

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6826955号  
(P6826955)

(45) 発行日 令和3年2月10日(2021.2.10)

(24) 登録日 令和3年1月20日(2021.1.20)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302

I O 1 B

H O 5 H 1/46 (2006.01)

H O 5 H 1/46

M

請求項の数 10 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2017-116950 (P2017-116950)  
 (22) 出願日 平成29年6月14日 (2017.6.14)  
 (65) 公開番号 特開2019-4027 (P2019-4027A)  
 (43) 公開日 平成31年1月10日 (2019.1.10)  
 審査請求日 令和2年1月6日 (2020.1.6)

(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 永海 幸一  
 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  
 (72) 発明者 鳥井 夏実  
 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】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

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、下部電極、及び、該下部電極上に設けられた静電チャックを有し、該静電チャック上に設けられた基板を囲むように前記ステージ上にフォーカスリングが配置される、該ステージと、

前記チャンバ内のガスのプラズマを生成するための第1の高周波を供給するように構成された第1の高周波電源と、

前記下部電極にバイアス用の第2の高周波を供給するように構成された第2の高周波電源と、

前記静電チャック上に載置される基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の鉛直方向に対する傾きを補正するために、前記フォーカスリングに印加される負極性の直流電圧を発生するように構成された直流電源と、

前記フォーカスリングに対する前記直流電圧の印加を停止可能に構成された切替ユニットと、

前記第1の高周波電源及び前記第2の高周波電源の一方又は双方の高周波電源、並びに、前記切替ユニットを制御するように構成されたコントローラと、  
 を備え、

前記コントローラは、

前記一方又は双方の高周波電源によって発生される一方又は双方の高周波の供給を周

期的に停止するよう、前記一方又は双方の高周波電源を制御し、

前記一方又は双方の高周波が供給される各期間の開始時点に対して前記下部電極の自己バイアス電圧の立ち下がり時間に応じた所定時間後の第1の時点から、前記フォーカスリングに前記直流電圧を印加し、前記一方又は双方の高周波の供給が停止される各期間中に前記フォーカスリングへの前記直流電圧の印加を停止するよう、前記切替ユニットを制御する、  
プラズマ処理装置。

【請求項2】

前記コントローラは、前記一方又は双方の高周波が供給される各期間の終了時点より前の第2の時点で、前記フォーカスリングへの前記直流電圧の印加を停止するよう、前記切替ユニットを制御する、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項3】

主制御部と、

前記下部電極の自己バイアス電圧を測定するように構成された測定器と、  
を更に備え、

前記直流電源は、前記測定器によって測定される前記自己バイアス電圧の測定値の絶対値と前記主制御部によって指定される設定値との和をその絶対値として有する前記直流電圧を発生するように構成されており、

前記主制御部は、予め定められた関数又はテーブルを用いて、前記フォーカスリングの消耗量とプロセス条件から特定される前記下部電極の自己バイアス電圧から、前記設定値を決定するように構成されている、  
請求項2に記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項4】

前記直流電源は、前記一方又は双方の高周波が供給される各期間内の前記第2の時点と前記終了時点の間において前記測定器によって測定される前記測定値を取得し、前記一方又は双方の高周波が供給される後続の期間において、前記測定値の絶対値と前記設定値との和をその絶対値として有する前記直流電圧を発生するように、構成されている、  
請求項3に記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】

前記コントローラは、前記傾きを補正するために、前記一方又は双方の高周波が供給される各期間内において前記直流電圧がフォーカスリングに印加される時間を調整するよう、構成されている、請求項1～4の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項6】

請求項1に記載のプラズマ処理装置を用いて実行されるプラズマ処理方法であって、  
該プラズマ処理方法は、前記静電チャック上に基板が載置されており、且つ、前記チャンバに処理ガスが供給されている状態で実行され、

前記一方又は双方の高周波を供給する工程と、

前記一方又は双方の高周波の供給を停止する工程と、

を含み、

前記一方又は双方の高周波を供給する前記工程と前記一方又は双方の高周波の供給を停止する前記工程とが交互に実行され、

40

該プラズマ処理方法は、

前記一方又は双方の高周波が供給される各期間の開始時点に対して前記下部電極の自己バイアス電圧の立ち下がり時間に応じた所定時間後の第1の時点から、前記フォーカスリングに前記直流電圧を印加する工程と、

前記一方又は双方の高周波の供給が停止される各期間中に前記フォーカスリングへの前記直流電圧の印加を停止する工程と、  
を含むプラズマ処理方法。

【請求項7】

前記直流電圧の印加を停止する前記工程は、前記一方又は双方の高周波が供給される各

50

期間の終了時点より前の第 2 の時点で開始する、請求項 6 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 8】

前記プラズマ処理装置は、

主制御部と、

前記下部電極の自己バイアス電圧を測定するように構成された測定器と、

を更に備え、

前記主制御部は、予め定められた関数又はテーブルを用いて、前記フォーカスリングの消耗量とプロセス条件から特定される前記下部電極の自己バイアス電圧から、設定値を決定するように構成されており、

前記直流電圧を印加する前記工程において、前記測定器によって測定される前記自己バイアス電圧の測定値の絶対値と前記主制御部によって指定される前記設定値との和をその絶対値として有する前記直流電圧が前記フォーカスリングに印加される、  
請求項 7 に記載のプラズマ処理方法。

10

【請求項 9】

前記一方又は双方の高周波が供給される各期間内の前記第 2 の時点と前記終了時点の間において前記測定器によって測定される前記自己バイアス電圧の前記測定値が取得され、前記一方又は双方の高周波が供給される後続の期間において、前記測定値の絶対値と前記設定値との和をその絶対値として有する前記直流電圧が前記フォーカスリングに印加される、請求項 8 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 10】

20

プラズマ処理装置を用いて実行されるプラズマ処理方法であって、

前記プラズマ処理装置は、

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、下部電極、及び、該下部電極上に設けられた静電チャックを有し、該静電チャック上に設けられた基板を囲むように前記ステージ上にフォーカスリングが配置される、該ステージと、

前記チャンバ内のガスのプラズマを生成するための第 1 の高周波を供給するように構成された第 1 の高周波電源と、

前記下部電極にイオン引き込み用の第 2 の高周波を供給するように構成された第 2 の高周波電源と、

30

前記静電チャック上に載置される基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の鉛直方向に対する傾きを補正するために、前記フォーカスリングに印加される負極性の直流電圧を発生するように構成された直流電源と、

前記フォーカスリングに対する前記直流電圧の印加を停止するように構成された切替ユニットと、

前記第 1 の高周波電源及び前記第 2 の高周波電源の一方又は双方の高周波電源、並びに、前記切替ユニットを制御するように構成されたコントローラと、

を備え、

該プラズマ処理方法は、

前記第 1 の高周波及び前記第 2 の高周波のうち一方又は双方の高周波を供給する工程と、

40

前記一方又は双方の高周波が供給される各期間の開始時点に対して前記下部電極の自己バイアス電圧の立ち下がり時間に応じた所定時間後の第 1 の時点から、前記フォーカスリングに前記直流電圧を印加する工程と、

前記フォーカスリングへの前記直流電圧の印加を停止する工程と、

を含み、

前記プラズマ処理装置は、

主制御部と、

前記下部電極の前記自己バイアス電圧を測定するように構成された測定器と、

を更に備え、

50

前記主制御部は、予め定められた関数又はテーブルを用いて、前記フォーカスリングの消耗量とプロセス条件から特定される前記下部電極の前記自己バイアス電圧から、設定値を決定するように構成されており、

前記直流電圧を印加する前記工程において、前記測定器によって測定される前記自己バイアス電圧の絶対値と前記主制御部によって指定される前記設定値との和をその絶対値として有する前記直流電圧が前記フォーカスリングに印加される、  
プラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本開示の実施形態は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電子デバイスの製造においては、基板の加工のためにプラズマ処理が行われている。プラズマ処理では、プラズマ処理装置が用いられる。プラズマ処理装置は、一般的に、チャンバ本体、ステージ、第1の高周波電源、及び、第2の高周波電源を備える。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。ステージは、下部電極及び静電チャックを有する。静電チャックは下部電極上に設けられている。第1の高周波電源は、チャンバ内のガスのプラズマを生成するために、第1の高周波を供給する。第2の高周波電源は、バイアス用の第2の高周波を下部電極に供給する。ステージ上には、静電チャック上に載置された基板のエッジを囲むようにフォーカスリングが配置される。フォーカスリングは、基板に対してイオンを垂直に入射させるために設けられる。

