

(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2010-282970

(P2010-282970A)

(43) 公開日 平成22年12月16日(2010.12.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46 M	4K030
H01L 21/3065 (2006.01)	H01L 21/302 I01B	5F004
C23C 16/509 (2006.01)	C23C 16/509	

審査請求 有 請求項の数 12 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2010-135198 (P2010-135198)	(71) 出願人	592010081
(22) 出願日	平成22年6月14日 (2010. 6. 14)		ラム リサーチ コーポレーション
(62) 分割の表示	特願2004-517690 (P2004-517690) の分割		LAM RESEARCH CORPOR ATION
原出願日	平成15年6月20日 (2003. 6. 20)		アメリカ合衆国、カリフォルニア 945
(31) 優先権主張番号	10/180, 978		38, フレモント, クッシング パークウ
(32) 優先日	平成14年6月27日 (2002. 6. 27)		エイ 4650
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100069981
			弁理士 吉田 精孝
		(72) 発明者	ワエディ ワヒド
			アメリカ合衆国、カリフォルニア州 9
			4706、アラバニー、ポセン アベ
			ニュー 1503

最終頁に続く

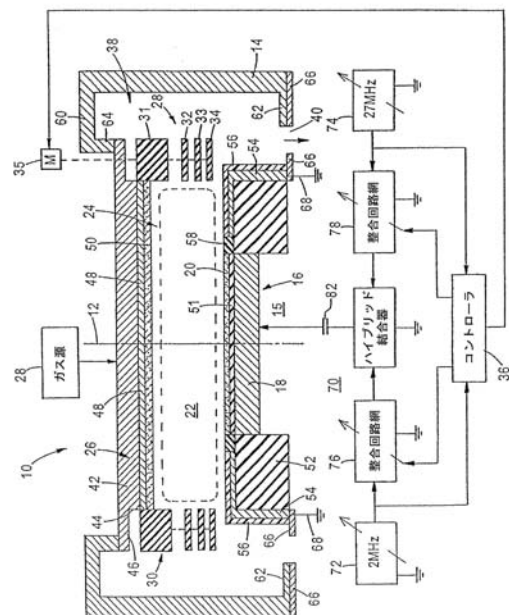
(54) 【発明の名称】 複数の周波数に同時に応答する電極を備えたプラズマ処理装置の動作方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 プラズマ・イオン・エネルギーおよびプラズマ密度に対する所望の独立した制御ができるプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】 真空チャンバ10にガスを結合するためのポート、真空チャンバ10内のガスに電界を印加するための第1の電極18、第1の電極18から間隔を隔てたDC基準電位にある第2の電極26を有し、電極18、26間の体積を含む領域でガスをプラズマに励起させるようになされた真空チャンバ10と、第1の電極18に異なる周波数を有する電界を同時に前記プラズマに供給させるための回路70とを備えたプラズマ処理装置であって、真空チャンバ10が、前記異なる周波数の電力に前記領域を通る実質的に異なる経路を取らせるようになされた構造を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

(a) チャンバにガスを結合するためのポート、(b) 前記チャンバ内のガスに電界を印加するための第 1 の電極、および(c) DC 基準電位にある、前記第 1 の電極から間隔を隔てた第 2 の電極を有し、前記電極間の体積を含む領域で前記ガスをプラズマに励起させるようになされた真空チャンバと、前記第 1 の電極に異なる周波数を有する電界を同時に前記プラズマに供給させるための回路とを備えたプラズマ処理装置であって、前記チャンバが、前記異なる周波数の電力に前記領域を通る実質的に異なる経路を取らせるようになされた構造を備えたプラズマ処理装置。

【請求項 2】

10

前記チャンバ構造が、第 1 の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力を前記第 1 の電極と第 2 の電極の間に結合し、かつ、第 2 の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力の前記第 1 の電極と第 2 の電極の間への結合を阻止するようになされた、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記第 1 の周波数が主として前記プラズマのイオン・エネルギーを制御し、前記第 2 の周波数が主として前記プラズマのイオン密度を制御する、請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記第 1 および第 2 の周波数がそれぞれ約 2 MHz および 27 MHz である、請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項 5】

前記チャンバ構造が、前記第 1 の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力を前記第 1 の電極と第 2 の電極の間に結合し、かつ、前記第 2 の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力の前記第 1 の電極と第 2 の電極の間への結合を阻止するようになされた、請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記チャンバ構造が、前記領域の外側に、電流を前記第 2 の電極から基準電位の端子に結合するようになされ、かつ、実質的に DC 基準電位にある、前記第 1 の周波数におけるインピーダンスが前記第 2 の周波数におけるインピーダンスより実質的に小さくなるよう、前記第 1 の周波数における電気的長さが前記第 2 の周波数における電気的長さより実質的に短い経路を有する分散パラメータ・フィルタ構造を備えた、請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 7】

前記領域の外側の前記経路の前記第 1 の周波数における前記電気的長さが、前記第 1 の周波数の波長の数分の一の長さであり、前記領域の外側の前記経路の前記第 2 の周波数における前記電気的長さが、概ね前記第 2 の周波数の波長の長さである、請求項 6 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】

前記領域の外側の前記経路が、前記第 1 の周波数における前記経路の誘導性インピーダンスが前記第 2 の周波数における前記経路の誘導性インピーダンスより概ね 1 桁小さくなる構造を有する、請求項 6 に記載のプラズマ処理装置。

40

【請求項 9】

前記分散パラメータ・フィルタ構造が、さらに、前記第 2 の周波数が前記領域を通過して、実質的に DC 基準電位にあり、かつ、実質的に前記第 2 の電極よりも前記第 1 の電極の方に近い前記経路の延長部分まで通過するようになされた、請求項 6 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記延長部分が、前記第 1 の電極の周辺部分を越えた領域を含み、前記第 1 の電極から前記周辺部分を越えた前記領域までの電気結合が、前記第 2 の周波数が前記領域中を、前

50

記第 1 の周波数が前記領域中を通過する範囲より広い範囲まで通過するようになされた、請求項 9 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 1】

前記延長部分が、誘電体によって前記第 1 の電極と間隔を隔てた、請求項 1 0 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 2】

前記チャンバ構造が、実質的に D C 基準電位の延長構造を備え、前記第 1 および第 2 の電極および前記延長構造が、前記第 1 の電極に印加される第 1 の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力を前記延長構造に結合せず、前記第 1 の電極に印加される第 2 の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力を前記延長構造に結合するようになされた、請求項 2

10

【請求項 1 3】

前記第 1 および第 2 の電極および前記延長構造が、前記第 1 の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力を前記第 2 の電極に結合するようになされた、請求項 1 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 4】

前記延長構造が、実質的に前記第 2 の電極よりも前記第 1 の電極の方に近い、請求項 1 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 5】

前記延長構造が、前記第 1 の電極の周辺部分を越えた領域を含み、前記第 1 の電極から前記周辺部分を越えた前記領域までの電気結合が、前記第 2 の周波数が前記領域中を、前記第 1 の周波数が前記領域中を通過する範囲より広い範囲まで通過するようになされた、請求項 1 2 に記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項 1 6】

前記延長構造が、誘電体によって前記第 1 の電極と間隔を隔てた、請求項 1 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 7】

前記チャンバ構造が、前記プラズマを実質的に前記領域に閉じ込めるための構造を備えた、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 1 8】

前記領域が前記第 1 の電極の周辺部分を越えた体積まで延びた、請求項 1 7 に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 1 9】

前記第 1 の電極の前記周辺部分を越えた前記体積が (a) 変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的な D C 電流の流れを阻止する材料と、(b) 前記材料の周辺部分を越えた実質的に基準電位の表面からなる、請求項 1 8 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 0】

前記材料が真性半導体からなる、請求項 1 9 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 1】

前記プラズマを閉じ込めるための前記構造が、前記体積内のガスの前記領域の外側の前記チャンバ部分への流れを可能にするようになされた複数のルーバを備えた、請求項 1 9 に記載のプラズマ処理装置。

40

【請求項 2 2】

前記ルーバおよび前記ルーバ間の空間が、前記第 2 の電極から基準電位への変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的な D C 電流の流れを阻止するようになされた材料でできた、請求項 2 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 3】

前記領域内の前記プラズマの圧力を制御するためのコントローラをさらに備えた、請求項 2 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 4】

50

前記領域が前記第 1 の電極の周辺部分を超えた体積まで延びた、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 5】

前記第 1 の電極の前記周辺部分を越えた前記体積が (a) 前記第 1 および第 2 の周波数の変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的な DC 電流の流れを阻止する材料と、(b) 前記材料の周辺部分を越えた基準電位の表面からなる、請求項 2 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 6】

第 1 の電極を有するプラズマ処理装置を動作させる方法であって、第 1 および第 2 の周波数の電力を前記第 1 の電極に同時に供給するステップと、前記電極に供給される前記第 1 および第 2 の周波数の電力と前記第 1 の電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じて前記第 1 の電極に DC バイアス電圧を確立するステップと、いずれか一方の前記周波数の電力に関連するパラメータをもう一方の前記周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによって前記 DC バイアス電圧の値を制御するステップとを含む方法。

【請求項 2 7】

いずれか一方の前記周波数の電力に関連する前記パラメータが、前記第 1 の電極に印加される前記第 1 の周波数の電力量であり、前記第 2 の周波数の電力に関連する前記パラメータが前記第 2 の周波数の電力量である、請求項 2 6 に記載の方法。

【請求項 2 8】

前記第 1 の周波数が主として前記プラズマのイオン・エネルギーを制御し、前記第 2 の周波数が主として前記プラズマのイオン密度を制御する、請求項 2 7 に記載の方法。

【請求項 2 9】

前記第 1 および第 2 の周波数がそれぞれ約 2 MHz および 27 MHz である、請求項 2 8 に記載の方法。

【請求項 3 0】

前記処理装置が第 2 の電極を備え、前記第 1 および第 2 の周波数の電力を、前記第 1 の電極と第 2 の電極の間の体積を含む領域に実質的に拘束するステップと、前記第 1 の電極に印加される前記第 1 および第 2 の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力に前記領域内の実質的に異なる経路を持たせるステップとをさらに含む、請求項 2 7 に記載の方法。

【請求項 3 1】

前記第 1 の周波数の前記経路が前記第 1 および第 2 の電極を含み、前記第 2 の周波数の前記経路が前記第 2 の電極を含まない、請求項 3 0 に記載の方法。

【請求項 3 2】

前記処理装置が、前記第 2 の電極の DC 電位と実質的に同じ DC 電位の、前記第 2 の電極よりも前記第 1 の電極の方に近い延長部分を備え、前記第 2 の周波数の前記経路が前記第 1 の電極および前記延長部分を含む、請求項 3 1 に記載の方法。

【請求項 3 3】

前記プラズマを前記領域に閉じ込めるステップをさらに含む、請求項 3 0 に記載の方法。

【請求項 3 4】

前記領域内のプラズマの圧力を制御するステップをさらに含む、請求項 3 3 に記載の方法。

【請求項 3 5】

処理チャンバ内の第 1 の電極と、第 1 および第 2 の周波数の電力を前記第 1 の電極に同時に供給するための回路とを備えたプラズマ処理装置であって、前記電極に供給される前記第 1 および第 2 の周波数の電力と前記電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じて前記第 1 の電極に DC バイアス電圧が確立され、前記チャンバおよび前記第 1 と第 2 の周波数が、前記第 1 の周波数の電力に関連するパラメータを前記第 2 の周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによって前記 DC バイアス電圧が制御可能に変化するようになされたプラズマ処理装置。

