

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-207768

(P2016-207768A)

(43) 公開日 平成28年12月8日(2016.12.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 1 O 5 A	5 F 0 0 4
HO 1 L 21/768 (2006.01)	HO 1 L 21/90 C	5 F 0 3 3
HO 1 L 23/532 (2006.01)	HO 1 L 21/90 N	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2015-85878 (P2015-85878)
 (22) 出願日 平成27年4月20日 (2015. 4. 20)

(71) 出願人 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
 (71) 出願人 591060898
 アイメック
 I M E C
 ベルギー、ペー-3001ルーヴァン、カ
 ペルドリーフ75番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多孔質膜をエッチングする方法

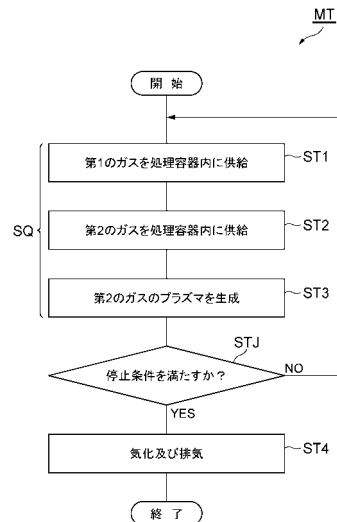
(57) 【要約】

【課題】 多孔質膜のエッチング方法を提供する。

【解決手段】

一実施形態の方法は、多孔質膜を有する被処理体が収容されたプラズマ処理装置の処理容器内に第1のガスを供給する工程と、処理容器内において多孔質膜のエッチング用の第2のガスのプラズマを生成する工程と、を含む。第1のガスは、処理容器内でその上に被処理体が載置されているステージの温度において133.3パスカル以下の飽和蒸気圧を有する処理ガスからなるか、又は、該処理ガスを含む。また、第1のガスを供給する工程では、プラズマは生成されず、処理容器内に供給される処理ガスの分圧は、飽和蒸気圧の20%以上の分圧に設定される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

多孔質膜をエッチングする方法であって、

前記多孔質膜を有する被処理体が収容されたプラズマ処理装置の処理容器内に第 1 のガスを供給する工程と、

前記処理容器内において前記多孔質膜のエッチング用の第 2 のガスのプラズマを生成する工程と、

を含み、

前記第 1 のガスは、前記処理容器内でその上に前記被処理体が載置されているステージの温度において 133 . 3 パスカル以下の飽和蒸気圧を有する処理ガスからなるか、又は、該処理ガスを含み、

前記第 1 のガスを供給する前記工程では、プラズマは生成されず、前記処理容器内に供給される前記処理ガスの分圧は、前記飽和蒸気圧の 20 % 以上である、方法。

【請求項 2】

前記第 1 のガスを供給する前記工程、及び前記第 2 のガスのプラズマを生成する前記工程を含むシーケンスが繰り返し実行される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 1 のガスを供給する前記工程と前記第 2 のガスのプラズマを生成する前記工程との間において、プラズマを生成せずに、前記処理容器内に前記第 2 のガスを供給する工程を更に含む、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 のガスを供給する前記工程における前記処理容器内の空間の圧力は、133 . 3 パスカル以下である、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 2 のガスのプラズマを生成する前記工程における前記処理容器内の空間の圧力は、40 パスカル以下である、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記処理ガスは、フルオロカーボンガスを含む、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記フルオロカーボンガスは、 C_7F_8 ガス及び C_6F_6 ガスのうち少なくとも一方を含み、

前記第 1 のガスを供給する前記工程において前記処理容器内に供給される前記処理ガスの分圧は、前記飽和蒸気圧の 100 % 以下である、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記処理ガスは、炭化水素ガス、又は酸素含有炭化水素ガスである、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 9】

前記処理ガスに含まれる分子中の炭素原子の原子数に対して該分子中の酸素原子の原子数が $1/2$ 以下である、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記処理ガスに基づく前記多孔質膜中の液体を気化させて気体を生成し、該気体を排気する工程を更に含む、請求項 1 ~ 9 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】**

本発明の実施形態は、多孔質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】**

10

20

30

40

50

半導体デバイスといった電子デバイスには、多孔質膜が用いられることがある。多孔質膜としては、例えば、SiOC膜といった低誘電率材料から構成された膜が用いられる。このような電子デバイスの製造においては、リソグラフィーによってフォトレジストに形成された微細パターンを、プラズマエッチングによって必要に応じTiN膜、SiO₂膜、又はSi₃N₄膜のようなハードマスクに転写し、引き続き当該パターンを多孔質膜に転写する処理が行われる。

【0003】

多孔質膜のプラズマエッチングでは、プラズマ処理装置の処理容器内でエッチング用のガスを励起させることによってラジカルが生成されるが、ラジカルは多孔質膜の細孔（ポア）内に侵入して多孔質膜にダメージを与え得る。このため、ラジカルから多孔質膜を保護する幾つかの技術が提案されている。

10

【0004】

例えば、非特許文献1には、多孔質膜を極低温下でエッチングすることにより、反応生成物を多孔質膜中で凝縮させる技術が記載されている。この技術では、多孔質膜中で凝縮した反応生成物により、当該多孔質膜中へのラジカルの侵入が抑制されている。このような反応生成物の凝縮のために、多孔質膜のエッチング時の温度は、-70以下に設定される。

【0005】

また、非特許文献2には、PMMA（ポリメタクリル酸メチル樹脂）を多孔質膜中に浸透させて、当該PMMAにより多孔質膜中へのラジカルの侵入を抑制する技術が記載されている。この技術では、多孔質膜のエッチングの終了後、水素ガスとヘリウムガスの混合ガスを用いるプラズマ処理、又はレーザアニールといった後処理によってPMMAが除去される。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】Liping Zhang他、"Damage Free Cryogenic Etching of a Porous Organosilica Ultralow-k Film"、ECS Solid State Lett. 2013 volume 2, issue 2, N5-N7

30

【非特許文献2】Markus H. Heyne他、"Quantitative characterization of pore stuffing and unstuffing for postporosity plasma protection of low-k materials"、Journal of Vacuum Science & Technology B32, 062202 (2014)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

非特許文献1に記載された技術のように極低温でエッチングには、通常の冷媒を用いる冷却機構を有するプラズマ処理装置を用いることができず、例えば、液体窒素等を用いる冷却機構を有するプラズマ処理装置が必要になる。したがって、このような極低温のエッチングでは、ランニングコストが高くなる。また、非特許文献2に記載された技術では、PMMAを多孔質膜中に浸透させるための工程が必要となり、且つ専用の処理装置が必要である。また、非特許文献2に記載された技術では、PMMAの除去のための後処理により、多孔質膜にダメージが加わる。

40

【0008】

したがって、多孔質膜のダメージを抑制可能な改善された多孔質膜のエッチング方法が必要である。

【課題を解決するための手段】

【0009】

50

一態様では、多孔質膜をエッチングする方法が提供される。この方法は、(a)多孔質膜を有する被処理体が收容されたプラズマ処理装置の処理容器内に第1のガスを供給する工程(以下、「封孔工程」という)と、(b)処理容器内において多孔質膜のエッチング用の第2のガスのプラズマを生成する工程(以下、「エッチング工程」という)と、を含む。第1のガスは、処理容器内でその上に被処理体が載置されているステージの温度において133.3パスカル以下の飽和蒸気圧を有する処理ガスからなるか、又は、該処理ガスを含む。また、封孔工程では、プラズマは生成されず、処理容器内に供給される処理ガスの分圧は、飽和蒸気圧の20%以上である。一実施形態では、封孔工程における処理容器内の空間の圧力は、133.3パスカル(1 Torr)以下の圧力に設定される。また、一実施形態では、エッチング工程における処理容器内の空間の圧力は、40パスカル(300 mTorr)以下の圧力に設定される。なお、エッチング工程における処理容器内の空間の圧力は、13.33パスカル(100 mTorr)以下に設定されてもよい。