20

【0003】

フォーカスリングは、プラズマ処理が実行される時間の経過に伴い、消耗する。フォーカスリングが消耗すると、フォーカスリングの厚みが減少する。フォーカスリングの厚みが減少すると、フォーカスリング及び基板のエッジ領域の上方においてシースの形状が変化する。このようにシースの形状が変化すると、基板のエッジ領域に入射するイオンの入射方向が鉛直方向に対して傾斜する。その結果、基板のエッジ領域に形成される開口が、基板の厚み方向に対して傾斜する。

30

【0004】

基板のエッジ領域において基板の厚み方向に平行に延びる開口を形成するためには、フォーカスリング及び基板のエッジ領域の上方におけるシースの形状を制御して、基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きを補正する必要がある。フォーカスリング及び基板のエッジ領域の上方におけるシースの形状を制御するために、フォーカスリングに負の直流電圧を印加するように構成されたプラズマ処理装置が開発されている。このようなプラズマ処理装置は、例えば、特許文献1に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

40

【特許文献1】特開2008-227063号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、プラズマ処理において、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方の供給と供給停止が交互に切り替えられることがある。このようなプラズマ処理においても、基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きを補正することが求められる。また、基板とフォーカスリングとの間の放電を抑制することが求められる。

【課題を解決するための手段】

【0007】

50

一態様においては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、第1の高周波電源、第2の高周波電源、直流電源、切替ユニット、及び、コントローラを備える。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。ステージは、下部電極及び静電チャックを有する。静電チャックは下部電極上に設けられている。ステージ上には、静電チャック上に設けられた基板を囲むようにフォーカスリングが配置される。第1の高周波電源は、チャンバ内のガスのプラズマを生成するための第1の高周波を供給するように構成されている。第2の高周波電源は、下部電極にバイアス用の第2の高周波を供給するように構成されている。直流電源は、静電チャック上に載置される基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の鉛直方向に対する傾きを補正するために、フォーカスリングに印加される負極性の直流電圧を発生するように構成されている。切替ユニットは、フォーカスリングに対する直流電圧の印加を停止可能に構成されている。コントローラは、第1の高周波電源及び第2の高周波電源のうち一方又は双方の高周波電源、並びに、切替ユニットを制御するように構成されている。コントローラは、第1の高周波及び第2の高周波のうち少なくとも一方又は双方の高周波電源によって発生される少なくとも一方又は双方の高周波の供給を周期的に停止するよう、当該一方又は双方の高周波電源を制御する。コントローラは、一方又は双方の高周波が供給される各期間の開始時点に対して下部電極の自己バイアス電圧の立ち下がり時間に応じた所定時間後の第1の時点から、フォーカスリングに直流電圧を印加し、一方又は双方の高周波の供給が停止される各期間中にフォーカスリングへの直流電圧の印加を停止するよう、切替ユニットを制御する。

#### 【0008】

一態様に係るプラズマ処理装置では、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方が供給される各期間において、下部電極の自己バイアス電位の立ち下がり時間の経過時又は経過後に直流電圧がフォーカスリングに印加される。これにより、フォーカスリング及び基板のエッジ領域の上方におけるシースの形状が制御されて、基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きが低減される。一方又は双方の高周波の供給が停止される各期間においては、基板の自己バイアス電圧の絶対値は低くなるが、フォーカスリングへの直流電圧の印加が停止される。その結果、一方又は双方の高周波の供給が停止される各期間において基板の電位とフォーカスリングの電位との差が低減される。故に、基板とフォーカスリングとの間の放電が抑制される。

#### 【0009】

一実施形態において、コントローラは、一方又は双方の高周波が供給される各期間の終了時点より前の第2の時点で、フォーカスリングへの直流電圧の印加を停止するよう、切替ユニットを制御する。

#### 【0010】

一実施形態において、プラズマ処理装置は、主制御部、及び、下部電極の自己バイアス電圧を測定するように構成された測定器を更に備える。直流電源は、測定器によって測定される自己バイアス電圧の測定値の絶対値と主制御部によって指定される設定値との和をその絶対値として有する直流電圧を発生するように構成されている。主制御部は、予め定められた関数又はテーブルを用いて、フォーカスリングの消耗量とプロセス条件から特定される下部電極の自己バイアス電圧から、上記設定値を決定するように構成されている。基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きは、フォーカスリングの消耗量と自己バイアス電圧に依存する。これは、フォーカスリング及び基板のエッジ領域の上方におけるシースの形状が、フォーカスリングの消耗量とシース厚に依存するからである。したがって、基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きを補正するために自己バイアス電圧の絶対値に対して直流電圧の絶対値を増加させるべき量、即ち設定値もフォーカスリングの消耗量と自己バイアス電圧に依存する。上記関数又はテーブルは、フォーカスリングの消耗量と自己バイアス電圧を設定値に対応付けるように予め定められている。この実施形態では、かかる関数又はテーブルを用いて設定値が導出されることにより、基板のエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きが低減される。

## 【 0 0 1 1 】

一実施形態において、直流電源は、一方又は双方の高周波が供給される各期間内の第2の時点と終了時点の間において測定器によって測定される自己バイアス電圧の測定値を取得し、一方又は双方の高周波が供給される後続の期間において、測定値の絶対値と設定値との和をその絶対値として有する直流電圧を発生するように、構成されている。上記第2の時点と上記終了時点の間では、フォーカスリングに直流電圧が印加されていない状態での自己バイアス電圧を測定することが可能である。この実施形態によれば、プラズマ処理中に測定された自己バイアス電圧からフォーカスリングに印加される直流電圧が決定される。

## 【 0 0 1 2 】

一実施形態において、コントローラは、傾きを補正するために、一方又は双方の高周波が供給される各期間内において直流電圧がフォーカスリングに印加される時間を調整するように、構成されている。この実施形態によれば、上述した設定値を比較的高い値に設定しておき、直流電圧が印加される時間（時間長）を調整することにより、一方又は双方の高周波が供給される各期間におけるイオンの入射角の時間平均が補正される。

## 【 0 0 1 3 】

別の態様においては、プラズマ処理方法が提供される。プラズマ処理方法は、上述したプラズマ処理装置を用いて実行される。プラズマ処理方法は、静電チャック上に基板が載置されており、且つ、チャンバに処理ガスが供給されている状態で実行される。プラズマ処理方法は、( i ) 一方又は双方の高周波を供給する工程と、( i i ) 一方又は双方の高周波の供給を停止する工程と、を含む。一方又は双方の高周波を供給する工程と一方又は双方の高周波の供給を停止する工程は、交互に実行される。プラズマ処理方法は、( i i i ) 一方又は双方の高周波が供給される各期間の開始時点に対して下部電極の自己バイアス電圧の立ち下がり時間に応じた所定時間後の第1の時点から、フォーカスリングに直流電圧を印加する工程と、( i v ) 一方又は双方の高周波の供給が停止される各期間中にフォーカスリングへの直流電圧の印加を停止する工程と、を含む。

## 【 0 0 1 4 】

一実施形態では、直流電圧の印加を停止する工程は、一方又は双方の高周波が供給される各期間の終了時点より前の第2の時点で開始する。

## 【 0 0 1 5 】

一実施形態の、直流電圧を印加する工程において、測定器によって測定される自己バイアス電圧の測定値の絶対値と主制御部によって指定される設定値との和をその絶対値として有する直流電圧がフォーカスリングに印加される。

## 【 0 0 1 6 】

一実施形態において、一方又は双方の高周波が供給される各期間内の第2の時点と終了時点の間において測定器によって測定される自己バイアス電圧の測定値が取得され、一方又は双方の高周波が供給される後続の期間において、測定値の絶対値と設定値との和をその絶対値として有する直流電圧がフォーカスリングに印加される。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 7 】

以上説明したように、基板に対するイオンの入射方向の傾きを補正し、且つ、基板とフォーカスリングとの間の放電を抑制することが可能となる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 8 】

【 図 1 】 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 2 】 図 1 に示すプラズマ処理装置の電源系及び制御系の一実施形態を示す図である。

【 図 3 】 図 1 に示すステージとフォーカスリングの一部拡大断面図である。

【 図 4 】 図 2 に示す直流電源、切替ユニット、高周波フィルタ、及び、整合器の回路構成を示す図である。

【 図 5 】 図 1 に示すプラズマ処理装置において採用可能な測定器の一例を示す図である。

【図 6】図 1 に示すプラズマ処理装置を用いて実行されるプラズマ処理に関連するタイミングチャートである。

【図 7】フォーカスリングの消耗によるシースの形状の変化及びイオンの入射方向の傾きの発生を示す図である。

【図 8】別の実施形態に係るプラズマ処理装置の電源系及び制御系を示す図である。

【図 9】フォーカスリングと直流電源の電氣的接続に関する別の実施形態を示す図である。

【図 10】フォーカスリングと直流電源の電氣的接続に関する更に別の実施形態を示す図である。

【図 11】種々の実施形態のプラズマ処理装置において実行されるプラズマ処理に関連するタイミングチャートである。

10

【図 12】一実施形態に係るプラズマ処理方法を示す流れ図である。

【図 13】別の実施形態に係るプラズマ処理方法を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、図面を参照して種々の実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附することとする。

