

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】令和5年2月16日(2023.2.16)

【公開番号】特開2022-74000(P2022-74000A)

【公開日】令和4年5月17日(2022.5.17)

【年通号数】公開公報(特許)2022-086

【出願番号】特願2021-163664(P2021-163664)

【国際特許分類】

H 01 L 21/3065(2006.01)

10

【F I】

H 01 L 21/302105 A

H 01 L 21/302101 B

H 01 L 21/302101 C

H 01 L 21/302101 D

【手続補正書】

【提出日】令和5年2月8日(2023.2.8)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

20

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

(a) シリコン含有膜を有する基板を準備する工程であり、該基板はチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される、該工程と、

(b) 六フッ化タンゲステンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有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、

(c) 前記処理ガスからプラズマを生成して、前記シリコン含有膜をエッティングする工程と、
を含み、

前記(c)は、前記基板支持器に負の直流電圧を周期的に印加することを含む、エッティング方法。

【請求項2】

前記(c)は、

前記エッティングにより前記シリコン含有膜に形成される凹部の底面において前記シリコン含有膜中の一部のシリコン原子をタンゲステン原子に置換することと、

前記一部のシリコン原子が前記タンゲステン原子によって置換された前記シリコン含有膜をエッティングすることと、
を含む、請求項1に記載のエッティング方法。

【請求項3】

前記酸素含有ガスは、O₂ガス、COガス、及びCO₂ガスからなる群より選ばれる少なくとも一つのガスである、請求項1又は2に記載のエッティング方法。

【請求項4】

前記シリコン含有膜はシリコン酸化膜を含む、請求項1～3の何れか一項に記載のエッティング方法。

【請求項5】

前記(c)は、前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されていないときに、前記基板支持器の上方に設けられた上部電極に負の直流電圧を印加することを含む、請求項1～

50

4の何れか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 6】

前記(c)において前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されているときに、前記上部電極には前記負の直流電圧が印加されないか、或いは、前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されていないときに前記上部電極に印加される前記負の直流電圧の絶対値よりも小さい絶対値を有する負の直流電圧が前記上部電極に印加される、請求項5に記載のエッチング方法。

【請求項 7】

前記(c)における前記チャンバ内の圧力は、1.333 Pa未満に設定される、請求項1～6の何れか一項に記載のエッチング方法。

10

【請求項 8】

前記処理ガスの流量に対する前記処理ガス中の前記六フッ化タンクステンガスの流量の割合は、5体積%以下である、請求項1～7の何れか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 9】

前記処理ガスは、三フッ化窒素ガスを更に含む、請求項1～8の何れか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 10】

前記処理ガスの流量に対する前記処理ガス中の前記三フッ化窒素ガスの流量の割合は、前記処理ガス中の前記六フッ化タンクステンガスの流量よりも多い、請求項9に記載のエッチング方法。

20

【請求項 11】

前記処理ガスは、炭素及びフッ素を含有する前記ガスとして、フルオロカーボンガスを含む、請求項1～10の何れか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 12】

前記シリコン含有膜は、シリコン窒化膜を更に含む、請求項11に記載のエッチング方法。

【請求項 13】

前記シリコン含有膜は、多結晶シリコン膜を更に含む、請求項11に記載のエッチング方法。

30

【請求項 14】

前記シリコン含有膜は、シリコン窒化膜を更に含み、

前記処理ガスは、炭素及びフッ素を含有する前記ガスとして、ハイドロフルオロカーボンガスを含む、

請求項1～10の何れか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 15】

前記(c)において、前記エッチングにより前記シリコン窒化膜に形成される側壁にタンクステン含有膜が形成される、請求項12に記載のエッチング方法。

【請求項 16】

前記シリコン含有膜は、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜を有する積層膜を含み、

前記(c)は、

40

前記負の直流電圧が前記基板支持器に印加される時間間隔の逆数であるバイアス周波数が第1の周波数に設定された状態で、前記シリコン窒化膜をエッチングすることと、

前記バイアス周波数が前記第1の周波数よりも大きい第2の周波数に設定された状態で、前記シリコン酸化膜をエッチングすることと、

を含む、請求項1～10のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 17】

前記(c)において、前記基板支持器の温度が0以上、120以下の温度に設定される、請求項1～16の何れか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 18】

前記(c)において前記基板支持器に印加される前記負の直流電圧の絶対値は、1 kV

50

以上、20kV以下である、請求項1～17の何れか一項に記載のエッティング方法。

【請求項19】

前記(c)において前記基板支持器に周期的に印加される前記負の直流電圧は、5%以上、40%以下のデューティ比を有し、

前記(c)において前記負の直流電圧が前記基板支持器に印加される時間間隔の逆数であるバイアス周波数は、100kHz以上、1MHz以下である、

請求項1～18の何れか一項に記載のエッティング方法。

【請求項20】

前記基板は、下地領域又はエッティング停止層を更に有し、該エッティング方法は、

(d) 前記下地領域又は前記エッティング停止層が露出するときを含む期間において、前記処理ガスのうち前記六フッ化タンゲスタンガスの供給を停止する工程と、

(e) 前記処理ガスに含まれる前記六フッ化タンゲスタンガス以外の他のガスから生成したプラズマにより、前記シリコン含有膜をエッティングする工程と、
を更に含む、請求項1～19のいずれか一項に記載のエッティング方法。

【請求項21】

(a) シリコン含有膜を有する基板を準備する工程であり、該基板はチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される、該工程と、

(b) 六フッ化タンゲスタンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有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、

(c) 前記処理ガスからプラズマを生成して、前記シリコン含有膜をエッティングする工程と、

を含み、

前記(c)は、

前記エッティングにより前記シリコン含有膜に形成される凹部の底面において前記シリコン含有膜中の一部のシリコン原子をタンゲスタン原子に置換することと、

前記一部のシリコン原子がタンゲスタン原子によって置換された前記シリコン含有膜を除去するように前記基板を電気的にバイアスすることと、

を含む、

エッティング方法。

【請求項22】

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持器と、

六フッ化タンゲスタンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有ガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に供給するように構成されたガス供給部と、

前記チャンバ内で前記処理ガスからプラズマを生成するように構成されたプラズマ生成部と、

負の直流電圧を前記基板支持器に周期的に印加するように構成されたバイアス電源と、
を備えるプラズマ処理装置。

【請求項23】

(a) シリコン含有膜を有する基板を準備する工程であり、該基板はチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される、該工程と、

(b) 六フッ化タンゲスタンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有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、

(c) 前記処理ガスからプラズマを生成して、前記シリコン含有膜をエッティングする工程と、

を含み、

前記(c)は、前記基板支持器に負の直流電圧を周期的に印加することを含み、

前記(c)において、

前記負の直流電圧の絶対値は、1kV以上、20kV以下であり、

前記負の直流電圧は、5%以上、40%以下のデューティ比で前記基板支持器に周期

10

20

30

40

50

的に印加され、

前記負の直流電圧が前記基板支持器に印加される時間間隔の逆数であるバイアス周波数は、100 kHz以上、1 MHz以下である、

エッチング方法。

【請求項 24】

ガス導入口及び排気口を備えるチャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持器と、

前記チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成するように構成されたプラズマ生成部と、

負の直流電圧を前記基板支持器に周期的に印加するように構成されたバイアス電源と、

制御部と、

を備え、

前記制御部は、

(a)シリコン含有膜を有する基板を前記基板支持器上に載置する工程と、

(b)前記ガス導入口から、六フッ化タンゲスタンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有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、

