

明 細 書

発明の名称： エッチング方法及びエッチング装置

技術分野

[0001] 本開示の例示的实施形態は、エッチング方法及びエッチング装置に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、プラズマエッチングに用いられる処理ガスとして炭化水素ガス及びハイドロフルオロカーボンガスを含む処理ガスを用いたエッチング方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：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、エッチングにおいて垂直性を高める技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一つの例示的实施形態において、エッチング装置において被エッチング膜をエッチングするエッチング方法が提供される。前記エッチング装置は、チャンバと、前記チャンバ内に設けられ、前記基板を支持するように構成された基板支持器と、を備え、前記エッチング方法は、前記被エッチング膜を有する基板を前記基板支持器に配置する工程と、HFガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に供給する工程と、第1の周波数を有する高周波により前記チャンバ内に前記処理ガスのプラズマを生成する工程と、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する印加工程とを含む。

[0006] 本開示の一つの例示的实施形態において、エッチング装置において被エッチング膜をエッチングするエッチング方法が提供される。前記プラズマ処理

装置は、チャンバと、前記チャンバ内に設けられ、前記基板を支持するように構成された基板支持器と、を備え、前記エッチング方法は、前記被エッチング膜を有する基板を前記基板支持器に配置する工程と、水素及びフッ素を含む処理ガスを前記チャンバ内に供給する工程と、第 1 の周波数を有する高周波により前記チャンバ内に前記処理ガスからフッ化水素の化学種を含むプラズマを生成する工程と、前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する印加工程とを含む。

[0007] 本開示の一つの例示的实施形態において、被エッチング膜をエッチングするエッチング装置が提供される。前記エッチング装置は、チャンバ、前記チャンバに処理ガスを供給するガス供給部、及び、制御部を備え、前記制御部は、前記被エッチング膜を有する基板を前記基板支持器に配置し、H F ガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に供給し、第 1 の周波数を有する高周波により前記チャンバ内に前記処理ガスのプラズマを生成し、前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する、制御を実行する。

発明の効果

[0008] 本開示の一つの例示的实施形態によれば、垂直性の高いエッチング方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]一つの例示的实施形態に係る基板処理プラズマ処理装置 1 を概略的に示す図である。

[図2]プラズマ処理装置 1 に含まれる基板支持器 1 4 の部分拡大図である。

[図3]基板 W の断面構造の一例を示す図である。

[図4]一つの例示的实施形態に係るエッチング方法を示すフローチャートである。

[図5]高周波電力 H F 及び電気バイアスの一例を示すタイミングチャートである。

[図6]電気バイアス（パルス波）の電気パルスを構成するパルス電圧の一例を

示すタイミングチャートである。

[図7]実施例1の条件でシリコン含有膜S Fをエッチングした後の基板Wの断面を模式的に示した図である。

[図8]参考例1の条件でシリコン含有膜S Fをエッチングした後の基板Wの断面を模式的に示した図である。

[図9]凹部R Cの断面形状の評価方法の一例を説明するための図である。

[図10]実施例1及び参考例1について、凹部R Cの断面形状の曲がりの程度を示したグラフである。

[図11]実施例1及び参考例1について、凹部R Cの幅(C D)を示した表である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本開示の各実施形態について説明する。

[0011] 一つの例示的实施形態において、エッチング装置において被エッチング膜をエッチングするエッチング方法が提供される。エッチング装置は、チャンバと、チャンバ内に設けられ、基板を支持するように構成された基板支持器と、を備え、エッチング方法は、被エッチング膜を有する基板を基板支持器に配置する工程と、HFガスを含む処理ガスをチャンバ内に供給する工程と、第1の周波数を有する高周波によりチャンバ内に処理ガスのプラズマを生成する工程と、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する印加工程とを含む。

[0012] 一つの例示的实施形態において、処理ガスは、リン含有ガスをさらに含む。

[0013] 一つの例示的实施形態において、リン含有ガスは、 PF_3 、 PCl_3 、 PF_5 、 PCl_5 、 POCl_3 、 PH_3 、 PBr_3 及び PBr_5 からなる群から選択される少なくとも一つを含む。