10

20

30

40

50

【0010】

一態様に係る方法では、多孔質膜の細孔を封孔するために、ステージ温度において133.3パスカル以下の飽和蒸気圧を有する処理ガスが用いられ、当該処理ガスが飽和蒸気圧の20%以上の分圧で処理容器内に供給される。かかる分圧の処理ガスを用いた封孔工程では、毛管凝縮により多孔質膜の細孔内で処理ガスが液化し、細孔内の液体がエッチング工程において生成されるラジカルが多孔質膜の細孔に侵入することを抑制する。また、この液化は、極低温ではなく、通常のプラズマ処理装置の冷却機構によって達成し得る温度、例えば-50程度、又は-50以上の温度において実現され得る。さらに、処理ガスの液化によって生成された液体は、例えば、被処理体の温度を常温に設定することにより気化するので、容易に除去され得る。したがって、極低温に被処理体の温度を調整する冷却機構を用いることなくエッチング用のラジカルから多孔質膜を保護することが可能となり、且つ、多孔質膜のダメージを抑制することが可能となる。

【0011】

一実施形態では、封孔工程、及びエッチング工程を含むシーケンスが繰り返し実行され得る。封孔工程によって多孔質膜の細孔内に導入された液体は、エッチング工程中に気化し得る。この実施形態によれば、液体による多孔質膜の保護が持続する時間長でエッチング工程が実行され、再び封孔工程及びエッチング工程が実行される。これにより、多孔質膜のダメージを抑制しつつ、エッチング量を確保することが可能となる。

【0012】

一実施形態の方法は、封孔工程とエッチング工程との間において、プラズマを生成せずに、処理容器内に第2のガスを供給する工程(以下、「ガス置換工程」という)を更に含む。この実施形態によれば、処理容器内のガスが、ガス置換工程によって第1のガスから第2のガスに置き換えられた後に、プラズマが生成される。したがって、不要な活性種の発生が抑制される。

【0013】

一実施形態では、封孔工程に用いられる処理ガスは、フルオロカーボンガスであってもよい。また、一実施形態では、フルオロカーボンガスは、 C_7F_8 ガス及び C_6F_6 ガスのうち少なくとも一方を含み、封孔工程において処理容器内に供給される処理ガスの分圧は、飽和蒸気圧の100%以下の分圧に設定され得る。

【0014】

一実施形態では、封孔工程に用いられる処理ガスは、炭化水素ガスであってもよい。また、一実施形態では、処理ガスは、酸素含有炭化水素ガスであってもよい。これら実施形態の処理ガスも、封孔工程に用いることが可能である。また、一実施形態では、処理ガスに含まれる分子中の炭素原子の原子数に対して該分子中の酸素原子の原子数が1/2以下であってもよい。このような処理ガスによれば、酸素による多孔質膜のダメージを抑制しつつ、多孔質膜の細孔内において処理ガスを液化させることが可能となる。

【0015】

一実施形態において、方法は、処理ガスに基づく多孔質膜中の液体を気化させて気体を

生成し、該気体を排気する工程（以下、「除去工程」という）を更に含んでもよい。除去工程では、封孔工程及びエッチング工程に用いられるプラズマ処理装置の処理容器内で多孔質膜を有する被処理体の温度が常温（例えば、20）以上の温度に設定される。或いは、除去工程では、封孔工程及びエッチング工程に用いられるプラズマ処理装置と真空搬送系を介して接続された専用の装置内で、多孔質膜を有する被処理体の温度が常温（例えば、20）以上の温度に設定される。

【発明の効果】

【0016】

以上説明したように、改善された多孔質膜のエッチング方法が提供され、極低温に被処理体の温度を調整する冷却機構を用いることなくエッチング用のラジカルから多孔質膜を保護することが可能となり、且つ、多孔質膜のダメージを抑制することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】一実施形態に係る多孔質膜のエッチングする方法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】一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

【図4】図1に示す方法に関連する一例のタイミングチャートである。

【図5】図1に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。

【図6】図1に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。

【図7】図1に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。

20

【図8】図1に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。

【図9】図1に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。

【図10】種々のフルオロカーボンガスの飽和蒸気圧とステージPDの温度の関係を示すグラフである。

【図11】第2例の処理ガスの飽和蒸気圧とステージPDの温度の関係を示すグラフである。

【図12】実験例1で求めた屈折率を示すグラフである。

【図13】実験例2の処理後の多孔質膜、実験例3の処理後の多孔質膜、及び比較実験例1の処理後の多孔質膜のFTIRの分析結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

30

【0018】

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。

【0019】

図1は、一実施形態に係る多孔質膜の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、被処理体の多孔質膜をエッチングする方法である。図2は、被処理体の一例を示す断面図である。図2に示す被処理体（以下、「ウエハW」ということがある）は、基板SB、多孔質膜PL、及び、マスクMKを備えている。多孔質膜PLは、基板SB上に設けられている。多孔質膜PLには、多数の細孔が形成されている。細孔は、数nm、例えば、1nm～2nm平均の幅を有し得る。なお、平均の幅とは、各細孔の最大幅の平均値である。また、多孔質膜は、SiOC膜といった低誘電率材料から構成された膜である。多孔質膜PLは、例えば、CVD法又はスピン成膜法といった成膜法によって形成され得る。

40

【0020】

マスクMKは、多孔質膜PL上に設けられている。マスクMKは、一例では、第1層L1及び第2層L2を含み得る。第1層L1は、例えば、シリコン酸化膜であり、第2層L2は、TiN膜であり得る。マスクMKには、多孔質膜PLに転写すべきパターンが形成されている。例えば、マスクMKには、開口を有するパターンが形成されている。このようなマスクMKは、リソグラフィ技術、及びプラズマエッチングを用いることにより形成することができる。なお、プラズマエッチングについては、方法MTの一連の工程におい

50

て、プラズマ処理装置 10 を用いて実行することができる。

【0021】

方法 M T では、工程 S T 1 の実行に先立って、プラズマ処理装置の処理容器内にウエハ W が收容される。図 3 は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図 3 には、方法 M T の実施に用いることができる一例のプラズマ処理装置の縦断面における構造が概略的に示されている。図 3 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り、略円筒状の処理容器 12 を備えている。処理容器 12 の内壁面は、例えば、陽極酸化処理されたアルミニウムから構成されている。この処理容器 12 は保安接地されている。

【0022】

処理容器 12 の底部上には、略円筒状の支持部 14 が設けられている。支持部 14 は、例えば、絶縁材料から構成されている。支持部 14 は、処理容器 12 内において、処理容器 12 の底部から鉛直方向に延在している。また、処理容器 12 内には、ステージ P D が設けられている。ステージ P D は、支持部 14 によって支持されている。

【0023】

このステージ P D 上には、プラズマ処理装置 10 の処理容器 12 内に收容されたウエハ W が載置され、ステージ P D は当該ウエハ W を保持する。ステージ P D は、下部電極 L E 及び静電チャック E S C を有している。下部電極 L E は、第 1 プレート 18 a 及び第 2 プレート 18 b を含んでいる。第 1 プレート 18 a 及び第 2 プレート 18 b は、例えばアルミニウムといった金属から構成されており、略円盤形状をなしている。第 2 プレート 18 b は、第 1 プレート 18 a 上に設けられており、第 1 プレート 18 a に電氣的に接続されている。

【0024】

第 2 プレート 18 b 上には、静電チャック E S C が設けられている。静電チャック E S C は、導電膜である電極を一对の絶縁層又は絶縁シート間に配置した構造を有している。静電チャック E S C の電極には、直流電源 22 がスイッチ 23 を介して電氣的に接続されている。この静電チャック E S C は、直流電源 22 からの直流電圧により生じたクーロン力等の静電力によりウエハ W を吸着する。これにより、静電チャック E S C は、ウエハ W を保持することができる。なお、静電チャック E S C 内には、ヒータが内蔵されていてもよく、当該ヒータには、処理容器 12 の外部に設けられたヒータ電源が接続されていてもよい。