【0020】

図 1 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 2 は、図 1 に示すプラズマ処理装置の電源系及び制御系の一実施形態を示す図である。図 1 に示すプラズマ処理装置 10 は、容量結合型のプラズマ処理装置である。

20

【0021】

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 12 c 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構成されている。チャンバ本体 12 は接地電位に接続されている。チャンバ本体 12 の内壁面、即ち、チャンバ 12 c を画成する壁面には、耐プラズマ性を有する膜が形成されている。この膜は、陽極酸化処理によって形成された膜、又は、酸化イットリウムから形成された膜といったセラミック製の膜であり得る。また、チャンバ本体 12 の側壁には通路 12 g が形成されている。基板 W がチャンバ 12 c に搬入されるとき、また、基板 W がチャンバ 12 c から搬出されるときに、基板 W は通路 12 g を通過する。この通路 12 g の開閉のために、ゲートバルブ 14 がチャンバ本体 12 の側壁に沿って設けられている。

30

【0022】

チャンバ 12 c 内では、支持部 15 が、チャンバ本体 12 の底部から上方に延在している。支持部 15 は、略円筒形状を有しており、石英といった絶縁材料から形成されている。支持部 15 上にはステージ 16 が搭載されており、ステージ 16 は支持部 15 によって支持されている。ステージ 16 は、チャンバ 12 c 内において基板 W を支持するように構成されている。ステージ 16 は、下部電極 18 及び静電チャック 20 を含んでいる。一実施形態において、ステージ 16 は、電極プレート 21 を更に含んでいる。電極プレート 21 は、アルミニウムといった導電性材料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 21 上に設けられている。下部電極 18 は、アルミニウムといった導電性材料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 21 に電氣的に接続されている。

40

【0023】

下部電極 18 内には、流路 18 f が設けられている。流路 18 f は、熱交換媒体用の流路である。熱交換媒体としては、液状の冷媒、或いは、その気化によって下部電極 18 を冷却する冷媒（例えば、フロン）が用いられる。流路 18 f には、チャンバ本体 12 の外部に設けられたチラーユニットから配管 23 a を介して熱交換媒体が供給される。流路 18 f に供給された熱交換媒体は、配管 23 b を介してチラーユニットに戻される。このように、流路 18 f には、当該流路 18 f とチラーユニットとの間で循環するように、熱交

50

換媒体が供給される。

【 0 0 2 4 】

静電チャック 2 0 は、下部電極 1 8 上に設けられている。静電チャック 2 0 は、絶縁体から形成された本体と、当該本体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、直流電源が電氣的に接続されている。直流電源から静電チャック 2 0 の電極に電圧が印加されると、静電チャック 2 0 上に載置された基板 W と静電チャック 2 0 との間で静電引力が発生する。発生した静電引力により、基板 W は、静電チャック 2 0 に引き付けられ、当該静電チャック 2 0 によって保持される。

【 0 0 2 5 】

プラズマ処理装置 1 0 には、ガス供給ライン 2 5 が設けられている。ガス供給ライン 2 5 は、ガス供給機構からの伝熱ガス、例えば H e ガスを、静電チャック 2 0 の上面と基板 W の裏面（下面）との間に供給する。

【 0 0 2 6 】

チャンバ本体 1 2 の底部からは、筒状部 2 8 が上方に延在している。筒状部 2 8 は、支持部 1 5 の外周に沿って延在している。筒状部 2 8 は、導電性材料から形成されており、略円筒形状を有している。筒状部 2 8 は、接地電位に接続されている。筒状部 2 8 上には、絶縁部 2 9 が設けられている。絶縁部 2 9 は、絶縁性を有し、例えば石英といったセラミックから形成されている。絶縁部 2 9 は、略円筒形状を有しており、電極プレート 2 1 の外周、下部電極 1 8 の外周、及び、静電チャック 2 0 の外周に沿って延在している。

【 0 0 2 7 】

静電チャック 2 0 の外周領域上には、フォーカスリング F R が配置される。フォーカスリング F R は、略環状板形状を有しており、例えばシリコンから形成されている。フォーカスリング F R は、基板 W のエッジを囲むように配置される。図 3 は、図 1 に示すステージとフォーカスリングの一部拡大断面図である。図 3 に示すように、一実施形態では、フォーカスリング F R は、導体 2 2 を介して下部電極 1 8 に電氣的に接続されている。導体 2 2 は、静電チャック 2 0 を貫通している。

【 0 0 2 8 】

プラズマ処理装置 1 0 は、上部電極 3 0 を更に備えている。上部電極 3 0 は、ステージ 1 6 の上方に設けられている。上部電極 3 0 は、部材 3 2 と共にチャンバ本体 1 2 の上部開口を閉じている。部材 3 2 は、絶縁性を有している。上部電極 3 0 は、この部材 3 2 を介してチャンバ本体 1 2 の上部に支持されている。後述するように第 1 の高周波電源 6 1 が下部電極 1 8 に電氣的に接続されている場合には、上部電極 3 0 は、接地電位に接続される。

【 0 0 2 9 】

上部電極 3 0 は、天板 3 4 及び支持体 3 6 を含んでいる。天板 3 4 の下面は、チャンバ 1 2 c を画成している。天板 3 4 には、複数のガス吐出孔 3 4 a が設けられている。複数のガス吐出孔 3 4 a の各々は、天板 3 4 を板厚方向（鉛直方向）に貫通している。この天板 3 4 は、限定されるものではないが、例えばシリコンから形成されている。或いは、天板 3 4 は、アルミニウム製の母材の表面に耐プラズマ性の膜を設けた構造を有し得る。この膜は、陽極酸化処理によって形成された膜、又は、酸化イットリウムから形成された膜といったセラミック製の膜であり得る。

【 0 0 3 0 】

支持体 3 6 は、天板 3 4 を着脱自在に支持する部品である。支持体 3 6 は、例えばアルミニウムといった導電性材料から形成され得る。支持体 3 6 の内部には、ガス拡散室 3 6 a が設けられている。ガス拡散室 3 6 a からは、複数のガス孔 3 6 b が下方に延びている。複数のガス孔 3 6 b は、複数のガス吐出孔 3 4 a にそれぞれ連通している。支持体 3 6 には、ガス拡散室 3 6 a にガスを導くガス導入口 3 6 c が形成されており、このガス導入口 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

10

20

30

40

50



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。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 は複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群 44 の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 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。プラズマ処理装置 10 は、ガスソース群 40 の複数のガスソースのうち選択された一以上のガスソースからのガスを、個別に調整された流量で、チャンバ 12c に供給することが可能である。

#### 【0032】

筒状部 28 とチャンバ本体 12 の側壁との間には、バッフルプレート 48 が設けられている。バッフルプレート 48 は、例えば、アルミニウム製の母材に酸化イットリウム等のセラミックを被覆することにより構成され得る。このバッフルプレート 48 には、多数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート 48 の下方においては、排気管 52 がチャンバ本体 12 の底部に接続されている。この排気管 52 には、排気装置 50 が接続されている。排気装置 50 は、自動圧力制御弁といった圧力制御器、及び、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、チャンバ 12c を減圧することができる。

#### 【0033】

図 1 及び図 2 に示すように、プラズマ処理装置 10 は、第 1 の高周波電源 61 を更に備えている。第 1 の高周波電源 61 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 の高周波は、27 ~ 100 MHz の範囲内の周波数、例えば 60 MHz の周波数を有する。第 1 の高周波電源 61 は、整合器 64 の第 1 の整合回路 65 及び電極プレート 21 を介して、下部電極 18 に接続されている。第 1 の整合回路 65 は、第 1 の高周波電源 61 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である。なお、第 1 の高周波電源 61 は、下部電極 18 に電氣的に接続されていなくてもよく、第 1 の整合回路 65 を介して上部電極 30 に接続されていてもよい。

#### 【0034】

プラズマ処理装置 10 は、第 2 の高周波電源 62 を更に備えている。第 2 の高周波電源 62 は、基板 W にイオンを引き込むためのバイアス用の第 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、400 kHz ~ 13.56 MHz の範囲内の周波数であり、例えば、400 kHz である。第 2 の高周波電源 62 は、整合器 64 の第 2 の整合回路 66 及び電極プレート 21 を介して下部電極 18 に接続されている。第 2 の整合回路 66 は、第 2 の高周波電源 62 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である。

