

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6541406号
(P6541406)

(45) 発行日 令和1年7月10日(2019.7.10)

(24) 登録日 令和1年6月21日(2019.6.21)

(51) Int.Cl.

F 1

HO5H	1/46	(2006.01)
HO1L	21/3065	(2006.01)
C23C	16/455	(2006.01)
C23C	16/511	(2006.01)

HO5H	1/46	A
HO1L	21/302	101G
C23C	16/455	
C23C	16/511	

請求項の数 3 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2015-86682 (P2015-86682)
(22) 出願日	平成27年4月21日 (2015.4.21)
(65) 公開番号	特開2016-207409 (P2016-207409A)
(43) 公開日	平成28年12月8日 (2016.12.8)
審査請求日	平成29年12月13日 (2017.12.13)

(73) 特許権者	501387839 株式会社日立ハイテクノロジーズ 東京都港区西新橋一丁目24番14号
(74) 代理人	110000350 ポレール特許業務法人
(72) 発明者	田中 基裕 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内
(72) 発明者	園田 靖 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内
(72) 発明者	安井 尚輝 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマを用いて被処理物が処理される処理室と、

前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、

前記被処理物が載置される試料台と、

第1ガスと第2ガスを含む処理ガスを前記処理室に供給するガス供給装置と、

前記ガス供給装置を制御する制御装置と、を備え、

前記ガス供給装置は、第1マスフローコントローラと前記第1マスフローコントローラよ

り前記処理室側に配置された第1バルブとが配置され前記第1ガスが流れる第1配管と、

第2マスフローコントローラと前記第2マスフローコントローラより前記処理室側に配置

された第2バルブとが配置され前記第2ガスが流れる第2配管と、を具備し、

前記制御装置は、前記処理室に供給するガスを時刻T1に前記第1ガスから前記第2ガス

に切り替える場合、前記T1よりもTc秒前に前記第2バルブを閉とした状態で前記第2

マスフローコントローラを所定の流量値に設定し、前記第2バルブを前記T1に開とし、

前記第1配管と前記第2配管は、第3配管を介して前記処理室に接続され、

前記Tcは、プラズマの発光を用いて求められることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】

プラズマを用いて被処理物が処理される処理室と、

前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、

前記被処理物が載置される試料台と、

10

20

第1ガスと第2ガスを含む処理ガスを前記処理室に供給するガス供給装置と、
前記ガス供給装置を制御する制御装置と、を備え、

前記ガス供給装置は、第1マスフローコントローラと前記第1マスフローコントローラよ
り前記処理室側に配置された第1バルブとが配置され前記第1ガスが流れる第1配管と、
第2マスフローコントローラと前記第2マスフローコントローラより前記処理室側に配置
された第2バルブとが配置され前記第2ガスが流れる第2配管と、を具備し、
前記制御装置は、前記処理室に供給するガスを時刻T1に前記第1ガスから前記第2ガス
に切り替える場合、前記T1よりもTc秒前に前記第2バルブを閉とした状態で前記第2
マスフローコントローラを所定の流量値に設定し、前記第2バルブを前記T1に開とし、
前記第1配管と前記第2配管は、第3配管を介して前記処理室に接続され、

前記Tcは、前記処理室の圧力が所定の値となるように前記第2ガスを前記処理室に供給
した時ににおける、前記第3配管および前記処理室を満たすのに必要な前記第2ガスの量を
用いて求められ、

前記第2配管の容積は、前記T1における前記第2配管内の圧力が前記第2マスフローコントローラの動作範囲の圧力を超えない容積であるとともに前記第2ガスの流量と前記Tcに基づいて30～3000mm³の範囲内から選択された容積であることを特徴とする
 プラズマ処理装置。

【請求項3】

プラズマを用いて被処理物が処理される処理室と、

前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、

前記被処理物が載置される試料台と、

第1ガスと第2ガスを含む処理ガスを前記処理室に供給するガス供給装置と、
 前記ガス供給装置を制御する制御装置と、を備え、

前記ガス供給装置は、第1マスフローコントローラと前記第1マスフローコントローラよ
 り前記処理室側に配置された第1バルブとが配置され前記第1ガスが流れる第1配管と、
 第2マスフローコントローラと前記第2マスフローコントローラより前記処理室側に配置
 された第2バルブとが配置され前記第2ガスが流れる第2配管と、を具備し、

前記制御装置は、前記処理室に供給するガスを時刻T1に前記第1ガスから前記第2ガス
 に切り替える場合、前記T1よりも(Tc-T2)秒前、前記第2バルブを閉とした状態で前
 記第2マスフローコントローラを所定の流量値に設定し、前記第2バルブを前記T1に開
 とし、

前記第1配管と前記第2配管は、第3配管を介して前記処理室に接続され、

前記Tcは、前記処理室の圧力が所定の値となるように前記第2ガスを前記処理室に供給
 した時ににおける、前記第3配管および前記処理室を満たすのに必要な前記第2ガスの量を
 用いて求められ、

