

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6811202号
(P6811202)

(45) 発行日 令和3年1月13日(2021.1.13)

(24) 登録日 令和2年12月16日(2020.12.16)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 105A
H01L 21/302 101B
H05H 1/46 M

請求項の数 16 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2018-79147 (P2018-79147)
(22) 出願日	平成30年4月17日 (2018.4.17)
(65) 公開番号	特開2019-186501 (P2019-186501A)
(43) 公開日	令和1年10月24日 (2019.10.24)
審査請求日	令和2年10月26日 (2020.10.26)

早期審査対象出願

(73) 特許権者	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(74) 代理人	100122507 弁理士 柏岡 潤二
(72) 発明者	勝沼 隆幸 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

審査官 宇多川 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】エッチングする方法及びプラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板をエッチングする方法であつて、

前記基板上に堆積膜を形成する工程であり、該堆積膜は第1のガスから生成されたプラズマに含まれる化学種から形成され、該基板は、第1領域及び該第1領域の材料とは異なる材料から形成された第2領域を有する、該工程と、

その上に前記堆積膜が形成された前記基板に、前駆体ガスを供給する工程であり、該前駆体ガスを用いて該基板上に吸着膜を形成する、該工程と、

その上に前記堆積膜及び前記吸着膜が形成された前記基板に第2のガスから生成されたプラズマからのイオンを供給して前記第1領域の前記材料と前記堆積膜に含まれる前記化学種とを反応させることにより、前記第2領域に対して選択的に前記第1領域をエッチングする工程であり、前記吸着膜によって前記第2領域のエッチングレートを減少させる、該工程と、

を含む方法。

【請求項 2】

前記吸着膜は、前記第2領域をエッチングする前記堆積膜中の化学種の量を減少させる、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記堆積膜は、炭素、水素、及びフッ素を含む、請求項1又は2に記載の方法。

【請求項 4】

10

20

前記第1領域は、窒化シリコンから形成されている、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

前記吸着膜は、前記第2領域をエッティングする前記堆積膜中のフッ素の量を減少させる、請求項3に記載の方法。

【請求項6】

前記第1のガスは、ハイドロフルオロカーボンガスを含む、請求項1～5の何れか一項に記載の方法。

【請求項7】

前記ハイドロフルオロカーボンガスは、C H₃ Fガスを含む、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記第2領域は、シリコンを含む、請求項1～7の何れか一項に記載の方法。

【請求項9】

前記吸着膜は、シリコンを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項10】

前記前駆体ガスは、シリコン含有ガスである、請求項1～9の何れか一項に記載の方法。

。

【請求項11】

基板をエッティングする方法であって、

第1領域及び該第1領域とは異なる材料から形成された第2領域を有する基板を提供する工程と、

前記基板上に堆積膜を形成する工程と、

前記堆積膜がその上に形成された前記基板上に単分子の吸着膜を形成する工程と、

その上に前記堆積膜及び前記吸着膜が形成された前記基板にプラズマからのイオンを供給して前記第1領域の材料と前記堆積膜に含まれる化学種とを反応させることにより、前記第2領域に対して選択的に前記第1領域をエッティングする工程であり、前記吸着膜によつて前記第2領域のエッティングレートを減少させる、該工程と、

を含む方法。

【請求項12】

前記第1領域が前記基板において開口を画成する底部であり、前記第2領域が該開口を画成する側部であるように、前記基板に該開口を形成する工程を更に含む、請求項11に記載の方法。

【請求項13】

前記基板は、前記第1領域及び前記第2領域を含む膜を含み、前記開口は該膜に形成される、請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記膜は、シリコン酸化膜又はSiOCH膜である、請求項13に記載の方法。

【請求項15】

前記堆積膜は、炭素及びフッ素を含み、前記吸着膜は、前記堆積膜におけるフッ素の量を減少させる、請求項11に記載の方法。

【請求項16】

内部空間を有するチャンバと、

前記チャンバの前記内部空間の中で基板を支持する支持台と、

前記チャンバの前記内部空間に、第1のガス、第2のガス、及び前駆体ガスを含む複数のガスを供給するガス供給部と、

前記チャンバの前記内部空間の中のガスを励起させてプラズマを生成するプラズマ生成部と、

前記ガス供給部及び前記プラズマ生成部を制御する制御部と、

を備え、

前記制御部は、第1領域及び該第1領域とは異なる材料から形成された第2領域を有する基板が前記支持台上に載置された状態で、前記チャンバの前記内部空間の中で前記第1

10

20

30

40

50

のガスからプラズマを生成するよう、前記ガス供給部及び前記プラズマ生成部を制御し、前記第1のガスから生成された前記プラズマに含まれる化学種から前記基板上に堆積膜が形成され、

前記制御部は、その上に前記堆積膜が形成された前記基板が前記支持台上に載置された状態で、該基板に前記前駆体ガスを供給するよう、前記ガス供給部を制御し、該前駆体ガスに含まれる前駆体から該基板上に吸着膜が形成され、

前記制御部は、その上に前記堆積膜及び前記吸着膜が形成された前記基板が前記支持台上に載置された状態で、前記内部空間の中で前記第2のガスからプラズマを生成するよう、前記ガス供給部及び前記プラズマ生成部を制御し、該第2のガスから生成されたプラズマからのイオンが該基板に供給され、前記第1領域の材料と前記堆積膜に含まれる前記化学種とが反応して、前記第1領域がエッティングされ、
10

前記吸着膜は、前記第1領域のエッティング中の前記第2領域のエッティングレートを減少させる、

プラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の実施形態は、エッティングする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】

電子デバイスの製造においては、基板に対してプラズマエッティングが適用される。プラズマエッティングでは、基板はプラズマ処理装置のチャンバ内に配置される。そして、チャンバ内で処理ガスからプラズマが生成される。基板は、プラズマからのイオン又はラジカルといった化学種により、エッティングされる。
20

【0003】

下記の特許文献1には、一種のプラズマエッティングが記載されている。同文献に記載されたプラズマエッティングは、シリコン酸化膜に対してシリコン窒化膜を選択的にエッティングする。同文献に記載されたプラズマエッティングでは、CH₃FガスとO₂ガスの混合ガスが用いられている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2003-229418号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

プラズマエッティングにおいては、基板の第1領域を第2領域に対して選択的にエッティングすることが求められている。そして、第2領域に対する第1領域のエッティングの選択性を高めることが求められている。

【課題を解決するための手段】

40

【0006】

第1の態様において、基板の第1領域を、第1領域の材料とは異なる材料から形成された基板の第2領域に対して選択的にエッティングする方法が提供される。この方法は、(i)基板上に堆積膜を形成する工程であり、堆積膜は第1のガスから生成されたプラズマに含まれる化学種から形成される、該工程と、(ii)その上に堆積膜が形成された基板に、前駆体ガスを供給する工程であり、前駆体ガスに含まれる前駆体から基板上に吸着膜が形成される、該工程と、(iii)その上に堆積膜及び吸着膜が形成された基板に第2のガスから生成されたプラズマからのイオンを供給して第1領域の材料と堆積膜に含まれる化学種とを反応させることにより、第1領域をエッティングする工程と、を含む。吸着膜は、第1領域をエッティングする工程における第2領域のエッティングレートを減少させる。
50

【0007】

第1の態様に係る方法では、第2のガスから生成されたプラズマからのイオンによって、堆積膜に含まれる化学種と第1領域の材料との反応が促進される。その結果、第1領域がエッチングされる。また、第1領域をエッチングする工程における第2領域のエッティングレートを減少させるために、吸着膜が基板上に形成される。したがって、第1の態様に係る方法によれば、第2領域に対する第1領域のエッティングの選択性が高められる。

【0008】

一実施形態において、吸着膜は、第2領域をエッティングする堆積膜中の化学種の量を減少させてよい。

【0009】

10

一実施形態において、堆積膜は、炭素、水素、及びフッ素を含んでいてよい。

【0010】

一実施形態において、第1のガスは、ハイドロフルオロカーボンガスを含んでいてよい。一実施形態において、ハイドロフルオロカーボンガスは、CH₃Fガスを含んでいてよい。

【0011】

一実施形態において、第1領域は、窒化シリコンから形成されていてよい。

【0012】

20

一実施形態において、吸着膜は、第2領域をエッティングする堆積膜中のフッ素の量を減少させてよい。一実施形態において、第2領域は、シリコンを含んでいてよい。一実施形態において、吸着膜は、シリコンを含んでいてよい。一実施形態において、前駆体ガスは、シリコン含有ガスであってよい。

