

(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2018-195674
(P2018-195674A)

(43) 公開日 平成30年12月6日(2018.12.6)

(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 4 Z	2 G O 8 4
HO 5 H 1/46 (2006.01)	HO 5 H 1/46 M	5 F O O 4

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2017-97557 (P2017-97557)
(22) 出願日 平成29年5月16日 (2017. 5. 16)

(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
(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

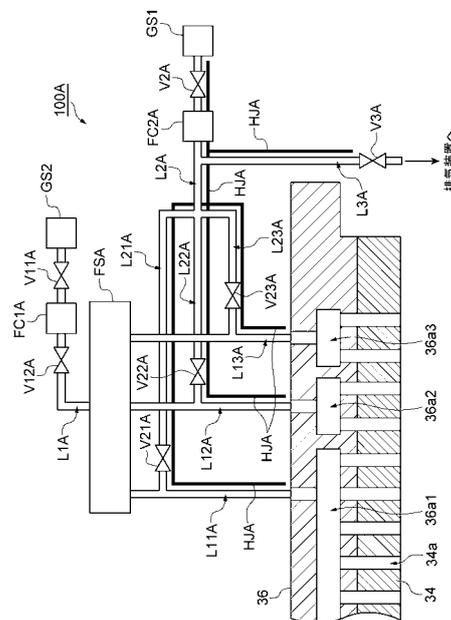
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置、処理システム、及び、多孔質膜をエッチングする方法

(57) 【要約】

【課題】多孔質膜内において毛管凝縮するガスが、ガス供給系の流路内において液化することを抑制する。

【解決手段】一実施形態のプラズマ処理装置は、チャンバ本体、ステージ、ガス供給系、及び、プラズマ生成部を備える。チャンバ本体は、その内部空間をチャンバとして提供する。ステージは、チャンバ内に設けられている。ステージには、冷媒用の流路が形成されている。ガス供給系は、多孔質膜内においてその毛管凝縮が生じる第1のガス、及び、多孔質膜のエッチング用の第2のガスをチャンバに供給するように構成されている。プラズマ生成部は、チャンバに供給されるガスのプラズマを生成するよう構成されている。ガス供給系は、第2のガスのソースをチャンバに接続する第1の流路、第1のガスのソースを第1の流路に接続する第2の流路、及び、排気装置を第2の流路に接続する第3の流路を提供する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

多孔質膜をエッチングするためのプラズマ処理装置であって、
チャンバを提供するチャンバ本体と、
前記チャンバ内に設けられたステージであり、冷媒用の流路が形成された、該ステージと、

前記多孔質膜内においてその毛管凝縮が生じる第 1 のガス、及び、前記多孔質膜のエッチング用の第 2 のガスを前記チャンバに供給するためのガス供給系と、

前記チャンバに供給されるガスのプラズマを生成するためのプラズマ生成部と、
を備え、

前記ガス供給系は、前記第 2 のガスのソースを前記チャンバに接続する第 1 の流路、前記第 1 のガスのソースを前記第 1 の流路に接続する第 2 の流路、及び、排気装置を前記第 2 の流路に接続する第 3 の流路を提供する、
プラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記ガス供給系は、

前記第 2 の流路上に設けられたコントロールバルブと、

前記コントロールバルブの下流において前記第 2 の流路の終端を画成する第 1 のオリフィス部材と、

前記第 2 の流路の前記終端を前記第 1 の流路に対して開閉する第 1 の開閉バルブであり、前記第 1 の流路と前記第 2 の流路の接続箇所に設けられた、該 1 の開閉バルブと、

を有する、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記ガス供給系は、

前記第 3 の流路を部分的に画成する第 2 のオリフィス部材と、

前記第 2 のオリフィス部材と前記排気装置との間において前記第 3 の流路上に設けられた第 2 の開閉バルブと、

を更に有する、請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記ガス供給系は、

前記第 2 の流路上に設けられた第 1 の開閉バルブと、

前記第 3 の流路上に設けられた第 2 の開閉バルブと、

を有する、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記第 1 の流路、前記第 2 の流路、及び、前記第 3 の流路を提供する配管を加熱するためのヒータを更に備える、請求項 1～4 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記チャンバ本体を加熱するヒータを更に備える、請求項 1～5 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

請求項 1～6 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置と、

前記プラズマ処理装置の前記チャンバに接続可能であり、且つ、減圧可能な搬送チャンバを提供し、該搬送チャンバ内に設けられた、被加工物を搬送するための搬送装置を有する搬送モジュールと、

前記搬送チャンバに接続可能な別のチャンバを提供し、該別のチャンバ内において被加工物を加熱するよう構成された加熱処理装置と、

を備える、処理システム。

【請求項 8】

請求項 1～6 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置又は請求項 7 に記載の処理システムを用いて、多孔質膜をエッチングする方法であって、該方法は、前記多孔質膜、及び、

10

20

30

40

50

該多孔質膜上に設けられ該多孔質膜を部分的に露出させる開口を提供するマスクを有する被加工物が、前記プラズマ処理装置の前記チャンバ内に設けられたステージ上に載置された状態で実行され、

前記多孔質膜内において前記第 1 のガスの毛管凝縮が生じるよう、前記チャンバに前記第 1 のガスを供給する工程であり、前記チャンバ内における前記第 1 のガスの分圧、又は、前記第 1 のガスのみが前記チャンバに供給されるときの前記チャンバ内における該第 1 のガスの圧力は、前記多孔質膜内で該第 1 のガスの毛管凝縮が生じる臨界圧力よりも高く、該第 1 のガスの飽和蒸気圧よりも低い、該工程と、

前記多孔質膜をエッチングするために、前記プラズマ処理装置の前記チャンバ内において前記第 2 のガスのプラズマを生成する工程と、
を含む、方法。

10

【請求項 9】

前記第 1 のガスを供給する前記工程の実行前に、前記排気装置によって前記第 2 の流路内のガスを排気する工程を更に含む、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記プラズマ処理装置は請求項 2 ~ 4 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置であり、前記第 2 の流路内のガスを排気する前記工程の実行時に、前記第 1 の開閉バルブが閉じられる、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記第 2 のガスのプラズマを生成する前記工程の実行後に、前記排気装置によって前記第 2 の流路内のガスを排気する工程を更に含む、請求項 8 に記載の方法。

20

【請求項 12】

前記プラズマ処理装置は請求項 2 ~ 4 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置であり、前記第 2 の流路内のガスを排気する前記工程の実行時に、前記第 1 の開閉バルブが閉じられる、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

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が、交互に繰り返される、請求項 8 ~ 12 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 14】

前記第 2 のガスのプラズマを生成する前記工程において、前記チャンバに対する前記第 1 のガスの供給が停止される、請求項 13 に記載の方法。

30

【請求項 15】

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の交互の繰り返し中に、前記第 1 のガスの流量が段階的に減少される、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

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にわたって、前記第 1 のガス及び前記第 2 のガスが前記チャンバに供給される、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 17】

前記第 2 のガスのプラズマを生成する前記工程において、前記チャンバに供給される前記第 2 のガスの流量が、段階的に増加される、請求項 16 に記載の方法。

40

【請求項 18】

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にわたって、前記第 1 のガス及び前記第 2 のガスが前記チャンバに供給される、請求項 8 ~ 12 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、プラズマ処理装置、処理システム、及び、多孔質膜をエッチング

50

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、SiOCH膜といった低誘電率材料から形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、リソグラフィによってフォトレジストに形成された微細パターンを、必要に応じてプラズマエッチングによってTiN膜、SiO₂膜、又は、Si₃N₄膜といった膜に転写することによりハードマスクを形成し、当該パターンをプラズマエッチングによって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チャンバ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内に侵入して多孔質膜にダメージを与え得る。したがって、多孔質膜内へのラジカルの侵入を抑制する技術が必要である。

【0004】

多孔質膜内へのラジカルの侵入を抑制する一つの技術が特許文献1に記載されている。特許文献1に記載された技術では、C₆F₆ガス、C₇F₈ガスといったフルオロカーボンガス、炭化水素ガス、又は、酸素含有炭化水素ガスが、毛管凝縮によって多孔質膜内において液化して、液体となる。このように生成された液体により、プラズマエッチング時の多孔質膜内へのラジカルの侵入が抑制される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2016-207768号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

多孔質膜内においてその毛管凝縮が生じるガスは、その圧力（又は分圧）が高くなると、液化する。このガスは、プラズマ処理装置のチャンバに接続されたガス供給系の流路内において当該ガスの圧力（又は分圧）が飽和蒸気圧よりも高くなると、当該流路内において液化する。特に、当該ガスの流量制御を開始する段階において当該ガスの流量が不安定になっているとき、又は、前ステップの終了後にガス供給系の流路内で当該ガスが滞留しているときに、意図せず、当該ガスの圧力（又は分圧）が、ガス供給系の流路内で上昇して、飽和蒸気圧を超えることがある。したがって、多孔質膜内においてその毛管凝縮が生じるガスが、ガス供給系の流路内において液化することを抑制する必要がある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

一態様においては、多孔質膜をエッチングするためのプラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ本体、ステージ、ガス供給系、及び、プラズマ生成部を備える。チャンバ本体は、その内部空間をチャンバとして提供する。ステージは、チャンバ内に設けられている。ステージには冷媒用の流路が形成されている。ガス供給系は、多孔質膜内においてその毛管凝縮が生じる第1のガス、及び、多孔質膜のエッチング用の第2のガスをチャンバに供給するように構成されている。プラズマ生成部は、チャンバに供給されるガスのプラズマを生成するよう構成されている。ガス供給系は、第2のガスのソースをチャンバに接続する第1の流路、第1のガスのソースを第1の流路に接続する第2の流路、及び、排気装置を第2の流路に接続する第3の流路を提供する。

【0008】

一態様に係るプラズマ処理装置によれば、多孔質膜内で毛管凝縮により第1のガスを液化させ、多孔質膜内の液体により当該多孔質膜を保護しつつ、第2のガスのプラズマにより多孔質膜をエッチングすることができる。また、このプラズマ処理装置によれば、第2

10

20

30

40

50

の流路内の第1のガスを排気装置によって排気することが可能である。また、排気装置によって第2の流路内の第1のガスの圧力（又は分圧）を調整することが可能である。したがって、このプラズマ処理装置によれば、第1のガスの圧力（又は分圧）が第2の流路内において高くなることが抑制され、当該第1のガスが第2の流路内において液化することが抑制される。

【0009】

一実施形態において、ガス供給系は、コントロールバルブ、第1のオリフィス部材、及び、第1の開閉バルブを有する。コントロールバルブは、第2の流路上に設けられている。第1のオリフィス部材は、コントロールバルブの下流において第2の流路の終端を画成している。第1の開閉バルブは、第2の流路の終端を第1の流路に対して開閉するように構成されている。第1の開閉バルブは、第1の流路と第2の流路の接続箇所に設けられている。この実施形態では、第1のオリフィス部材と第1の開閉バルブとの間の流路の長さが極めて短いので、第1のオリフィス部材と第1の開閉バルブとの間に溜められたガスが、第1の開閉バルブを開いたときに、急激に第1の流路に流れることが防止される。また、第1の開閉バルブが閉じられているときに、第2の流路を排気しつつ、コントロールバルブによってその流量が制御された第1のガスを第2の流路に供給することができる。したがって、チャンバに対する第1のガスの供給時に、当該第1のガスの圧力（又は分圧）が設定された圧力に短時間で到達し得る。

10

【0010】

一実施形態において、ガス供給系は、第3の流路を部分的に画成する第2のオリフィス部材と、当該第2のオリフィス部材と排気装置との間において第3の流路上に設けられた第2の開閉バルブと、を更に有し得る。

20

【0011】

一実施形態において、ガス供給系は、第2の流路上に設けられた第1の開閉バルブと、第3の流路上に設けられた第2の開閉バルブと、を有し得る。この実施形態では、第1の開閉バルブが開かれると、第1のガスが第1の流路を介してチャンバに供給される。第2の開閉バルブが開かれると、第2の流路内のガスが排気される。