前記T2は、前記第2マスフローコントローラを用いて前記第2配管を充填した場合の充
 填圧力の時間変化と、ガス供給開始前の待機時間中に前記第2マスフローコントローラか
 ら漏れ出したガスによる前記第2配管内の圧力が前記T1より前記Tc秒前に検知された
 前記第2配管内の圧力であった場合の充填圧力の時間変化と、前記第2配管の充填圧力の
 目標値と前記T1より前記Tc秒前に検知された前記第2配管内の圧力との差と、を用い
 て求められることを特徴とするプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、半導体製造のエッチング工程に、処理室を含む真空容器や高周波電源を含むプラ
 ズマ発生装置を備えたプラズマ処理装置が用いられてきた。このプラズマ処理装置は真空
 である処理室内に反応性ガスを導入し、さらにこの処理室に高周波電力（以下、ソース電

10

20

30

40

50

力)を印加することでプラズマを生成し, 前記処理室内に配置された下部電極の上に置かれた被処理材(例えばシリコンウェハ)をエッティングする。

【0003】

前記下部電極は, バイアス電力を印加することでエッティング速度, エッティング形状を制御可能である。このエッティング性能を決めるパラメータは, マスフローコントローラによって制御される反応性ガスの種類とその組み合わせ及びそれらの流量と, 前述のソース電力によって決定されるプラズマ密度, バイアス電力によって決定されるイオンエネルギーや, 真空処理室内の圧力, ウェハ温度などである。

【0004】

被処理ウェハは, 所望のデバイス性能を満たす加工形状を得る目的から多層膜となっており, これを処理するレシピと呼ばれる処理条件は各層毎に最適化された複数のステップからなる。また近年, 半導体デバイスの微細化や構造の3次元化に伴い, 薄膜化および多層膜化はさらに進む傾向にある。異なるガス条件を用いるステップ間の切り替えでは, ガスの混合を防ぐためにステップ間で真空処理室を排気する場合がある。この排気動作には数秒を要するため, ステップ毎に繰り返されることによりスループットを低下させる虞がある。

【0005】

一方, ステップ間でプラズマを維持する場合もあり, ステップ間で真空処理室を排気することを省略し, マスフローコントローラの動作により供給するガスを切り替えることによってスループットの向上が可能である。この場合, 後続ステップ初期の一定期間, 先行ステップで用いたガスが混合したプラズマにウェハが曝されることなり, この過渡状態のプラズマが処理形状に影響を与え, 所望のエッティング性能が得られない可能性があった。また, 後続ステップの開始時刻からそのステップで用いるガスの供給動作を行うため, ガスが真空処理室に到達するまで有限の時間有し, ガス条件の切り替えとプラズマ生成条件やバイアス電力の切り替えとに時間差が生じ, その影響によって所望のエッティング性能が得られない虞があった。なお, ステップ間でガス供給の切り替えを高速化する技術として特許文献1, 2がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2007-281225号公報

【特許文献2】特表2010-510669号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

半導体製造のエッティング工程では, 様々な材料からなる積層膜が表面に成膜されたシリコンウェハを, 真空処理室内に導入された反応性ガスに高周波を印加することで生成されたプラズマに曝し, 積層膜最上部のマスク層に露光・現像された回路パターンを下層に転写させる。前記積層膜の各層の加工に最適なプラズマ処理条件は異なるため, エッティング処理はそれぞれ異なる組み合わせの反応ガスを用いた複数のステップから成る。

【0008】

各ステップ間ではリアクタ(処理室)内のガスを置換する必要がある。これは前ステップで使用したガスの残留がエッティング性能に影響を与えるのを避けるためであり, ステップ間で真空処理室をほぼ完全に排気したのち, 次のステップで用いるガスを導入する動作を行う。しかしながら, このステップ間の排気とそれに続くガス導入の所要時間が総処理時間に占める割合は必ずしも小さなものではなく, スループット低下の原因となるという問題があった。

【0009】

これを解決するために, ステップ間でプラズマを維持し, 連続プラズマとする技術がある。しかしながら, この場合, マスフローコントローラによるガス流量制御応答速度が1

10

20

30

40

50

秒程度であり、またマスフローコントローラと真空処理室間のガス配管の体積・コンダクタンスによってガス供給が遅延するため、ガスの置換には数秒の時間を要し、またその間、前ステップで使用したガスと次ステップで使用するガスが混合した状態のプラズマが生成されることになり、この過渡状態のプラズマが加工形状に与える影響は、多くの場合無視できないものであり、結果として加工形状のばらつきや加工性能の低下をもたらすという問題があった。

【0010】

本発明の目的は、様々な材料からなる積層膜をプラズマ処理するような場合であっても、スループットの低下や加工形状のばらつき、加工性能の低下を抑制可能なプラズマ処理装置を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明では、上記目的を達成するための一実施形態として、被処理物を処理する処理室と、