【0013】

第2の態様においては、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、支持台、ガス供給部、プラズマ生成部、及び制御部を備える。支持台は、チャンバの内部空間の中で基板を支持するように構成されている。ガス供給部は、内部空間にガスを供給するように構成されている。プラズマ生成部は、内部空間の中のガスを励起させてプラズマを生成するように構成されている。制御部は、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御するように構成されている。

【0014】

30

第2の態様のプラズマ処理装置において、制御部は、基板が支持台上に載置された状態で、内部空間の中で第1のガスからプラズマを生成するよう、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御する。基板は、第1領域及び第2領域を含む。第2領域は、第1領域の材料とは異なる材料から形成されている。基板上には、第1のガスから生成されたプラズマに含まれる化学種から堆積膜が形成される。制御部は、その上に堆積膜が形成された基板が支持台上に載置された状態で、基板に前駆体ガスを供給するよう、ガス供給部を制御する。基板上には、前駆体ガスに含まれる前駆体から吸着膜が形成される。制御部は、その上に堆積膜及び吸着膜が形成された基板が支持台上に載置された状態で、内部空間の中で第2のガスからプラズマを生成するよう、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御する。第2のガスから生成されたプラズマからのイオンが基板に供給される。第1領域の材料と堆積膜に含まれる化学種とが反応して、第1領域がエッチングされる。吸着膜は、第1領域のエッティング中の第2領域のエッティングレートを減少させる。

【0015】

40

第3の態様においては、基板の第1領域を、基板の第2領域に対して選択的にエッティングする方法が提供される。この方法は、(i)基板上に堆積膜を形成する工程と、(ii)その上に堆積膜が形成された基板上に吸着膜を形成する工程であり、該吸着膜は単分子の吸着膜である、該工程と、(iii)その上に堆積膜及び吸着膜が形成された基板にプラズマからのイオンを供給して第1領域の材料と堆積膜に含まれる化学種とを反応させることにより、第1領域をエッティングする工程と、を含む。吸着膜は、第1領域をエッティングする工程における第2領域のエッティングレートを減少させる。

50

【0016】

第3の態様に係る方法では、プラズマからのイオンによって、堆積膜に含まれる化学種と第1領域の材料との反応が促進される。その結果、第1領域がエッチングされる。また、第1領域をエッチングする工程における第2領域のエッティングレートを減少させるために、吸着膜が基板上に形成される。したがって、第3の態様に係る方法によれば、第2領域に対する第1領域のエッティングの選択性が高められる。

【0017】

一実施形態において、基板には開口が形成されていてもよい。第1領域は、開口を画成する底部である。第2領域は、開口を画成する側部である。

【0018】

10

一実施形態において、基板は第1領域及び第2領域を有する膜を含んでいてもよい。開口は当該膜に形成されていてもよい。一実施形態において、膜は、シリコン酸化膜又はSiOCH膜であってもよい。

【0019】

一実施形態において、堆積膜は、炭素及びフッ素を含んでいてもよい。吸着膜は、堆積膜のフッ素の量を減少させててもよい。この実施形態では、堆積膜中のフッ素が吸着膜の化学種と反応して、除去される。その結果、堆積膜から保護膜が形成される。この保護膜の炭素含有率は、比較的高い。したがって、保護膜により、第1領域のエッティング中に、第2領域、即ち側部のエッティングが抑制される。

【0020】

20

第4の態様においては、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、支持台、ガス供給部、プラズマ生成部、及び制御部を備える。支持台は、チャンバの内部空間の中で基板を支持するように構成されている。ガス供給部は、内部空間にガスを供給するように構成されている。プラズマ生成部は、内部空間の中のガスを励起させてプラズマを生成するように構成されている。制御部は、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御するように構成されている。

【0021】

第4の態様のプラズマ処理装置において、制御部は、基板が支持台上に載置された状態で、基板上に堆積膜を形成するよう、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御する。基板は、第1領域及び第2領域を有する。制御部は、その上に堆積膜が形成された基板が支持台上に載置された状態で、基板上に単分子の吸着膜を形成するよう、ガス供給部を制御する。制御部は、その上に堆積膜及び吸着膜が形成された基板が支持台上に載置された状態で、内部空間の中でプラズマを生成するよう、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御する。プラズマからのイオンが基板に供給され、第1領域の材料と堆積膜に含まれる化学種とが反応して、第1領域がエッティングされる。吸着膜は、第1領域のエッティング中の第2領域のエッティングレートを減少させる。

30

【発明の効果】**【0022】**

以上説明したように、第2領域に対する第1領域のエッティングの選択性を高めることが可能となる。

40

【図面の簡単な説明】**【0023】**

【図1】一実施形態に係るエッティングする方法を示す流れ図である。

【図2】図2の(a)は、図1に示す方法が適用され得る一例の基板の一部拡大断面図であり、図2の(b)は、図1に示す方法の工程ST1を説明するための図であり、図2の(c)は、図1に示す方法の工程ST2を説明するための図である。

【図3】図3は、種々の実施形態に係るエッティングする方法において用いることが可能の一例のプラズマ処理装置を示す図である。

【図4】図4の(a)は、図1に示す方法の工程ST3を説明するための図であり、図4の(b)は、図1に示す方法の実行後の状態における一例の基板の一部拡大断面図である

50

。

【図5】図1に示す方法に関する一例のタイミングチャートである。

【図6】図1に示す方法に関する別の例のタイミングチャートである。

【図7】図7の(a)は、図1に示す方法が適用され得る別の例の基板の一部拡大断面図であり、図7の(b)は、工程ST1の実行後の状態における別の例の基板の一部拡大断面図である。

【図8】図8の(a)は、工程ST2の実行後の状態における別の例の基板の一部拡大断面図であり、図8の(b)は、工程ST3を説明する為の図である。

【図9】図9の(a)は、工程ST3の実行後の状態における別の例の基板の一部拡大断面図であり、図9の(b)は、図1に示す方法の終了後の状態における別の例の基板の一部拡大断面図である。10

【図10】図10の(a)は、図1に示す方法が適用され得る更に別の例の基板の一部拡大断面図であり、図10の(b)は、工程ST1の実行後の状態における更に別の例の基板の一部拡大断面図である。

【図11】図11の(a)は、工程ST2の実行後の状態における更に別の例の基板の一部拡大断面図であり、図11の(b)は、工程ST3を説明する為の図である。

【図12】図12の(a)は、工程ST3の実行後の状態における更に別の例の基板の一部拡大断面図であり、図12の(b)は、図1に示す方法の終了後の状態における更に別の例の基板の一部拡大断面図である。

【図13】第1実験及び第1比較実験の結果を示すグラフである。20

【図14】第2実験及び第2比較実験の結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、図面を参照して種々の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。

【0025】

図1は、一実施形態に係るエッティングする方法を示す流れ図である。図1に示す方法MTは、基板の第1領域を、当該基板の第2領域に対して選択的にエッティングするために実行される。

【0026】30

図2の(a)は、図1に示す方法が適用され得る一例の基板の一部拡大断面図である。図2の(a)に示す基板W1は、第1領域R1及び第2領域R2を含んでいる。第1領域R1及び第2領域R2は、下地領域UR上に設けられていてもよい。第2領域R2は、第1領域R1の材料とは異なる材料から形成されていてもよい。一例において、第1領域R1は、窒化シリコンから形成されており、第2領域R2は別のシリコン材料から形成されている。第2領域R2は、例えば、シリコン、多結晶シリコン、又は酸化シリコンから形成されている。

【0027】

方法MTでは、基板の第1領域のエッティングのために、プラズマ処理装置が用いられる。図3は、種々の実施形態に係るエッティングする方法において用いることが可能の一例のプラズマ処理装置を示す図である。図3に示すプラズマ処理装置1は、容量結合型プラズマエッティング装置である。プラズマ処理装置1は、チャンバ10を備えている。チャンバ10は、その中に内部空間10sを提供している。40

【0028】

チャンバ10は、チャンバ本体12を含んでいる。チャンバ本体12は、略円筒形状を有している。内部空間10sは、チャンバ本体12の内側に提供されている。チャンバ本体12は、例えばアルミニウムから形成されている。チャンバ本体12の内壁面には、耐腐食性を有する膜が施されている。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。

【0029】50

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、内部空間10sとチャンバ10の外部との間で搬送されるときに、通路12pを通過する。通路12pは、ゲートバルブ12gにより開閉可能となっている。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ている。