【0012】

一実施形態では、プラズマ処理装置は、第1の流路、第2の流路、及び、第3の流路を提供する配管を加熱するためのヒータを更に備える。この実施形態によれば、第1の流路、第2の流路、及び、第3の流路における第1のガスの液化を抑制することが可能である。

30

【0013】

一実施形態では、プラズマ処理装置は、チャンバ本体を加熱するヒータを更に備える。この実施形態では、チャンバを画成する壁面での第1のガスの液化が抑制される。

【0014】

別の態様においては、処理システムが提供される。処理システムは、上述した一態様及び実施形態のうち何れかのプラズマ処理装置、搬送モジュール、及び、加熱処理装置を備える。搬送モジュールは、搬送チャンバを提供する。搬送チャンバは、プラズマ処理装置のチャンバに接続可能であり、且つ、減圧可能である。搬送モジュールは、被加工物を搬送するための搬送装置を有する。搬送装置は、搬送チャンバ内に設けられている。加熱処理装置は、搬送チャンバに接続可能な別のチャンバを提供する。加熱処理装置は、当該別のチャンバ内において被加工物を加熱するように構成されている。この態様の処理システムによれば、プラズマ処理装置において多孔質膜がエッチングされた後に、加熱処理装置において被加工物を加熱することにより、多孔質膜内の液体を除去することが可能である。

40

【0015】

更に別の態様においては、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、上述した一態様及び実施形態のうち何れかのプラズマ処理装置、又は、上述した処理システムを用いる。この方法は、被加工物がプラズマ処理装置のチャンバ内に設けられたステ

50

ージ上に載置された状態で実行される。被加工物は、多孔質膜及びマスクを有する。マスクは、多孔質膜上に設けられ当該多孔質膜を部分的に露出させる開口を提供する。この方法は、(i)多孔質膜内において第1のガスの毛管凝縮が生じるよう、チャンバに第1のガスを供給する工程であり、チャンバ内における第1のガスの分圧、又は、第1のガスのみがチャンバに供給されるときにチャンバ内における第1のガスの圧力は、多孔質膜内で該第1のガスの毛管凝縮が生じる臨界圧力よりも高く、第1のガスの飽和蒸気圧よりも低い、該工程と、(ii)多孔質膜をエッチングするために、プラズマ処理装置のチャンバ内において第2のガスのプラズマを生成する工程と、を含む。

【0016】

一実施形態において、方法は、第1のガスを供給する工程の実行前に、排気装置によって第2の流路内のガスを排気する工程を更に含む。この実施形態によれば、第2の流路内での第1のガスの液化が抑制される。一実施形態において、第2の流路内のガスを排気する工程の実行時に、第1の開閉バルブが閉じられる。

10

【0017】

一実施形態において、方法は、第2のガスのプラズマを生成する工程の実行後に、排気装置によって第2の流路内のガスを排気する工程を更に含む。この実施形態によれば、第2の流路内での第1のガスの液化が抑制される。一実施形態において、第2の流路内のガスを排気する工程の実行時に、第1の開閉バルブが閉じられる。

【0018】

一実施形態において、第2のガスのプラズマを生成する工程の実行期間中、第1のガスのチャンバへの供給が停止される。

20

【0019】

一実施形態において、第1のガスを供給する工程及び第2のガスのプラズマを生成する工程が、交互に繰り返される。一実施形態の、第2のガスのプラズマを生成する工程において、チャンバに対する第1のガスの供給が停止される。一実施形態において、第1のガスを供給する工程及び第2のガスのプラズマを生成する工程の交互の繰り返し中に、第1のガスの流量が段階的に減少される。この実施形態によれば、多孔質膜のエッチングにより当該多孔質膜に形成された開口の深さが大きくなったときに、第1のガスの圧力(又は分圧)が減少される。

【0020】

一実施形態において、第1のガスを供給する工程及び第2のガスのプラズマを生成する工程にわたって、第1のガス及び第2のガスがチャンバに供給される。一実施形態の、第2のガスのプラズマを生成する工程において、チャンバに供給される第2のガスの流量が、段階的に増加される。

30

【発明の効果】

【0021】

以上説明したように、多孔質膜内においてその毛管凝縮が生じるガスが、ガス供給系の流路内において液化することが抑制される。

【図面の簡単な説明】

【0022】

40

【図1】一実施形態に係る処理システムを示す図である。

【図2】被加工物の一例の一部拡大断面図である。

【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3に示すプラズマ処理装置のガス供給系の第1実施形態を示す図である。

【図5】図3に示すプラズマ処理装置のガス供給系の第2実施形態を示す図である。

【図6】別の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7】図6に示すプラズマ処理装置のガス供給系の実施形態を示す図である。

【図8】図7に示すガス供給系の開閉バルブを概略的に示す断面図である。

【図9】第1実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法のタイミングチャートである。

50

【図10】種々の実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法の実行中に得られる被加工物の一部拡大断面図である。

【図11】種々の実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法の実行中に得られる被加工物の一部拡大断面図である。

【図12】種々の実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法の実行によって得られる被加工物の一部拡大断面図である。

【図13】第2実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法のタイミングチャートである。

【図14】第3実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法のタイミングチャートである。

【図15】第4実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法のタイミングチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

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。

【0024】

図1は、一実施形態に係る処理システムを示す図である。図1に示す処理システム1は、第1のガスに基づく液体により被加工物の多孔質膜を保護しつつ、当該多孔質膜をエッチングするためのシステムである。図2は、被加工物の一例の一部拡大断面図である。図2に示すように、被加工物Wは、下地層UL、多孔質膜PL、及び、マスクMKを備えている。被加工物Wは、例えば略円盤形状を有し得る。

【0025】

多孔質膜PLは、下地層UL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の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。多孔質膜PLは、低誘電率材料から構成された膜である。多孔質膜PLは、低誘電率膜であり、例えば、シリコン、酸素、炭素、及び、水素を含む膜、即ちSiOCH膜であり得る。多孔質膜PLは、化学気相成長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。

【0026】

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、例えばTiN膜である。マスクMKは、開口を提供している。即ち、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。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され得る。

【0027】

再び図1を参照する。処理システム1は、台2a~2d、容器4a~4d、ローダモジュールLM、ライナAN、ロードロックモジュールLL1, LL2、プロセスモジュールPM1~PM6、搬送モジュールTF、及び、制御部MCを備えている。なお、処理システム1における台の個数、容器の個数、ロードロックモジュールの個数は一以上の任意の個数であり得る。また、プロセスモジュールの個数は、二以上の任意の個数であり得る。

【0028】

台2a~2dは、ローダモジュールLMの一縁に沿って配列されている。容器4a~4dはそれぞれ、台2a~2d上に搭載されている。容器4a~4dの各々は、例えば、FOUP(Front Opening Unified Pod)と称される容器である。容器4a~4dの各々は、その内部に被加工物Wを収容するように構成されている。

【0029】

ローダモジュールLMは、チャンバを提供する。ローダモジュールLMによって提供されるチャンバの圧力は、大気圧に設定される。ローダモジュールLMのチャンバ内には、

10

20

30

40

50

搬送装置 T U 1 が設けられている。搬送装置 T U 1 は、例えば、多関節ロボットであり、制御部 M C によって制御される。搬送装置 T U 1 は、容器 4 a ~ 4 d の各々とアライナ A N との間、アライナ A N とロードロックモジュール L L 1 ~ L L 2 の各々との間、ロードロックモジュール L L 1 ~ L L 2 の各々と容器 4 a ~ 4 d の各々との間で被加工物 W を搬送するように構成されている。アライナ A N は、ロードモジュール L M に接続されている。アライナ A N は、被加工物 W の位置の調整（位置の較正）を行うように構成されている。

【 0 0 3 0 】

ロードロックモジュール L L 1 及びロードロックモジュール L L 2 の各々は、ロードモジュール L M と搬送モジュール T F との間に設けられている。ロードロックモジュール L L 1 及びロードロックモジュール L L 2 の各々は、予備減圧室を提供している。

10

【 0 0 3 1 】

搬送モジュール T F は、ロードロックモジュール L L 1 及びロードロックモジュール L L 2 にゲートバルブを介して接続されている。搬送モジュール T F は、減圧可能な搬送チャンバ T C を提供している。搬送チャンバ T C 内には、搬送装置 T U 2 が設けられている。搬送装置 T U 2 は、例えば、多関節ロボットであり、制御部 M C によって制御される。搬送装置 T U 2 は、ロードロックモジュール L L 1 ~ L L 2 の各々とプロセスモジュール P M 1 ~ P M 6 の各々との間、及び、プロセスモジュール P M 1 ~ P M 6 のうち任意の二つのプロセスモジュールの間において、被加工物 W を搬送するように構成されている。

【 0 0 3 2 】

プロセスモジュール P M 1 ~ P M 6 の各々は、専用の基板処理を行うよう構成された処理装置である。プロセスモジュール P M 1 ~ P M 6 の各々はチャンバを提供している。プロセスモジュール P M 1 ~ P M 6 の各々のチャンバは、搬送モジュール T F のチャンバにゲートバルブを介して接続されている。プロセスモジュール P M 1 ~ P M 6 のうち一つのプロセスモジュールは、プラズマ処理装置である。プロセスモジュール P M 1 ~ P M 6 のうち別の一つのプロセスモジュールは、加熱処理装置である。なお、以下の説明では、プロセスモジュール P M 5 が加熱処理装置であるものとする。加熱処理装置は、後述するように多孔質膜 P L のエッチング後に、そのチャンバ P C 内において被加工物 W を加熱することにより多孔質膜 P L 内の液体を気化させて、当該液体から生成された気体を排気するよう構成されている。

20

30

【 0 0 3 3 】

制御部 M C は、プロセッサ、メモリといった記憶装置、ディスプレイといった表示装置、キーボード、マウスといった入出力装置、制御信号の入出力インターフェイス、及び、通信装置等を備えるコンピュータ装置であり得る。記憶装置には、制御プログラム及びレシピデータが記憶されている。プロセッサは、制御プログラム及びレシピデータに従って動作して、処理システム 1 の各部に対して制御信号を送出することにより、処理システム 1 の各部を制御する。

【 0 0 3 4 】

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、一実施形態に係るプラズマ処理装置が、その一部が破断された状態で、示されている。図 3 に示すプラズマ処理装置 1 0 A は、処理システム 1 のプラズマ処理装置として用いることが可能である。プラズマ処理装置 1 0 A は、容量結合型プラズマエッチング装置である。即ち、プラズマ処理装置 1 0 A は、容量結合プラズマを生成するプラズマ生成部を備えている。

40

【 0 0 3 5 】

プラズマ処理装置 1 0 A は、チャンバ本体 1 2 を備えている。チャンバ本体 1 2 は、略円筒形状を有する。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 の内壁面には、耐プラズマ性を有する被膜が形成されている。この被膜は、アルマイト膜、又は、酸化イットリウムから形成された膜であり得る。チャンバ本体 1 2 は、接地されている。チャンバ本体 1 2 の側壁には、開口 1 2 g が形成されて

50

いる。チャンバ本体 1 2 の外部からチャンバ 1 2 c への被加工物 W の搬入時、及び、チャンバ 1 2 c からチャンバ本体 1 2 の外部への被加工物 W の搬出時に、被加工物 W は開口 1 2 g を通過する。チャンバ本体 1 2 の側壁には、開口 1 2 g の開閉のために、ゲートバルブ 1 4 が取り付けられている。

【 0 0 3 6 】

チャンバ本体 1 2 にはヒータ H T C が設けられている。ヒータ H T C は、チャンバ本体 1 2 の外部に設けられたヒータ電源に接続されている。図 3 に示す例では、ヒータ H T C は、チャンバ本体 1 2 の側壁に設けられているが、ヒータ H T C は、後述する上部電極 3 0 内にも設けられ得る。ヒータ H T C は、後述する第 1 のガスがチャンバ 1 2 c を画成する壁面上で液化することを抑制するために、チャンバ本体 1 2 を加熱するよう構成されている。