前記処理室内に配置され前記被処理物を載置するための試料台と、

前記処理室に第1ガスと第2ガスを含む複数の処理ガスを供給するガス供給装置と、

前記処理ガスをプラズマ化するプラズマ生成手段と、

前記ガス供給装置を制御するガス供給制御装置と、を有し、

前記ガス供給装置は、

第1マスフローコントローラと前記処理室側に配置された第1ストップバルブとを備えた第1ガス用の第1配管と、

20

第2マスフローコントローラと前記処理室側に配置された第2ストップバルブとを備えた第2ガス用の第2配管とを含み、

前記ガス供給制御装置は、

時刻T1において前記処理室に供給する第1ガスを第2ガスに切り替える際に、

時刻T1よりもTc秒前に前記第2ストップバルブを閉としたまま前記第2マスフローコントローラを所定の流量値に設定し、

時刻T1において前記第2ストップバルブを開とるように制御するものであることを特徴とするプラズマ処理装置とする。

【0012】

30

また、被処理物を処理する処理室と、

前記処理室内に配置され前記被処理物を載置するための試料台と、

前記処理室に第1ガスと第2ガスを含む複数の処理ガスを供給するガス供給装置と、

前記処理ガスをプラズマ化するプラズマ生成手段と、

前記ガス供給装置を制御するガス供給制御装置と、を有し、

前記ガス供給装置は、

第1マスフローコントローラと前記処理室側に配置された第1ストップバルブとを備えた第1ガス用の第1配管と、

第2マスフローコントローラと前記処理室側に配置された第2ストップバルブと圧力計を備えた第2ガス用の第2配管とを含み、

40

前記ガス供給制御装置は、

時刻T1において前記処理室に供給する第1ガスを第2ガスに切り替える際に、

時刻T1よりもTc秒前に前記圧力計により前記第2配管内の圧力を計測し、その計測値に基づいて求めたガス充填開始の遅れ時間T2秒だけTc秒から遅れて前記第2ストップバルブを閉としたまま前記第2マスフローコントローラを所定の流量値に設定し、

時刻T1において前記第2ストップバルブを開とるように制御するものであることを特徴とするプラズマ処理装置とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、様々な材料からなる積層膜をプラズマ処理するような場合であっても

50

，スループットの低下や加工形状のばらつき，加工性能の低下を抑制可能なプラズマ処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の各実施例に係るプラズマ処理装置（プラズマエッティング装置）の概略全体構成図（一部断面図）である。

【図2】本発明の第1の実施例に係るプラズマエッティング装置におけるガス供給装置の一例を示す構成図である。

【図3】図2に示すガス供給装置における供給ガス切り替え動作手順を示す図である。

【図4】本発明の第1の実施例に係るプラズマ処理装置における効果（ガス供給高速化）10の一例を説明するための発光強度の時間依存性を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施例に係るプラズマエッティング装置におけるガス供給装置の一例を示す構成図である。

【図6】図5に示すガス供給装置を用いた場合のガス充填時間調整法を説明するための配管内圧力の時間依存性を示す図である。

【図7】図5に示すガス供給装置へ図6を用いて説明したガス充填時間調整法を適用した場合のガス供給フローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下，本発明の各実施例に係るプラズマ処理装置について，図1を用いて説明する。図1は各実施例に係るプラズマ処理装置の概略全体構成図であり，特に，真空処理室周りの構成については縦断面図で示す。20

【0016】

本プラズマ処理装置において，プラズマソース用電源，例えばマイクロ波源101から発振されたマイクロ波は方形導波管102を用いて伝送され，方形円形導波管変換器103により，円形導波管104に接続される。自動整合器105により反射波を自動的に抑制することができる。マイクロ波源としては例えば，発振周波数2.45GHzのマグネットロンを用いた。

【0017】

円形導波管104は空洞共振部106に接続される。空洞共振部106はマイクロ波電磁界分布をプラズマ処理に適した分布に調整する働きを持つ。30

【0018】

空洞共振部106の下部にはマイクロ波導入窓107，シャワープレート108を介して真空処理室109がある。真空処理室109に導入されたマイクロ波と，ソレノイドコイル110によって形成される磁界のECR共鳴によって，処理室内に反応性ガスのプラズマが形成される。

【0019】

ECR共鳴とは，前記ソレノイドコイルが生成する磁界（静磁界）の磁力線に沿って電子が回転しながら移動するところに，その回転の周期に対応した周波数のマイクロ波がプラズマに入射することで電子を選択的に加熱することを言い，プラズマの効果的な加熱法である。また，静磁界を用いる他の利点として，静磁界の分布を変化させることでECR共鳴が発生する位置を制御することが出来，プラズマ発生領域を制御することができる。さらにプラズマは磁力線に対して垂直な方向に拡散が抑制されることが知られており，プラズマの拡散を制御し，プラズマの損失を低減することができる。これらの効果により，プラズマの分布を制御することができ，従ってプラズマ処理の均一性を高めることができる。電磁石に通電する電流を変えることで，静磁界の分布を制御することができる。40