【0025】

第 2 プレート 18 b の周縁部上には、ウエハ W のエッジ及び静電チャック E S C を囲むようにフォーカスリング F R が配置されている。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、エッチング対象の膜の材料によって適宜選択される材料から構成されており、例えば、シリコン、石英といった材料から構成され得る。

【0026】

第 2 プレート 18 b の内部には、冷媒流路 24 が設けられている。冷媒流路 24 は、温調機構を構成している。冷媒流路 24 には、処理容器 12 の外部に設けられたチラーユニットから配管 26 a を介して冷媒が供給される。冷媒流路 24 に供給された冷媒は、配管 26 b を介してチラーユニットに戻される。このように、冷媒流路 24 とチラーユニットとの間では、冷媒が循環される。この冷媒の温度を制御することにより、静電チャック E S C によって支持されたウエハ W の温度が制御される。なお、冷媒には、例えば - 50 以上の温度にウエハ W を冷却し得る一般的な冷媒が用いられる。このような冷媒としては、ガルデン（登録商標）が例示される。

【0027】

また、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 H e ガスを、静電チャック E S C の上面とウエハ W の裏面との間に供給する。

10

20

30

40

50

【0028】

また、プラズマ処理装置10は、上部電極30を備えている。上部電極30は、ステージPDの上方において、当該ステージPDと対向配置されている。下部電極LEと上部電極30とは、互いに略平行に設けられている。上部電極30と下部電極LEとの間には、ウエハWにプラズマ処理を行うための処理空間Sが提供されている。

【0029】

上部電極30は、絶縁性遮蔽部材32を介して、処理容器12の上部に支持されている。上部電極30は、電極板34及び電極支持体36を含み得る。電極板34は処理空間Sに面しており、当該電極板34には複数のガス吐出孔34aが設けられている。この電極板34は、シリコン又は酸化シリコンといった材料から構成されている。

10

【0030】

電極支持体36は、電極板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構成され得る。この電極支持体36は、水冷構造を有し得る。電極支持体36の内部には、ガス拡散室36aが設けられている。このガス拡散室36aからは、ガス吐出孔34aに連通する複数のガス通流孔36bが下方に延びている。また、電極支持体36には、ガス拡散室36aに処理ガスを導くガス導入口36cが形成されており、このガス導入口36cには、ガス供給管38が接続されている。

【0031】

ガス供給管38には、バルブ群42及び流量制御器群44を介して、ガスソース群40が接続されている。ガスソース群40は、複数のガスソースを含んでいる。複数のガスソースは、第1のガスを供給する一以上のガスソース、及び、第2のガスを供給する一以上のガスソースを含んでいる。ガスソース群40の複数のガスソースは、また、後述する方法MTの工程ST4において用いられるガス、例えば、アルゴン又は窒素ガスのガスソースを含み得る。

20

【0032】

第1のガスは、多孔質膜PLの細孔内で液化される処理ガスを含む。この第1のガスについては、方法MTの詳細と共に後述する。また、第2のガスは、多孔質膜PLのエッチング用のガスである。第2のガスは、例えば、SiF₄ガス、NF₃ガス、及びArガスといった希ガスの混合ガス、或いは、CF₄ガス、O₂ガス、及びArガスといった希ガスの混合ガスであり得る。

30

【0033】

バルブ群42は複数のバルブを含んでおり、流量制御器群44はマスフローコントローラといった複数の流量制御器を含んでいる。ガスソース群40の複数のガスソースはそれぞれ、バルブ群42の対応のバルブ及び流量制御器群44の対応の流量制御器を介して、ガス供給管38に接続されている。

【0034】

また、プラズマ処理装置10では、処理容器12の内壁に沿ってデポシールド46が着脱自在に設けられている。デポシールド46は、支持部14の外周にも設けられている。デポシールド46は、処理容器12にエッチング副生物(デポ)が付着することを防止するものであり、アルミニウム材にY₂O₃等のセラミックスを被覆することにより構成され得る。

40

【0035】

処理容器12の底部側、且つ、支持部14と処理容器12の側壁との間には排気プレート48が設けられている。排気プレート48は、例えば、アルミニウム材にY₂O₃等のセラミックスを被覆することにより構成され得る。この排気プレート48の下方、且つ、処理容器12には、排気口12eが設けられている。排気口12eには、排気管52を介して排気装置50が接続されている。排気装置50は、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、処理容器12内の空間を所望の真空度まで減圧することができる。また、処理容器12の側壁にはウエハWの搬入出口12gが設けられており、この搬入出口12gはゲートバルブ54により開閉可能となっている。

50

【0036】

また、プラズマ処理装置10は、第1の高周波電源62及び第2の高周波電源64を更に備えている。第1の高周波電源62は、プラズマ生成用の高周波電力を発生する電源であり、例えば、27～100MHzの周波数の高周波電力を発生する。第1の高周波電源62は、整合器66を介して上部電極30に接続されている。整合器66は、第1の高周波電源62の出力インピーダンスと負荷側(上部電極30側)の入力インピーダンスを整合させるための回路である。なお、第1の高周波電源62は、整合器66を介して下部電極LEに接続されていてもよい。

【0037】

第2の高周波電源64は、ウエハWにイオンを引き込むための高周波バイアス電力を発生する電源であり、例えば、400kHz～13.56MHzの範囲内の周波数の高周波バイアス電力を発生する。第2の高周波電源64は、整合器68を介して下部電極LEに接続されている。整合器68は、第2の高周波電源64の出力インピーダンスと負荷側(下部電極LE側)の入力インピーダンスを整合させるための回路である。

10

【0038】

また、一実施形態においては、プラズマ処理装置10は、制御部Cntを更に備え得る。この制御部Cnt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、プラズマ処理装置10の各部を制御する。この制御部Cntでは、入力装置を用いて、オペレータがプラズマ処理装置10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、また、表示装置により、プラズマ処理装置10の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、制御部Cntの記憶部には、プラズマ処理装置10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や、処理条件に応じてプラズマ処理装置10の各部に処理を実行させるためのプログラム、即ち、処理レシピが格納される。

20

【0039】

再び図1を参照し、方法MTについて詳細に説明する。以下の説明では、図1に加えて、図4～図9を参照する。図4は、方法MTに関連する一例のタイミングチャートである。図5～図9は、方法MTの各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。なお、図4において、第1のガスの供給が高レベル(図中、「H」で表記)であることは、第1のガスがプラズマ処理装置の処理容器内に供給されていることを示しており、第1のガスの供給が低レベル(図中、「L」で表記)であることは、第1のガスがプラズマ処理装置の処理容器内に供給されていないことを示している。また、第2のガスの供給が高レベル(図中、「H」で表記)であることは、第2のガスがプラズマ処理装置の処理容器内に供給されていることを示しており、第2のガスの供給が低レベル(図中、「L」で表記)であることは、第2のガスがプラズマ処理装置の処理容器内に供給されていないことを示している。また、高周波電力の供給が高レベル(図中、「H」で表記)であることは、第1の高周波電源62からの高周波電力が供給されプラズマが生成されていることを示しており、高周波電力の供給が低レベル(図中、「L」で表記)であることは、第1の高周波電源62からの高周波電力が供給されておらず、プラズマが生成されていないことを示している。

30

40

【0040】

方法MTでは、まず、工程ST1が実行される。工程ST1では、ステージPD上にウエハWが載置された状態で、処理容器12内に第1のガスが供給される。図4では、第1のガスが、時刻t1から時刻t2の間、処理容器12内に供給されることが示されている。また、工程ST1では、排気装置50によって処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。さらに、工程ST1では、ステージPDの温度が-50以上の温度に設定される。この工程ST1では、図4に示すように、第1の高周波電源62からの高周波電力は供給されない。したがって、工程ST1では、プラズマは生成されない。

