

(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.CI.

H01L 21/3065 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 105A

請求項の数 5 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2017-149186 (P2017-149186)
 (22) 出願日 平成29年8月1日 (2017.8.1)
 (65) 公開番号 特開2019-29561 (P2019-29561A)
 (43) 公開日 平成31年2月21日 (2019.2.21)
 審査請求日 令和2年4月24日 (2020.4.24)

(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 後平 拓
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i
 ズタワー 東京エレクトロン株式会社内
 審査官 鈴木 聰一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】多層膜をエッティングする方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被加工物の多層膜をエッティ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、

前記多層膜をエッティングするために、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ティングするために、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、前記多層膜をエッティングするために、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ティングの前記マスクのエッティ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3.333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、CH₂F₂ガス、SF₆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】

10

【0001】

20

本開示の実施形態は、多層膜をエッティ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、プラズマエッティングによって被加工物のエッティング対象膜のエッティングが行われる。プラズマエッティングでは、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、エッティ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、プラズマエッティ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ティングされている。

【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ティ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ティングにおいても、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ティング中には、炭素を含有する堆積物がマスク上に形成される。また、このプラズマエッティングでは、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ティ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、

30

40

50

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

【0006】

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ティングでは、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。

【0007】

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ティングされず、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、多層膜のエッティ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】

【0008】

一態様においては、被加工物の多層膜をエッティ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、多層膜をエッティングするために、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ティングするために、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、多層膜をエッティングするために、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、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。

【0009】

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、プラズマエッティ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、プラズマエッティ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。

【0010】

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ティングされる。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-15℃以下の温度に設定される。静電チャックの温度が-15℃以下の温度に設定されると、多層膜のエッティングレートが高くなる。したがって、選択性が高くなる。

【0011】

但し、静電チャックの温度が-15℃以下の温度に設定されると、多層膜の積層方向に對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

合には、多層膜のエッティ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。

【0012】

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。

【0013】

一実施形態において、第1の圧力は2パスカル(15mTorr)以下であり、第2の圧力は3.333パスカル(25mTorr)以上である。

10

【0014】

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】

【0015】

以上説明したように、多層膜のエッティ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できることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

20

【図1】一実施形態に係る多層膜をエッティ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ティ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ティ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ティ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ティ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ティングレートとの関係を示すグラフである。

【図10】第2の実験において求めた静電チャックの温度と選択性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との関係を示すグラフである。

40

【図11】第3の実験において求めた、静電チャックの温度とエッティングレートの平均値との関係を示すグラフである。

【図12】図12の(a)は、第4の実験において求めたSF₆ガスの流量比と面積比との関係を示すグラフであり、図12の(b)は、第4の実験において求めた、SF₆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13】第4の実験において求めた、SF₆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14】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MT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ST1、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ST2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。

10

【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MF及びマスクIMを有する。多層膜MFは下地層UL上に設けられている。多層膜MFは、複数のシリコン酸化膜F1と複数のシリコン窒化膜F2を含んでいる。複数のシリコン酸化膜F1と複数のシリコン窒化膜F2は、交互に積層されている。多層膜MFにおけるシリコン酸化膜F1の個数、及び、シリコン窒化膜F2の個数の各々は、任意の個数であり得る。多層膜MFの全ての膜のうち最下層の膜は、シリコン酸化膜F1であってもよく、シリコン窒化膜F2であってもよい。また、多層膜MFの全ての膜のうち最上層の膜は、シリコン酸化膜F1であってもよく、シリコン窒化膜F2であってもよい。マスクIMは、多層膜MF上に設けられている。マスクIMは、炭素を含んでいる。マスクIMは、例えば、アモルファスカーボン製である。マスクIMには、複数の開口IMOが形成されている。複数の開口IMOの各々は、例えば円形の平面形状を有し得る。なお、マスクIMは、方法MT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IMOの各々は、当該初期のマスクにおける開口である。