#### 【0035】

プラズマ処理装置 10 は、直流電源 70 及び切替ユニット 72 を更に備える。直流電源 70 は、フォーカスリング FR に印加される負極性の直流電圧を発生する電源である。直流電源 70 は、切替ユニット 72 に接続されている。切替ユニット 72 は、高周波フィルタ 74 を介して下部電極 18 に電氣的に接続されている。一実施形態では、下部電極 18 はフォーカスリング FR に電氣的に接続されている。したがって、直流電源 70 は、切替ユニット 72、高周波フィルタ 74、及び、下部電極 18 を介して、フォーカスリング FR に電氣的に接続されている。

#### 【0036】

プラズマ処理装置 10 は、コントローラ PC を更に備えている。コントローラ PC は、第 1 の高周波電源 61 及び第 2 の高周波電源 62 の一方又は双方の高周波電源、並びに、切替ユニット 72 を制御するように構成されている。一実施形態では、第 1 の高周波及び第 2 の高周波の双方の供給が周期的に停止される。この実施形態では、コントローラ PC は、第 1 の高周波電源 61 及び第 2 の高周波電源 62 の双方及び切替ユニット 72 を制御する。別の実施形態では、第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方の高周波のみの供給が周期的に停止される。この実施形態では、コントローラ PC は、第 1 の高周波電源 61

10

20

30

40

50

及び第2の高周波電源62のうち当該一方の高周波を発生する高周波電源、並びに、切替ユニット72を制御するように構成されている。

【0037】

一実施形態では、プラズマ処理装置10は、主制御部MCを更に備え得る。主制御部MCは、プロセッサ、記憶装置、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。具体的に、主制御部MCは、記憶装置に記憶されている制御プログラムを実行し、当該記憶装置に記憶されているレシビデータに基づいてプラズマ処理装置10の各部を制御する。これにより、プラズマ処理装置10は、レシビデータによって指定されたプロセスを実行するようになっている。

【0038】

以下、図2及び図4を参照する。図4は、図2に示す直流電源、切替ユニット、高周波フィルタ、及び、整合器の回路構成を示す図である。直流電源70は、可変直流電源であり、フォーカスリングFRに印加される負極性の直流電圧を発生する。

【0039】

切替ユニット72は、フォーカスリングFRに対する直流電源70からの直流電圧の印加を停止可能に構成されている。一実施形態では、切替ユニット72は、電界効果トランジスタ(FET)72a、FET72b、コンデンサ72c、及び、抵抗素子72dを有している。FET72aは、例えばNチャネルMOSFETである。FET72bは、例えばPチャネルMOSFETである。FET72aのソースは、直流電源70の負極に接続されている。直流電源70の負極及びFET72aのソースには、コンデンサ72cの一端が接続されている。コンデンサ72cの他端は、FET72bのソースに接続されている。FET72bのソースはグラウンドに接続されている。FET72aのゲート及びFET72bのゲートは互いに接続されている。FET72aのゲートとFET72bのゲートの間に接続されたノードNAには、コントローラPCからのパルス制御信号が供給される。FET72aのドレインは、FET72bのドレインに接続されている。FET72aのドレインとFET72bのドレインに接続されたノードNBは、抵抗素子72dを介して、高周波フィルタ74に接続されている。

【0040】

高周波フィルタ74は、高周波を低減又は遮断するフィルタである。一実施形態では、高周波フィルタ74は、インダクタ74a及びコンデンサ74bを有している。インダクタ74aの一端は、抵抗素子72dに接続されている。インダクタ74aの一端には、コンデンサ74bの一端が接続されている。コンデンサ74bの他端は、グラウンドに接続されている。インダクタ74aの他端は、整合器64に接続されている。

【0041】

整合器64は、第1の整合回路65及び第2の整合回路66を有している。一実施形態では、第1の整合回路65は、可変コンデンサ65a及び可変コンデンサ65bを有しており、第2の整合回路66は、可変コンデンサ66a及び可変コンデンサ66bを有している。可変コンデンサ65aの一端は、インダクタ74aの他端に接続されている。可変コンデンサ65aの他端は、第1の高周波電源61及び可変コンデンサ65bの一端に接続されている。可変コンデンサ65bの他端はグラウンドに接続されている。可変コンデンサ66aの一端は、インダクタ74aの他端に接続されている。可変コンデンサ66aの他端は、第2の高周波電源62及び可変コンデンサ66bの一端に接続されている。可変コンデンサ66bの他端はグラウンドに接続されている。可変コンデンサ65aの一端及び可変コンデンサ66aの一端は、整合器64の端子64aに接続されている。整合器64の端子64aは、電極プレート21を介して下部電極18に接続されている。

【0042】

一実施形態では、プラズマ処理装置10は、測定器76を更に備えている。図5は、図1に示すプラズマ処理装置において採用可能な測定器の一例を示す図である。測定器76は、下部電極18の自己バイアス電圧(又は、基板Wの自己バイアス電圧)を測定するように構成されている。一実施形態では、図5に示すように、測定器76は、コンデンサ7

10

20

30

40

50

6 a、コンデンサ 7 6 b、及び、電圧センサ 7 6 c を有している。コンデンサ 7 6 a とコンデンサ 7 6 b は、端子 7 6 t とグランドとの間で直列接続されている。端子 7 6 t は、図 4 に示すノード N 1 及びノード N 2 の何れかに接続される。ノード N 1 は、下部電極 1 8 と整合器 6 4 の端子 6 4 a の間のノードである。ノード N 2 は、切替ユニット 7 2 と高周波フィルタ 7 4 の間のノードである。ノード N 1 の電圧及びノード N 2 の電圧は、直流電源 7 0 からの直流電圧がフォーカスリング F R に印加されていないときに、下部電極 1 8 の自己バイアス電圧と略同電圧になる。測定器 7 6 は、かかるノードにおける電圧を分圧して、分圧された電圧を測定することにより、自己バイアス電圧を測定することができる。

#### 【 0 0 4 3 】

以下、主制御部 M C 及びコントローラ P C による制御について説明する。以下の説明では、図 2 及び図 6 を参照する。図 6 は、図 1 に示すプラズマ処理装置を用いて実行されるプラズマ処理に関連するタイミングチャートである。図 6 において、横軸は時間を示している。縦軸は、コントローラ P C によって出力される第 1 の制御信号、高周波電力（第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方又は双方の高周波の電力）、下部電極 1 8（又は基板 W）の自己バイアス電圧 V d c、コントローラ P C によって出力される第 2 の制御信号、直流電源 7 0 からフォーカスリング F R に印加される直流電圧、及び、フォーカスリング F R の電位を示している。

#### 【 0 0 4 4 】

図 6 の高周波電力のタイミングチャートにおいて、高周波電力が高レベルであることは、第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方又は双方の高周波が供給されていることを示しており、高周波電力が低レベルであることは、第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方又は双方の高周波の供給が停止されていることを示している。また、図 6 の高周波電力のタイミングチャートにおいて、直流電圧が低レベルであることは、直流電源 7 0 からフォーカスリング F R に直流電圧が印加されていることを示しており、直流電圧が高レベルであることは、直流電源 7 0 からフォーカスリング F R に直流電圧が印加されていないことを示している。

#### 【 0 0 4 5 】

なお、上述したように、コントローラ P C は、第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方又は双方の供給を周期的に停止させる。即ち、コントローラ P C は、第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方のみ又は双方の供給を周期的に停止させる。第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち双方の供給が周期的に停止される場合には、図 6 の高周波電力は、第 1 の高周波の電力及び第 2 の高周波の電力の双方を表す。第 1 の高周波及び第 2 の高周波のうち一方の高周波のみの供給が周期的に停止される場合には、図 6 の高周波電力は、当該一方の高周波の電力を表す。一方の高周波のみの供給が周期的に停止される場合には、他方の高周波は、連続的に供給されてもよく、或いは、利用されなくてもよい。

#### 【 0 0 4 6 】

直流電源 7 0 は、フォーカスリング F R に印加する直流電圧を、自己バイアス電圧 V d c の絶対値と設定値  $V$  の和をその絶対値として有する負極性の電圧、即ち、 $-(|V d c| + V)$  に設定する。自己バイアス電圧 V d c は、基板 W の自己バイアス電圧であり、一方又は双方の高周波が供給されており、且つ、直流電源 7 0 からの直流電圧が下部電極 1 8 に印加されていないときの下部電極 1 8 の自己バイアス電圧である。設定値  $V$  は、主制御部 M C によって与えられる。