(c)前記プラズマ生成部を制御して前記処理ガスからプラズマを生成し、前記バイアス電源を制御して、1 kV以上、20 kV以下の絶対値を有する前記負の直流電圧を、5%以上、40%以下のデューティ比で前記基板支持器に周期的に印加することにより、前記シリコン含有膜をエッチングする工程と、

をもたらすよう構成され、

前記(c)において、前記負の直流電圧が前記基板支持器に印加される時間間隔の逆数であるバイアス周波数は、100 kHz以上、1 MHz以下である、

プラズマ処理装置。

【請求項 25】

前記プラズマ生成部は、前記基板支持器に接続された高周波電源である、請求項24に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 26】

前記基板支持器の上方に設けられた上部電極を更に備える、請求項24又は25に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 27】

前記上部電極には直流電源が接続されており、

前記制御部は、前記(c)において、前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されていないときに、前記直流電源を制御して前記上部電極に負の直流電圧を印加するように更に構成されている、

請求項26に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 28】

前記上部電極には直流電源が接続されており、

前記制御部は、前記(c)において前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されているときに前記直流電源を制御して、

前記上部電極に前記負の直流電圧を印加しないか、或いは、

前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されていないときに前記上部電極に印加される前記負の直流電圧の絶対値よりも小さい絶対値を有する負の直流電圧を前記上部電極に印加する、

ようにより構成されている、請求項26に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 29】

前記排気口に接続された排気装置を更に備え、

前記制御部は、前記(c)において前記排気装置を制御して、前記チャンバ内の圧力を1.333 Pa未満に設定するように更に構成されている、

請求項24～28の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【手続補正2】

10

20

30

40

50

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の例示的実施形態は、エッティング方法及びプラズマ処理装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

プラズマエッティングが基板のシリコン含有膜に凹部を形成するために行われている。プラズマエッティングでは、凹部の形状異常を抑制するために、基板の表面上に導電層を形成しつつシリコン含有膜をエッティングする技術が提案されている。特許文献1は、このような技術を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平9-50984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、シリコン含有膜に形成される凹部の形状異常を抑制し、且つ、凹部の底のエッティングを進行させる技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一つの例示的実施形態において、エッティング方法が提供される。エッティング方法は、シリコン酸化膜を含むシリコン含有膜を有する基板を準備する工程(a)を含む。基板はチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される。エッティング方法は、処理ガスをチャンバ内に供給する工程(b)を更に含む。処理ガスは、六フッ化タンゲステンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有ガスを含む。エッティング方法は、処理ガスからプラズマを生成して、シリコン含有膜をエッティングする工程(c)を更に含む。工程(c)は、基板支持器に負の直流電圧を周期的に印加することを含む。

【発明の効果】

【0006】

一つの例示的実施形態によれば、シリコン含有膜に形成される凹部の形状異常を抑制し、且つ、凹部の底のエッティングを進行させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】一つの例示的実施形態に係るエッティング方法の流れ図である。

【図2】一例の基板の部分拡大断面図である。

【図3】別の一例の基板の部分拡大断面図である。

【図4】図1に示すエッティング方法の工程STcによる処理中の一例の基板の部分拡大断面図である。

【図5】図1に示すエッティング方法における工程STc2に関連するタイミングチャートである。

【図6】図1に示すエッティング方法の実行後の状態の一例の基板の部分拡大断面図である。

【図7】別の例の基板の部分拡大断面図である。

【図8】別の例示的実施形態に係るエッティング方法の流れ図である。

10

20

30

40

50

【図9】一つの例示的実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10】実験においてエッティングされたサンプル基板の一部を概略的に示す断面図である。

【図11】図11の(a)は、実験で得られた領域R_Sにおけるシリコンとタンゲステンの各々の原子分率を示すグラフであり、図11の(b)は、実験で得られた領域R_Bにおけるシリコンとタンゲステンの各々の原子分率を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、種々の例示的実施形態について説明する。

【0009】

一つの例示的実施形態において、エッティング方法が提供される。エッティング方法は、シリコン酸化膜を含むシリコン含有膜を有する基板を準備する工程(a)を含む。基板はチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される。エッティング方法は、処理ガスをチャンバ内に供給する工程(b)を更に含む。処理ガスは、六フッ化タンゲステンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有ガスを含む。エッティング方法は、処理ガスからプラズマを生成して、シリコン含有膜をエッティングする工程(c)を更に含む。工程(c)は、基板支持器に負の直流電圧を周期的に印加することを含む。

【0010】

一つの例示的実施形態において、工程(c)は、エッティングによりシリコン含有膜に形成される凹部の底面においてシリコン含有膜中の一部のシリコン原子をタンゲステン原子に置換することを含んでいてもよい。工程(c)は、一部のシリコン原子がタンゲステン原子によって置換されたシリコン含有膜をエッティングすることを更に含んでいてもよい。

【0011】

一つの例示的実施形態において、工程(c)は、基板支持器に負の直流電圧が印加されていないときに、基板支持器の上方に設けられた上部電極に負の直流電圧を印加することを含んでいてもよい。この実施形態では、基板支持器に負の直流電圧が印加されていないときに、上部電極から放出される比較的多量の2次電子を基板に供給することが可能となる。したがって、凹部の底における帯電を中和することが可能となる。

【0012】

一つの例示的実施形態では、工程(c)において基板支持器に負の直流電圧が印加されているときに、上部電極には負の直流電圧が印加されなくてもよい。或いは、基板支持器に負の直流電圧が印加されていないときに上部電極に印加される負の直流電圧の絶対値よりも小さい絶対値を有する負の直流電圧が、基板支持器に負の直流電圧が印加されているときに上部電極に印加されてもよい。

【0013】

一つの例示的実施形態では、工程(c)におけるチャンバ内の圧力は、1.333Pa未満に設定されてもよい。

【0014】

一つの例示的実施形態において、処理ガスの流量に対する処理ガス中の六フッ化タンゲステンガスの流量の割合は、5体積%以下であってもよい。

【0015】

一つの例示的実施形態において、処理ガスは、三フッ化窒素ガスを更に含んでいてよい。

【0016】

一つの例示的実施形態において、処理ガスの流量に対する処理ガス中の三フッ化窒素ガスの流量の割合は、処理ガス中の六フッ化タンゲステンガスの流量よりも多くてもよい。

【0017】

一つの例示的実施形態において、シリコン含有膜は、シリコン酸化膜を含んでいてよい。処理ガスは、炭素及びフッ素を含有するガスとして、フルオロカーボンガスを含んで

10

20

30

40

50

いてもよい。シリコン含有膜は、シリコン窒化膜を更に含んでいてもよい。工程 (c) において、エッティングによりシリコン窒化膜に形成される側壁にタンゲステン含有膜が形成されてもよい。シリコン含有膜は、多結晶シリコン膜を更に含んでいてもよい。