【0041】

第1のガスは、多孔質膜PLの細孔内で液化される処理ガスからなるか、又は当該処理

50

ガスを含む。この処理ガスは、ステージPDの温度、例えば、 -50 以上の温度において 1 Torr 、即ち、 133.3 パスカ (Pa) 以下の飽和蒸気圧を有するガスである。第1のガスは、処理ガスの分圧が 20% 以上の分圧となるように処理容器12内に供給される。

【0042】

工程ST1では、第1のガスを構成する処理ガスが、毛管凝縮により、多孔質膜PLの細孔内において液化する。毛管凝縮とは、毛管中ではガスの飽和蒸気圧よりも低い圧力で当該ガスの凝縮、即ち液化が生じる現象である。この毛管凝縮により、処理ガスの分圧が飽和蒸気圧以下の分圧であっても、多孔質膜PLの細孔内に侵入した当該処理ガスが、当該細孔内において液化して、液体となる。かかる工程ST1が実行されると、図5に示すように、多孔質膜PL内には、処理ガスに基づく液体によって細孔が充填された領域SRが形成される。この領域SRは、多孔質膜PLの表面からある深さまでの範囲に及ぶ。このような領域SRが形成されることにより、即ち、多孔質膜PLの細孔が液体によって充填されることにより、後述する工程ST3によって生成されるラジカルが、多孔質膜PLの細孔に侵入することが抑制される。その結果、多孔質膜PLのダメージが抑制される。なお、処理ガスの種類、及び工程ST1における各種条件の詳細については、後述する。

10

【0043】

方法MTでは、工程ST1の終了時に第1のガスの処理容器12内への供給が停止され、次いで、一実施形態では、工程ST2が実行される。工程ST2では、処理容器12内に第2のガスが供給される。第2のガスは、例えば、 SiF_4 ガス、 NF_3 ガス、及び Ar ガスといった希ガスの混合ガス、或いは、 CF_4 ガス、 O_2 ガス、及び Ar ガスといった希ガスの混合ガスからなり、続く工程ST3のエッチングプロセスにて用いられるガスでもある。図4では、第1のガスの供給が工程ST1の終了時の時刻 t_2 において停止され、処理容器12内への第2のガスの供給が時刻 t_2 から開始し、時刻 t_2 で開始する工程ST2が時刻 t_3 まで継続することが示されている。また、図4に示すように、工程ST2の実行期間中、第1の高周波電源62からの高周波電力は供給されない。したがって、工程ST2では、プラズマは生成されない。

20

【0044】

工程ST2では、排気装置50によって処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。この所定の圧力は、工程ST3の実行時の処理容器12内の圧力と同様の圧力である。また、工程ST2では、ステージPDの温度、即ち、ウエハWの温度が、工程ST3の実行のステージPDの温度と同様の温度、例えば、 -50 以上の温度に設定される。

30

【0045】

この工程ST2では、処理容器12内のガスが、プラズマを生成しない状態で、第1のガスから第2のガスに置き換えられる。したがって、不要な活性種、即ち、第1のガスに由来する活性種の発生が抑制される。

【0046】

続く工程ST3では、第2のガスのプラズマが生成される。このため、工程ST3では、処理容器12内に第2のガスが供給された状態が維持され、第1の高周波電源62から高周波電力が供給される。図4では、工程ST3の実行期間、即ち、時刻 t_3 から時刻 t_4 までの間に第1の高周波電源62からの高周波電力が供給されることが示されている。また、工程ST3では、排気装置50によって処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。この所定の圧力は、例えば、 300 mTorr (40 Pa) 以下の圧力である。また、この所定の圧力は、 100 mTorr (13.33 Pa) 以下の圧力であってもよい。また、工程ST3では、ステージPDの温度が、例えば、 -50 以上の温度に設定される。さらに、工程ST3では、第2の高周波電源64からの高周波バイアス電力が下部電極LEに供給されてもよい。

40

【0047】

この工程ST3では、活性種、例えばラジカルによって多孔質膜PLがエッチングされる。これにより、図6に示すように、マスクMKから露出されている部分において多孔質

50

膜 P L がエッチングされる。図 6 に示すように、工程 S T 3 において多孔質膜 P L がエッチングされる領域は、当該多孔質膜 P L の表面に対して領域 S R よりも浅い領域である。即ち、図 6 に示すように、工程 S T 3 の実行後には、多孔質膜 P L の表面からある量 (量 X) の領域 S R が残される。

【 0 0 4 8 】

上述した工程 S T 2 及び S T 3 の実行時間長が長くなると、第 2 のガスの供給により、処理室内部に存在する第 1 のガスの処理ガスの分圧が飽和蒸気圧以下となる。したがって、多孔質膜 P L の細孔内に侵入し液化した処理ガスが、再び気化し、細孔外部に排出されることになる。即ち、多孔質膜 P L の細孔内の液体が気化し、多孔質膜 P L は当該細孔内にラジカルが侵入し得る状態となる。このため、一実施形態では、工程 S T 1、工程 S T 2、及び工程 S T 3 を含むシーケンス S Q が繰り返して実行される。即ち、工程 S T 1 の実行により、図 7 に示すように、多孔質膜 P L の表面からある深さまでの範囲において領域 S R が再び形成される。次いで、工程 S T 2 の実行により、処理容器 1 2 内のガスが第 1 のガスから第 2 のガスに置き換えられる。次いで、工程 S T 3 の実行により、図 8 に示すように、多孔質膜 P L が再びエッチングされる。これにより、多孔質膜 P L の液体による保護の効果が薄れる前に、再びシーケンス S Q を実行することができ、ラジカルからの多孔質膜 P L の保護を実現し、且つ、多孔質膜 P L のエッチング量を確保することができる。

10

【 0 0 4 9 】

一実施形態の方法 M T では、工程 S T J において、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、シーケンス S Q の実行回数が所定回数に達している場合に、満たされるものと判定される。工程 S T J において、停止条件が満たされないと判定される場合には、シーケンス S Q が再び実行される。一方、工程 S T J において、停止条件が満たされると判定される場合には、シーケンス S Q の実行が終了し、工程 S T 4 に移行する。

20

【 0 0 5 0 】

工程 S T 4 では、多孔質膜 P L の細孔内の液体を気化させて気体を生成し、当該気体を排気する処理が行われる。一実施形態の工程 S T 4 では、プラズマ処理装置 1 0 において実行することができる。この実施形態では、ステージ P D の温度が、細孔内の液体を気化させ得る温度に設定される。例えば、ステージ P D の温度は、常温 (例えば、20) 以上の温度に設定される。また、工程 S T 4 では、処理容器 1 2 内にアルゴンガスが供給され、排気装置 5 0 によって処理容器 1 2 内の圧力が所定の圧力、例えば、0 . 1 T o r r (1 3 . 3 3 P a) に設定される。かかる工程 S T 4 では、多孔質膜 P L の細孔内の液体が気化して気体となり、当該気体が排気装置 5 0 によって処理容器 1 2 内の空間から排気される。これにより、多孔質膜 P L の細孔内の液体が除去される。

30

【 0 0 5 1 】

別の実施形態の工程 S T 4 では、プラズマ処理装置 1 0 に真空搬送系を介して接続された別の処理装置内において、ウエハ W が細孔内の液体を気化させ得る温度環境下に置かれる。

【 0 0 5 2 】

このような方法 M T の実施により、図 9 に示すように、多孔質膜 P L のダメージを抑制しつつ、マスク M K のパターンを多孔質膜 P L に転写することが可能となる。また、方法 M T によれば、工程 S T 1、工程 S T 2、及び工程 S T 3 を単一のプラズマ処理装置 1 0 を用いて実行することが可能である。また、一実施形態では、工程 S T 1、工程 S T 2、及び工程 S T 3 に加えて、工程 S T 4 をも単一のプラズマ処理装置 1 0 を用いて実行することが可能となる。

