

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6086862号
(P6086862)

(45) 発行日 平成29年3月1日(2017.3.1)

(24) 登録日 平成29年2月10日(2017.2.10)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 23 (全 34 頁)

| | | | |
|--------------|------------------------------|-----------|----------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2013-256118 (P2013-256118) | (73) 特許権者 | 000219967 |
| (22) 出願日 | 平成25年12月11日(2013.12.11) | | 東京エレクトロン株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開2015-65393 (P2015-65393A) | | 東京都港区赤坂五丁目3番1号 |
| (43) 公開日 | 平成27年4月9日(2015.4.9) | (74) 代理人 | 100088155 |
| 審査請求日 | 平成28年12月1日(2016.12.1) | | 弁理士 長谷川 芳樹 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2013-180267 (P2013-180267) | (74) 代理人 | 100113435 |
| (32) 優先日 | 平成25年8月30日(2013.8.30) | | 弁理士 黒木 義樹 |
| (33) 優先権主張国 | 日本国(JP) | (74) 代理人 | 100122507 |
| 早期審査対象出願 | | | 弁理士 柏岡 潤二 |
| | | (72) 発明者 | 北村 彰規 |
| | | | 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i |
| | | | zタワー 東京エレクトロン株式会社内 |
| | | (72) 発明者 | 大竹 浩人 |
| | | | 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i |
| | | | zタワー 東京エレクトロン株式会社内 |
| | | | 最終頁に続く |

(54) 【発明の名称】 酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去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】

酸化シリコンから構成された第1領域とシリコンから構成された第2領域を有する被処理体から該第1領域を選択的に除去する方法であって、

前記被処理体を収容した処理容器内において、水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガスのプラズマを生成し、前記第1領域の一部を変質させて、変質領域を形成する工程と、

前記処理容器内において前記変質領域を除去する工程と、
を各々が含む複数回のシーケンスを実施することを含み、

前記被処理体の前記第2領域が前記処理ガスの前記プラズマに晒されて前記第2領域内に酸化領域が形成されるように前記複数回のシーケンスを実施した後に、前記被処理体の前記第2領域の前記酸化領域を還元するために、前記処理容器内において発生させた還元性ガスのプラズマに前記被処理体を晒す、
方法。

【請求項2】

前記変質領域を除去する前記工程において、前記処理容器内において前記被処理体を加熱する、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記変質領域を除去する前記工程において、前記処理容器内において発生させた希ガスのプラズマに前記被処理体を晒す、請求項1に記載の方法。

10

20

【請求項 4】

前記変質領域を形成する前記工程と前記変質領域を除去する前記工程との間において、前記被処理体を前記処理容器から取り出して、前記処理容器内をクリーニングする工程を更に含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

初期状態の前記被処理体では、前記第 2 領域は前記第 1 領域内に埋め込まれており、前記処理容器内においてフルオロカーボン系ガスのプラズマに前記被処理体を晒す工程を更に含む、

前記複数回のシーケンスは、前記フルオロカーボン系ガスのプラズマに前記被処理体を晒す工程の後に行われる、

請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の方法。

10

【請求項 6】

前記第 2 領域は、フィン型電界トランジスタにおけるフィン領域を構成する、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記処理ガスは、 SF_6 ガスを含む請求項 1 ~ 6 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記処理容器を備え、マイクロ波をプラズマ源として用いるプラズマ処理装置において、実施される、請求項 1 ~ 6 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 9】

前記変質領域を形成する前記工程において、前記処理容器内の圧力が、 $40\text{ Pa} \sim 66.66\text{ Pa}$ の範囲内の圧力に設定される、請求項 8 に記載の方法。

20

【請求項 10】

前記変質領域を形成する前記工程において、前記マイクロ波のパワーが $800\text{ W} \sim 3000\text{ W}$ の範囲内のパワーに設定される、請求項 8 又は 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記変質領域を形成する前記工程において、前記処理ガスは N_2 ガスを含み、該 N_2 ガスの流量が $300\text{ sccm} \sim 1000\text{ sccm}$ の範囲の流量に設定される、請求項 8 ~ 10 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 12】

前記変質領域を形成する前記工程において、前記処理ガスは SF_6 ガスを含み、前記処理ガスの全流量中に占める該 SF_6 ガスの流量の割合が $3\% \sim 8\%$ の範囲内の割合に設定される、請求項 8 ~ 11 の何れか一項に記載の方法。

30

【請求項 13】

処理容器と、

温度調整機構を有し、エッチングされる第 1 領域及び残留する第 2 領域を含む被処理体を前記処理容器内においてその上に載置するよう構成された載置台と、

前記処理容器内に水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガス、並びに還元性ガスを供給するよう構成されたガス供給部と、

プラズマを生成するよう構成されており、前記処理容器内に供給されるガスを励起させるためのプラズマ生成部と、

40

前記温度調整機構、前記ガス供給部、及び前記プラズマ生成部を制御するよう構成された制御部と、

を備え、

前記制御部は、

前記被処理体が前記処理ガスのプラズマに晒されて該被処理体の前記第 1 領域が変質して該第 1 領域内に変質領域が形成されるよう、前記ガス供給部に前記処理ガスを供給させ、前記プラズマ生成部に該処理ガスのプラズマを発生させる第 1 制御と、

前記第 1 領域の前記変質領域が熱分解して除去されるよう、前記温度調整機構に前記被処理体を支持する前記載置台を加熱させる第 2 制御と、

50

を順に実行するようプログラムされており、

前記被処理体の前記第 2 領域が前記処理ガスのプラズマに晒されて前記第 2 領域内に酸化領域が形成されるように前記第 1 制御及び前記第 2 制御を順に複数回実行した後に、前記制御部は、前記被処理体の前記第 2 領域の前記酸化領域を還元するために前記被処理体が前記還元性ガスのプラズマに晒されるよう、前記ガス供給部に前記還元性ガスを供給させ、前記プラズマ生成部に該還元性ガスのプラズマを生成させる第 3 制御を実行するよう更にプログラムされている、

プラズマ処理装置。

【請求項 1 4】

処理容器と、

温度調整機構を有し、エッチングされる第 1 領域及び残留する第 2 領域を含む被処理体を前記処理容器内においてその上に載置するよう構成された載置台と、

前記処理容器内に水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガス、希ガス、並びに還元性ガスを供給するよう構成されたガス供給部と、

プラズマを生成するよう構成されており、前記処理容器内に供給されるガスを励起させるためのプラズマ生成部と、

前記ガス供給部及び前記プラズマ生成部を制御するよう構成された制御部と、

を備え、

前記制御部は、

前記被処理体が前記処理ガスのプラズマに晒されて該被処理体の前記第 1 領域が変質して該第 1 領域内に変質領域が形成されるよう、前記ガス供給部に前記処理ガスを供給させ、前記プラズマ生成部に該処理ガスのプラズマを発生させる第 1 制御と、

前記変質領域を除去するために前記被処理体が前記希ガスのプラズマに晒されるよう、前記ガス供給部に前記希ガスを供給させ、前記プラズマ生成部に該希ガスのプラズマを発生させる第 2 制御と、

を順に実行するようプログラムされており、

前記被処理体の前記第 2 領域が前記処理ガスのプラズマに晒されて前記第 2 領域内に酸化領域が形成されるように前記第 1 制御及び前記第 2 制御を順に複数回実行した後に、前記制御部は、前記被処理体の前記第 2 領域の前記酸化領域を還元するために前記被処理体が前記還元性ガスのプラズマに晒されるよう、前記ガス供給部に前記還元性ガスを供給させ、前記プラズマ生成部に該還元性ガスのプラズマを生成させる第 3 制御を実行するよう更にプログラムされている、

プラズマ処理装置。

【請求項 1 5】

前記制御部は、前記第 1 制御と前記第 2 制御との間において、前記処理容器内をクリーニングするための制御を実行する、請求項 1 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 6】

前記第 1 制御において、前記載置台に対してバイアス電力が供給されない、請求項 1 3 ~ 1 5 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 7】

前記ガス供給部は、前記処理容器内にフルオロカーボン系ガスを更に供給し、

前記制御部は、前記第 1 制御及び前記第 2 制御を順に複数回実行する前に、前記ガス供給部に前記フルオロカーボン系ガスを供給させ、前記プラズマ生成部に該フルオロカーボン系ガスのプラズマを生成させる第 4 制御を更に実行する、請求項 1 3 ~ 1 6 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 8】

前記処理ガスは、 SF_6 ガスを含有請求項 1 3 ~ 1 7 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 9】

前記プラズマ生成部は、エネルギーとしてマイクロ波を前記処理容器内に導入する、請

10

20

30

40

50

求項 13 ~ 17 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 20】

前記第 1 制御において、前記制御部は、前記処理容器内の圧力を、 $40\text{ Pa} \sim 66.6\text{ Pa}$ の範囲内の圧力に設定する、請求項 19 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 21】

前記第 1 制御において、前記制御部は、前記マイクロ波のパワーを $800\text{ W} \sim 3000\text{ W}$ の範囲内のパワーに設定する、請求項 19 又は 20 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 22】

前記処理ガスは N_2 ガスを含み、

前記第 1 制御において、前記制御部は、前記 N_2 ガスの流量を $300\text{ sccm} \sim 1000\text{ sccm}$ の範囲の流量に設定する、請求項 19 ~ 21 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 23】

前記処理ガスは SF_6 ガスを含み、

前記第 1 制御において、前記制御部は、前記処理ガスの全流量中に占める該 SF_6 ガスの流量の割合を $3\% \sim 8\%$ の範囲内の割合に設定する、請求項 19 ~ 22 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去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】

半導体デバイスの製造においては、被処理体の一部領域を選択的に除去する処理が行われることがある。このような処理の対象となる一種の被処理体は、酸化シリコンから構成された第 1 領域とシリコンから構成された第 2 領域とを含む被処理体である。かかる被処理体から第 1 領域を選択的に除去する処理としては、下記の特許文献 1 に記載された処理が知られている。

【0003】

特許文献 1 に記載された処理では、 HF 及び NH_3 と第 1 領域の酸化シリコンとの反応により、 $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ が生成される。即ち、当該反応により、第 1 領域の表面を含む一部領域が変質する。そして、被処理体を加熱することによって、変質した領域の $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ を熱分解させる。特許文献 1 に記載された処理では、このような変質と熱分解によって酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去している。

【0004】

近年、特許文献 1 に記載された処理、即ち、変質と熱分解による選択的除去を、プラズマを用いて実施する処理が試みが行われている。例えば、特許文献 2 には、 H_2 、 N_2 、及び NF_3 を含有するガスのプラズマによって酸化シリコンから構成された領域を変質させて、変質した領域を熱分解により除去する処理が記載されている。また、特許文献 3 には、 NH_3 及び NF_3 を含有するガスのプラズマによって、炭素含有膜を変質させ、変質した領域を熱分解によって除去する処理が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特表 2007 - 515074 号公報

【特許文献 2】特開 2008 - 16869 号公報

【特許文献 3】特表 2013 - 503482 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

上述した特許文献 2 の処理では、酸化シリコンから構成された第 1 領域のみでなく、シリコンから構成された第 2 領域も部分的に削られることがある。したがって、本技術分野においては、酸化シリコンから構成された領域を除去する選択性を向上させることが要請されている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

酸化シリコンから構成された第 1 領域を変質させる際には、当該第 1 領域から酸素が発生し、当該酸素によってシリコンから構成された第 2 領域が酸化されて、酸化領域が形成される。したがって、第 1 領域を変質させると、酸化領域も変質することになり、後続の処理によって当該酸化領域も除去されてしまう。以下に説明する種々の側面及び形態は、かかる酸化領域の発生を抑制することによって、酸化シリコンから構成された領域を除去する選択性を向上させるものである。

10

【 0 0 0 8 】

第 1 の側面においては、酸化シリコンから構成された第 1 領域とシリコンから構成された第 2 領域を有する被処理体から第 1 領域を選択的に除去する方法が提供される。この方法は、複数回のシーケンスを実施する。各シーケンスは、被処理体を収容した処理容器内において、水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガスのプラズマを生成し、第 1 領域の一部を変質させて、変質領域を形成する工程 (a) と、処理容器内において変質領域を除去する工程 (b) を含む。また、複数回のシーケンスのうち初回より後の所定回以降のシーケンスが、変質領域を形成する工程 (a) の前に、処理容器内において発生させた還元性ガスのプラズマに被処理体を晒す工程 (c) を更に含む。

20

【 0 0 0 9 】

第 1 の側面に係る方法では、シーケンス中の工程 (a) によって第 2 領域の一部が酸化することにより生成された酸化領域が、次のシーケンスの工程 (a) を実施する前に還元性ガスのプラズマに晒されて、還元される。したがって、第 2 領域の一部が、除去されることを抑制することが可能となる。その結果、酸化シリコンから構成された領域を除去する選択性を向上させることが可能となる。

【 0 0 1 0 】

一形態の変質領域を除去する工程 (b) では、処理容器内において被処理体を加熱してもよい。この形態では、工程 (b) において熱分解により、変質領域が除去される。

30

【 0 0 1 1 】

一形態の変質領域を除去する工程 (b) では、処理容器内において発生させた希ガスのプラズマに被処理体を晒してもよい。この形態では、希ガスのプラズマによって、変質領域が第 1 領域から分離される。以下、この形態の工程 (b) を、「工程 (b 1) 」ということがある。

【 0 0 1 2 】

また、更に別の形態の変質領域を除去する工程 (b) において、処理容器内において発生させた反応性プラズマに被処理体を晒しても良い。この形態では、反応性プラズマによって、変質領域を第 1 領域から分離することができる。