10

【 0 0 3 7 】

チャンバ本体 1 2 の底部上には、支持部 1 5 が設けられている。支持部 1 5 は、略円筒形状を有している。支持部 1 5 は、例えば、絶縁材料から構成されている。支持部 1 5 は、チャンバ 1 2 c 内において、チャンバ本体 1 2 の底部から上方に延在している。チャンバ 1 2 c 内には、ステージ 1 6 が設けられている。ステージ 1 6 は、支持部 1 5 によって支持されている。

【 0 0 3 8 】

ステージ 1 6 は、その上に載置された被加工物 W を保持するように構成されている。ステージ 1 6 は、下部電極 1 8 及び静電チャック 2 0 を有している。下部電極 1 8 は、第 1 プレート 1 8 a 及び第 2 プレート 1 8 b を含んでいる。第 1 プレート 1 8 a 及び第 2 プレート 1 8 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、略円盤形状を有している。第 2 プレート 1 8 b は、第 1 プレート 1 8 a 上に設けられており、第 1 プレート 1 8 a に電氣的に接続されている。

20

【 0 0 3 9 】

静電チャック 2 0 は、第 2 プレート 1 8 b 上に設けられている。静電チャック 2 0 は、絶縁層、及び、当該絶縁層内に設けられた膜状の電極を有している。静電チャック 2 0 の電極には、直流電源 2 2 がスイッチ 2 3 を介して電氣的に接続されている。静電チャック 2 0 の電極には、直流電源 2 2 から直流電圧が印加される。静電チャック 2 0 の電極に直流電圧が印加されると、静電チャック 2 0 は、静電引力を発生して、被加工物 W を当該静電チャック 2 0 に引き付けて、当該被加工物 W を保持する。なお、静電チャック 2 0 内には、ヒータが内蔵されていてもよく、当該ヒータには、チャンバ本体 1 2 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。

30

【 0 0 4 0 】

第 2 プレート 1 8 b の周縁部上には、フォーカスリング 2 4 が設けられる。フォーカスリング 2 4 は、略環状の板である。フォーカスリング 2 4 は、被加工物 W のエッジ及び静電チャック 2 0 を囲むように配置される。フォーカスリング 2 4 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 2 4 は、例えば、シリコン、石英といった材料から形成され得る。

【 0 0 4 1 】

第 2 プレート 1 8 b 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から、配管 2 6 a を介して冷媒が供給される。流路 1 8 f に供給された冷媒は、配管 2 6 b を介してチラーユニットに戻される。即ち、流路 1 8 f 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、ステージ 1 6 (又は静電チャック 2 0) の温度及び被加工物 W の温度が調整される。なお、冷媒としては、被加工物 W の温度を - 6 0 以上の温度、例えば - 5 0 以上 - 3 0 以下の温度に設定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、例えばガルデン (登録商標) が例示される。

40

【 0 0 4 2 】

プラズマ処理装置 1 0 A 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

50

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。

【0043】

プラズマ処理装置10Aは、上部電極30を更に備えている。上部電極30は、ステージ16の上方に設けられている。上部電極30は、部材32を介して、チャンパ本体12の上部に支持されている。上部電極30は、電極板34及び支持体36を含み得る。電極板34の下面は、チャンパ12cに面している。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形成され得る。

【0044】

支持体36は、電極板34を着脱自在に支持するものであり、アルミニウムといった導電性材料から形成されている。支持体36の内部には、ガス拡散室36a1、ガス拡散室36a2、及び、ガス拡散室36a3が設けられている。ガス拡散室36a1は、支持体36内においてガス拡散室36a2及びガス拡散室36a3から分離されている。ガス拡散室36a1は、ステージ16及び被加工物Wの中央領域の上方に設けられている。鉛直方向に視たガス拡散室36a1の平面形状は略円形である。ガス拡散室36a2は、被加工物Wの中央領域とエッジ領域の中間の領域の上方に設けられており、ガス拡散室36a1の外側で周方向に延在している。ガス拡散室36a2は、支持体36内においてガス拡散室36a1及びガス拡散室36a3から分離されている。鉛直方向に視たガス拡散室36a2の平面形状は、二つの同心円の間で延在する帯状である。ガス拡散室36a3は、被加工物Wのエッジ領域の上方に設けられており、ガス拡散室36a2の外側で周方向に延在している。ガス拡散室36a3は、支持体36内においてガス拡散室36a1及びガス拡散室36a2から分離されている。鉛直方向に視たガス拡散室36a3の平面形状は、二つの同心円の間で延在する帯状である。ガス拡散室36a1、ガス拡散室36a2、及び、ガス拡散室36a3は、後述するガス供給系に接続されている。

【0045】

支持部15とチャンパ本体12の側壁との間にはパッフル部材48が設けられている。パッフル部材48は、例えば、板状の部材であり、アルミニウム製の母材の表面に Y_2O_3 等のセラミックスを被覆することにより形成され得る。パッフル部材48には、当該パッフル部材48を貫通する複数の孔が形成されている。パッフル部材48の下方において、チャンパ本体12の底部には、排気管52を介して排気装置50が接続されている。排気装置50は、圧力調整弁といった圧力制御器、及び、ターボ分子ポンプといった真空ポンプを有しており、チャンパ12cを所望の圧力に減圧することができる。

【0046】

プラズマ処理装置10A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、プラズマ生成用の第1の高周波(高周波電気エネルギー)を発生する電源である。第1の高周波は、例えば27~100MHzの範囲内の周波数を有する。第1の高周波電源62は、整合器63を介して上部電極30に接続されている。整合器63は、第1の高周波電源62の出力インピーダンスと負荷側(上部電極30側)のインピーダンスを整合させるための回路を有している。なお、第1の高周波電源62は、整合器63を介して下部電極18に接続されていてもよい。

【0047】

第2の高周波電源64は、被加工物Wにイオンを引き込むための第2の高周波(高周波電気エネルギー)を発生する電源である。第2の高周波は、例えば400kHz~13.56MHzの範囲内の周波数を有する。第2の高周波電源64は、整合器65を介して下部電極18に接続されている。整合器65は、第2の高周波電源64の出力インピーダンスと負荷側(下部電極18側)のインピーダンスを整合させるための回路を有している。

【0048】

図4は、図3に示すプラズマ処理装置のガス供給系の第1実施形態を示す図である。図4に示すガス供給系100Aは、プラズマ処理装置10Aのガス供給系として採用され得

10

20

30

40

50

る。ガス供給系 100A は、第 1 のガス及び第 2 のガスをチャンバ 12c に供給するよう構成されている。

【0049】

第 1 のガスは、多孔質膜 PL 内においてその毛管凝縮が生じるガスである。第 1 のガスとしては、 $C_x F_y$ ガス（フルオロカーボンガス）、 $C_x F_y O_z$ ガス（酸素含有フルオロカーボンガス）、 $C_x H_y$ ガス（炭化水素ガス）、又は、 $C_x H_y O_z$ ガス（酸素含有炭化水素ガス）等を用いることができる。ここで、 x 、 y 、 z は 1 以上の整数である。 $C_x F_y$ ガスとしては、 $C_6 F_6$ ガス、 $C_7 F_8$ ガス等が例示される。 $C_x F_y O_z$ ガスとしては、 $C_{10} F_{22} O_5$ ガス等が例示される。 $C_x H_y$ ガス又は $C_x H_y O_z$ ガスとしては、ベンゼン ($C_6 H_6$)、 n -ブタノール ($CH_3 (CH_2)_2 CH_2 OH$)、2-ブトキシエタノール ($CH_3 (CH_2)_3 OCH_2 CH_2 OH$)、2-エトキシエタノール ($C_2 H_5 OCH_2 CH_2 OH$)、シクロヘキサン ($C_6 H_{12}$)、ジオキサン ($OC H_2 CH_2 OCH_2 CH_2$)、エタノール ($C_2 H_5 OH$)、酢酸エチル ($CH_3 CO_2 C_2 H_5$)、エチルベンゼン ($C_2 H_5 C_6 H_5$)、エチルシクロヘキサン ($C_6 H_{11} C_2 H_5$)、メチルエチルケトン ($C_2 H_5 COCH_3$)、 n -オクタン ($CH_3 (CH_2)_6 CH_3$)、1-プロパノール ($CH_3 CH_2 CH_2 OH$)、2-プロパノール ($(CH_3)_2 CHOH$)、トルエン ($C_6 H_5 CH_3$) 等が例示される。

10

【0050】

第 2 のガスは、多孔質膜 PL のエッチング用のガスであり、フッ素含有ガスを含む。第 2 のガスに含まれるフッ素含有ガスは、 NF_3 ガス（三フッ化窒素ガス）、 SiF_4 ガス、 CF_4 ガスといったガス、又は、これらのうち二以上の混合ガスであり得る。第 2 のガスは、希ガスといった不活性ガスを更に含んでいてもよい。希ガスは、例えば He ガス、Ne ガス、Ar ガス、Kr ガスといった任意の希ガスであり得る。第 2 のガスは、 O_2 ガスといった酸素含有ガスを更に含んでいてもよい。

20

【0051】

ガス供給系 100A は、流路 L1A, L11A, L12A, L13A, L2A, L21A, L22A, L23A, L3A を提供している。流路 L1A, L11A, L12A, L13A, L2A, L21A, L22A, L23A, L3A は、配管によって提供されている。

【0052】

流路 L1A, L11A, L12A, L13A は、ガスソース GS2 をチャンバ 12c に接続する第 1 の流路である。ガスソース GS2 は、第 2 のガスのソースである。流路 L1A の一端は、ガスソース GS2 に接続されている。流路 L1A 上には、開閉バルブ V11A、開閉バルブ V12A、及び、流量制御器 FC1A が設けられている。流量制御器 FC1A 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り、開閉バルブ V11A と開閉バルブ V12A の間に設けられている。流路 L1A の他端は、フロープリッタ FSA に接続されている。フロープリッタ FSA は、流路 L1A からのガスを流路 L11A、流路 L12A、及び、流路 L13A に分配するよう構成されている。流路 L11A の一端、流路 L12A の一端、及び、流路 L13A の一端は、フロープリッタ FSA を介して流路 L1A に接続されている。流路 L11A の他端、流路 L12A の他端、流路 L13A の他端はそれぞれ、ガス拡散室 36a1、ガス拡散室 36a2、ガス拡散室 36a3 に接続されている。

30

40

【0053】

流路 L2A, L21A, L22A, L23A は、ガスソース GS1 を流路 L11A、流路 L12A、及び、流路 L13A に接続する第 2 の流路である。ガスソース GS1 は、第 1 のガスのソースである。流路 L2A の一端は、ガスソース GS1 に接続されている。流路 L2A 上には、ガスソース GS1 側（上流側）から順に、開閉バルブ V2A 及び流量制御器 FC2A が設けられている。流量制御器 FC2A 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。流路 L2A の他端には、流路 L21A の一端、流路 L22A の一端、及び、流路 L23A の一端が接続されている。流路 L21A の他端、流路 L2

50

2 A の他端、流路 L 2 3 A の他端はそれぞれ、流路 L 1 1 A、流路 L 1 2 A、流路 L 1 3 A に接続されている。流路 L 2 1 A 上には開閉バルブ V 2 1 A が設けられており、流路 L 2 2 A 上には開閉バルブ V 2 2 A が設けられており、流路 L 2 3 A 上には開閉バルブ V 2 3 A が設けられている。開閉バルブ V 2 1 A、V 2 2 A、V 2 3 A は、第 2 の流路上に設けられた第 1 の開閉バルブを構成する。

【 0 0 5 4 】

流路 L 3 A は、排気装置を流路 L 2 A、L 2 1 A、L 2 2 A、L 2 3 A に接続する第 3 の流路である。流路 L 3 A の一端は、流路 L 2 A に接続されている。流路 L 3 A 上には、開閉バルブ V 3 A (第 2 の開閉バルブ) が設けられている。流路 L 3 A の他端は、排気装置に接続されている。この排気装置は、排気装置 5 0 であってもよく、別の排気装置であってもよい。

