100 nm である場合における多層膜 ML のエッチングレートを示す。また、図 6 における破線は、マスク膜 MK の開口幅が 100 nm である場合における単層膜 SL（以下「単層膜 SL1」という。）のエッチングレートを示す。また、図 6 における一点鎖線は、マスク膜 MK の開口幅が 150 nm 程度である場合における単層膜 SL（以下「単層膜 SL2」という。）の想定されるエッチングレートを示す。多層膜 ML は、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜との積層膜である。また、単層膜 SL は、シリコン酸化膜である。また、基板 W の温度は、 -70°C に設定した。

[0085] 図 6 は、 PF_3 の流量と多層膜 ML、単層膜 SL1 及び単層膜 SL2 のエッチングレートとの関係を示したグラフである。図 6 に示すとおり、リン含有ガスの流量を制御することにより、多層膜 ML 及び単層膜 SL を同時にエッチングする場合に、多層膜 ML 及び単層膜 SL のエッチングレートを近づけられる等、多層膜 ML のエッチングレートに対する単層膜 SL のエッチングレートの比率を制御できることが確認された。即ち、図 6 に示すように、 PF_3 の流量が少ない領域（処理ガスにおける PF_3 の流量比が少ない領域）においては、単層膜 SL のエッチングレートは多層膜 ML のエッチングレートよりも低いことが確認された。他方で、 PF_3 の流量が多い領域（処理ガスにおける PF_3 の流量比が高い領域）においては、単層膜 SL のエッチングレートと多層膜 ML のエッチングレートの比を 1 に近づけられることが確認された。リン含有ガス（上述のリン含有分子を含むガス）のプラズマから生成されるリン化学種がシリコン酸化膜の表面に存在する状態では、フッ化水素、即ちエッチャントのシリコン酸化膜への吸着が促進される。これにより、リン含有ガスから生成されるリン化学種がマスク膜 MK の開口 OPS の底に露出したシリコン酸化膜の表面に存在する状態となり、当該表面へのエッチャントの供給が促進されて、単層膜 SL のエッチングレートを高められた。

[0086] また、シリコン酸化膜及びシリコン窒化膜のエッチングレートは、マイクロローディング効果により、開口OPM及び開口OPSの幅（径）に依存する。即ち、多層膜ML及び単層膜SLのエッチングレートは、多層膜ML及び単層膜SLの凹部幅（又は開口OPM及び開口OPSの幅）によって異なり得る。本実施例では、単層膜SLの凹部幅（開口OPMの幅）を多層膜MLの凹部幅（開口OPMの幅）よりも大きくするとともに、リン含有ガスを含む処理ガスからプラズマを生成することにより、多層膜MLのエッチングレートに対する単層膜SLのエッチングレートの比を1以上にできる。換言すれば、多層膜ML及び単層膜SLの凹部幅が異なる場合であっても、リン含有ガスの流量を制御することにより、多層膜ML及び単層膜SLのエッチングレートを制御できる。例えば、単層膜SL2のエッチングレートは、単層膜SL1よりもPF₃がより低流量側で、多層膜MLのエッチングレートと同程度にできる。

[0087] 以上の各実施形態は、説明の目的で説明されており、本開示の範囲及び趣旨から逸脱することなく種々の変形をなし得る。例えば、容量結合型のプラズマ処理装置1以外にも、誘導結合型プラズマやマイクロ波プラズマ等、任意のプラズマ源を用いた基板処理装置を用いてもよい。

符号の説明

[0088] 1…プラズマ処理装置、10…チャンバ、10s…内部空間、12…チャンバ本体、13…支持部、14…基板支持器、16…電極プレート、18…下部電極、20…静電チャック、24…ガス供給ライン、25…エッジリング、30…上部電極、32…部材、34…天板、36…支持体、38…ガス供給管、40…ガスソース群、41…流量制御器群、42…バルブ群、46…シールド、48…バッフルプレート、50…排気装置、52…排気管、62…高周波電源、64…バイアス電源、66…整合器、68…整合器、80…制御部、MK…マスク膜、ML…多層膜、OPM…開口、OPS…開口、RCM…凹部、RCS…凹部、RE1…第1の領域、RE2…第2の領域、SF1…シリコン窒化膜、SF2…シリコン酸化膜、SL…単層膜、UF…下

地膜、W…基板

請求の範囲

- [請求項1] 第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、
 前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングするエッチング工程と
 を含み、
 前記エッチング工程において、
 前記多層膜及び前記単層膜は、フッ化水素ガス、リン含有ガス及び炭素含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによって同時にエッチングされ、
 前記多層膜に第1の幅を有する第1の凹部が形成され、
 前記単層膜に前記第1の幅よりも広い第2の幅を有する第2の凹部が形成される、
 エッチング方法。
- [請求項2] 第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、
 前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングするエッチング工程と
 を含み、
 前記エッチング工程において、
 前記多層膜及び前記単層膜は、フッ化水素ガス、リン含有ガス及び炭素含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、
 前記多層膜に第1の凹部が形成され、

前記単層膜に第2の凹部が形成される、
エッチング方法。

[請求項3]

第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、

前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングするエッチング工程と

を含み、

前記エッチング工程において、

前記多層膜及び前記単層膜は、リン含有ガス、フッ素含有ガス、ハイドロフルオロカーボンガス及びフッ素以外のハロゲン元素を含有するハロゲン含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、

前記多層膜に第1の幅を有する第1の凹部が形成され、

前記単層膜に前記第1の幅よりも広い第2の幅を有する第2の凹部が形成される、

エッチング方法。

[請求項4]