40

【 0 0 1 3 】

一形態の方法は、変質領域を形成する工程 (a) と変質領域を除去する工程 (b 1) との間において、被処理体を処理容器から取り出して、処理容器内をクリーニングする工程 (c) を更に含んでもよい。工程 (a) の直後には、処理容器内にフッ素が残留し得る。したがって、工程 (a) に連続して工程 (b 1) を実施すると、フッ素のプラズマによって第 2 領域が削られることがある。しかしながら、この形態では、工程 (a) と工程 (b 1) との間に、処理容器内をクリーニングするので、フッ素のプラズマによって第 2 領域が削られることを抑制することができる。なお、クリーニングは、処理容器内に希ガスを供給し、当該希ガスを励起させ、処理容器内を排気することによって実施することが可能である。また、当該クリーニングは、 O_2 を含むプラズマ等によって実施することも

50

可能である。

【 0 0 1 4 】

一形態では、初期状態の被処理体において第2領域が第1領域内に埋め込まれていてもよい。この形態の方法は、処理容器内においてフルオロカーボン系ガスのプラズマに被処理体を晒す工程を更に含んでもよく、複数回のシーケンスは、フルオロカーボン系ガスのプラズマに被処理体を晒す工程の後に行われてもよい。この形態によれば、例えば、第2領域に対して第1領域を選択的に除去することが要求されるまで、フルオロカーボン系ガスのプラズマによって第1領域を高速に除去することが可能となる。

【 0 0 1 5 】

一形態においては、第2領域は、フィン型電界トランジスタにおけるフィン領域を構成していてもよい。フィン型電界トランジスタの製造では、凸状の複数のフィン領域が酸化シリコンから構成された第1領域内に埋め込まれており、第1領域をエッチバックしてフィン領域を露出させる必要があり、このエッチバックにおいて、フィン領域に対して第1領域を選択的に除去する必要がある。上述した側面及び形態の方法は、例えば、このようなエッチバックに採用され得る。

【 0 0 1 6 】

一形態においては、処理ガスは、窒素源として、 N_2 ガスを含み得る。また、処理ガスは、水素源として、 H_2 ガスを含み得る。また、処理ガスは、フッ素源として、 SF_6 ガス、 NF_3 ガス、フルオロカーボンガス、フルオロハイドロカーボンガスのうち一種以上を含み得る。

【 0 0 1 7 】

また、一形態においては、上述した方法は、上記処理容器を備えたプラズマ処理装置であってマイクロ波をプラズマ源として用いるプラズマ処理装置において実施されてもよい。マイクロ波をプラズマ源として用いるプラズマ処理装置では、高密度のプラズマを生成し、無バイアスで被処理体を処理することが可能である。したがって、イオンスパッタリング効果によって第2領域が削られることを抑制しつつ、第1領域を選択的に除去することが可能となる。

【 0 0 1 8 】

一形態の工程 (a) において、処理容器内の圧力が、 $40 Pa (300 mTorr) \sim 66.66 Pa (500 mTorr)$ の範囲内の圧力に設定されてもよい。また、一形態の工程 (a) において、処理ガスは N_2 ガスを含み、 N_2 ガスの流量が $300 sccm \sim 1000 sccm$ の範囲の流量に設定されてもよい。また、一形態の工程 (a) において、処理ガスは SF_6 ガスを含み、処理ガスの全流量中に占める SF_6 ガスの流量の割合が $3\% \sim 8\%$ の範囲内の割合に設定されてもよい。これら形態によれば、第1領域を選択的に除去する速度を高めることが可能である。また、一形態の工程 (a) において、マイクロ波のパワーが $800 W \sim 3000 W$ の範囲内のパワーに設定されてもよい。この形態によれば、被処理体が異なる密度の複数のパターンを有している場合に、これらパターンにおける酸化シリコンを除去する速度の均一性の向上のみならず、マイクロローディングをコントロールすることが可能となる。

【 0 0 1 9 】

第2の側面及び第3の側面においては、上述した第1の側面及び種々の形態の方法の実施に利用可能なプラズマ処理装置が提供される。

【 0 0 2 0 】

第2の側面に係るプラズマ処理装置は、処理容器、載置台、ガス供給部、プラズマ生成部及び制御部を備えている。載置台は、処理容器内において被処理体を載置するために設けられている。載置台は、温度調整機構を有する。ガス供給部は、処理容器内に水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガス、並びに還元性ガスを供給する。プラズマ生成部は、処理容器内に供給されるガスを励起させるためのエネルギーを発生する。制御部は、温度調整機構、前記ガス供給部、及び前記プラズマ生成部を制御する。この制御部は、複数回のシーケンスを実行する。各シーケンスは、ガス供給部に処理ガスを供給させ、プラズマ

10

20

30

40

50

生成部にエネルギーを発生させる第1制御と、温度調整機構に載置台を加熱させる第2制御と、を含む。また、制御部は、複数回のシーケンスのうち初回より後の所定回以降のシーケンスにおいて、第1制御の前に、ガス供給部に還元性ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第3制御を実行する。このプラズマ処理装置によれば、酸化シリコンから構成された第1領域を変質させて、変質領域を形成し、当該変質領域を熱分解によって除去することが可能となる。

【0021】

第3の側面に係るプラズマ処理装置も、処理容器、載置台、ガス供給部、プラズマ生成部及び制御部を備えている。載置台は、処理容器内において被処理体を載置するために設けられている。ガス供給部は、処理容器内に水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガス、希ガス、並びに還元性ガスを供給する。プラズマ生成部は、処理容器内に供給されるガスを励起させるためのエネルギーを発生する。制御部は、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御する。この制御部は、複数回のシーケンスを実行する。各シーケンスは、ガス供給部に処理ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第1制御と、ガス供給部に希ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第2制御と、を含む。また、制御部は、複数回のシーケンスのうち初回より後の所定回以降のシーケンスにおいて、第1制御の前に、ガス供給部に還元性ガスを供給させ、プラズマ生成部に前記エネルギーを発生させる第3制御を実行する。このプラズマ処理装置によれば、希ガスのプラズマによって、変質領域が第1領域から分離される。

【0022】

一形態において、プラズマ処理装置の制御部は、第1制御と第2制御との間において、処理容器内をクリーニングするための制御を実行してもよい。

【0023】

一形態の第1制御では、載置台に対してバイアス電力が供給されないように制御されてもよい。

【0024】

一形態においては、ガス供給部は、処理容器内にフルオロカーボン系ガスを更に供給可能であってもよく、制御部は、複数回のシーケンスの前に、ガス供給部にフルオロカーボン系ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第4制御を更に実行してもよい。

【0025】

一形態においては、プラズマ生成部は、前記エネルギーとしてマイクロ波を処理容器内に導入してもよい。一形態の第1制御において、制御部は、処理容器内の圧力を、 $40\text{ Pa} \sim 66.66\text{ Pa}$ の範囲内の圧力に設定してもよい。また、一形態の第1制御において、制御部は、マイクロ波のパワーを $800\text{ W} \sim 3000\text{ W}$ の範囲内のパワーに設定してもよい。また、一形態において、処理ガスは N_2 ガスを含んでいてもよく、第1制御において、制御部は、前記 N_2 ガスの流量を $300\text{ sccm} \sim 1000\text{ sccm}$ の範囲の流量に設定してもよい。また、一形態においては、処理ガスは SF_6 ガスを含んでいてもよく、第1制御において、制御部は、処理ガスの全流量中に占める該 SF_6 ガスの流量の割合を $3\% \sim 8\%$ の範囲内の割合に設定してもよい。

【0026】

また、第4の側面においては、酸化シリコンから構成された第1領域とシリコンから構成された第2領域を有する被処理体から該第1領域を選択的に除去する方法が提供される。この被処理体では、第2領域は第1領域内に埋め込まれている。この方法は、第1領域から第2領域を露出させるよう、被処理体を収容した処理容器内においてフルオロカーボン系ガスのプラズマを発生させて、該フルオロカーボン系ガスのプラズマに被処理体を晒す工程(i)と、処理容器内において、水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガスのプラズマを生成し、第1領域を変質させて、変質領域を形成する工程(j)と、処理容器内において変質領域を除去する工程(k)と、を含む。かかる第4側面の方法によれば、工程(i)によって第1領域を高速に除去し、且つ、工程(i)後に残された第1領域の残

部を選択的に除去することが可能となる。一形態においては、第2領域は、フィン型電界トランジスタにおけるフィン領域を構成していてもよい。

【0027】

一形態の工程(k)において、処理容器内において被処理体を加熱してもよい。或いは、一形態の工程(k)では、処理容器内において発生させた希ガスのプラズマに被処理体を晒してもよい。以下、希ガスのプラズマによって変質領域を除去する工程(k)を、「工程(k1)」ということがある。

【0028】

一形態の方法は、工程(j)と工程(k1)との間において、被処理体を処理容器から取り出して、処理容器内をクリーニングする工程(m)を更に含んでもよい。この形態によれば、工程(j)の後に残存するフッ素のプラズマによって第2領域が削られることを抑制することができる。

10

【0029】

一形態において、処理ガスは、窒素源として、 N_2 ガスを含み得る。また、処理ガスは、水素源として、 H_2 ガスを含み得る。また、処理ガスは、フッ素源として、 SF_6 ガス、 NF_3 ガス、フルオロカーボンガス、フルオロハイドロカーボンガスのうち一種以上を含み得る。

【0030】

また、一形態の方法は、上記処理容器を備えたプラズマ処理装置であってマイクロ波をプラズマ源として用いるプラズマ処理装置において実施されてもよい。マイクロ波をプラズマ源として用いるプラズマ処理装置では、高密度のプラズマを生成し、無バイアスで被処理体を処理することが可能である。したがって、イオンスパッタリング効果によって第2領域が削られることを抑制しつつ、第1領域を選択的に除去することが可能となる。

20

【0031】

一形態の工程(j)において、処理容器内の圧力が、 40 Pa (300 mTorr) ~ 66.66 Pa (500 mTorr) の範囲内の圧力に設定されてもよい。また、一形態の工程(j)において、処理ガスは N_2 ガスを含み、 N_2 ガスの流量が 300 sccm ~ 1000 sccm の範囲の流量に設定されてもよい。また、一形態の工程(j)において、処理ガスは SF_6 ガスを含み、処理ガスの全流量中に占める SF_6 ガスの流量の割合が $3\% \sim 8\%$ の範囲内の割合に設定されてもよい。これら形態によれば、第1領域を選択的に除去する速度を高めることが可能である。また、一形態の工程(j)において、マイクロ波のパワーが $800\text{ W} \sim 3000\text{ W}$ の範囲内のパワーに設定されてもよい。この形態によれば、被処理体が異なる密度の複数のパターンを有している場合に、これらパターンにおける酸化シリコンを除去する速度の均一性の向上のみならず、マイクロローディングをコントロールすることが可能となる。

30

【0032】

第5の側面及び第6の側面においては、上述した第3の側面及び種々の形態の方法の実施に利用可能なプラズマ処理装置が提供される。

【0033】

第5の側面に係るプラズマ処理装置は、処理容器、載置台、ガス供給部、プラズマ生成部及び制御部を備えている。載置台は、処理容器内において被処理体を載置するために設けられている。載置台は、温度調整機構を有する。ガス供給部は、処理容器内に水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガス、並びにフルオロカーボン系ガスを供給する。プラズマ生成部は、処理容器内に供給されるガスを励起させるためのエネルギーを発生する。制御部は、温度調整機構、前記ガス供給部、及び前記プラズマ生成部を制御する。この制御部は、ガス供給部にフルオロカーボン系ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第1制御と、ガス供給部に前記処理ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第2制御と、温度調整機構に載置台を加熱させる第3制御と、を実行する。かかる第5側面のプラズマ処理装置によれば、変質領域の除去において加熱を行うことにより、上記第4側面の方法を実施可能である。

40

50

【 0 0 3 4 】

第6の側面に係るプラズマ処理装置も、処理容器、載置台、ガス供給部、プラズマ生成部及び制御部を備えている。載置台は、処理容器内において被処理体を載置するために設けられている。ガス供給部は、処理容器内に水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガス、希ガス、並びにフルオロカーボン系ガスを供給する。プラズマ生成部は、処理容器内に供給されるガスを励起させるためのエネルギーを発生する。制御部は、ガス供給部にフルオロカーボン系ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第1制御と、ガス供給部に前記処理ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第2制御と、ガス供給部に希ガスを供給させ、プラズマ生成部にエネルギーを発生させる第3制御と、を実行する。かかる第6側面のプラズマ処理装置によれば、変質領域の除去のために希ガスのプラズマを生成することにより、上記第4側面の方法を実施可能である。

10

【 0 0 3 5 】

一形態において、プラズマ処理装置の制御部は、第2制御と第3制御との間において、処理容器内をクリーニングするための制御を実行してもよい。

【 0 0 3 6 】

一形態の第2制御では、載置台に対してバイアス電力が供給されないように制御されてもよい。

【 0 0 3 7 】

一形態においては、プラズマ生成部は、前記エネルギーとしてマイクロ波を処理容器内に導入してもよい。一形態の第2制御において、制御部は、処理容器内の圧力を、 $40\text{ Pa} \sim 66.66\text{ Pa}$ の範囲内の圧力に設定してもよい。また、一形態の第2制御において、制御部は、マイクロ波のパワーを $800\text{ W} \sim 3000\text{ W}$ の範囲内のパワーに設定してもよい。また、一形態において、処理ガスは N_2 ガスを含んでいてもよく、第2制御において、制御部は、前記 N_2 ガスの流量を $300\text{ sccm} \sim 1000\text{ sccm}$ の範囲の流量に設定してもよい。また、一形態においては、処理ガスは SF_6 ガスを含んでいてもよく、第2制御において、制御部は、処理ガスの全流量中に占める該 SF_6 ガスの流量の割合を $3\% \sim 8\%$ の範囲内の割合に設定してもよい。