10

【 0 0 5 5 】

ガス供給系 1 0 0 A は、ヒータ H J A を備えている。ヒータ H J A は、ガス供給系 1 0 0 A の配管、具体的には、第 1 のガスが流される流路を提供する配管を加熱するよう構成されている。より詳細には、ヒータ H J A は、流路 L 2 A、流路 L 2 1 A、流路 L 2 2 A、流路 L 2 3 A、流路 L 2 1 A と流路 L 1 1 A との接続箇所からその他端までの間の流路 L 1 1 A、流路 L 2 2 A と流路 L 1 2 A との接続箇所からその他端までの間の流路 L 1 2 A、流路 L 2 3 A と流路 L 1 3 A との接続箇所からその他端までの間の流路 L 1 3 A、及び、開閉バルブ V 3 A に対して上流側の流路 L 3 A を提供する配管に取り付けられている。ヒータ H J A は、例えばヒータージャケットであり、当該配管に取り付けられている。

20

【 0 0 5 6 】

ガス供給系 1 0 0 A を備えるプラズマ処理装置 1 0 A では、開閉バルブ V 2 A、開閉バルブ V 2 1 A、開閉バルブ V 2 2 A、及び、開閉バルブ V 2 3 A が開かれると、第 1 のガスがチャンバ 1 2 c に供給される。この第 1 のガスは、毛管凝縮により液化し、多孔質膜 P L 内で液体となる。開閉バルブ V 1 1 A 及び開閉バルブ V 1 2 A が開かれると、第 2 のガスがチャンバ 1 2 c に供給される。第 2 のガスがチャンバ 1 2 c に供給されているときに、第 1 の高周波が供給されると、第 2 のガスのプラズマが生成される。この第 2 のガスのプラズマからのラジカル、イオンといった活性種により、多孔質膜 P L がエッチングされる。多孔質膜 P L のエッチング時には、上述の液体が多孔質膜 P L 内に充填されているので、多孔質膜 P L 内へのラジカルの侵入が抑制される。その結果、多孔質膜 P L のダメージが抑制される。即ち、ガス供給系 1 0 0 A を備えるプラズマ処理装置 1 0 A は、液体により当該多孔質膜 P L を保護しつつ、第 2 のガスのプラズマにより多孔質膜 P L をエッチングすることができる。

30

【 0 0 5 7 】

また、ガス供給系 1 0 0 A を備えるプラズマ処理装置 1 0 A によれば、流路 L 2 A、流路 L 2 1 A、流路 L 2 2 A、及び、流路 L 2 3 A 内の第 1 のガスを排気装置によって排気することが可能である。また、ガス供給系 1 0 0 A を備えるプラズマ処理装置 1 0 A によれば、排気装置によって、流路 L 2 A、流路 L 2 1 A、流路 L 2 2 A、及び、流路 L 2 3 A 内の第 1 のガスの圧力(又は分圧)を調整することが可能である。したがって、ガス供給系 1 0 0 A を備えるプラズマ処理装置 1 0 A によれば、第 1 のガスの圧力(又は分圧)が流路 L 2 A、流路 L 2 1 A、流路 L 2 2 A、及び、流路 L 2 3 A 内において高くなることが抑制され、当該第 1 のガスが流路 L 2 A、流路 L 2 1 A、流路 L 2 2 A、及び、流路 L 2 3 A 内において液化することが抑制される。

40

【 0 0 5 8 】

一実施形態では、ヒータ H T C によりチャンバ 1 2 c を画成する壁面上で第 1 のガスが液化することが抑制される。一実施形態では、ヒータ H J A により第 1 のガスが流される流路内において当該第 1 のガスが液化することが抑制される。

【 0 0 5 9 】

図 5 は、図 3 に示すプラズマ処理装置のガス供給系の第 2 実施形態を示す図である。図

50

5 に示すガス供給系 100B は、プラズマ処理装置 10A のガス供給系として採用され得る。ガス供給系 100B は、第 1 のガス及び第 2 のガスをチャンバ 12c に供給するよう構成されている。

【0060】

ガス供給系 100B は、流路 L1B, L11B, L12B, L13B, L2B, L3B を提供している。流路 L1B, L11B, L12B, L13B, L2B, L3B は、配管によって提供されている。

【0061】

流路 L1B, L11B, L12B, L13B は、ガスソース GS2 をチャンバ 12c に接続する第 1 の流路である。流路 L1B の一端は、ガスソース GS2 に接続されている。流路 L1B 上には、開閉バルブ V11B、開閉バルブ V12B、及び、流量制御器 FC1B が設けられている。流量制御器 FC1B 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り、開閉バルブ V11B と開閉バルブ V12B の間に設けられている。流路 L1B の他端はフロープリッタ FS B に接続されている。フロープリッタ FS B は、流路 L1B からのガスを流路 L11B、流路 L12B、及び、流路 L13B に分配する。流路 L11B の一端、流路 L12B の一端、及び、流路 L13B の一端は、フロープリッタ FS B を介して流路 L1B に接続されている。流路 L11B の他端、流路 L12B の他端、流路 L13B の他端はそれぞれ、ガス拡散室 36a1、ガス拡散室 36a2、ガス拡散室 36a3 に接続されている。

10

【0062】

流路 L2B は、ガスソース GS1 を流路 L1B に接続する第 2 の流路である。流路 L2B の一端は、ガスソース GS1 に接続されている。流路 L2B 上には、開閉バルブ V21B、流量制御器 FC2B、及び、開閉バルブ V22B が設けられている。流量制御器 FC2B 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。流路 L2B の他端は、流路 L1B に接続されている。開閉バルブ V22B は、第 2 の流路上に設けられた第 1 の開閉バルブを構成する。

20

【0063】

流路 L3B は、排気装置を流路 L2B に接続する第 3 の流路である。流路 L3B の一端は、流路 L2B に接続されている。流路 L3B 上には、開閉バルブ V3B (第 2 の開閉バルブ) が設けられている。流路 L3B の他端は排気装置に接続されている。この排気装置は、排気装置 50 であってもよく、別の排気装置であってもよい。

30

【0064】

ガス供給系 100B は、ヒータ HJB を備えている。ヒータ HJB は、ガス供給系 100B の配管、具体的には、第 1 のガスが流される流路を提供する配管を加熱するよう構成されている。より詳細には、ヒータ HJB は、流路 L2B、流路 L11B、流路 L12B、流路 L13B、流路 L2B と流路 L1B との接続箇所からその他端までの間の流路 L1B、及び、開閉バルブ V3B に対して上流側の流路 L3B を提供する配管に取り付けられている。ヒータ HJB は、例えばヒータージャケットであり、当該配管に取り付けられている。ヒータ HJB は、ヒータ電源に接続されている。

【0065】

ガス供給系 100B を備えるプラズマ処理装置 10A では、開閉バルブ V21B 及び開閉バルブ V22B が開かれると、第 1 のガスがチャンバ 12c に供給される。この第 1 のガスは、毛管凝縮により液化し、多孔質膜 PL 内で液体となる。開閉バルブ V11B 及び開閉バルブ V12B が開かれると、第 2 のガスがチャンバ 12c に供給される。第 2 のガスがチャンバ 12c に供給されているときに、第 1 の高周波が供給されると、第 2 のガスのプラズマが生成される。この第 2 のガスのプラズマからのラジカル、イオンといった活性種により、多孔質膜 PL がエッチングされる。多孔質膜 PL のエッチング時には、上述の液体が多孔質膜 PL 内に充填されているので、多孔質膜 PL 内へのラジカルの侵入が抑制される。その結果、多孔質膜 PL のダメージが抑制される。即ち、ガス供給系 100B を備えるプラズマ処理装置 10A は、液体により当該多孔質膜 PL を保護しつつ、第 2 の

40

50

ガスのプラズマにより多孔質膜 P L をエッチングすることができる。

【 0 0 6 6 】

また、ガス供給系 1 0 0 B を備えるプラズマ処理装置 1 0 A によれば、流路 L 2 B 内の第 1 のガスを排気装置によって排気することが可能である。また、ガス供給系 1 0 0 B を備えるプラズマ処理装置 1 0 A によれば、排気装置によって流路 L 2 B 内の第 1 のガスの圧力（又は分圧）を調整することが可能である。したがって、ガス供給系 1 0 0 B を備えるプラズマ処理装置 1 0 A によれば、第 1 のガスの圧力（又は分圧）が流路 L 2 B 内において高くなることが抑制され、当該第 1 のガスが流路 L 2 B 内において液化することが抑制される。

【 0 0 6 7 】

一実施形態では、ヒータ H T C によりチャンバ 1 2 c を画成する壁面上で第 1 のガスが液化することが抑制される。一実施形態では、ヒータ H J B により第 1 のガスが流される流路内において当該第 1 のガスが液化することが抑制される。

【 0 0 6 8 】

以下、別の実施形態に係るプラズマ処理装置について説明する。図 6 は、別の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 6 には、別の実施形態に係るプラズマ処理装置が、その一部が破断された状態で、示されている。図 6 に示すプラズマ処理装置 1 0 C は、処理システム 1 のプラズマ処理装置として用いることが可能である。ここでは、図 6 に示すプラズマ処理装置 1 0 C に関して、プラズマ処理装置 1 0 A と異なる点を説明し、重複する説明は省略する。プラズマ処理装置 1 0 C では、上部電極 3 0 の支持体 3 6 に一つのガス拡散室 3 6 a が形成されている。なお、プラズマ処理装置 1 0 A の支持体 3 6 と同様に、プラズマ処理装置 1 0 C の支持体 3 6 に複数のガス拡散室が形成されていてもよい。

【 0 0 6 9 】

図 7 は、図 6 に示すプラズマ処理装置のガス供給系の実施形態を示す図である。図 6 に示すガス供給系 1 0 0 C は、プラズマ処理装置 1 0 C のガス供給系として採用される。ガス供給系 1 0 0 C は、流路 L 1 C（第 1 の流路）、流路 L 2 C（第 2 の流路）、及び、流路 L 3 C（第 3 の流路）を提供している。流路 L 1 C、流路 L 2 C、及び、流路 L 3 C は、配管によって提供されている。

【 0 0 7 0 】

流路 L 1 C の一端は、ガスソース G S 2 に接続されている。流路 L 1 C の他端は、ガス拡散室 3 6 a を介してチャンバ 1 2 c に接続されている。流路 L 2 C の一端は、ガスソース G S 1 に接続されている。流路 L 2 C の他端は、流路 L 1 C に接続されている。流路 L 3 C の一端は、流路 L 2 C に接続されている。流路 L 3 C の他端は、排気装置 5 0 又は他の排気装置に接続されている。

【 0 0 7 1 】

流路 L 1 C 上には、流量制御器 F C 1 C が設けられている。流量制御器 F C 1 C 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り、流路 L 1 C と流路 L 2 C との接続箇所 C P 1 と、ガスソース G S 2 との間に設けられている。なお、流路 L 1 C 上、且つ、流量制御器 F C 1 C の上流側と下流側には、1 次及び 2 次の開閉バルブが設けられていてもよい。流量制御器 F C 1 C は、第 2 のガスの流量を制御するよう構成されている。具体的に、流量制御器 F C 1 C は、制御部 M C から与えられる第 2 のガスの目標流量と測定された第 2 のガスの流量との誤差を低減させるよう、第 2 のガスの流量を調整する。

【 0 0 7 2 】

流路 L 2 C の下流側の終端、即ち、流路 L 2 C の他端は、オリフィス部材 O L 1 によって画成されている。オリフィス部材 O L 1 は、流路 L 2 C の断面積を当該流路 L 2 C の終端において減少させている。流路 L 1 C と流路 L 2 C との接続箇所 C P 1 には、開閉バルブ V 2 C（第 1 の開閉バルブ）が設けられている。開閉バルブ V 2 C は、流路 L 2 C の終端を流路 L 1 C に対して開閉するよう構成されている。開閉バルブ V 2 C の開閉のタイミングは、制御部 M C によって制御される。この開閉バルブ V 2 C の詳細については後述す