10

20

30

40

50

【請求項 36】

前記第1の周波数の電力に関連する前記パラメータが前記第1の周波数の電力量であり、前記第2の周波数の電力に関連する前記パラメータが前記第2の周波数の電力量である、請求項35に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 37】

前記第1の周波数が主として前記プラズマのイオン・エネルギーを制御し、前記第2の周波数が主として前記プラズマのイオン密度を制御する、請求項36に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 38】

前記第1および第2の周波数がそれぞれ約2MHzおよび27MHzである、請求項37に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 39】

前記チャンバが第2の電極を備え、かつ、前記第1および第2の周波数の電力を、前記第1の電極と第2の電極の間の体積を含む領域に実質的に拘束し、前記第1の電極に印加される前記第1および第2の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力に前記領域内の実質的に異なる経路を持たせるようになされた、請求項36に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 40】

前記チャンバが(a)前記第2の電極のDC電圧と実質的に同じDC電圧になるようになされた延長部分を備え、かつ、(b)前記第2の周波数の前記経路に前記延長部分を含めるようになされた、請求項39に記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項 41】

前記チャンバが、前記プラズマを前記体積を含む領域に閉じ込めるための構造を備えた、請求項39に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 42】

前記チャンバが、前記領域内のプラズマの圧力を制御するためのコントローラを備えた、請求項41に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 43】

前記延長部分が(a)第2の電極よりも前記第1の電極の方に近く、かつ、(b)前記第1の電極の周辺部分を越えた、請求項40に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 44】

前記第1の電極と前記延長部分が、変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的なDC電流の流れを阻止する材料で互いに間隔を隔てた、請求項43に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 45】

前記材料が真性半導体からなる、請求項44に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 46】

前記プラズマを閉じ込めるための前記構造が、前記領域内のイオン化されていないガスの前記領域の外側の前記チャンバ部分への流れを可能にするようになされた複数のルーバを備えた、請求項41に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 47】

前記ルーバおよび前記ルーバ間の空間が、前記第2の電極から基準電位への変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的なDC電流の流れを阻止するようになされた材料でできた、請求項46に記載のプラズマ処理装置。

40

【請求項 48】

DC基準電位の導電壁を有する真空チャンバを備えた、ワークピースを処理するためのプラズマ処理装置であって、前記導電壁が前記チャンバの縦軸と同軸の内部円形周囲を有し、前記チャンバが(a)円形ワークピース・ホルダを備えた第1の円形電極(第1の電極およびワークピース・ホルダは、前記チャンバの縦軸と同軸である)と、(b)前記チャンバ内でガスをプラズマに変換するための入口を備えた、前記チャンバの縦軸と同軸の第2の円形電極と、(c)前記プラズマを前記電極間の体積を含む領域に閉じ込め、かつ、前記領域から外側に向かうガスの流れを可能にするための構造であって、前記プラズマ

50

の前記導電壁への入射を実質的に阻止するようになされた構造と、(d)前記領域から外側に向かって流れるガスのための出口とを備え、前記領域の下部境界が(i)前記第1の電極と、(ii)前記チャンバの縦軸と同軸のリングと、(iii)実質的にDC基準電位の、前記チャンバの縦軸と同軸の環状表面とを含み、前記リングが、前記第1の電極と前記環状表面の間に挿入され、かつ、RF変位電流の流入を可能にし、実質的な伝導電流の流入を阻止する材料でできているプラズマ処理装置であって、複数の周波数の電力を同時に前記第1の電極に供給するための回路をさらに備え、前記導電壁が前記第2の電極および前記環状表面に導電接続され、かつ、比較的小さいインピーダンスを第1の周波数に提供し、一方、比較的大きいインピーダンスを第2の周波数に提供するように、前記第2の電極と前記環状表面の間に一定の長さおよび電気インダクタンスを有し、前記第2の周波数が実質的に前記第1の周波数より高いプラズマ処理装置。

【請求項49】

前記環状表面が導電部材を覆っている誘電体である、請求項48に記載の処理装置。

【請求項50】

前記リングが真性半導体からなる、請求項49に記載の処理装置。

【請求項51】

前記プラズマを閉じ込めるための前記構造が、前記チャンバの縦軸と同軸の内部周囲表面を有する、間隔を隔てた複数のプラズマ閉込めリングを備え、前記第2の電極が前記領域の上部境界を形成している表面を有し、前記プラズマ閉込めリングの各々の前記内部周囲表面が、前記上部境界領域を形成している前記第2の電極の前記表面の周囲と実質的に整列し、前記環状表面が、前記プラズマ閉込めリングの前記内部周囲表面と整列した円の少なくとも円周まで延びた、請求項50に記載の処理装置。

【請求項52】

前記間隔を隔てた複数のプラズマ閉込めリングが誘電体からなる、請求項51に記載の処理装置。

【請求項53】

前記第1の周波数が主として前記プラズマのイオン・エネルギーを制御し、前記第2の周波数が主として前記プラズマのイオン密度を制御する、請求項52に記載のプラズマ処理装置。

【請求項54】

前記第1および第2の周波数がそれぞれ約2MHzおよび27MHzである、請求項53に記載のプラズマ処理装置。

【請求項55】

前記プラズマ閉込めリングの位置を変更し、それにより前記領域内の前記プラズマの圧力を変化させるためのコントローラをさらに備えた、請求項51に記載の処理装置。

【請求項56】

前記チャンバおよび前記第1と第2の周波数が、一方の前記周波数の電力に関連するパラメータをもう一方の前記周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによって、前記第1の電極に供給される前記第1および第2の周波数の電力と前記第1の電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じて前記第1の電極に確立されるDCバイアス電圧が制御可能に変化するようになされた、請求項48に記載の処理装置。

【請求項57】

前記第1の周波数の電力に関連する前記パラメータが前記第1の周波数の電力量であり、前記第2の周波数の電力に関連する前記パラメータが前記第2の周波数の電力量である、請求項56に記載の処理装置。

【請求項58】

前記第1の周波数が主として前記プラズマのイオン・エネルギーを制御し、前記第2の周波数が主として前記プラズマのイオン密度を制御する、請求項57に記載の処理装置。

【請求項59】

導電壁を有する真空チャンバを備えた、ワークピースを処理するためのプラズマ処理装

置であって、前記導電壁が前記チャンバの縦軸と同軸の内部円形周囲を有し、前記チャンバが（a）円形ワークピース・ホルダを備えた第1の円形電極（第1の電極およびワークピース・ホルダは、いずれも前記チャンバの縦軸と同軸である）と、（b）前記チャンバ内でガスをプラズマに変換するための出口を備えた、前記導電壁の第1の端部に導電接続された、前記チャンバの縦軸と同軸の第2の円形電極と、（c）前記プラズマを前記電極間の体積を含む領域に閉じ込め、かつ、前記領域から外側に向かうイオン化されていないガスの流れを可能にするための構造であって、前記プラズマの前記導電壁への入射を実質的に阻止するようになされた構造と、（d）前記領域から外側に向かって流れるガスのための出口とを備え、前記領域の下部境界が（i）前記第1の電極と、（i i）前記チャンバの縦軸と同軸のリングと、（i i i）前記導電壁の第2の端部に導電接続された、前記チャンバの縦軸と同軸の環状表面とを含み、前記リングが、前記第1の電極と前記環状表面の間に挿入され、かつ、R F変位電流の流入を可能にし、実質的な伝導電流の流入を阻止する材料でできているプラズマ処理装置であって、複数の周波数の電力を同時に前記第1の電極に供給するための回路をさらに備え、前記チャンバおよび前記第1と第2の周波数が、前記第1の周波数の電力に関連するパラメータを前記第2の周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによって、前記第1の電極に供給される前記第1および第2の周波数の電力と前記第1の電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じて前記第1の電極に確立されるD Cバイアス電圧が制御可能に変化するようになされたプラズマ処理装置。

10

【請求項60】

20

前記第1の周波数の電力に関連する前記パラメータが前記第1の周波数の電力量であり、前記第2の周波数の電力に関連する前記パラメータが前記第2の周波数の電力量である、請求項59に記載の処理装置。

【請求項61】

前記第1の周波数が主として前記プラズマのイオン・エネルギーを制御し、前記第2の周波数が主として前記プラズマのイオン密度を制御する、請求項60に記載の処理装置。

【請求項62】

前記第2の電極の電位がD C基準電位である、請求項30から34のいずれかに記載の方法。

【請求項63】

30

前記第2の電極の電位がD C基準電位である、請求項39から47のいずれかに記載の処理装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は一般に複数の周波数に同時に応答する電極を備えたプラズマ処理装置に関する。本発明の特定の一態様は、複数の周波数の電力に、1つは複数の周波数に同時に応答する電極であり、もう1つは実質的に基準電位の電極である一対の電極によって拘束された領域を通る実質的に異なる経路を通過させるための構造を有するチャンバを備えた処理装置に関する。本発明の他の態様は、複数の周波数に応答する電極のD Cバイアス電圧が、複数の周波数のうちの1つの周波数の電力に関連するパラメータを他の周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによって制御される処理装置方法および構造に関する。

40

【背景技術】**【0002】**

典型的には半導体基板、誘電体基板および金属基板であるワークピースへの物質の蒸着およびワークピースからの物質のエッチ除去には真空プラズマ処理装置が使用されている。ワークピースが配置された真空プラズマ処理チャンバにガスが導入される。チャンバ圧の範囲は、通常、0.1ないし1000トルである。このガスは、R F電界もしくはR F電磁界に応答して励起領域でR Fプラズマ中に点火される。このR F界は、一般的には

50

、R F 磁界と R F 電界の両方をガスに結合する電極アレイもしくはコイルのいずれかである無効インピーダンス・エレメントによって提供される。無効インピーダンス・エレメントは、比較的高い第 1 の R F 周波数およびガスをプラズマ中に点火するだけの十分な電力を有する第 1 の R F 源に接続されている。第 1 の R F 源と無効インピーダンス・エレメントの間は、通常、第 1 の R F 源に直接接続された比較的に長いケーブルで接続されている。通常、ケーブルと無効インピーダンス・エレメントの間に接続された第 1 の共振整合回路網は、第 1 の R F 源のインピーダンスを該第 1 の R F 源が駆動している負荷に整合させるべく調整された一対の可変リアクタンスを含んでいる。

【0003】

ガスは、通常、チャンバの頂部からチャンバに導入され、チャンバの底部から除去される。一般的には、チャンバの頂部の電極が一連のガス・パッフルおよび励起領域への開口部に結合され、励起領域に流入するガスにシャワー・ヘッド効果を提供している。

【0004】

ワークピースは、通常、励起領域の底部の電極上に取り付けられる。いくつかのチャンバの中には、ワークピースを支えている電極（しばしば底部電極と呼ばれている）が、第 1 の R F 周波数が供給される無効インピーダンス・エレメントであり、ワークピースを支えている電極から間隔を隔てた他の電極（しばしば頂部電極と呼ばれている）が基準電位、典型的には接地に接続されているチャンバもある。このような構成の処理装置は、チャンバが 1 つの電力電極、接地壁構造および接地電極を備えているため、しばしば二極管と呼ばれている。