40

【 0 0 5 3 】

以下、工程 S T 1 において用いられる処理ガス、及び工程 S T 1 の各種条件について説明する。

【 0 0 5 4 】

第 1 例の処理ガスは、フルオロカーボンガスである。図 1 0 は、種々のフルオロカーボ

50

ンガスの飽和蒸気圧とステージPDの温度の関係を示すグラフである。図10のグラフの横軸の「1000/温度」は、ステージPDの温度により1000を除いた値を示しており、縦軸は、 \log_{10} (飽和蒸気圧(mTorr))を示している。図10に示すプロットは、種々のフルオロカーボンガスの飽和蒸気圧とステージPDの温度との関係を示す実測値である。図10に示すように、同図のグラフにおいて各フルオロカーボンガスの飽和蒸気圧とステージPDの温度との関係を表す複数の実測値は、略直線上に位置している。

【0055】

ここで、飽和蒸気圧は、下式(1)のアントワン式と呼ばれる実験式によって良好に近似されることが知られている。式(1)において、A, B, Cは物質により定まる定数、Tは絶対温度、pは飽和蒸気圧である。

【数1】

$$\log_{10}p = A - \frac{B}{T+C} \quad \dots(1)$$

式(1)のアントワン式によって規定される飽和蒸気圧pと絶対温度Tの関係は、図10に示すグラフでは直線関係である(なお、定数Cの値がゼロでない場合には、図10に示す直線が横方向にシフトするだけであって、飽和蒸気圧pと絶対温度Tとの関係に直線関係が存在することには変わりはない)。したがって、図10に示す各フルオロカーボンガスに関する複数の実測値の関係は、アントワン式によって規定される直線関係に一致している。よって、実測値から外挿した直線を用いることにより、実測値がない温度領域の飽和蒸気圧を定量的に予測することが可能である。

【0056】

図10に示す実測値又は実測値に基づき外挿した直線からわかるように、 C_7F_8 ガス及び C_6F_6 ガスは、プラズマ処理装置10で達成し得る-50以上の温度において1Torr以下の飽和蒸気圧を有する。したがって、第1例の処理ガスとしては、 C_7F_8 ガス及び C_6F_6 ガスを用いることができる。しかしながら、第1例の処理ガスは、 C_7F_8 ガス及び C_6F_6 ガスに限定されるものではなく、ステージ温度において1Torr以下の飽和蒸気圧を有する任意のフルオロカーボンガスを第1例の処理ガスとして用いることができる。

【0057】

第2例の処理ガスは、炭化水素ガス、即ち C_xH_y ガス、又は、酸素含有炭化水素ガス、即ち、 $C_xH_yO_z$ ガスである。ここで、X、Y、及びZは、1以上の整数である。第2例の処理ガスとしては、ベンゼン(C_6H_6)、n-ブタノール($CH_3(CH_2)_2CH_2OH$)、2-ブトキシエタノール($CH_3(CH_2)_3OCH_2CH_2OH$)、2-エトキシエタノール($C_2H_5OCH_2CH_2OH$)、シクロヘキサン(C_6H_{12})、ジオキサン($OCH_2CH_2OCH_2CH_2$)、エタノール(C_2H_5OH)、酢酸エチル($CH_3CO_2C_2H_5$)、エチルベンゼン($C_2H_5C_6H_5$)、エチルシクロヘキサン($C_6H_{11}C_2H_5$)、メチルエチルケトン($C_2H_5COCH_3$)、n-オクタタン($CH_3(CH_2)_6CH_3$)、1-プロパノール($CH_3CH_2CH_2OH$)、2-プロパノール($(CH_3)_2CHOH$)、トルエン($C_6H_5CH_3$)が例示される。

【0058】

図11は、第2例の処理ガスの飽和蒸気圧とステージPDの温度の関係を示すグラフである。図11では、第2例の処理ガスのうち、メタノール、エタノール、2-プロパノールの飽和蒸気圧(縦軸、単位はTorr)と、ステージPDの温度(横軸、単位は)の関係が示されている。図11に示すように、第2例の処理ガスも、プラズマ処理装置10で達成し得る-50以上の温度において1Torr以下の飽和蒸気圧を有する。

【0059】

第2例の処理ガスは、当該処理ガスに含まれる分子中の炭素原子の原子数に対して当該

10

20

30

40

50

分子中の酸素原子の原子数が 1 / 2 以下である処理ガスであってもよい。かかる第 2 例の処理ガスとしては、上に例示したガスのうちメタノール以外のガスを用いることができる。このような原子数比の処理ガスによれば、酸素による多孔質膜 P L のダメージを抑制することが可能となる。

【 0 0 6 0 】

一実施形態の工程 S T 1 では、第 1 のガスは、処理ガスの分圧がステージ P D の温度における当該処理ガスの飽和蒸気圧の 2 0 % 以上、1 0 0 % 以下の分圧となるように、処理容器 1 2 内に供給される。また、工程 S T 1 において、処理容器 1 2 内の空間の圧力は 1 T o r r、即ち、1 3 3 . 3 パスカ (P a) 以下の圧力に設定される。なお、工程 S T 1 における処理ガスの分圧、ステージ P D の温度、及び処理容器 1 2 内の空間の圧力は、
10 処理ガスの種類に応じて、上述した数値範囲から多孔質膜 P L の細孔を液体で満たすのに適した値に設定される。かかる工程 S T 1 により、処理ガスが多孔質膜 P L の表面から当該多孔質膜 P L の細孔内に侵入し、細孔内に侵入した処理ガスが、毛管凝縮により当該細孔内において液化して、液体となる。

【 0 0 6 1 】

また、工程 S T 1 における処理容器 1 2 内の空間の圧力が 1 T o r r 以下の圧力に設定されることにより、工程 S T 3 における処理容器 1 2 内の空間の圧力と工程 S T 1 における処理容器 1 2 内の空間の圧力との差が小さくなる。したがって、工程 S T 1 から工程 S T 3 に遷移する際の第 1 のガスから第 2 のガスへの切り換え、及び、圧力の切り換えに要する時間を短縮することが可能となる。即ち、工程 S T 2 に必要な時間を短縮することができる。
20

【 0 0 6 2 】

また、工程 S T 1 において第 2 例の処理ガスのような可燃性のガスが処理ガスとして用いられる場合には、当該処理ガスを大量の N₂ ガスといった希釈ガスにより希釈して第 1 のガスにおける処理ガスの濃度を爆発限界濃度以下の濃度に設定し、安全確保を行う必要がある。また、工程 S T 1 において高圧条件を用いる場合には、工程 S T 2 の実行の際に大量の第 1 のガスの排気が必要となるので、これに伴い大量の希釈ガスの排気が必要となる。しかしながら、工程 S T 1 における処理容器 1 2 内の空間の圧力が 1 T o r r 以下の圧力に設定されることにより、希釈ガスの量、ひいては第 1 のガスの総量を低減させることが可能となる。
30

【 0 0 6 3 】

別の実施形態では、第 2 例の処理ガスが工程 S T 1 において用いられ、第 1 のガスは、処理ガスの分圧がステージ P D の温度における当該処理ガスの飽和蒸気圧の 1 0 0 % より大きな分圧となるように、処理容器 1 2 内に供給される。また、この実施形態の工程 S T 1 では、処理容器 1 2 内の空間の圧力は、5 0 m T o r r (6 . 6 6 6 P a) 以下の圧力に設定される。このような分圧で供給される処理ガスは、多孔質膜 P L の細孔内のみならず、処理容器 1 2 内においても液化し得る。しかしながら、処理容器 1 2 内の圧力が 5 0 m T o r r 以下の低圧に設定されているので、工程 S T 1 において処理容器 1 2 内に存在する処理ガスの分子の数自体が少ない。したがって、処理ガスが液化することによって生成される液体が多孔質膜 P L の表面に不均一に付着してマイクロマスクとなることを抑制しつつ、多孔質膜 P L の細孔を液体によって充填することが可能となる。
40