20

【0020】

30

図2に示すように、被加工物Wは、複数のパターン領域PRを有し得る。図2では、破線によって複数のパターン領域PRの各々の境界が示されている。複数のパターン領域PRは、互いに離れている。なお、複数のパターン領域PR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PRの各々には、複数の開口IMOが形成されている。図3に示すように、複数の開口IMOが形成されているマスクIMには、高い密度で開口IMOが形成されている領域DRと低い密度で開口IMOがされている領域IRが存在する。

【0021】

40

方法MTでは、上述の工程ST1及び工程ST2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10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10は、チャンバ本体12を備えている。チャンバ本体12は、略円筒形状を有している。チャンバ本体12は、その内部空間をチャンバ12cとして提供している。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12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12は、電気的に接地されている。

【0022】

また、チャンバ本体12の側壁には、通路12pが形成されている。被加工物Wは、チャンバ12cに搬入されるとき、また、チャンバ12cから搬出されるときに、通路12p

50

を通る。この通路 12p は、ゲートバルブ 12g により開閉可能となっている。

【0023】

チャンバ本体 12 の底部上には、支持部 13 が設けられている。支持部 13 は、絶縁材料から形成されている。支持部 13 は、略円筒形状を有している。支持部 13 は、チャンバ 12c 内において、チャンバ本体 12 の底部から鉛直方向に延在している。支持部 13 は、ステージ 14 を支持している。ステージ 14 は、チャンバ 12c 内に設けられている。

【0024】

ステージ 14 は、下部電極 18 及び静電チャック 20 を有している。ステージ 14 は、電極プレート 16 を更に備え得る。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。

10

【0025】

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、被加工物 W が載置される。静電チャック 20 は、誘電体から形成された本体を有する。静電チャック 20 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 20 の電極は、スイッチを介して直流電源 22 に接続されている。静電チャック 20 の電極に直流電源 22 からの電圧が印加されると、静電チャック 20 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 20 に引き付けられ、当該静電チャック 20 によって保持される。

20

【0026】

下部電極 18 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 FR が配置される。フォーカスリング FR は、エッティ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 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。

【0027】

下部電極 18 の内部には、流路 18f が設けられている。流路 18f には、チャンバ本体 12 の外部に設けられているチラーユニット 26 から配管 26a 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 26b を介してチラーユニット 26 に戻される。プラズマ処理装置 10 では、静電チャック 20 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 18 との熱交換により、調整される。

30

【0028】

プラズマ処理装置 10 には、ガス供給ライン 28 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 の上面と被加工物 W の裏面との間に供給する。

【0029】

プラズマ処理装置 10 は、上部電極 30 を更に備えている。上部電極 30 は、ステージ 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 は、天板 34 及び支持体 36 を含み得る。天板 34 の下面は、チャンバ 12c 側の下面であり、チャンバ 12c 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 が形成されている。複数のガス吐出孔 34a は、当該天板 34 をその板厚方向に貫通している。

40

【0030】

支持体 36 は、天板 34 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 36 の内部には、ガス拡散室 36a が設けられている。ガス拡散室 36a からは、複数のガス吐出孔 34a にそれぞれ連通する複数のガス通流孔 36b が下方に延びている。支持体 36 には、ガス拡散室 36a 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 にエッティ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得る。

【 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 MHz ~ 100 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 kHz ~ 13.56 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、H₂ ガス、C x H y ガス（炭化水素ガス）、及び、C x H y F 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、NF₃ ガス、SF₆ ガス、WF₆ ガス、C x F y ガス（フルオロカーボンガス）、及び、C x H y F 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 x H y ガス（炭化水素ガス）、及び、C x H y F 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、H₂S ガス、CO₂ ガス、CH₃SH ガス、SBr₂ ガス、S₂Br₂ ガス、SF₂ ガス、S₂F₂ ガス、SF₄ ガス、SF₆ ガス、S₂F₁₀ ガス、SCl₂ ガス、S₂Cl₂ ガス、及び、S₃Cl₃ ガスのうち一種以上のガスを含み得る。なお、処理ガスは、HB_r 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、O₂ ガス、CO ガス、CO₂ 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、H₂ ガス、CH₂F₂ ガス、SF₆ ガス、及び、HB_r ガスを含む混合ガスであり得る。2030