【0005】

他の処理装置では、チャンバの頂部電極および底部電極に、比較的高い R F 周波数および比較的低い R F 周波数の電力がそれぞれ個別に供給され、チャンバ壁構造は接地されている。10 MHz を超える典型的には 27 MHz の比較的高い周波数がプラズマの密度を制御し、一方、10 MHz 未満の典型的には 2 MHz の比較的低い周波数がプラズマ中のイオンのエネルギーを制御している。プラズマ密度とイオン・エネルギーの独立した制御は、第 1 の R F 源と第 2 の R F 源の電気パラメータ、たとえば電力、電圧および／または電流などを独立して制御することによって提供される。また、しばしば三極管と呼ばれているこの構成のチャンバは、底部電極に確立される D C バイアス電圧の制御を提供している。この D C バイアス電圧の制御は、頂部電極および底部電極に近いプラズマと、頂部電極および底部電極に印加される R F 電力に応じて頂部電極および底部電極をプラズマに結合する R F 界の相互作用によるものである。パラメータの相対値、たとえば頂部電極および底部電極に印加する電流および／または電圧もしくは電力を変更することにより、底部電極 D C バイアス電圧が制御可能に単調に変化するため、高周波電力が低周波電力に対して大きくなるほど、負の D C バイアス電圧の大きさが大きくなる。

【0006】

前述の二極管構成および三極管構成を有するチャンバに、電極と電極の間の体積を含む閉込め領域にプラズマを閉じ込めるための構造を持たせることは知られており、この閉込め構造により、チャンバ接地金属壁構造へのプラズマの入射を阻止し、それによりチャンバ壁構造の実質的な損傷を防止し、かつ、プラズマ特性の制御を向上させている。これについては、たとえば L e n z らの米国特許 5, 534, 751 を参照されたい。

【0007】

さらに他のチャンバでは、頂部電極およびチャンバ金属壁が接地（基準電位）に接続され、比較的高い R F 周波数の電力と比較的低い R F 周波数の電力が底部電極に同時に供給されている。このような二極管構成の真空チャンバ接地金属壁構造は、通常、励起プラズマが存在する外部領域を画定している。詳細には、L e n z の米国特許 5, 998, 932 に、閉込め構造、頂部接地電極および金属壁を備えたチャンバの底部電極への 2 MHz および 27 MHz の同時供給が開示されている。また、K u t h i らの米国特許 6, 106, 663 に、頂部接地電極を備えたチャンバの底部電極への 2 MHz および 27 MHz の同時供給が開示されている。

10

20

30

40

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

高周波数および低周波数が底部電極を同時に駆動する構成を有するチャンバを備えた従来技術による処理装置は、高周波パラメータおよび低周波パラメータ、たとえば底部電極に供給する電力の相対値の変更によっては底部電極のDCバイアス電圧を制御できない方法で構築されている。DCバイアス電圧は、底部電極に供給される高周波電力および低周波電力の相対量の変化に対して、比較的一定の電圧を維持することが分かっている。本出願人らは、比較的一定のバイアス電圧が維持されるのは、イオン・エネルギー（主として低周波電力によって制御されていると思われる）とイオン密度（主として高周波電力によって制御されていると思われる）が実質的に結合するようにチャンバが構築されていることによるものと考えている。したがって、プラズマ密度と、プラズマ体積の縁とプラズマの縁に近いチャンバの表面との間のシース幅との結合が存在しており、その結果、パラメータ（たとえば電力）の相対値を高周波数および低周波数で変更しても、プラズマ・イオン・エネルギーおよびプラズマ密度に対する所望の独立した制御を得ることはできない。したがって、底部電極に2つの異なる周波数が同時に印加される従来技術による二極管チャンバでは、三極管二重周波数チャンバが達成している水準の底部電極バイアス電圧の制御を達成することは困難である。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一態様によれば、プラズマ処理装置は、（a）チャンバにガスを結合するためのポートと、（b）チャンバ内のガスに電界を印加するための第1の電極と、（c）実質的にDC基準電位の第2の電極と、（d）プラズマが存在する電極と電極の間の領域とを有する真空チャンバを備えている。プラズマ処理装置は、第1の電極に複数の周波数を有する電界を同時にプラズマに供給させるための回路を備えている。チャンバは、異なる周波数の電力に、プラズマが存在する電極と電極の間の領域を通る実質的に異なる経路を通過させるための構造を備えている。

【0010】

第1の周波数（好ましくは約2MHz）が主としてプラズマのイオン・エネルギーを制御し、第2の周波数（好ましくは約27MHz）が主としてプラズマのイオン密度を制御することが好ましい。

【0011】

チャンバは、第1の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力を第1と第2の電極の間に結合し、かつ、第2の周波数の電力のうちの実質的な割合の電力の第1と第2の電極の間への結合を阻止するようになされていることが好ましい。

【0012】

このようなチャンバ構造は、上記領域の外側に経路を有する分散パラメータ・フィルタ構造を備えていることが好ましい。上記領域の外側の経路は、電流を第2の電極から基準電位の端子に結合するようになされており、該経路の電位は実質的に基準電位である。この経路は、上記領域の外側の経路の第1の周波数におけるインピーダンスが、第2の周波数におけるインピーダンスより実質的に小さくなるよう、その第1の周波数における電氣的長さが、第2の周波数における電氣的長さより実質的に短くなっている。上記領域の外側の経路の構造は、第1の周波数における該経路の誘導性インピーダンスが第2の周波数における該経路の誘導性インピーダンスより概ね1桁小さくなるようになっている。

【0013】

また、分散パラメータ・フィルタ構造は、第2の周波数が上記領域を通過して、実質的に壁および第2の電極と同じDC基準電位にあるチャンバ壁延長部分まで通過するようになされていることが好ましい。チャンバ壁延長部分の第1の電極までの距離は、第2の電極までの距離より実質的に短くなっている。

【0014】

この延長部分には、第1の電極の周辺部分を越えた領域が含まれていることが好ましい。第1の電極からこの延長部分までの電気結合は、第2の周波数が上記領域中を、第1の周波数が上記領域中を通過する範囲より広い範囲まで通過するようになされている。この延長部分は、誘電体によって第1の電極と間隔を隔てていることが好ましい。

【0015】

プラズマを閉じ込めるための構造は、体積内のガスの上記領域の外側のチャンバ部分への流れを可能にするようになされた複数のルーバを備えていることが好ましい。ルーバおよびルーバ間の空間は、第2の電極から基準電位への第1の周波数の変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的なDC電流の流れを阻止するようになされた材料でできていることが好ましい。

10

【0016】

上記領域内のプラズマ圧力のコントローラは、チャンバ内の他の構造に対するルーバの間隔を制御するための構造を備えていることが好ましい。

【0017】

本発明の他の態様は、第1および第2の周波数の電力が同時に供給される電極を有するプラズマ処理装置を動作させる方法に関する。電極に供給される第1および第2の周波数の電力と電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じてDC電圧バイアスが電極に確立される。このDCバイアス電圧の値は、第1の周波数の電力に関連するパラメータを第2の周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによって制御される。

【0018】

20

本発明のさらに他の態様は、処理チャンバ内の電極と、第1および第2の周波数の電力を同時に電極に供給するための回路とを備えたプラズマ処理装置に関する。電極に供給される第1および第2の周波数の電力と電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じてDCバイアス電圧が電極に確立される。チャンバおよび第1と第2の周波数は、第1の周波数の電力に関連するパラメータを第2の周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによってDCバイアス電圧が制御可能に変化するようになされている。

【0019】

第1の周波数の電力に関連するパラメータが第1の周波数の電力量であり、第2の周波数の電力に関連するパラメータが第2の周波数の電力量であることが好ましい。また、第1の周波数（好ましくは約2MHz）が主としてプラズマのイオン・エネルギーを制御し、第2の周波数（好ましくは約27MHz）が主としてプラズマのイオン密度を制御することが好ましい。

30

【0020】

DCバイアス電圧の制御を促進するためには、第1の電極と第2の電極の間の体積を含み、かつ、処理装置のチャンバの壁構造が含まれていない領域に第2の周波数の電力が拘束されることが好ましい。第1の周波数の電力は、DCバイアス電圧の制御を促進するための上記領域を実質的に除いたチャンバ部分に供給される。プラズマは、通常、第2の周波数の電力が拘束される領域に閉じ込められる。また、この領域のプラズマ圧力を制御することによって、DCバイアス電圧の制御が促進される。

【0021】

40

DCバイアス電圧のより良好な制御の提供を促進するために、第1の電極の周辺部分を越えた領域まで第2の周波数の拘束領域が延びている。第1の電極の周辺部分を越えた領域は、（1）第1および第2の周波数の変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的なDC電流の流れを阻止する材料、好ましくは真性半導体と、（2）この材料の周辺部分を越えたDC基準電位の表面からなっていることが好ましい。

【0022】

プラズマを閉じ込めるための構造は、上記領域内のガスの上記領域の外側のチャンバ部分への流れを可能にするようになされた複数のルーバを備えていることが好ましい。ルーバおよびルーバ間の空間は、第2の電極から基準電位への第1の周波数の変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的なDC電流の流れを阻止するようになされた材料でできている

50

ことが好ましい。

【0023】

本発明の追加態様は、基準電位の導電壁を有する真空チャンバを備えた、ワークピースを処理するためのプラズマ処理装置に関する。この導電壁は、チャンバの縦軸と同軸の円形内部周囲を有している。チャンバは、円形ワークピース・ホルダを備えた第1の円形電極を備えており、第1の電極とワークピース・ホルダは、チャンバの縦軸と同軸である。また、チャンバは、チャンバの縦軸と同軸の第2の円形電極を備えており、第2の電極は、チャンバ内でガスをプラズマに変換するための入口を有している。チャンバ内の閉込め構造は、電極と電極の間の体積を含んだ、導電壁へのプラズマの入射を許容しない領域にプラズマを閉じ込めている。プラズマ閉込め構造は、上記領域からのガスの流出を可能にしている。チャンバは、さらに、上記領域から流出するガスのための出口を有している。閉込め領域の下部境界には、(1)第1の電極、(2)チャンバの縦軸と同軸のリング、(3)チャンバの縦軸と同軸の環状表面が含まれており、環状表面の電位は実質的に基準電位である。リングは、第1の電極と環状表面の間に挿入されており、RF変位電流の流入を可能にし、かつ、実質的な伝導電流の流入を阻止する材料でできている。回路は、複数の周波数の電力を同時に第1の電極に供給している。導電壁は、第2の電極および環状表面に電気接続されており、比較的小さいインピーダンスを第1の周波数に提供し、かつ、比較的大きいインピーダンスを第2の周波数に提供するように、第2の電極と環状表面の間に一定の長さを有している。

10

【0024】

20

環状表面は、導電部材を覆っている誘電体であることが好ましく、また、リングは真性半導体、たとえばシリコンからなっていることが好ましい。

【0025】

好ましい実施形態では、プラズマ閉込め構造は、チャンバの縦軸と同軸の内部周囲表面を有する、間隔を隔てた複数のプラズマ閉込めリングを備えており、また、第2の電極は、閉込め領域の上部境界を形成している表面を有している。プラズマ閉込めリングの各々の内部周囲表面は、上部境界領域を形成している第2の電極の表面の周囲と実質的に整列し、また、環状表面は、少なくとも、プラズマ閉込めリングの内部周囲表面と整列した円の円周まで延びている。