【0020】

ガス源111から供給される反応性ガスは，ガス供給装置112内でその流量を制御され，試料台たる下部電極114に対向する面に設置されたシャワープレート構造108を介して，真空処理室109に導入される。図1に示しているガス供給装置112には，各50

実施例における流量制御の高精度化のためのガス供給制御装置 113 が接続されている。処理室内ガスはターボ分子ポンプ(以下 TMP)115 から排気され TMP 上流部に設けられた排気コンダクタンス調整弁 116 は圧力計 122 の測定値を用いてフィードバック制御され、処理室内圧力を制御する。

【0021】

被処理材、例えばシリコンウェハ(以下、単にウェハと記す)は静電吸着により下部電極 114 に吸着保持可能である。さらに、下部電極 114 に RF 電源 117 よりプラズマソース用電源(マイクロ波源 101)の周波数より低い、例えば周波数 400 kHz の RF 波が整合器 118 を介して印加されることにより処理性能の制御、処理速度の向上が可能である。

10

【0022】

分光器 120 は光ファイバ 121 によって真空処理室 109 に接続され、真空処理室 109 内に生成されたプラズマの発光を分光し、波長毎の強度を記録可能であり、また分光器は制御コンピュータ 119 に接続され、制御コンピュータ 119 は分光器が検出したプラズマ発光の変化の特徴を抽出してエッチングの終点を判定し処理を終了させる機能を持つ。

【0023】

真空処理室 109、下部電極 114、TMP 115 はそれぞれ略円筒形であり、その円筒の軸を同一とする。下部電極は処理室に梁によって支持されている。

【0024】

以上の構成は全て制御コンピュータ 119 に接続され(配線は図示せず)、適切なシーケンスで動作するようそのタイミング、動作量をコントロールされる。動作シーケンスの詳細パラメータはレシピと呼ばれ、予め設定されたレシピに基づいた動作がなされる。

20

【0025】

プラズマエッチングは複数の積層膜を、その形状を制御しながらエッチングするため、レシピは、エッチング対象となる膜の化学組成やエッチング深さに応じて最適化された、複数のステップによって構成されている。

【実施例 1】

【0026】

本実施例では、真空処理室内 109 内のガスを高速に置換可能な機能を有したプラズマエッチング装置の例について図 2 ~ 図 4 を用いて説明する。図 2 は本実施例に係るプラズマエッチング装置におけるガス供給装置 112 内部の代表的構成図の例である。ガス供給装置 112 はバルブ 201、マスフローコントローラ 202、ストップバルブ 204 を有し、マスフローコントローラ 202 とストップバルブ 204 はガス配管 205 によって接続されている。これら一連のガス制御部品による一系統の構成が一種のガス流量を制御し、ガス供給装置 112 内には所望の系統数のガス制御部品構成を備えられている。マスフローコントローラの前後に配置されたバルブ 201 およびストップバルブ 204 はガス供給を開始または停止を制御する目的で用いられる。マスフローコントローラ 202 で流量を制御されたガスはガス供給装置 112 内で一本のガス集合配管 206 に集合し、ガス集合配管 206 は真空処理室 109 に接続されている。

30

【0027】

本実施例におけるガス供給シーケンスについて図 3 を用いて説明する。この例はガス A が供給されるステップに続きガス B を供給するステップが実行されるものである。図中の T_1 がステップ切り替え時刻である。ガス A はステップ終了時刻である T_1 まで供給され続け、時刻 T_1 に至るとガス A に対応するマスフローコントローラ 202 の流量設定値が 0 に設定され(図 3 の「ガス A 流量設定値」参照)、同時にガス A に対応するストップバルブ 204 が閉とされる(「ガス A ストップバルブ」参照)。

【0028】

後続ステップで用いるガス B に対応するマスフローコントローラ 202 には、ステップ切り替え時刻 T_1 に先立って時刻 T_0 でその流量設定値が設定され(「ガス B 流量設定値

40

50

」参照），ガス B に対応するストップバルブ 204 を閉としたまま（「ガス B ストップバルブ」参照），設定流量を供給し（「ガス B 流量」参照），ガス配管 205 の内部にガスを充填する。前記のガス B の流量設定値は後続ステップで用いるガス B の流量と等しい。時刻 T_0 から時刻 T_1 の間のガス配管 205 へのガス供給によって，ガス B のガス配管 205 内圧力が上昇する（「配管内ガス B 圧力」参照）。