#### 【 0 0 4 7 】

主制御部 M C は、予め定められた関数又はテーブルを用いて、フォーカスリング F R の消耗量（フォーカスリング F R の厚みの初期値からの減少量）とプラズマ処理のプロセス条件から特定される下部電極 1 8 の自己バイアス電圧から、設定値  $V$  を特定するように構成されている。即ち、主制御部 M C は、フォーカスリング F R の消耗量と自己バイアス電圧を上記関数に入力するか、フォーカスリング F R の消耗量と自己バイアス電圧を用いて上記テーブルを参照することにより、設定値  $V$  を決定する。

## 【 0 0 4 8 】

主制御部MCは、設定値Vの決定において、フォーカスリングFRの初期の厚みと、レーザ測定器といった測定器によって実測されたフォーカスリングFRの厚みとの差を、フォーカスリングFRの消耗量として用いてもよい。或いは、主制御部MCは、設定値Vの決定のために、予め定められた別の関数又はテーブルを用いて、特定のパラメータから、フォーカスリングFRの消耗量を決定してもよい。当該特定のパラメータは、自己バイアス電圧Vdc、第1の高周波又は第2の高周波の波高値Vpp、負荷インピーダンス等のうち何れかであり得る。当該別の関数又はテーブルは、当該特定のパラメータとフォーカスリングFRの消耗量の関係を定めるように予め定められている。フォーカスリングFRの消耗量を決定するために、実際のプラズマ処理の実行前又はプラズマ処理装置10のメンテナンス時に、当該消耗量を決定するための測定条件、即ち、第1の高周波の電力、第2の高周波の電力、チャンバ12cの圧力、及び、チャンバ12cに供給される一以上のガスの流量等の設定の下で、プラズマ処理装置10が動作される。そして、上記特定のパラメータが取得され、当該特定のパラメータを上記別の関数に入力することにより、或いは、当該特定のパラメータを用いて上記テーブルを参照することにより、フォーカスリングFRの消耗量が特定される。

10

## 【 0 0 4 9 】

主制御部MCは、第1の高周波電源61に第1の高周波の電力及び周波数を指定する。第1の高周波電源61が発生する第1の高周波の電力及び周波数は、主制御部MCから第1の高周波電源61に指定された電力及び周波数にそれぞれ設定される。主制御部MCは、第2の高周波電源62に第2の高周波の電力及び周波数を指定する。第2の高周波電源62が発生する第2の高周波の電力及び周波数は、主制御部MCから第2の高周波電源62に指定された電力及び周波数にそれぞれ設定される。

20

## 【 0 0 5 0 】

主制御部MCは、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方の高周波の供給が停止される周波数をコントローラPCに指定する。主制御部MCは、また、デューティ比をコントローラPCに指定する。デューティ比は、当該周波数によって規定される一周期PI(図6参照)中で、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方が供給される第1の期間P1の時間長の割合を表す。一周期PIは、図6に示すように、第1の期間P1と第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方の供給が停止される第2の期間P2から構成される。

30

## 【 0 0 5 1 】

主制御部MCは、各第1の期間P1中の第1の時点T1を特定する情報を、コントローラPCに指定する。第1の時点T1は、直流電源70によるフォーカスリングFRへの直流電圧の印加が開始される時点である。第1の時点T1は、各第1の期間P1の開始時点よりも後の時点であり、下部電極18の自己バイアス電圧の立ち下がり時間に応じた所定時間後の時点である。即ち、第1の時点T1は、各第1の期間P1の開始時点から、下部電極18の自己バイアス電圧の立ち下がり時間の経過時又は経過後の時点である。

## 【 0 0 5 2 】

一実施形態では、主制御部MCは、第2の時点T2を特定する情報をコントローラPCに指定する。第2の時点T2は、各第1の期間P1中の第1の時点T1で開始された直流電源70からのフォーカスリングFRへの直流電圧の印加を停止する時点である。一実施形態では、第2の時点は、各第1の期間P1中で第1の時点よりも後、且つ、その終了時点よりも前の時点である。なお、主制御部MCは、第2の時点を特定する情報に代えて、各第1の期間P1中で、直流電源70からのフォーカスリングFRへの直流電圧の印加が継続される時間長を指定する情報をコントローラPCに与えてもよい。

40

## 【 0 0 5 3 】

コントローラPCは、主制御部MCによって指定された周波数及びデューティ比に応じて、第1の制御信号を生成する。第1の制御信号は、第1の期間P1において高レベルを有し、第2の期間P2において低レベル(又はOFFのレベル)を有するパルス信号であ

50

る。或いは、第1の制御信号は、第1の期間P1において低レベル（又はOFFのレベル）を有し、第2の期間P2において高レベルを有するパルス信号であってもよい。第1の制御信号は、コントローラPCから一方又は双方の高周波電源に与えられる。図6の高周波電力のタイミングチャートにおいて示されるように、一方又は双方の高周波電源は、第1の制御信号から特定される各第1の期間P1において、一方又は双方の高周波を供給し、第1の制御信号から特定される各第2の期間P2において、一方又は双方の高周波の供給を停止するように、動作する。

【0054】

図6の自己バイアス電圧Vdcのタイミングチャートにおいて示されるように、下部電極18（又は基板W）の自己バイアス電圧は、各第1の期間P1の開始時点に対して遅れて、大きい絶対値を有する負極性の電圧になる。また、自己バイアス電圧は、一方又は双方の高周波の供給が停止された時点に対して遅れて、低い絶対値を有する電圧になる。

【0055】

コントローラPCは、主制御部MCによって指定された周波数、第1の時点を特定する情報、及び、第2の時点を特定する情報又は時間長を特定する情報に応じて、第2の制御信号を生成する。第2の制御信号は、各第1の期間P1中で第1の時点から高レベルを有し、第2の時点から低レベルを有するパルス信号である。或いは、第2の制御信号は、各第1の期間P1中で第1の時点から低レベルを有し、第2の時点から高レベルを有するパルス信号であってもよい。コントローラPCは、第2の制御信号を切替ユニット72に与える。具体的には、第2の制御信号を、ロードNAに供給する。これにより、図6の直流電圧のタイミングチャートにおいて示されるように、各第1の期間P1中の第1の時点T1から、直流電源70によって発生された直流電圧のフォーカスリングFRへの印加が開始される。また、第2の時点T2から、直流電源70によって発生された直流電圧のフォーカスリングFRへの印加が停止される。したがって、図6のフォーカスリングFRの電位のタイミングチャートにおいて示されるように、フォーカスリングFRの電位の絶対値は、各第1の期間P1の開始時点から第1の時点T1までの第1の過渡期間内で上昇し、第1の時点T1から開始する第2の過渡期間内で更に上昇する。また、フォーカスリングFRの電位の絶対値は、第2の時点T2から開始する第3の過渡期間PT3内で低下し、各第2の期間P2の開始時点から開始する第4の過渡期間内で更に低下する。

【0056】

なお、第2の制御信号は、各第1の期間P1内の第1の時点T1でそのレベルが遷移すれば、そのレベルが第2の時点T2で遷移しなくてもよい。即ち、第2の制御信号は、各第1の期間P1内の第1の時点T1を伝達するパルス信号であれば、任意のパルス信号であり得る。この場合には、主制御部MCからの第2の時点を特定する情報又は時間長を特定する情報は、切替ユニット72に与えられ、切替ユニット72のプロセッサにより、第2の時点を特定する情報又は時間長を特定する情報に基づき、直流電源70からの直流電圧のフォーカスリングFRへの印加を停止することができる。

【0057】

一実施形態において、直流電源70は、各第1の期間P1内の第2の時点T2と終了時点との間の期間、即ち、各第3の過渡期間PT3において測定器76によって取得された自己バイアス電圧のVdcの測定値の絶対値と設定値Vとの和をその絶対値として有する直流電圧を、後続の第1の期間P1内で印加するように構成される。直流電源70は、例えば、各第3の過渡期間PT3中で最小の絶対値を有する自己バイアス電圧Vdcを、自己バイアス電圧Vdcの測定値として採用することができる。

【0058】

以下、図7を参照する。図7は、フォーカスリングの消耗によるシースの形状の変化及びイオンの入射方向の傾きの発生を示す図である。図7において実線で示されるフォーカスリングFRは、その消耗がない状態のフォーカスリングFRを示している。図7において点線で示されるフォーカスリングFRは、その消耗が生じその厚みが減少したフォーカスリングFRを示している。図7において、実線で示されるシースSHは、フォーカスリ

10

20

30

40

50

ングF Rが消耗していない状態にあるときの、シースS Hの形状を表している。図7において、点線で示されるシースS Hは、フォーカスリングF Rが消耗した状態にあるときの、シースS Hの形状を表している。また、図7において、矢印は、フォーカスリングF Rが消耗した状態にあるときの、イオンの入射方向を示している。