【0030】

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ている。支持部13は、略円筒形状を有している。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、支持台14を支持している。支持台14は、内部空間10sの中に設けられている。支持台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。

10

【0031】

支持台14は、下部電極18及び静電チャック20を有している。支持台14は、電極プレート16を更に有し得る。電極プレート16は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。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、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極18は、電極プレート16に電気的に接続されている。
。

【0032】

静電チャック20は、下部電極18上に設けられている。静電チャック20の上面の上には、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、誘電体から形成されている。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20に引き付けられ、静電チャック20によって保持される。

20

【0033】

下部電極18の周縁部上には、基板Wのエッジを囲むように、フォーカスリングFRが配置される。フォーカスリングFR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ために設けられている。フォーカスリングFRは、限定されるものではないが、シリコン、炭化シリコン、又は石英から形成され得る。

30

【0034】

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22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22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。

【0035】

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28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。

40

【0036】

プラズマ処理装置1は、上部電極30を更に備えている。上部電極30は、支持台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ている。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。

【0037】

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を画成している。天板34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。天板34には、複数のガス吐出孔34a

50

が形成されている。複数のガス吐出孔 34a は、天板 34 をその板厚方向に貫通している。

【 0 0 3 8 】

支持体 36 は、天板 34 を着脱自在に支持する。支持体 36 は、アルミニウムといった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 には、複数のガス孔 36b が形成されている。複数のガス孔 36b は、ガス拡散室 36a から下方に延びている。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。

10

【 0 0 3 9 】

ガス供給管 38 には、バルブ群 41、流量制御器群 42、及びバルブ群 43 を介して、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 41、流量制御器群 42、及びバルブ群 43 は、ガス供給部 GS 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んでいる。ガスソース群 40 の複数のガスソースは、方法 MT 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 41 及びバルブ群 43 の各々は、複数の開閉バルブを含んでいる。流量制御器群 42 は、複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群 42 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 41 の対応の開閉バルブ、流量制御器群 42 の対応の流量制御器、及びバルブ群 43 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。

20

【 0 0 4 0 】

プラズマ処理装置 1 では、チャンバ本体 12 の内壁面に沿って、シールド 46 が着脱自在に設けられている。シールド 46 は、支持部 13 の外周にも設けられている。シールド 46 は、チャンバ本体 12 にエッティング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、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。

【 0 0 4 1 】

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といった真空ポンプを有している。

30

【 0 0 4 2 】

プラズマ処理装置 1 は、第 1 の高周波電源 62 及び第 2 の高周波電源 64 を更に備えている。第 1 の高周波電源 62 は、第 1 の高周波電力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 27 MHz ~ 100 MHz の範囲内の周波数である。第 1 の高周波電源 62 は、整合器 66 及び電極プレート 16 を介して上部電極 30 に接続されている。整合器 66 は、第 1 の高周波電源 62 の出力インピーダンスと負荷側（上部電極 30 側）のインピーダンスを整合させるための回路を有している。なお、第 1 の高周波電源 62 は、整合器 66 を介して、下部電極 18 に接続されていてもよい。

40

【 0 0 4 3 】

第 2 の高周波電源 64 は、第 2 の高周波電力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

50

のバイアス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400 kHz ~ 13.56 MHz の範囲内の周波数である。第2の高周波電源64は、整合器68及び電極プレート16を介して下部電極18に接続されている。整合器68は、第2の高周波電源64の出力インピーダンスと負荷側(下部電極18側)のインピーダンスを整合させるための回路を有している。なお、第1の高周波を用いずに、第2の高周波を用いて、即ち、単一の高周波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の高周波の周波数は、13.56 MHz よりも大きな周波数、例えば40 MHz であってもよい。この場合には、プラズマ処理装置1は、第1の高周波電源62及び整合器66を備えていなくてもよい。

【0044】

10

プラズマ処理装置1においてプラズマが生成される場合には、ガスが、ガス供給部GSから内部空間10sに供給される。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によって、ガスが励起される。その結果、プラズマが生成される。このプラズマ処理装置1では、第1の高周波電源62及び/又は第2の高周波電源64、上部電極30、並びに下部電極18がプラズマ生成部を構成している。

【0045】

20

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、メモリといった記憶部、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、制御部80の記憶部には、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、制御部80のプロセッサによって実行される。制御部80のプロセッサが、制御プログラムを実行し、レシピデータに従ってプラズマ処理装置1の各部を制御することにより、方法MTがプラズマ処理装置1で実行される。

【0046】

30

再び図1を参照する。以下、プラズマ処理装置1が用いられて、基板W1の第1領域R1がエッチングされる場合を例として、方法MTについて説明する。以下の説明では、図1に加えて、図2の(b)、図2の(c)、図4の(a)、図4の(b)、図5、及び図6を参照する。図2の(b)は、図1に示す方法の工程ST1を説明するための図であり、図2の(c)は、図1に示す方法の工程ST2を説明するための図である。図4の(a)は、図1に示す方法の工程ST3を説明するための図であり、図4の(b)は、図1に示す方法の実行後の状態における一例の基板の一部拡大断面図である。図5は、図1に示す方法に関連する一例のタイミングチャートである。図6は、図1に示す方法に関連する別の例のタイミングチャートである。図5及び図6のタイミングチャートにおいて、横軸は時間を表している。図5及び図6のタイミングチャートにおいて、縦軸は、チャンバ10内の圧力、第1の高周波電力のレベル(電力レベル)、第2の高周波電力のレベル(電力レベル)、不活性ガスの流量、第1のガスの流量、及び前駆体ガスの流量を表している。

【0047】

40

図1に示す方法MTは、基板W1が支持台14上に載置された状態で実行される。方法MTの工程ST1では、基板W1上に堆積膜DFが形成される。堆積膜DFは、後述する工程ST3において第1領域R1の材料と反応して第1領域R1をエッチングする化学種を含む。工程ST1では、基板W1上に堆積膜DFを形成するよう、ガス供給部GS及びプラズマ生成部が制御される。

【0048】

50

一実施形態における工程ST1では、基板W1上に堆積膜DFを形成するために、内部空間10sの中で、第1のガスからプラズマが生成される。工程ST1では、第1のガス

を内部空間 10 s に供給するよう、ガス供給部 G S が制御部 8 0 によって制御される。工程 S T 1 では、更に不活性ガスを内部空間 10 s に供給するよう、ガス供給部 G S が制御部 8 0 によって制御されてもよい。工程 S T 1 では、チャンバ 10 内の圧力（内部空間 10 s における圧力）が、指定された圧力に設定されるよう、排気装置 5 0 が制御される。内部空間 10 s における圧力は、例えば、10 mTorr (1.333 Pa) ~ 100 mTorr (13.33 Pa) の範囲内の圧力、或いは、20 mTorr (2.666 Pa) ~ 50 mTorr (6.666 Pa) の範囲内の圧力である。

【0049】

工程 S T 1 では、第 1 のガスを励起するために第 1 の高周波電力を供給するよう、第 1 の高周波電源 6 2 が制御部 8 0 によって制御される。第 1 の高周波電力の周波数は、例えば 60 MHz である。第 1 の高周波電力の電力レベルは、基板の直径が 300 mm である場合には、例えば、50 W ~ 300 W の範囲内の電力レベル、或いは、50 W ~ 150 W の範囲内の電力レベルである。工程 S T 1 では、制御部 8 0 によって第 2 の高周波電源 6 4 が制御されて、第 2 の高周波電力が更に供給されてもよい。第 2 の高周波電力の周波数は例えば 40 MHz である。第 2 の高周波電力の電力レベルは、イオンが基板 W 1 に高いエネルギーで衝突することにより堆積膜 D F の形成が妨げられることを防止するために、低いレベルに設定される。第 2 の高周波電力の電力レベルは、基板の直径が 300 mm である場合には、例えば、0 W ~ 250 W の範囲内の電力レベル、或いは、0 W ~ 150 W の範囲内の電力レベルである。工程 S T 1 の処理時間は、例えば、2 秒 ~ 20 秒の範囲内の処理時間、或いは、3 秒 ~ 10 秒の範囲内の処理時間である。

10

20

【0050】

図 5 に示すように、工程 S T 1 の実行前に、工程 S T a が実行されてもよい。工程 S T a では、プラズマを生成せずに、第 1 のガス及び不活性ガスが内部空間 10 s に供給される。即ち、工程 S T a では、第 1 の高周波電力及び第 2 の高周波電力は供給されない。工程 S T 1 は、工程 S T a が所定時間実行された後に実行される。或いは、図 6 に示すように、工程 S T a は実行されなくてもよい。方法 M T において工程 S T a が実行されない場合には、方法 M T のスループットが向上される。