【0029】

時刻 T_1 においてガス B に対応するストップバルブ 204 が開とされ，前記のガス配管 205 内の充填圧力がストップバルブ 204 の下流側の圧力よりも大きければ，ガス B に対応するストップバルブ 204 を開とすることによって，ガス B は真空処理室に接続されるガス配管 206 内に放出され，そのガス流量波形はストップバルブ 204 を開とした直後に最も大流量となり，速やかに定常流量に落ち着くようなパルス状波形となる（「実際の出力流量」参照）。瞬間に大流量のガス B が放出されることによって，ガス配管 206 内および真空処理室内に残留するガス A を TMP に向けて押し込むことになり，ガス A の排気を促進し，同時に迅速なガス B への置換がなされる。

10

【0030】

図 4 は図 3 に示したガス供給シーケンスを適用した場合のガス置換の様子を，分光器を用いてプラズマ発光により計測した結果である。ガス A からガス B へのガス置換において，ガス B をプラズマ化した際の発光に特徴的な波長を選択し図示した。図 4 に示した時刻 T_1 は図 3 と同様ステップ切り替えの時刻を表している。図中の符号 401 は通常のガス置換の場合の発光強度の時間変化を示し，それに対し，符号 402 および符号 403 は本実施例のガス供給シーケンスを適用した場合のものであって，符号 403 は符号 402 に対してガス配管 205 へのガス充填時間を 2 倍にしたものである。この結果から，本実施例のガス供給シーケンス適用によりガス置換の高速化が実現可能であり，この効果の程度はガス充填時間によって調整可能であることがわかる。

20

【0031】

図 4 の結果から，充填時間を長くするほどガス置換は速くなるが，発光の変化にオーバーシュートが見られる。これはステップ切り替え後に真空処理室 109 に過剰な流量のガス B が流入したことを示唆しており，処理性能最適化のために調整する必要がある場合がある。本実施例におけるガス導入手法を用いた場合のガス流量波形は，ガス配管 205 の容積と，ガス充填時間によって制御される時刻 T_1 におけるガス配管 205 内圧力によって最適化可能である。前記の時刻 T_1 におけるガス配管 205 内圧力は，ガス配管 205 の容積と充填時間 ($T_1 - T_0$) によって決まり，時刻 T_1 におけるガス配管 205 内圧力とガス配管 205 の容積によって，ストップバルブ 204 を開とした後の最大流量とその後のガス流量の減少する時定数が決まる。

30

【0032】

また，マスフローコントローラ 202 はその上流側と下流側の差圧が十分でないと動作することができず，ガス配管 205 内圧力は，マスフローコントローラ 202 が許容する範囲内でなくてはならない。これらを満たすガス配管 205 容積は， $30 \sim 3000 \text{ mm}^3$ の範囲であって，使用するガス流量と必要なガス充填時間に応じて最適な容積を選べばよい。

40

【0033】

ガスの充填時間は，使用する条件のガス種とガス流量を連続して真空処理室 109 に供給したときの真空処理室 109 内圧力を所望の値としたときに，ガス供給装置 112 と真空処理室とを接続するガス配管 206 と真空処理室 109 を満たすのに必要なガスの量から決めればよく，真空処理室容積と真空処理室内のガス圧力，およびガス供給装置 112 とガス配管 206 の容積とそのガス配管内圧力から算出することが可能である。ガス配管 206 内の圧力は，ガス流量とガス配管のコンダクタンスから推定可能である。

【0034】

または，ガスの充填時間は，従来の手法におけるガス置換の所要時間としてもよい。このガス置換の所要時間は，前述の所定ガス流量でガス配管 206 と真空処理室 109 を満

50

たすのに要した時間であって、その時刻までのガス流量の積算値は前述のガス配管 206 と真空処理室 109 を満たすのに必要なガス量に等しいとみなせる。このガス置換の所要時間を得るには、図 4 に示したプラズマの発光や、プラズマの電気的インピーダンス等の変化を測定すればよい。

【0035】

ガス配管 205 の容積は、前記のガスの充填時間中に、ガス配管 205 内の圧力がマスフローコントローラ 202 の動作範囲を超えて上昇しない十分な容積とすればよい。

【0036】

上記のガス充填時間およびガス配管 205 容積の最適化方法は、ガス B が 1 種のガスからなる場合を例としたが、複数のガスからなる場合のガスの充填時間を決定するにはガスの総流量を用いれば同じ方法で最適化が可能である。またそれぞれのガス種に対応したそれぞれのガス配管 205 容積の決定には、それぞれのガス種の流量を用いて、ガス配管 205 内圧力がマスフローコントローラ 202 の動作範囲を超えることのない容積とすればよい。

10

【0037】

ガス供給装置として図 2 に示す構成を有し、図 1 に示すプラズマエッティング装置を用い、図 3 に示す手順に従って材料の異なる積層膜を有する基板を処理した結果、ステップ間でプラズマを維持しながらガスを置換するような場合において、プラズマが前後のステップで用いるガスの混合ガスからなるような過渡状態である時間が最小となるため、連続プラズマを適用することによる加工形状への影響が最小となり、連続プラズマとした際であってもエッティング性能を維持することができた。また、ステップ間で真空処理室をほぼ完全に排気したのち、次のステップで用いるガスを導入する場合、ガス置換のための待ち時間が最小となるため、高スループットを実現することができた。