20

【 発明の効果 】

【 0 0 3 8 】

以上説明したように、酸化シリコンから構成された領域を除去する選択性を向上させることが可能となる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 9 】

【図1】酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去する方法の一実施形態を示す流れ図である。

【図2】被処理体の一例を示す断面図である。

【図3】工程ST2を説明するための図である。

【図4】工程ST4後のウエハの状態を示す図である。

【図5】工程ST1を説明するための図である。

【図6】工程ST1後のウエハの状態を示す図である。

40

【図7】方法MTの処理後のウエハの状態を示す図である。

【図8】フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハWを晒す工程を説明するための図である。

【図9】フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハWを晒す工程の直後のウエハの状態の一例を示す図である。

【図10】酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去する方法の更に別の実施形態を示す流れ図である。

【図11】方法MT2の工程STa後のウエハの状態を示す図である。

【図12】方法MT2の工程ST2を説明するための図である。

【図13】方法MT2の工程ST4後のウエハの状態を示す図である。

50

【図 1 4】一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す断面図である。

【図 1 5】スロット板の一例を示す平面図である。

【図 1 6】誘電体窓の一例を示す平面図である。

【図 1 7】図 1 6 の X V I I - X V I I 線に沿ってとった断面図である。

【図 1 8】図 1 6 に示す誘電体窓上に図 1 5 に示すスロット板を設けた状態を示す平面図である。

【図 1 9】第 1 の流量制御ユニット群、第 1 のガスソース群、第 2 の流量制御ユニット群、及び、第 2 のガスソース群を含むガス供給部を示す図である。

【図 2 0】実験例 1 の結果を示すグラフである。

【図 2 1】実験例 2 の結果を示すグラフである。

【図 2 2】実験例 3 の結果を示すグラフである。

【図 2 3】実験例 4 の結果を示すグラフである。

【図 2 4】実験例 5 の結果を示すグラフである。

【図 2 5】実験例 6 及び 7 の結果を示すグラフである。

【図 2 6】実験例 8 及び 9 の結果を示すグラフである。

【図 2 7】実験例 1 0 及び 1 1 の結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0040】

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ることとする。

【0041】

図 1 は、酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去する方法の一実施形態を示す流れ図である。図 1 に示す方法 M T は、被処理体（以下、「ウエハ」という）W から酸化シリコンにより構成された第 1 領域を選択的に除去するために用いることができる。

【0042】

図 2 は、被処理体の一例を示す断面図である。方法 M T の処理対象である被処理体、即ち、ウエハ W は、第 1 領域 R 1 と第 2 領域 R 2 を有している。第 1 領域 R 1 は、酸化シリコン、例えば SiO_2 から構成された領域である。第 2 領域 R 2 は、シリコン、例えば多結晶シリコンから構成された領域である。

【0043】

方法 M T は、一例においては、フィン型電界トランジスタのフィン領域を覆うように設けられた酸化シリコン製の領域を選択的に除去するために用いることができる。この例のウエハ W では、図 2 に示すように、下地層 U L 上にフィン領域を構成する複数の第 2 領域 R 2 が設けられている。これら第 2 領域 R 2 は、略直方体形状を有しており、互いに略平行に配列されている。また、このウエハ W では、これら第 2 領域 R 2 を覆うように、第 1 領域 R 1 が設けられている。以下、再び図 1 を参照し、フィン領域である第 2 領域 R 2 を覆う第 1 領域 R 1 を選択的に除去するエッチバックを例にとり、方法 M T に関して説明する。なお、方法 M T は、エッチバックに限定されるものではなく、酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去することが要求される任意の被処理体に対して適用可能である。

【0044】

図 1 に示すように、方法 M T では、複数回のシーケンスが実施される。各シーケンスは、工程 S T 2、及び工程 S T 4 を含んでいる。また、方法 M T では、初回より後の所定回以降のシーケンスにおいて、工程 S T 2 の前に、工程 S T 1 が行われる。また、一実施形態においては、各シーケンスは、工程 S T 3 を更に含み得る。

【0045】

図 3 は、工程 S T 2 を説明するための図である。図 3 においては、図 2 に示す初期状態のウエハ W から第 1 領域 R 1 の上側部分が除去されて第 2 領域 R 2 の頭部が露出した状態が示されている。工程 S T 2 では、ウエハ W を収容した処理容器内において、水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガスのプラズマ P L 1 が生成され、当該プラズマ P L 1 にウ

10

20

30

40

50

エハWが晒される。この工程ST2により、第1領域R1の一部、即ち第1領域R1の表面を含む一部領域が変質して、変質領域ARが形成される。具体的には、処理ガスに水素、窒素、及びフッ素が含まれているので、第1領域R1の酸化シリコンが、 $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ 、即ち、ケイフッ化アンモニウムに変質する。

【0046】

一実施形態においては、処理ガスは、水素源として H_2 ガスを含み、窒素源として N_2 ガスを含み得る。また、処理ガスは、フッ素源として、フルオロカーボンガス、フルオロハイドロカーボンガス、 NF_3 ガス、及び、 SF_6 ガスのうち一種以上のガスを含み得る。フルオロカーボンガスとしては、 CF_4 ガス、 C_4F_8 ガス、 C_5F_8 ガス、 C_4F_6 ガスが例示される。また、フルオロハイドロカーボンガスとしては、 CHF_3 ガス、 CHF_2F_2 ガス、 CH_3F ガスが例示される。

【0047】

工程ST2において、処理ガスのプラズマは、任意のプラズマ源によって生成され得る。例えば、処理ガスは、マイクロ波によって励起されてもよく、容量結合型のプラズマ源によって励起されてもよく、或いは、誘導結合型のプラズマ源によって励起されてもよい。また、工程ST2においては、ウエハWに対してプラズマ中のイオンを引き込むためのバイアス電力が、利用されなくてもよい。即ち、無バイアスで工程ST2が実施されてもよい。無バイアスで工程ST2が実施されることにより、イオンスパッタリング効果によるウエハWのダメージが抑制される。

【0048】

上述したように、工程ST2ではフッ素を含む処理ガスが用いられているので、工程ST2の直後には処理容器内にフッ素が残留し得る。そのため、工程ST2に続き、一実施形態の方法MTでは、工程ST3が行われる。工程ST3では、ウエハWが処理容器から取り出され、処理容器内のクリーニングが行われる。一実施形態では、工程ST3では、処理容器内にArガスといった希ガスが供給され、当該希ガスが励起される。また、このクリーニングは、 O_2 を含むプラズマ等によって実施することも可能である。この工程ST3により、処理容器内からフッ素が除去されるので、続く工程ST4においてフッ素の活性種によって第2領域R2が削られることを抑制することが可能となる。

【0049】

次いで、方法MTでは、ウエハWが再び処理容器内に戻され、工程ST4が行われる。工程ST4では、変質領域ARが除去、即ち、エッチングされる。なお、工程ST3を実施しない場合には、処理容器からウエハWを取り出すことなく、工程ST2に続けて工程ST4が実施される。一実施形態の工程ST4では、処理容器内においてウエハWが加熱される。これによって、変質領域ARが熱分解し、図4に示すように変質領域ARが除去される。一実施形態においては、ウエハWは、処理容器内において当該ウエハWを支持する載置台に設けられた温度調整機構によって当該載置台を加熱することによって、加熱される。例えば、ウエハWは、80以上の温度に加熱される。なお、ウエハWの温度が高いほど変質領域ARを除去する時間は短くなる。したがって、ウエハWは、120といった温度に加熱されてもよい。

【0050】

別の実施形態の工程ST4では、処理容器内においてArガスといった希ガスのプラズマが生成され、当該プラズマに被処理体が晒される。これにより、図4に示すように変質領域ARが除去される。なお、工程ST4において、プラズマは、任意のプラズマ源によって生成され得る。例えば、マイクロ波を用いてプラズマが生成されてもよく、容量結合型のプラズマ源によって励起されてもよく、或いは、誘導結合型のプラズマ源によってプラズマが生成されてもよい。また、工程ST4においては、ウエハWに対してプラズマ中のイオンを引き込むためのバイアス電力が、利用されなくてもよい。即ち、無バイアスで工程ST4が実施されてもよい。無バイアスで工程ST4が実施されることにより、イオンスパッタリング効果によるウエハWのダメージが抑制される。

【0051】

次いで、方法MTでは、工程ST5において、最終回のシーケンスが終了したか否かが判定され、最終回のシーケンスが終了した場合には、方法MTが終了する。一方、最終回のシーケンスが終了していない場合には、次のシーケンスが実施される。

【0052】

再び図3を参照する。図3に示すように工程ST2の実施時にウエハWの表面に第2領域R2が露出している場合には、工程ST2の処理によって第1領域R1から酸素が発生する。この酸素によって、第2領域R2の表面を含む一部領域が酸化して、酸化領域ORが形成される。この酸化領域ORは、図4に示すように工程ST4の後にも残存する。したがって、図1に示すように、方法MTでは、初回より後の所定回以降のシーケンスにおいて工程ST1が行われる。この工程ST1では、酸化領域ORに対する還元処理が行われる。なお、「所定回以降のシーケンス」とは、複数回のシーケンスのうち少なくとも初回のシーケンスを除くシーケンスであり、例えば、2回目以降のシーケンスである。また、「所定回以降のシーケンス」とは、工程ST2によって生成されるプラズマに初めて第2領域R2が晒されるシーケンスの直後から実施される一以上のシーケンスであってもよい。

10

【0053】

図5は、工程ST1を説明するための図である。工程ST1では、処理容器内において、還元性ガスのプラズマPL2が生成される。還元性ガスは、例えば、 H_2 ガスを含み得る。また、還元性ガスとしては、 H_2 ガスと N_2 ガスの混合ガス等が考えられる。工程ST1では、かかる還元性ガスのプラズマPL2にウエハWが晒されることにより、酸化領域ORが還元される。これにより、図6に示すように、酸化領域ORがシリコンから構成された第2領域R2の一部になる。

20

【0054】

なお、工程ST1において、プラズマは、任意のプラズマ源によって生成され得る。例えば、マイクロ波を用いてプラズマが生成されてもよく、容量結合型のプラズマ源によって励起されてもよく、或いは、誘導結合型のプラズマ源によってプラズマが生成されてもよい。また、工程ST1においては、ウエハWに対してプラズマ中のイオンを引き込むためのバイアス電力が、利用されなくてもよい。即ち、無バイアスで工程ST1が実施されてもよい。無バイアスで工程ST1が実施されることにより、イオンスパッタリング効果によるウエハWのダメージが抑制される。

30

【0055】

方法MTでは、上述したように工程ST1～ST4を含むシーケンスが複数回実施されることにより、図7に示すように、第1領域R1が第2領域R2に対して選択的に除去される。一例においては、フィン領域である第2領域R2に対して選択的に第1領域R1がエッチバックされる。

【0056】

以下、酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去する方法の別の実施形態について説明する。別の実施形態においては、第2領域R2に対して選択的に第1領域R1を除去する必要が生じるまで、フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハWを晒す工程が行われる。即ち、フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハWを晒す工程の後に、図1に示した複数回のシーケンスが実施される。

40

【0057】

フルオロカーボン系ガスは、上述したフルオロカーボンガス及びフルオロハイドロカーボンガスのうち一種以上のガスを含むことができ、また、希ガスといった他のガスを更にも含むことができる。また、フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハWを晒す工程では、プラズマは、任意のプラズマ源によって生成され得る。例えば、マイクロ波を用いてプラズマが生成されてもよく、容量結合型のプラズマ源によって励起されてもよく、或いは、誘導結合型のプラズマ源によってプラズマが生成されてもよい。また、フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハWを晒す工程においては、ウエハWに対してプラズマ中のイオンを引き込むためのバイアス電力が利用されてもよい。

50

【 0 0 5 8 】

図 8 は、フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハ W を晒す工程を説明するための図である。図 8 に示すように、フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハ W を晒す工程では、処理容器内においてフルオロカーボン系ガスのプラズマ P L 3 が生成される。このプラズマ P L 3 にウエハ W が晒されることにより、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハ W を晒す工程は、一例においては、図 8 に示すように、第 2 領域 R 2 の頭部が露出されるまで、又は第 2 領域 R 2 の頭部が露出される直前まで、実施することができる。これにより、第 1 領域 R 1 を高速に除去することができる。また、その後に図 1 に示した複数回のシーケンスを実施することで、第 2 領域 R 2 に対して第 1 領域 R 1 を選択的に除去することが可能となる。

10

【 0 0 5 9 】

図 9 は、フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハ W を晒す工程の直後のウエハの状態の一例を示す図である。フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハ W を晒す工程は、図 9 に示すように、第 2 領域 R 2 の側壁に沿って第 1 領域 R 1 が部分的に残される状態となるまで行われてもよく、その後に、当該側壁に沿って残された第 1 領域 R 1 を除去するために、図 1 に示した複数回のシーケンスが実施されてもよい。

【 0 0 6 0 】

次いで、酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去する方法の更に別の実施形態について説明する。図 10 は、酸化シリコンから構成された領域を選択的に除去する方法の更に別の実施形態を示す流れ図である。図 10 に示す方法 M T 2 は、フルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハ W を晒す工程 S T a、上記工程 S T 2、及び上記工程 S T 4 を含んでいる。

20

【 0 0 6 1 】

方法 M T 2 の工程 S T a では、図 8 を参照して説明したように、処理容器内においてフルオロカーボン系ガスのプラズマ P L 3 が生成される。このプラズマ P L 3 に、図 2 に示したウエハ W が晒されることにより、第 1 領域 R 1 がエッチングされる。即ち、工程 S T a では、フルオロカーボン系ガスのプラズマ P L 3 によって、第 1 領域 R 1 がエッチバックされる。工程 S T a の終了後には、図 11 に示すように、第 2 領域 R 2 の側壁に沿った箇所で、第 1 領域 R 1 の厚み方向の高さが、部分的に高くなる。即ち、第 1 領域 R 1 の形状は、第 2 領域 R 2 の側壁から裾を引いた形状となる。

