

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6948181号
(P6948181)

(45) 発行日 令和3年10月13日(2021.10.13)

(24) 登録日 令和3年9月22日(2021.9.22)

(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 5 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2017-149186 (P2017-149186)	(73) 特許権者	000219967
(22) 出願日	平成29年8月1日(2017.8.1)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公開番号	特開2019-29561 (P2019-29561A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公開日	平成31年2月21日(2019.2.21)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	令和2年4月24日(2020.4.24)		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	後平 拓
			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
		審査官	鈴木 聡一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多層膜をエッチングする方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被加工物の多層膜をエッチングする方法であって、

前記多層膜は、交互に積層された複数のシリコン酸化膜及び複数のシリコン窒化膜を含み、

前記被加工物は、前記多層膜上に設けられた、炭素を含有するマスクを有し、

前記マスクには複数の開口が形成されており、

該方法は、前記被加工物がプラズマ処理装置のチャンバ内で静電チャック上に載置された状態で実行され、

前記多層膜をエッチングするために、第1のプラズマ処理を実行する工程と、

第1のプラズマ処理を実行する前記工程の後に前記多層膜を更にエッチングするために、第2のプラズマ処理を実行する工程と、

を含み、

第1のプラズマ処理を実行する前記工程及び第2のプラズマ処理を実行する前記工程において、前記多層膜をエッチングするために、前記静電チャックの温度が - 15 以下の温度に設定された状態で、前記チャンバ内で、処理ガスのプラズマが生成され、

前記処理ガスは、水素原子、フッ素原子、及び、炭素原子を含み、且つ、硫黄含有ガスを含み、

前記第2のプラズマ処理において前記多層膜のエッチングの前記マスクのエッチングに対する選択性が前記第1のプラズマ処理における該選択性よりも高くなるように、第1の

10

20

プラズマ処理を実行する前記工程における前記チャンバの第 1 の圧力よりも、第 2 のプラズマ処理を実行する前記工程における前記チャンバの第 2 の圧力が高い圧力に設定される、方法。

【請求項 2】

該方法の実行後に前記多層膜に形成されるべき開口の所望のアスペクト比の半分以上、且つ、該所望のアスペクト比よりも小さいアスペクト比を有する開口が該多層膜に形成されるまで、第 1 のプラズマ処理を実行する前記工程が実行される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 1 の圧力は 2 パスカル以下であり、前記第 2 の圧力は 3 . 3 3 3 パスカル以上である、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記処理ガスは、水素ガス及びハイドロフルオロカーボンガスを含む、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記処理ガスは、水素ガス、 CH_2F_2 ガス、 SF_6 ガス、及び HBr ガスを含む、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の実施形態は、多層膜をエッチングする方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスといったデバイスの製造においては、プラズマエッチングによって被加工物のエッチング対象膜のエッチングが行われる。プラズマエッチングでは、プラズマ処理装置のチャンバ内に被加工物が配置され、チャンバに処理ガスが供給され、当該処理ガスが励起されることにより、プラズマが生成される。

【0003】

特許文献 1 には、エッチング対象膜としてのシリコン酸化膜に対して高アスペクト比の開口を形成するために、プラズマエッチングを行う技術が記載されている。特許文献 1 に記載された技術では、マスクとして、アモルファスカーボン製のマスクが用いられている。また、特許文献 1 に記載された技術では、フルオロカーボンガス、ハイドロフルオロカーボンガスといったフッ素含有ガスと水素ガスとを含む処理ガスのプラズマを生成することにより、シリコン酸化膜がエッチングされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2016 - 122774 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

交互に積層された複数のシリコン酸化膜と複数のシリコン窒化膜を含む多層膜に対して高アスペクト比の開口を形成するためにプラズマエッチングを行う場合にも、アモルファスカーボン製のマスクといった炭素を含有するマスクを用いることができる。この多層膜のプラズマエッチングにおいても、上述した処理ガスのように炭素原子、フッ素原子、及び、水素原子を含む処理ガスを用いることができる。この多層膜のプラズマエッチング中には、炭素を含有する堆積物がマスク上に形成される。また、このプラズマエッチングでは、堆積物、又は、堆積物及びマスクが、それらと反応する活性種によってエッチングされることにより、マスクの複数の開口の形状が定められる。即ち、初期のマスクの残部、

10

20

30

40

50

又は、初期のマスクの残部と堆積物によって、プラズマエッチング中のマスクの複数の開口の形状が定められる。

【 0 0 0 6 】

複数の開口が形成されているマスクには、高い密度で開口が形成された領域（以下、「密領域」という）と低い密度で開口が形成された領域（以下、「粗領域」という）が存在する。炭素原子、フッ素原子、及び、水素原子を含む上述の処理ガスのプラズマを用いた多層膜のプラズマエッチングでは、マスクの幾つかの開口の形状が変形し、マスクの複数の開口の形状が不均一になる。これは、粗領域と密領域のそれぞれに供給される活性種の量に差が生じるからであるものと推測される。

【 0 0 0 7 】

マスクの複数の開口の形状が不均一になると、これら複数の開口の下方において多層膜が均一にエッチングされず、多層膜に形成される複数の開口の形状が不均一になり、当該複数の開口の垂直性が低くなる。なお、垂直性は、多層膜に形成される開口が多層膜の積層方向に平行に延びている場合に、高い。したがって、多層膜のエッチング中にマスクの複数の開口の形状を均一性を高め、且つ、多層膜に形成される複数の開口の形状の均一性及び垂直性を高める必要がある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

一態様においては、被加工物の多層膜をエッチングする方法が提供される。多層膜は、交互に積層された複数のシリコン酸化膜及び複数のシリコン窒化膜を含む。被加工物は、多層膜上に設けられたマスクを有する。マスクは、炭素を含有する。マスクには複数の開口が形成されている。一態様に係る方法は、被加工物がプラズマ処理装置のチャンバ内で静電チャック上に載置された状態で実行される。この方法は、多層膜をエッチングするために、第1のプラズマ処理を実行する工程と、第1のプラズマ処理を実行する工程の後に多層膜を更にエッチングするために、第2のプラズマ処理を実行する工程と、を含む。第1のプラズマ処理を実行する工程及び第2のプラズマ処理を実行する工程においては、多層膜をエッチングするために、静電チャックの温度が - 1 5 以下の温度に設定された状態で、チャンバ内で、処理ガスのプラズマが生成される。処理ガスは、水素原子、フッ素原子、及び、炭素原子を含み、且つ、硫黄含有ガスを含む。第1のプラズマ処理を実行する工程におけるチャンバの第1の圧力が、第2のプラズマ処理を実行する工程におけるチャンバの第2の圧力よりも低い圧力に設定される。