【0026】

30

また、チャンバおよび第1と第2の周波数は、第1の周波数の電力に関連するパラメータを第2の周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによって、第1の電極に供給される第1および第2の周波数の電力と第1の電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じて第1の電極に確立されるDCバイアス電圧が制御可能に変化するようになされている。

【0027】

本発明の上記およびさらに他の目的、特徴および利点については、とりわけ添付の図面に照らして行う本発明の特定の実施形態についての以下の詳細な説明を考察することによって明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0028】

添付の図面の図1を参照すると、縦軸すなわち中心線12を有するプラズマ処理装置真空チャンバ10が示されている。プラズマ処理装置真空チャンバ10は、軸12と同軸の円形内部周囲を有する導電金属壁14を備えている。壁14は接地されており、換言するとDC基準電位にある。

【0029】

チャンバ10は、しばしば底部電極と呼ばれている第1の円形電極18を備えた円形ワークピース・ホルダ16からなる底部アセンブリ15を備えている。ワークピース・ホルダ16および電極18は、軸12と同軸である。典型的には半導体ウェハであるワークピース20は、チャンバ10内の領域24に閉じ込められたプラズマ22による処理中、ワ

50

ークピースが軸 1 2 と同軸になるよう、適切な機構（図示せず）によってホルダ 1 6 の上に置かれている。ワークピース・ホルダ 1 6 は、適切な DC チャック電圧源（図示せず）に接続された静電チャックとして構成されていることが好ましい。ワークピース・ホルダ 1 6 は、通常のワークピース持上げピン（図示せず）およびワークピース温度を制御するための構造（図示せず）を備えている。

【0030】

また、チャンバ 1 0 は、電氣的に DC 接地された、軸 1 2 と同軸の第 2 の円形電極 2 6 を備えている。しばしば頂部電極と呼ばれている電極 2 6 は、内部通路（図示せず）および多数のシャワー・ヘッド開口（図示せず）を備えている。内部通路およびシャワー・ヘッド開口は共に、シャワー・ヘッド開口を通して領域 2 4 に流入する 1 つまたは複数のガスの適切なガス源 2 8 に流量関係で接続されている。領域 2 4 に流入したガスは、そこで処理プラズマ 2 2 に変換される。

10

【0031】

プラズマ 2 2 は、垂直方向に積み重ねられた、水晶であることが好ましい 4 つの誘電体円形リング 3 1 ~ 3 4 を備えた下部アセンブリ 3 0 からなる閉込め構造 2 8 を使用して領域 2 4 に閉じ込められている。円形リング 3 1 ~ 3 4 は、適切なシャフト構造（図示せず）によって互いに固定接続されている。リング 3 1 ~ 3 4 は軸 1 2 と同軸であり、プラズマ閉込め領域 2 4 の最上面を画定している電極 2 6 の直径と実質的に同じ直径を有する整列した内部周囲を備えている。リング 3 1 ~ 3 4 の各々は、概ね同じ水平方向延長部分を有しており、上部リング 3 1 は、リング 3 2 ~ 3 4 の概ね同じ垂直方向延長部分より実質的に長い垂直方向延長部分を有している。上部リング 3 1 の内部周囲は、頂部電極 2 6 の周囲と接触している。底部リング 3 4 の下面は、通常、下部アセンブリ 1 5 の上面の上方に間隔を隔てている。イオン化されていないガス、つまりプラズマではないガスは、領域 2 4 からルーバ・アセンブリ 3 0 およびリング 3 4 と底部アセンブリ 1 5 の間の空間を流れていく。チャンバ 1 0 の外部のモータ 3 5 は、チャンバを貫通して延びたシャフト（図示せず）を備えており、底部アセンブリ 1 5 の頂面に対して垂直方向にリング 3 1 ~ 3 4 を駆動している。プラズマ閉込め領域 2 4 内のプラズマ 2 2 の圧力を制御するために、モータ 3 5 は、リング 3 1 ~ 3 4 を垂直方向に駆動するためのコントローラ 3 6 の出力信号に応答するべく接続されており、それによりリング 3 4 と底部アセンブリ 1 5 の頂面の間の間隔を制御している。リング 3 4 の底面とアセンブリ 1 5 の頂面が接触すると、最大圧力が得られる。

20

30

【0032】

イオン化されていないガスは、領域 2 4 からルーバ・アセンブリ 3 0 を通って、リング 3 1 ~ 3 4 の外縁と壁 1 4 の内部周囲の間のチャンバ 1 0 の環状体積 3 8 に流入する。領域 2 4 に閉じ込められているプラズマは、壁 1 4 への入射が阻止されている。体積 3 8 の底に設けられているポート 4 0 が、チャンバ 1 0 の圧力を典型的には 1 ミリトールと 1 0 0 0 ミリトールの間に維持する適切な真空ポンプ（図示せず）に接続されているため、体積 3 8 中のイオン化されていないガスは、体積 3 8 の底の複数のポート 4 0 を通って流れる。

【0033】

頂部電極 2 6 は、軸 1 2 と同軸で、かつ、接地に接続された、アルミニウムであることが好ましい金属板 4 2 を備えたアセンブリである。金属板 4 2 は、垂直方向に延びた側縁 4 4 および半径方向に延びたフランジ 4 6 を備えている。フランジ 4 6 は、側縁 4 4 の上部部分から延びており、その外径は、リング 3 1 ~ 3 4 の外径と同じであるため、フランジとリングの外部周囲は垂直方向に整列している。側縁 4 4 の外径は、リング 3 1 ~ 3 4 の内径と同じであり、したがって側縁 4 4 の周囲とリング 3 1 ~ 3 4 の内部周囲は垂直方向に整列している。金属板 4 2 には、軸 1 2 と同軸であり、かつ、側縁 4 4 の直径と同じ直径を有する黒鉛円板 4 8 がボルト止めされており、したがって金属板 4 2 の底面と黒鉛円板 4 8 の頂面は接触している。半導体円板 5 0 の頂面は軸 1 2 と同軸であり、その直径は黒鉛円板 4 8 の直径と同じである。半導体円板 5 0 は、真性シリコンでできていること

40

50

が好ましい。半導体円板 50 は、適切な接着剤で黒鉛円板 48 の底面に結合されている。

【0034】

底部アセンブリ 15 は、頂面が保護電気絶縁酸化膜 51 で覆われた電極 18、および水晶でできていることが好ましい誘電体円形リング 52 を備えている。軸 12 と同軸であるリング 52 は、電極 18 とその上にワークピース 20 が正しく配置された場合に整列する直径と実質的に同じ直径を有する円形内部周辺壁表面を有している。アルミニウムであることが好ましい、電氣的に接地された金属被覆 54 がリング 52 の外部円形壁を覆っており、リングの外壁から内側に向かって、リングの内壁およびワークピース 20 の周囲表面に向かって延びている。導電被覆 54 の内縁は軸 12 と同軸の円形であり、リング 52 の内壁から間隔を隔てている。水晶であることが好ましい誘電体層 56 は、金属被覆 54 の側面および上面を覆っており、その電位は、DC 接地金属被覆 54 と接しているため、DC 接地電位である。したがって金属被覆 54 および誘電体層 56 は、DC 接地金属壁 14 の延長部分と見なすことができる。

10

【0035】

リング 52 の頂面には、シリコンであることが好ましい真性半導体でできたリング 58 が取り付けられている。リング 58 は、ワークピース 20 の外径と金属被覆 54 および誘電体層 56 の整列した内縁との間に挿入するように寸法化され、かつ、配置されている。リング 58 は、リング 58 の外縁と金属被覆 54 および誘電体層 56 の内縁が接触し、かつ、ワークピースがワークピース・ホルダ 16 上に正しく配置された場合に、リング 58 の内縁とワークピース 20 がほぼ接触するようにリング 52 の上に取り付けられている。真性半導体でできているリング 58 は、金属被覆 54 および誘電体層 56 を備えた接地電極の延長部分を含む、底部電極 18 と接地電極 26 の間を流れる RF 変位電流に経路を提供しているが、リング 54 の真性半導体材料は、延長部分を含む電極 18 と 26 の間を流れることになる DC 電流に導電経路を提供していないため、金属被覆 54 と電極 18 もしくはワークピース 20 との間のリング 58 の両端間には実質的な DC 電流は流れない。

20

【0036】

金属壁 14 は、それぞれ半径方向を内側に軸 12 に向かって延びた上部金属部分 60 および下部金属部分 62 を備えている。上部金属部分 60 の内縁は、下向きに垂れ下がったフランジ 64 によってアルミニウム板 42 に電氣的かつ機械的に接続されており、一方、下部金属部分 62 の内縁は、金属被覆 54 に電氣的かつ機械的に接続されている。開口すなわち通路 40 を備えた金属リング 66 は軸 12 と同軸であり、導電率の大きい非磁気金属、たとえば銅あるいはアルミニウムでできていることが好ましい。リング 66 の下面は、金属ストラップ 68 によって接地に接続され、リング 66 の上面は、下部金属部分 62 および被覆 54 に接続されている。したがって被覆 54 は、DC 接地に抵抗（すなわち導電もしくは DC）接続され、壁 14 の電位と実質的に同じ DC 接地電位を維持している。

30

【0037】

上部金属部分 60 および下部金属部分 62 を備えた壁 14 は、低 RF 周波数（たとえば 2 MHz）におけるインピーダンスが比較的小さく、かつ、高 RF 周波数（たとえば 27 MHz）におけるインピーダンスが比較的大きい分散パラメータ誘導子と見なすことができる。したがって壁 14 は、低 RF 周波数を通過させ、高 RF 周波数を実質的に阻止する分散パラメータ低域通過フィルタと見なすことができる。

40

【0038】

回路 70 は、複数の RF 周波数の電力を同時に電極 18 に供給している。RF 周波数は、2 MHz および 27 MHz であることが好ましく、それぞれプラズマ 20 中のイオンのエネルギーおよび密度を主として制御している。したがって 2 MHz の電力の量が変化すると、プラズマ 22 のイオン・エネルギーが変化し、また、27 MHz の電力の量が変化すると、プラズマ 22 の密度が変化することになる。チャンバ 10 の構成により、2 MHz の電力を 27 MHz の電力に対して変化させ、あるいは 27 MHz の電力を 2 MHz の電力に対して変化させることにより、プラズマと、回路 20 が電極 18 に供給する 2 MHz および 27 MHz の電力に応答して電極 18 をプラズマに結合する 2 MHz および 27

50

MHzの電界との間の相互作用によって電極18に確立されるDCバイアス電圧が制御可能に変化する。本出願人は、チャンバ10のこの構成によって、2MHzおよび27MHzの電力の相対量と電極18のDCバイアス電圧の間の単調な関係を達成することができることを見出した。27MHzの電力の量に対する2MHzの電力の量が増加すると、電極18の負のDCバイアス電圧が大きくなる。したがって、図1に示す二極管構成の電極18に供給される2MHzおよび27MHzの電力の相対量を制御することにより、異なる周波数の電力が頂部電極および底部電極に個別に供給され、かつ、チャンバ壁が接地される三極管構成によって得られる結果と幾分か同様の結果が提供される。