30

【 0 0 6 2 】

次いで、方法 M T 2 では、上述した工程 S T 2 が行われる。即ち、工程 S T 2 では、図 12 に示すように、ウエハ W を収容した処理容器内において、水素、窒素、及びフッ素を含有する処理ガスのプラズマ P L 1 が生成され、当該プラズマ P L 1 にウエハ W が晒される。これにより、第 1 領域 R 1 の一部、即ち第 1 領域 R 1 の表面を含む一部領域が変質する。

【 0 0 6 3 】

次いで、方法 M T 2 では、上述した工程 S T 4 が行われる。即ち、工程 S T 4 では、工程 S T 2 において生成された変質領域が除去される。この工程 S T 4 により、図 13 に示すように、第 1 領域 R 1 の表面が比較的平坦な表面となる。上述したように、工程 S T 4 では、処理容器内においてウエハ W を加熱することにより、工程 S T 2 において生成された変質領域を除去してもよい。或いは、工程 S T 4 では、処理容器内において希ガスのプラズマを生成して当該プラズマにウエハ W を晒すことにより、変質領域を除去してもよい。なお、無バイアスで工程 S T 4 が実施されてもよい。

40

【 0 0 6 4 】

かかる方法 M T 2 によれば、工程 S T a においてエッチバックした第 1 領域 R 1 の表面を、工程 S T a に続く工程 S T 2 及び工程 S T 4 を行うことにより比較的平坦な表面へと加工することが可能である。また、方法 M T 2 によれば、工程 S T a、工程 S T 2 及び工程 S T 4 を含む一連の工程を、単一の処理容器、即ち、単一のプラズマ処理装置を用いて実施することが可能である。なお、方法 M T 2 においても、工程 S T 2 と工程 S T 4 の間

50

に、工程 S T 3 が実施されてもよい。また、方法 M T 2 においては、任意のプラズマ源によってプラズマが生成されてもよい。例えば、マイクロ波によってプラズマを励起する場合には、第 2 領域 R 2 である複数のフィン間のピッチに依らず、隣接するフィンの間の第 1 領域 R 1 を工程 S T a によってエッチバックすることができる。

【 0 0 6 5 】

以下、上述した種々の実施形態の方法の実施に用いることができるプラズマ処理装置について説明する。図 1 4 は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す断面図である。

【 0 0 6 6 】

図 1 4 に示すプラズマ処理装置 1 0 は、処理容器 1 2 を備えている。処理容器 1 2 は、ウエハ W を収容するための処理空間 S を画成している。処理容器 1 2 は、側壁 1 2 a、底部 1 2 b、及び、天部 1 2 c を含み得る。

【 0 0 6 7 】

側壁 1 2 a は、軸線 Z を略中心として、当該軸線 Z が延びる方向（以下、「軸線 Z 方向」という）に延在する略円筒形状を有している。側壁 1 2 a の内径は、例えば、540 mm である。底部 1 2 b は、側壁 1 2 a の下端側に設けられている。側壁 1 2 a の上端部は開口している。側壁 1 2 a の上端部開口は、誘電体窓 1 8 によって閉じられている。誘電体窓 1 8 は、側壁 1 2 a の上端部と天部 1 2 c との間に挟持されている。この誘電体窓 1 8 と側壁 1 2 a の上端部との間には封止部材 S L 1 が介在していてもよい。封止部材 S L 1 は、例えば O リングであり、処理容器 1 2 の密閉に寄与する。

【 0 0 6 8 】

プラズマ処理装置 1 0 は、載置台 2 0 を更に備えている。載置台 2 0 は、処理容器 1 2 内且つ誘電体窓 1 8 の下方に設けられている。この載置台 2 0 は、プレート 2 2、及び、静電チャック 2 4 を含んでいる。

【 0 0 6 9 】

プレート 2 2 は、略円盤状の金属製の部材であり、例えば、アルミニウムから構成されている。プレート 2 2 は、筒状の支持部 S P 1 によって支持されている。支持部 S P 1 は、底部 1 2 b から垂直上方に延びている。プレート 2 2 は、高周波電極を兼ねている。プレート 2 2 は、マッチングユニット M U 及び給電棒 P F R を介して、高周波バイアス電力を発生する高周波電源 R F G に電氣的に接続されている。高周波電源 R F G は、ウエハ W に引き込むイオンのエネルギーを制御するのに適した一定の周波数、例えば、13.65 MHz の高周波バイアス電力を出力する。マッチングユニット M U は、高周波電源 R F G 側のインピーダンスと、主に電極、プラズマ、処理容器 1 2 といった負荷側のインピーダンスとの間で整合をとるための整合器を収容している。この整合器の中には、自己バイアス生成用のブロッキングコンデンサが含まれている。

【 0 0 7 0 】

プレート 2 2 の上面には、静電チャック 2 4 が設けられている。静電チャック 2 4 は、ベースプレート 2 4 a 及びチャック部 2 4 b を含んでいる。ベースプレート 2 4 a は、略円盤状の金属製の部材であり、例えば、アルミニウムから構成されている。ベースプレート 2 4 a は、プレート 2 2 上に設けられている。ベースプレート 2 4 a の上面にはチャック部 2 4 b が設けられている。チャック部 2 4 b の上面は、ウエハ W を載置するための載置領域 M R となる。チャック部 2 4 b は、ウエハ W を静電吸着力で保持する。チャック部 2 4 b は、誘電体膜の間に挟まれた電極膜を含んでいる。チャック部 2 4 b の電極膜には、直流電源 D S C がスイッチ S W 及び被覆線 C L を介して電氣的に接続されている。チャック部 2 4 b は、直流電源 D S C から印加される直流電圧により発生するクーロン力によって、その上面にウエハ W を吸着保持することができる。このチャック部 2 4 b の径方向外側には、ウエハ W のエッジを環状に囲むフォーカスリング F R が設けられている。

【 0 0 7 1 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、温度制御機構を備えている。温度制御機構の一部として、ベースプレート 2 4 a の内部には、周方向に延びる環状の冷媒室 2 4 g が設けられて

10

20

30

40

50

いる。この冷媒室 2 4 g には、チラーユニットから配管 P P 1 , P P 3 を介して所定の温度の冷媒、例えば、冷却水が循環供給される。チャック部 2 4 b 上のウエハ W の処理温度は、冷媒の温度によって制御され得る。さらに、伝熱ガス供給部からの伝熱ガス、例えば、H e ガスが供給管 P P 2 を介してチャック部 2 4 b の上面とウエハ W の裏面との間に供給される。

【 0 0 7 2 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、温度制御機構の一部として、ヒータ H T、H S、H C、及び、H E を更に備え得る。ヒータ H T は、天部 1 2 c 内に設けられており、アンテナ 1 4 を囲むように、環状に延在している。また、ヒータ H S は、側壁 1 2 a 内に設けられており、環状に延在している。ヒータ H C は、ベースプレート 2 4 a 内に設けられている。ヒータ H C は、ベースプレート 2 4 a 内において、上述した載置領域 M R の中央部分の下方、即ち軸線 Z に交差する領域に設けられている。また、ヒータ H E は、ベースプレート 2 4 a 内に設けられており、ヒータ H C を囲むように環状に延在している。ヒータ H E は、上述した載置領域 M R の外縁部分の下方に設けられている。

10

【 0 0 7 3 】

また、載置台 2 0 の周囲には、環状の排気路 V L が設けられている。排気路 V L の軸線 Z 方向における中間には、複数の貫通孔が形成された環状のバッフル板 2 6 が設けられている。排気路 V L は、排気口 2 8 h を提供する排気管 2 8 に接続している。排気管 2 8 は、処理容器 1 2 の底部 1 2 b に取り付けられている。排気管 2 8 には、排気装置 3 0 が接続されている。排気装置 3 0 は、圧力調整器、及びターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有している。この排気装置 3 0 により、処理容器 1 2 内の処理空間 S を所望の真空度まで減圧することができる。また、排気装置 3 0 を動作させることにより、載置台 2 0 の外周から排気路 V L を介してガスを排気することができる。

20

【 0 0 7 4 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、一実施形態のプラズマ生成部 P G を更に備えている。プラズマ生成部 P G は、アンテナ 1 4、同軸導波管 1 6、誘電体窓 1 8、マイクロ波発生器 3 2、チューナ 3 4、導波管 3 6、及び、モード変換器 3 8 を含んでいる。マイクロ波発生器 3 2 は、例えば 2 . 4 5 G H z の周波数のマイクロ波を発生する。マイクロ波発生器 3 2 は、チューナ 3 4、導波管 3 6、及びモード変換器 3 8 を介して、同軸導波管 1 6 の上部に接続されている。同軸導波管 1 6 は、その中心軸線である軸線 Z に沿って延在している。一実施形態においては、載置台 2 0 の載置領域 M R の中心は、軸線 Z 上に位置している。

30

【 0 0 7 5 】

同軸導波管 1 6 は、外側導体 1 6 a 及び内側導体 1 6 b を含んでいる。外側導体 1 6 a は、その中心軸線である軸線 Z に沿って延在する円筒形状を有している。外側導体 1 6 a の下端は、導電性の表面を有する冷却ジャケット 4 0 の上部に電氣的に接続され得る。内側導体 1 6 b は、外側導体 1 6 a の内側において、当該外側導体 1 6 a と同軸に設けられている。内側導体 1 6 b は、その中心軸線である軸線 Z に沿って延在する円筒形状を有している。内側導体 1 6 b の下端は、アンテナ 1 4 のスロット板 4 4 に接続している。

【 0 0 7 6 】

一実施形態においては、アンテナ 1 4 は、ラジアルラインスロットアンテナである。このアンテナ 1 4 は、天部 1 2 c に形成された開口内に配置されており、誘電体窓 1 8 の上面の上に設けられている。アンテナ 1 4 は、誘電体板 4 2 及びスロット板 4 4 を含んでいる。誘電体板 4 2 は、マイクロ波の波長を短縮させるものであり、略円盤形状を有している。誘電体板 4 2 は、例えば、石英又はアルミナから構成される。誘電体板 4 2 は、スロット板 4 4 と冷却ジャケット 4 0 の下面の間に挟持されている。アンテナ 1 4 は、したがって、誘電体板 4 2、スロット板 4 4、及び、冷却ジャケット 4 0 によって構成され得る。

40

【 0 0 7 7 】

図 1 5 は、スロット板の一例を示す平面図である。スロット板 4 4 は、薄板状であって

50

、円盤状である。スロット板 4 4 の板厚方向の両面は、それぞれ平らである。円形のスロット板 4 4 の中心 C S は、軸線 Z 上に位置している。スロット板 4 4 には、複数のスロット対 4 4 p が設けられている。複数のスロット対 4 4 p の各々は、板厚方向に貫通する二つのスロット孔 4 4 a , 4 4 b を含んでいる。スロット孔 4 4 a , 4 4 b それぞれの平面形状は、長孔形状である。各スロット対 4 4 p において、スロット孔 4 4 a の長軸が延びる方向と、スロット孔 4 4 b の長軸が延びる方向は、互いに交差又は直交している。

【 0 0 7 8 】

図 1 5 に示す例では、複数のスロット対 4 4 p は、軸線 Z を中心とする仮想円 V C の内側に設けられた内側スロット対群 I S P と仮想円 V C の外側に設けられた外側スロット対群 O S P とに大別されている。内側スロット対群 I S P は、複数のスロット対 4 4 p を含んでいる。図 1 5 に示す例では、内側スロット対群 I S P は、七つのスロット対 4 4 p を含んでいる。内側スロット対群 I S P の複数のスロット対 4 4 p は、中心 C S に対して周方向に等間隔に配列されている。内側スロット対群 I S P に含まれる複数のスロット孔 4 4 a は、当該スロット孔 4 4 a の重心がスロット板 4 4 の中心 C S から半径 r_1 の円上に位置するよう、等間隔に配列されている。また、内側スロット対群 I S P に含まれる複数のスロット孔 4 4 b は、当該スロット孔 4 4 b の重心がスロット板 4 4 の中心 C S から半径 r_2 の円上に位置するよう、等間隔に配列されている。ここで、半径 r_2 は、半径 r_1 より大きい。

【 0 0 7 9 】

外側スロット対群 O S P は、複数のスロット対 4 4 p を含んでいる。図 1 5 に示す例では、外側スロット対群 O S P は、28 個のスロット対 4 4 p を含んでいる。外側スロット対群 O S P の複数のスロット対 4 4 p は、中心 C S に対して周方向に等間隔に配列されている。外側スロット対群 O S P に含まれる複数のスロット孔 4 4 a は、当該スロット孔 4 4 a の重心がスロット板 4 4 の中心 C S から半径 r_3 の円上に位置するよう、等間隔に配列されている。また、外側スロット対群 O S P に含まれる複数のスロット孔 4 4 b は、当該スロット孔 4 4 b の重心がスロット板 4 4 の中心 C S から半径 r_4 の円上に位置するよう、等間隔に配列されている。ここで、半径 r_3 は、半径 r_2 よりも大きく、半径 r_4 は、半径 r_3 よりも大きい。

【 0 0 8 0 】

また、内側スロット対群 I S P 及び外側スロット対群 O S P のスロット孔 4 4 a の各々は、中心 C S とその重心とを結ぶ線分に対して、その長軸が同一の角度を有するように、形成されている。また、内側スロット対群 I S P 及び外側スロット対群 O S P のスロット孔 4 4 b の各々は、中心 C S とその重心とを結ぶ線分に対して、その長軸が同一の角度を有するように、形成されている。