[0014] 一つの例示的实施形態において、処理ガスは、 $\text{C}_x\text{H}_y\text{F}_z$ (x 及び z は1以上の整数であり、 y は0以上の整数である。)をさらに含む。

[0015] 一つの例示的实施形態において、処理ガスは、ハロゲン元素含有ガスをさ

らに含む。

- [0016] 一つの例示的实施形態において、パルス電圧は負電圧である。
- [0017] 一つの例示的实施形態において、エッチング装置において被エッチング膜をエッチングするエッチング方法が提供される。エッチング装置は、チャンバと、チャンバ内に設けられ、基板を支持するように構成された基板支持器と、を備え、エッチング方法は、被エッチング膜を有する基板を基板支持器に配置する工程と、水素及びフッ素を含む処理ガスをチャンバ内に供給する工程と、第1の周波数を有する高周波により、チャンバ内に処理ガスからフッ化水素の化学種を含むプラズマを生成する工程と、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する印加工程と、を含む。
- [0018] 一つの例示的实施形態において、被エッチング膜をエッチングするエッチング装置が提供される。エッチング装置は、チャンバ、チャンバに処理ガスを供給するガス供給部、及び、制御部を備え、制御部は、被エッチング膜を有する基板を基板支持器に配置し、HFガスを含む処理ガスをチャンバ内に供給し、第1の周波数を有する高周波によりチャンバ内に処理ガスのプラズマを生成し、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する、制御を実行する。
- [0019] 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。
- [0020] <プラズマ処理装置1の構成>
- 図1は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置1を概略的に示す図である。プラズマ処理装置1は、例えば、エッチング処理を行うことができる。また、一つの例示的实施形態に係るエッチング方法（以下「本処理方法」という。）は、プラズマ処理装置1を用いて実行されてよい。

- [0021] 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。
- [0022] 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、ゲートバルブ12gにより開閉される。ゲートバルブ12gは、チャンバ本体12の側壁に沿って設けられる。
- [0023] 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、基板支持器14を支持している。基板支持器14は、内部空間10sの中で基板Wを支持するように構成されている。
- [0024] 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。
- [0025] 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。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。

[0026] 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。

[0027] 下部電極18の内部には、流路18fが設けられている。流路18f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22aを介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。流路18fに供給された熱交換媒体は、配管22b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。

[0028] 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。

[0029] 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。

[0030] 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10sの側の下面であり、内部空間10s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34aを有する。

[0031] 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36aが設けられている。支持体36は、ガス拡散室36aから下方に延び

る複数のガス孔36bを有する。複数のガス孔36bは、複数のガス吐出孔34aにそれぞれ連通している。支持体36には、ガス導入口36cが形成されている。ガス導入口36cは、ガス拡散室36aに接続している。ガス導入口36cには、ガス供給管38が接続されている。

[0032] 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、方法MT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。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] プラズマ処理装置 1 は、高周波電源 6 2 及びバイアス電源 6 4 を備えている。高周波電源 6 2 は、高周波電力 H F を発生する電源である。高周波電力 H F 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 2 7 M H z ~ 1 0 0 M H z の範囲内の周波数である。高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 及び電極プレート 1 6 を介して下部電極 1 8 に接続されている。整合器 6 6 は、高周波電源 6 2 の負荷側（下部電極 1 8 側）のインピーダンスを高周波電源 6 2 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 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。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。

[0036] バイアス電源 6 4 は、電気バイアスを発生する電源である。バイアス電源 6 4 は、下部電極 1 8 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 4 0 0 k H z ~ 1 3 . 5 6 M H z の範囲内の周波数である。電気バイアスは、高周波電力 H F 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 1 4 に与えられる。一例では、電気バイアスは、下部電極 1 8 に与えられる。電気バイアスが下部電極 1 8 に与えられると、基板支持器 1 4 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 2 0 内に設けられたバイアス電極に与えられてもよい。