【0051】

工程 S T 1 では、第 1 のガスが励起されて、内部空間 10 s の中で、第 1 のガスからプラズマ P 1 が生成される。工程 S T 1 では、図 2 の (b) に示すように、プラズマ P 1 からの化学種が基板 W 1 の表面上に堆積する。その結果、堆積膜 D F が基板 W 1 の表面上に形成される。工程 S T 1 では、堆積膜 D F が形成されるだけではなく、プラズマ P 1 からの化学種によって第 1 領域 R 1 のエッティングが生じてもよい。

30

【0052】

一実施形態において、第 1 領域 R 1 は、窒化シリコンから形成されている。第 1 領域 R 1 を後述の工程 S T 3 でエッティングするために、一実施形態において、堆積膜 D F は、炭素、水素、及びフッ素を含んでいる。工程 S T 1 において炭素、水素、及びフッ素を含む堆積膜 D F を形成するために、一実施形態において、第 1 のガスは、ハイドロフルオロカーボンガスを含み得る。ハイドロフルオロカーボンガスは、例えば、C H₃ F ガスである。

40

【0053】

続く工程 S T 2 では、堆積膜 D F がその上に形成された基板 W 1 上に、吸着膜 A F が形成される。吸着膜 A F は、単分子の膜であり得る。工程 S T 2 では、吸着膜 A F を形成するよう、ガス供給部 G S が制御部 8 0 によって制御される。

【0054】

一実施形態における工程 S T 2 では、前駆体ガスが、その上に堆積膜 D F が形成された基板 W 1 に供給される。工程 S T 2 では、前駆体ガスを内部空間 10 s に供給するよう、ガス供給部 G S が制御部 8 0 によって制御される。工程 S T 2 では、更に不活性ガスを内部空間 10 s に供給するよう、ガス供給部 G S が制御部 8 0 によって制御されてもよい。図 5 及び図 6 において破線で示すように、工程 S T 2 における不活性ガスの流量は、工程

50

S T 1 における不活性ガスの流量と同一であってもよい。或いは、図 5 及び図 6 において実線で示すように、工程 S T 2 における不活性ガスの流量は、工程 S T 1 における不活性ガスの流量よりも多くてもよい。

【 0 0 5 5 】

工程 S T 2 では、チャンバ 1 0 内の圧力（内部空間 1 0 s における圧力）が、指定された圧力に設定されるよう、排気装置 5 0 が制御される。工程 S T 2 における内部空間 1 0 s の中の圧力は、工程 S T 1 における内部空間 1 0 s の中の圧力よりも高くてもよい。工程 S T 2 における内部空間 1 0 s の中の圧力が高い場合には、前駆体ガスが短時間で基板 W 1 の表面の全体に吸着する。工程 S T 2 では、プラズマは生成されない。即ち、工程 S T 2 では、第 1 の高周波電力及び第 2 の高周波電力は供給されない。

10

【 0 0 5 6 】

工程 S T 2 では、前駆体ガスに含まれる前駆体から、図 2 の (c) に示すように、吸着膜 A F が基板 W 1 上に形成される。吸着膜 A F は、後述する工程 S T 3 における第 2 領域 R 2 のエッチングレートを減少させる。一実施形態では、吸着膜 A F は、第 2 領域 R 2 をエッチングする堆積膜 D F 中の化学種の量を減少させる。一実施形態において、吸着膜 A F は、第 2 領域 R 2 をエッチングする堆積膜 D F 中のフッ素の量を減少させてもよい。一実施形態において、第 2 領域 R 2 は、シリコンを含んでいてもよい。例えば、第 2 領域 R 2 は、シリコン、多結晶シリコン、又は酸化シリコンから形成されている。この場合に、前駆体ガスは、シリコン含有ガスであってもよい。シリコン含有ガスは、例えばアミノシリジンガスである。

20

【 0 0 5 7 】

図 5 及び図 6 に示すように、工程 S T 2 の実行後には、工程 S T b が実行され得る。工程 S T b では、プラズマを生成せずに、内部空間 1 0 s のページが行われる。工程 S T b では、第 1 の高周波電力及び第 2 の高周波電力は供給されない。工程 S T b では、内部空間 1 0 s の中の前駆体ガスが排気される。工程 S T b では、不活性ガスが内部空間 1 0 s に供給されてもよい。

【 0 0 5 8 】

続く工程 S T 3 では、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。工程 S T 3 では、その上に堆積膜 D F 及び吸着膜 A F が形成された基板 W 1 に第 2 のガスから生成されたプラズマ P 2 からのイオンが供給される。第 2 のガスは、不活性ガスを含む。一実施形態において、第 2 のガスは、不活性ガスのみを含む。不活性ガスは、希ガスであり得る。希ガスは、例えば Ar ガスであるが、限定されるものではない。工程 S T 3 では、プラズマ P 2 からのイオンから与えられるエネルギーにより、第 1 領域 R 1 の材料と堆積膜 D F に含まれる化学種との反応が生じる。この反応により生成される反応生成物が、基板 W 1 から除去される。その結果、図 4 の (a) に示すように、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。

30

【 0 0 5 9 】

工程 S T 3 では、第 2 領域 R 2 上の堆積膜 D F 内の化学種と吸着膜 A F の化学種とが反応して、堆積膜 D F から保護膜 D F M が形成される。一例では、第 2 領域 R 2 上の堆積膜 D F 内のフッ素が、吸着膜 A F のシリコンと反応して、堆積膜 D F から除去される。その結果、堆積膜 D F 内のフッ素の量が減少して、堆積膜 D F から保護膜 D F M が形成される。

40

【 0 0 6 0 】

工程 S T 3 では、第 2 のガスを内部空間 1 0 s に供給するよう、ガス供給部 G S が制御部 8 0 によって制御される。図 5 及び図 6 に示すように、工程 S T 3 における不活性ガスの流量は、工程 S T 2 における不活性ガスの流量と同一であってもよく、工程 S T 2 における不活性ガスの流量よりも少なくてもよい。工程 S T 3 では、チャンバ 1 0 内の圧力（内部空間 1 0 s における圧力）が、指定された圧力に設定されるよう、排気装置 5 0 が制御される。

【 0 0 6 1 】

工程 S T 3 では、第 2 のガスを励起するために第 1 の高周波電力を供給するよう、第 1

50

の高周波電源 6 2 が制御部 8 0 によって制御される。第 1 の高周波電力の周波数は、例えば 6 0 M H z である。工程 S T 3 における第 1 の高周波電力の電力レベルは、工程 S T 1 における第 1 の高周波電力の電力レベルと同一であってもよく、異なっていてもよい。工程 S T 3 では、制御部 8 0 によって第 2 の高周波電源 6 4 が制御されて、第 2 の高周波電力が更に供給される。第 2 の高周波電力の周波数は例えば 4 0 M H z である。工程 S T 3 における第 2 の高周波電力の電力レベルは、任意のレベルであり得る。一実施形態において、工程 S T 3 における第 2 の高周波電力の電力レベルは、工程 S T 1 における第 2 の高周波電力の電力レベルよりも大きい。

【 0 0 6 2 】

図 5 に示すように、工程 S T b の実行後、工程 S T 3 の実行前に、工程 S T c が実行されてもよい。工程 S T c では、不活性ガスの流量が、工程 S T 3 と同一の不活性ガスの流量に設定される。工程 S T c は、所定時間、実行される。10

【 0 0 6 3 】

続く工程 S T 4 では、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、工程 S T 1 ~ 工程 S T 3 を含むシーケンスの実行回数が所定回数に達している場合に、満たされないと判定される。工程 S T 4 において停止条件が満たされていないと判定される場合には、シーケンスが再び実行される。一方、工程 S T 4 において停止条件が満たされないと判定される場合には、方法 M T は終了する。方法 M T の終了後には、図 4 の (b) に示すように、例えば下地領域 U R が露出するように、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。20

【 0 0 6 4 】

上述した方法 M T では、第 2 のガスから生成されたプラズマからのイオンによって、堆積膜 D F に含まれる化学種と第 1 領域 R 1 の材料との反応が促進される。その結果、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。また、工程 S T 3 における第 2 領域 R 2 のエッチングレートを減少させるために、吸着膜 A F が基板 W 1 上に形成される。したがって、第 2 領域に R 2 対する第 1 領域 R 1 のエッチングの選択性が高められる。20