【 0 0 8 1 】

図 1 6 は、誘電体窓の一例を示す平面図であり、当該誘電体窓を処理空間 S 側から見た状態を示している。図 1 7 は、図 1 6 の X V I I - X V I I 線に沿ってとった断面図である。誘電体窓 1 8 は、略円盤形状を有し、石英又はアルミナといった誘電体から構成されている。誘電体窓 1 8 の上面 1 8 u 上には、スロット板 4 4 が設けられている。

【 0 0 8 2 】

誘電体窓 1 8 の中央には、貫通孔 1 8 h が形成されている。貫通孔 1 8 h の上側部分は、後述する中央導入部 5 0 のインジェクタ 5 0 b が収容される空間 1 8 s であり、下側部分は、後述する中央導入部 5 0 の中央導入口 1 8 i である。なお、誘電体窓 1 8 の中心軸線は、軸線 Z と一致している。

【 0 0 8 3 】

誘電体窓の上面 1 8 u と反対側の面、即ち下面 1 8 b は、処理空間 S に接しており、プラズマを生成する側の面となる。この下面 1 8 b は、種々の形状を画成している。具体的に、下面 1 8 b は、中央導入口 1 8 i を囲む中央領域において、平坦面 1 8 0 を有している。この平坦面 1 8 0 は、軸線 Z に直交する平坦な面である。下面 1 8 b は、平坦面 1 8 0 の径方向外側領域において、環状に連なり誘電体窓 1 8 の板厚方向内方側に向かってテ

10

20

30

40

50

ーパー状に凹む環状の第1凹部181を画成している。

【0084】

第1凹部181は、内側テーパー面181a、底面181b、及び、外側テーパー面181cによって画成されている。底面181bは、平坦面180よりも上面18u側に設けられており、平坦面180と平行に環状に延在している。内側テーパー面181aは、平坦面180と底面181bとの間において環状に延在しており、平坦面180に対して傾斜している。外側テーパー面181cは、底面181bと下面18bの周縁部との間において環状に延在しており、底面181bに対して傾斜している。なお、下面18bの周縁領域は、側壁12aに接する面となる。

【0085】

また、下面18bは、平坦面180から板厚方向内方側に向かって凹む複数の第2凹部182を画成している。複数の第2凹部182の個数は、図16及び図17に示す例では、7個である。これら複数の第2凹部182は、周方向に沿って等間隔に形成されている。また、複数の第2凹部182は、軸線Zに直交する面において円形の平面形状を有している。具体的には、第2凹部182を画成する内側面182aは、軸線Z方向に延在する円筒面である。また、第2凹部182を画成する底面182bは、平坦面180よりも上面18u側に設けられており、平坦面180と平行な円形の面である。

【0086】

図18は、図16に示す誘電体窓上に図15に示すスロット板を設けた状態を示す平面図であり、誘電体窓18を下側から見た状態を示している。図18に示すように、平面視において、即ち、軸線Z方向に見ると、外側スロット対群OSPの複数のスロット孔44a及び複数のスロット孔44b、並びに内側スロット対群ISPの複数のスロット孔44bは、第1凹部181に重なっている。具体的には、平面視において、外側スロット対群OSPの複数のスロット孔44bは、一部において外側テーパー面181cに重なっており、一部において底面181bに重なっている。また、平面視において、外側スロット対群OSPの複数のスロット孔44aは、底面181bに重なっている。また、平面視において、内側スロット対群ISPの複数のスロット孔44bは、一部において内側テーパー面181aに重なっており、一部において底面181bに重なっている。

【0087】

また、平面視において、即ち、軸線Z方向に見ると、内側スロット対群ISPの複数のスロット孔44aは、第2凹部182に重なっている。具体的には、平面視において、複数の第2凹部182の底面の重心(中心)それぞれが、内側スロット対群ISPの複数のスロット孔44a内に位置するように、構成されている。

【0088】

再び図14を参照する。プラズマ処理装置10では、マイクロ波発生器32により発生されたマイクロ波が、同軸導波管16を通して、誘電体板42に伝播され、スロット板44のスロット孔44a及び44bから誘電体窓18に与えられる。

【0089】

誘電体窓18では、上述したように第1凹部181を画成する部分の板厚、及び、第2凹部182を画成する部分の板厚は、他の部分よりも薄くなっている。したがって、誘電体窓18では、第1凹部181を画成する部分、及び、第2凹部182を画成する部分において、マイクロ波の透過性が高められている。また、軸線Z方向に見た場合に、外側スロット対群OSPのスロット孔44a及び44b、並びに、内側スロット対群ISPのスロット孔44bは、第1凹部181に重なっており、内側スロット対群ISPのスロット孔44aは、第2凹部182に重なっている。したがって、第1凹部181及び第2凹部182にマイクロ波の電界が集中して、当該第1凹部181及び第2凹部182にマイクロ波のエネルギーが集中する。その結果、第1凹部181及び第2凹部182において、プラズマを安定して発生させることが可能となり、誘電体窓18の直下において径方向及び周方向に分布したプラズマを安定して発生させることが可能となる。

【0090】

10

20

30

40

50

また、プラズマ処理装置 10 は、中央導入部 50 及び周辺導入部 52 を更に備えている。中央導入部 50 は、導管 50a、インジェクタ 50b、及び中央導入口 18i を含んでいる。導管 50a は、同軸導波管 16 の内側導体 16b の内孔に通されている。また、導管 50a の端部は、誘電体窓 18 が軸線 Z に沿って画成する空間 18s (図 17 参照) 内まで延在している。この空間 18s 内且つ導管 50a の端部の下方には、インジェクタ 50b が収容されている。インジェクタ 50b には、軸線 Z 方向に延びる複数の貫通孔が設けられている。また、誘電体窓 18 は、中央導入口 18i を画成している。中央導入口 18i は、空間 18s の下方に連続し、且つ軸線 Z に沿って延びている。かかる構成の中央導入部 50 は、導管 50a を介してインジェクタ 50b にガスを供給し、インジェクタ 50b から中央導入口 18i を介してガスを噴射する。このように、中央導入部 50 は、軸線 Z に沿って誘電体窓 18 の直下にガスを噴射する。即ち、中央導入部 50 は、電子温度が高いプラズマ生成領域にガスを導入する。

10

【0091】

周辺導入部 52 は、複数の周辺導入口 52i を含んでいる。複数の周辺導入口 52i は、主としてウエハ W のエッジ領域にガスを供給する。複数の周辺導入口 52i は、ウエハ W のエッジ領域、又は、載置領域 MR の縁部に向けて開口している。複数の周辺導入口 52i は、中央導入口 18i よりも下方、且つ、載置台 20 の上方において周方向に沿って配列されている。即ち、複数の周辺導入口 52i は、誘電体窓の直下よりも電子温度の低い領域 (プラズマ拡散領域) において軸線 Z を中心として環状に配列されている。この周辺導入部 52 は、電子温度の低い領域からウエハ W に向けてガスを供給する。したがって、周辺導入部 52 から処理空間 S に導入されるガスの解離度は、中央導入部 50 から処理空間 S に供給されるガスの解離度よりも抑制される。

20

【0092】

中央導入部 50 には、第 1 の流量制御ユニット群 FCG1 を介して第 1 のガスソース群 GSG1 が接続されている。また、周辺導入部 52 には、第 2 の流量制御ユニット群 FCG2 を介して第 2 のガスソース群 GSG2 が接続されている。図 19 は、第 1 の流量制御ユニット群、第 1 のガスソース群、第 2 の流量制御ユニット群、及び、第 2 のガスソース群を含むガス供給部を示す図である。図 19 に示すように、第 1 のガスソース群 GSG1、第 1 の流量制御ユニット群 FCG1、第 2 のガスソース群 GSG2、第 2 の流量制御ユニット群 FCG2 は、一実施形態のガス供給部 GU を構成している。

30

【0093】

第 1 のガスソース群 GSG1 は、複数の第 1 のガスソース GS11 ~ GS15 を含んでいる。ガスソース GS11 は、水素を含有するガスのソースであり、例えば、 H_2 ガスのソースである。ガスソース GS12 は、窒素を含有するガスのソースであり、例えば、 N_2 ガスのソースである。ガスソース GS13 は、フッ素を含有するガスのソースである。フッ素を含有するガスとしては、上述したフルオロカーボンガス、フルオロハイドロカーボンガス、 NF_3 ガス、及び、 SF_6 ガスのうち一種以上のガスが用いられ得る。ガスソース GS14 は、希ガスのソースであり、例えば、Ar ガスのソースである。また、ガスソース GS15 は、上述したフルオロカーボン系ガスのソースである。

【0094】

第 1 の流量制御ユニット群 FCG1 は、複数の第 1 の流量制御ユニット FC11 ~ FC15 を含んでいる。複数の第 1 の流量制御ユニット FC11 ~ FC15 の各々は、例えば、二つのバルブと、当該二つのバルブ間に設けられた流量制御器を含んでいる。流量制御器は、例えば、マスフローコントローラである。複数の第 1 のガスソース GS11 ~ GS15 はそれぞれ、複数の第 1 の流量制御ユニット FC11 ~ FC15 を介して、共通ガスライン GL1 に接続されている。この共通ガスライン GL1 は、中央導入部 50 に接続されている。

40

【0095】

第 2 のガスソース群 GSG2 は、複数の第 1 のガスソース GS21 ~ GS25 を含んでいる。第 2 のガスソース GS21 ~ GS25 はそれぞれ、ガスソース GS11 ~ GS15

50

と同様のガスのソースである。

【 0 0 9 6 】

第 2 の流量制御ユニット群 F C G 2 は、複数の第 2 の流量制御ユニット F C 2 1 ~ F C 2 5 を含んでいる。複数の第 2 の流量制御ユニット F C 2 1 ~ F C 2 5 の各々は、例えば、二つのバルブと、当該二つのバルブ間に設けられた流量制御器を含んでいる。流量制御器は、例えば、マスフローコントローラである。複数の第 2 のガスソース G S 2 1 ~ G S 2 5 はそれぞれ、複数の第 2 の流量制御ユニット F C 2 1 ~ F C 2 5 を介して、共通ガスライン G L 2 に接続されている。この共通ガスライン G L 2 は、周辺導入部 5 2 に接続されている。

【 0 0 9 7 】

このように、プラズマ処理装置 1 0 では、複数の第 1 のガスソース及び複数の第 1 の流量制御ユニットが中央導入部 5 0 専用に設けられており、これら複数の第 1 のガスソース及び複数の第 1 の流量制御ユニットとは独立した複数の第 2 のガスソース及び複数の第 2 の流量制御ユニットが周辺導入部 5 2 専用に設けられている。したがって、中央導入部 5 0 から処理空間 S に導入されるガスの種類、中央導入部 5 0 から処理空間 S に導入される一以上のガスの流量を独立して制御することができ、また、周辺導入部 5 2 から処理空間 S に導入されるガスの種類、周辺導入部 5 2 から処理空間 S に導入される一以上のガスの流量を独立して制御することができる。

【 0 0 9 8 】

一実施形態においては、周辺導入部 5 2 は、環状の管 5 2 p を更に含む。この管 5 2 p には、複数の周辺導入口 5 2 i が形成されている。環状の管 5 2 p は、例えば、石英から構成され得る。図 1 4 に示すように、環状の管 5 2 p は、一実施形態においては、側壁 1 2 a の内壁面に沿って設けられている。換言すると、環状の管 5 2 p は、誘電体窓 1 8 の下面と載置領域 M R、即ちウエハ W とを結ぶ経路上には配置されていない。したがって、環状の管 5 2 p は、プラズマの拡散を阻害しない。また、環状の管 5 2 p が側壁 1 2 a の内壁面に沿って設けられているので、当該環状の管 5 2 p のプラズマによる消耗が抑制され、当該環状の管 5 2 p の交換頻度を減少させることが可能となる。さらに、環状の管 5 2 p は、ヒータによる温度制御が可能な側壁 1 2 a に沿って設けられているので、周辺導入部 5 2 から処理空間 S に導入されるガスの温度の安定性を向上させることが可能となる。

【 0 0 9 9 】

また、一実施形態においては、複数の周辺導入口 5 2 i は、ウエハ W のエッジ領域に向けて開口している。即ち、複数の周辺導入口 5 2 i は、ウエハ W のエッジ領域に向けてガスを噴射するよう、軸線 Z に直交する平面に対して傾斜している。このように周辺導入口 5 2 i が、ウエハ W のエッジ領域に向けて傾斜するように開口しているので、当該周辺導入口 5 2 i から噴射されたガスの活性種は、ウエハ W のエッジ領域に直接的に向かう。これにより、ガスの活性種をウエハ W のエッジに失活させずに供給することが可能となる。

【 0 1 0 0 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、制御部 C n t を更に備えている。制御部 C n t は、プログラム可能なコンピュータ装置といった制御器であり得る。制御部 C n t は、レシピに基づくプログラムに従ってプラズマ処理装置 1 0 の各部を制御し得る。

【 0 1 0 1 】

図 1 に示した方法 M T の工程 S T 1 の実施時には、制御部 C n t は、ガス供給部 G U に還元性ガスを供給させ、プラズマ生成部 P G にエネルギーを発生させる制御を実行する。この制御により、ガス供給部 G U は、ガスソース G S 1 1、G S 1 2、G S 2 1、G S 2 2 からのガスの混合ガスを、還元性ガスとして、処理容器 1 2 内に供給する。また、この制御により、プラズマ生成部 P G は、マイクロ波を誘電体窓 1 8 を介して、処理容器 1 2 内に導入する。これにより、還元性ガスのプラズマが生成され、ウエハ W が当該プラズマに晒される。一実施形態においては、この制御において、制御部 C n t は、高周波電源 R F G からの高周波バイアス電力のプレート 2 2、即ち高周波電極への供給を停止させても