【0018】

一つの例示的実施形態において、シリコン含有膜は、シリコン窒化膜を含んでいてもよい。処理ガスは、炭素及びフッ素を含有するガスとして、ハイドロフルオロカーボンガスを含んでいてもよい。

【0019】

一つの例示的実施形態において、シリコン含有膜は、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜を有する積層膜を含んでいてもよい。工程 (c) は、負の直流電圧が基板支持器に印加される時間間隔の逆数であるバイアス周波数が第1の周波数に設定された状態で、シリコン窒化膜をエッティングすることを含んでいてもよい。工程 (c) は、バイアス周波数が第1の周波数よりも大きい第2の周波数に設定された状態で、シリコン酸化膜をエッティングすることを含んでいてもよい。

10

【0020】

一つの例示的実施形態において、基板は、下地領域又はエッティング停止層を更に有していてもよい。エッティング方法は、下地領域又はエッティング停止層が露出するときを含む期間において、処理ガスのうち六フッ化タンゲステンガスの供給を停止する工程を更に含んでいてもよい。エッティング方法は、処理ガスに含まれる六フッ化タンゲステンガス以外の他のガスから生成したプラズマにより、シリコン含有膜をエッティングする工程を更に含んでいてもよい。

20

【0021】

別の例示的実施形態に係るエッティング方法は、シリコン酸化膜を含むシリコン含有膜を有する基板を準備する工程 (a) を含む。基板はチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される。エッティング方法は、六フッ化タンゲステンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有ガスを含む処理ガスをチャンバ内に供給する工程 (b) を更に含む。エッティング方法は、処理ガスからプラズマを生成して、シリコン含有膜をエッティングする工程 (c) を更に含む。工程 (c) は、エッティングによりシリコン含有膜に形成される凹部の底面においてシリコン含有膜中の一部のシリコン原子をタンゲステン原子に置換することを含む。工程 (c) は、一部のシリコン原子がタンゲステン原子によって置換されたシリコン含有膜を除去するように基板を電気的にバイアスすることを含む。

30

【0022】

更に別の例示的実施形態において、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持器、ガス供給部、プラズマ生成部、及び直流電源を備える。基板支持器は、下部電極を含み、チャンバ内に設けられている。ガス供給部は、六フッ化タンゲステンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有ガスを含む処理ガスをチャンバ内に供給するように構成されている。プラズマ生成部は、チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成するように構成されている。直流電源は、負の直流電圧を基板支持器に周期的に印加するように構成されている。

40

【0023】

以下、図面を参照して種々の例示的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又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

【0024】

図1は、一つの例示的実施形態に係るエッティング方法の流れ図である。図1に示すエッティング方法（以下、「方法MT」という）は、基板のシリコン含有膜をエッティングして、シリコン含有膜に凹部を形成するために行われる。

【0025】

図2は、一例の基板の部分拡大断面図である。図3は、別の一例の基板の部分拡大断面図である。方法MTは、図2又は図3に示す基板Wに適用され得る。図2及び図3に示すように、基板Wは、シリコン含有膜SFを有する。基板Wは、マスクMK及び下地領域U

50

Rを更に有していてもよい。シリコン含有膜S Fは、下地領域U R上に設けられている。マスクM Kは、シリコン含有膜S F上に設けられている。マスクM Kは、多結晶シリコン又はアモルファスカーボンのような有機材料から形成される。マスクM Kは、エッティングによってシリコン含有膜S Fに転写されるパターンを有する。即ち、マスクM Kは、一つ以上の開口を提供している。

【0026】

シリコン含有膜S Fは、シリコンを含む少なくとも一つの材料から形成されている。シリコン含有膜S Fは、シリコン酸化膜O Xを含んでいてもよい。シリコン含有膜S Fは、シリコン酸化膜の単層膜から形成されていてもよい。シリコン含有膜S Fは、一つ以上のシリコン酸化膜O Xと一つ以上のシリコン窒化膜S Nを含む多層膜から形成されていてもよい。図3に示すように、シリコン含有膜S Fは、シリコン酸化膜O Xとシリコン窒化膜S Nを有する積層膜を含んでいてもよい。シリコン窒化膜S Nは、シリコン酸化膜O X上に設けられていてもよい。シリコン含有膜S Fは、一つ以上のシリコン酸化膜と一つ以上の多結晶シリコン膜を含む多層膜から形成されていてもよい。

【0027】

図1に示すように、方法M Tは、工程S T aで開始する。工程S T aでは、基板Wが準備される。工程S T aにおいて、基板Wは、プラズマ処理装置のチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される。

【0028】

続く工程S T bにおいて、プラズマ処理装置のチャンバ内に処理ガスが供給される。処理ガスは、六フッ化タンゲスタンガス(W F₆ガス)、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有ガスを含む。処理ガスは、三フッ化窒素ガス(N F₃ガス)を更に含んでいてもよい。チャンバ内に供給される処理ガスの流量に対する当該処理ガス中の三フッ化窒素ガスの流量の割合は、当該処理ガス中の六フッ化タンゲスタンガスの流量よりも多くてもよい。チャンバ内に供給される処理ガスの流量に対するW F₆ガスの流量の割合は、5体積%以下であってもよい。

【0029】

シリコン含有膜S Fがシリコン酸化膜O Xを含む場合には、処理ガス中の炭素及びフッ素を含有するガスは、フルオロカーボンガスを含む。フルオロカーボンガスは、C₄F₆ガス、C₄F₈ガス、C₃F₈ガス、及びC F₄ガスのうち一つ以上を含み得る。シリコン含有膜S Fがシリコン窒化膜S Nを含む場合には、処理ガス中の炭素及びフッ素を含有するガスは、ハイドロフルオロカーボンガスを含んでいてもよい。ハイドロフルオロカーボンガスは、C H₃Fガス、C H₂F₂ガス、及びC H F₃ガスのうち一つ以上を含み得る。処理ガス中の酸素含有ガスは、O₂ガス、C Oガス、及びC O₂ガスのうち一つ以上を含み得る。

【0030】

工程S T cは、工程S T bにおけるチャンバ内への処理ガスの供給中に行われる。工程S T cは、工程S T c 1及び工程S T c 2を含む。工程S T c 1では、チャンバ内で処理ガスからプラズマが生成される。工程S T cでは、シリコン含有膜S Fが、プラズマからの化学種によりエッティングされる。図4は、図1に示すエッティング方法の工程S T cによる処理中の一例の基板の部分拡大断面図である。図4に示すように、工程S T cのエッティングにより、シリコン含有膜S Fに凹部R Cが形成される。工程S T cでは、凹部R Cの底面においてシリコン含有膜S F中の一部のシリコン原子が、プラズマから供給されるタンゲスタン原子に置換される。