10

20

30

40

50

る。

【0073】

流路L2C上には、コントロールバルブCVが設けられている。コントロールバルブCVは、流路L2Cと流路L3Cとの接続箇所CP2と、ガスソースGS1との間に設けられている。なお、流路L2C上、且つ、コントロールバルブCVの上流側には、1次の開閉バルブが設けられていてもよい。

【0074】

コントロールバルブCVは、第1のガスの流量を、制御部MCから指定された流量(目標流量)に制御するように構成されている。コントロールバルブCVには、制御回路CNが接続されている。制御回路CNは、流路L2Cの圧力及び温度から当該流路L2Cにおける第1のガスの流量を求め、求められた流量と目標流量との間の誤差を減少させるよう、コントロールバルブCVの開度を調整する。流路L2Cの圧力及び温度は、圧力検出器PS及び温度検出器TSによって検出される。圧力検出器PS及び温度検出器TSは、流路L2Cの全体のうちコントロールバルブCVとオリフィス部材OL1との間の部分の圧力及び温度を検出する。圧力検出器PS及び温度検出器TSが圧力及び温度を検出する流路L2C内の箇所は、コントロールバルブCVよりもオリフィス部材OL1に近い箇所であり得る。これにより、第1のガスの流量制御の精度が向上され得る。

【0075】

流路L3Cは、部分的にオリフィス部材OL2によって画成されている。オリフィス部材OL2は、当該オリフィス部材OL2が設けられている箇所で、流路L3Cの断面積を減少させている。流路L3C上、且つ、オリフィス部材OL2の下流には、開閉バルブV3C(第2の開閉バルブ)が設けられている。この開閉バルブV3Cの開閉のタイミングは、制御部MCによって制御される。

【0076】

流路L1C上、且つ、流量制御器FC1Cと接続箇所CP1の間には、インレットブロックIB1が設けられている。インレットブロックIB1の内部には、流路L1Cの一部である流路が形成されている。インレットブロックIB1は、その上流側の配管とその下流側の配管を結合している。チャンバ12cが大気圧に開放される場合には、インレットブロックIB1は、その上流側の配管とその下流側の配管を互いに分離するように構成されている。また、流路L2C上、且つ、コントロールバルブCVと接続箇所CP2の間には、インレットブロックIB2が設けられている。インレットブロックIB2の内部には、流路L2Cの一部である流路が形成されている。インレットブロックIB2は、その上流側の配管とその下流側の配管を結合している。チャンバ12cが大気圧に開放される場合には、インレットブロックIB2は、その上流側の配管とその下流側の配管を互いに分離するように構成されている。

【0077】

ガス供給系100Cは、ヒータHJCを備えている。ヒータHJCは、ガス供給系100Cの配管、具体的には、第1のガスが流される流路を提供する配管を加熱するよう構成されている。より詳細には、ヒータHJCは、流路L2C、接続箇所CP1に対して下流側の流路L1C、及び、オリフィス部材OL2に対して上流側の流路L3Cを提供する配管に取り付けられている。ヒータHJCは、例えばヒータージャケットであり、当該配管に取り付けられている。ヒータHJCは、ヒータ電源に接続されている。

【0078】

以下、開閉バルブV2Cについて詳細に説明する。図8は、図7に示すガス供給系の開閉バルブを概略的に示す断面図である。図8に示すように、開閉バルブV2Cは、第1本体部71及び第2本体部72を備えている。第1本体部71と第2本体部72の間には、弁体74が配置されている。第2本体部72は、弁体74を動作させる機構を有している。弁体74は、可撓性を有する部材から形成されている。弁体74は、例えば、弾性部材、ダイヤフラム、又は、ベローズであり得る。

【0079】

10

20

30

40

50

第1本体部71は、入口71aと出口71bとの間で延びる内部流路71cを提供している。内部流路71cは、流路L1Cの一部を構成している。第1本体部71は、内部流路71gを更に提供している。内部流路71gは、流路L2Cの一部を構成している。内部流路71gの終端、即ち、流路L2Cの終端はオリフィス部材OL1によって画成されている。第1本体部71の内部において、流路L1C(内部流路71c)と流路L2C(内部流路71g)は接続可能となっている。流路L2Cの終端は、弁体74によって、流路L1Cに対して開閉される。

【0080】

一例において、第1本体部71は支持部71dを有している。支持部71dは、内部流路71cを画成する内壁から第2本体部72側(弁体74側)に突き出している。オリフィス部材OL1は、支持部71dの第2本体部72側(弁体74側)の先端部分に支持されている。内部流路71gは、この支持部71dによって提供されている。支持部71dの第2本体部72側(弁体74側)の先端には、弁座75が設けられている。弁体74が弁座75又はオリフィス部材OL1に接触している場合には、流路L2Cの終端が流路L1Cに対して閉じられ、流路L2Cと流路L1Cとの接続が遮断される。一方、弁体74が弁座75及びオリフィス部材OL1から離れている場合には、流路L2Cの終端が流路L1Cに対して開かれ、流路L2Cが流路L1Cに連通する。

10

【0081】

第2本体部72は、弁体74と弁座75との間の距離を制御する要素を有している。一例において、第2本体部72は、シリンダ76、付勢部材78、及び、駆動部81を有する。

20

【0082】

シリンダ76は、略棒状の部材である。シリンダ76は、第2本体部72の内部に設けられており、例えばその先端部分(図8では下端部分)において、弁体74を支持している。シリンダ76は、突出部76aを有する。突出部76aは、シリンダ76が延在する方向に対して直交する方向に突き出している。シリンダ76の内部には、流路76bが形成されている。突出部76aの側面と第2本体部72の内壁面との間、及び、突出部76aよりも下方のシリンダ76の側面と第2本体部72の内壁面との間には、シール部材79が設けられている。第2本体部72の内壁面、シリンダ76の側壁面、突出部76aの下面、及び、シール部材79によって空間82が画成されている。シリンダ76の流路76bは、空間82に連通している。

30

【0083】

付勢部材78は、弁体74又はオリフィス部材OL1に対してシリンダ76を付勢する。この付勢部材78により、弁体74が弁座75又はオリフィス部材OL1に押し当てられる。弁体74が弁座75又はオリフィス部材OL1に押し当てられると、流路L1Cと流路L2Cとの接続が遮断される。駆動部81は、付勢部材78によってシリンダ76が付勢される方向と反対方向に、シリンダ76を移動させるように構成されている。駆動部81は、シリンダ76の流路76bに空気を供給し、空間82に空気を充填する。空間82に充填された空気の圧力が付勢部材78の付勢力よりも大きい場合には、シリンダ76は、弁体74を弁座75及びオリフィス部材OL1から引き離すように、移動する。弁体74が弁座75及びオリフィス部材OL1から引き離されると、流路L2Cは流路L1Cに連通する。

40

【0084】

このガス供給系100Cを備えるプラズマ処理装置10Cでは、開閉バルブV2Cが開かれると、第1のガスがチャンバ12cに供給される。この第1のガスは、毛管凝縮により液化し、多孔質膜PL内で液体となる。また、流路L1Cを経由して第2のガスがチャンバ12cに供給される。第2のガスがチャンバ12cに供給されているときに、第1の高周波が供給されると、第2のガスのプラズマが生成される。この第2のガスのプラズマからのラジカル、イオンといった活性種により、多孔質膜PLがエッチングされる。多孔質膜PLのエッチング時には、上述の液体が多孔質膜PL内に充填されているので、多孔

50

質膜 P L 内へのラジカルの侵入が抑制される。その結果、多孔質膜 P L のダメージが抑制される。即ち、ガス供給系 1 0 0 C を備えるプラズマ処理装置 1 0 C は、液体により当該多孔質膜 P L を保護しつつ、第 2 のガスのプラズマにより多孔質膜 P L をエッチングすることができる。

【 0 0 8 5 】

また、ガス供給系 1 0 0 C を備えるプラズマ処理装置 1 0 C によれば、流路 L 2 C 内の第 1 のガスを排気装置によって排気することが可能である。また、ガス供給系 1 0 0 C を備えるプラズマ処理装置 1 0 C によれば、排気装置によって流路 L 2 C 内の第 1 のガスの圧力（又は分圧）を調整することが可能である。したがって、ガス供給系 1 0 0 C を備えるプラズマ処理装置 1 0 C によれば、第 1 のガスの圧力（又は分圧）が流路 L 2 C 内において高くなることが抑制され、当該第 1 のガスが流路 L 2 C 内において液化することが抑制される。

10

【 0 0 8 6 】

一実施形態では、ヒータ H T C によりチャンバ 1 2 c を画成する壁面上で第 1 のガスが液化することが抑制される。一実施形態では、ヒータ H J C により第 1 のガスが流される流路内において当該第 1 のガスが液化することが抑制される。

【 0 0 8 7 】

また、オリフィス部材 O L 1 と開閉バルブ V 2 C との間の流路の長さが極めて短いので、オリフィス部材 O L 1 と開閉バルブ V 2 C との間に溜められたガスが、開閉バルブ V 2 C を開いたときに、急激に流路 L 1 C に流れることが防止される。また、開閉バルブ V 2 C が閉じられているときに、流路 L 2 C を排気しつつ、コントロールバルブ C V によってその流量が制御された第 1 のガスを流路 L 2 C に供給することができる。したがって、チャンバ 1 2 c に対する第 1 のガスの供給時に、当該第 1 のガスの圧力（又は分圧）が設定された圧力に短時間で到達し得る。

20

【 0 0 8 8 】

以下、ガス供給系 1 0 0 C を備えるプラズマ処理装置 1 0 C を用いて、多孔質膜をエッチングする方法の幾つかの実施形態について説明する。図 9 は、第 1 実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法のタイミングチャートである。図 9 において、横軸は時間を示しており、縦軸は、第 2 のガスの流量、第 1 のガスの流量、コントロールバルブ C V の開度、開閉バルブ V 2 C の開閉、開閉バルブ V 3 C の開閉、及び、高周波の供給を示している。図 9 の第 2 のガスの流量に関するタイミングチャートにおいて、「 H 」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 2 のガスが供給されていることを示しており、「 L 」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 2 のガスが供給されていないことを示している。図 9 の第 1 のガスの流量に関するタイミングチャートにおいて、「 L 」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 1 のガスが供給されていないことを示しており、「 H 1 」、「 H 2 」、「 H 3 」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 1 のガスが供給されていることを示しており、「 H 3 」で示される第 1 のガスの流量は「 H 2 」で示される第 1 のガスの流量よりも大きく、「 H 2 」で示される第 1 のガスの流量は「 H 1 」で示される第 1 のガスの流量よりも大きい。図 9 のコントロールバルブ C V の開度に関するタイミングチャートにおいて、「 L 」のレベルはコントロールバルブ C V が閉じられていることを示しており、「 H 1 」、「 H 2 」、「 H 3 」のレベルはコントロールバルブ C V が開かれていることを示しており、「 H 3 」で示されるコントロールバルブ C V の開度は「 H 2 」で示されるコントロールバルブ C V の開度よりも大きく、「 H 2 」で示されるコントロールバルブ C V の開度は「 H 1 」で示されるコントロールバルブ C V の開度よりも大きい。図 9 の開閉バルブ V 2 C の開閉に関するタイミングチャートにおいて、「 H 」のレベルは開閉バルブ V 2 C が開かれていることを示しており、「 L 」のレベルは開閉バルブ V 2 C が閉じられていることを示している。図 9 の開閉バルブ V 3 C の開閉に関するタイミングチャートにおいて、「 H 」のレベルは開閉バルブ V 3 C が開かれていることを示しており、「 L 」のレベルは開閉バルブ V 3 C が閉じられていることを示している。図 9 の高周波の供給に関するタイミングチャートにおいて、「 H 」のレベルは、第 1 の高周波及び第 2 の高周波が供給されていることを示しており、「 L 」のレ