【 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 】

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。40

【 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ティ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ティ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ティ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ティング中の被加工物の断面図である。

【0045】

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MFのエッティングでは、マスク上に炭素を含有する堆積物が形成される。プラズマエッティング中には、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ティングされることにより、マスクMKCの複数の開口MOの形状が定められる。即ち、初期のマスクIMの残部、又は、初期のマスクIMの残部と堆積物によって、プラズマエッティング中のマスクMKCの複数の開口MOの形状が定められる。なお、活性種は、多層膜MFのエッティング中に発生する酸素を含む。

【0046】

多層膜MFのエッティング中に発生する酸素の量は、高い密度で開口MOが形成されている領域DRでは多く、低い密度で開口MOが形成されている領域IR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MKCの幾つかの開口MOが変形する。例えば、領域IRの幾つかの開口MOの平面形状が円形から変形する。その結果、マスクMKCの複数の開口MOの形状が不均一になる。マスクMKCの複数の開口MOの形状が不均一になると、これら複数の開口MOの下方において多層膜MFが均一にエッティングされず、多層膜MFに形成される複数の開口OPの形状が、不均一になり、当該複数の開口OPの垂直性が低くなる。

【0047】

一方、方法MT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、プラズマエッティング中のマスクMKの複数の開口MO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MTによれば、図7の(a)及び図7の(b)に示すように、プラズマエッティング中にマスクMKの複数の開口MOの変形が抑制され、マスクMKの複数の開口MOの形状の均一性が高められる。

【0048】

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ティングされる。即ち、選択性が低くなる。方法MTでは、選択性を高めるために、静電チャック20の温度が-15℃以下の温度に設定される。静電チャック20の温度が-15℃以下の温度に設定されると、多層膜MFのエッティングレートが高くなる。したがって、選択性が高くなる。

【0049】

但し、静電チャック20の温度が-15℃以下の温度に設定されると、多層膜MFの積層方向に対して多層膜MFに形成される開口に曲がりが生じる。多層膜MFに形成される開口の曲がりを抑制するために、方法MTでは、工程ST1におけるチャンバ12cの第1の圧力が、工程ST2におけるチャンバ12cの第2の圧力よりも低い圧力に設定される。チャンバ12c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OPが多層膜MFに形成されるが、選択性が低くなる。一方、チャンバ12cの圧力が高い場合には、多層膜MFのエッティ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MTによれば、選択性を高め、且つ、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垂直性を高めることができる。

【0050】

以上、方法MT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はなく種々の変形態様を構成可能である。方法MTには、容量結合型のプラズマ処理装置

10

20

30

40

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。

【 0 0 5 1 】

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。

【 0 0 5 2 】

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 の面積を除した値である。「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。

【 0 0 5 3 】

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の変形（歪み）が少ないことを表す。

【 0 0 5 4 】

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。
変化率(%) = (P - Q) / P × 100 ... (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、 $3 \times$ (変化率の標準偏差)、即ち変化率の 3 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。

【 0 0 5 5 】

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できること、即ち、選択性が高いことを示す。

【 0 0 5 6 】

(第 1 の実験)

【 0 0 5 7 】

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 1 0 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。

【 0 0 5 8 】

< 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、 C H₂ F₂ ガス、 H₂S ガス、及び、 HBr ガスを含む混合ガス
- ・ チャンバー 1 2 c の圧力 : 3 . 3 3 3 Pa (2 5 mTorr)
- ・ 静電チャック 2 0 の温度 : 0
- ・ 第 1 の高周波 : 2 . 5 kW、 4 0 MHz、 連続波
- ・ 第 2 の高周波 : 7 kW、 0 . 4 MHz、 連続波