[0037] 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 L F であってもよい。高周波電力 L F は、高周波電力 H F 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 L F を発生するように構成されたバイアス電源 6 4 は、整合器 6 8 及び電極プレート 1 6 を介して下部電極 1 8 に接続される。整合器 6 8 は、バイアス電源 6 4 の負荷側（下部電極 1 8 側）のインピーダンスをバイアス電源 6 4 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。

- [0038] 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。
- [0039] 一実施形態において、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（図6参照）。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基板支持器14（下部電極18又はバイアス電極118）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。
- [0040] 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118に接続されてもよい（図2参照）。
- [0041] 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。

[0042] 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。

[0043] 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（図5参照）。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。

[0044] 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。

- [0045] 別の実施形態において、高周波電源 6 2 は、高周波電力 H F のパルス波を供給してもよい。高周波電力 H F のパルス波は、周期的に供給され得る。高周波電力 H F 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 H F 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 H F 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 H F 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。
- [0046] 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。
- [0047] 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 1 0 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 3 0 と下部電極 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内部空間 1 0 s の中のガスからプラズマを生成する。
- [0048] プラズマ処理装置 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、プラズマ処理装置 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 8 0 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。

[0049] 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; Capacitively Coupled Plasma) の他に、誘導結合プラズマ (ICP; Inductively Coupled 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。

[0050] 図2は、プラズマ処理装置1に含まれる基板支持器14の他の例の部分拡大図である。基板支持器14は、電極プレート16、下部電極18及び静電チャック20を含む。静電チャック20の上面は、基板Wを支持するための中央領域である基板支持面111aと、エッジリング25を支持するための環状領域111bとを有する。環状領域111bは、基板支持面111aを囲んでいる。基板Wは、基板支持面111aに配置され、エッジリング25は、基板支持面111a上の基板Wを囲むように環状領域111b上に配置される。静電チャック20は、下部電極18上に配置される。静電チャック20の上面は、基板Wを支持する基板支持面を有する。

[0051] 静電チャック20は、その内部に、チャック電極120及びバイアス電極

118を含む。チャック電極120は、基板支持面111aと下部電極18との間に設けられた電極120aを有する。電極120aは、基板支持面111aの形状に対応する平面状の電極であってよい。また、チャック電極120は、エッジリング25と下部電極18との間に設けられた電極120b及び120cを有してよい。電極120b及び120cは、リングアセンブリ112の形状に対応する環状の電極であってよい。電極120cは、電極120bの外側に設けられる。なお、電極120b及び120cは、双極型の静電チャックを構成してよい。また、電極120a、120b及び120cは、一体に構成されてもよい。直流電源20pは、電極120a、120b及び120cにそれぞれ異なる直流電圧を印加するよう構成されてよく、また、同じ直流電圧を印加するよう構成されてよい。

[0052] バイアス電極118は、電極120a（又は基板支持面111a）と下部電極18との間に設けられた電極118aを有する。電極118aは、基板支持面111a及び／又は電極120aの形状に対応する平面上の電極であってよい。また、バイアス電極118は、エッジリング25と下部電極18との間に設けられる電極118bを有してよい。また、図示は省略するが、基板支持器14は、静電チャック114、リングアセンブリ112及び基板のうち少なくとも1つをターゲット温度に調節するように構成される温調モジュールを含んでよい。温調モジュールは、ヒータ、伝熱媒体、流路、又はこれらの組み合わせを含んでよい。流路には、ブラインやガスのような伝熱流体が流れる。また、基板支持器14は、基板Wの裏面と基板支持面111aとの間及び／又はエッジリング25と環状領域111bとの間に伝熱ガスを供給するように構成された伝熱ガス供給部を含んでよい。

[0053] <基板Wの一例>

図3は、基板Wの断面構造の一例を示す図である。基板Wは、本処理方法が適用され得る基板の一例である。基板Wは、本処理方法における被エッチング膜の一例であるシリコン含有膜SFを有する。基板Wは、下地膜UF及びマスク膜MKを有してよい。図3に示すように、基板Wは、下地膜UF、