30

40

50

ベルは、第1の高周波及び第2の高周波の供給が停止されていることを示している。以下の説明では、図9に加えて、図10～図12を参照する。図10及び図11は、種々の実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法の実行中に得られる被加工物の一部拡大断面図である。図12は、種々の実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法の実行によって得られる被加工物の一部拡大断面図である。

【0089】

図9に示す第1実施形態の方法は、被加工物Wがチャンバ12c内でステージ16上に載置された状態で実行される。なお、第1実施形態の方法、及び、後述する第2～第4の実施形態の方法が適用される被加工物は、多孔質膜を有する任意の被加工物であり得る。

【0090】

第1実施形態の方法では、工程ST11において、流路L2C内のガスが排気される。工程ST11の実行時には、コントロールバルブCV、開閉バルブV2Cは閉じられ、開閉バルブV3Cが開かれる。これにより、流路L2Cが流路L3Cを介して排気装置に接続され、当該排気装置によって、流路L2C内のガスが排気される。なお、開閉バルブV3Cは、工程ST11の実行の開始時点から、後述する工程ST15の実行の終了時点まで、継続して開かれる。

【0091】

第1実施形態の方法では、工程ST11の実行後、且つ、工程ST12の実行前に、コントロールバルブCVが開かれる。コントロールバルブCVは、工程ST15の実行の開始時点まで開かれている。

【0092】

続く工程ST12では、多孔質膜PL内においてその毛管凝縮を発生させるよう、第1のガスがチャンバ12cに供給される。工程ST12では、開閉バルブV2Cが開かれる。これにより、第1のガスが流路L2C及び流路L1Cを介してチャンバ12cに供給される。なお、第1実施形態の方法では、最初に行われる工程ST12の開始時点から工程ST15の開始時点まで、第2のガスがチャンバ12cに継続的に供給される。即ち、工程ST12では、第1のガスと第2のガスの混合ガスが、チャンバ12cに供給される。

【0093】

工程ST12では、多孔質膜PL内において第1のガスの毛管凝縮が生じるよう、被加工物Wの温度、及び、第1のガスの分圧が設定される。被加工物Wの温度は、ステージ16に供給される冷媒によって調整される。被加工物Wの温度は、常温(25)よりも低く、上述した冷媒によって設定し得る下限温度、例えば-60以上の温度に設定される。例えば、被加工物Wの温度は-50以上-30以下の温度に設定される。第1のガスの分圧は、被加工物Wの温度において、多孔質膜PL内において第1のガスの毛管凝縮が生じる臨界圧力よりも高く、第1のガスの飽和蒸気圧よりも低い分圧に設定される。

【0094】

工程ST12では、多孔質膜PL内で第1のガスの毛管凝縮が生じ、第1のガスが多孔質膜PL内で液化する。その結果、図10に示すように、多孔質膜PL内には、領域SRが形成される。領域SR内において、多孔質膜PLの細孔は、第1のガスから生成された液体で充填されている。

【0095】

図9に示すように、工程ST12に続く工程ST13において、開閉バルブV2Cが閉じられる。開閉バルブV2Cは、工程ST13の開始時点から後続の工程ST14の終了時点までの間、継続的に閉じられる。工程ST13の実行により、チャンバ12c内のガスは第1のガスと第2のガスの混合ガスから第2のガスに変更される。工程ST13では、チャンバ12c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ST14の実行時のチャンバ12cの圧力と同様の圧力である。また、工程ST13では、被加工物Wの温度が、工程ST14の実行中の被加工物Wの温度と同様の温度、例えば、-50以上-30以下の温度に設定される。被加工物Wの温度は、ステージ16に供給される

10

20

30

40

50

冷媒によって調整される。

【0096】

続く工程ST14では、チャンバ12c内において第2のガスのプラズマが生成される。工程ST14の実行時には、チャンバ12cに対する第1のガスの供給は停止されている。工程ST14では、第1の高周波が上部電極30（又は下部電極18）に供給され、第2の高周波が下部電極18に供給される。なお、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方は、供給されなくてもよい。工程ST14では、チャンバ12c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300mTorr（40Pa）以下の圧力である。この所定の圧力は、100mTorr（13.33Pa）以下の圧力であってもよい。工程ST14では、被加工物Wの温度が、例えば-50以上-30以下の温度に設定される。被加工物Wの温度は、ステージ16に供給される冷媒によって調整される。被加工物Wの温度は、工程ST14においてはプラズマから被加工物Wへの入熱が生じるので、ステージ16の温度よりも若干高くなる。

10

【0097】

工程ST14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11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膜PLがエッチングされる。図11に示すように、工程ST14では、領域SR内で、その表面から多孔質膜PLがエッチングされる。工程ST14の実行時には、多孔質膜PL内には液体が充填されているので、多孔質膜PL内へのラジカルの侵入が抑制される。

20

【0098】

図9に示すように、工程ST12～工程ST14を含むシーケンスSQ1は複数回実行されてもよい。即ち、工程ST12と工程ST14は交互に繰り返されてもよい。

【0099】

第1実施形態の方法では、工程ST12～工程ST14の繰り返しの後に、工程ST15が実行される。工程ST15では、流路L2C内のガスが排気される。工程ST15の実行時には、コントロールバルブCV、開閉バルブV2Cは閉じられ、開閉バルブV3Cが開かれる。これにより、流路L2Cが流路L3Cを介して排気装置に接続され、当該排気装置によって、流路L2C内のガスが排気される。第1の実施形態の方法では、次いで、加熱処理装置において被加工物Wが加熱される。これにより、多孔質膜PL内の液体が気化し、生成された気体が排気される。かかる方法の実行後には、図12に示すように、下地層ULに達する開口が多孔質膜PLに形成される。

30

【0100】

第1実施形態の方法では、図9に示すように、工程ST12～工程ST14の繰り返し中に、コントロールバルブCVの開度が段階的に減少される。これにより、工程ST12～工程ST14の繰り返し中に、第1のガスの流量が段階的に減少される。したがって、多孔質膜PLのエッチングにより当該多孔質膜に形成された開口の深さが大きくなったときに、第1のガスの分圧が減少される。

【0101】

第1実施形態の方法によれば、多孔質膜PLを第1のガスに基づく液体により保護しつつ、多孔質膜PLをエッチングすることが可能となる。また、工程ST11及び工程ST15の実行により、流路L2C内での第1のガスの液化が抑制される。さらに、工程ST12～工程ST14の繰り返し中に、排気装置によって流路L2C内の第1のガスの圧力が調整される。これにより、流路L2C内での第1のガスの液化が抑制される。

40

【0102】

以下、第2実施形態の多孔質膜をエッチングする方法について説明する。図13は、第2実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法のタイミングチャートである。図13に示すように、第2実施形態の方法は、高周波の供給のタイミングにおいて、第1実施形態の方法とは異なっている。

【0103】

第2実施形態の方法では、工程ST14の開始時点が、工程ST12の実行期間の開始

50

時点と終了時点との間の時点である。工程 S T 1 4 は、その開始時点から、複数回の工程 S T 1 2 の実行期間の終了時点、又は、1 回の工程 S T 1 2 の実行期間の終了後の時点まで継続する。工程 S T 1 4 の実行中には、第 1 の高周波が上部電極 3 0 (又は下部電極 1 8) に供給され、第 2 の高周波が下部電極 1 8 に供給される。なお、第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方は、供給されなくてもよい。また、図 1 3 に示すように工程 S T 1 2 と工程 S T 1 4 を含むシーケンス S Q 2 が繰り返されてもよい。

【 0 1 0 4 】

以下、第 3 実施形態の多孔質膜をエッチングする方法について説明する。図 1 4 は、第 3 実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法のタイミングチャートである。図 1 4 において、横軸は時間を示しており、縦軸は、第 2 のガスの流量、第 1 のガスの流量、コントロールバルブ C V の開閉、開閉バルブ V 2 C の開閉、開閉バルブ V 3 C の開閉、及び、高周波の供給を示している。図 1 4 の第 2 のガスの流量に関するタイミングチャートにおいて、「H」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 2 のガスが供給されていることを示しており、「L」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 2 のガスが供給されていないことを示している。図 1 4 の第 1 のガスの流量に関するタイミングチャートにおいて、「L」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 1 のガスが供給されていないことを示しており、「H」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 1 のガスが供給されていることを示している。図 1 4 のコントロールバルブ C V の開閉に関するタイミングチャートにおいて、「L」のレベルはコントロールバルブ C V が閉じられていることを示しており、「H」のレベルはコントロールバルブ C V が開かれていることを示している。図 1 4 の開閉バルブ V 2 C の開閉に関するタイミングチャートにおいて、「H」のレベルは開閉バルブ V 2 C が開かれていることを示しており、「L」のレベルは開閉バルブ V 2 C が閉じられていることを示している。図 1 4 の開閉バルブ V 3 C の開閉に関するタイミングチャートにおいて、「H」のレベルは開閉バルブ V 3 C が開かれていることを示しており、「L」のレベルは開閉バルブ V 3 C が閉じられていることを示している。図 1 4 の高周波の供給に関するタイミングチャートにおいて、「H」のレベルは、第 1 の高周波及び第 2 の高周波が供給されていることを示しており、「L」のレベルは、第 1 の高周波及び第 2 の高周波の供給が停止されていることを示している。

10

20

30

【 0 1 0 5 】

第 3 実施形態の方法では、工程 S T 3 1 において、流路 L 2 C 内のガスが排気される。工程 S T 3 1 の実行時には、コントロールバルブ C V、開閉バルブ V 2 C は閉じられ、開閉バルブ V 3 C が開かれる。これにより、流路 L 2 C が流路 L 3 C を介して排気装置に接続され、当該排気装置によって、流路 L 2 C 内のガスが排気される。なお、開閉バルブ V 3 C は、工程 S T 3 1 の実行の開始時点から、後述する工程 S T 3 5 の実行の終了時点までの間、継続して開かれる。

【 0 1 0 6 】

第 3 実施形態の方法では、工程 S T 3 1 の実行後、且つ、工程 S T 3 2 の実行前に、コントロールバルブ C V が開かれる。コントロールバルブ C V は、工程 S T 3 5 の実行の開始時点まで開かれている。

40

【 0 1 0 7 】

続く工程 S T 3 2 では、多孔質膜 P L 内においてその毛管凝縮を発生させるよう、第 1 のガスがチャンバ 1 2 c に供給される。工程 S T 3 2 では、開閉バルブ V 2 C が開かれる。これにより、第 1 のガスが流路 L 2 C 及び流路 L 1 C を介してチャンバ 1 2 c に供給される。なお、第 3 実施形態の方法では、工程 S T 3 2 の開始時点から工程 S T 3 5 の開始時点まで、第 2 のガスがチャンバ 1 2 c に継続的に供給される。即ち、工程 S T 3 2 及び工程 S T 3 4 にわたって、第 1 のガスと第 2 のガスの混合ガスがチャンバ 1 2 c に供給される。工程 S T 3 2 では、被加工物 W の温度及び第 1 のガスの分圧は、工程 S T 1 2 における被加工物 W の温度及び第 1 のガスの分圧と同様に設定される。

【 0 1 0 8 】

工程 S T 3 4 では、第 2 のガスのプラズマ (上記混合ガスのプラズマ) が生成される。

50

工程 S T 3 4 は、工程 S T 3 2 の実行期間の開始時点と終了時点の間の時点から開始し、工程 S T 3 2 の終了時点まで継続する。工程 S T 3 4 では、第 1 の高周波が上部電極 3 0 (又は下部電極 1 8) に供給され、第 2 の高周波が下部電極 1 8 に供給される。なお、第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方は、供給されなくてもよい。工程 S T 3 4 では、チャンバ 1 2 c の圧力及び被加工物 W の温度は、工程 S T 1 4 におけるチャンバ 1 2 c の圧力及び被加工物 W の温度と同様に設定される。