【0031】

シリコン含有膜S Fがシリコン窒化膜S Nを含む場合には、工程S T cでは、凹部R Cを画成するシリコン窒化膜S Nの側壁にタンゲスタン含有膜W Fが形成される。工程S T cにおいて、タンゲスタン含有膜W Fは、マスクM Kの表面上に形成され得る。

【0032】

工程S T c 2は、工程S T c 1において生成されたプラズマがチャンバ内に存在すると

10

20

30

40

50

きに行われる。工程 S T c 2 では、一部のシリコン原子がタンゲステン原子によって置換されたシリコン含有膜 S F が、エッチング又は除去される。工程 S T c 2 では、基板 W が電気的にバイアスされる。このため、工程 S T c 2 では、基板支持器に電気バイアス E B が与えられる。電気バイアス E B は、基板支持器内の下部電極に与えられてもよい。

【 0 0 3 3 】

一実施形態において、電気バイアス E B は、直流電源によって発生される直流電圧に対する波形生成器を用いた波形整形により生成される電圧である。電気バイアス E B である電圧は、矩形パルス波形、三角波パルス波形、任意の波形を有し得る。電気バイアス E B である電圧は、基板支持器に周期的に印加される。電気バイアス E B である電圧の極性は、プラズマと基板 W との間に電位差を与えて基板 W にイオンを引き込むように基板 W の電位が設定されれば、負であっても、正であってもよい。

【 0 0 3 4 】

図 5 は、図 1 に示すエッチング方法における工程 S T c 2 に関するタイミングチャートである。一実施形態では、図 5 に示すように、工程 S T c 2 では、電気バイアス E B として、負の直流電圧が、基板支持器に周期 C Y (時間間隔) で周期的に印加される。周期 C Y は、期間 P A 及び期間 P B を含む。負の直流電圧は、期間 P A において基板支持器に印加される。期間 P B では、基板支持器に対する負の直流電圧の印加は停止される。期間 P A において基板支持器に印加される負の直流電圧の絶対値は、1 kV 以上、20 kV 以下であり得る。周期 C Y において期間 P A が占める割合、即ち工程 S T c において基板支持器に周期的に印加される負の直流電圧が有するデューティ比は、5 % 以上、40 % 以下であり得る。このデューティ比は、10 % 以上、30 % 以下であってもよい。また、周期 C Y を規定する周波数、即ち負の直流電圧が基板支持器に印加される時間間隔の逆数であるバイアス周波数は、100 kHz 以上、1 MHz 以下であり得る。バイアス周波数は、300 kHz 以上、800 kHz 以下であってもよい。バイアス周波数は、500 kHz 以下であってもよい。なお、周期 C Y の時間長は、周期 C Y を規定するバイアス周波数の逆数である。工程 S T c において基板支持器に印加される負の直流電圧のレベル、デューティ比、及び周波数のかかる範囲によれば、十分なエネルギーを有するイオンを凹部 R C の底に供給して、凹部 R C の底でのタンゲステン含有膜の形成を抑制することが可能となる。

【 0 0 3 5 】

図 6 は、図 1 に示すエッチング方法の実行後の状態の一例の基板の部分拡大断面図である。図 6 に示すように、工程 S T c では、凹部 R C が下地領域 U R の表面に達するまでシリコン含有膜 S F をエッチングしてもよい。工程 S T c が完了すると、方法 M T は終了する。

【 0 0 3 6 】

方法 M T では、凹部 R C を画成する底面においてシリコン含有膜 S F の一部のシリコン原子がタンゲステンに置換される。タンゲステンの原子量はシリコンの原子量よりも大きいので、シリコン含有膜 S F において一部のシリコン原子がタンゲステンに置換された部分は、化学的に不安定になる。また、当該部分には、プラズマからのフッ素イオンが電気的に引き付けられやすくなる。また、シリコン含有膜 S F がシリコン酸化膜 O X を含む場合には、タンゲステンと酸素の結合エネルギーは、シリコンと酸素の結合エネルギーよりも低いので、当該部分は、エッチングされ易い。したがって、方法 M T によれば、シリコン含有膜 S F の高いエッチングレートが得られる。また、シリコン含有膜 S F のエッチングレートが高いので、シリコン含有膜 S F の側壁がプラズマからの化学種に晒される時間が短くなる。その結果、シリコン含有膜 S F 、例えばシリコン酸化膜 O X のボーリングが抑制される。

【 0 0 3 7 】

一実施形態において、方法 M T で用いられるプラズマ処理装置は、容量結合型のプラズマ処理装置であってもよい。即ち、プラズマ処理装置は、上部電極を更に備えていてよい。上部電極は、基板支持器の上方に設けられる。工程 S T c では、上部電極に別の電気

10

20

30

40

50

バイアス D C S が与えられてもよい。具体的には、図 5 に示すように、工程 S T c では、電気バイアス D C S として、負の直流電圧が、周期 C Y 内の期間 P B において上部電極に印加される。即ち、工程 S T c において基板支持器に負の直流電圧が印加されていないときに、上部電極に負の直流電圧が印加される。この実施形態では、上部電極から放出される比較的多量の 2 次電子を基板 W に供給することが可能となる。したがって、凹部 R C の底における帯電を中和することが可能となる。なお、期間 P A において、上部電極に対する負の直流電圧の印加は停止されてもよい。或いは、期間 P A において上部電極に印加される負の直流電圧の絶対値は、期間 P B において上部電極に印加される負の直流電圧の絶対値よりも小さくてもよい。

【 0 0 3 8 】

10

一実施形態では、工程 S T c が行われている期間において、チャンバ内の圧力は、10 mTorr (1.333 Pa) 未満の低い圧力に設定されてもよい。この場合には、フルオロカーボンガスのような炭素及びフッ素を含むガスの過剰な解離が抑制される。その結果、炭素含有物質の基板 W 上への過剰な堆積が抑制される。また、凹部 R C を画成する側壁に堆積した炭素含有物質に衝突して反跳したイオンがシリコン酸化膜 O X にボーリングを生じさせることが抑制される。

【 0 0 3 9 】

20

工程 S T c が行われている期間において、基板支持器の温度は、0 以上、120 以下の温度に設定されてもよい。工程 S T c における基板支持器の温度が 0 よりも低い場合には、マスク M K に対する堆積物の付着係数が高いので、マスク M K 上の堆積物による閉塞（クロッギング）が生じて、エッチングの不良が生じ得る。また、工程 S T c における基板支持器の温度が 120 よりも高い場合には、マスク M K に対する堆積物の付着係数が低いので、凹部 R C 内の堆積物の量が過剰となって、エッチングの不良が生じ得る。

【 0 0 4 0 】

また、上述したように、処理ガスが三フッ化窒素ガスを更に含んでいる場合には、マスク M K の上部に堆積する炭素含有物質の量を調整することができる。その結果、マスク M K の開口の縮小又は閉塞を抑制することができる。

【 0 0 4 1 】

30

また、上述したように、一実施形態においては、チャンバ内に供給される処理ガスの流量に対する当該処理ガス中の三フッ化窒素ガスの流量の割合は、当該処理ガス中の六フッ化タンゲステンガスの流量よりも多くてもよい。この場合には、基板 W 上への過剰なタンゲステン含有物質の堆積が抑制される。