10

20

30

40

50

【0059】

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ティ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、H₂Sガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッティングでは、H₂Sガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッティングに比べて、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H₂S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、H₂Sガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッティングでは、H₂Sガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッティングに比べて、マスクのエッティングレートが高かった。即ち、H₂Sガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッティングでは、H₂Sガスを含まない処理ガスを用いたプラズマエッティングに比べて、選択性が低くなっていた。10

【0060】

(第2の実験)

【0061】

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のプラズマエッティングを行い、静電チャック20の温度と、選択比及び変化率の3と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ティングの条件を示す。なお、第2の条件においては、処理ガスは、SF₆ガスを3.5%の流量比で含んでいた。20

【0062】

<第2の実験におけるプラズマエッティングの条件>

- ・処理ガス：H₂ガス、CH₂F₂ガス、SF₆ガス、及び、HBrガスを含む混合ガス
- ・チャンバー12cの圧力：3.333Pa(25mTorr)
- ・第1の高周波：2.5kW、40MHz、連続波
- ・第2の高周波：7kW、0.4MHz、連続波
- ・多層膜MFに形成した開口OPのアスペクト比：80

【0063】

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、選択性が高くなっていた。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

【0064】

(第3の実験)

【0065】

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ティングを行った。第3の実験では、静電チャック20の温度とエッティングレートの平均値との関係を求めた。エッティングレートの平均値は、シリコン酸化膜のエッティングレートとシリコン窒化膜のエッティ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ティ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-15以下である場合に、非常に高いエッティ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-15以下に設定することで、多層膜MFのエッティングレートを高め、選択性を高めることが可能であることが確認された。4050

【0066】

(第4の実験)

【0067】

第4の実験では、処理ガスに含める硫黄含有ガスとしてSF₆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のプラズマエッティングを行い、SF₆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との各々との関係を求めた。なお、SF₆ガスの流量比は、処理ガスの全流量に対するSF₆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ティングの条件を示す。

10

【0068】

<第4の実験におけるプラズマエッティングの条件>

- ・処理ガス：H₂ガス、CH₂F₂ガス、HBrガス、及び、SF₆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：-40
- ・第1の高周波：2.5kW、40MHz、連続波
- ・第2の高周波：7kW、0.4MHz、連続波
- ・多層膜MFに形成した開口OPのアスペクト比：90

【0069】

図12の(a)は、第4の実験において求めたSF₆ガスの流量比と面積比との関係を示すグラフであり、図12の(b)は、第4の実験において求めた、SF₆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H₂Sガスに代えてSF₆ガスを用いても、図12の(a)及び図12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、SF₆ガスの流量比が10%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

【0070】

図13は、第4の実験において求めた、SF₆ガスの流量比と、変化率の平均値及び変化率の3との各々との関係を示すグラフである。図13に示すように、変化率の平均値はSF₆ガスの流量比に依存せず、略ゼロであった。また、SF₆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ティングの条件では、SF₆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

【0071】

(第5の実験)

【0072】

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のプラズマエッティングを行い、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ティングの条件を示す。なお、第5の実験では、SF₆ガスの流量比は14%であった。また、以下に示す通り、第5の実験では、チャンバ12cの圧力を、以下の条件5A, 5B, 5C, 5Dのそれぞれに設定した。

40

50

【0073】

<第5の実験におけるプラズマエッティングの条件>

- ・処理ガス：H₂ガス、CH₂F₂ガス、SF₆ガス、及び、HBrガスを含む混合ガス
- ・チャンバ12cの圧力

条件5A：15mTorr(2Pa)で一定

条件5B：25mTorr(3.333Pa)で一定

条件5C

アスペクト比が40になるまで：15mTorr(2Pa)