シリコン含有膜S F及びマスク膜MKがこの順に積層されて形成されてよい。

[0054] 下地膜U Fは、シリコンウェハ上に形成された有機膜、誘電体膜、金属膜、半導体膜等であってよい。また、下地膜U Fは、シリコンウェハであってよい。また、下地膜U Fは、複数の膜が積層されて構成されてよい。

[0055] シリコン含有膜S Fは、シリコン含有誘電体膜であり得る。シリコン含有誘電体膜は、シリコン酸化膜又はシリコン窒化膜を含み得る。シリコン含有誘電体膜は、シリコンを含有する膜であれば、他の膜種を有する膜であってよい。また、シリコン含有膜S Fは、シリコン膜（例えば多結晶シリコン膜）を含んでいてもよい。また、シリコン含有膜S Fは、シリコン窒化膜、多結晶シリコン膜、炭素含有シリコン膜、及び低誘電率膜のうち少なくとも一つを含んでいてもよい。炭素含有シリコン膜は、S i C膜及び／又はS i O C膜を含み得る。低誘電率膜は、シリコンを含有し、層間絶縁膜として用いられ得る。また、シリコン含有膜S Fは、互いに異なる二つ以上のシリコン含有膜を含んでいてもよい。二つ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んでいてもよい。シリコン含有膜S Fは、例えば、交互に積層された一つ以上のシリコン酸化膜及び一つ以上のシリコン窒化膜を含む多層膜であってもよい。シリコン含有膜S Fは、交互に積層された複数のシリコン酸化膜及び複数のシリコン窒化膜を含む多層膜であってもよい。或いは、二つ以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜及びシリコン膜を含んでいてもよい。シリコン含有膜S Fは、例えば、交互に積層された一つ以上のシリコン酸化膜及び一つ以上のシリコン膜を含む多層膜であってもよい。シリコン含有膜S Fは、交互に積層された複数のシリコン酸化膜及び複数の多結晶シリコン膜を含む多層膜であってもよい。或いは、二つ以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、及びシリコン膜を含んでいてもよい。

[0056] マスク膜MKは、シリコン含有膜S F上に設けられている。マスク膜MKは、工程S T 2においてシリコン含有膜S F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得る。即ち、マスク膜MKは、炭素を含有してもよい。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、又はスピコンカーボン膜（SOC膜）から形成され得る。或いは、マスク膜MKは、シリコン含有反射防止膜のようなシリコン含有膜から形成されてもよい。或いは、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。

[0057] 基板Wは、一例では、シリコン含有膜SFとして、下地膜UF上にシリコン酸化膜とシリコン窒化膜が積層された積層膜を有してよい。また、基板Wは、一例では、当該シリコン窒化膜上に、マスク膜MKとして、多結晶シリコン膜、ホウ化シリコン又は炭化タングステンを有してよい。また、マスク膜MKは、多結晶シリコン膜、ホウ化シリコン又は炭化タングステンを含む多層レジストであってよい。当該多層レジストは、一例では、多結晶シリコン膜上に、ハードマスクを含むマスクを有する。ハードマスクは、一例では、シリコン酸化膜（TEOS膜）を有する。当該積層膜に含まれるシリコン窒化膜は、ハードマスクをマスクとしてエッチングされてよく、また、当該積層膜に含まれるシリコン酸化膜は、多結晶シリコン膜をマスクとしてエッチングされてよい。

[0058] マスク膜MKは、シリコン含有膜SF上に少なくとも1つの開口OPを規定するようにパターンニングされている。即ち、マスク膜MKは、工程ST2においてシリコン含有膜SFをエッチングするためのパターンを有している。マスク膜MKのパターンにより規定される開口OPの形状に基づいて、シリコン含有膜SFにホール又はトレンチ等の凹部が形成される。工程ST2においてシリコン含有膜SFに形成される凹部のアスペクト比は20以上であってよく、30以上、40以上、又は50以上であってもよい。なお、マスク膜MKは、ラインアンドスペースパターンを有していてもよい。