【0039】

図1に示す二極管構成は、2MHzおよび27MHzの電力が底部電極を同時に駆動する従来技術による典型的な二極管構成とは異なっている。図1に示す二極管チャンバ10の場合、電極18に印加される高周波27MHz電力のうちの実質的な割合の電力が、電極18と金属被覆54が形成している接地延長部分とを含み、電極26を含まない経路を有している。それとは対照的に、電極18に印加される低周波2MHz電力のうちの実質的な割合の電力が、電極18と接地電極26とを含み、金属被覆54を含まない経路を有している。壁14は、27MHzにおける壁の誘導性インピーダンスが大きいため、電極26への実質的な量の27MHz電力の到達を阻止している。壁14の2MHzにおける誘導性インピーダンスは、27MHzにおける壁の誘導性インピーダンスより1桁以上小さく、したがって2MHz電力の壁を通した実質的な循環が存在する。電極26と被覆54の間の壁14の長さは、27MHzにおける壁14の電氣的長さが概ね1波長であり、かつ、2MHzにおける電氣的長さが波長の1/10未満であるようになっている。

【0040】

プラズマ22、半導体リング58および誘電体リング52の頂面上および外面壁上の接地被覆54を介して電極18から接地に結合される2MHzの電力に対するチャンバ10の容量性インピーダンスは、同じ経路、つまりプラズマ22、半導体リング58および金属被覆54を通る経路を介して結合される27MHzの電力に対する容量性インピーダンスより実質的に大きくなっている。リング58は、容量分および抵抗分を有する分散インピーダンス・コンポーネントと見なすことができる。プラズマ22は、主として分散抵抗と見なすことができる。プラズマ22と閉込め領域24の表面、すなわちワークピース20の頂面、リング31～34の表面、半導体円板50の底面、誘電体層56の頂面および半導体リング58の頂面との間にはシースが存在している。電極18のDCバイアス電圧が変化すると、シースの厚さおよびシースと結合した容量が変化する。このシースは、主として容量分を有する分散インピーダンスと見なすことができる。したがって電力が供給される底部電極18から接地金属ストラップ68へ流れるRF電流は、先ず底部アセンブリ15の直ぐ上のシースの容量性インピーダンスを通して流れ、そこから抵抗性プラズマ22を通して流れる。

【0041】

プラズマ22を通して流れるRF電流の第1の経路は、頂部電極アセンブリ26の直ぐ下のシースの容量性インピーダンスを通り、そこから壁14およびリング66を通して接地ストラップ68に到る経路である。プラズマ22を通して流れるRF電流の第2の経路は、底部電極18の上方のシースの容量性インピーダンスを通して容量性および抵抗性半導体リング58に入り、そこから誘導性被覆54を経由してストラップ68に到る経路である。プラズマ22を通して流れるRF電流の第3の経路は、底部アセンブリ15の上方のシースの容量性インピーダンスを通して層56の容量性インピーダンスに入り、そこから誘導性被覆54を経由してストラップ68に到る経路である。シース、層56およびリング58の容量性インピーダンスは、底部電極18から接地ストラップ68へ流れる27MHzの電流に対するインピーダンスの方が、2MHzの電流に対するインピーダンスより1桁小さい。また、リング52の頂面の誘導性被覆54の面積は、コンデンサ電極と同様に機能するため、第3の経路のインピーダンスは、27MHzの励起に対するインピーダンスの方が、2MHzの励起に対するインピーダンスより小さい。コンデンサの値は、

コンデンサの電極の面積に正比例し、また、コンデンサのインピーダンスは、コンデンサに印加される周波数とコンデンサの値の積に反比例しているため、リング52のインピーダンスは、27MHzに対するインピーダンスの方が2MHzに対するインピーダンスよりはるかに小さい。27MHzでは、プラズマ22、誘電体リング52の頂面の金属被覆54および半導体リング58を介した電極18から接地ストラップ68までのインピーダンスの方が、プラズマ22、電極26および壁14を介した電極18から接地ストラップ68までの経路のインピーダンスよりはるかに小さい。

【0042】

実際の実験から、閉込め領域24（電極26と、誘電体リング52の頂面の金属被覆54を備えたその延長部分を含む）を本質的に制限している接地電極の面積を、電力が供給される電極18の面積に対して広くすることにより、電極18に供給される2MHzおよび27MHzの相対電力の変化によって生じるDCバイアス電圧の制御量が実質的に増加することが分かっている。図2に示す好ましい一実施形態では、接地電極の面積と電力が供給される電極の面積の比率は、2.7:1である。

【0043】

図1に示す実施形態の回路70は、それぞれ整合回路網76および78を駆動している可変電力2MHz源72および可変電力27MHz源74を備えている。整合回路網76および78は、それぞれ2MHzおよび27MHzに同調されている。ハイブリッド結合器80は、それぞれ整合回路網76および78のRF出力に応答するべく接続された第1および第2の入力部を有しており、整合回路網の出力を線形結合した出力を駆動している。結合器80の出力は、結合コンデンサ82を介して電極18に供給されており、したがって電極は、2MHzおよび27MHzの電力によって同時に駆動される。

【0044】

整合回路網76および78の各々は、コントローラ36によってその値が制御される一対の可変リアクタンスを備えている。コントローラ36は、整合回路網76のリアクタンスを制御するべく、プローブ信号（図示せず）に応答して、整合回路網76が2MHz源72に向けて反射する2MHzエネルギーの電圧、電流および位相角を示す信号を引き出している。また、コントローラ36は、整合回路網78のリアクタンスを制御するべく、プローブ信号（図示せず）に応答して、整合回路網78が27MHz源74に向けて反射する27MHzエネルギーの電圧、電流および位相角を示す信号を引き出している。回路網76、78およびRF源72、74は、場合によっては損傷の可能性のある27MHz電力の2MHz源72への結合を防止し、かつ、場合によっては損傷の可能性のある2MHz電力の27MHz源74への結合を防止するべく、十分に大きいQ（Q値）を有している。RF源72および74によって電極18に供給される相対電力は、プラズマ中のイオン・エネルギーとプラズマ中のイオン密度の独立した制御を提供し、かつ、底部電極18のDCバイアス電圧を制御するべく制御されている。

【0045】

次に、添付の図面の図2を参照すると、図1に略図で示す構造の機械横断面図が示されている。閉込め領域24内の上部接地電極26の表面積を若干広くするために、黒鉛円板48および半導体円板50の下面は、テーパが施された、電極26の中心および周辺部分からそれぞれ下向きに領域24へ延びた表面80および82を備えている。円板48および50は、テーパが施された表面80と82の間に位置し、かつ、底部電極16の上面に平行に延びた平らな表面84を備えている。

【0046】

図1にリング52の頂面の金属層54で示されている接地電極の延長部分は、図2では、水晶リング52の頂面に結合された金属（たとえばアルミニウムもしくは銅）リング86で提供されている。リング86は、水晶リング52内の垂直方向のシリンダを貫通して延びた複数の金属（たとえばアルミニウムもしくは銅）ポスト88によって励起回路70の接地端子に電気接続されている。ポスト88は、リング52の周りに数度毎に等間隔で配置されている。ポスト88の各々の上面は、たとえばはんだによって機械的かつ電氣的

にリング 8 6 の下面に結合されている。ポスト 8 8 の各々の下端は、水晶リング 5 2 の下面の下を延びており、励起回路 9 0 の接地端子が接続されている接地金属（たとえばアルミニウムもしくは銅）電気接触リング 9 0 のシリンダの側壁と機械的かつ電氣的に係合している。したがってポスト 8 8 およびリング 9 0 は、図 1 に示すリング 5 2 上の層 5 4 の側壁および金属ストラップ 6 8 の機能と同じ機能を提供している。リング 9 0 およびポスト 8 8 は、チャンバ壁 1 4 の水平方向に延びた金属板 9 2 に機械的かつ電氣的に接続されている。金属板 9 2 は、図 1 に示す下部壁部分 6 2 およびリング 6 6 の等価物である。

【0047】

電力が供給される底部電極 1 8 の周囲とリング 8 6 の内部円周の間に挿入されている半導体リング 5 8 は、熱膨張に備えるべく半径方向に互いに間隔を隔てた 2 つの相互嵌合い剛直セグメント 9 2 および 9 4 を備えている。

10

【0048】

図 2 に示すように、壁 1 4 は観察窓 9 5 を備えている。金属リング 9 8 は、壁 1 4 および金属板 4 2 に機械的かつ電氣的に接続され、図 1 に示す上部壁部分 6 0 の機能を果たしている。

【0049】

実際に構築された、図 2 に示す構成を有するチャンバ 1 0 の一例では、円板 5 0 の直径は $1\frac{1}{2}$ " であり、電極 5 1 の直径は $7\frac{1}{4}$ " で、その縁と縁の間に半導体セグメント 9 2 と接触している。リング 8 6 の内径と外径の間の間隔は 1 " である。リング 5 8 は、セグメント 9 2 および 9 4 によって形成され、その内径と外径の間の間隔は $3\frac{1}{4}$ " である。窓 9 6 の部分の壁 1 4 の直径は $12\frac{3}{4}$ " であり、電極 1 6 および 2 6 の平らな面と面の間の軸 1 2 に沿った間隔は $3\frac{1}{8}$ " である。これらの寸法により、接地電極と閉込め領域 2 4 内の電力が供給される電極との面積比率 2.7 : 1 が得られる。接地電極の面積は、シリコン円板 5 0 の底面と金属リング 8 6 の上面からなり、一方、電力が供給される電極の面積は、電極 1 8 の上面からなっている。

20

【0050】

次に、添付の図面の図 3 を参照すると、図 2 に示す構造の他のデバイスと比較した性能を示す一連のプロットが示されている。図 3 では、回路 7 0 によって電極 1 6 に供給される 2 MHz と 27 MHz の電力の比率に対する、電極 1 8 と結合した DC バイアス電圧がプロットされている。

30

【0051】

プロット 100 は、従来技術による、底部電極に 2 MHz の電力が印加され、頂部電極に 27 MHz の電力が印加され、かつ、チャンバ壁が接地されている三極管チャンバに印加された電力比率に対する DC バイアス電圧の単調関数である。プロット 100 は、比較的大きい負の勾配を有しており、頂部電極および底部電極に供給する電力の比率を変更することにより、底部電極の DC バイアス電圧に対する有意な制御が提供されることを示している。つまり、頂部電極に供給する 27 MHz の電力に対する底部電極に供給する 2 MHz の電力の比率を変化させることにより、底部電極の DC バイアス電圧が有意に変化する。

【0052】

それとは対照的に、プロット 102 は、2 MHz および 27 MHz の電力が同時に底部電極に供給され、かつ、頂部電極およびチャンバ壁が接地されている典型的な従来技術による二極管チャンバの性能を示している。プロット 102 は単調関数ではなく、極めて緩やかな勾配を有している。プロット 102 の勾配は、27 MHz の電力が 2 MHz の電力の少なくとも 2 倍大きい電力比率に対しては負の勾配である。プロット 102 は、27 MHz の電力の量が 2 MHz の電力の量の約 2 倍未満の電力比率に対して正の勾配を有している。したがってプロット 102 で示す結果を生成するべく構成されたチャンバでは、底部電極の DC バイアス電圧に対する有意な制御を得ることはできない。