アスペクト比が40になってから：25mTorr(3.333Pa)

条件5D：

アスペクト比が60になるまで：15mTorr(2Pa)

アスペクト比が60になってから：25mTorr(3.333Pa)

- ・静電チャック20の温度：-40

- ・第1の高周波：2.5kW、40MHz、連続波

- ・第2の高周波：7kW、0.4MHz、連続波

10

【0074】

図14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14に示すように、条件5Aのプラズマエッティング、即ち、チャンバ12cの圧力を15mTorr(2Pa)で変更しなかったプラズマエッティングでは、変化率の3は小さかったが、選択性が低く、マスクMK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MFに形成することができなかった。条件5Bのプラズマエッティング、即ち、チャンバ12cの圧力を25mTorr(3.333Pa)で変更しなかったプラズマエッティングでは、多層膜MFに形成された複数の開口OPのアスペクト比が50よりも大きい場合には、変化率の3が相当に大きくなつた。

20

【0075】

一方、条件5C及び条件5Dの各々のプラズマエッティング、即ち、最初にチャンバ12c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12c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ティングでは、条件5Aのプラズマエッティングよりも高いアスペクト比の開口を多層膜MFに形成することができた。また、条件5C及び条件5Dの各々のプラズマエッティングでは、条件5Bのプラズマエッティングよりも小さい変化率の3を有する複数の開口OPを多層膜MFに形成することができた。また、条件5Cの場合のプラズマエッティングに比べて、条件5Dのプラズマエッティングでは、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MFに形成されるべき開口OP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MF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MFに形成される複数の開口OP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。

30

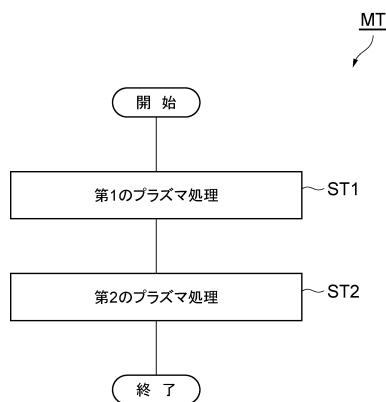
【符号の説明】

40

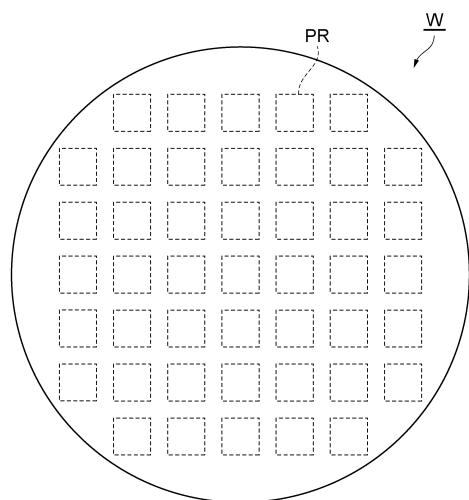
【0076】

10…プラズマ処理装置、12…チャンバ本体、12c…チャンバ、14…ステージ、18…下部電極、20…静電チャック、50…排気装置、62…第1の高周波電源、64…第2の高周波電源、W…被加工物、MF…多層膜、F1…シリコン酸化膜、F2…シリコン窒化膜、IM, MK…マスク、PR…パターン領域、IMO, MO…開口、OP…開口。