[0059] 図4は、一つの例示的实施形態に係るエッチング方法（以下「本処理方法」ともいう。）を示すフローチャートである。本処理方法は、例えば、図1

及び図 2 に示すプラズマ処理装置 1 を用いて、基板 W に対して実行される。

[0060] 図 5 は、高周波電力 H F 及び電気バイアスの一例を示すタイミングチャートである。図 5 は、高周波電力 H F 及び電気バイアスとしていずれもパルス波を用いる例である。即ち、一例として、高周波電力 H F は、H 期間において電気パルスを有するパルス波である。また、電気バイアスは、H 期間において電気パルスを有するパルス波である。図 5 において、横軸は時間を示す。図 5 において、縦軸は、高周波電力 H F の電力レベル（一例として、高周波電力 H F の電力の実効値）及び電気バイアスの電圧レベル（一例として、電気バイアスの電圧の絶対値の実効値）を示す。高周波電力 H F の「L 1」は、高周波電力 H F が供給されていないか、又は、「H 1」で示す電力レベルよりも低いことを示す。電気バイアスの「L 2」は、電気バイアスが供給されていないか、又は、「H 2」で示す電圧レベルよりも低いことを示す。

[0061] 図 6 は、電気バイアス（パルス波）の電気パルスを構成するパルス電圧の一例を示すタイミングチャートである。図 6 において、横軸は時間を示す。図 6 において、縦軸は、電気パルスを構成するパルス電圧の電圧値を示す。本実施形態において、H 期間における電気バイアスの電圧（即ち、電気バイアスを構成するパルス電圧）は、負極性の電圧である。なお、図 5 の高周波電力 H F の電力レベル及び電気バイアスの電圧レベルの大きさは、両者の相対的な関係を示すものではなく、任意に設定されてよい。図 5 は、一例として、高周波電力 H F のパルス波の周期が、電気バイアスのパルス波の周期と同期し、かつ、高周波電力 H F のパルス波の H 期間及び L 期間の時間長と、電気バイアスのパルス波の H 期間及び L 期間の時間長が同一である。一例において、高周波電力 H F のパルス波の H 期間及び L 期間の時間長と、電気バイアスのパルス波の H 期間及び L 期間の時間長がオフセットしてもよい。一例において、高周波電力 H F のパルス波は、電気バイアスのパルス波と逆位相であってもよい。

[0062] 以下、図 4 に示す本処理方法を図 3 に示す基板 W に対して実行する例を、各図を参照しつつ説明する。なお、以下の例では、図 1 に示す制御部 8 0 が

、プラズマ処理装置 1 の各部を制御して、本処理方法が実行される。

[0063] (工程 S T 1 : 基板の準備)

工程 S T 1 において、基板 W をチャンバ 10 の内部空間 10 s 内に準備する。内部空間 10 s 内において、基板 W は、基板支持器 14 の基板支持面 111 a に配置され、静電チャック 114 により保持される。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 10 s 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 10 s 内に搬入され、基板支持面 111 a に配置されてもよい。

[0064] (工程 S T 2 : エッチングの実行)

工程 S T 2 において、基板 W のシリコン含有膜 S F をエッチングする。工程 S T 2 は、処理ガスを供給する工程 (工程 S T 2 1) と、高周波電力を供給する工程 (工程 S T 2 2) と、電気バイアスを印加する工程とを含む。工程 S T 2 において、処理ガスから生成されたプラズマ中の化学種 (イオン、ラジカル等) により、シリコン含有膜 S F がエッチングされる。一例として、当該化学種は、フッ化水素の化学種 (H F 種) である。なお、工程 S T 2 1 から S T 2 3 が実行される順番は、この順番に限られない。また、工程 S T 2 1 から S T 2 3 は、同時に又は並行して実行されてよい。