【 0 0 0 9 】

一態様に係る方法では、硫黄含有ガス中の硫黄を含む堆積物がマスク上に形成され、当該マスクと堆積物によって、プラズマエッチング中のマスクの複数の開口の形状が定められる。硫黄を含む堆積物の膜は、比較的均一な膜厚でマスク上に形成されるので、プラズマエッチング中にマスクの複数の開口の変形が抑制され、当該マスクの複数の開口の形状の均一性が高められる。

【 0 0 1 0 】

しかしながら、硫黄含有ガスが処理ガスに含められると、マスクが比較的大きくエッチングされる。即ち、選択性が低くなる。一態様に係る方法では、マスク選択性を高めるために、静電チャックの温度が - 1 5 以下の温度に設定される。静電チャックの温度が - 1 5 以下の温度に設定されると、多層膜のエッチングレートが高くなる。したがって、選択性が高くなる。

【 0 0 1 1 】

但し、静電チャックの温度が - 1 5 以下の温度に設定されると、多層膜の積層方向に対して多層膜に形成される開口に曲がりが生じる。多層膜に形成される開口の曲がりを抑制するために、一態様に係る方法では、第1のプラズマ処理を実行する工程におけるチャンバの第1の圧力が、第2のプラズマ処理を実行する工程におけるチャンバの第2の圧力よりも低い圧力に設定される。チャンバの圧力が低い場合には、積層方向に延びる垂直性の高い開口が多層膜に形成されるが、選択性が低くなる。一方、チャンバの圧力が高い場

10

20

30

40

50

合には、多層膜のエッチングにおいて選択性を高めることができる。したがって、一態様に係る方法によれば、選択性を高め、且つ、多層膜に形成される複数の開口の形状の均一性及び垂直性を高めることができる。

【 0 0 1 2 】

一実施形態において、方法の実行後に多層膜に形成されるべき開口の所望のアスペクト比の半分以上、且つ、該所望のアスペクト比よりも小さいアスペクト比を有する開口が該多層膜に形成されるまで、第 1 のプラズマ処理を実行する工程が実行される。

【 0 0 1 3 】

一実施形態において、第 1 の圧力は 2 パスカ (1 5 m T o r r) 以下であり、第 2 の圧力は 3 . 3 3 3 パスカ (2 5 m T o r r) 以上である。

10

【 0 0 1 4 】

一実施形態において、処理ガスは、水素ガス、及び、ハイドロフルオロカーボンガス、酸素含有ガスを含む。

【 発 明 の 効 果 】

【 0 0 1 5 】

以上説明したように、多層膜のエッチング中にマスクの複数の開口の形状を均一性を高め、且つ、多層膜に形成される複数の開口の形状の均一性及び垂直性を高めることが可能となる。

【 図 面 の 簡 単 な 説 明 】

【 0 0 1 6 】

20

【 図 1 】 一実施形態に係る多層膜をエッチングする方法を示す流れ図である。

【 図 2 】 図 1 に示す方法が適用される被加工物を例示する平面図である。

【 図 3 】 図 2 に示す被加工物の一つのパターン領域の一部分を拡大して示す平面図である。

。

【 図 4 】 図 4 の (a) は、図 3 の部分 A の拡大平面図であり、図 4 の (b) は、図 3 の部分 A における被加工物の拡大断面図である。

【 図 5 】 図 1 に示す方法の実行において用いることが可能なプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

【 図 6 】 図 6 の (a) は、硫黄含有ガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッチング中のマスクの一部領域の平面図であり、図 6 の (b) は、硫黄含有ガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッチング中の被加工物の断面図である。

30

【 図 7 】 図 7 の (a) は、硫黄含有ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチング中のマスクの一部領域の平面図であり、図 7 の (b) は、硫黄含有ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチング中の被加工物の断面図である。

【 図 8 】 図 8 の (a) は、第 1 の実験において求めたアスペクト比と面積比との関係を示すグラフであり、図 8 の (b) は、第 1 の実験において求めたアスペクト比と扁平率との関係を示すグラフである。

【 図 9 】 第 1 の実験において求めたアスペクト比とマスクのエッチングレートとの関係を示すグラフである。

【 図 1 0 】 第 2 の実験において求めた静電チャックの温度と選択比との関係を示すグラフであり、図 1 0 の (b) は、第 2 の実験において求めた静電チャックの温度と変化率の 3 との関係を示すグラフである。

40

【 図 1 1 】 第 3 の実験において求めた、静電チャックの温度とエッチングレートの平均値との関係を示すグラフである。

【 図 1 2 】 図 1 2 の (a) は、第 4 の実験において求めた S F ₆ ガスの流量比と面積比との関係を示すグラフであり、図 1 2 の (b) は、第 4 の実験において求めた、S F ₆ ガスの流量比と、マスクのパターン領域の中心部の開口の扁平率及びマスクのパターン領域の端部の開口の扁平率の各々との関係を示すグラフである。

【 図 1 3 】 第 4 の実験において求めた、S F ₆ ガスの流量比と、変化率の平均値及び変化率の 3 の各々との関係を示すグラフである。

50

【図 1 4】第 5 の実験において求めたアスペクト比と変化率の 3 との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

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。

【0018】

図 1 は、一実施形態に係る多層膜をエッチングする方法を示す流れ図である。図 1 に示す方法 M T は、多層膜をエッチングするために、第 1 のプラズマ処理を実行する工程 S T 1、及び、多層膜を更にエッチングするために、第 2 のプラズマ処理を実行する工程 S T 2 を含む。図 2 は、図 1 に示す方法が適用される被加工物を例示する平面図である。図 3 は、図 2 に示す被加工物の一つのパターン領域の一部分を拡大して示す平面図である。図 4 の (a) は、図 3 の部分 A の拡大平面図であり、図 4 の (b) は、図 3 の部分 A における被加工物の拡大断面図である。

【0019】

図 2 に示すように、一例の被加工物 W は、ウエハのように略円盤形状を有し得る。図 4 の (b) に示すように、被加工物 W は、多層膜 M F 及びマスク I M を有する。多層膜 M F は下地層 U L 上に設けられている。多層膜 M F は、複数のシリコン酸化膜 F 1 と複数のシリコン窒化膜 F 2 を含んでいる。複数のシリコン酸化膜 F 1 と複数のシリコン窒化膜 F 2 は、交互に積層されている。多層膜 M F におけるシリコン酸化膜 F 1 の個数、及び、シリコン窒化膜 F 2 の個数の各々は、任意の個数であり得る。多層膜 M F の全ての膜のうち最下層の膜は、シリコン酸化膜 F 1 であってもよく、シリコン窒化膜 F 2 であってもよい。また、多層膜 M F の全ての膜のうち最上層の膜は、シリコン酸化膜 F 1 であってもよく、シリコン窒化膜 F 2 であってもよい。マスク I M は、多層膜 M F 上に設けられている。マスク I M は、炭素を含んでいる。マスク I M は、例えば、アモルファスカーボン製である。マスク I M には、複数の開口 I M O が形成されている。複数の開口 I M O の各々は、例えば円形の平面形状を有し得る。なお、マスク I M は、方法 M T が被加工物 W に適用される前の状態の初期のマスクである。複数の開口 I M O の各々は、当該初期のマスクにおける開口である。