20

【0038】

以上本実施例によれば、様々な材料からなる積層膜をプラズマ処理するような場合であっても、スループットの低下や加工形状のばらつき、加工性能の低下を抑制可能なプラズマ処理装置を提供することができる。

【実施例 2】

【0039】

第 2 の実施例に係るプラズマ処理装置について図 5 ~ 図 7 を用いて説明する。なお、実施例 1 に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

30

【0040】

実際のマスフローコントローラ 202 は、その構造上流量設定値をゼロとしても流量制御弁は完全にガスを遮断することができず、極めて微小ではあるもののガスが流れ続ける場合がある。このようなマスフローコントローラを用いると、ガス供給開始前の待機中にガス配管 205 内には時間とともにガスが少しずつ充填され、実施例 1 に記載のガス供給手法を用いる場合の、動作開始時点でのガス配管 205 内圧力がばらつく虞があり、それに伴い時刻 T_1 での充填圧やその後の流量波形のばらつきの要因となる場合がある。

【0041】

40

図 5 は本実施例に係るプラズマエッティング装置におけるガス供給装置の一例を示す構成図である。本ガス供給装置 112 は、前記の充填圧ばらつきを抑制するための機構、具体的には、図 2 に示したガス供給装置に対し、ガス配管 205 部の圧力を測定する圧力計 203 を備えたものである。すでに説明した図 2 に示された同一の符号を付された構成と、同一の機能を有する部分については、説明を省略する。

【0042】

図 5 に示すガス供給装置を用いて充填圧力をばらつきを抑制する手法について図 6 を用いて説明する。図中の符号 601 はマスフローコントローラ 202 を用いてガス配管 205 へのガス充填を行った場合の、典型的な充填圧力の時間変化の例を示しており、ガス配管 205 の初期圧力は、最終的な充填圧力に比較して無視できるほど十分小さい場合であ

50

る。ガス充填を予め決められた時刻 T_1 まで行ったときの充填圧力の到達目標値を P_1 とする。

【0043】

次にガス供給動作前の待機時間中にマスフローコントローラ 202 から漏れ出たガスによるガス配管 205 内圧力が P_0 であった場合の充填圧力の時間変化は図中の符号 602 に示したようになる。マスフローコントローラ 202 の上流側と下流側との差圧が十分であればガス流量の時間変化は再現するので、縦軸に示された圧力に関して符号 602 で示した曲線は符号 601 で示した曲線を上方向に平行移動した曲線と同じ形状を有する。

【0044】

ガス供給の高い再現性を得るために初期圧力に関わらず、ガス充填後の時刻 T_1 において充填圧が P_1 に到達するように制御する必要があるが、ガス流量は固定とし、ガス充填開始を適切な時間だけ遅らせることによって、それを実現することが可能である。一方でガス充填時間中だけガス流量設定値を変化させるような手法では、応答遅れによってステップ切り替え後の供給ガス流量が安定せず、それがプロセス性能に影響する虞がある。

【0045】

そこで本実施例ではガス充填開始を適切な時間だけ遅らせることとした。前述したようにマスフローコントローラ 202 で制御されて吐出されるガス流量波形はガス配管 205 内初期圧力の影響を受けないので、符号 602 が示す曲線において初期圧力 P_0 から目標圧力 P_1 まで、すなわち $P_1 - P_0$ だけ昇圧するのに必要な充填時間は、符号 601 が示す曲線においておよそ 0 の初期圧力から $P_1 - P_0$ まで昇圧するのに必要な充填時間と等しい。よって、充填開始時点の圧力計 203 の値 P_0 を用いて、予め取得された 601 の曲線から $P_1 - P_0$ を交差する時刻 $T_1 - T_2$ を算出し、この T_2 をガス充填開始の遅れ時間としてマスフローコントローラを動作させればよい。

【0046】

各ガスに対応したマスフローコントローラによる充填圧力の時間変化のデータは図 1 に示したプラズマ処理装置におけるガス供給制御装置 113 に格納することができる。また、ガス供給制御装置 113 は、ガス種それぞれの充填動作開始時刻オフセット値 T_2 の計算機能と、マスフローコントローラ 202 およびストップバルブ 204 の制御機能とガス充填時間タイマーとを有し、制御コンピュータ 119 からの制御信号を元にガス種毎の動作タイミング調整を行う。

【0047】

図 7 は図 5 に示すガス供給装置へ図 6 を用いて説明したガス充填時間調整法を適用した場合のガス供給フローチャートであって、ガス A からガス B への置換を行う場合のものである。図 3 に記載のガス充填開始時刻 T_0 およびステップ切り替え時刻 T_1 を用い、ガス充填時間 $T_c = T_1 - T_0$ とする。