[0065] 工程 S T 2 1 において、処理ガスがチャンバ 10 内に供給される。処理ガスは、基板 W に形成された被エッチング膜をエッチングするために用いられるガスである。処理ガスの種類は、被エッチング膜の材料、マスク膜の材料、下地膜の材料、マスク膜が有するパターン、エッチングの深さ等に基づいて適宜選択されてよい。

[0066] 工程 S T 2 1 において用いられる処理ガスは、H F 種を生成するガス種を含む。処理ガスは、H F 種を生成するガス種の一例として、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 $C_sH_tF_u$ (s 及び u は正の整数、 t は 0 以上の整数)、又は、 $C_xH_yF_z$ (x 、 y 及び z は正の整数) 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ヒ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。ヒ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。ヒドロフルオロカーボンは、二つ以上の炭素を含んでいてもよい。また、ヒ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いてもよい。ヒドロフルオロカーボンは、例えば、 C_2HF_5 、 $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$ 、 C_3HF_7 、 $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_2$ 、 $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$ 、 $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_5$ 、 $\text{C}_4\text{H}_5\text{F}_5$ 、 $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_6$ 、 $\text{C}_5\text{H}_2\text{F}_{10}$ 及び $\text{c-C}_5\text{H}_3\text{F}_7$ 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 、 $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_4$ 及び $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_6$ からなる群から選択される少なくとも1種である。処理ガスがフルオロカーボン及び／又はヒドロフルオロカーボンを含むと、プラズマ中においてフッ素の化学種が生成され、フッ化水素の化学種と共に、シリコン含有膜 SiF のエッチングを促進する。また、プラズマ中において、フルオロカーボン及び／又はヒドロフルオロカーボンから生成される炭素の化学種は、マスク膜 M_K を保護する効果を有する。

[0067] 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いてもよい。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。また、一例で、ハロゲン含有ガスは、 HBr 、 NF_3 であってもよい。

[0068] 工程 $\text{ST}21$ 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。

[0069] 工程 ST 21 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 の各々は正の整数である。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。

[0070] 工程 ST 21 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。

[0071] 工程 S T 2 2 において、下部電極 1 8 に高周波電力 H F が供給される。高周波電力 H F は、例えば、図 5 に示すように、H 期間において L 期間よりも高い電力レベルを持ち、H 期間において電気パルスを含むパルス波である。また、高周波電力 H F (パルス波) の各パルスを構成する高周波は、例えば、27 MHz から 100 MHz の周波数を有する。高周波電力 H F が例えば、下部電極 1 8 に供給されると、チャンバ 1 0 内に供給された処理ガスからプラズマが形成される。他の実施形態において、高周波電力 H F は、上部電極 (シャワーヘッド) 3 0 に供給されてよい。

[0072] 工程 S T 2 3 において、バイアス電極 1 1 8 に電気バイアスが供給される。電気バイアスは、例えば、図 5 に示すように、H 期間において、L 期間よりも高い電圧レベルを持ち、H 期間において電気パルスを含むパルス波である。一例では、当該パルス波の周波数は、5 kHz から 100 kHz である。また、図 6 に示すように、電気パルスは、所定の周波数で繰り返されるパルス状の電圧 (パルス電圧) からなる。一例では、当該所定の周波数は、400 kHz である。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。なお、本実施形態において、パルス電圧は、H 期間において負電圧を有する。また、パルス電圧は、L 期間において、H 期間よりも高い電圧を有する。当該電圧は、正電圧、負電圧、ゼロ電圧のいずれであってもよい。

[0073] H 期間において、下部電極 1 8 に高周波電力 H F が供給されてプラズマが生成され、そして、バイアス電極 1 1 8 に電気バイアスが印加されると、正

イオン等のプラズマ中で正に帯電した活性種が、基板支持面 111a に配置された基板 W に引き込まれる。そして、当該活性種は、マスク膜 MK に形成された開口 OP を通って、シリコン含有膜 SF に衝突する。これにより、シリコン含有膜 SF のうち、開口 OP において露出した部分がエッチングされ、シリコン含有膜 SF において凹部又は開口が形成される。