10

20

30

40

50

よい。即ち、制御部 C n t は、工程 S T 1 を無バイアスで実施してもよい。なお、工程 S T 1 の実施のための制御において、制御部 C n t は、ガスソース G S 1 2、G S 2 2 からのガスに代えて、ガス供給部 G U に H e ガスといった希ガスを供給させてもよい。

【 0 1 0 2 】

また、方法 M T 及び方法 M T 2 の工程 S T 2 の実施時には、制御部 C n t は、ガス供給部 G U に処理ガスを供給させ、プラズマ生成部 P G にエネルギーを発生させる制御を実行する。この制御により、ガス供給部 G U は、ガスソース G S 1 1、G S 1 2、G S 1 3、G S 2 1、G S 2 2、G S 2 3 からのガスの混合ガスを、処理ガスとして、処理容器 1 2 内に供給する。また、この制御により、プラズマ生成部 P G は、マイクロ波を誘電体窓 1 8 を介して、処理容器 1 2 内に導入する。これにより、処理ガスのプラズマが生成され、ウエハ W が当該プラズマに晒される。一実施形態においては、この制御において、制御部 C n t は、高周波電源 R F G からの高周波バイアス電力のプレート 2 2、即ち高周波電極への供給を停止させてもよい。

10

【 0 1 0 3 】

また、方法 M T の工程 S T 3 の実施時には、制御部 C n t は、ガス供給部 G U に希ガスを供給させ、プラズマ生成部 P G にエネルギーを発生させ、排気装置 3 0 を作動させる制御を実行する。この制御により、ガス供給部 G U は、ガスソース G S 1 4、G S 2 4 からの希ガスを、処理容器 1 2 内に供給する。また、この制御により、プラズマ生成部 P G は、マイクロ波を誘電体窓 1 8 を介して、処理容器 1 2 内に導入する。これにより、希ガスのプラズマが生成され、処理容器 1 2 内の処理空間 S が排気されて、処理容器 1 2 内がク

20

【 0 1 0 4 】

また、方法 M T 及び方法 M T 2 の工程 S T 4 の実施時には、制御部 C n t は、ヒータ H C 及び H E を発熱させる制御を実行する。この制御において、制御部 C n t は、ガスソース G S 1 4 及び G S 2 4 からの希ガスを処理容器 1 2 内に供給させるよう、ガス供給部 G U を制御してもよい。

【 0 1 0 5 】

また、方法 M T 及び方法 M T 2 の別の実施形態に係る工程 S T 4 の実施時には、制御部 C n t は、ガス供給部 G U に希ガスを供給させ、プラズマ生成部 P G にエネルギーを発生させる制御を実行する。この制御により、ガス供給部 G U は、ガスソース G S 1 4、G S 2 4 からの希ガスを処理容器 1 2 内に供給する。また、この制御により、プラズマ生成部 P G は、マイクロ波を誘電体窓 1 8 を介して、処理容器 1 2 内に導入する。これにより、希ガスのプラズマが生成され、ウエハ W が当該プラズマに晒される。一実施形態においては、この制御において、制御部 C n t は、高周波電源 R F G からの高周波バイアス電力のプレート 2 2、即ち高周波電極への供給を停止させてもよい。

30

【 0 1 0 6 】

また、更なる別の実施形態においては、図 1 に示した複数回のシーケンスの実施前に上述したフルオロカーボン系ガスのプラズマにウエハ W を晒す工程を実施するために、或いは、方法 M T 2 の工程 S T a を実施するために、制御部 C n t は、ガス供給部 G U にフルオロカーボン系ガスを供給させ、プラズマ生成部 P G にエネルギーを発生させる制御を実行する。この制御により、ガス供給部 G U は、ガスソース G S 1 5、G S 2 5 からのフルオロカーボン系ガスを処理容器 1 2 内に供給する。また、この制御により、プラズマ生成部 P G は、マイクロ波を誘電体窓 1 8 を介して、処理容器 1 2 内に導入する。これにより、フルオロカーボン系ガスのプラズマが生成され、ウエハ W が当該プラズマに晒される。なお、この制御において、制御部 C n t は、ガス供給部 G U にフルオロカーボン系ガスに加えて希ガス等を処理容器内に供給させてもよい。また、この制御において、制御部 C n t は、高周波電源 R F G に高周波バイアス電力をプレート 2 2 へ供給させてもよい。

40

【 0 1 0 7 】

以下、プラズマ処理装置 1 0 を用いて行った実験例について説明する。

【 0 1 0 8 】

50

(実験例 1)

【 0 1 0 9 】

実験例 1 では、酸化シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 1 回のシーケンスの処理を行った。また、実験例 1 では、工程 S T 2 の実施時の処理容器 1 2 内の圧力を可変のパラメータとして種々の圧力に設定した。実験例 1 のその他の処理条件は以下の通りである。

< 工程 S T 2 >

・マイクロ波パワー：2 0 0 0 W

・処理ガス

H₂ ガス：1 8 5 s c c m

N₂ ガス：5 0 0 s c c m

SF₆ ガス：4 5 s c c m

・ウエハ温度：3 0

・無バイアス

・処理時間：3 0 秒

< 工程 S T 4 >

・処理容器 1 2 内圧力：1 0 m T o r r (1 . 3 3 3 P a)

・マイクロ波パワー：0 W

・Ar ガス：5 0 0 s c c m

・ウエハ温度：1 2 0

・無バイアス

・処理時間：6 0 秒

【 0 1 1 0 】

実験例 1 では、処理前後の酸化シリコン膜の膜厚の変化量、即ちエッチング量を求めた。その結果を図 2 0 に示す。図 2 0 において横軸は工程 S T 2 の実施時の処理容器 1 2 内の圧力を示しており、縦軸はエッチング量を示している。図 2 0 に示すように、実験例 1 の結果、工程 S T 2 の実施時の処理容器 1 2 内の圧力が 4 0 P a (3 0 0 m T o r r) ~ 6 6 . 6 6 P a (5 0 0 m T o r r) の範囲の圧力であるときに、比較的大きなエッチング量が得られることが確認された。

【 0 1 1 1 】

(実験例 2)

【 0 1 1 2 】

実験例 2 では、酸化シリコンから構成された第 1 領域とシリコンから構成された第 2 領域が密に形成された領域（以下、「密領域」という）と第 1 領域と第 2 領域とが粗に形成された領域（以下、「粗領域」という）を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 2 回のシーケンスの処理を行った。また、実験例 2 では、工程 S T 2 の実施時のマイクロ波のパワーを可変のパラメータとして種々のパワーに設定した。実験例 2 のその他の処理条件は以下の通りである。

< 工程 S T 2 >

・処理容器 1 2 内圧力：5 0 0 m T o r r (6 6 . 6 6 P a)

・処理ガス

H₂ ガス：2 4 0 s c c m

N₂ ガス：5 0 0 s c c m

SF₆ ガス：4 5 s c c m

・ウエハ温度：5 0

・無バイアス

・処理時間：9 0 秒

< 工程 S T 4 >

・処理容器 1 2 内圧力：1 0 m T o r r (1 . 3 3 3 P a)

・マイクロ波パワー：0 W

- ・ Ar ガス：500 sccm
- ・ ウエハ温度：80
- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間：600 秒

【0113】

実験例2では、処理前後の酸化シリコン膜の膜厚の変化量、即ち、エッチング量を、粗領域と密領域のそれぞれにおいて求めた。その結果を図21に示す。図21において横軸は工程ST2の実施時のマイクロ波のパワーを示しており、縦軸はエッチング量を示している。図21に示すように、実験例2の結果、工程ST2の実施時のマイクロ波のパワーが2000W～3000Wの範囲のパワーであるときに、粗領域と密領域のエッチング量の差異が小さくなることが確認された。

10

【0114】

(実験例3)

【0115】

実験例3、即ち、実験例3-1、実験例3-2、及び実験例3-3では、酸化シリコン膜を有するウエハに対して、工程ST2及び工程ST4からなる1～3回のシーケンスの処理を行った。また、実験例3-1、実験例3-2、及び実験例3-3では、工程ST2の実施時のN₂ガスの流量を可変のパラメータとして種々の流量に設定した。具体的には、実験例3-1では、工程ST2のN₂ガスの流量を300 sccmに設定して、3回のシーケンスの処理を行った。実験例3-2では、工程ST2のN₂ガスの流量を500 sccmに設定して、1回のシーケンスの処理を行った。また、実験例3-3では、工程ST2のN₂ガスの流量を1000 sccmに設定して、1回のシーケンスの処理を行った。実験例3のその他の処理条件は以下の通りである。

20

<実験例3-1の工程ST2>

- ・ 処理容器12内圧力：500 mTorr (66.66 Pa)
- ・ マイクロ波パワー：2000 W
- ・ 処理ガス
 - H₂ ガス：240 sccm
 - N₂ ガス：300 sccm
 - SF₆ ガス：45 sccm

30

- ・ ウエハ温度：15

- ・ 無バイアス

- ・ 処理時間：30 秒

<実験例3-1の工程ST4>

- ・ 処理容器12内圧力：20 mTorr (2.666 Pa)
- ・ マイクロ波パワー：2000 W
- ・ Ar ガス：500 sccm
- ・ ウエハ温度：50
- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間：30 秒

40

<実験例3-2の工程ST2>

- ・ 処理容器12内圧力：500 mTorr (66.66 Pa)
- ・ マイクロ波パワー：2000 W
- ・ 処理ガス
 - H₂ ガス：240 sccm
 - N₂ ガス：500 sccm
 - SF₆ ガス：45 sccm

- ・ ウエハ温度：30

- ・ 無バイアス

- ・ 処理時間：30 秒

50

< 実験例 3 - 2 の工程 S T 4 >

- ・ 処理容器 1 2 内圧力：1 0 0 m T o r r (1 3 . 3 3 P a)
- ・ マイクロ波パワー：2 0 0 0 W
- ・ H e ガス：5 0 0 s c c m
- ・ ウエハ温度：3 0
- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間：9 0 秒

< 実験例 3 - 3 のシーケンスの工程 S T 2 >

- ・ 処理容器 1 2 内圧力：5 0 0 m T o r r (6 6 . 6 6 P a)
- ・ マイクロ波パワー：2 0 0 0 W
- ・ 処理ガス
 - H₂ ガス：2 4 0 s c c m
 - N₂ ガス：1 0 0 0 s c c m
 - S F₆ ガス：6 0 s c c m
- ・ ウエハ温度：3 0
- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間：3 0 秒

10

< 実験例 3 - 3 の工程 S T 4 >

- ・ 処理容器 1 2 内圧力：1 0 0 m T o r r (1 3 . 3 3 P a)
- ・ マイクロ波パワー：2 0 0 0 W
- ・ H e ガス：5 0 0 s c c m
- ・ ウエハ温度：3 0
- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間：9 0 秒

20

【 0 1 1 6 】

実験例 3 では、処理前後の酸化シリコン膜の膜厚の変化量、即ち、エッチング量を求めた。その結果（1 回のシーケンスのエッチング量）を図 2 2 に示す。図 2 2 において横軸は工程 S T 2 の実施時の N₂ ガスの流量を示しており、縦軸はエッチング量を示している。図 2 2 に示すように、実験例 3 の結果、工程 S T 2 の実施時の N₂ ガスの流量が 3 0 0 s c c m ~ 1 0 0 0 s c c m の範囲の流量であるときに、比較的大きなエッチング量が得られることが確認された。

30

【 0 1 1 7 】

（ 実験例 4 ）

【 0 1 1 8 】

実験例 4 では、酸化シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 1 回のシーケンスの処理を行った。また、実験例 4 では、工程 S T 2 の実施時の S F₆ ガスの流量を可変のパラメータとして種々の流量に設定した。実験例 4 のその他の処理条件は以下の通りである。

< 工程 S T 2 >

- ・ 処理容器 1 2 内圧力：5 0 0 m T o r r (6 6 . 6 6 P a)
- ・ マイクロ波パワー：2 0 0 0 W
- ・ 処理ガス
 - H₂ ガス：1 8 5 s c c m
 - N₂ ガス：5 0 0 s c c m
- ・ ウエハ温度：3 0
- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間：3 0 秒

40

< 工程 S T 4 >

- ・ 処理容器 1 2 内圧力：1 0 m T o r r (1 . 3 3 3 P a)
- ・ マイクロ波パワー：0 W

50

- ・ Ar ガス : 5 0 0 s c c m
- ・ ウエハ温度 : 1 2 0
- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間 : 6 0 秒

【 0 1 1 9 】

実験例 4 では、処理前記の酸化シリコン膜の膜厚の変化量、即ち、エッチング量を求めた。その結果を図 2 3 に示す。図 2 3 において横軸は工程 S T 2 の実施時の S F₆ ガスの流量を示しており、縦軸はエッチング量を示している。図 2 3 に示すように、実験例 4 の結果、工程 S T 2 の実施時の S F₆ ガスの流量が処理ガスの全流量中に占める割合が 3 % ~ 8 % の範囲内であるときに、比較的大きなエッチング量が得られることが確認された。

10

【 0 1 2 0 】

(実験例 5)

【 0 1 2 1 】

実験例 5 では、酸化シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 1 回のシーケンスの処理を行った。また、実験例 5 では、工程 S T 2 の実施時のウエハ温度を可変のパラメータとして種々の温度に設定した。実験例 5 のその他の処理条件は以下の通りである。