【0048】

ガス A 用のマスフローコントローラは所定のガス流量値が設定され、ガス A 用のストップバルブは開、ガス B 用のマスフローコントローラの流量はゼロに設定され、ガス B 用のストップバルブは閉の状態でガス A での処理が実行される (S1)。

【0049】

ガス A での処理が終了する時刻の T_c 秒前になったことを判定すると (S2)、ガス供給制御装置 113 内の充填時間制御タイマーがゼロにセットされ、その後の経過時間をカウントする (S3)。同時に B ガス用のガス配管 205 内圧力を圧力計 203 から取得し (S4)、前述の手法によって充填動作開始時刻のオフセット値 T_2 を得る (S5)。

【0050】

充填時間制御タイマーの値が T_2 となったことが判定されると (S6)、ガス B 用のマスフローコントローラ 202 には所定の流量値が設定され、ガス B 用のマスフローコントローラ 202 はガス B の配管 205 内にガス供給を開始する (S7)。このとき、ガス A 用のマスフローコントローラは所定のガス流量値が設定され、ガス A 用のストップバルブは開、ガス B 用のストップバルブは閉の状態のままである。

10

20

30

40

50

【0051】

その後，充填時間制御タイマー値が T_c となると(S8)，ガスB用のマスフローコントローラ202には所定の流量値が設定されたままの状態で，ガスA用のマスフローコントローラ202の流量値をゼロに設定すると共にガスA用のストップバルブを閉，ガスB用のストップバルブ204を開とし(S9)，ガスBでの処理を開始・実行する(S10)。なお，S9において，ガスB用のマスフローコントローラ202の流量値は，S7で設定した値とは異なる値とすることもできる。

【0052】

ガス供給装置として図5に示す構成を有し，図1に示すプラズマエッティング装置を用い，図7に示す手順に従って材料の異なる積層膜を有する基板を処理した結果，ステップ間でプラズマを維持しながらガスを置換するような場合において，プラズマが前後のステップで用いるガスの混合ガスからなるような過渡状態である時間が最小となるため，連続プラズマを適用することによる加工形状への影響が最小となり，連続プラズマとした際であってもエッティング性能を維持することができた。また，ステップ間で真空処理室をほぼ完全に排気したのち，次のステップで用いるガスを導入する場合，ガス置換のための待ち時間が最小となるため，高スループットを実現することができた。

10

【0053】

以上本実施例によれば，流量値をゼロに設定してもガスが完全には遮断されずリークするようなマスフローコントローラを用いて様々な材料からなる積層膜をプラズマ処理するような場合であっても，スループットの低下や加工形状のばらつき，加工性能の低下を抑制可能なプラズマ処理装置を提供することができる。

20

【0054】

なお，本発明は上記した実施例に限定されるものではなく，様々な変形例が含まれる。例えば，上記した実施例において，マイクロ波ECR放電を利用したエッティング装置を例に説明したが，他の放電(有磁界UHF放電，容量結合型放電，誘導結合型放電，マグネットロン放電，表面波励起放電，トランスファー・カップルド放電)を利用したドライエッティング装置においても同様の作用効果がある。また上記各実施例では，エッティング装置について述べたが，プラズマ処理を行うその他のプラズマ処理装置，例えばプラズマCVD装置またはプラズマPVD装置についても同様の作用効果がある。また，ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることも可能であり，また，ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また，各実施例の構成の一部について，他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

30

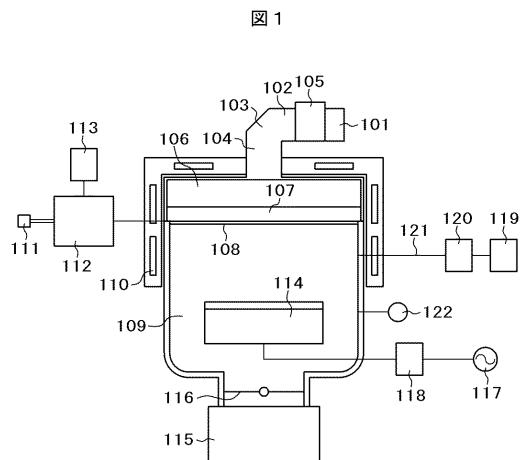
【符号の説明】

【0055】

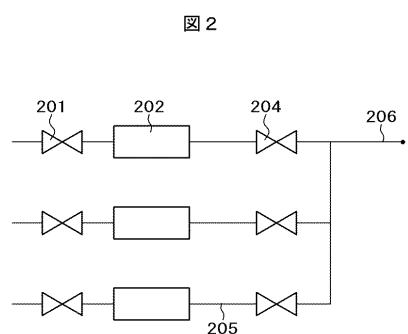
101…マイクロ波源，102…方形導波管，103…方形円形導波管変換器，104…円形導波管，105…自動整合器，106…空洞共振部，107…マイクロ波導入窓，108…シャワープレート，109…真空処理室，110…ソレノイドコイル，111…ガス源，112…ガス供給装置，113…ガス供給制御装置，114…下部電極，115…ターボ分子ポンプ，116…コンダクタンス制御弁，117…RF電源，118…RF整合器，119…制御コンピュータ，120…分光器，121…光ファイバ，122…圧力計，201…バルブ，202…マスフローコントローラ，203…圧力計，204…ストップバルブ，205…ガス配管，206…ガス集合配管，401…通常のガス置換によるプラズマ発光変化，402…本願のガス置換手法を適用した場合のプラズマ発光変化，403…本願のガス置換手法を適用し，ガス充填時間を402の2倍とした場合のプラズマ発光変化。