#### 【0059】

図7に示すように、フォーカスリングF Rが消耗していない状態にあるときには、シースS Hの形状は、基板W及びフォーカスリングF Rの上方において平行に保たれている。したがって、基板Wの全面に略垂直な方向（鉛直方向）にイオンが入射する。一方、フォーカスリングF Rが消耗し、その厚みが減少すると、基板Wのエッジ領域及びフォーカスリングF Rの上方において、シースS Hの形状が変化する。その結果、基板Wのエッジ領域に対するイオンの入射方向が鉛直方向に対して傾斜する。したがって、基板Wのエッジ領域には、その厚み方向に対して傾斜した開口が形成される。

10

#### 【0060】

プラズマ処理装置10によれば、フォーカスリングF Rの消耗に起因したイオンの入射方向の傾きを補正することができる。具体的に、プラズマ処理装置10では、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方の高周波が供給される各第1の期間P1において、下部電極18の自己バイアス電位の立ち下がり時間の経過時又は経過後に、直流電源70からの直流電圧がフォーカスリングF Rに印加される。これにより、フォーカスリングF R及び基板Wのエッジ領域の上方におけるシースの形状が制御されて、基板Wのエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きが低減される。したがって、基板Wの全領域にわたって、当該基板Wの厚み方向に略平行な開口が形成される。一方又は双方の高周波の供給が停止される各第2の期間P2においては、基板Wの自己バイアス電圧の絶対値は低くなるが、フォーカスリングF Rへの直流電圧の印加が停止される。その結果、一方又は双方の高周波の供給が停止される各第2の期間P2において基板Wの電位とフォーカスリングF Rの電位との差が低減される。故に、基板WとフォーカスリングF Rとの間の放電が抑制される。

20

#### 【0061】

一実施形態では、直流電源70は、測定器76によって測定される自己バイアス電圧Vdcの測定値の絶対値と主制御部MCによって指定される設定値Vとの和をその絶対値として有する直流電圧を発生するように構成されている。基板Wのエッジ領域へのイオンの入射方向の鉛直方向に対する傾きは、フォーカスリングF Rの消耗量と自己バイアス電圧Vdcに依存する。これは、フォーカスリングF R及び基板Wのエッジ領域の上方におけるシースの形状が、フォーカスリングF Rの消耗量とシース厚に依存するからである。したがって、基板Wのエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きを補正するために自己バイアス電圧Vdcの絶対値に対してフォーカスリングF Rに印加すべき直流電圧の絶対値を増加させるべき量、即ち設定値Vもフォーカスリングの消耗量と自己バイアス電圧Vdcに依存する。上述したように、設定値Vを特定するために用いられる上記関数又はテーブルは、フォーカスリングF Rの消耗量と自己バイアス電圧Vdcを、設定値Vに対応付けるように予め定められている。この実施形態では、かかる関数又はテーブルを用いて設定値Vが導出されることにより、基板Wのエッジ領域へのイオンの入射方向の傾きが低減される。

30

40

#### 【0062】

一実施形態では、一方又は双方の高周波が供給される各第1の期間P1内の第2の時点T2と終了時点との間の期間、即ち、各第3の過渡期間PT3において測定器76によって測定される自己バイアス電圧Vdcの測定値が取得され、一方又は双方の高周波が供給される後続の第1の期間P1において、当該測定値の絶対値と設定値Vとの和をその絶対値として有する直流電圧がフォーカスリングF Rに印加される。この実施形態によれば、プラズマ処理中に測定された自己バイアス電圧VdcからフォーカスリングF Rに印加される直流電圧が決定される。したがって、自己バイアス電圧Vdcに変化が生じて、後続の第1の期間P1内において直流電源70によって発生される直流電圧が補正され、

50

イオンの入射方向が適切に補正される。

【0063】

以下、別の実施形態について説明する。図8は、別の実施形態に係るプラズマ処理装置の電源系及び制御系を示す図である。図8に示すように、別の実施形態に係るプラズマ処理装置10Aは、第1の高周波電源61がコントローラPCを含んでいる点において、プラズマ処理装置10と異なっている。即ち、プラズマ処理装置10Aでは、コントローラPCは第1の高周波電源61の一部である。一方、プラズマ処理装置10では、コントローラPCは、第1の高周波電源61及び第2の高周波電源62とは別体である。プラズマ処理装置10Aでは、コントローラPCが第1の高周波電源61の一部であるので、第1の制御信号は、第1の高周波電源61に送信されない。なお、コントローラPCは、第1の高周波電源61の一部ではなく、第2の高周波電源62の一部であってもよい。

10

【0064】

図9は、フォーカスリングと直流電源の電氣的接続に関する別の実施形態を示す図である。図9に示すように、フォーカスリングFRは、下部電極18を介することなく、導体22、高周波フィルタ74、及び、切替ユニット72を介して、直流電源70に接続されている。この実施形態では、導体22は、下部電極18から電氣的に絶縁される。なお、下部電極18及び電極プレート21は、基板Wの下方の領域、即ち、中央領域と、フォーカスリングFRの下方の領域、即ち、外周領域とに電氣的に分離されている。即ち、下部電極18及び電極プレート21は、中央領域と外周領域を構成し、中央領域と外周領域が互いから電氣的に絶縁されている。この場合には、高周波電源は中央領域に接続され、測定器76は中央領域の自己バイアス電圧を測定するよう構成される。

20

【0065】

図10は、フォーカスリングと直流電源の電氣的接続に関する更に別の実施形態を示す図である。図10に示す実施形態では、下部電極18は、基板Wの下方の中央領域18c、及び、フォーカスリングFRの下方の外周領域18eを有する。中央領域18cと外周領域18eは互いに分離されており、互いから電氣的に絶縁されている。フォーカスリングFRは、導体22、外周領域18e、高周波フィルタ74、及び、切替ユニット72を介して、直流電源70に接続されている。なお、この実施形態では、電極プレート21も、中央領域18cに接続された中央領域と、外周領域18eに接続され、且つ、中央領域18cから電氣的に絶縁された外周領域に分離される。この場合には、高周波電源は電極プレート21の中央領域を介して中央領域18cに接続され、測定器76は中央領域18cの自己バイアス電圧を測定するよう構成される。

30

【0066】

図11は、種々の実施形態のプラズマ処理装置において実行されるプラズマ処理に関連するタイミングチャートである。図11に示すタイミングチャートでは、直流電源70によって発生された直流電圧がフォーカスリングFRに印加される時間長が、図7に示すタイミングチャートにおいて直流電源70によって発生された直流電圧がフォーカスリングFRに印加される時間長とは異なっている。即ち、コントローラPCは、イオンの入射方向の傾きを補正するために、各第1の期間P1内において直流電源70からの直流電圧がフォーカスリングFRに印加される時間（時間長）を調整するように、構成されている。例えば、コントローラPCは、上述した設定値Vを比較的高い値に設定し、且つ、一方又は双方の高周波が供給される各期間におけるイオンの入射角の時間平均が補正されるように、直流電圧がフォーカスリングFRに印加される時間長を調整してもよい。

40

【0067】

以下、一実施形態に係るプラズマ処理方法について説明する。図12は、一実施形態に係るプラズマ処理方法を示す流れ図である。図13は、別の実施形態に係るプラズマ処理方法を示す流れ図である。図12に示すプラズマ処理方法MT1及び図13に示すプラズマ処理方法MT2は、上述した種々の実施形態のプラズマ処理装置の何れかを用いて実施することが可能である。図12に示すプラズマ処理方法MT1では、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方の高周波の供給が周期的に停止される。図13に示すプラズマ処理

50

方法MT2では、第1の高周波及び第2の高周波の双方がプラズマ処理中に連続的に供給される。なお、図13に示すプラズマ処理方法MT2では、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方の供給が、連続的に停止されてもよい。即ち、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方が、利用されなくてもよい。

【0068】

プラズマ処理方法MT1は、静電チャック20上に基板Wが載置され、且つ、チャンバ12cに処理ガスが供給されている状態で実行される。図12に示すように、プラズマ処理方法MT1は、工程ST1で開始する。工程ST1では、上述したように設定値Vが決定される。設定値Vは、主制御部MCによって決定され得る。具体的に、主制御部MCは、上述の予め定められた関数又はテーブルを用いて、フォーカスリングFRの消耗量とプロセス条件から特定される下部電極18の自己バイアス電圧から、設定値Vを決定する。なお、工程ST1の実行後に、基板Wが静電チャック20上に載置され、チャンバ12cに処理ガスが供給されてもよい。