【 0 0 6 5 】

一実施形態においては、堆積膜 D F は、炭素、フッ素、及び水素を含み、第 1 領域 R 1 は窒化シリコンから形成されており、第 2 領域 R 2 は他のシリコン材料から形成されている。吸着膜 A F は、シリコンを含む。吸着膜 A F のシリコンは、堆積膜 D F のフッ素と結合して、第 2 領域 R 2 をエッチングし得る化学種の量を減少させる。したがって、工程 S T 3 において、第 2 領域 R 2 のエッチングレートが低下し、第 2 領域 R 2 に対して第 1 領域 R 1 が選択的にエッチングされる。30

【 0 0 6 6 】

以下、図 2 の (a) に示した基板 W 1 とは別の基板に方法 M T が適用される幾つかの例について説明する。以下、図 7 の (a)、図 7 の (b)、図 8 の (a)、図 8 の (b)、図 9 の (a)、及び図 9 の (b) を参照する。図 7 の (a) は、図 1 に示す方法が適用され得る別の例の基板の一部拡大断面図であり、図 7 の (b) は、工程 S T 1 の実行後の状態における別の例の基板の一部拡大断面図である。図 8 の (a) は、工程 S T 2 の実行後の状態における別の例の基板の一部拡大断面図であり、図 8 の (b) は、工程 S T 3 を説明する為の図である。図 9 の (a) は、工程 S T 3 の実行後の状態における別の例の基板の一部拡大断面図であり、図 9 の (b) は、図 1 に示す方法の終了後の状態における別の例の基板の一部拡大断面図である。以下、プラズマ処理装置 1 が用いられて、図 7 の (a) に示す基板 W 2 が処理される場合を例として、方法 M T について説明する。なお、以下では、基板 W 2 に対して適用される方法 M T に関して、基板 W 1 に対して適用される方法 M T と異なる点を主として説明する。40

【 0 0 6 7 】

図 7 の (a) に示すように、基板 W 2 は、下地領域 U R 2 、膜 E F 2 、中間層 I M L 2 、及びマスク M K 2 を有する。膜 E F 2 は、下地領域 U R 2 上に設けられている。中間層 I M L 2 は、膜 E F 2 上に設けられている。マスク M K 2 は、中間層 I M L 2 上に設けられている。マスク M K 2 及び中間層 I M L 2 は、膜 E F 2 に転写されるパターンを提供し50

ている。即ち、マスク MK 2 及び中間層 IML 2 は、一以上の開口 OP を提供している。マスク MK 2 は、例えば金属から形成されている。一例において、マスク MK 2 は、TiN 膜から形成されている。一例において、中間層 IML 2 は、TEOS 膜及びSiOC 膜を含む多層膜から形成されている。膜 EF 2 は、低誘電率膜である。一例において、膜 EF 2 は、SiOCH 膜である。

【0068】

工程 ST 1 では、基板 W 1 に対して適用される工程 ST 1 と同様に、堆積膜 DF が、図 7 の (b) に示すように、基板 W 2 上に形成される。なお、図 7 の (b) には、膜 EF 2 のエッティングが進行した結果、開口 OP の底が膜 EF 2 の上面と下面との間に位置する状態が示されている。

10

【0069】

膜 EF 2 が SiOCH 膜である一例においては、堆積膜 DF は、炭素及びフッ素を含む。膜 EF 2 が SiOCH 膜である一例においては、第 1 のガスは、例えばフルオロカーボンガスを含む。フルオロカーボンガスとしては、C₄F₈ ガスが例示される。工程 ST 1 では、基板 W 1 に対して適用される工程 ST 1 と同様に、第 1 のガスからプラズマが生成されてもよい。工程 ST 1 では、第 1 のガスから生成されたプラズマからの化学種が、基板 W 2 上に堆積して、堆積膜 DF を形成する。工程 ST 1 では、第 1 のガスから生成されたプラズマからの化学種によって開口 OP の底で膜 EF 2 のエッティングが生じてもよい。

【0070】

工程 ST 2 では、基板 W 1 に対して適用される工程 ST 2 と同様に、吸着膜 AF が、その上に堆積膜 DF が形成された基板 W 2 上に、図 8 の (a) に示すように形成される。工程 ST 2 では、基板 W 1 に対して適用される工程 ST 2 と同様に、前駆体ガスが内部空間 10 s に供給される。工程 ST 2 では、基板 W 1 に対して適用される工程 ST 2 と同様に、内部空間 10 s の内でプラズマは生成されない。前駆体ガスは、工程 ST 3 において膜 EF 2 をエッティングする堆積膜 DF 中の化学種の量を減少させる。吸着膜 AF は、堆積膜 DF 中のフッ素の量を減少させてもよい。前駆体ガスは、シリコン含有ガスであってもよい。シリコン含有ガスは、例えばアミノシランガスである。

20

【0071】

工程 ST 3 では、基板 W 1 に対して適用される工程 ST 3 と同様に、膜 EF 2 内の第 1 領域 R 1 がエッチングされる。第 1 領域 R 1 は、開口 OP を画成する底部である。工程 ST 3 では、基板 W 1 に対して適用される工程 ST 3 と同様に、その上に堆積膜 DF 及び吸着膜 AF が形成された基板 W 2 に、第 2 のガスから生成されたプラズマからのイオンが、図 8 の (b) に示すように、供給される。なお、図 8 の (b) において、円形の図形は、イオンを表している。

30

【0072】

工程 ST 3 では、堆積膜 DF 内の化学種と吸着膜 AF の化学種とが反応して、図 9 の (a) に示すように、堆積膜 DF から保護膜 DFM が形成される。一例では、堆積膜 DF 内のフッ素が、吸着膜 AF のシリコンと反応して、堆積膜 DF から除去される。その結果、堆積膜 DF から保護膜 DFM が形成される。

【0073】

40

保護膜 DFM におけるフッ素の量は、堆積膜 DF におけるフッ素の量よりも少ない。また、保護膜 DFM の炭素含有率は、比較的高い。したがって、工程 ST 3 における第 2 領域 R 2 のエッチングレートが低下する。第 2 領域 R 2 は、膜 EF 2 の一部であり、開口 OP を画成する側部である。

【0074】

一方、工程 ST 3 では、第 1 領域 R 1 の材料と堆積膜 DF (又は保護膜 DFM) に含まれる化学種との反応が生じる。第 1 領域 R 1 は、膜 EF 2 の一部であり、開口 OP を画成する側部である。工程 ST 3 では、第 1 領域 R 1 の材料と堆積膜 DF に含まれる化学種との反応により生成される反応生成物が、基板 W 2 から除去される。その結果、図 9 の (a) に示すように、第 1 領域 R 1 がエッティングされる。第 2 領域 R 2 は保護膜 DFM によつ

50

て保護されるが第1領域R1はエッティングされるのは、第2領域R2に対するイオンフラックスよりも、第1領域R1に対するイオンフラックスは大きいからである。

【0075】

かかる工程ST1、工程ST2、及びST3を含むシーケンスが所定回数実行されることにより、開口OPが、図9の(b)に示すように形成される。図9の(b)では、開口OPは、下地領域URの表面まで延びている。

【0076】

以下、図10の(a)、図10の(b)、図11の(a)、図11の(b)、図12の(a)、及び図12の(b)を参照する。図10の(a)は、図1に示す方法が適用され得る更に別の例の基板の一部拡大断面図であり、図10の(b)は、工程ST1の実行後の状態における更に別の例の基板の一部拡大断面図である。図11の(a)は、工程ST2の実行後の状態における更に別の例の基板の一部拡大断面図であり、図11の(b)は、工程ST3を説明する為の図である。図12の(a)は、工程ST3の実行後の状態における更に別の例の基板の一部拡大断面図であり、図12の(b)は、図1に示す方法の終了後の状態における更に別の例の基板の一部拡大断面図である。以下、プラズマ処理装置1が用いられて、図10の(a)に示す基板W3が処理される場合を例として、方法MTについて説明する。なお、以下では、基板W3に対して適用される方法MTに関して、基板W1に対して適用される方法MTと異なる点を主として説明する。