40

【0053】

プロット 104 および 106 は、それぞれ 120 ミリトールおよび 67 ミリトールの圧

50

力に対する図2に示すチャンバの性能を示している。プロット104および106は、いずれも単調関数であり、底部電極に印加される2MHzおよび27MHzの電力の相対量の変化に応じて底部電極18のDCバイアス電圧の制御を可能にするだけの十分な負の勾配を有している。たとえばプロット104は、電極18に2MHzの電力ではなく、1000ワットの電力が27MHzで印加された場合、底部電極18のDCバイアス電圧は-590ボルトであることを示している。2MHzの電力が増加し、2MHzの電力および27MHzの電力が共に1000ワットになると、電極18のDCバイアス電圧は約-630ボルトになる。2MHzの電力がさらに増加し、2MHzの電力が2000ワット、27MHzの電力が1000ワットになると、電極18のDCバイアス電圧はさらに減少して約-670ボルトになる。2MHzの電力が4000ワット、27MHzの電力が1000ワットになると、底部電極18のDCバイアス電圧はさらに減少して約-725ボルトになる。したがって図2に示す構成を有するチャンバの場合、底部電極18に印加する2MHzおよび27MHzの電力の相対量を変化させることにより、底部電極のDCバイアス電圧の実質的な制御が提供され、プラズマ密度およびイオン・エネルギーが独立して制御される。プロット106で示す67ミリの圧力の場合も、同様の結果が提供される。

10

【0054】

以上、本発明の特定の実施形態について説明し、かつ、図に示したが、とりわけ図に示し、かつ、説明した実施形態の詳細に、特許請求の範囲で定義されている本発明の真の精神および範囲を逸脱することなく変更を加えることができることは明らかであろう。

20

【図面の簡単な説明】

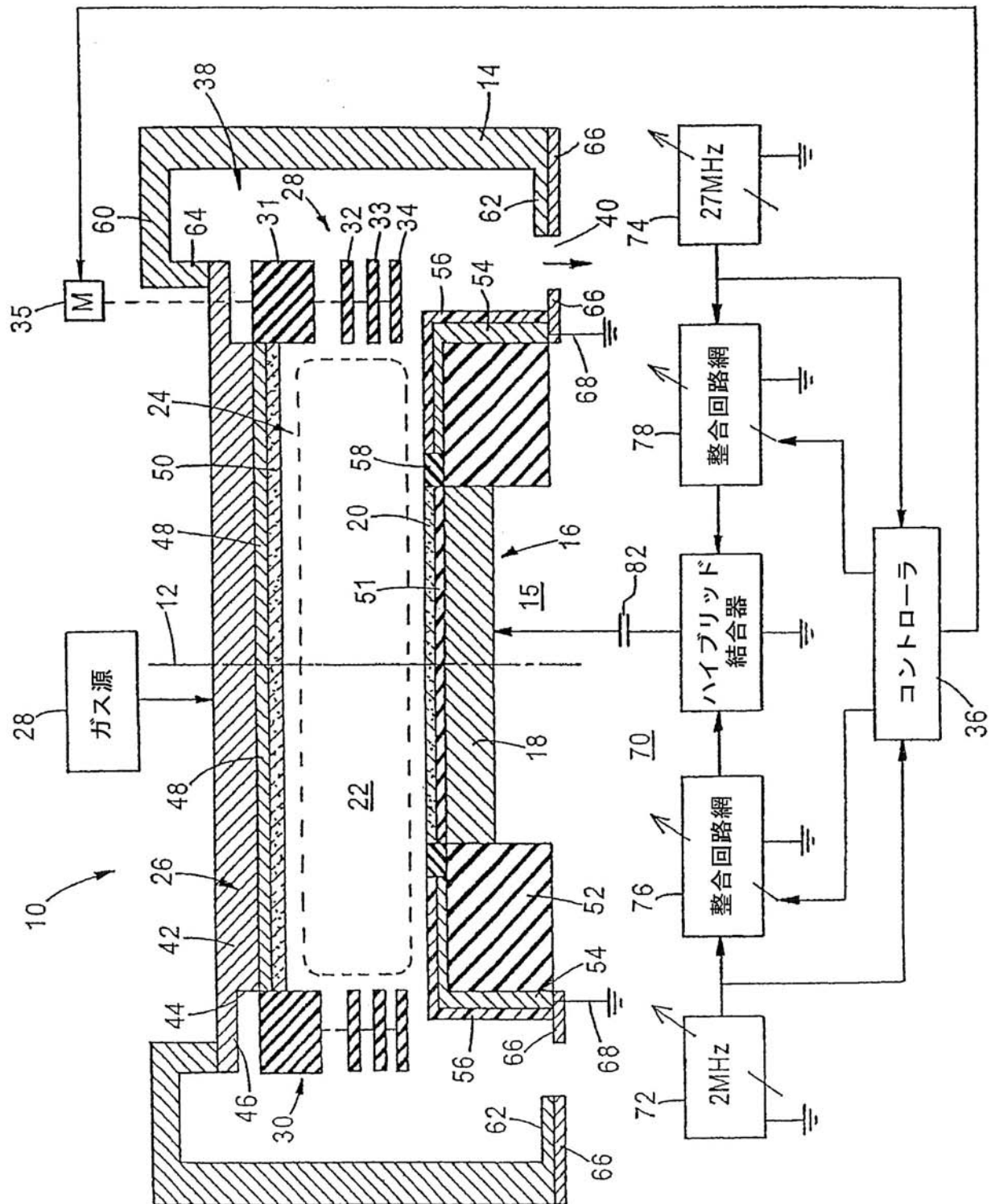
【0055】

【図1】本発明の好ましい実施形態によるプラズマ処理装置の好ましい実施形態の部分略図である。

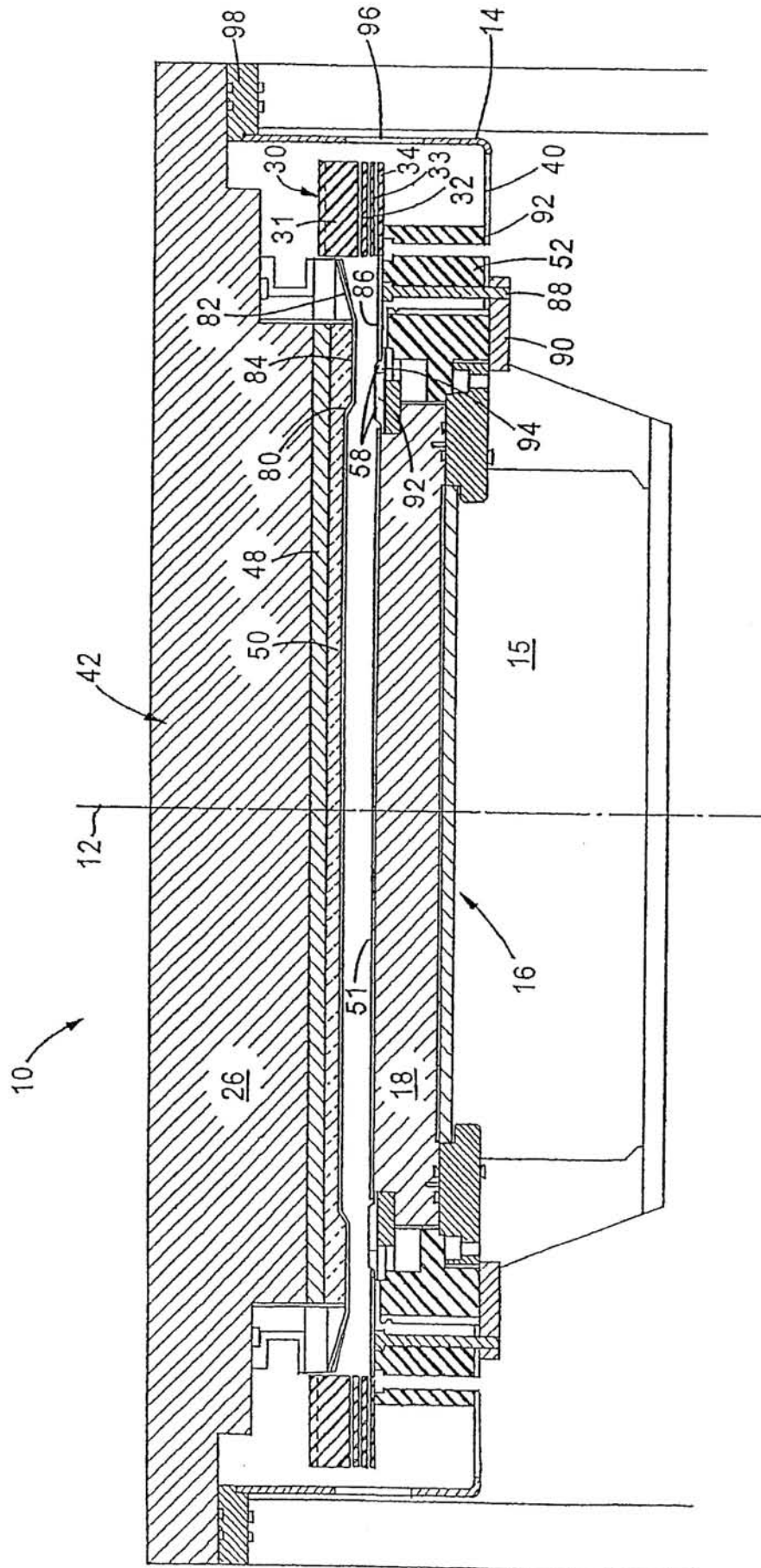
【図2】図1に略図で示すプラズマ処理装置真空チャンバの好ましい実施形態の横断面図である。