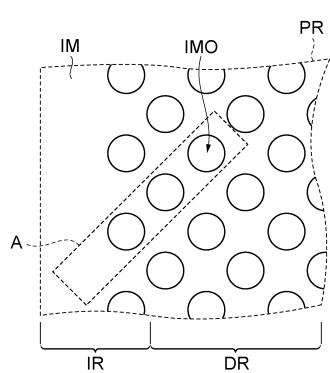
【図1】



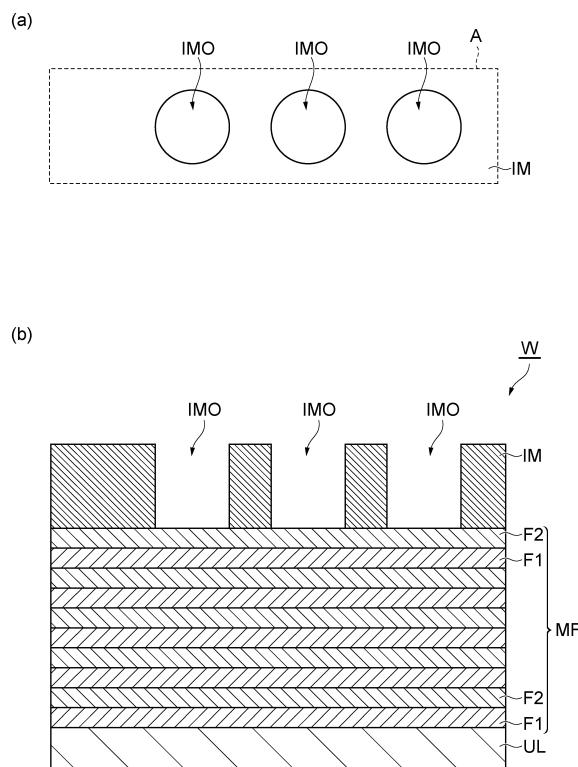
【図2】



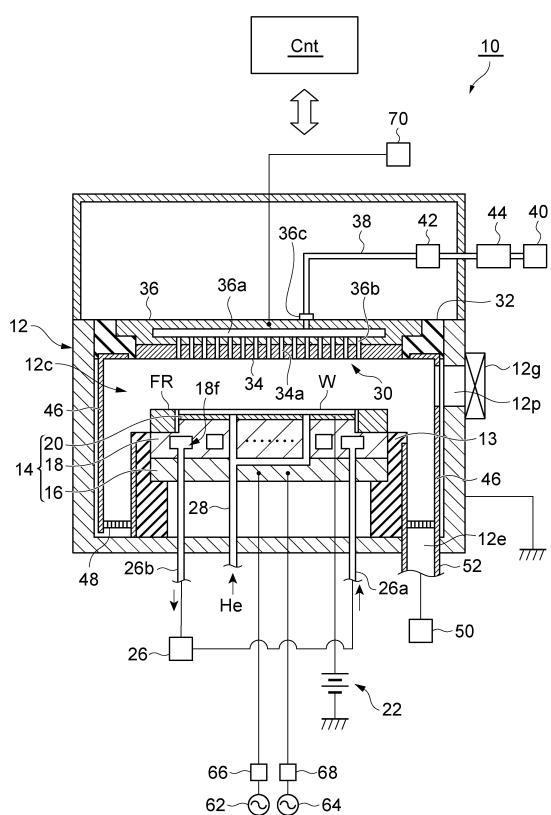
【図3】



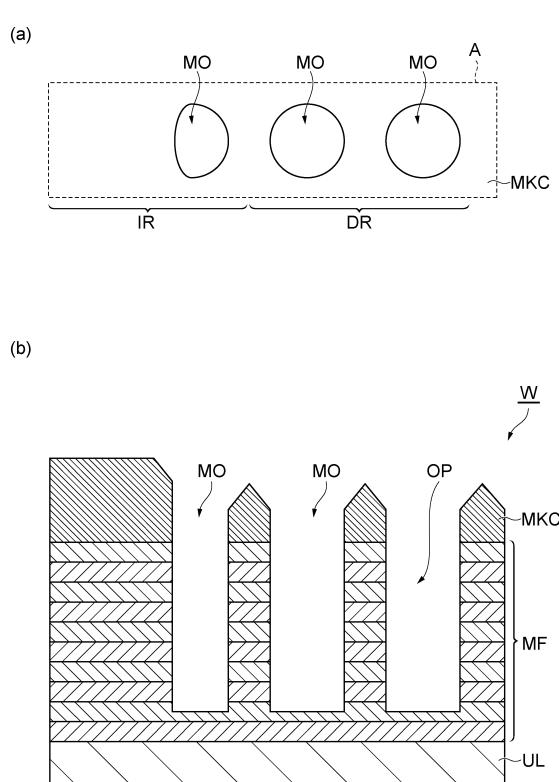
【図4】



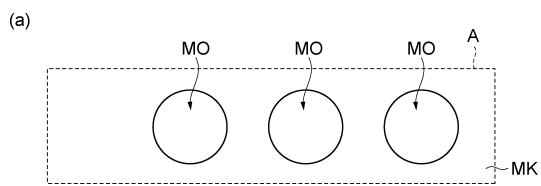
【図5】