【0020】

図 2 に示すように、被加工物 W は、複数のパターン領域 P R を有し得る。図 2 では、破線によって複数のパターン領域 P R の各々の境界が示されている。複数のパターン領域 P R は、互いに離れている。なお、複数のパターン領域 P R の配置は図 2 に示されるものに限定されるものでない。図 3 に示すように、複数のパターン領域 P R の各々には、複数の開口 I M O が形成されている。図 3 に示すように、複数の開口 I M O が形成されているマスク I M には、高い密度で開口 I M O が形成されている領域 D R と低い密度で開口 I M O が形成されている領域 I R が存在する。

【0021】

方法 M T では、上述の工程 S T 1 及び工程 S T 2 がプラズマ処理装置を用いて実行される。図 5 は、図 1 に示す方法の実行において用いることが可能なプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図 5 に示すプラズマ処理装置 1 0 は、容量結合型プラズマエッチング装置である。プラズマ処理装置 1 0 は、チャンバ本体 1 2 を備えている。チャンバ本体 1 2 は、略円筒形状を有している。チャンバ本体 1 2 は、その内部空間をチャンバ 1 2 c として提供している。チャンバ本体 1 2 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 1 2 の内壁面には、耐プラズマ性を有する処理が施されている。例えば、チャンバ本体 1 2 の内壁面には、陽極酸化処理が施されている。チャンバ本体 1 2 は、電氣的に接地されている。

【0022】

また、チャンバ本体 1 2 の側壁には、通路 1 2 p が形成されている。被加工物 W は、チャンバ 1 2 c に搬入されるとき、また、チャンバ 1 2 c から搬出されるときに、通路 1 2 p

10

20

30

40

50

を通る。この通路 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。

【 0 0 2 3 】

チャンバ本体 1 2 の底部上には、支持部 1 3 が設けられている。支持部 1 3 は、絶縁材料から形成されている。支持部 1 3 は、略円筒形状を有している。支持部 1 3 は、チャンバ 1 2 c 内において、チャンバ本体 1 2 の底部から鉛直方向に延在している。支持部 1 3 は、ステージ 1 4 を支持している。ステージ 1 4 は、チャンバ 1 2 c 内に設けられている。

【 0 0 2 4 】

ステージ 1 4 は、下部電極 1 8 及び静電チャック 2 0 を有している。ステージ 1 4 は、電極プレート 1 6 を更に備え得る。電極プレート 1 6 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 1 8 は、電極プレート 1 6 上に設けられている。下部電極 1 8 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 1 8 は、電極プレート 1 6 に電氣的に接続されている。

10

【 0 0 2 5 】

静電チャック 2 0 は、下部電極 1 8 上に設けられている。静電チャック 2 0 の上面の上には、被加工物 W が載置される。静電チャック 2 0 は、誘電体から形成された本体を有する。静電チャック 2 0 の本体内には、膜状の電極が設けられている。静電チャック 2 0 の電極は、スイッチを介して直流電源 2 2 に接続されている。静電チャック 2 0 の電極に直流電源 2 2 からの電圧が印加されると、静電チャック 2 0 と被加工物 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、被加工物 W は静電チャック 2 0 に引き付けられ、当該静電チャック 2 0 によって保持される。

20

【 0 0 2 6 】

下部電極 1 8 の周縁部上には、被加工物 W のエッジを囲むように、フォーカスリング F R が配置される。フォーカスリング F R は、エッチングの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 F R 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。

【 0 0 2 7 】

下部電極 1 8 の内部には、流路 1 8 f が設けられている。流路 1 8 f には、チャンバ本体 1 2 の外部に設けられているチラーユニット 2 6 から配管 2 6 a を介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。流路 1 8 f に供給された熱交換媒体は、配管 2 6 b を介してチラーユニット 2 6 に戻される。プラズマ処理装置 1 0 では、静電チャック 2 0 上に載置された被加工物 W の温度が、熱交換媒体と下部電極 1 8 との熱交換により、調整される。

30

【 0 0 2 8 】

プラズマ処理装置 1 0 には、ガス供給ライン 2 8 が設けられている。ガス供給ライン 2 8 は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス、例えば H e ガスを、静電チャック 2 0 の上面と被加工物 W の裏面との間に供給する。

【 0 0 2 9 】

プラズマ処理装置 1 0 は、上部電極 3 0 を更に備えている。上部電極 3 0 は、ステージ 1 4 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 は、天板 3 4 及び支持体 3 6 を含み得る。天板 3 4 の下面は、チャンバ 1 2 c 側の下面であり、チャンバ 1 2 c 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。天板 3 4 には、複数のガス吐出孔 3 4 a が形成されている。複数のガス吐出孔 3 4 a は、当該天板 3 4 をその板厚方向に貫通している。

40

【 0 0 3 0 】

支持体 3 6 は、天板 3 4 を着脱自在に支持するものであり、例えばアルミニウムといった導電性材料から形成され得る。支持体 3 6 の内部には、ガス拡散室 3 6 a が設けられている。ガス拡散室 3 6 a からは、複数のガス吐出孔 3 4 a にそれぞれ連通する複数のガス通流孔 3 6 b が下方に延びている。支持体 3 6 には、ガス拡散室 3 6 a に処理ガスを導く

50

ガス導入口 3 6 c が形成されている。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 3 1 】

ガス供給管 3 8 には、バルブ群 4 2 及び流量制御器群 4 4 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 は、複数のガスソースを含んでいる。複数のガスソースは、方法 M T で利用される処理ガスを構成する複数のガスのソースを含んでいる。バルブ群 4 2 は、複数の開閉バルブを含んでいる。流量制御器群 4 4 は、複数の流量制御器を含んでいる。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は、バルブ群 4 2 の対応のバルブ、及び、流量制御器群 4 4 の対応の流量制御器を介してガス供給管 3 8 に接続されている。

10

【 0 0 3 2 】

プラズマ処理装置 1 0 では、チャンバ本体 1 2 の内壁に沿って、シールド 4 6 が着脱自在に設けられている。シールド 4 6 は、支持部 1 3 の外周にも設けられている。シールド 4 6 は、チャンバ本体 1 2 にエッチング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、アルミニウム材に Y_2O_3 等のセラミックスを被覆することにより構成される。

【 0 0 3 3 】

支持部 1 3 とチャンバ本体 1 2 の側壁との間には、バッフルプレート 4 8 が設けられている。バッフルプレート 4 8 は、例えば、アルミニウム製の母材に Y_2O_3 等のセラミックスを被覆することにより構成される。バッフルプレート 4 8 には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート 4 8 の下方、且つ、チャンバ本体 1 2 の底部には、排気口 1 2 e が設けられている。排気口 1 2 e には、排気管 5 2 を介して排気装置 5 0 が接続されている。排気装置 5 0 は、圧力制御弁、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。