【 0 0 4 2 】

また、上述したように、一実施形態においては、チャンバ内に供給される処理ガスの流量に対する六フッ化タンゲステンガスの流量の割合は、5 体積% 以下であってもよい。この場合には、凹部 R C を画成する底面上への過剰なタンゲステン含有物質の堆積が抑制される。

【 0 0 4 3 】

40

一実施形態では、工程 S T c は、バイアス周波数が第 1 の周波数に設定された状態でシリコン窒化膜 S N をエッチングすることと、バイアス周波数が第 2 の周波数に設定された状態で、シリコン酸化膜 O X をエッチングすることと、を含んでいてもよい。第 1 の周波数は、200 kHz 以上、300 kHz 以下であり得る。第 2 の周波数は、第 1 の周波数よりも大きい。バイアス周波数が第 1 の周波数に設定された状態では、エッチングに寄与する主な化学種はラジカルである。一方、バイアス周波数が第 2 の周波数に設定された状態では、エッチングに寄与する主な化学種はイオンである。したがって、この場合には、シリコン窒化膜 S N をプラズマからのラジカルによりエッチングすることができる。また、シリコン酸化膜 O X をプラズマからのイオンによりエッチングすることができる。

【 0 0 4 4 】

以下、図 7 を参照する。図 7 は、別の例の基板の部分拡大断面図である。方法 M T は、図 7 に示す基板 W に適用されてもよい。図 7 に示す基板 W は、図 2 又は図 3 に示す基板 W

50

と同様に、下地領域 U R 、シリコン含有膜 S F 、及びマスク M K を有している。マスク M K は、複数の開口を提供している。図 7 に示す基板 W は、複数のエッチング停止層 E S を更に有する。複数のエッチング停止層 E S の各々は、マスク M K の複数の開口のうち対応の開口と下地領域 U R との間でシリコン含有膜 S F 内に設けられている。シリコン含有膜 S F 内の膜厚方向における複数のエッチング停止層 E S の位置は、互いに異なっている。複数のエッチング停止層 E S は、例えばタンクステンから形成されている。図 7 に示す基板 W に方法 M T が適用される場合には、工程 S T c のシリコン含有膜 S F のエッチングは、複数のエッチング停止層 E S において停止され得る。

【 0 0 4 5 】

以下、図 8 を参照する。図 8 は、別の例示的実施形態に係るエッチング方法の流れ図である。図 8 に示す方法 M T B は、方法 M T と同じく、工程 S T a 、工程 S T b 、及び工程 S T c を含む。方法 M T B は、工程 S T d 及び工程 S T e を更に含む。工程 S T d 及び工程 S T e は、工程 S T c の後に行われる。

【 0 0 4 6 】

工程 S T d は、工程 S T c のエッチングによって形成された凹部 R C が下地領域 U R 又はエッチング停止層 E S に到達する前に開始される。また、工程 S T d は、下地領域 U R 又はエッチング停止層 E S が露出するときを含む期間において行われる。工程 S T d では、工程 S T b からチャンバ内に供給されている処理ガスに含まれる全てのガスのうち六フッ化タンクステンガスの供給が停止される。工程 S T b からチャンバ内に供給されている処理ガスに含まれる他のガスは、工程 S T d 以降、継続してチャンバ内に供給され得る。

【 0 0 4 7 】

工程 S T e は、工程 S T d の後に行われる。工程 S T e では、六フッ化タンクステンガスの供給が停止され、処理ガスに含まれる他のガスがチャンバ内に供給されている状態が継続する。工程 S T e では、処理ガスに含まれる六フッ化タンクステンガス以外の他のガスからチャンバ内でプラズマが生成される。工程 S T e では、シリコン含有膜 S F がプラズマからの化学種によりエッチングされる。なお、工程 S T e において、プラズマは工程 S T c と同様に生成される。また、工程 S T e において、電気バイアス E B は、工程 S T c と同様に周期的に基板支持器に印加される。かかる方法 M T B によれば、下地領域 U R 又はエッチング停止層 E S 上へのタンクステン含有物質の堆積が抑制される。

【 0 0 4 8 】

以下、方法 M T の実行に用いられ得るプラズマ処理装置について説明する。図 9 は、一つの例示的実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 9 に示すプラズマ処理装置 1 は、方法 M T 及び方法 M T B において用いられ得る。プラズマ処理装置 1 は、容量結合型のプラズマ処理装置である。

【 0 0 4 9 】

プラズマ処理装置 1 は、チャンバ 1 0 を備えている。チャンバ 1 0 は、その中に内部空間 1 0 s を提供している。チャンバ 1 0 の中心軸線は、鉛直方向に延びる軸線 A X である。一実施形態において、チャンバ 1 0 は、チャンバ本体 1 2 を含んでいる。チャンバ本体 1 2 は、略円筒形状を有している。内部空間 1 0 s は、チャンバ本体 1 2 の中に提供されている。チャンバ本体 1 2 は、例えばアルミニウムから構成されている。チャンバ本体 1 2 は、電気的に接地されている。チャンバ本体 1 2 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、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。

【 0 0 5 0 】

チャンバ本体 1 2 は、その側壁において通路 1 2 p を提供している。基板 W は、内部空間 1 0 s とチャンバ 1 0 の外部との間で搬送されるときに、通路 1 2 p を通過する。通路 1 2 p は、ゲートバルブ 1 2 g により開閉可能となっている。ゲートバルブ 1 2 g は、チャンバ本体 1 2 の側壁に沿って設けられている。

【 0 0 5 1 】

プラズマ処理装置 1 は、基板支持器 1 6 を更に備えている。基板支持器 1 6 は、チャン

10

20

30

40

50

バ 1 0 内で基板 W を支持するように構成されている。基板 W は、略円盤形状を有し得る。基板支持器 1 6 は、支持体 1 5 によって支持されていてもよい。支持体 1 5 は、チャンバ本体 1 2 の底部から上方に延在している。支持体 1 5 は、略円筒形状を有している。支持体 1 5 は、石英といった絶縁材料から形成されている。

【 0 0 5 2 】

基板支持器 1 6 は、基台 1 8 を含んでいる。基板支持器 1 6 は、静電チャック 2 0 を更に含んでいてもよい。また、基板支持器 1 6 は、電極プレート 1 9 を更に含んでいてもよい。電極プレート 1 9 は、アルミニウムといった導電性材料から形成されている。電極プレート 1 9 は略円盤形状を有しており、その中心軸線は軸線 A X である。基台 1 8 は、電極プレート 1 9 上に設けられている。基台 1 8 は、アルミニウムといった導電性材料から形成されている。基台 1 8 は略円盤形状を有しており、その中心軸線は軸線 A X である。基台 1 8 は、電極プレート 1 9 に電気的に接続されている。

