

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5935116号
(P5935116)

(45) 発行日 平成28年6月15日(2016.6.15)

(24) 登録日 平成28年5月20日(2016.5.20)

(51) Int.Cl.		F I			
H05H	1/46	(2006.01)	H05H	1/46	M
H01L	21/3065	(2006.01)	H01L	21/302	I O I B
H05H	1/00	(2006.01)	H05H	1/00	A
H01L	21/205	(2006.01)	H05H	1/46	R
			H01L	21/205	

請求項の数 11 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2011-275524 (P2011-275524)	(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
(22) 出願日	平成23年12月16日(2011.12.16)	(73) 特許権者	000000262 株式会社ダイヘン 大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号
(65) 公開番号	特開2013-125729 (P2013-125729A)	(74) 代理人	110000785 誠真 I P 特許業務法人
(43) 公開日	平成25年6月24日(2013.6.24)	(74) 代理人	100086564 弁理士 佐々木 聖孝
審査請求日	平成26年7月22日(2014.7.22)	(72) 発明者	梅原 直征 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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被処理基板を出し入れ可能に收容する真空排気可能な処理容器と、
前記処理容器内で前記基板を載置して保持する第1の電極と、
前記処理容器内で前記第1の電極と対向して配置される第2の電極と、
前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する処理ガス供給部と、
第1の周波数を有する第1の高周波を出力する第1の高周波電源と、
前記第1の高周波電源からの前記第1の高周波を前記第1の電極もしくは前記第2の電極に伝送する第1の高周波給電ラインと、

前記第1の高周波給電ライン上を前記第1の電極もしくは前記第2の電極から前記第1の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第1の反射波パワー測定部と、

前記第1の周波数よりも低い第2の周波数を有する第2の高周波を出力する第2の高周波電源と、

前記第2の高周波電源からの前記第2の高周波を前記第1の電極まで伝送する第2の高周波給電ラインと、

前記第2の高周波給電ライン上を前記第1の電極から前記第2の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第2の反射波パワー測定部と、

プラズマから前記第1の電極上の前記基板にイオンを引き込むための前記第2の周波数よりも低い第3の周波数を有する第3の高周波を出力する第3の高周波電源と、

10

20

前記第 3 の高周波電源からの前記第 3 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 3 の高周波給電ラインと、

前記第 3 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 3 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 3 の反射波パワー測定部と、

前記第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定値信号に基づいて前記第 1、第 2 および第 3 の高周波電源の各々を制御する制御部と

を有し、

前記第 1 の反射波パワー測定部が、

前記第 1 の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第 1 の方向性結合器と、

前記第 1 の周波数に対して前記第 1 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第 1 の近傍周波数を有する第 1 の局部発振信号を発生する第 1 の局部発振器と、

前記第 1 の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第 1 の局部発振信号とを混合する第 1 の混合器と、

前記第 1 の混合器より出力される信号のうち前記第 1 の周波数と前記第 1 の近傍周波数との差に相当する第 1 の中間周波数を有する第 1 の中間周波信号を選択的に通過させる第 1 のローパス・フィルタと、

前記第 1 のローパス・フィルタによって取り出された前記第 1 の中間周波信号を検波して、前記第 1 の反射波パワー測定値信号の一部を成す第 1 の基本反射波パワー測定値信号を出力する第 1 の検波器と

を有し、

前記第 1 の近傍周波数は、前記第 1 の周波数と前記第 1 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第 1 の周波数からオフセットしており、

前記第 1 の周波数に最も近い前記第 1 の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(1)を演算して決定される、プラズマ処理装置。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \dots (1)$$

但し、A は第 1 の周波数、m は A の高次係数 (第 m 次高調波)、B は第 2 の周波数、n は B の高次係数 (第 n 次高調波)、C は第 3 の周波数、l は C の高次係数 (第 l 次高調波) である。

【請求項 2】

被処理基板を出し入れ可能に收容する真空排気可能な処理容器と、

前記処理容器内で前記基板を載置して保持する第 1 の電極と、

前記処理容器内で前記第 1 の電極と対向して配置される第 2 の電極と、

前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する処理ガス供給部と、

第 1 の周波数を有する第 1 の高周波を出力する第 1 の高周波電源と、

前記第 1 の高周波電源からの前記第 1 の高周波を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極に伝送する第 1 の高周波給電ラインと、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 1 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 1 の高周波給電ライン上に設けられる第 1 の整合器と、