10

【0077】

図10の(a)に示すように、基板W3は、下地領域UR3、膜EF3、中間層IML3、及び上層UL3を有する。膜EF3は、下地領域UR3上に設けられている。中間層IML3は、膜EF3上に設けられている。上層UL3は、中間層IML3上に設けられている。上層UL3及び中間層IML3は、膜EF3に転写されるパターンを提供している。即ち、上層UL3及び中間層IML3は、一以上の開口OPを提供している。一例において、上層UL3は、シリコン含有の反射防止膜から形成されている。上層UL3は、その上に形成されたレジストマスクを介してエッティングされることにより、パターニングされている。一例において、中間層IML3は、有機膜から形成されている。有機膜は、例えばスピノンカーボン膜で得る。膜EF3は、シリコン含有膜で得る。一例において、膜EF3は、シリコン酸化膜である。

20

【0078】

30

工程ST1では、基板W1に対して適用される工程ST1と同様に、堆積膜DFが、図10の(b)に示すように、基板W3上に形成される。なお、図10の(b)には、膜EF3のエッティングが進行した結果、開口OPの底が膜EF3の上面と下面との間に位置する状態が示されている。一例においては、上層UL3はシリコン含有の反射防止膜であり、膜EF3はシリコン酸化膜であるので、膜EF3のエッティング中に上層UL3は消失する。図10の(b)に示す状態では、上層UL3は消失している。

【0079】

40

膜EF3がシリコン酸化膜である一例においては、堆積膜DFは、炭素及びフッ素を含む。膜EF3がシリコン酸化膜である一例においては、第1のガスは、例えばフルオロカーボンガスを含む。フルオロカーボンガスとしては、C₄F₆ガスが例示される。第1のガスは、ハイドロフルオロカーボンガスを更に含んでいてもよい。ハイドロフルオロカーボンガスとしては、CH₃Fガスが例示される。工程ST1では、基板W1に対して適用される工程ST1と同様に、第1のガスからプラズマが生成されてもよい。工程ST1では、第1のガスから生成されたプラズマからの化学種が、基板W3上に堆積して、堆積膜DFを形成する。工程ST1では、第1のガスから生成されたプラズマからの化学種によって開口OPの底で膜EF3のエッティングが生じてもよい。

【0080】

工程ST2では、基板W1に対して適用される工程ST2と同様に、その上に堆積膜DFが形成された基板W3上に、吸着膜AFが、図11の(a)に示すように形成される。工程ST2では、基板W1に対して適用される工程ST2と同様に、前駆体ガスが内部空

50

間 10 s に供給される。工程 S T 2 では、基板 W 1 に対して適用される工程 S T 2 と同様に、内部空間 10 s の中でプラズマは生成されない。前駆体ガスは、工程 S T 3 において膜 E F 3 をエッティングする堆積膜 D F 中の化学種の量を減少させる。吸着膜 A F は、堆積膜 D F 中のフッ素の量を減少させてもよい。前駆体ガスは、シリコン含有ガスであってもよい。シリコン含有ガスは、例えばアミノシランガスである。

【 0 0 8 1 】

工程 S T 3 では、基板 W 1 に対して適用される工程 S T 3 と同様に、膜 E F 3 内の第 1 領域 R 1 がエッチングされる。第 1 領域 R 1 は、開口 O P を画成する底部である。工程 S T 3 では、基板 W 1 に対して適用される工程 S T 3 と同様に、その上に堆積膜 D F 及び吸着膜 A F が形成された基板 W 3 に、第 2 のガスから生成されたプラズマからのイオンが、図 11 の(b)に示すように、供給される。なお、図 11 の(b)において、円形の図形は、イオンを表している。

【 0 0 8 2 】

図 12 の(a)に示すように、工程 S T 3 では、堆積膜 D F 内の化学種と吸着膜 A F の化学種とが反応して、堆積膜 D F から保護膜 D F M が形成される。一例では、堆積膜 D F 内のフッ素が、吸着膜 A F のシリコンと反応して、堆積膜 D F から除去される。その結果、堆積膜 D F から保護膜 D F M が形成される。

【 0 0 8 3 】

保護膜 D F M におけるフッ素の量は、堆積膜 D F におけるフッ素の量よりも少ない。また、保護膜 D F M の炭素含有率は、比較的高い。したがって、工程 S T 3 における第 2 領域 R 2 のエッティングレートが低下する。第 2 領域 R 2 は、膜 E F 3 の一部であり、開口 O P を画成する側部である。

【 0 0 8 4 】

一方、工程 S T 3 では、第 1 領域 R 1 の材料と堆積膜 D F (又は保護膜 D F M) に含まれる化学種との反応が生じる。第 1 領域 R 1 は、膜 E F 3 の一部であり、開口 O P を画成する側部である。工程 S T 3 では、第 1 領域 R 1 の材料と堆積膜 D F に含まれる化学種との反応により生成される反応生成物が、基板 W 2 から除去される。その結果、図 12 の(a)に示すように、第 1 領域 R 1 がエッティングされる。第 2 領域 R 2 は保護膜 D F M によって保護されるが第 1 領域 R 1 はエッティングされるのは、第 2 領域 R 2 に対するイオンフラックスよりも、第 1 領域 R 1 に対するイオンフラックスは大きいからである。

【 0 0 8 5 】

かかる工程 S T 1 、工程 S T 2 、及び S T 3 を含むシーケンスが所定回数実行されることにより、開口 O P が、図 12 の(b)に示すように形成される。図 12 の(b)では、開口 O P は、下地領域 U R の表面まで延びている。

【 0 0 8 6 】

以上、種々の実施形態について説明してきたが、上述した実施形態に限定されることなく種々の変形態様を構成可能である。例えば、方法 M T は、容量結合型のプラズマ処理装置以外のプラズマ処理装置を用いて実行されてもよい。方法 M T の実行に用いられるプラズマ処理装置は、誘導結合型の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ってもよい。

【 0 0 8 7 】

また、方法 M T において処理される基板は、基板 W 1 、基板 W 2 、及び基板 W 3 に限定されるものではない。方法 M T は、基板の第 1 領域を、当該基板 W 2 の第 2 領域に対して選択的にエッティングするために実行され得る。第 1 領域と第 2 領域は、互いに異なる材料から形成されていてもよい。或いは、第 1 領域と第 2 領域はそれぞれ、基板 W 2 及び基板 W 3 の第 1 領域 R 1 及び第 2 領域 R 2 のように、同一の膜の異なる部分を含んでいてよい。

【 0 0 8 8 】

以下、方法 M T の評価のために行った幾つかの実験について説明する。以下に説明する実験は、本開示を限定するものではない。

10

20

30

40

50

【0089】

[第1実験及び第1比較実験]

【0090】

第1実験では、プラズマ処理装置1を用いて方法MTを実行することにより、シリコン窒化膜及びシリコン酸化膜を処理した。第1比較実験では、工程ST2及び工程STbを実行しない点においてのみ第1実験とは異なる処理をプラズマ処理装置1を用いて実行することにより、シリコン窒化膜及びシリコン酸化膜を処理した。第1実験では、工程ST1、工程ST2、工程STb、及び工程ST3を含むシーケンスの実行回数と選択比の関係を求めた。第1比較実験では、工程ST1と工程ST3を含むシーケンスの実行回数と選択比の関係を求めた。選択比は、シリコン窒化膜のエッチングレートをシリコン酸化膜のエッチングレートで除した値である。以下、第1実験の条件を示す。

【0091】

<第1実験の条件>

工程ST1

内部空間10sにおける圧力：20mTorr(2.666Pa)

第1の高周波電力：60MHz、100W

第2の高周波電力：40MHz、100W

CH₃Fガスの流量 / Arガスの流量：15sccm / 200sccm

処理時間：5秒

工程ST2

内部空間10sにおける圧力：200mTorr(26.66Pa)

第1の高周波電力：0W

第2の高周波電力：0W

アミノシランガスの流量 / Arガスの流量：100sccm / 300sccm

処理時間：15秒

工程STb

内部空間10sにおける圧力：200mTorr(26.66Pa)

第1の高周波電力：0W

第2の高周波電力：0W

Arガスの流量：300sccm

処理時間：10秒

工程ST3

内部空間10sにおける圧力：20mTorr(2.666Pa)

第1の高周波電力：60MHz、100W

第2の高周波電力：40MHz、300W

Arガスの流量：200sccm

処理時間：5秒

【0092】

図13は、第1実験及び第1比較実験の結果を示すグラフである。図13のグラフにおいて、横軸は、シーケンスの実行回数を示しており、縦軸は選択比を示している。図13に示すように、第1実験の選択比は、第1比較実験の選択比よりも相当に大きかった。即ち、方法MTによれば、シリコン酸化膜に対してシリコン窒化膜を高い選択比でエッティング可能であることが確認された。また、第1実験の選択比は、シーケンスの実行回数と共に、増加していた。