20

【 0 0 3 4 】

プラズマ処理装置 1 0 は、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 を更に備えている。第 1 の高周波電源 6 2 は、プラズマ生成用の第 1 の高周波を発生する電源である。第 1 の高周波の周波数は、例えば、 $27\text{MHz} \sim 100\text{MHz}$ の範囲内の周波数である。第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 及び電極プレート 1 6 を介して下部電極 1 8 に接続されている。整合器 6 6 は、第 1 の高周波電源 6 2 の出力インピーダンスと負荷側（下部電極 1 8 側）の入力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 6 2 は、整合器 6 6 を介して、上部電極 3 0 に接続されていてもよい。

30

【 0 0 3 5 】

第 2 の高周波電源 6 4 は、被加工物 W にイオンを引き込むための第 2 の高周波を発生する電源である。第 2 の高周波の周波数は、第 1 の高周波の周波数よりも低い。第 2 の高周波の周波数は、例えば $400\text{kHz} \sim 13.56\text{MHz}$ の範囲内の周波数である。第 2 の高周波電源 6 4 は、整合器 6 8 及び電極プレート 1 6 を介して下部電極 1 8 に接続されている。整合器 6 8 は、第 2 の高周波電源 6 4 の出力インピーダンスと負荷側（下部電極 1 8 側）の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。

40

【 0 0 3 6 】

プラズマ処理装置 1 0 は、直流電源部 7 0 を更に備え得る。直流電源部 7 0 は、上部電極 3 0 に接続されている。直流電源部 7 0 は、負の直流電圧を発生し、当該直流電圧を上部電極 3 0 に与えることが可能である。

【 0 0 3 7 】

プラズマ処理装置 1 0 は、制御部 C n t を更に備え得る。制御部 C n t は、プロセッサ、記憶部、入力装置、表示装置等を備えるコンピュータであり得る。制御部 C n t は、プラズマ処理装置 1 0 の各部を制御する。制御部 C n t 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 0 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 C n t では、表示装置により、プラズマ処理装置 1 0 の稼働状況を可視化し

50

て表示することができる。さらに、制御部 C n t の記憶部には、プラズマ処理装置 1 0 で実行される各種処理をプロセッサにより制御するための制御プログラム、及び、レシピデータが格納されている。制御部 C n t のプロセッサが制御プログラムを実行して、レシピデータに従ってプラズマ処理装置 1 0 の各部を制御することにより、方法 M T がプラズマ処理装置 1 0 で実行される。

【 0 0 3 8 】

再び図 1 を参照する。以下、プラズマ処理装置 1 0 を用いて図 2、図 3、図 4 の (a)、及び、図 4 の (b) に示した被加工物 W に適用される場合を例にとって、方法 M T を説明する。なお、方法 M T が適用される対象は、被加工物 W に限定されるものではない。また、方法 M T は、プラズマ処理装置 1 0 以外のプラズマ処理装置を用いて実行されてもよい。

10

【 0 0 3 9 】

方法 M T は、被加工物 W がプラズマ処理装置 1 0 のチャンバ 1 2 c 内で静電チャック 2 0 上に載置された状態で実行される。方法 M T では、まず、工程 S T 1 において、第 1 のプラズマ処理が実行される。方法 M T では、続く工程 S T 2 において、第 2 のプラズマ処理が実行される。

【 0 0 4 0 】

工程 S T 1 の第 1 のプラズマ処理及び工程 S T 2 の第 2 のプラズマ処理において、チャンバ内では処理ガスのプラズマが生成される。処理ガスは、水素原子、フッ素原子、及び、炭素原子を含み、且つ、硫黄含有ガスを含む。処理ガスは、水素原子を含めるために、 H_2 ガス、 C_xH_y ガス (炭化水素ガス)、及び、 $C_xH_yF_z$ ガス (ハイドロフルオロカーボンガス) のうち一種以上のガスを含む。処理ガスは、フッ素原子を含めるために、フッ素含有ガスを含んでいる。フッ素含有ガスは、 HF ガス、 NF_3 ガス、 SF_6 ガス、 WF_6 ガス、 C_xF_y ガス (フルオロカーボンガス)、及び、 $C_xH_yF_z$ ガス、のうち一種以上のガスを含む。処理ガスは、炭素原子を含めるために、 C_xH_y ガス (炭化水素ガス)、及び、 $C_xH_yF_z$ ガス (ハイドロフルオロカーボンガス) のうち一種以上のガスを含む。なお、 x 、 y 、 z は、自然数である。また、処理ガスは、硫黄含有ガスとして、 H_2S ガス、 CO_2S ガス、 CH_3SH ガス、 SBr_2 ガス、 S_2Br_2 ガス、 SF_2 ガス、 S_2F_2 ガス、 SF_4 ガス、 SF_6 ガス、 S_2F_{10} ガス、 SCl_2 ガス、 S_2Cl_2 ガス、及び、 S_3Cl_3 ガスのうち一種以上のガスを含み得る。なお、処理ガスは、 HBr ガスといったハロゲン含有ガスを更に含んでいてもよい。また、処理ガスは、 O_2 ガス、 CO ガス、 CO_2 ガスといった酸素含有ガスを含んでいてもよい。一例においては、処理ガスは、水素ガス、ハイドロフルオロカーボンガス、及び、フッ素含有ガスを含む混合ガスである。より具体的な一例では、処理ガスは、 H_2 ガス、 CH_2F_2 ガス、 SF_6 ガス、及び、 HBr ガスを含む混合ガスであり得る。

20

30

【 0 0 4 1 】

工程 S T 1 の第 1 のプラズマ処理及び工程 S T 2 の第 2 のプラズマ処理において、被加工物 W の温度は、 -15 以下の温度に設定される。被加工物 W の温度は、流路 1 8 f に供給される熱交換媒体の温度により調整される。

【 0 0 4 2 】

40

工程 S T 1 では、チャンバ 1 2 c の圧力が第 1 の圧力に設定され、工程 S T 2 では、チャンバ 1 2 c の圧力が第 2 の圧力に設定される。第 1 の圧力は、第 2 の圧力よりも低い。例えば、第 1 の圧力は、 $2 Pa$ (パスカル)、即ち $15 mTorr$ 以下であり、第 2 の圧力は $3.333 Pa$ (パスカル)、即ち $25 mTorr$ 以上である。

【 0 0 4 3 】

一実施形態では、方法 M T の実行後に多層膜 M F に形成されるべき開口 O P の所望のアスペクト比の半分以上、且つ、当該所望のアスペクト比よりも小さいアスペクト比を有する開口が多層膜 M F に形成されるまで、工程 S T 1 が実行される。しかる後に、所望のアスペクト比の開口 O P が形成されるまで、工程 S T 2 が実行される。