[0074] 以下、本処理方法の実施例について説明する。

[0075] <実施例 1>

実施例 1 では、以下の条件で、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜を 10 分間エッチングした。

処理ガス：HF、PF₃、Cl₂、HBr、NF₃、CH₂F₂

高周波電力 HF：40MHz、3300W

電気バイアス：400kHz、6000V

<参考例 1>

また、参考例として、実施例 1 の電気バイアスに替えて高周波電力 LF を用いてシリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜を 10 分間エッチングした。他の条件は実施例 1 と同様である。

処理ガス：HF、PF₃、Cl₂、HBr、NF₃、CH₂F₂

高周波電力 HF：40MHz、3300W

高周波電力 LF：400kHz、14000W

[0076] 図 7 は、実施例 1 の条件でシリコン含有膜 SF（シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜）をエッチングした後の基板 W の断面を模式的に示した図である。また、図 8 は、参考例 1 のシリコン含有膜 SF（シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜）をエッチングした後の基板 W の断面を模式的に示した図である。図 7 に示すとおり、実施例 1 では、凹部 RC の垂直性が良好であり（曲がりが少なく）、凹部 RC の下端においても十分な幅を有する凹部を得ることができた。他方で、図 8 に示すとおり、参考例 1 では、凹部 RC の曲がりが実施例 1 に比べ大きく、また、下地膜 UF まで到達しない凹部 RC が存在する等、特に凹部 RC の下端付近で幅が狭くなる結果となった。

以上の結果を、具体的な数値で説明する。

[0077] 図9は、凹部RCの断面形状の評価方法の一例を説明するための図である。図13において、中心基準線CLは、マスク膜MKの下面又はシリコン含有膜SFの上面における凹部RCの幅の midpoint MP を通る線である。中心基準線CLからの midpoint MP のずれ量を凹部RCの深さ方向に沿って測定することによって、凹部RCの形状を評価することができる。例えば、当該ずれ量によって、シリコン含有膜SFに形成された凹部RCの曲がりやねじれを評価することができる。

[0078] 図10は、実施例1及び参考例1について、凹部RCの断面形状の曲がりの程度を示したグラフである。具体的には、図10は、実施例1によりシリコン含有膜SF（シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜）をエッチングして得られた凹部RCの幅の midpoint MP の中心基準線CLからのずれ量と、参考例1によりシリコン含有膜SF（シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜）をエッチングして得られた凹部RCの幅の midpoint MP の中心基準線CLからのずれ量とを示したグラフである。図10において、縦軸は、シリコン含有膜SFの凹部RCの深さを示す。また、横軸は、凹部RCの幅の midpoint MP の中心基準線CLからのずれ量を示す。図10に示すように、実施例1では、中心基準線CLに対する midpoint MP のずれは、最大で約5 nm程度であって、他方で、参考例1では、特に深さ約3 μ m以降において、 midpoint MP が中心基準線CLから大きくずれ、凹部RCの断面形状が大きく曲がる結果となった。

[0079] 図11は、実施例1及び参考例1について、凹部RCの幅(CD)を示した表である。図11に示すように、実施例1では、マスク膜MK付近（即ち、凹部RCの上端付近）と比較すると、下地膜UF付近（即ち、凹部RCの下端付近）において、凹部RCの幅の減少が抑制されていた。他方で、参考例1では、マスク膜MK付近（即ち、凹部RCの上端付近）と比較して、下地膜UF付近（即ち、凹部RCの下端付近）において、凹部RCの幅が大きく減少した。

[0080] <実施例 2>

実施例 2 では、以下の条件で、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜を 10 分間エッチングした。

処理ガス：HF、 C_4F_8

高周波電力 HF：40MHz、5500W

電気バイアス：400kHz、6000V

<参考例 2>

また、参考例として、実施例 2 の電気バイアスに替えて高周波電力 LF を用いてシリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜を 10 分間エッチングした。他の条件は実施例 1 と同様である。