【 0 0 6 4 】

以下、方法 M T の評価のために行った実験例について説明する。なお、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【 0 0 6 5 】

(実験例 1)

【 0 0 6 6 】

実験例 1 では、スピン成膜法によって作成した S i O C 膜 (以下、「多孔質膜 1」という)、及び、C V D 法によって作成した S i O C 膜 (以下、「多孔質膜 2」) を準備した
50

。そして、処理容器 1 2 内の空間の圧力を可変のパラメータとして、工程 S T 1 を実行した。工程 S T 1 では、第 1 のガスとして C_6F_6 ガスからなるガスを用いた。また、工程 S T 1 における第 1 のガスの流量を 30 s c c m に設定し、ステージ P D の温度を - 50 に設定した。

【 0 0 6 7 】

そして、実験例 1 では、工程 S T 1 の実行後の多孔質膜 1 及び多孔質膜 2 のそれぞれの屈折率を求めた。図 1 2 に、実験例 1 で求めた屈折率を示す。図 1 2 において、横軸は、工程 S T 1 の実行時の処理容器 1 2 内の空間の圧力を示しており、縦軸は屈折率を示している。多孔質膜の細孔が液体で充填されているときの該多孔質膜の屈折率は、液体で細孔が充填されていないときの多孔質膜の屈折率よりも増加するが、図 1 2 に示すグラフを参照すると、特に多孔質膜 1 では、圧力が約 6 P a 以上になると、屈折率が高い値で飽和していることがわかる。この 6 P a の圧力は、- 50 での C_6F_6 ガスの飽和蒸気圧である 27 P a の約 20 % である。したがって、実験例 1 の結果、20 % 以上の分圧で処理ガスを処理容器内に供給することにより、多孔質膜の細孔内で処理ガスを液化させることが可能であることが確認された。

10

【 0 0 6 8 】

(実験例 2 及び実験例 3)

【 0 0 6 9 】

実験例 2 及び実験例 3 では、スピン成膜法で作成した S i O C 膜、即ち多孔質膜を準備した。そして、以下に示す条件で方法 M T を実施した。また、比較実験例 1 において、実験例 2 及び実験例 3 と同様の多孔質膜に対して、実験例 2 の工程 S T 3 と同様の工程のみを適用した。なお、工程 S T 4 の処理は、工程 S T 3 の実行後の多孔質膜を有する被処理体を、工程 S T 1 ~ 工程 S T 3 の実行に用いたプラズマ処理装置と真空搬送系を介して接続された別のプロセスチャンバに搬送して、当該プロセスチャンバにて実行した。

20

【 0 0 7 0 】

< 実験例 2 の条件 >

- ・ 工程 S T 1 の第 1 のガス : C_6F_6 ガス (50 s c c m)
- ・ 工程 S T 1 の処理容器 1 2 内の圧力 : 0 . 1 T o r r (13 . 33 P a)
- ・ 工程 S T 1 のステージ P D の温度 : - 50
- ・ 工程 S T 1 の処理時間 : 30 秒
- ・ 工程 S T 2 の第 2 のガス : $NF_3 / SiF_4 / Ar$ ガス (100 / 120 / 30 s c c m)
- ・ 工程 S T 2 の処理容器 1 2 内の圧力 : 0 . 1 T o r r (13 . 33 P a)
- ・ 工程 S T 2 のステージ P D の温度 : - 50
- ・ 工程 S T 2 の処理時間 : 10 秒
- ・ 工程 S T 3 の第 2 のガス : $NF_3 / SiF_4 / Ar$ ガス (120 / 100 / 30 s c c m)
- ・ 工程 S T 3 の処理容器 1 2 内の圧力 : 0 . 1 T o r r (13 . 33 P a)
- ・ 工程 S T 3 のステージ P D の温度 : - 50
- ・ 工程 S T 3 の高周波電力 : 60 M H z 、 100 W
- ・ 工程 S T 3 の高周波バイアス電力 : 0 . 4 M H z 、 50 W
- ・ 工程 S T 3 の処理時間 : 3 秒
- ・ シーケンス S Q の実行回数 : 15 回
- ・ 工程 S T 4 のステージの温度 : 200
- ・ 工程 S T 4 の処理時間 : 60 秒

30

40

【 0 0 7 1 】

< 実験例 3 の条件 >

- ・ 工程 S T 1 の第 1 のガス : 2 - プロパノール (50 s c c m)
- ・ 工程 S T 1 の処理容器 1 2 内の圧力 : 0 . 14 T o r r (18 . 67 P a)
- ・ 工程 S T 1 のステージ P D の温度 : - 20

50

- ・工程 S T 1 の処理時間：30 秒
- ・工程 S T 2 の第 2 のガス：N F₃ / S i F₄ / A r ガス (1 2 0 / 1 0 0 / 3 0 s c c m)
- ・工程 S T 2 の処理容器 1 2 内の圧力：0 . 1 T o r r (1 3 . 3 3 P a)
- ・工程 S T 2 のステージ P D の温度：- 2 0
- ・工程 S T 2 の処理時間：5 秒
- ・工程 S T 3 の第 2 のガス：N F₃ / S i F₄ / A r ガス (1 2 0 / 1 0 0 / 3 0 s c c m)
- ・工程 S T 3 の処理容器 1 2 内の圧力：0 . 1 T o r r (1 3 . 3 3 P a)
- ・工程 S T 3 のステージ P D の温度：- 2 0
- ・工程 S T 3 の高周波電力：6 0 M H z、1 0 0 W
- ・工程 S T 3 の高周波バイアス電力：0 . 4 M H z、5 0 W
- ・工程 S T 3 の処理時間：3 秒
- ・シーケンス S Q の実行回数：1 5 回
- ・工程 S T 4 のステージの温度：2 0 0
- ・工程 S T 4 の処理時間：6 0 秒

10

【 0 0 7 2 】

実験例 2 及び 3 では、方法 M T の実施後の多孔質膜を F T I R (フーリエ変換赤外分光光度計) を用いて分析した。図 1 3 の (a) に、初期、即ち実験例 2 の処理前の多孔質膜、実験例 2 の処理後の多孔質膜、及び比較実験例 1 の処理後の多孔質膜のそれぞれの F T I R の分析結果であるスペクトルを示す。また、図 1 3 の (b) に、初期、即ち実験例 3 の処理前の多孔質膜、及び実験例 3 の処理後の多孔質膜のそれぞれの F T I R の分析結果であるスペクトルを示す。図 1 3 の (a) に示すように、比較実験例 1 の処理後の多孔質膜のスペクトルは、初期の多孔質膜のスペクトルとは大きく異なっていた。即ち、工程 S T 1 を実行せずに工程 S T 3 のエッチングを行うことにより、多孔質膜にダメージが加わることが確認された。一方、図 1 3 の (a) に示すように、実験例 2 の処理後の多孔質膜のスペクトルは、初期の多孔質膜のスペクトルと略同一のスペクトルとなっていた。また、図 1 3 の (b) に示すように、実験例 3 の処理後の多孔質膜のスペクトルは、初期の多孔質膜のスペクトルと略同一のスペクトルとなっていた。したがって、実験例 2 及び実験例 3 のように、工程 S T 1 において毛管凝縮を利用して多孔質膜の細孔を液体で充填することにより、工程 S T 3 のエッチングによる多孔質膜のダメージを抑制することが可能であることが確認された。

20

30

【 0 0 7 3 】

以上、種々の実施形態について説明してきたが、上述した実施形態に限定されることなく種々の変形態様を構成可能である。例えば、上述した実施形態では、プラズマ処理装置 1 0 が方法 M T の実施に用いられているが、方法 M T 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によってプラズマを生成するプラズマ処理装置といった任意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。