【0093】

[第2実験及び第2比較実験]

【0094】

第2実験では、第1実験と同じ条件で、シリコン窒化膜及び多結晶シリコン膜を処理した。第2比較実験では、第1比較実験と同じ条件で、シリコン窒化膜及び多結晶シリコン膜を処理した。第2実験では、工程ST1、工程ST2、工程STb、及び工程ST3を

10

20

30

40

50

含むシーケンスの実行回数と選択比の関係を求めた。第2比較実験では、工程ST1と工程ST3を含むシーケンスの実行回数と選択比の関係を求めた。選択比は、シリコン窒化膜のエッティングレートを多結晶シリコン膜のエッティングレートで除した値である。

【0095】

図14は、第2実験及び第2比較実験の結果を示すグラフである。図14のグラフにおいて、横軸は、シーケンスの実行回数を示しており、縦軸は選択比を示している。図14に示すように、第2実験の選択比は、第2比較実験の選択比よりも大きかった。即ち、方法MTによれば、多結晶シリコン膜に対してシリコン窒化膜を高い選択比でエッティング可能であることが確認された。また、第2実験の選択比は、シーケンスの実行回数と共に、増加していた。

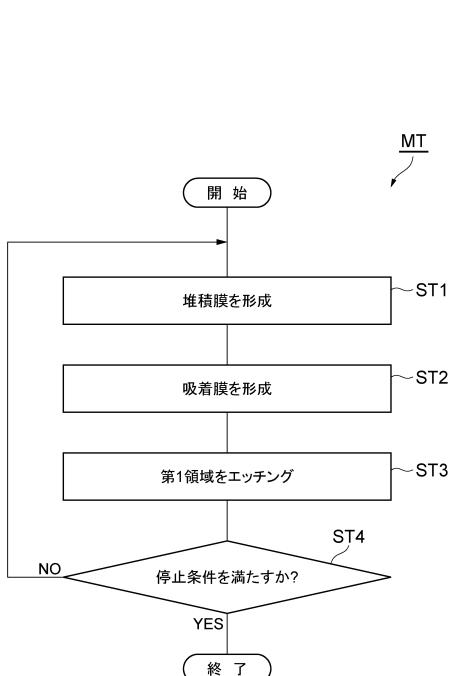
10

【符号の説明】

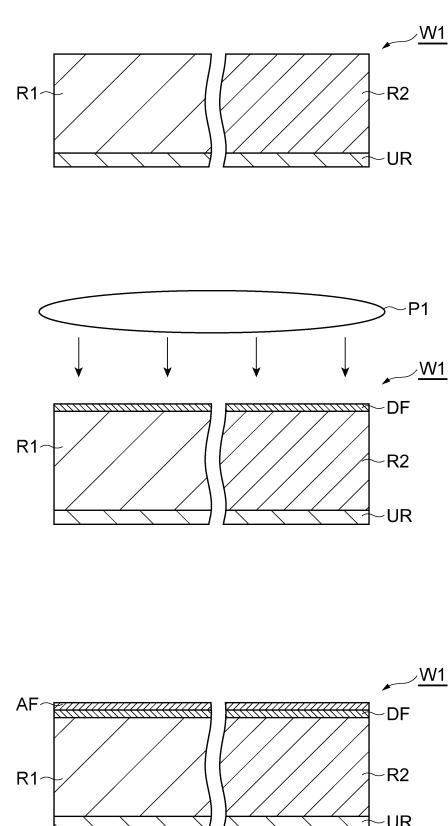
【0096】

W1, W2, W3...基板、R1...第1領域、R2...第2領域、AF...吸着膜、DF...堆積膜。

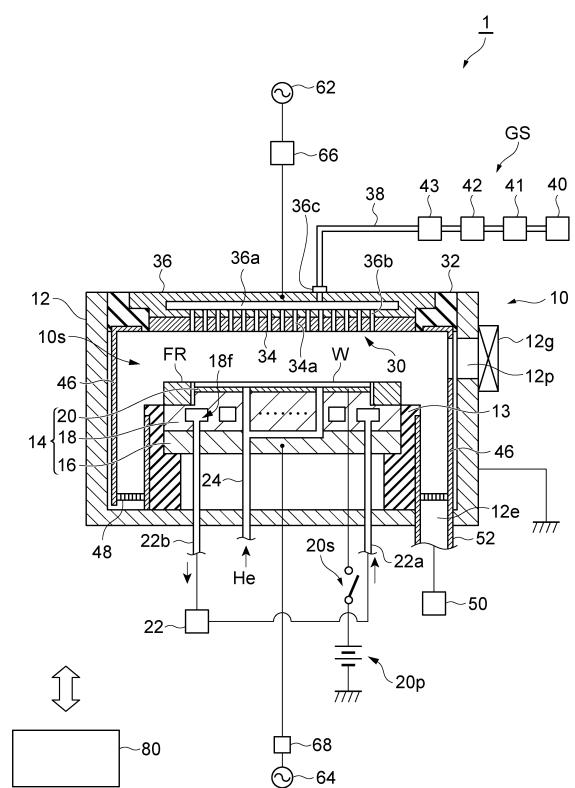
【図1】



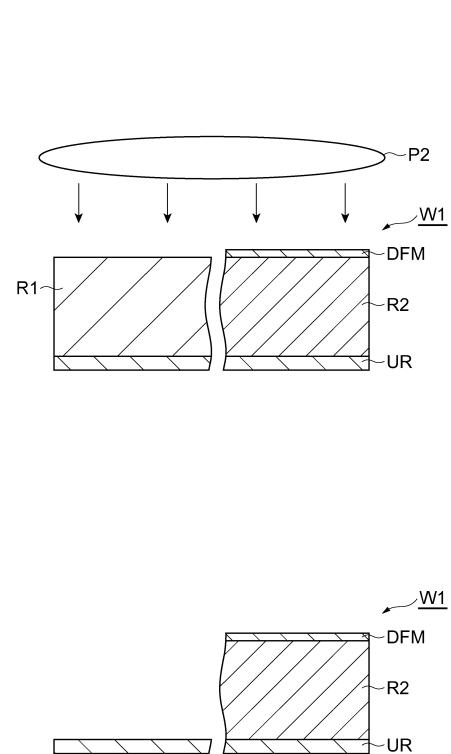
【図2】



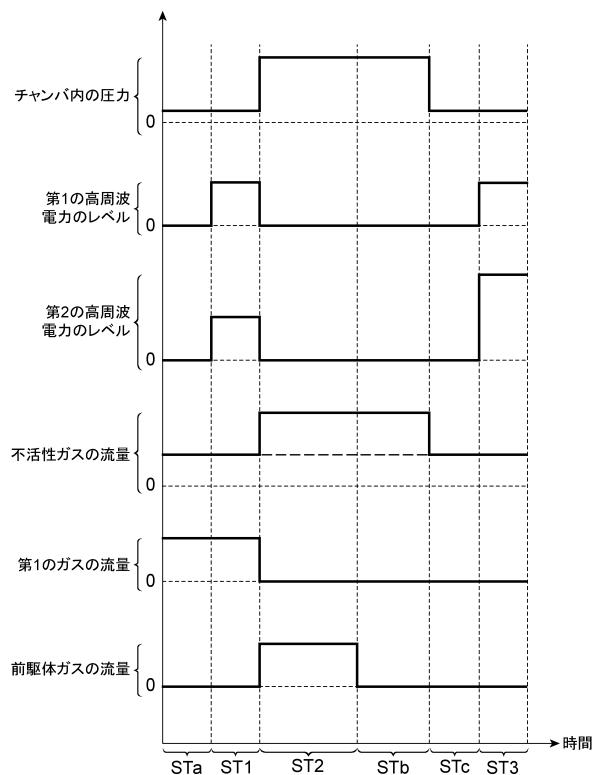