10

【0069】

続く、工程ST2では、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方の高周波が供給される。工程ST2の実行期間は、最初の第1の期間P1に相当する。工程ST2では、処理ガスのプラズマが生成され、当該プラズマからのイオンにより基板Wが処理される。なお、最初の第1の期間P1では、直流電源70からの直流電圧はフォーカスリングFRには印加されない。続く工程ST3は、最初の第1の期間P1内において実行される。工程ST3では、測定器76によって自己バイアス電圧Vdcの測定値が取得される。

20

【0070】

続く工程ST4では、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方の高周波の供給が停止される。即ち、工程ST4の実行期間は、最初の第2の期間P2に相当する。

【0071】

続く工程ST5では、工程ST1と同様に、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方の高周波が供給される。工程ST5の実行期間は、第1の期間P1に相当する。工程ST5の実行期間、即ち、第1の期間P1内では、工程ST6が実行される。工程ST6は、第1の時点T1で開始する。工程ST6の実行中には、直流電源70からの直流電圧がフォーカスリングFRに印加される。フォーカスリングFRに印加される直流電圧の値は、 $-(|V_{dc}| + V)$ である。なお、 $|V_{dc}|$ は、直前に測定器76によって取得された自己バイアス電圧Vdcの測定値の絶対値であり、Vは工程ST1において決定された設定値である。

30

【0072】

続く工程ST7では、直流電源70からの直流電圧のフォーカスリングFRへの印加が停止される。工程ST7は、第2の時点T2で開始する。続く工程ST8では、上述したように第3の過渡期間PT3内における自己バイアス電圧Vdcの測定値が測定器76によって取得される。

【0073】

続く工程ST9では、第1の高周波及び第2の高周波のうち一方又は双方の高周波の供給が停止される。プラズマ処理方法MT1では、工程ST5と工程ST9は交互に実行される。工程ST9の実行期間は、第2の期間P2に相当する。

40

【0074】

続く工程STJ1では、プラズマ処理方法MT1を終了するか否かが判定される。プラズマ処理方法MT1を終了させない場合には、工程ST5からの処理が再び繰り返される。プラズマ処理方法MT1は、例えば、工程STJ1において、工程ST5～工程ST9を含むシーケンスの実行回数が所定回数に達しているものと判定されたときに、終了される。

【0075】

図13に示すプラズマ処理方法MT2は、静電チャック20上に基板Wが載置され、且つ、チャンバ12cに処理ガスが供給されている状態で実行される。図13に示すように

50



、プラズマ処理方法 M T 2 は、工程 S T 2 1 で開始する。工程 S T 2 1 では、工程 S T 1 と同様に、設定値 V が決定される。なお、工程 S T 2 1 の実行後に、基板 W が静電チャック 2 0 上に載置され、チャンバ 1 2 c に処理ガスが供給されてもよい。

【 0 0 7 6 】

続く、工程 S T 2 2 では、双方の高周波、即ち、第 1 の高周波及び第 2 の高周波が供給される。工程 S T 2 2 では、処理ガスのプラズマが生成され、当該プラズマからのイオンにより基板 W が処理される。

【 0 0 7 7 】

続く工程 S T 2 3 では、測定器 7 6 によって自己バイアス電圧 V d c の測定値が取得される。続く工程 S T 2 4 では、直流電源 7 0 からの直流電圧がフォーカスリング F R に印加される。フォーカスリング F R に印加される直流電圧の値は、 $- ( | V d c | + V )$  である。なお、 $| V d c |$  は、直前に測定器 7 6 によって取得された自己バイアス電圧 V d c の測定値の絶対値であり、V は工程 S T 2 1 において決定された設定値である。

【 0 0 7 8 】

続く工程 S T 2 5 では、プラズマ処理方法 M T 2 を終了するか否かが判定される。プラズマ処理方法 M T 2 を終了させない場合には、工程 S T 2 5 が実行される。工程 S T 2 5 では、直流電源 7 0 からの直流電圧のフォーカスリング F R への印加が停止される。そして、工程 S T 2 3 からの処理が繰り返される。プラズマ処理方法 M T 2 は、例えば、工程 S T 2 5 において、工程 S T 2 2 の実行時間が所定時間に達したと判定されたときに、終了される。

【 0 0 7 9 】

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、上述した種々の実施形態に係る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る。変形態様におけるプラズマ処理装置は、誘導結合型のプラズマ処理装置であってもよい。

【 0 0 8 0 】

また、上述した種々の実施形態では、直流電源 7 0 からの直流電圧のフォーカスリング F R への印加の停止は、各第 1 の期間 P 1 中の第 2 の時点 T 2 で開始している。しかしながら、直流電源 7 0 からの直流電圧のフォーカスリング F R への印加の停止は、第 2 の期間 P 2 の開始時点で開始してもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 1 】

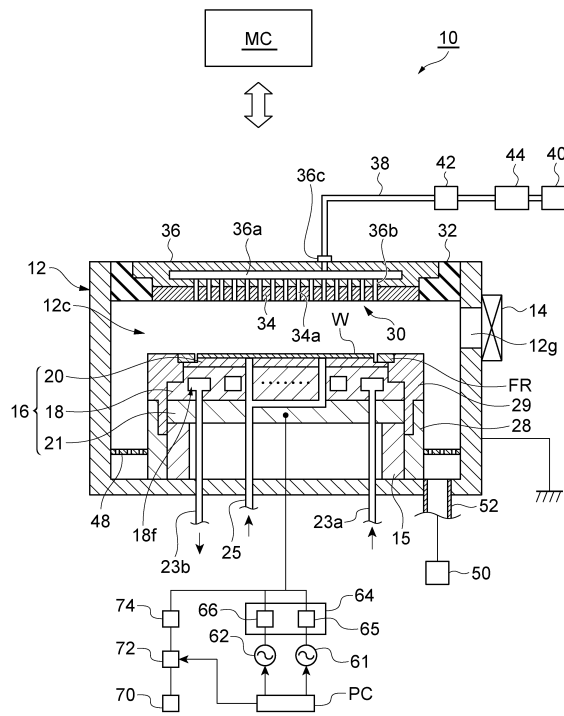
1 0 , 1 0 A ... プラズマ処理装置、1 2 ... チャンバ本体、1 2 c ... チャンバ、1 6 ... ステージ、1 8 ... 下部電極、2 0 ... 静電チャック、2 2 ... 導体、3 0 ... 上部電極、6 1 ... 第 1 の高周波電源、6 2 ... 第 2 の高周波電源、7 0 ... 直流電源、7 2 ... 切替ユニット、7 6 ... 測定器、F R ... フォーカスリング、P C ... コントローラ、M C ... 主制御部。