【 0 1 0 9 】

続く工程 S T 3 5 では、流路 L 2 C 内のガスが排気される。工程 S T 3 5 の実行時には、コントロールバルブ C V、開閉バルブ V 2 C は閉じられ、開閉バルブ V 3 C が開かれる。第 3 の実施形態の方法では、次いで、加熱処理装置において被加工物 W が加熱される。これにより、多孔質膜 P L 内の液体が気化し、生成された気体が排気される。

10

【 0 1 1 0 】

第 3 実施形態の方法では、工程 S T 3 2 において多孔質膜 P L 内で液体が生成される。また、工程 S T 3 4 における多孔質膜 P L のエッチング中にも第 1 のガスに基づく液体が多孔質膜 P L に補充される。したがって、第 3 実施形態の方法によれば、多孔質膜 P L を第 1 のガスに基づく液体により保護しつつ、多孔質膜 P L をエッチングすることが可能となる。また、工程 S T 3 1 及び工程 S T 3 5 の実行により、流路 L 2 C 内での第 1 のガスの液化が抑制される。さらに、工程 S T 3 2 及び工程 S T 3 4 の実行中に、排気装置によって流路 L 2 C 内の第 1 のガスの圧力が調整される。これにより、流路 L 2 C 内での第 1 のガスの液化が抑制される。

20

【 0 1 1 1 】

以下、第 4 実施形態の多孔質膜をエッチングする方法について説明する。図 1 5 は、第 4 実施形態に係る多孔質膜をエッチングする方法のタイミングチャートである。図 1 5 において、横軸は時間を示しており、縦軸は、第 2 のガスの流量、第 1 のガスの流量、コントロールバルブ C V の開閉、開閉バルブ V 2 C の開閉、開閉バルブ V 3 C の開閉、及び、高周波の供給を示している。図 1 5 の第 2 のガスの流量に関するタイミングチャートにおいて、「H 1」、「H 2」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 2 のガスが供給されていることを示しており、「H 2」で示される第 2 のガスの流量は「H 1」で示される流量よりも大きく、「L」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 2 のガスが供給されていないことを示している。図 1 5 の第 1 のガスの流量に関するタイミングチャートにおいて、「L」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 1 のガスが供給されていないことを示しており、「H」のレベルはチャンバ 1 2 c に第 1 のガスが供給されていることを示している。図 1 5 のコントロールバルブ C V の開閉に関するタイミングチャートにおいて、「L」のレベルはコントロールバルブ C V が閉じられていることを示しており、「H」のレベルはコントロールバルブ C V が開かれていることを示している。図 1 5 の開閉バルブ V 2 C の開閉に関するタイミングチャートにおいて、「H」のレベルは開閉バルブ V 2 C が開かれていることを示しており、「L」のレベルは開閉バルブ V 2 C が閉じられていることを示している。図 1 5 の開閉バルブ V 3 C の開閉に関するタイミングチャートにおいて、「H」のレベルは開閉バルブ V 3 C が開かれていることを示しており、「L」のレベルは開閉バルブ V 3 C が閉じられていることを示している。図 1 5 の高周波の供給に関するタイミングチャートにおいて、「H」のレベルは、第 1 の高周波及び第 2 の高周波が供給されていることを示しており、「L」のレベルは、第 1 の高周波及び第 2 の高周波の供給が停止されていることを示している。

30

40

【 0 1 1 2 】

第 4 実施形態の方法では、工程 S T 4 1 において、流路 L 2 C 内のガスが排気される。工程 S T 4 1 の実行時には、コントロールバルブ C V、開閉バルブ V 2 C は閉じられ、開閉バルブ V 3 C が開かれる。これにより、流路 L 2 C が流路 L 3 C を介して排気装置に接続され、当該排気装置によって、流路 L 2 C 内のガスが排気される。なお、開閉バルブ V 3 C は、工程 S T 4 1 の実行の開始時点から、後述する工程 S T 4 5 の実行の終了時点までの間、継続して開かれる。

50

【 0 1 1 3 】

第4実施形態の方法では、工程ST41の実行後、且つ、工程ST42の実行前に、コントロールバルブCVが開かれる。コントロールバルブCVは、工程ST45の実行開始時点まで開かれている。

【 0 1 1 4 】

続く工程ST42では、多孔質膜PL内においてその毛管凝縮を発生させるよう、第1のガスがチャンバ12cに供給される。工程ST42では、開閉バルブV2Cが開かれる。これにより、第1のガスが流路L2C及び流路L1Cを介してチャンバ12cに供給される。なお、第4実施形態の方法では、工程ST42の開始時点から工程ST45の開始時点まで、第2のガスがチャンバ12cに継続的に供給される。即ち、工程ST42及び工程ST44にわたって、第1のガスと第2のガスの混合ガスがチャンバ12cに供給される。工程ST42では、被加工物Wの温度及び第1のガスの分圧は、工程ST12における被加工物Wの温度及び第1のガスの分圧と同様に設定される。

10

【 0 1 1 5 】

工程ST44では、第1のガスと第2のガスの混合ガスのプラズマが生成される。工程ST44は、工程ST42の実行期間の開始時点と終了時点の間の時点から開始し、工程ST42の終了時点まで継続する。工程ST44では、第1の高周波が上部電極30（又は下部電極18）に供給され、第2の高周波が下部電極18に供給される。なお、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方は、供給されなくてもよい。工程ST44では、チャンバ12cの圧力及び被加工物Wの温度は、工程ST14におけるチャンバ12cの圧力及び被加工物Wの温度と同様に設定される。

20

【 0 1 1 6 】

工程ST44と、工程ST44の実行期間に重複して実行される工程ST42は繰り返されてもよい。繰り返しにおける工程ST44の各々の実行期間中、第2のガスの流量は、流量制御器FC1Cにより段階的に増加される。具体的に、繰り返しにおける工程ST44の各々の実行期間は、期間T1と当該期間T1に続く期間T2を含む。期間T2における第2のガスの流量は、期間T1における第2のガスの流量よりも大きい。

【 0 1 1 7 】

続く工程ST45では、流路L2C内のガスが排気される。工程ST45の実行時には、コントロールバルブCV、開閉バルブV2Cは閉じられ、開閉バルブV3Cが開かれる。第4の実施形態の方法では、次いで、加熱処理装置において被加工物Wが加熱される。これにより、多孔質膜PL内の液体が気化し、生成された気体が排気される。

30

【 0 1 1 8 】

第4実施形態の方法では、工程ST42において多孔質膜PL内で液体が生成される。また、工程ST44における多孔質膜PLのエッチング中にも第1のガスに基づく液体が多孔質膜PLに補充される。第4実施形態の方法によれば、多孔質膜PLを第1のガスに基づく液体により保護しつつ、多孔質膜PLをエッチングすることが可能となる。また、工程ST41及び工程ST45の実行により、流路L2C内での第1のガスの液化が抑制される。さらに、工程ST42及び工程ST44の実行中に、排気装置によって流路L2C内の第1のガスの圧力が調整される。これにより、流路L2C内での第1のガスの液化が抑制される。

40

【 0 1 1 9 】

第1～第4の実施形態の方法は、ガス供給系100A又はガス供給系100Bを有するプラズマ処理装置10Aを用いて実行することも可能である。第1～第4の実施形態の方法の実行においてガス供給系100Aが用いられる場合には、開閉バルブV2Cの代わりに開閉バルブV21A、開閉バルブV22A、開閉バルブV23Aが用いられ、開閉バルブV3Cの代わりに開閉バルブV3Aが用いられ、コントロールバルブCVの代わりに流量制御器FC2A及び開閉バルブV2Aが用いられる。第1～第4の実施形態の方法の実行においてガス供給系100Bが用いられる場合には、開閉バルブV2Cの代わりに開閉バルブV22Bが用いられ、開閉バルブV3Cの代わりに開閉バルブV3Bが用いられ、

50

コントロールバルブCVの代わりに流量制御器FC2B及び開閉バルブV21Bが用いられる。

【0120】

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、上述した実施形態のプラズマ処理装置は、容量結合型のプラズマ処理装置であったが、変形態様のプラズマ処理装置は、誘導結合型のプラズマ処理装置、マイクロ波といった表面波を用いるプラズマ処理装置といった任意のタイプのプラズマ処理装置であってもよい。

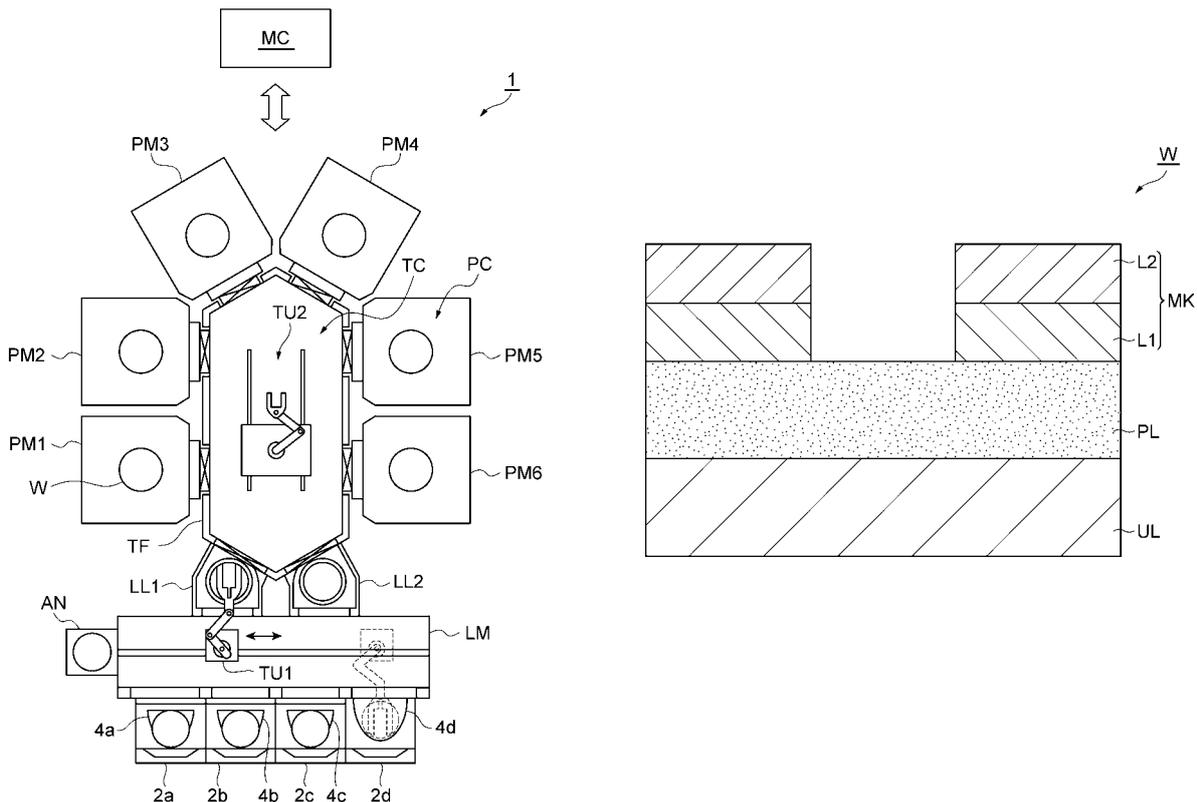
【符号の説明】

【0121】

1...処理システム、TF...搬送モジュール、TC...搬送チャンバ、MC...制御部、10A, 10C...プラズマ処理装置、12...チャンバ本体、12c...チャンバ、16...ステージ、18...下部電極、18f...流路、20...静電チャック、30...上部電極、50...排気装置、62...第1の高周波電源、64...第2の高周波電源、HTC...ヒータ、100A...ガス供給系、GS1, GS2...ガスソース、L1A, L11A, L12A, L13A...流路(第1の流路)、L2A, L21A, L22A, L23A...流路(第2の流路)、L3A...流路(第3の流路)、V21A, V22A, V23A...開閉バルブ(第1の開閉バルブ)、V3A...開閉バルブ(第2の開閉バルブ)、HJA...ヒータ、100B...ガス供給系、L1B, L11B, L12B, L13B...流路(第1の流路)、L2B...流路(第2の流路)、L3B...流路(第3の流路)、V22B...開閉バルブ(第1の開閉バルブ)、V3B...開閉バルブ(第2の開閉バルブ)、HJB...ヒータ、100C...ガス供給系、L1C...流路(第1の流路)、L2C...流路(第2の流路)、L3C...流路(第3の流路)、CV...コントロールバルブ、V2C...開閉バルブ(第1の開閉バルブ)、V3C...開閉バルブ(第2の開閉バルブ)、OL1...オリフィス部材、OL2...オリフィス部材、HJC...ヒータ、W...被加工物、MK...マスク、PL...多孔質膜。