【 0 0 4 4 】

50

以下、図 6 の (a)、図 6 の (b)、図 7 の (a)、及び、図 7 の (b) を参照する。図 6 の (a) は、硫黄含有ガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッチング中のマスクの一部領域の平面図であり、図 6 の (b) は、硫黄含有ガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッチング中の被加工物の断面図である。図 7 の (a) は、硫黄含有ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチング中のマスクの一部領域の平面図であり、図 7 の (b) は、硫黄含有ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチング中の被加工物の断面図である。

【 0 0 4 5 】

硫黄含有ガスを含まず、炭素原子、フッ素原子、及び、水素原子を含む処理ガスのプラズマを用いた多層膜 M F のエッチングでは、マスク上に炭素を含有する堆積物が形成される。プラズマエッチング中には、堆積物、又は、堆積物及びマスクが、それらと反応する活性種によってエッチングされることにより、マスク M K C の複数の開口 M O の形状が定められる。即ち、初期のマスク I M の残部、又は、初期のマスク I M の残部と堆積物によって、プラズマエッチング中のマスク M K C の複数の開口 M O の形状が定められる。なお、活性種は、多層膜 M F のエッチング中に発生する酸素を含む。

10

【 0 0 4 6 】

多層膜 M F のエッチング中に発生する酸素の量は、高い密度で開口 M O が形成されている領域 D R では多く、低い密度で開口 M O が形成されている領域 I R では少ない。したがって、図 6 の (a) 及び図 6 の (b) に示すように、マスク M K C の幾つかの開口 M O が変形する。例えば、領域 I R の幾つかの開口 M O の平面形状が円形から変形する。その結果、マスク M K C の複数の開口 M O の形状が不均一になる。マスク M K C の複数の開口 M O の形状が不均一になると、これら複数の開口 M O の下方において多層膜 M F が均一にエッチングされず、多層膜 M F に形成される複数の開口 O P の形状が、不均一になり、当該複数の開口 O P の垂直性が低くなる。

20

【 0 0 4 7 】

一方、方法 M T では、硫黄含有ガス中の硫黄を含む堆積物がマスク上に形成され、当該マスクと堆積物によって、プラズマエッチング中のマスク M K の複数の開口 M O の形状が定められる。硫黄を含む堆積物の膜は、比較的均一な膜厚でマスク上に形成される。したがって、方法 M T によれば、図 7 の (a) 及び図 7 の (b) に示すように、プラズマエッチング中にマスク M K の複数の開口 M O の変形が抑制され、マスク M K の複数の開口 M O の形状の均一性が高められる。

30

【 0 0 4 8 】

しかしながら、硫黄含有ガスが処理ガスに含められると、マスクが比較的大きくエッチングされる。即ち、選択性が低くなる。方法 M T では、選択性を高めるために、静電チャック 2 0 の温度が - 1 5 以下の温度に設定される。静電チャック 2 0 の温度が - 1 5 以下の温度に設定されると、多層膜 M F のエッチングレートが高くなる。したがって、選択性が高くなる。

【 0 0 4 9 】

但し、静電チャック 2 0 の温度が - 1 5 以下の温度に設定されると、多層膜 M F の積層方向に対して多層膜 M F に形成される開口に曲がりが生じる。多層膜 M F に形成される開口の曲がりを抑制するために、方法 M T では、工程 S T 1 におけるチャンバ 1 2 c の第 1 の圧力が、工程 S T 2 におけるチャンバ 1 2 c の第 2 の圧力よりも低い圧力に設定される。チャンバ 1 2 c の圧力が低い場合には、積層方向に延びる垂直性の高い開口 O P が多層膜 M F に形成されるが、選択性が低くなる。一方、チャンバ 1 2 c の圧力が高い場合には、多層膜 M F のエッチングにおいて選択性を高めることができる。したがって、方法 M T によれば、選択性を高め、且つ、多層膜 M F に形成される複数の開口 O P の形状の均一性及び垂直性を高めることができる。

40

【 0 0 5 0 】

以上、方法 M T 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。方法 M T には、容量結合型のプラズマ処理装置

50

以外のプラズマ処理装置を用いることができる。例えば、方法M Tには、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を用いることができる。

【0051】

以下、方法M Tの評価のために行った種々の実験について説明する。まず、実験において求めた幾つかの評価値について、それらの定義を説明する。なお、以下に説明する評価値の取得のために行った実験では、初期のマスク、即ちプラズマエッチング前のマスクの開口の平面形状は円形であった。

【0052】

幾つかの実験では、評価値として、面積比を求めた。「面積比」は、実験のプラズマエッチング後のマスクのパターン領域P Rの中心部の開口M Oの面積によって、当該プラズマエッチング後のマスクのパターン領域P Rの端部の開口M Oの面積を除いた値である。「面積比」は、その値が1に近いほど、マスクの複数の開口M Oの形状が均一であることを表す。

【0053】

また、幾つかの実験では、扁平率を求めた。「扁平率」は、実験のプラズマエッチング後のマスクのパターン領域P Rの端部の開口M Oの長径と短径の差を、当該長径により除した値である。「扁平率」は、その値が0に近いほど、パターン領域P Rの端部、即ち、粗領域でのマスクの開口的変形（歪み）が少ないことを表す。

【0054】

また、幾つかの実験では、変化率を求めた。変化率は、以下の式（1）で定義される。

$$\text{変化率（％）} = (P - Q) / P \times 100 \quad \dots (1)$$

式（1）において、Pは、初期のマスクにおける二つの近傍の開口I M Oの重心間の距離である。Qは、これら二つの近傍の開口I M Oの下方でプラズマエッチングにより多層膜M Fに形成された二つの開口O Pの底部における重心間の距離である。変化率の平均値、及び、 $3 \times (\text{変化率の標準偏差})$ 、即ち変化率の3σが小さければ、多層膜M Fに形成された複数の開口O Pの形状が均一であり、且つ、当該複数の開口O Pの垂直性が高い。

【0055】

また、幾つかの実験では、選択比を求めた。選択比は、多層膜のエッチングレートをマスクのエッチングレートで除した値として定義される。選択比は、その値が大きいほど、マスクのエッチングを抑制しつつ、多層膜をエッチングすることができること、即ち、選択性が高いことを示す。

【0056】

（第1の実験）

【0057】

第1の実験では、図2、図3、図4（a）、及び、図4の（b）に示した被加工物Wを準備し、プラズマ処理装置10を用いて多層膜M Fのプラズマエッチングを行い、多層膜M Fに形成された複数の開口O Pのアスペクト比と、面積比、扁平率、及び、マスクのエッチングレートの各々との関係を求めた。第1の実験では、処理ガスが3．5％の流量比でH₂Sガスを含む条件と処理ガスがH₂Sガスを含まない条件のそれぞれで、多層膜M Fのプラズマエッチングを行った。なお、H₂Sガスの流量比は、処理ガスの全流量に対するH₂Sガスの流量の比である。第1の実験におけるプラズマエッチングのその他の条件を以下に示す。