10

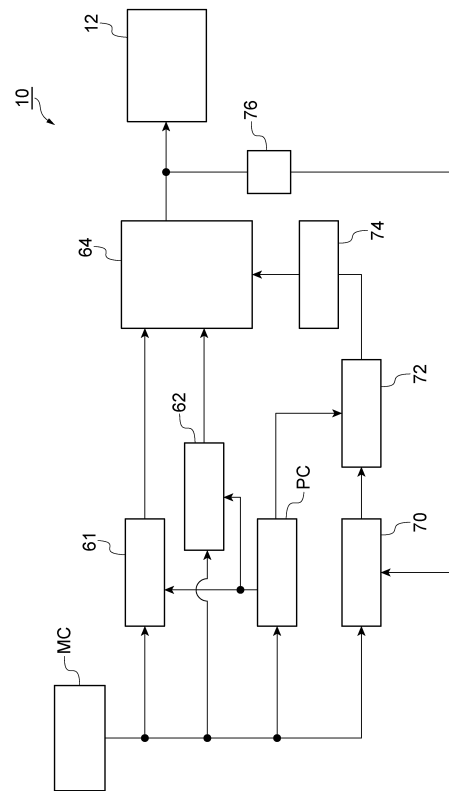
20

30

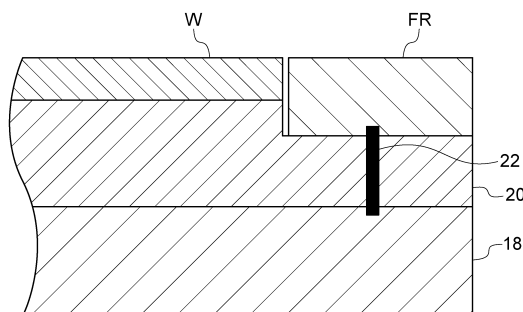
【図 1】



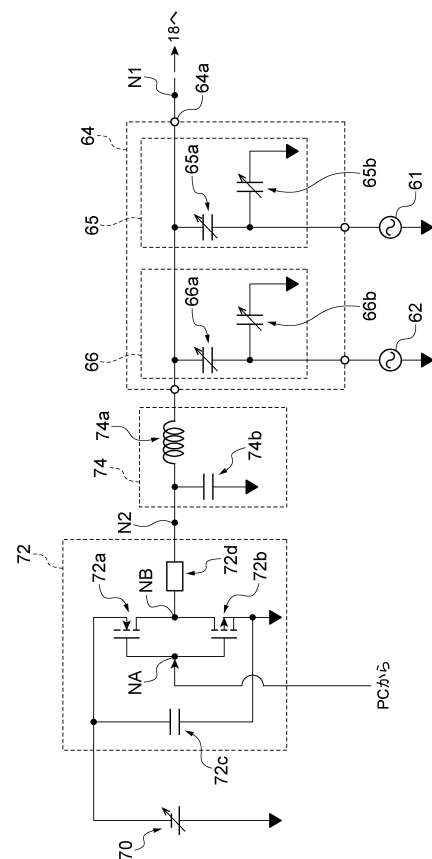
【図 2】



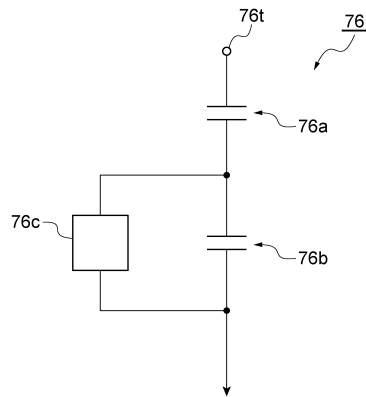
【図 3】



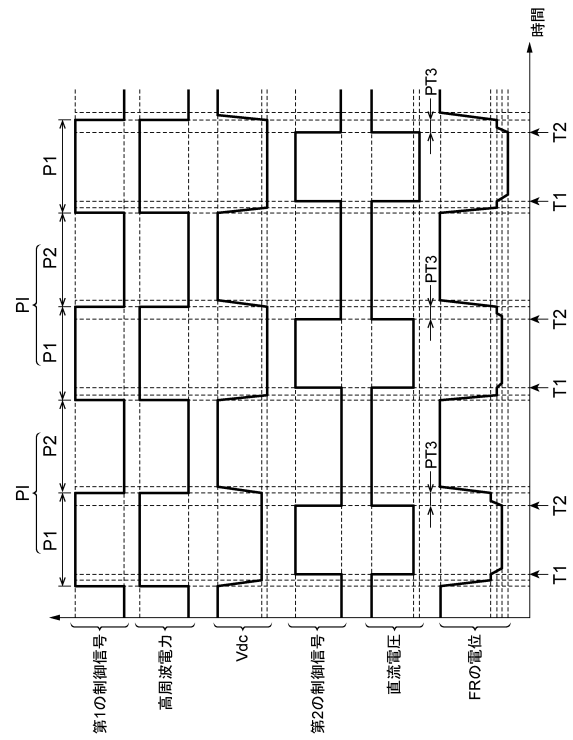
【図 4】



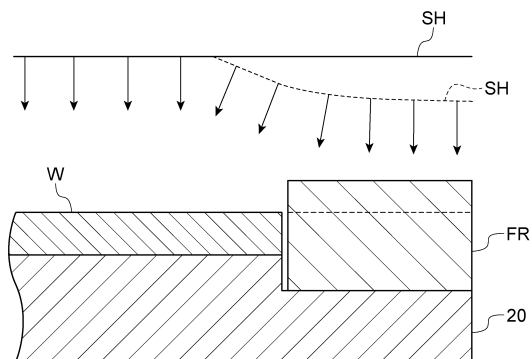
【 図 5 】



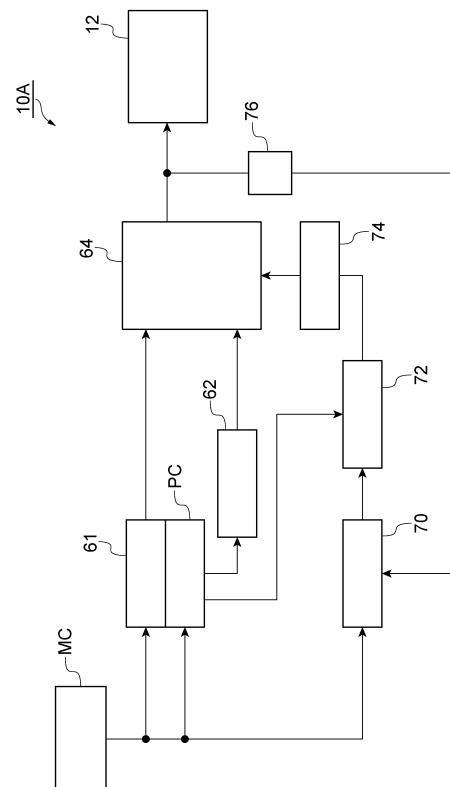
【 図 6 】



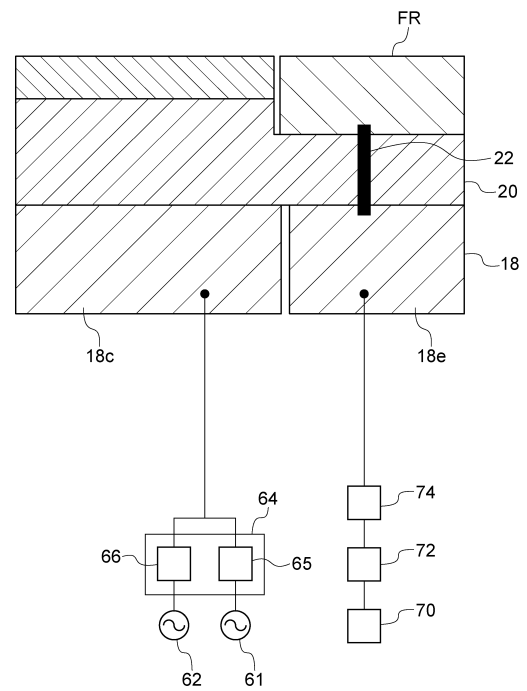
【圖 7】



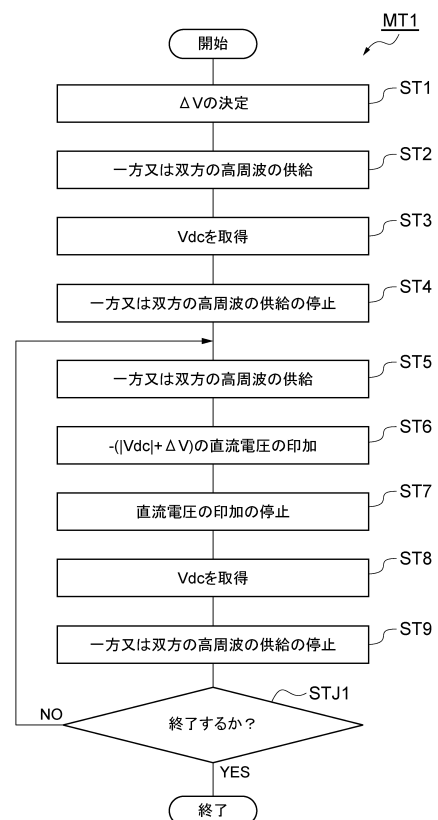
【 图 8 】



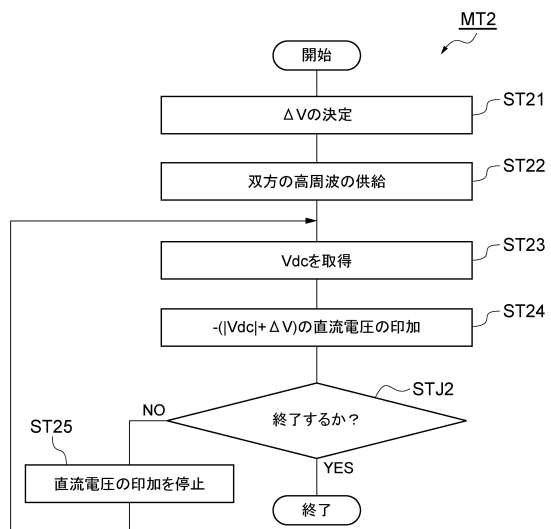
【 図 1 0 】



【 図 1 2 】



【図 13】



---

フロントページの続き

審査官 佐藤 靖史

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 2 5 8 4 1 7 ( J P , A )  
特開 2 0 0 9 - 2 3 9 2 2 2 ( J P , A )  
特開 2 0 0 8 - 2 2 7 0 6 3 ( J P , A )  
特開 2 0 1 7 - 0 5 5 1 0 0 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5  
H 0 5 H 1 / 4 6