40

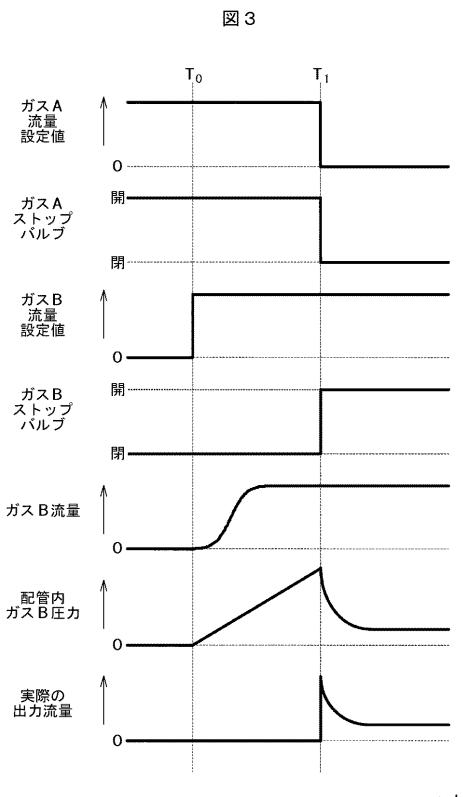
【図1】



【図2】

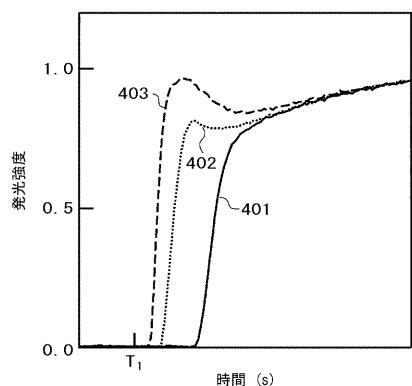


【図3】



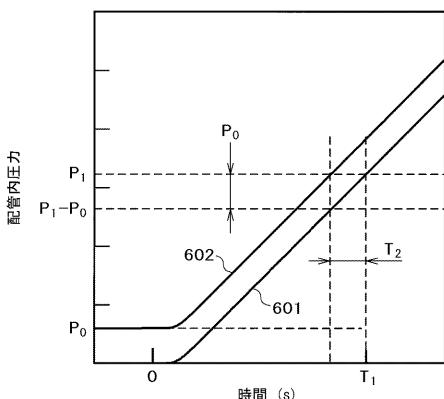
【図4】

図4



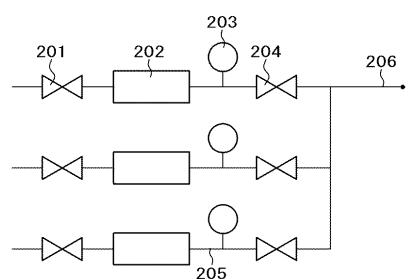
【図6】

図6



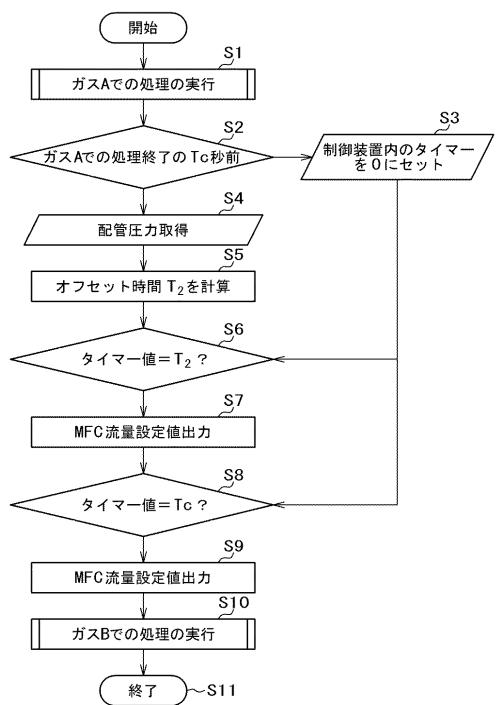
【図5】

図5



【図7】

図7



フロントページの続き

審査官 藤本 加代子

(56)参考文献 特開2007-234762(JP,A)
特開2014-222702(JP,A)
特開2008-091625(JP,A)
特表2010-510669(JP,A)
特開2011-118654(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/46
C23C 16/455
C23C 16/50-517
H01L 21/3065