【0058】

< 第1の実験におけるプラズマエッチングの条件 >

- ・ 処理ガス：H₂ガス、CH₂F₂ガス、H₂Sガス、及び、HBrガスを含む混合ガス
- ・ チャンバ12cの圧力：3．333Pa（25mTorr）
- ・ 静電チャック20の温度：0
- ・ 第1の高周波：2．5kW、40MHz、連続波
- ・ 第2の高周波：7kW、0．4MHz、連続波

【 0 0 5 9 】

図 8 の (a) は、第 1 の実験において求めたアスペクト比と面積比との関係を示すグラフであり、図 8 の (b) に、第 1 の実験において求めたアスペクト比と扁平率との関係を示すグラフである。図 9 は、第 1 の実験において求めたアスペクト比とマスクのエッチングレートとの関係を示すグラフである。図 8 の (a) 及び図 8 の (b) に示すように、 H_2S ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチングでは、 H_2S ガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッチングに比べて、面積比が 1 に近く、扁平率が小さかった。即ち、硫黄含有ガスの一種である H_2S ガスを処理ガスに含めることで、パターン領域 PR の端部におけるマスクの開口の変形が抑制され、且つ、マスクの複数の開口の形状が均一になることが確認された。但し、図 9 に示すように、 H_2S ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチングでは、 H_2S ガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッチングに比べて、マスクのエッチングレートが高かった。即ち、 H_2S ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチングでは、 H_2S ガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッチングに比べて、選択性が低くなっていた。

10

【 0 0 6 0 】

(第 2 の実験)

【 0 0 6 1 】

第 2 の実験では、第 1 の実験で用いた被加工物と同様の被加工物 W を準備し、プラズマ処理装置 10 を用いて多層膜 MF のプラズマエッチングを行い、静電チャック 20 の温度と、選択比及び変化率の 3 の各々との関係を求めた。以下に、第 2 の実験におけるプラズマエッチングの条件を示す。なお、第 2 の条件においては、処理ガスは、 SF_6 ガスを 3 . 5 % の流量比で含んでいた。

20

【 0 0 6 2 】

< 第 2 の実験におけるプラズマエッチングの条件 >

- ・処理ガス： H_2 ガス、 CH_2F_2 ガス、 SF_6 ガス、及び、 HBr ガスを含む混合ガス
- ・チャンバ 12 c の圧力：3 . 3 3 3 Pa (2 5 m T o r r)
- ・第 1 の高周波：2 . 5 kW、4 0 M H z、連続波
- ・第 2 の高周波：7 kW、0 . 4 M H z、連続波
- ・多層膜 MF に形成した開口 OP のアスペクト比：8 0

【 0 0 6 3 】

図 10 の (a) は、第 2 の実験において求めた静電チャックの温度と選択比との関係を示すグラフであり、図 10 の (b) は、第 2 の実験において求めた静電チャックの温度と変化率の 3 との関係を示すグラフである。図 10 の (a) に示すように、静電チャックの温度が低下すると、選択比が高くなっていた。したがって、静電チャックの温度を低い温度に設定することにより、選択性を改善できることが確認された。一方、図 10 の (b) に示すように、静電チャックの温度が低下すると、変化率の 3 が大きくなっていた。したがって、静電チャックの温度が低下すると、多層膜 MF に形成された複数の開口 OP の形状が不均一になることが確認された。

30

【 0 0 6 4 】

(第 3 の実験)

【 0 0 6 5 】

第 3 の実験では、プラズマ処理装置 10 を用いて第 2 の実験と同様の条件で、シリコン酸化膜及びシリコン窒化膜のエッチングを行った。第 3 の実験では、静電チャック 20 の温度とエッチングレートの平均値との関係を求めた。エッチングレートの平均値は、シリコン酸化膜のエッチングレートとシリコン窒化膜のエッチングレートとの平均値である。図 11 は、第 3 の実験において求めた静電チャックの温度とエッチングレートの平均値との関係を示すグラフである。図 11 に示すように、静電チャックの温度が - 1 5 以下である場合に、相対的に高いエッチングレートの平均値が得られていた。したがって、静電チャックの温度を - 1 5 以下に設定することで、多層膜 MF のエッチングレートを高め、選択性を高めることが可能であることが確認された。

40

50

【 0 0 6 6 】

(第 4 の実験)

【 0 0 6 7 】

第 4 の実験では、処理ガスに含める硫黄含有ガスとして SF_6 ガスを用いた。第 4 の実験では、第 1 の実験で用いた被加工物と同様の被加工物 W を準備し、プラズマ処理装置 10 を用いて多層膜 MF のプラズマエッチングを行い、 SF_6 ガスの流量比と、面積比、マスクのパターン領域 PR の中心部の開口 MO の扁平率、マスクのパターン領域 PR の端部の開口 MO の扁平率、変化率の平均値、及び、変化率の 3 の各々との関係を求めた。なお、 SF_6 ガスの流量比は、処理ガスの全流量に対する SF_6 ガスの流量の比である。以下に、第 4 の実験におけるプラズマエッチングの条件を示す。

10

【 0 0 6 8 】

< 第 4 の実験におけるプラズマエッチングの条件 >

- ・処理ガス： H_2 ガス、 CH_2F_2 ガス、 HBr ガス、及び、 SF_6 ガスを含む混合ガス
- ・チャンバ 12 c の圧力：3 . 3 3 3 Pa (2 5 m T o r r)
- ・静電チャック 20 の温度：- 4 0
- ・第 1 の高周波：2 . 5 k W、4 0 M H z、連続波
- ・第 2 の高周波：7 k W、0 . 4 M H z、連続波
- ・多層膜 MF に形成した開口 OP のアスペクト比：9 0

【 0 0 6 9 】

図 1 2 の (a) は、第 4 の実験において求めた SF_6 ガスの流量比と面積比との関係を示すグラフであり、図 1 2 の (b) は、第 4 の実験において求めた、 SF_6 ガスの流量比と、マスクのパターン領域の中心部の開口の扁平率及びマスクのパターン領域の端部の開口の扁平率の各々との関係を示すグラフである。硫黄含有ガスとして H_2S ガスに代えて SF_6 ガスを用いても、図 1 2 の (a) 及び図 1 2 の (b) に示すように、面積比が 1 に近く、扁平率が小さかった。したがって、任意の硫黄含有ガスを用いることで、マスクの開口の変形が抑制され、且つ、マスクの複数の開口の形状が均一になるものと推測される。なお、 SF_6 ガスの流量比が 1 0 % 以上である場合に、マスクの開口の変形が更に抑制され、且つ、マスクの複数の開口の形状が更に均一になっていた。