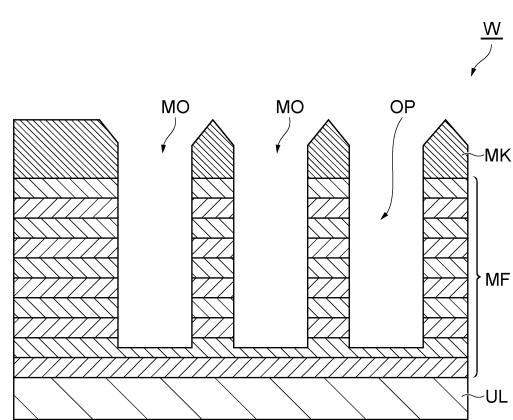
【図6】



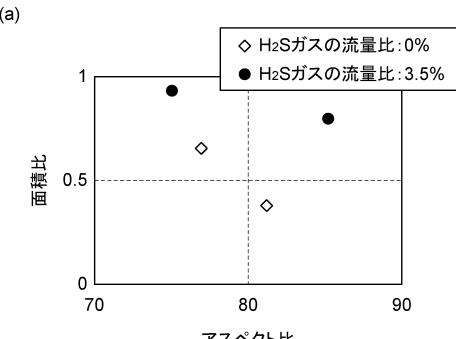
【図7】



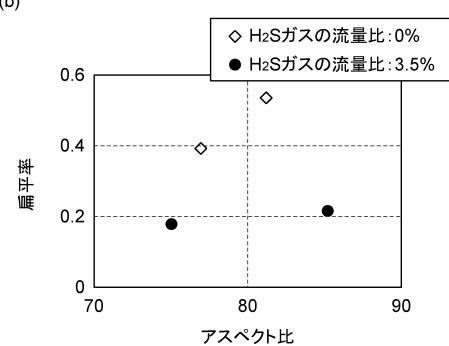
(b)



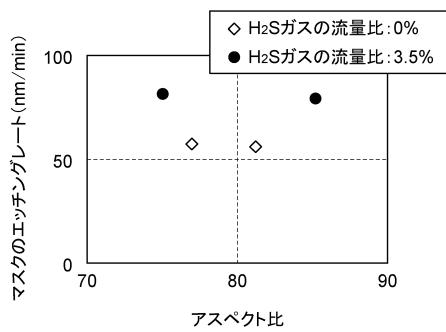
【図8】



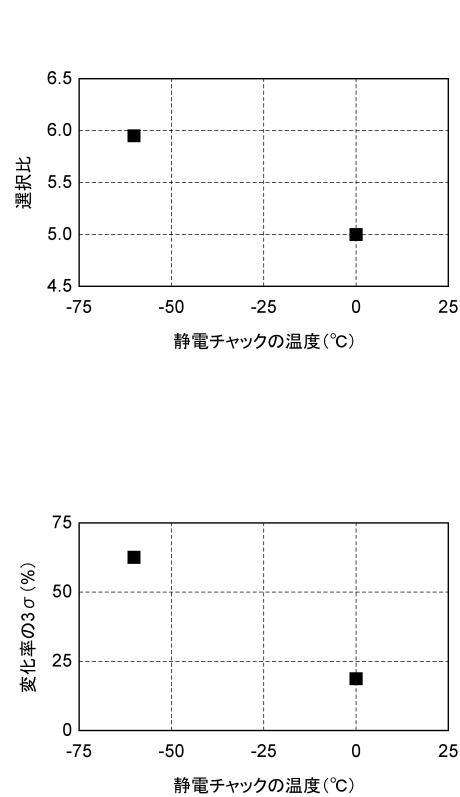
(b)