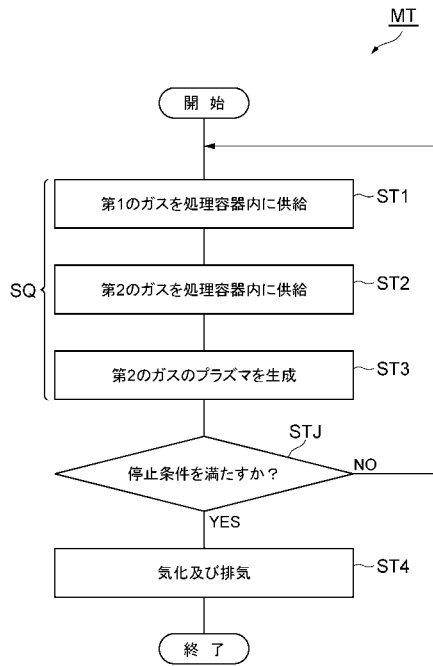
【 符号の説明 】

【 0 0 7 4 】

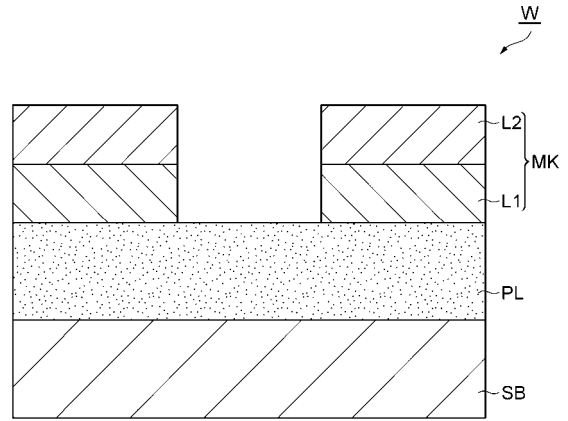
1 0 ... プラズマ処理装置、1 2 ... 処理容器、3 0 ... 上部電極、4 0 ... ガスソース群、5 0 ... 排気装置、6 2 ... 第 1 の高周波電源、6 4 ... 第 2 の高周波電源、P D ... ステージ、E S C ... 静電チャック、L E ... 下部電極、W ... ウエハ、M K ... マスク、P L ... 多孔質膜、S B ... 基板。