< 工程 S T 2 >

- ・ 処理容器 1 2 内圧力 : 5 0 0 m T o r r (6 6 . 6 6 P a)
- ・ マイクロ波パワー : 2 0 0 0 W
- ・ 処理ガス
 - H₂ ガス : 2 4 0 s c c m
 - N₂ ガス : 5 0 0 s c c m
 - S F₆ ガス : 4 5 s c c m

20

- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間 : 3 0 秒

< 工程 S T 4 >

- ・ 処理容器 1 2 内圧力 : 2 0 m T o r r (2 . 6 6 6 P a)
- ・ マイクロ波パワー : 2 0 0 0 W
- ・ Ar ガス : 5 0 0 s c c m
- ・ ウエハ温度 : 3 0
- ・ 無バイアス
- ・ 処理時間 : 9 0 秒

30

【 0 1 2 2 】

実験例 5 では、処理前後の酸化シリコン膜の膜厚の変化量、即ち、エッチング量を求めた。その結果を図 2 4 に示す。図 2 4 において横軸は工程 S T 2 の実施時のウエハの温度を示しており、縦軸はエッチング量を示している。図 2 4 に示すように、実験例 5 の結果、工程 S T 2 の実施時のウエハ温度が 2 0 ~ 4 0 の範囲の温度であるときに、比較的大きなエッチング量が得られることが確認された。

【 0 1 2 3 】

(実験例 6 ~ 1 1)

【 0 1 2 4 】

実験例 6 では、酸化シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 1 回のシーケンスを行った。実験例 7 では、多結晶シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 1 回のシーケンスを行った。実験例 8 では、酸化シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 2 回のシーケンスを行った。実験例 9 では、多結晶シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 2 回のシーケンスを行った。なお、実験例 8 及び 9 では、2 回目のシーケンスにおいて工程 S T 1 を実施しなかった。実験例 1 0 では、酸化シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 2 回のシーケンスを行い、2 回

40

50

目のシーケンスにおいて工程 S T 1 を実施した。実験例 1 1 では、多結晶シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 2 回のシーケンスを行い、2 回目のシーケンスにおいては工程 S T 1 を実施した。工程 S T 1、工程 S T 2、工程 S T 4 の条件は以下に示す通りであった。

<工程 S T 1>

- ・処理容器 1 2 内圧力：5 0 0 m T o r r (6 6 . 6 6 P a)
- ・マイクロ波パワー：2 0 0 0 W
- ・H₂ ガス流量：2 4 0 s c c m
- ・N₂ ガス流量：5 0 0 s c c m
- ・ウエハ温度：5 0
- ・無バイアス
- ・処理時間：3 0 秒

10

<工程 S T 2>

- ・処理容器 1 2 内圧力：5 0 0 m T o r r (6 6 . 6 6 P a)
- ・マイクロ波パワー：2 0 0 0 W
- ・処理ガス
 - H₂ ガス：2 4 0 s c c m
 - N₂ ガス：5 0 0 s c c m
 - S F₆ ガス：4 5 s c c m

20

- ・無バイアス
- ・ウエハ温度：5 0
- ・処理時間：9 0 秒

<工程 S T 4>

- ・処理容器 1 2 内圧力：1 0 m T o r r (1 . 3 3 3 P a)
- ・A r ガス：5 0 0 s c c m
- ・ウエハ温度：8 0
- ・処理時間：1 0 分

【0 1 2 5】

実験例 6 ~ 1 1 では、ウエハの中心を通る 4 5 度間隔の 4 つの直径上、即ち X 軸、Y 軸、V 軸、W 軸上において、処理前後の酸化シリコン膜の膜厚の変化量、即ちエッチング量を求めた。実験例 6 及び実験例 7 において求めたエッチング量をそれぞれ、図 2 5 の (a) 及び (b) に示し、実験例 8 及び 9 において求めたエッチング量をそれぞれ、図 2 6 の (a) 及び (b) に示し、実験例 1 0 及び 1 1 において求めたエッチング量をそれぞれ、図 2 7 の (a) 及び (b) に示す。図 2 5 ~ 図 2 7 において、横軸は、ウエハの中心からの位置を示しており、縦軸はエッチング量を示している。図 2 5 の (a) に示すように、1 回のシーケンスでは、酸化シリコン膜がエッチングされており、図 2 5 の (b) に示すように、多結晶シリコン膜は略エッチングされなかった。また、図 2 6 の (a) 及び図 2 7 の (a) に示すように、2 回のシーケンスの後に、酸化シリコン膜は 1 回のシーケンスのエッチング量よりも更に大きな量でエッチングされていた。しかしながら、実験例 9 では、2 回目のシーケンスにおいて工程 S T 1 を実施しなかったため、図 2 6 の (b) に示すように、多結晶シリコン膜もエッチングされていた。一方、実験例 1 1 では、2 回目のシーケンスにおいて工程 S T 1 を実施したため、図 2 7 の (b) に示すように、多結晶シリコン膜のエッチング量は、実験例 9 のエッチング量よりも低減されていた。

30

40

【0 1 2 6】

(実験例 1 2 及び 1 3)

実験例 1 2 及び 1 3 では、酸化シリコン膜を有するウエハに対して、工程 S T 2 及び工程 S T 4 からなる 1 回のシーケンスを実施した。実験例 1 2 では、工程 S T 4 の実施時のウエハの温度を 1 2 0 度に設定し、実験例 1 3 では、工程 S T 4 の実施時のウエハ温度を 8 0 度に設定した。実験例 1 2 及び 1 3 のその他の処理条件は以下の通りである。

<工程 S T 2>

50

- ・処理容器 12 内圧力：500 mTorr (66.66 Pa)
- ・マイクロ波パワー：2000 W
- ・処理ガス
 - H₂ ガス：185 sccm
 - N₂ ガス：500 sccm
 - SF₆ ガス：45 sccm

- ・無バイアス
- ・処理時間：30 秒

< 工程 ST4 >

- ・処理容器 12 内圧力：10 mTorr (1.333 Pa)
- ・Ar ガス：500 sccm

10

【0127】

酸化シリコン膜を膜厚方向に同じ量だけエッチングするために、実験例 12 では工程 ST4 に 1 分の処理時間を要し、実験例 13 の工程 ST4 には 10 分の処理時間を要した。即ち、熱分解により変質領域を除去する工程 ST4 では、ウエハの温度が高いほど、当該工程 ST4 の処理時間を短くすることが可能であることが確認された。

【0128】

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ことなく種々の変形態様を構成可能である。例えば、方法 MT の実施は、マイクロ波をプラズマ源とするプラズマ処理装置に限定されず、誘導結合型のプラズマ処理装置を用いることが

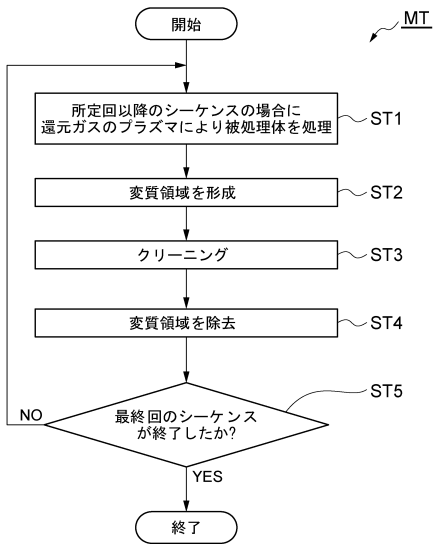
20

【符号の説明】

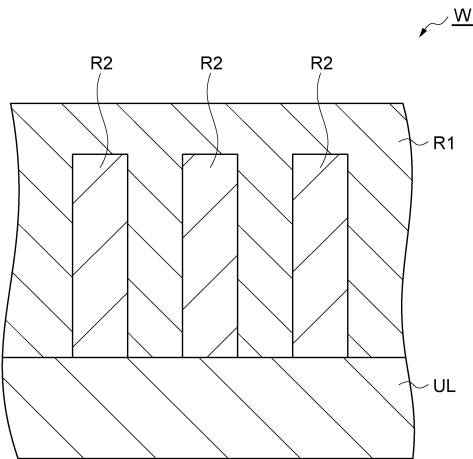
【0129】

10...プラズマ処理装置、12...処理容器、20...載置台、30...排気装置、Cnt...制御部、GU...ガス供給部、PG...プラズマ生成部、HC, HE...ヒータ(温度調整機構) RFG...高周波電源、W...ウエハ、R1...第1領域、R2...第2領域、AR...変質領域、OR...酸化領域。

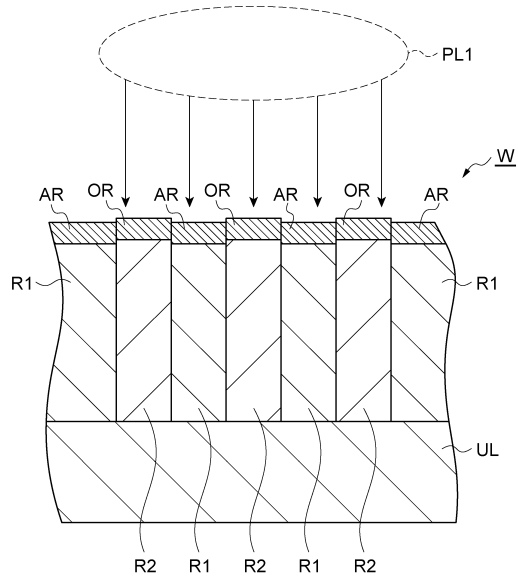
【図 1】



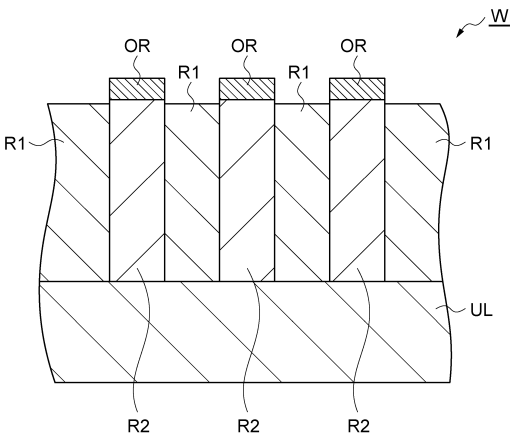
【図 2】



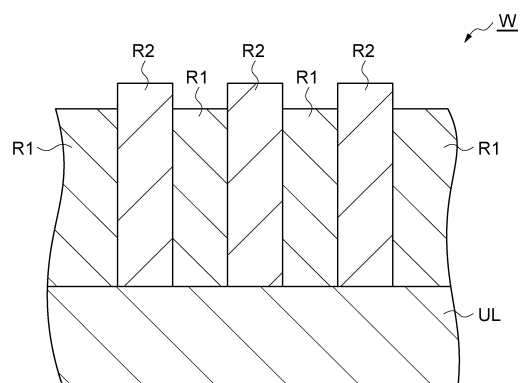
【図 3】



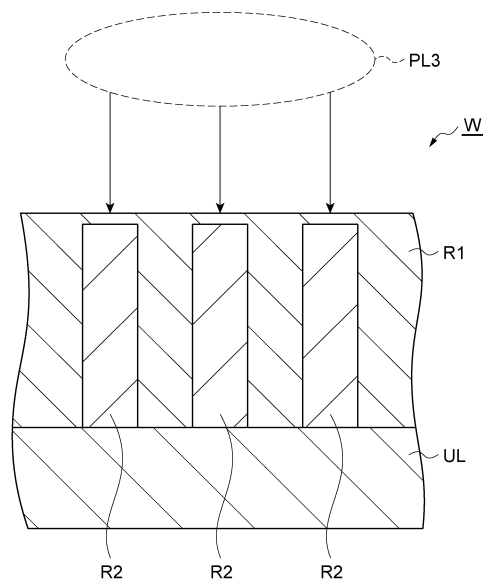
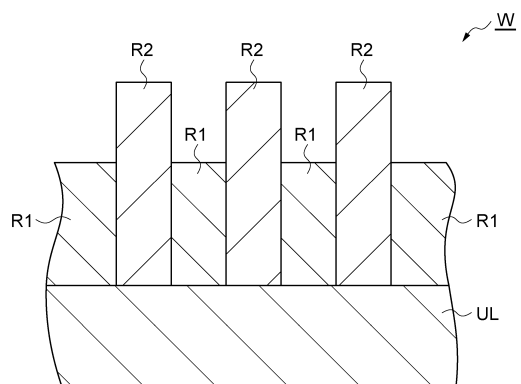
【図 4】