【 0 0 5 3 】

基台 1 8 は、その内部において流路 1 8 f を提供している。流路 1 8 f は、熱交換媒体（例えは冷媒）用の流路である。流路 1 8 f は、供給装置（例えは、チラーユニット）からの熱交換媒体を、配管 2 3 a を介して受ける。この供給装置は、チャンバ 1 0 の外部に設けられている。流路 1 8 f に供給された熱交換媒体は、流路 1 8 f を流れて、配管 2 3 b を介して供給装置に戻される。熱交換媒体の供給装置は、プラズマ処理装置 1 の温度調整機構を構成する。

【 0 0 5 4 】

静電チャック 2 0 は、基台 1 8 上に設けられている。基板 W は、静電チャック 2 0 の上面の上に載置される。静電チャック 2 0 は、本体及びチャック電極を有する。静電チャック 2 0 の本体は、誘電体から形成されている。静電チャック 2 0 及びその本体の各々は、略円盤形状を有しており、その中心軸線は軸線 A X である。チャック電極は、導体から形成された膜であり、静電チャック 2 0 の本体内に設けられている。チャック電極は、スイッチを介して直流電源に接続されている。直流電源からの電圧がチャック電極に印加されると、静電チャック 2 0 と基板 W との間で静電引力が発生する。発生した静電引力により、基板 W は、静電チャック 2 0 に引き付けられ、静電チャック 2 0 によって保持される。

【 0 0 5 5 】

基板支持器 1 6 は、その上に配置されるエッジリング E R を更に支持してもよい。エッジリング E R は、シリコン、炭化シリコン、又は石英から形成され得る。基板 W は、静電チャック 2 0 上且つエッジリング E R によって囲まれた領域内に配置される。

【 0 0 5 6 】

プラズマ処理装置 1 は、ガス供給ライン 2 5 を更に備えていてもよい。ガス供給ライン 2 5 は、ガス供給機構からの伝熱ガス（例えは H e ガス）を、静電チャック 2 0 の上面と基板 W の裏面（下面）との間の間隙に供給する。

【 0 0 5 7 】

プラズマ処理装置 1 は、筒状部 2 8 及び絶縁部 2 9 を更に備えていてもよい。筒状部 2 8 は、チャンバ本体 1 2 の底部から上方に延在している。筒状部 2 8 は、支持体 1 5 の外周に沿って延在している。筒状部 2 8 は、導電性材料から形成されており、略円筒形状を有している。筒状部 2 8 は、電気的に接地されている。絶縁部 2 9 は、筒状部 2 8 上に設けられている。絶縁部 2 9 は、絶縁性を有する材料から形成されている。絶縁部 2 9 は、例えは石英といったセラミックから形成されている。絶縁部 2 9 は、略円筒形状を有している。絶縁部 2 9 は、電極プレート 1 9 の外周、基台 1 8 の外周、及び静電チャック 2 0 の外周に沿って延在している。

【 0 0 5 8 】

プラズマ処理装置 1 は、上部電極 3 0 を更に備えている。上部電極 3 0 は、基板支持器 1 6 の上方に設けられている。上部電極 3 0 は、部材 3 2 を介して、チャンバ本体 1 2 の上部に支持されている。部材 3 2 は、絶縁性を有する材料から形成されている。上部電極 3 0 と部材 3 2 は、チャンバ本体 1 2 の上部開口を閉じている。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

上部電極 3 0 は、天板 3 4 及び支持体 3 6 を含んでいてもよい。天板 3 4 の下面是、内部空間 1 0 s の側の下面であり、内部空間 1 0 s を画成している。天板 3 4 は、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。一実施形態においては、天板 3 4 は、シリコンから形成されている。天板 3 4 は、複数のガス孔 3 4 a を提供している。複数のガス孔 3 4 a は、天板 3 4 をその板厚方向に貫通している。

【 0 0 6 0 】

支持体 3 6 は、天板 3 4 を着脱自在に支持する。支持体 3 6 は、アルミニウムといった導電性材料から形成される。支持体 3 6 は、その内部においてガス拡散室 3 6 a を提供している。支持体 3 6 は、複数のガス孔 3 6 b を更に提供している。複数のガス孔 3 6 b は、ガス拡散室 3 6 a から下方に延びている。複数のガス孔 3 6 b は、複数のガス孔 3 4 a にそれぞれ連通している。支持体 3 6 は、ガス導入口 3 6 c を更に提供している。ガス導入口 3 6 c は、ガス拡散室 3 6 a に接続している。ガス導入口 3 6 c には、ガス供給管 3 8 が接続されている。

【 0 0 6 1 】

ガス供給管 3 8 には、バルブ群 4 1 、流量制御器群 4 2 、及びバルブ群 4 3 を介して、ガスソース群 4 0 が接続されている。ガスソース群 4 0 、バルブ群 4 1 、流量制御器群 4 2 、及びバルブ群 4 3 は、ガス供給部 G S を構成している。ガスソース群 4 0 は、複数のガスソースを含んでいる。ガスソース群 4 0 の複数のガスソースは、方法 M T 又は方法 M T B で利用される複数のガスのソースを含んでいる。バルブ群 4 1 及びバルブ群 4 3 の各々は、複数の開閉バルブを含んでいる。流量制御器群 4 2 は、複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群 4 2 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 4 0 の複数のガスソースの各々は、バルブ群 4 1 の対応の開閉バルブ、流量制御器群 4 2 の対応の流量制御器、及びバルブ群 4 3 の対応の開閉バルブを介して、ガス供給管 3 8 に接続されている。

【 0 0 6 2 】

プラズマ処理装置 1 は、シールド 4 6 を更に備えていてもよい。シールド 4 6 は、チャンバ本体 1 2 の内壁面に沿って着脱自在に設けられている。シールド 4 6 は、チャンバ本体 1 2 にプラズマ処理の副生物が付着することを防止する。シールド 4 6 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、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。

【 0 0 6 3 】

プラズマ処理装置 1 は、バッフル部材 4 8 を更に備えていてもよい。バッフル部材 4 8 は、基板支持器 1 6 を囲む部材（例えば、筒状部 2 8 ）とシールド 4 6 との間に設けられている。バッフル部材 4 8 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、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。バッフル部材 4 8 は、複数の貫通孔を提供している。バッフル部材 4 8 の下方、且つ、チャンバ本体 1 2 の底部には、排気口が設けられている。排気口には、排気装置 5 0 が、排気管 5 2 を介して接続されている。排気装置 5 0 は、圧力調整弁及びターボ分子ポンプといった真空ポンプを有している。

【 0 0 6 4 】

プラズマ処理装置 1 は、高周波電源 6 1 及びバイアス電源 6 2 を更に備えている。高周波電源 6 1 は、高周波電力（以下、「高周波電力 H F 」という）を発生するように構成されている。高周波電力 H F は、プラズマの生成に適した周波数を有する。高周波電力 H F の周波数は、例えば 2 7 M H z 以上、1 0 0 M H z 以下である。高周波電源 6 1 は、整合器 6 1 m を介して基板支持器 1 6 内の電極に接続されている。整合器 6 1 m は、高周波電源 6 1 の負荷側のインピーダンスを、高周波電源 6 1 の出力インピーダンスに整合させるための回路を有している。高周波電源 6 1 は、一実施形態において、プラズマ生成部を構成している。高周波電源 6 1 が接続される基板支持器 1 6 内の電極は、基台 1 8 であって