20

【 0 0 7 0 】

図 1 3 は、第 4 の実験において求めた、 SF_6 ガスの流量比と、変化率の平均値及び変化率の 3 の各々との関係を示すグラフである。図 1 3 に示すように、変化率の平均値は SF_6 ガスの流量比に依存せず、略ゼロであった。また、 SF_6 ガスの流量比に依存せず、変化率の 3 は大きかった。したがって、第 4 の実験のプラズマエッチングの条件では、 SF_6 ガスの流量比に依存せず、多層膜 MF に形成された複数の開口 OP の形状が不均一であることが確認された。なお、変化率の 3 が大きいにもかかわらず変化率の平均値が小さくなっていたのは、多層膜 MF の積層方向に対して開口 OP が延在する方向にバラツキが生じており、正の値を有する変化率と負の値を有する変化率が存在していたことが原因であった。多層膜 MF に形成される複数の開口 OP の形状が不均一であり、且つ、複数の開口 OP の垂直性が低ければ変化率の 3 は大きくなるので、多層膜 MF に形成される複数の開口 OP の形状の均一性及び複数の開口 OP の垂直性の双方は、変化率の 3 のみを評価可能であることが第 4 の実験の結果から理解できる。

30

40

【 0 0 7 1 】

(第 5 の実験)

【 0 0 7 2 】

第 5 の実験では、第 1 の実験で用いた被加工物と同様の被加工物 W を準備し、プラズマ処理装置 10 を用いて多層膜 MF のプラズマエッチングを行い、多層膜 MF に形成された開口 OP のアスペクト比と変化率の 3 との関係を求めた。以下に、第 5 の実験におけるプラズマエッチングの条件を示す。なお、第 5 の実験では、 SF_6 ガスの流量比は 1 4 % であった。また、以下に示す通り、第 5 の実験では、チャンバ 12 c の圧力を、以下の条件 5 A , 5 B , 5 C , 5 D のそれぞれに設定した。

50

【 0 0 7 3 】

< 第 5 の実験におけるプラズマエッチングの条件 >

- ・ 処理ガス： H_2 ガス、 CH_2F_2 ガス、 SF_6 ガス、 及び、 HBr ガスを含む混合ガス
- ・ チャンバ 1 2 c の圧力

条件 5 A： 15 mTorr (2 Pa) で一定

条件 5 B： 25 mTorr (3.333 Pa) で一定

条件 5 C

アスペクト比が 4 0 になるまで： 15 mTorr (2 Pa)

アスペクト比が 4 0 になってから： 25 mTorr (3.333 Pa)

条件 5 D：

アスペクト比が 6 0 になるまで： 15 mTorr (2 Pa)

アスペクト比が 6 0 になってから： 25 mTorr (3.333 Pa)

- ・ 静電チャック 2 0 の温度： -40
- ・ 第 1 の高周波： 2.5 kW 、 40 MHz 、 連続波
- ・ 第 2 の高周波： 7 kW 、 0.4 MHz 、 連続波

【 0 0 7 4 】

図 1 4 は、第 5 の実験において求めたアスペクト比と変化率の 3 との関係を示すグラフである。図 1 4 に示すように、条件 5 A のプラズマエッチング、即ち、チャンバ 1 2 c の圧力を 15 mTorr (2 Pa) で変更しなかったプラズマエッチングでは、変化率の 3 は小さかったが、選択性が低く、マスク M K を維持することができず高いアスペクト比の複数の開口を多層膜 M F に形成することができなかった。条件 5 B のプラズマエッチング、即ち、チャンバ 1 2 c の圧力を 25 mTorr (3.333 Pa) で変更しなかったプラズマエッチングでは、多層膜 M F に形成された複数の開口 O P のアスペクト比が 5 0 よりも大きい場合には、変化率の 3 が相当に大きくなった。

【 0 0 7 5 】

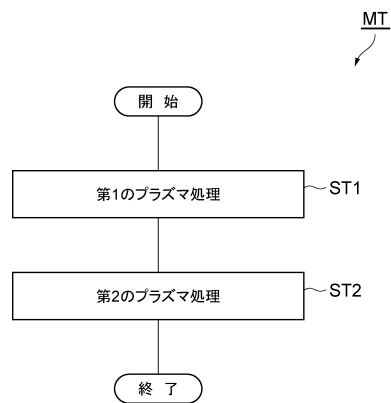
一方、条件 5 C 及び条件 5 D の各々のプラズマエッチング、即ち、最初にチャンバ 1 2 c の圧力を比較的低い圧力に設定して第 1 のプラズマ処理を行い、次いでチャンバ 1 2 c の圧力を比較的高い圧力に設定して第 2 のプラズマ処理を行うプラズマエッチングでは、条件 5 A のプラズマエッチングよりも高いアスペクト比の開口を多層膜 M F に形成することができた。また、条件 5 C 及び条件 5 D の各々のプラズマエッチングでは、条件 5 B のプラズマエッチングよりも小さい変化率の 3 を有する複数の開口 O P を多層膜 M F に形成することができた。また、条件 5 C の場合のプラズマエッチングに比べて、条件 5 D のプラズマエッチングでは、より高いアスペクト比を有する複数の開口を相当に小さい変化率の 3 で形成可能であることから、多層膜 M F に形成されるべき開口 O P の所望のアスペクト比の半分以上、且つ、所望のアスペクト比よりも小さいアスペクト比を有する開口が多層膜 M F に形成されるまで、低圧でのプラズマ処理（第 1 のプラズマ処理）を実行し、次いで、高圧でのプラズマ処理（第 2 のプラズマ処理）を行うことで、選択性を高め、且つ、多層膜 M F に形成される複数の開口 O P の形状の均一性及び垂直性を更に高めることが可能であるものと考えられる。

【 符号の説明 】

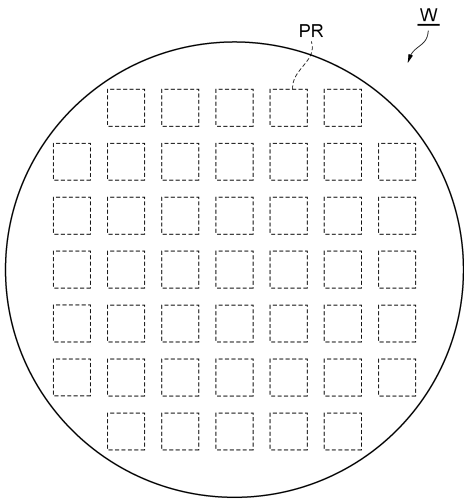
【 0 0 7 6 】

1 0 ... プラズマ処理装置、 1 2 ... チャンバ本体、 1 2 c ... チャンバ、 1 4 ... ステージ、 1 8 ... 下部電極、 2 0 ... 静電チャック、 5 0 ... 排気装置、 6 2 ... 第 1 の高周波電源、 6 4 ... 第 2 の高周波電源、 W ... 被加工物、 M F ... 多層膜、 F 1 ... シリコン酸化膜、 F 2 ... シリコン窒化膜、 I M , M K ... マスク、 P R ... パターン領域、 I M O , M O ... 開口、 O P ... 開口。