【図3】図2に示すチャンバの底部電極に供給される2つのRF周波数の電力の関数として制御されるDCバイアス電圧の様子を示すグラフである。

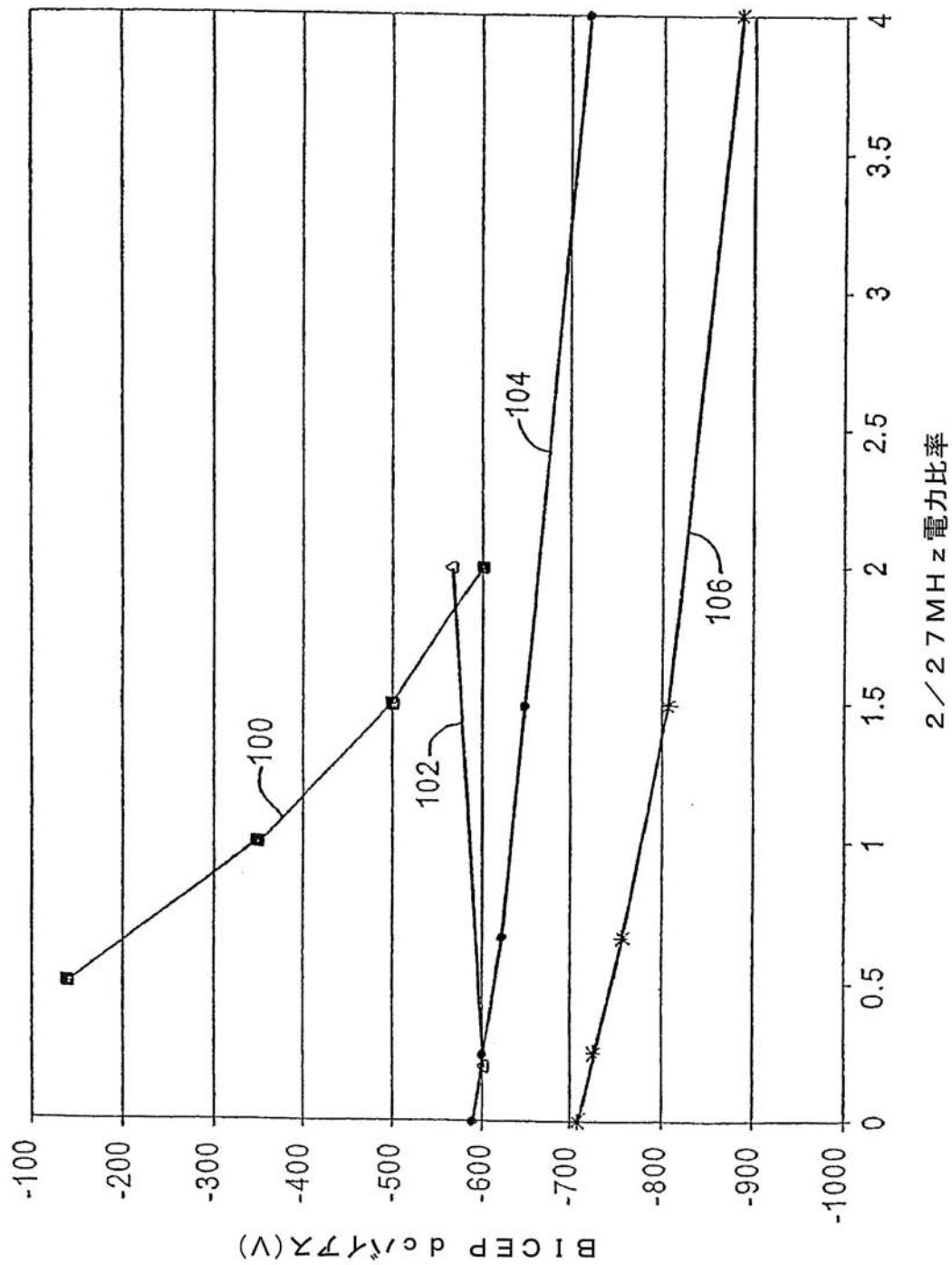
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【手続補正書】

【提出日】平成22年7月8日(2010.7.8)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の電極と該第 1 の電極の周縁外側に配置された接地電極とを有し、前記第 1 の電極上の第 1 の領域と前記第 1 の電極と前記接地電極との間の第 2 の領域にプラズマを発生するプラズマ処理装置を動作させる方法であって、

前記第 1 の領域に第 1 の周波数の高周波の電力を供給すると同時に前記第 2 の領域に前記第 1 の周波数よりも高い第 2 の周波数の高周波の電力を供給するステップと、

前記第 1 および第 2 の周波数の高周波の電力と前記第 1 の電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じて前記第 1 の電極に直流バイアス電圧を確立するステップと、

いずれか一方の前記周波数の高周波の電力に関連するパラメータをもう一方の前記周波数の高周波の電力に関連するパラメータに対して変更することによって前記第 1 の電極の直流バイアス電圧の値を制御するステップとを含む方法。

【請求項 2】

第 1 の電極と該第 1 の電極に対向して配置された所定の D C 基準電位の第 2 の電極と前記第 1 の電極の周縁外側に配置された接地電極とを有するプラズマ処理装置を動作させる方法であって、第 1 の周波数の高周波の電力および該第 1 の周波数よりも高い第 2 の周波数の高周波の電力を前記第 1 の電極に同時に供給するステップと、前記第 1 の周波数の高周波を前記第 1 の電極と前記第 2 の電極とこれら第 1 及び第 2 の電極の間の領域とを含む領域を通過して前記第 2 の電極に至る経路を通過させるステップと、前記第 2 の周波数の高周波を前記領域を通過して前記接地電極に至る経路を通過させるステップと、前記電極に供給される前記第 1 および第 2 の周波数の高周波の電力と前記第 1 の電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じて前記第 1 の電極に D C バイアス電圧を確立するステップと、いずれか一方の前記周波数の高周波の電力に関連するパラメータをもう一方の前記周波数の高周波の電力に関連するパラメータに対して変更することによって前記第 1 の電極の D C バイアス電圧の値を制御するステップとを含む方法。

【請求項 3】

いずれか一方の前記周波数の電力に関連する前記パラメータが、前記第 1 の電極に印加される前記第 1 の周波数の高周波の電力量であり、前記第 2 の周波数の高周波の電力に関連する前記パラメータが前記第 2 の周波数の高周波の電力量である、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

10 MHz よりも低い前記第 1 の周波数の高周波が主として前記プラズマのイオン・エネルギーを制御し、10 MHz よりも高い前記第 2 の周波数の高周波が主として前記プラズマのイオン密度を制御する、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 および第 2 の周波数がそれぞれ 2 MHz および 27 MHz である、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 および第 2 の周波数の高周波の電力を、前記第 1 の電極と第 2 の電極の間の領域を含む領域に集中させるステップと、前記第 1 の電極に印加される前記第 1 および第 2 の周波数の高周波の主な部分の電力を前記領域内に異なる経路を持たせるステップとをさらに含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 1 の周波数の前記経路が前記第 1 および第 2 の電極を含み、前記第 2 の周波数の前記経路が前記第 2 の電極を含まない、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記処理装置が、前記第 2 の電極の D C 電位と同じ D C 電位の、前記第 2 の電極よりも前記第 1 の電極の方に近い他の経路を備え、前記第 2 の周波数の前記経路が前記第 1 の電極および前記他の経路を含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記プラズマを前記領域に閉じ込めるステップをさらに含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 10】

前記領域内のプラズマの圧力を制御するステップをさらに含む、請求項 9に記載の方法。

【請求項 11】

前記第 2 の電極の電位が D C 基準電位である、請求項 6 乃至 10のいずれかに記載の方法。

【請求項 12】

前記第 2 の周波数の高周波の電力量と前記第 1 の周波数の高周波の電力量の比率を変化させると前記第 1 の電極の D C バイアス電圧の値が単調関数で変化するように前記真空チャンバが構成されている、請求項 3 に記載の方法。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0001】

本発明は一般に複数の周波数に同時に応答する電極を備えたプラズマ処理装置に関する。本発明の特定の一態様は、複数の周波数の電力に、1 つは複数の周波数に同時に応答する電極であり、もう 1 つは実質的に基準電位の電極である一対の電極によって拘束された領域を通る実質的に異なる経路を通過させるための構造を有するチャンバを備えた処理装置に関する。本発明の他の態様は、複数の周波数に応答する電極の D C バイアス電圧が、複数の周波数のうちの 1 つの周波数の電力に関連するパラメータを他の周波数の電力に関連するパラメータに対して変更することによって制御される処理装置の動作方法に関する。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0006】

前述の二極管構成および三極管構成を有するチャンバに、電極と電極の間の領域を含む閉込め領域にプラズマを閉じ込めるための構造を持たせることは知られており、この閉込め構造により、チャンバ接地金属壁構造へのプラズマの入射を阻止し、それによりチャンバ壁構造の実質的な損傷を防止し、かつ、プラズマ特性の制御を向上させている。これについては、たとえば L e n z らの米国特許 5, 534, 751 を参照されたい。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

高周波数および低周波数が底部電極を同時に駆動する構成を有するチャンバを備えた従来技術による処理装置は、高周波パラメータおよび低周波パラメータ、たとえば底部電極に供給する電力の相対値の変更によっては底部電極の D C バイアス電圧を制御できない方法で構築されている。D C バイアス電圧は、底部電極に供給される高周波電力および低周波電力の相対量の変化に対して、比較的一定の電圧を維持することが分かっている。本出願人らは、比較的一定のバイアス電圧が維持されるのは、イオン・エネルギー（主として低周波電力によって制御されていると思われる）とイオン密度（主として高周波電力によって制御されていると思われる）が実質的に結合するようにチャンバが構築されていることによるものと考えている。したがって、プラズマ密度と、プラズマ領域の縁とプラズマ

の縁に近いチャンバの表面との間のシース幅との結合が存在しており、その結果、パラメータ（たとえば電力）の相対値を高周波数および低周波数で変更しても、プラズマ・イオン・エネルギーおよびプラズマ密度に対する所望の独立した制御を得ることはできない。したがって、底部電極に2つの異なる周波数が同時に印加される従来技術による二極管チャンバでは、三極管二重周波数チャンバが達成している水準の底部電極バイアス電圧の制御を達成することは困難である。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0011】

チャンバは、第1の周波数の高周波の電力の主な部分を第1と第2の電極の間に結合し、かつ、第2の周波数の高周波の電力の主な部分の第1と第2の電極の間への結合を阻止するようになされていることが好ましい。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0013】

また、分散パラメータ・フィルタ構造は、第2の周波数が上記領域を通過して、実質的に壁および第2の電極と同じDC基準電位にあるチャンバ壁延長部分の他の経路まで通過するようになされていることが好ましい。チャンバ壁延長部分の第1の電極までの距離は、第2の電極までの距離より実質的に短くなっている。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0014】

この延長部分には、第1の電極の周辺部分を越えた領域が含まれていることが好ましい。第1の電極からこの延長部分までの電気結合は、第2の周波数が上記領域中を、第1の周波数が上記領域中を通過する範囲より広い範囲まで通過するようになされている。この延長部分の他の経路は、誘電体によって第1の電極と間隔を隔てていることが好ましい。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0015】

プラズマを閉じ込めるための構造は、領域内のガスの上記領域の外側のチャンバ部分への流れを可能にするようになされた複数のルーバを備えていることが好ましい。ルーバおよびルーバ間の空間は、第2の電極から基準電位への第1の周波数の変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的なDC電流の流れを阻止するようになされた材料でできていることが好ましい。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0019】

第1の周波数の高周波の電力に関連するパラメータが第1の周波数の高周波の電力量であり、第2の周波数の高周波の電力に関連するパラメータが第2の周波数の高周波の電力量であることが好ましい。また、第1の周波数（好ましくは約2MHz）の高周波が主としてプラズマのイオン・エネルギーを制御し、第2の周波数（好ましくは約27MHz）の高周波が主としてプラズマのイオン密度を制御することが好ましい。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0020】

DCバイアス電圧の制御を促進するためには、第1の電極と第2の電極の間の領域を含み、かつ、処理装置のチャンバの壁構造が含まれていない領域に第2の周波数の高周波の電力が拘束されることが好ましい。第1の周波数の高周波の電力は、DCバイアス電圧の制御を促進するための上記領域を実質的に除いたチャンバ部分に供給される。プラズマは、通常、第2の周波数の高周波の電力が拘束される領域に閉じ込められる。また、この領域のプラズマ圧力を制御することによって、DCバイアス電圧の制御が促進される。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0021】

DCバイアス電圧のより良好な制御の提供を促進するために、第1の電極の周辺部分を越えた領域まで第2の周波数の高周波の拘束領域が延びている。第1の電極の周辺部分を越えた領域は、（1）第1および第2の周波数の高周波の変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的なDC電流の流れを阻止する材料、好ましくは真性半導体と、（2）この材料の周辺部分を越えたDC基準電位の表面からなっていることが好ましい。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0022】