10

20

30

40

50

もよい。この場合には、基台 1 8 が下部電極を構成する。高周波電源 6 1 が接続される基板支持器 1 6 内の電極は、静電チャック 2 0 内に設けられた電極であってもよい。なお、高周波電源 6 1 は、整合器 6 1 m を介して、上部電極 3 0 に接続されていてもよい。

【 0 0 6 5 】

バイアス電源 6 2 は、電気バイアス E B を基板支持器 1 6 に周期的に印加するように構成されている。上述したように、電気バイアス E B は、直流電源によって発生される直流電圧に対する波形生成器を用いた波形整形により生成される電圧である。電気バイアス E B である電圧は、矩形パルス波形、三角波パルス波形、任意の波形を有し得る。電気バイアス E B である電圧の極性は、プラズマと基板 W との間に電位差を与えて基板 W にイオンを引き込むように基板 W の電位が設定されれば、負であっても、正であってもよい。なお

10

、バイアス電源 6 2 から電気バイアス E B が印加される基板支持器 1 6 内の電極は、基台 1 8 であってもよい。この場合には、基台 1 8 が下部電極を構成する。バイアス電源 6 2 から電気バイアス E B が印加される基板支持器 1 6 内の電極は、静電チャック 2 0 内に設けられた電極であってもよい。

【 0 0 6 6 】

一実施形態では、上述したように、バイアス電源 6 2 は、方法 M T の工程 S T c 2 において、電気バイアス E B として、負の直流電圧を基板支持器 1 6 に周期的に印加するように構成されている。バイアス電源 6 2 からの負の直流電圧は、上述したように、周期 C Y 内の期間 P A において基板支持器 1 6 に印加される。周期 C Y 内の期間 P B において、バイアス電源 6 2 からの負の直流電圧の基板支持器 1 6 に対する印加は、停止される。

20

【 0 0 6 7 】

一実施形態において、プラズマ処理装置 1 は、直流電源 7 0 を更に備えていてもよい。直流電源 7 0 は、上述した電気バイアス D C S を上部電極 3 0 に与えるように構成されている。即ち、直流電源 7 0 は、電気バイアス D C S として、負の直流電圧を上部電極 3 0 に周期的に印加するように構成されている。直流電源 7 0 からの負の直流電圧は、上述したように、周期 C Y 内の期間 P B において上部電極 3 0 に印加される。周期 C Y 内の期間 P A において、直流電源 7 0 からの負の直流電圧の上部電極 3 0 に対する印加は、停止されてもよい。或いは、期間 P A において上部電極に印加される負の直流電圧の絶対値は、期間 P B において上部電極に印加される負の直流電圧の絶対値よりも小さくてもよい。

30

【 0 0 6 8 】

プラズマ処理装置 1 は、制御部 8 0 を更に備えていてもよい。制御部 8 0 は、プロセッサ、記憶装置、入力装置、表示装置等を備えるコンピュータであり、プラズマ処理装置 1 の各部を制御する。具体的に、制御部 8 0 は、記憶装置に記憶されている制御プログラムを実行し、当該記憶装置に記憶されているレシピデータに基づいてプラズマ処理装置 1 の各部を制御する。制御部 8 0 による制御により、レシピデータによって指定されたプロセスがプラズマ処理装置 1 において実行される。方法 M T 及び方法 M T B は、制御部 8 0 によるプラズマ処理装置 1 の各部の制御により、プラズマ処理装置 1 において実行され得る。

【 0 0 6 9 】

プラズマ処理装置 1 を用いて基板 W に方法 M T 又は方法 M T B が適用される場合には、工程 S T a において、基板 W が基板支持器 1 6 上に載置される。続く工程 S T b では、制御部 8 0 は、上述した処理ガスをチャンバ 1 0 内に供給するよう、ガス供給部 G S を制御する。続く工程 S T c では、制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内の圧力を指定された圧力に設定するよう、排気装置 5 0 を制御する。また、工程 S T c では、制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内で処理ガスからプラズマを生成するよう、プラズマ生成部を制御する。具体的に、制御部 8 0 は、高周波電力 H F を供給するよう、高周波電源 6 1 を制御する。また、工程 S T c では、制御部 8 0 は、電気バイアス E B を基板支持器 1 6 に周期的に印加するよう、バイアス電源 6 2 を制御する。一実施形態では、制御部 8 0 は、工程 S T c において、上述した電気バイアス D C S として、負の直流電圧を周期的に上部電極 3 0 に印加するよう、直流電源 7 0 を制御する。

40

50

【0070】

プラズマ処理装置1を用いて基板Wに方法M T Bが適用される場合には、工程S T dにおいて、制御部80は、工程S T bからチャンバに供給されている処理ガスに含まれる六フッ化タンゲステンガスの供給を停止するよう、ガス供給部G Sを制御する。工程S T eにおいて、制御部80は、シリコン含有膜S Fを更にエッチングするために、処理ガスに含まれる六フッ化タンゲステンガス以外の他のガスからプラズマを生成するよう、プラズマ生成部を制御する。具体的に、制御部80は、高周波電力H Fを供給するよう、高周波電源61を制御する。また、工程S T eにおいて、制御部80は、電気バイアスE Bを基板支持器16に周期的に印加するよう、バイアス電源62を制御する。

【0071】

10

以上、種々の例示的実施形態について説明してきたが、上述した例示的実施形態に限定されることなく、様々な追加、省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせて他の実施形態を形成することが可能である。

【0072】

例えば、方法M Tにおいて用いられるプラズマ処理装置は、容量結合型以外の他のタイプのプラズマ処理装置であってもよい。そのようなプラズマ処理装置は、例えば、誘導結合型のプラズマ処理装置、電子サイクロトロン共鳴(E C R)プラズマ処理装置、又はマイクロ波といった表面波を用いてプラズマを生成するプラズマ処理装置である。

【0073】

20

以下、方法M Tの評価のために行った実験について説明する。実験では、図3に示す基板Wと同様の構造を有するサンプル基板を準備した。実験では、プラズマ処理装置1を用いて、サンプル基板に方法M Tを適用した。実験では、シリコン酸化膜O Xの上面と下面との間の深さまで、シリコン含有膜S Fをエッチングした。実験で用いた処理ガスは、C₄F₈ガス、C₄F₆ガス、O₂ガス、及びWF₆ガスの混合ガスであった。図10は、実験においてエッチングされたサンプル基板の一部を概略的に示す断面図である。実験では、T E M / E D Xにより、図10に示す領域R B及び領域R Sにおけるシリコン(S i)とタンゲステン(W)の各々の濃度、即ち原子分率(A t o m i c f r a c t i o n)を測定した。領域R Bは、凹部R Cを画成するシリコン酸化膜O Xの底面を含む。領域R Sは、凹部R Cを画成するシリコン酸化膜O Xの側面を含む。