処理ガス：HF、 C_4F_8

高周波電力 HF：40MHz、5500W

高周波電力 LF：400kHz、10000W

[0081] 実施例 2 及び参考例 2 でエッチングしたシリコン含有膜 SF（シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層膜）の断面を確認したところ、実施例 2 では、実施例 1（図 7）と同様に、凹部 RC の垂直性が良好であり（曲がりが少ない）、凹部 RC の下端においても十分な幅を有する凹部を得ることができた。他方で、参考例 2 では、参考例 1（図 8 及び図 10）と同様に、凹部 RC の深さが深くなるにつれて、凹部 RC の曲がりが大きくなる結果となった。また、参考例 1 では、下地膜 UF まで到達しない凹部 RC が存在する等、特に凹部 RC の下端付近で凹部 RC の幅が狭くなる結果となった。

[0082] 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、本処理方法は、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プラズマ処理装置を用いて実行できる。

符号の説明

[0083] 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、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、３０…上部電極、５０…排気装置、６２…高周波電源、６４
…バイアス電源、８０…制御部、ＳＦ…シリコン含有膜、ＭＫ…マスク膜、
ＯＰ…開口、ＰＦ…保護膜、ＲＣ…凹部、ＵＦ…下地膜、Ｗ…基板

請求の範囲

- [請求項1] プラズマ処理装置において被エッチング膜をエッチングするエッチング方法であって、
 前記プラズマ処理装置は、
 チャンバと、
 前記チャンバ内に設けられ、前記基板を支持するように構成された基板支持器と、
 を備え、前記エッチング方法は、
 前記被エッチング膜を有する基板を前記基板支持器に配置する工程と、
 フッ化水素ガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に供給する工程と、
 、
 第1の周波数を有する高周波により前記チャンバ内に前記処理ガスのプラズマを生成する工程と、
 前記第1の周波数よりも低い第2の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する印加工程と、
 を含むエッチング方法。
- [請求項2] 前記処理ガスは、リン含有ガスをさらに含む、請求項1記載のエッチング方法。
- [請求項3] 前記リン含有ガスは、 PF_3 、 PCl_3 、 PF_5 、 PCl_5 、 POCl_3 、 PH_3 、 PBr_3 及び PBr_5 からなる群から選択される少なくとも一つを含む、請求項2記載のエッチング方法。
- [請求項4] 前記処理ガスは、 $\text{C}_x\text{H}_y\text{F}_z$ （ x 及び z は1以上の整数であり、 y は0以上の整数である。）をさらに含む、請求項1から3のいずれか1項記載のエッチング方法。
- [請求項5] 前記処理ガスは、ハロゲン元素含有ガスをさらに含む、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] 前記パルス電圧は負電圧である、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7]

プラズマ処理装置において被エッチング膜をエッチングするエッチング方法であって、

前記プラズマ処理装置は、

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられ、前記基板を支持するように構成された基板支持器と、

を備え、前記エッチング方法は、

前記被エッチング膜を有する基板を前記基板支持器に配置する工程と、

水素及びフッ素を含む処理ガスを前記チャンバ内に供給する工程と、

、

第1の周波数を有する高周波により、前記チャンバ内に前記処理ガスからフッ化水素の化学種を含むプラズマを生成する工程と、

前記第1の周波数よりも低い第2の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する印加工程と、

を含むエッチング方法。

[請求項8]

被エッチング膜をエッチングするエッチング装置であって、

チャンバ、前記チャンバに処理ガスを供給するガス供給部、及び、制御部を備え、

前記制御部は、

前記被エッチング膜を有する基板を前記基板支持器に配置し、

フッ化水素ガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に供給し、

前記基板支持器に、第1の周波数を有する高周波により前記チャンバ内に前記処理ガスのプラズマを生成し、

前記第1の周波数よりも低い第2の周波数で、パルス電圧を周期的に前記基板支持器に印加する、

制御を実行する、エッチング装置。