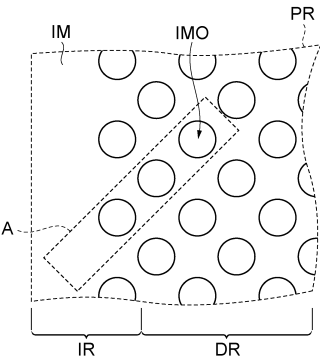
【図 1】



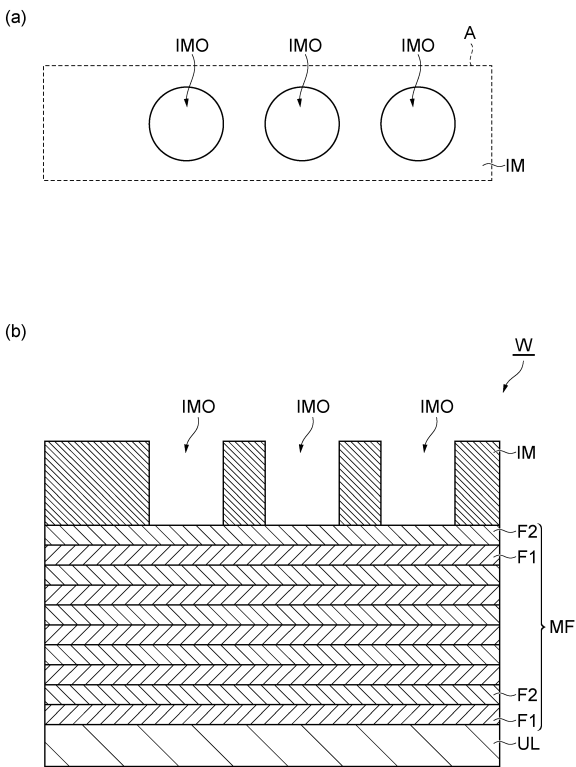
【図 2】



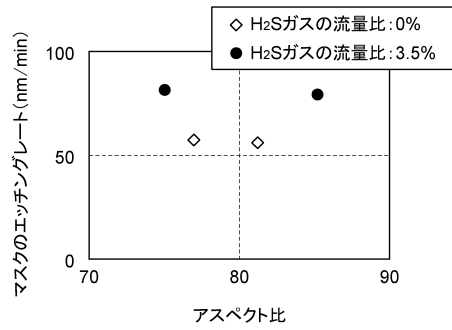
【図 3】



【図 4】

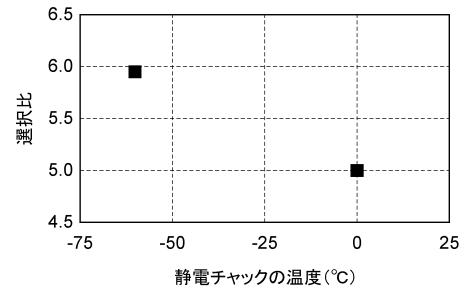


【図 9】

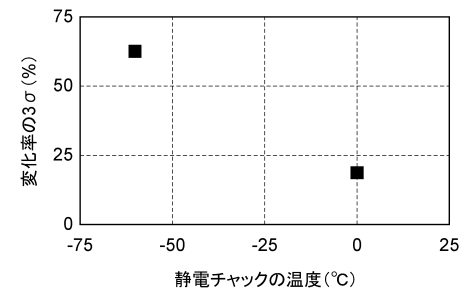


【図 10】

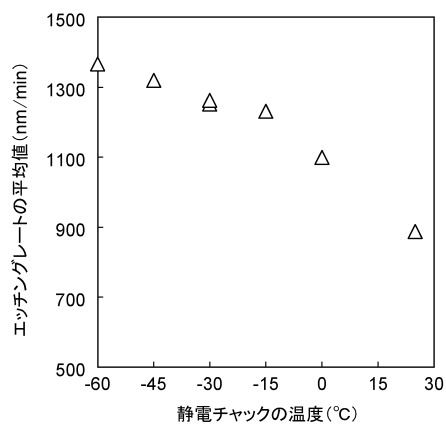
(a)



(b)

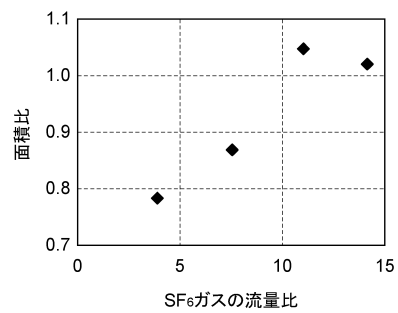


【図 11】

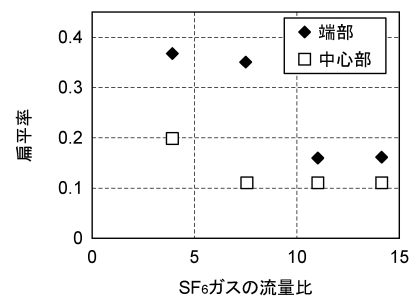


【図 12】

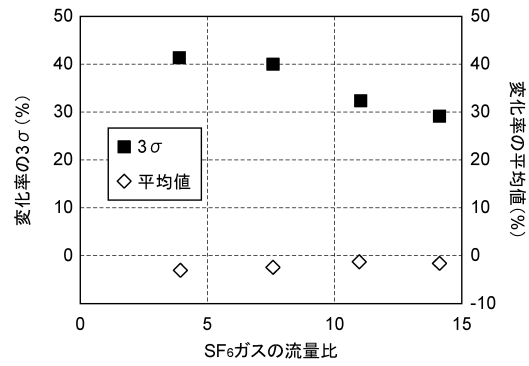
(a)



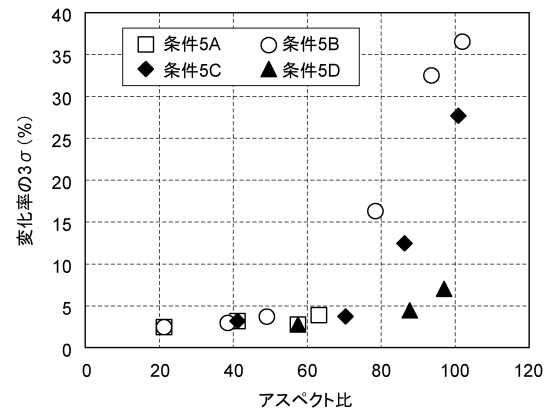
(b)



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2017-118091(JP,A)
特開平08-064585(JP,A)
特開2003-229411(JP,A)
特開2001-102362(JP,A)
特開平09-036103(JP,A)
特開2005-277375(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0108463(US,A1)
特開2017-103388(JP,A)
特開2015-119099(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/302
H01L 21/3065
H01L 21/461