【図1】

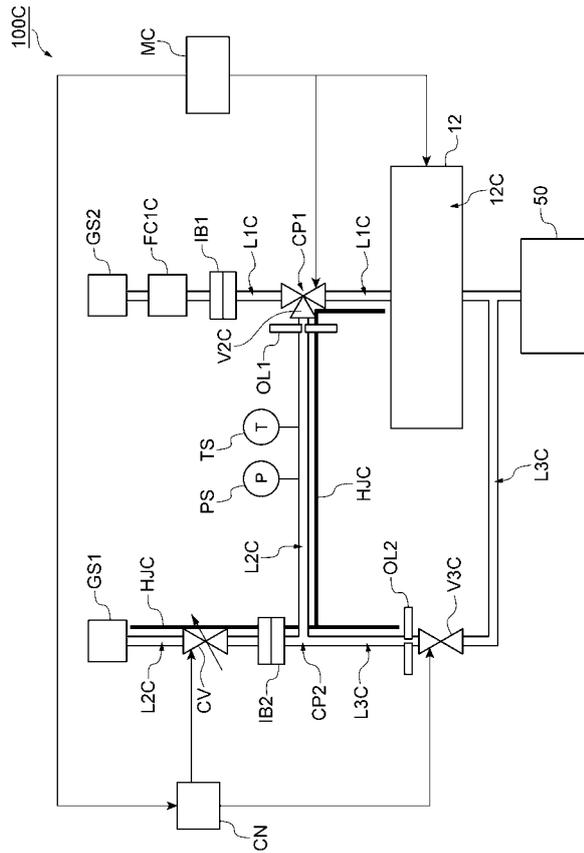
【図2】



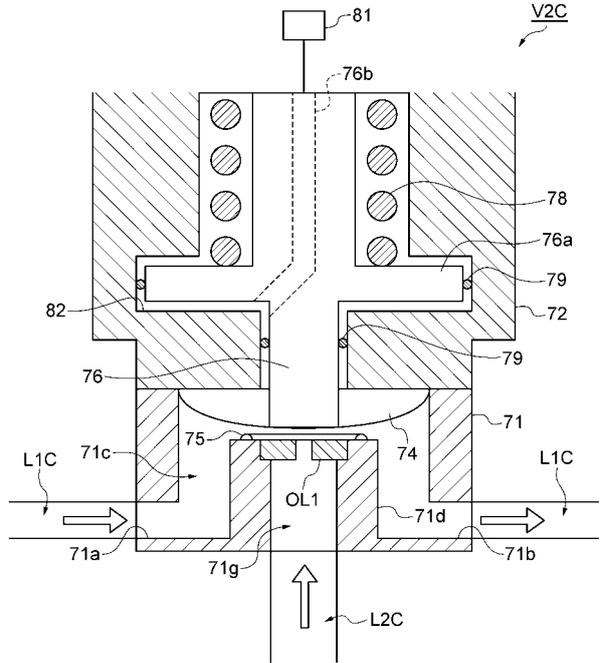
10

20

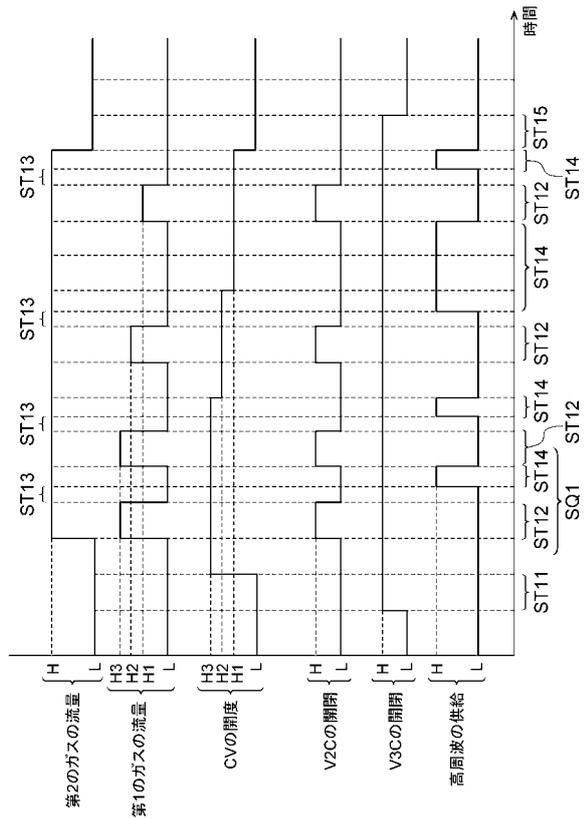
【 図 7 】



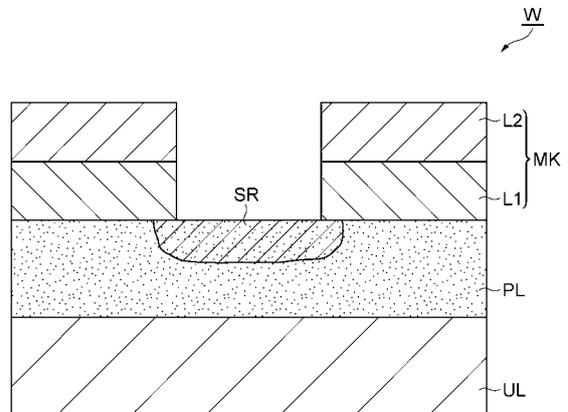
【 図 8 】



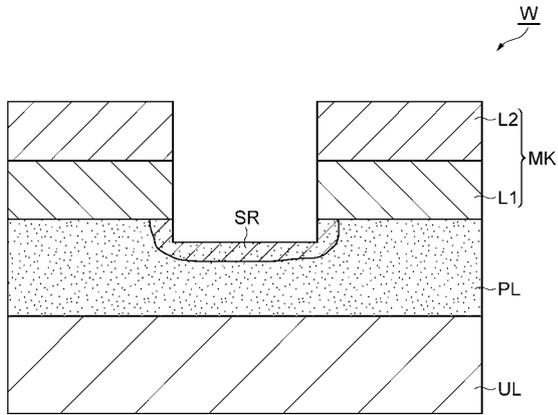
【 図 9 】



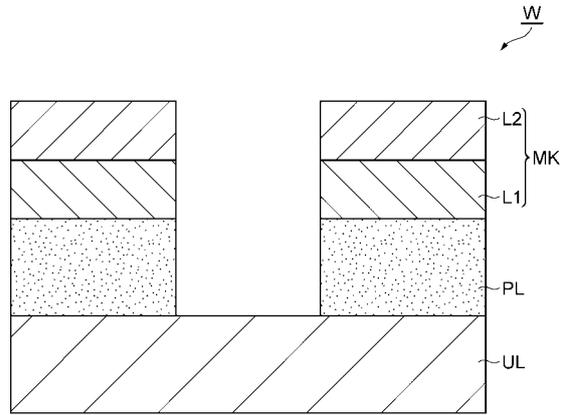
【 図 10 】



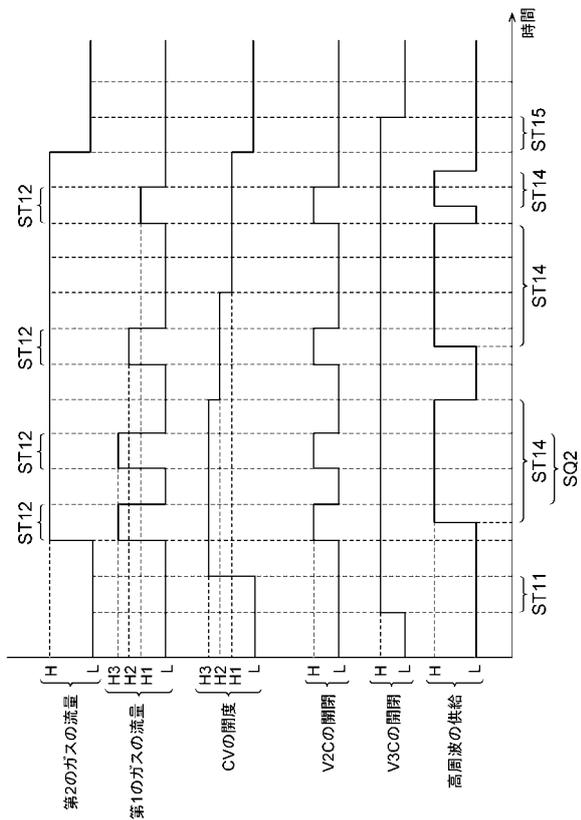
【図 1 1】



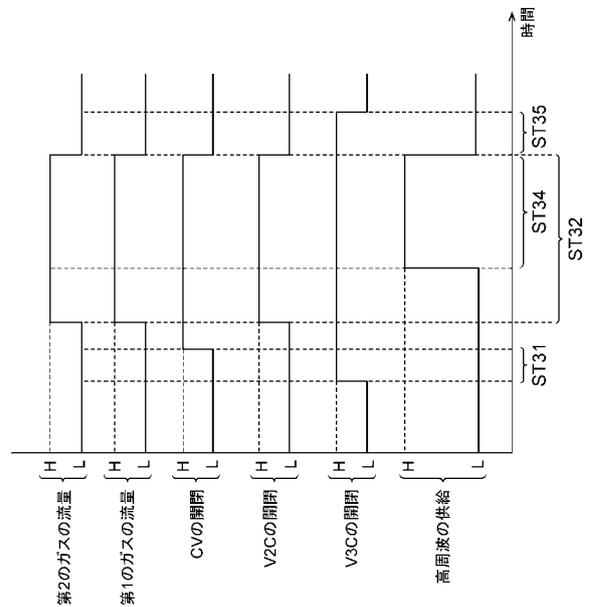
【図 1 2】



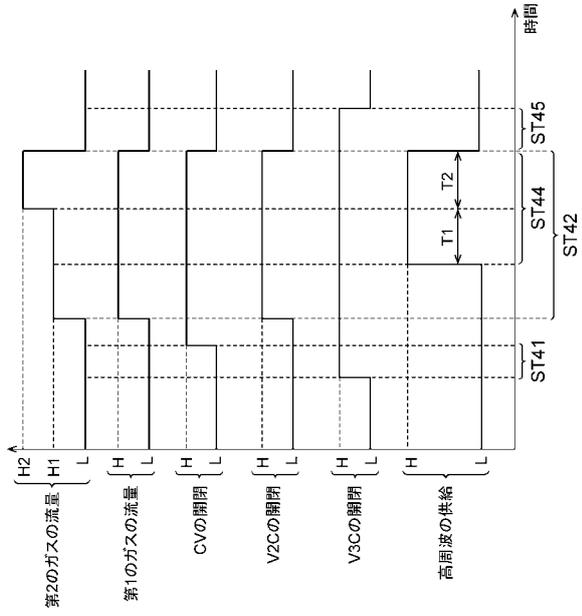
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G084 AA02 BB21 CC05 CC12 CC13 CC14 CC33 DD02 DD15 DD23
DD24 DD37 DD38 DD55 FF13 FF15 FF20 FF33
5F004 AA16 BA09 BB22 BB23 BB25 BB26 BB28 BC03 BD03 CA04
CA06 DA00 DA01 DA17 DA22 DA23 DA26 DB00