プラズマを閉じ込めるための構造は、上記領域内のガスの上記領域の外側のチャンバ部分への流れを可能にするようになされた複数のルーバを備えていることが好ましい。ルーバおよびルーバ間の空間は、第2の電極から基準電位への第1の周波数の高周波の変位電流の流れを可能にし、かつ、実質的なDC電流の流れを阻止するようになされた材料でできていることが好ましい。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0023】

本発明の追加態様は、基準電位の導電壁を有する真空チャンバを備えた、ワークピースを処理するためのプラズマ処理装置に関する。この導電壁は、チャンバの縦軸と同軸の円形内部周囲を有している。チャンバは、円形ワークピース・ホルダを備えた第1の円

形電極を備えており、第１の電極とワークピース・ホルダは、チャンバの縦軸と同軸である。また、チャンバは、チャンバの縦軸と同軸の第２の円形電極を備えており、第２の電極は、チャンバ内でプラズマに変換されるガスの入口を有している。チャンバ内の閉込め構造は、電極と電極の間の領域を含んだ、導電壁へのプラズマの入射を許容しない領域にプラズマを閉じ込めている。プラズマ閉込め構造は、上記領域からのガスの流出を可能にしている。チャンバは、さらに、上記領域から流出するガスのための出口を有している。閉込め領域の下部境界には、（１）第１の電極、（２）チャンバの縦軸と同軸のリング、（３）チャンバの縦軸と同軸の環状表面を有する部材が含まれており、環状表面を有する部材の電位は実質的に基準電位である。リングは、第１の電極と環状表面を有する部材の間に挿入されており、ＲＦ変位電流の流入を可能にし、かつ、実質的な伝導電流の流入を阻止する材料でできている。回路は、複数の周波数の電力を同時に第１の電極に供給している。導電壁は、第２の電極および環状表面を有する部材に電気接続されており、比較的小さいインピーダンスを第１の周波数に提供し、かつ、比較的大きいインピーダンスを第２の周波数に提供するように、第２の電極と環状表面を有する部材の間に一定の長さを有している。

【手続補正１５】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】００２４

【補正方法】変更

【補正の内容】

【００２４】

環状表面を有する部材は、導電部材を覆っている誘電体であることが好ましく、また、リングは真性半導体、たとえばシリコンからなっていることが好ましい。

【手続補正１６】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】００２５

【補正方法】変更

【補正の内容】

【００２５】

好ましい実施形態では、プラズマ閉込め構造は、チャンバの縦軸と同軸の内部周囲表面を有する、間隔を隔てた複数のプラズマ閉込めリングを備えており、また、第２の電極は、閉込め領域の上部境界を形成している表面を有している。プラズマ閉込めリングの各々の内部周囲表面は、上部境界領域を形成している第２の電極の表面の周囲と実質的に整列し、また、環状表面を有する部材は、少なくとも、プラズマ閉込めリングの内部周囲表面と整列した円の円周まで延ばして形成されている。

【手続補正１７】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】００２６

【補正方法】変更

【補正の内容】

【００２６】

また、チャンバおよび第１と第２の周波数は、第１の周波数の高周波の電力に関連するパラメータを第２の周波数の高周波の電力に関連するパラメータに対して変更することによって、第１の電極に供給される第１および第２の周波数の高周波の電力と第１の電極近傍のプラズマとの間の相互作用に応じて第１の電極に確立されるＤＣバイアス電圧が制御可能に変化するようになされている。

【手続補正１８】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】００３２

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0032】

イオン化されていないガスは、領域24からルーバ・アセンブリ30を通して、リング31～34の外縁と壁14の内部周囲の間のチャンバ10の環状領域38に流入する。領域24に閉じ込められているプラズマは、壁14への入射が阻止されている。領域38の底に設けられているポート40が、チャンバ10の圧力を典型的には1ミリトールと1000ミリトールの間に維持する適切な真空ポンプ（図示せず）に接続されているため、領域38中のイオン化されていないガスは、領域38の底の複数のポート40を通して流れる。

【手続補正19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0034】

底部アセンブリ15は、頂面が保護電気絶縁酸化膜51で覆われた電極18、および水晶でできていることが好ましい誘電体円形リング52を備えている。軸12と同軸であるリング52は、電極18とその上にワークピース20が正しく配置された場合に整列する直径と実質的に同じ直径を有する円形内部周辺壁表面を有している。アルミニウムであることが好ましい、電氣的に接地された金属被覆54がリング52の外部円形壁を覆っており、リングの外壁から内側に向かって、リングの内壁およびワークピース20の周囲表面に向かって延びている。金属被覆54の内縁は軸12と同軸の円形であり、リング52の内壁から間隔を隔てている。水晶であることが好ましい誘電体層56は、金属被覆54の側面および上面を覆っており、その電位は、DC接地金属被覆54と接しているため、DC接地電位である。したがって金属被覆54および誘電体層56は、DC接地金属壁14の延長部分と見なすことができる。

【手続補正20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0035】

リング52の頂面には、シリコンであることが好ましい真性半導体でできたリング58が取り付けられている。リング58は、ワークピース20の外径と金属被覆54および誘電体層56の整列した内縁との間に挿入するように寸法化され、かつ、配置されている。リング58は、リング58の外縁と金属被覆54および誘電体層56の内縁が接触し、かつ、ワークピースがワークピース・ホルダ16上に正しく配置された場合に、リング58の内縁とワークピース20がほぼ接触するようにリング52の上に取り付けられている。真性半導体でできているリング58は、金属被覆54および誘電体層56を備えた接地電極の延長部分を含む、底部電極18と接地電極26の間を流れるRF変位電流に経路を提供しているが、リング58の真性半導体材料は、延長部分を含む電極18と26の間を流れることになるDC電流に導電経路を提供していないため、金属被覆54と電極18もしくはワークピース20との間のリング58の両端間には実質的なDC電流は流れない。

【手続補正21】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0036】

金属壁14は、それぞれ半径方向を内側に軸12に向かって延びた上部金属部分60お

よび下部金属部分 62 を備えている。上部金属部分 60 の内縁は、下向きに垂れ下がったフランジ 64 によってアルミニウム板 42 に電気的かつ機械的に接続されており、一方、下部金属部分 62 の内縁は、金属被覆 54 に電気的かつ機械的に接続されている。開口すなわち通路 40 を備えた金属リング 66 は軸 12 と同軸であり、導電率の大きい非磁気金属、たとえば銅あるいはアルミニウムでできていることが好ましい。リング 66 の下面は、金属ストラップ 68 によって接地に接続され、リング 66 の上面は、下部金属部分 62 および金属被覆 54 に接続されている。したがって金属被覆 54 は、DC 接地に抵抗（すなわち導電もしくは DC）接続され、壁 14 の電位と実質的に同じ DC 接地電位を維持している。

【手続補正 22】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0039】

図 1 に示す二極管構成は、2 MHz および 27 MHz の電力が底部電極を同時に駆動する従来技術による典型的な二極管構成とは異なっている。図 1 に示す二極管チャンバ 10 の場合、電極 18 に印加される高周波 27 MHz 電力のうちの実質的な割合の電力が、電極 18 と金属被覆 54 が形成している接地延長部分とを含み、電極 26 を含まない経路を有している。それとは対照的に、電極 18 に印加される低周波 2 MHz 電力のうちの実質的な割合の電力が、電極 18 と接地電極 26 とを含み、金属被覆 54 を含まない経路を有している。壁 14 は、27 MHz における壁の誘導性インピーダンスが大きいため、電極 26 への実質的な量の 27 MHz 電力の到達を阻止している。壁 14 の 2 MHz における誘導性インピーダンスは、27 MHz における壁の誘導性インピーダンスより 1 桁以上小さく、したがって 2 MHz 電力の壁を通した実質的な循環が存在する。電極 26 と金属被覆 54 の間の壁 14 の長さは、27 MHz における壁 14 の電気的長さが概ね 1 波長であり、かつ、2 MHz における電気的長さが波長の $1/10$ 未満であるようになっている。

【手続補正 23】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0040】

プラズマ 22、半導体リング 58 および誘電体リング 52 の頂面上および外面壁上の接地金属被覆 54 を介して電極 18 から接地に結合される 2 MHz の電力に対するチャンバ 10 の容量性インピーダンスは、同じ経路、つまりプラズマ 22、半導体リング 58 および金属被覆 54 を通る経路を介して結合される 27 MHz の電力に対する容量性インピーダンスより実質的に大きくなっている。リング 58 は、容量分および抵抗分を有する分散インピーダンス・コンポーネントと見なすことができる。プラズマ 22 は、主として分散抵抗と見なすことができる。プラズマ 22 と閉込め領域 24 の表面、すなわちワークピース 20 の頂面、リング 31～34 の表面、半導体円板 50 の底面、誘電体層 56 の頂面および半導体リング 58 の頂面との間にはシースが存在している。電極 18 の DC バイアス電圧が変化すると、シースの厚さおよびシースと結合した容量が変化する。このシースは、主として容量分を有する分散インピーダンスと見なすことができる。したがって電力が供給される底部電極 18 から接地金属ストラップ 68 へ流れる RF 電流は、先ず底部アセンブリ 15 の直ぐ上のシースの容量性インピーダンスを通して流れ、そこから抵抗性プラズマ 22 を通って流れる。

【手続補正 24】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0046】

図1にリング52の頂面の金属被覆54で示されている接地電極の延長部分は、図2では、水晶リング52の頂面に結合された金属（たとえばアルミニウムもしくは銅）リング86で提供されている。リング86は、水晶リング52内の垂直方向のシリンダを貫通して延びた複数の金属（たとえばアルミニウムもしくは銅）ポスト88によって励起回路70の接地端子に電気接続されている。ポスト88は、リング52の周りに数度毎に等間隔で配置されている。ポスト88の各々の上面は、たとえばはんだによって機械的かつ電氣的にリング86の下面に結合されている。ポスト88の各々の下端は、水晶リング52の下面の下を延びており、励起回路90の接地端子が接続されている接地金属（たとえばアルミニウムもしくは銅）電気接触リング90のシリンダの側壁と機械的かつ電氣的に係合している。したがってポスト88およびリング90は、図1に示すリング52上の金属被覆54の側壁および金属ストラップ68の機能と同じ機能を提供している。リング90およびポスト88は、チャンバ壁14の水平方向に延びた金属板92に機械的かつ電氣的に接続されている。金属板92は、図1に示す下部壁部分62およびリング66の等価物である。

フロントページの続き

(72)発明者 ローウェンハード ペーター
アメリカ合衆国、 カリフォルニア州 94566、 プレザントン、 セレナ コート 560
2

(72)発明者 エリンボー バート
アイルランド共和国、 ダブリン州、 ランカン、 ハンロンス レーン、 イングリフィールド

(72)発明者 クッツィ アンディ
アメリカ合衆国、 カリフォルニア州 91320、 サウザンド オークス、 パメラ ウッド
ストリート 717

(72)発明者 フィッシャー アンドレア
アメリカ合衆国、 カリフォルニア州 94552、 カストロ バレー、 マウント ラッセン
18989

Fターム(参考) 4K030 CA04 FA03 JA09 JA16 JA18 KA08 KA12 KA15 KA20 KA30
KA41 KA46 KA47
5F004 BA09 BB11 BC03 CA03 CA06