40

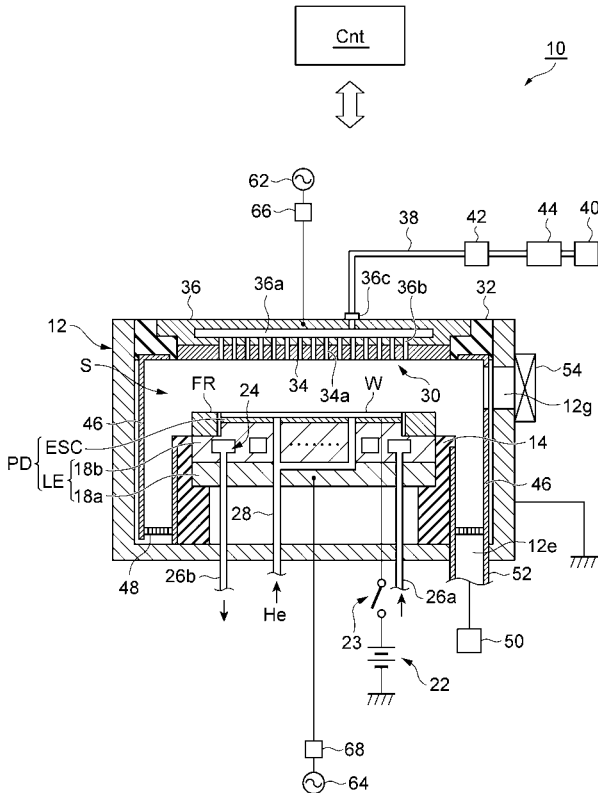
【 図 1 】



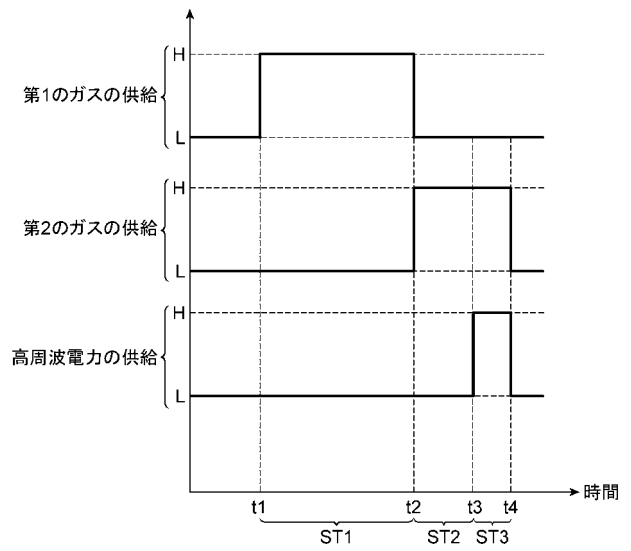
【 図 2 】



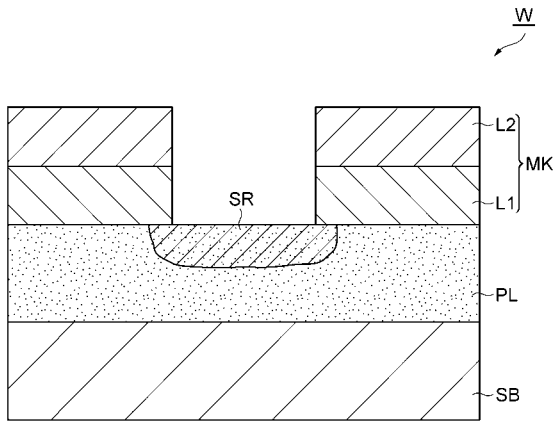
【 図 3 】



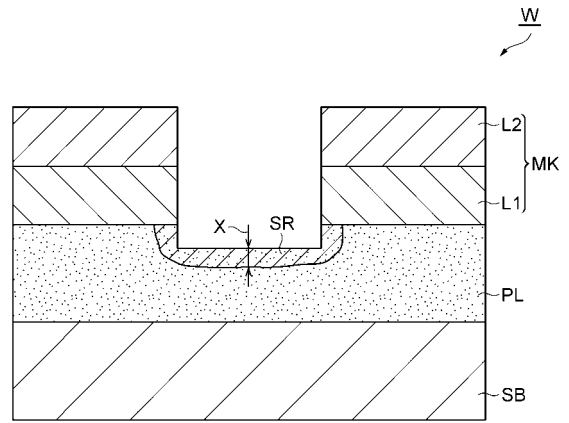
【 図 4 】



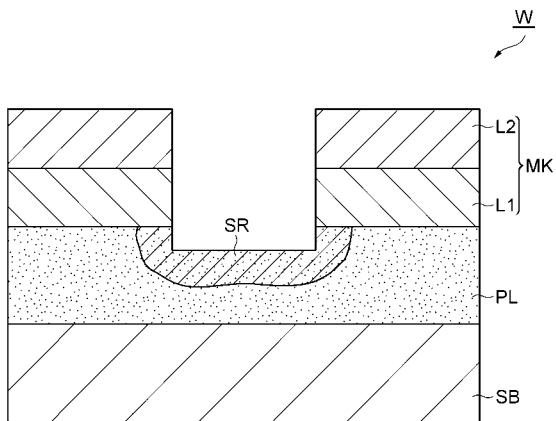
【 図 5 】



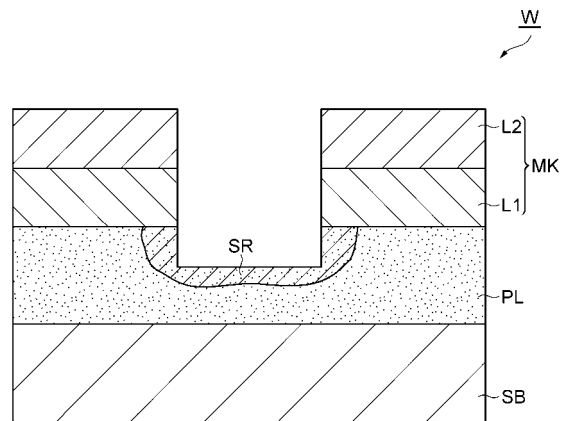
【 図 6 】



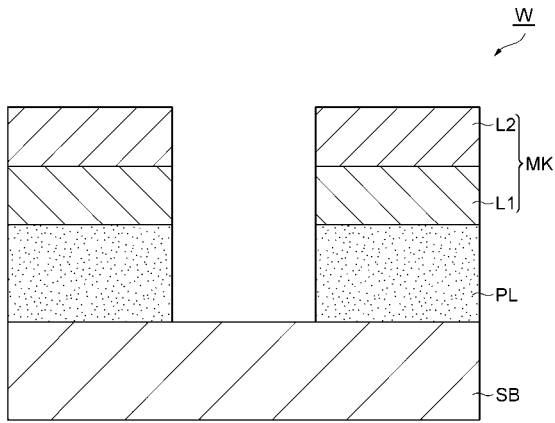
【 図 7 】



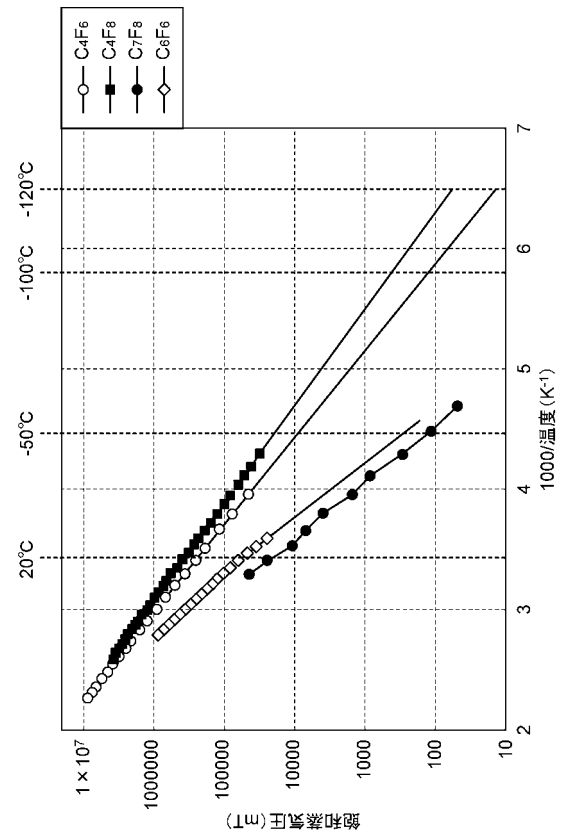
【 図 8 】



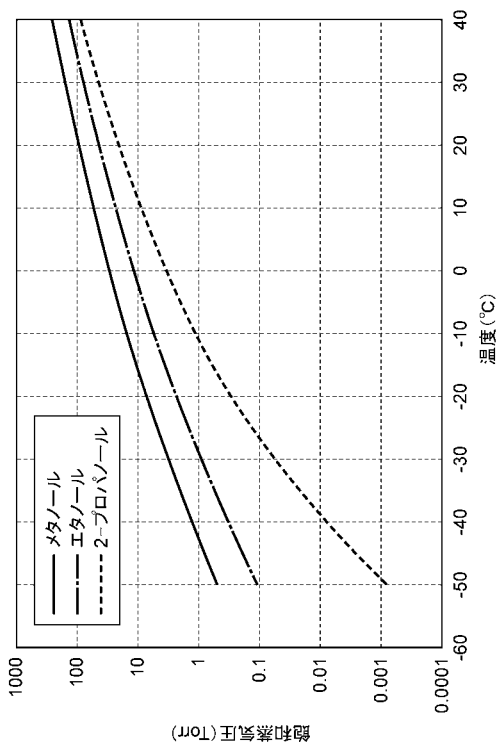
【 図 9 】



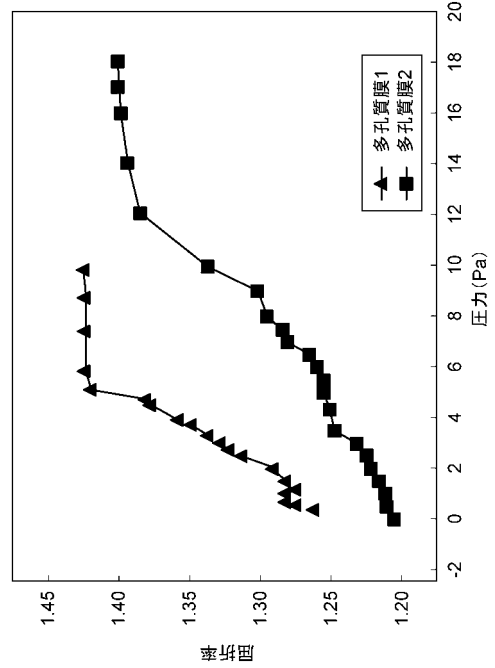
【 図 1 0 】



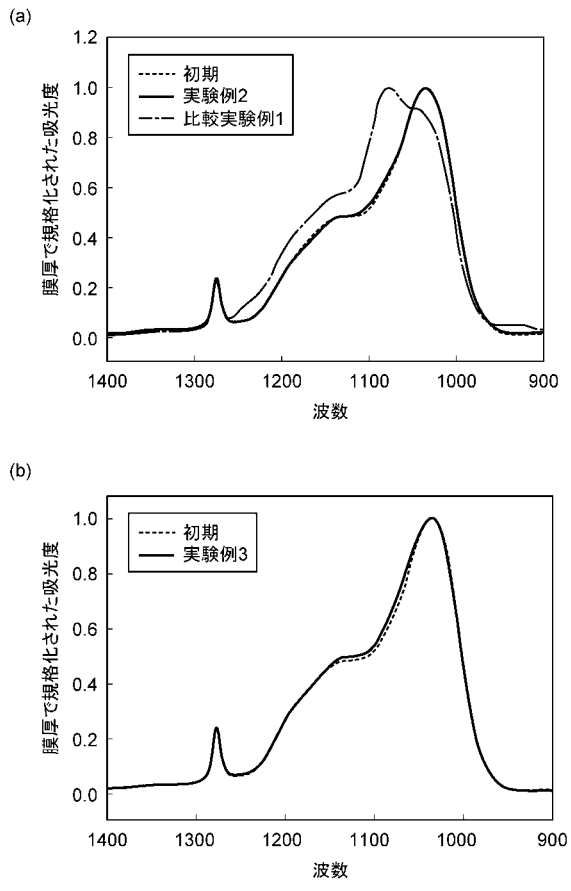
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

- (71)出願人 599098493
カトリーケ・ユニフェルシテイト・ルーヴァン
Katholieke Universiteit Leuven
ベルギー、ベール - 3000ルーヴァン、ワイストラート6番、ボックス5105、カーユー・ル
ーヴァン・アール・アンド・ディ
- (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 田原 慈
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
- (72)発明者 西村 栄一
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
- (72)発明者 ミカエル バグラノフ
ベルギー3001ルーヴァン、カペルドリーフ75番 アイメック内
- (72)発明者 リルピン シャン
ベルギー3001ルーヴァン、カペルドリーフ75番 アイメック内
- (72)発明者 シャン フランソワ デ マルネツフェ
ベルギー3001ルーヴァン、カペルドリーフ75番 アイメック内
- Fターム(参考) 5F004 AA06 BA04 BB13 CA02 DA00 DA17 DA23 DB03 DB23 EA28
EA30 EB03
5F033 QQ09 QQ12 QQ15 QQ21 QQ27 QQ28 QQ37 RR01 RR29 WW05
XX00