【図3】



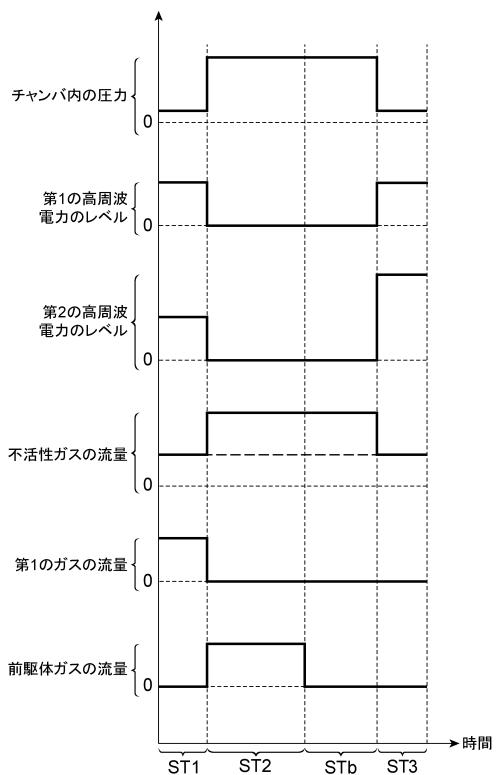
【図4】



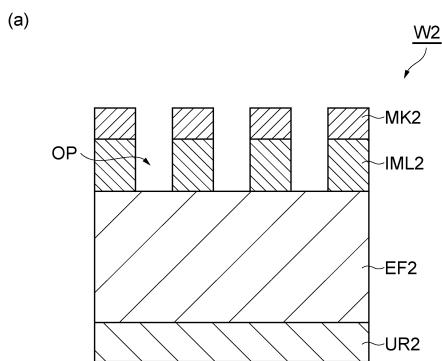
【図5】



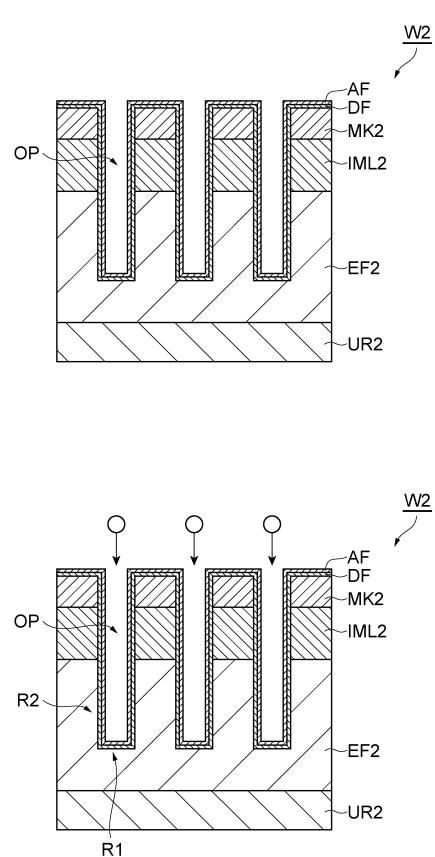
【図6】



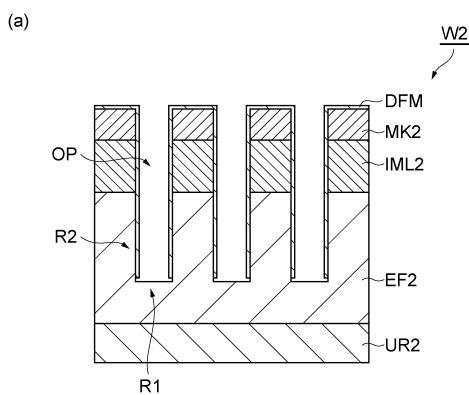
【図7】



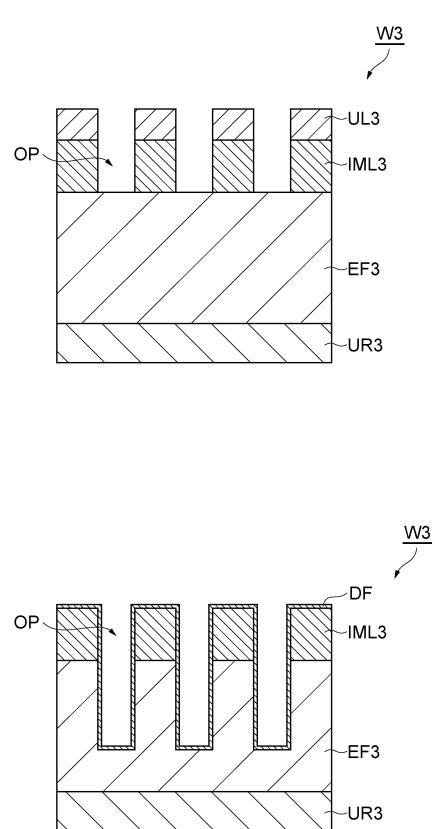
【図8】



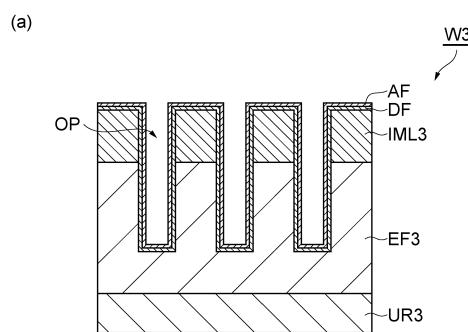
【図9】



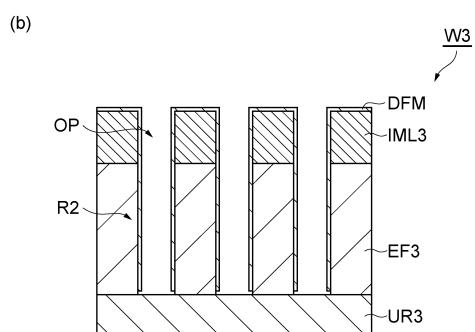
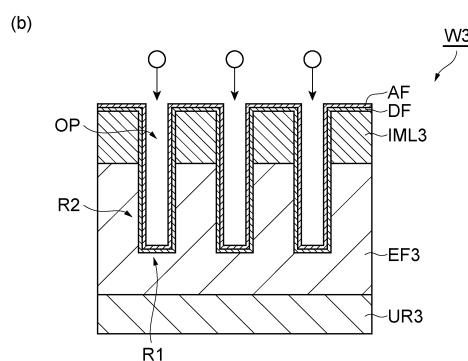
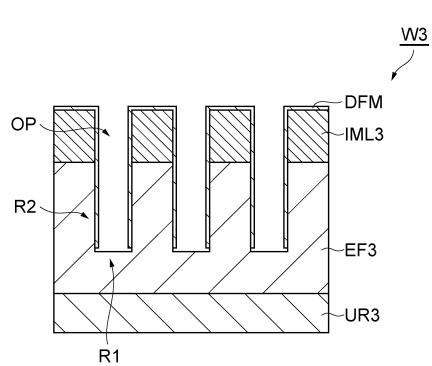
【図10】



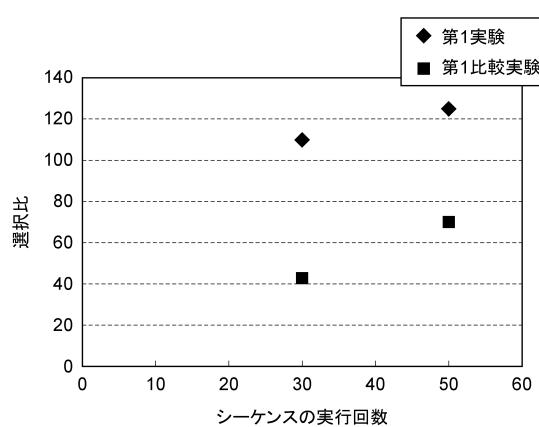
【図11】



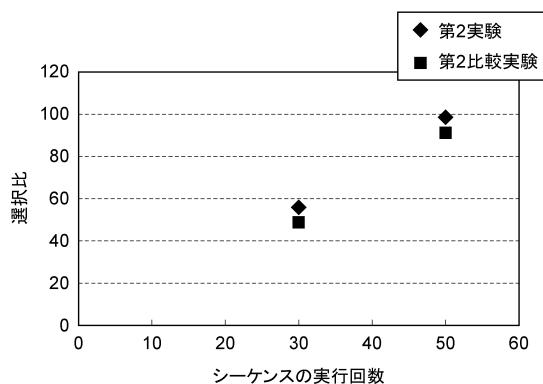
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2016-028424(JP,A)
特開2002-319574(JP,A)
特開2015-144249(JP,A)
特開2014-209515(JP,A)
特表2017-535057(JP,A)
特開2017-204531(JP,A)
特開2013-118359(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
H05H 1/46