第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、

前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングするエッチング工程と

を含み、

前記エッチング工程において、

前記多層膜及び前記単層膜は、リン含有ガス、フッ素含有ガス、ハイドロフルオロカーボンガス及びフッ素以外のハロゲン元素を含有す

るハロゲン含有ガスを含む処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、

前記多層膜に第 1 の凹部が形成され、

前記単層膜に第 2 の凹部が形成される、

エッチング方法。

[請求項5]

前記基板は、

前記多層膜及び前記単層膜上に設けられたマスク膜であって、前記マスク膜は、前記多層膜上に第 1 の開口を規定する第 1 の側壁、及び、前記単層膜上に第 2 の開口を規定する第 2 の側壁を有する、前記マスク膜

を含み、

前記エッチング工程において、

前記第 1 の凹部は、前記第 1 の開口において前記多層膜を前記プラズマによってエッチングして形成され、

前記第 2 の凹部は、前記第 2 の開口において前記単層膜を前記プラズマによってエッチングして形成される、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項記載のエッチング方法。

[請求項6]

前記第 1 の凹部及び前記第 2 の凹部の一方は、ホールであり、前記第 1 の凹部及び前記第 2 の凹部の他方は、スリットである、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項記載のエッチング方法。

[請求項7]

前記 2 種類以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜及びシリコン窒化膜を含み、

前記 1 種類のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜である、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項記載のエッチング方法。

[請求項8]

前記リン含有ガスは、ハロゲン化リンガスである、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項記載のエッチング方法。

[請求項9]

前記炭素含有ガスは、炭化水素ガス、フルオロカーボンガス又はハイドロフルオロカーボンガスである、請求項 1 又は 2 記載のエッチン

グ方法。

[請求項10]

第1の領域及び第2の領域を有する基板を準備する準備工程であって、当該基板は、前記第1の領域において2種類以上のシリコン含有膜が積層された多層膜及び前記第2の領域において1種類のシリコン含有膜から形成された単層膜を有する、前記準備工程と、

前記多層膜及び前記単層膜を同時にエッチングする第1のエッチング工程と、

前記多層膜及び前記単層膜の少なくとも一方をエッチングする第2のエッチング工程と

を含み、

前記第1のエッチング工程において、

前記多層膜及び前記単層膜は、フッ化水素ガス及びリン含有ガスを含む第1の処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、

前記多層膜に第1の凹部が形成され、

前記単層膜に第2の凹部が形成され、

前記第2のエッチング工程において、

前記多層膜及び前記単層膜は、フッ化水素ガス及びリン含有ガスを含む第2の処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされ、

前記多層膜及び前記単層膜の少なくとも一方に第3の凹部が形成され、

前記第1の処理ガスに含まれる前記リン含有ガスの流量は、前記第2の処理ガスに含まれる前記リン含有ガスの流量と異なる、

エッチング方法。

[請求項11]

前記第1のエッチング工程が実行された後に、前記第2のエッチング工程が実行される、請求項10記載のエッチング方法。

[請求項12]

前記第2のエッチング工程が実行された後に、前記第1のエッチン

グ工程が実行される、請求項 10 記載のエッチング方法。

- [請求項13] 前記基板は、複数の半導体記憶装置が形成される基板であり、
前記第 1 の領域は、前記複数の半導体記憶装置のそれぞれにおいて
複数のメモリセルが形成される領域であり、
前記第 2 の領域は、前記複数の半導体記憶装置のそれぞれにおいて
前記複数のメモリセルと前記複数のメモリセルを制御する回路とを電
氣的に接続する複数のコンタクトが形成される領域である、請求項 1
0 から 12 のいずれか 1 項記載のエッチング方法。

- [請求項14] 前記第 1 のエッチング工程において、
前記複数のメモリセルが形成される複数のメモリホールが、前記
第 1 の凹部として、前記多層膜に形成され、
前記複数のコンタクトが形成される複数のコンタクトホールが、
前記第 2 の凹部として、前記単層膜に形成され、
前記第 2 のエッチング工程において、
前記第 1 の領域から前記第 2 の領域に亘るスリットが、前記第 3
の凹部として、前記多層膜及び前記単層膜に形成される、請求項 13
記載のエッチング方法。

- [請求項15] 前記第 1 のエッチング工程において、
前記複数のメモリセルが形成される複数のメモリホールが、前記
第 1 の凹部として、前記多層膜に形成され、
前記第 1 の領域から前記第 2 の領域に亘るスリットが、前記第 1
の凹部及び前記として、前記多層膜及び前記単層膜に形成され、
前記第 2 のエッチング工程において、
前記複数のコンタクトが形成される複数のコンタクトホールが、
前記第 2 の凹部として、前記単層膜に形成される、請求項 13 記載の
エッチング方法。

- [請求項16] 前記第 1 のエッチング工程において、
前記複数のコンタクトが形成される複数のコンタクトホールが、前

記第 2 の凹部として、前記単層膜に形成され、

前記第 1 の領域から前記第 2 の領域に亘るスリットが、前記第 1 の凹部及び前記第 2 の凹部として、前記多層膜及び前記単層膜に形成され、

前記第 2 のエッチング工程において、

前記複数のメモリセルが形成される複数のメモリホールが、前記第 1 の凹部として、前記多層膜に形成される、請求項 13 記載のエッチング方法。

[請求項 17]

前記第 1 のエッチング工程において、

前記第 1 の領域から前記第 2 の領域に亘るスリットが、前記第 1 の凹部及び前記第 2 の凹部として、前記多層膜及び前記単層膜に形成され、

前記第 2 のエッチング工程において、

前記複数のメモリセルが形成される複数のメモリホールが、前記第 1 の凹部として、前記多層膜に形成され、

前記複数のコンタクトが形成される複数のコンタクトホールが、前記第 2 の凹部として、前記単層膜に形成される、請求項 13 記載のエッチング方法。