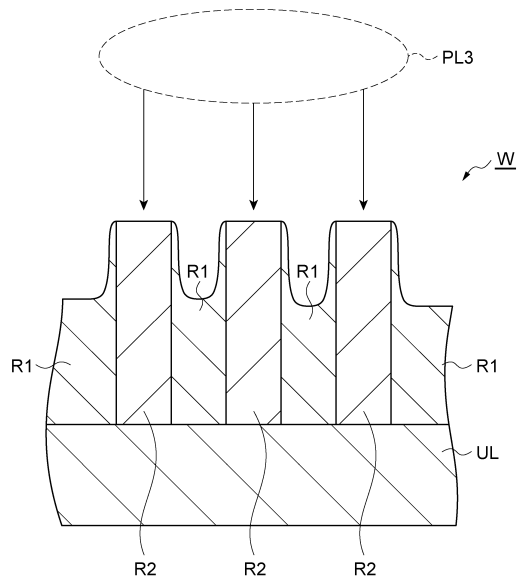
【 図 6 】



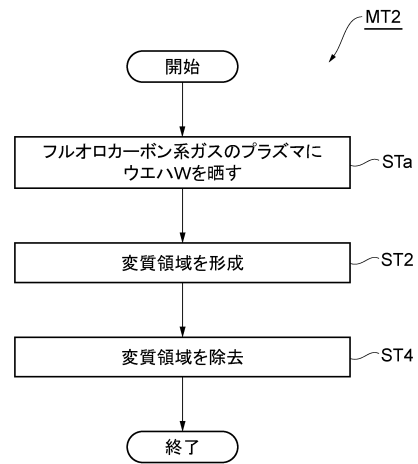
【 図 8 】



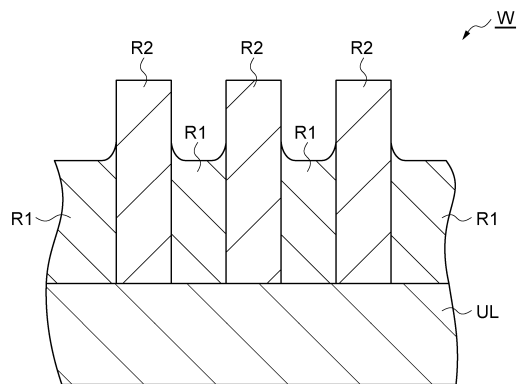
【図 9】



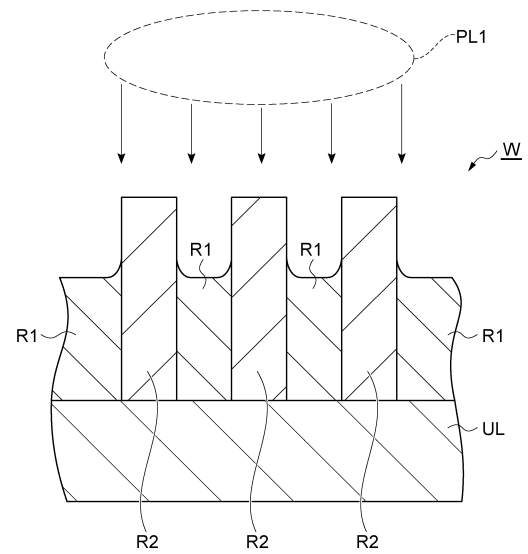
【図 10】



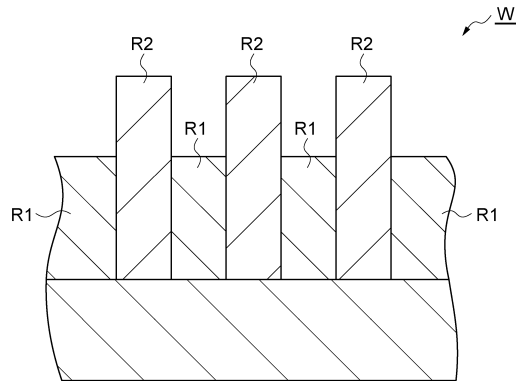
【図 11】



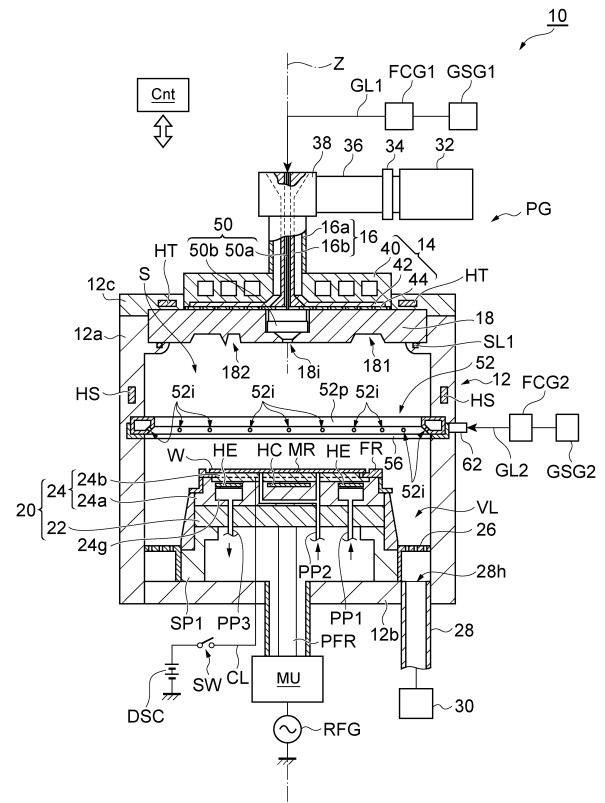
【図 12】



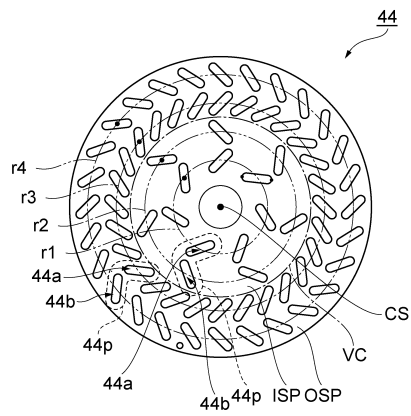
【図 13】



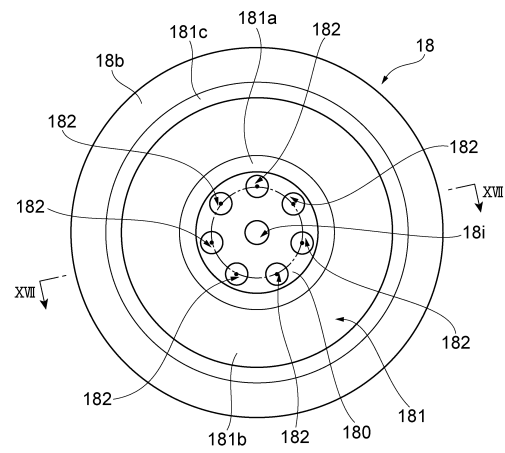
【図 14】



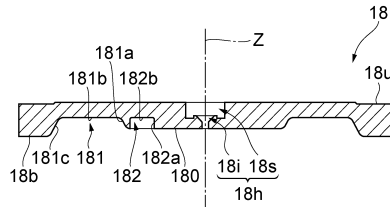
【図 15】



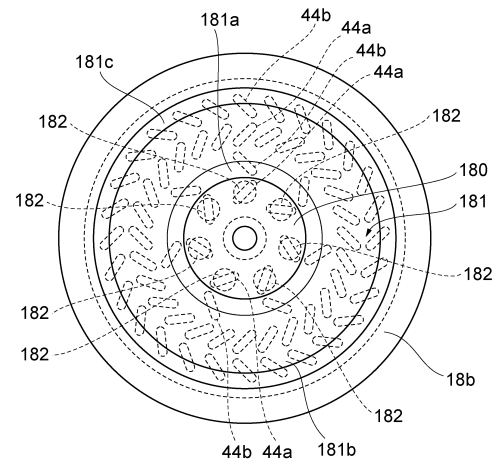
【図 16】



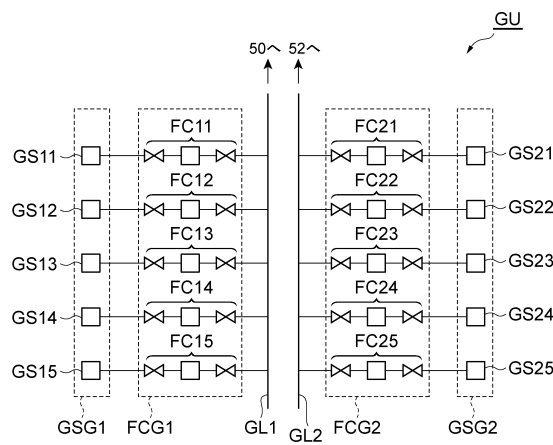
【図 17】



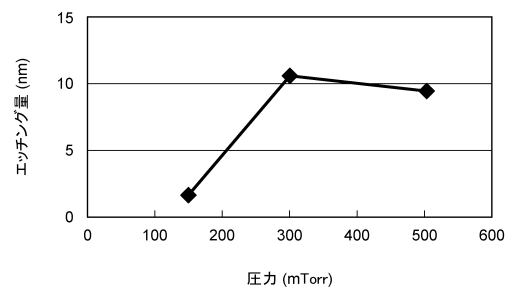
【図 18】



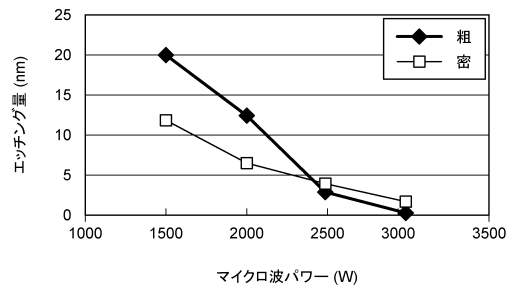
【図 19】



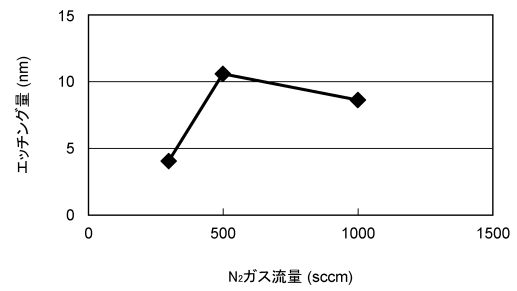
【図 20】



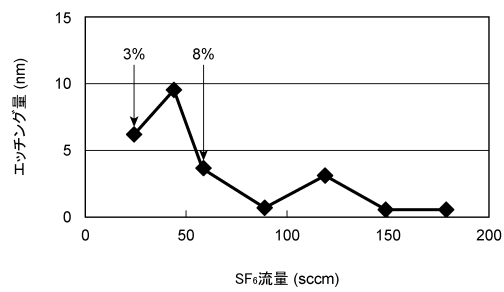
【図 2 1】



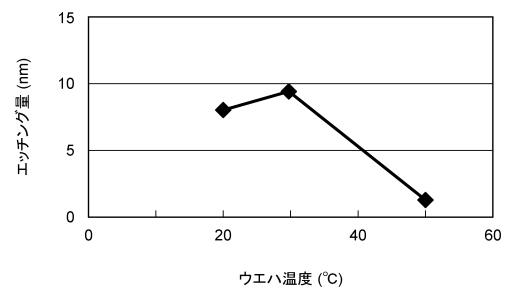
【図 2 2】



【図 2 3】

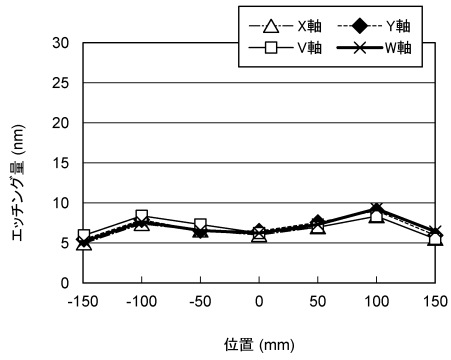


【図 2 4】

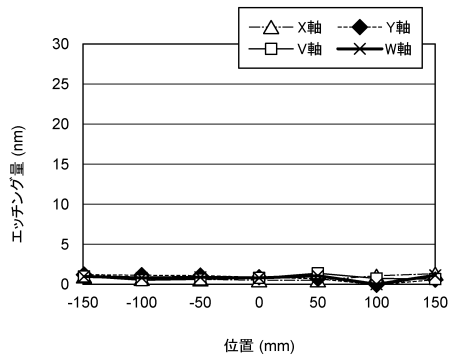


【図 25】

(a)

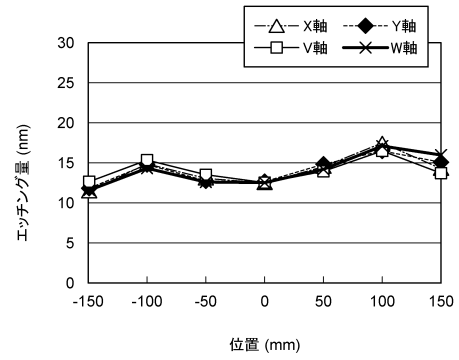


(b)

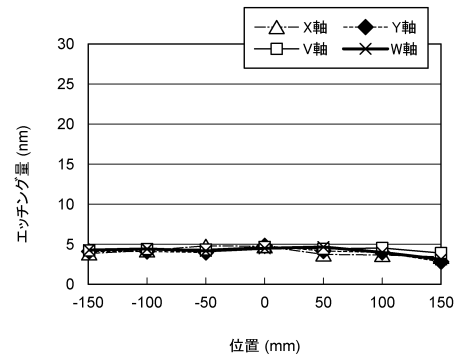


【図 26】

(a)

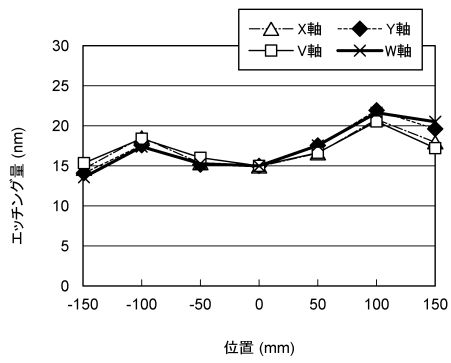


(b)

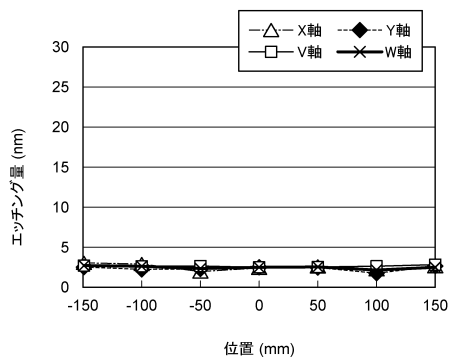


【図 27】

(a)



(b)



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 鋭二

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内

審査官 鈴木 聡一郎

(56)参考文献 特開2009-111330(JP,A)

国際公開第2008/078637(WO,A1)

特開2005-203408(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H01L 21/302

H01L 21/3065

H01L 21/461