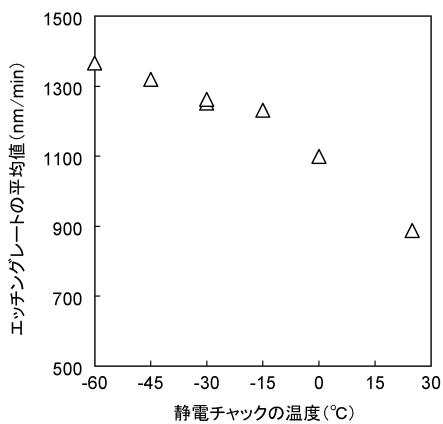
【図 9】



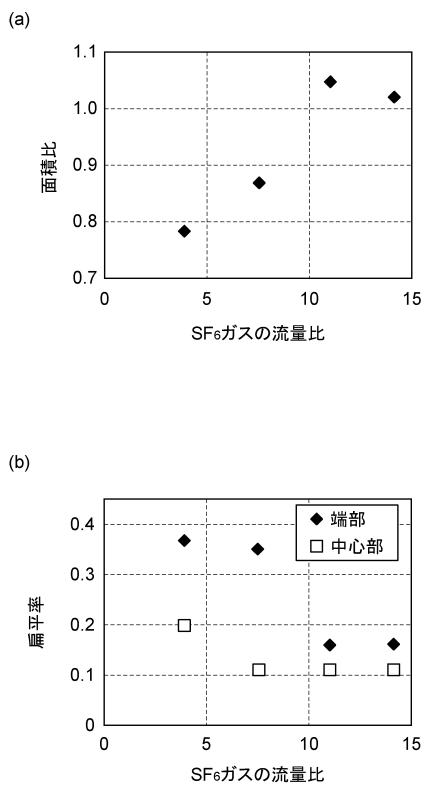
【図 10】



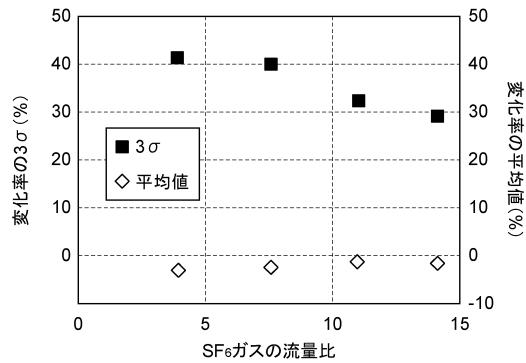
【図 11】



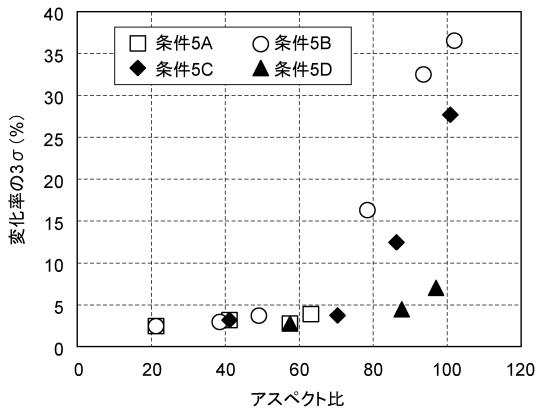
【図 12】



【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