【0074】

30

図11の(a)は、実験で得られた領域R Sにおけるシリコン(S i)とタンゲステン(W)の各々の原子分率を示すグラフである。図11の(b)は、実験で得られた領域R Bにおけるシリコン(S i)とタンゲステン(W)の各々の原子分率を示すグラフである。図11の(a)において横軸は領域R Sの水平方向の位置を示しており、図11の(b)において横軸は領域R Bの水平方向の位置を示している。図11の(a)に示すように、領域R Sでは、タンゲステンの濃度の大きなピークは検出されなかった。一方、図11の(b)に示すように、領域R Bでは、凹部R Cを画成する底面を含む箇所でタンゲステンの濃度の大きなピークが検出された。したがって、方法M Tによれば、凹部R Cを画成する底面を含む箇所で、一部のシリコン原子がタンゲステン原子で置換されることが確認された。

40

【0075】

本開示は、以下に付記として示す実施形態を含む。

【付記1】

(a)シリコン酸化膜を含むシリコン含有膜を有する基板を準備する工程であり、該基板はチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される、該工程と、

(b)六フッ化タンゲステンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有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、

(c)前記処理ガスからプラズマを生成して、前記シリコン含有膜をエッチングする工程と、

を含み、

50

前記(c)は、前記基板支持器に負の直流電圧を周期的に印加することを含む、エッチング方法。

[付記2]

前記(c)は、

前記エッチングにより前記シリコン含有膜に形成される凹部の底面において前記シリコン含有膜中の一部のシリコン原子をタンゲステン原子に置換することと、

前記一部のシリコン原子が前記タンゲステン原子によって置換された前記シリコン含有膜をエッチングすることと、

を含む、付記1に記載のエッチング方法。

[付記3]

前記(c)は、前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されていないときに、前記基板支持器の上方に設けられた上部電極に負の直流電圧を印加することを含む、付記1又は2に記載のエッチング方法。

[付記4]

前記(c)において前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されているときに、前記上部電極には前記負の直流電圧が印加されないか、或いは、前記基板支持器に前記負の直流電圧が印加されていないときに前記上部電極に印加される前記負の直流電圧の絶対値よりも小さい絶対値を有する負の直流電圧が前記上部電極に印加される、付記3に記載のエッチング方法。

[付記5]

前記(c)における前記チャンバ内の圧力は、1.333Pa未満に設定される、付記1~4の何れか一項に記載のエッチング方法。

[付記6]

前記処理ガスの流量に対する前記処理ガス中の前記六フッ化タンゲステンガスの流量の割合は、5体積%以下である、付記1~5の何れか一項に記載のエッチング方法。

[付記7]

前記処理ガスは、三フッ化窒素ガスを更に含む、付記1~6の何れか一項に記載のエッチング方法。

[付記8]

前記処理ガスの流量に対する前記処理ガス中の前記三フッ化窒素ガスの流量の割合は、前記処理ガス中の前記六フッ化タンゲステンガスの流量よりも多い、付記7に記載のエッチング方法。

[付記9]

前記処理ガスは、炭素及びフッ素を含有する前記ガスとして、フルオロカーボンガスを含む、付記1~8の何れか一項に記載のエッチング方法。

[付記10]

前記シリコン含有膜は、シリコン窒化膜を更に含む、付記9に記載のエッチング方法。

[付記11]

前記シリコン含有膜は、多結晶シリコン膜を更に含む、付記9に記載のエッチング方法。

[付記12]

前記シリコン含有膜は、シリコン窒化膜を更に含み、

前記処理ガスは、炭素及びフッ素を含有する前記ガスとして、ハイドロフルオロカーボンガスを含む、

付記1~8の何れか一項に記載のエッチング方法。

[付記13]

前記(c)において、前記エッチングにより前記シリコン窒化膜に形成される側壁にタンゲステン含有膜が形成される、付記10に記載のエッチング方法。

[付記14]

前記シリコン含有膜は、前記シリコン酸化膜とシリコン窒化膜を有する積層膜を含み、

前記(c)は、

10

20

30

40

50

前記負の直流電圧が前記基板支持器に印加される時間間隔の逆数であるバイアス周波数が第1の周波数に設定された状態で、前記シリコン窒化膜をエッティングすることと、

前記バイアス周波数が前記第1の周波数よりも大きい第2の周波数に設定された状態で、前記シリコン酸化膜をエッティングすることと、

を含む、付記1～8のいずれか一項に記載のエッティング方法。

【付記15】

前記(c)において、前記基板支持器の温度が0以上、120以下の温度に設定される、付記1～14の何れか一項に記載のエッティング方法。

【付記16】

前記(c)において前記基板支持器に印加される前記負の直流電圧の絶対値は、1kV以上、20kV以下である、付記1～15の何れか一項に記載のエッティング方法。

【付記17】

前記(c)において前記基板支持器に周期的に印加される前記負の直流電圧は、5%以上、40%以下のデューティ比を有し、

前記(c)において前記負の直流電圧が前記基板支持器に印加される時間間隔の逆数であるバイアス周波数は、100kHz以上、1MHz以下である、付記1～16の何れか一項に記載のエッティング方法。

【付記18】

前記基板は、下地領域又はエッティング停止層を更に有し、該エッティング方法は、

(d) 前記下地領域又は前記エッティング停止層が露出するときを含む期間において、前記処理ガスのうち六フッ化タンゲスタンガスの供給を停止する工程と、

(e) 前記処理ガスに含まれる前記六フッ化タンゲスタンガス以外の他のガスから生成したプラズマにより、前記シリコン含有膜をエッティングする工程と、
を更に含む、付記1～17のいずれか一項に記載のエッティング方法。

【付記19】

(a) シリコン酸化膜を含むシリコン含有膜を有する基板を準備する工程であり、該基板はチャンバ内に設けられた基板支持器上に載置される、該工程と、

(b) 六フッ化タンゲスタンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有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、

(c) 前記処理ガスからプラズマを生成して、前記シリコン含有膜をエッティングする工程と、
を含み、

前記(c)は、

前記エッティングにより前記シリコン含有膜に形成される凹部の底面において前記シリコン含有膜中の一部のシリコン原子をタンゲスタン原子に置換することと、

前記一部のシリコン原子がタンゲスタン原子によって置換された前記シリコン含有膜を除去するように前記基板を電気的にバイアスすることと、
を含む、

エッティング方法。

【付記20】

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持器と、

六フッ化タンゲスタンガス、炭素及びフッ素を含有するガス、並びに酸素含有ガスを含む処理ガスを前記チャンバ内に供給するように構成されたガス供給部と、

前記チャンバ内で前記処理ガスからプラズマを生成するように構成されたプラズマ生成部と、

負の直流電圧を前記基板支持器に周期的に印加するように構成されたバイアス電源と、
を備えるプラズマ処理装置。

【0076】

以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており

、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

【符号の説明】

【0077】

1 ... プラズマ処理装置、10 ... チャンバ、16 ... 基板支持器、18 ... 基台、61 ... 高周波電源、62 ... バイアス電源、GS ... ガス供給部、W ... 基板、SF ... シリコン含有膜。

10

20

30

40

50