前記第 1 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極から前記第 1 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 1 の反射波パワー測定部と、

前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数を有する第 2 の高周波を出力する第 2 の高周波電源と、

前記第 2 の高周波電源からの前記第 2 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 2 の高周波給電ラインと、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 2 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 2 の高周波給電ライン上に設けられる第 2 の整合器と、

前記第 2 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 2 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 2 の反射波パワー測定部と、

プラズマから前記第 1 の電極上の前記基板にイオンを引き込むための前記第 2 の周波数よりも低い第 3 の周波数を有する第 3 の高周波を出力する第 3 の高周波電源と、

前記第 3 の高周波電源からの前記第 3 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 3 の高周波給電ラインと、

前記第 3 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 3 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 3 の反射波パワー測定部と、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 2 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 3 の高周波給電ライン上に設けられる第 3 の整合器と、

前記第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定値信号に基づいて前記第 1、第 2 および第 3 の整合器の各々を制御する制御部と

を有し、

前記第 1 の反射波パワー測定部が、

前記第 1 の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第 1 の方向性結合器と、

前記第 1 の周波数に対して前記第 1 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第 1 の近傍周波数を有する第 1 の局部発振信号を発生する第 1 の局部発振器と、

前記第 1 の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第 1 の局部発振信号とを混合する第 1 の混合器と、

前記第 1 の混合器より出力される信号のうち前記第 1 の周波数と前記第 1 の近傍周波数との差に相当する第 1 の中間周波数を有する第 1 の中間周波信号を選択的に通過させる第 1 のローパス・フィルタと、

前記第 1 のローパス・フィルタによって取り出された前記第 1 の中間周波信号を検波して、前記第 1 の反射波パワー測定値信号の一部を成す第 1 の基本反射波パワー測定値信号を出力する第 1 の検波器と

を有し、

前記第 1 の近傍周波数は、前記第 1 の周波数と前記第 1 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第 1 の周波数からオフセットしており、

前記第 1 の周波数に最も近い前記第 1 の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式 (1) を演算して決定される、プラズマ処理装置。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

但し、A は第 1 の周波数、m は A の高次係数 (第 m 次高調波)、B は第 2 の周波数、n は B の高次係数 (第 n 次高調波)、C は第 3 の周波数、l は C の高次係数 (第 l 次高調波) である。

【請求項 3】

前記制御部が、前記式 (1) を演算して、前記第 1 の周波数に最も近い前記異周波反射波の周波数を決定する、請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

被処理基板を出し入れ可能に收容する真空排気可能な処理容器と、

前記処理容器内で前記基板を載置して保持する第 1 の電極と、

前記処理容器内で前記第 1 の電極と対向して配置される第 2 の電極と、

前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する処理ガス供給部と、

第 1 の周波数を有する第 1 の高周波を出力する第 1 の高周波電源と、

前記第 1 の高周波電源からの前記第 1 の高周波を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極に伝送する第 1 の高周波給電ラインと、

前記第 1 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極から前記第 1 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 1 の反射波パワー

10

20

30

40

50

測定部と、

前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数を有する第 2 の高周波を出力する第 2 の高周波電源と、

前記第 2 の高周波電源からの前記第 2 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 2 の高周波給電ラインと、

前記第 2 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 2 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 2 の反射波パワー測定部と、

プラズマから前記第 1 の電極上の前記基板にイオンを引き込むための前記第 2 の周波数よりも低い第 3 の周波数を有する第 3 の高周波を出力する第 3 の高周波電源と、

前記第 3 の高周波電源からの前記第 3 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 3 の高周波給電ラインと、

前記第 3 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 3 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 3 の反射波パワー測定部と、

前記第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定値信号に基づいて前記第 1、第 2 および第 3 の高周波電源の各々を制御する制御部と

を有し、

前記第 2 の反射波パワー測定部が、

前記第 2 の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第 2 の方向性結合器と、

前記第 2 の周波数に対して前記第 2 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第 2 の近傍周波数を有する第 2 の局部発振信号を発生する第 2 の局部発振器と、

前記第 2 の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第 2 の局部発振信号とを混合する第 2 の混合器と、

前記第 2 の混合器より出力される信号のうち前記第 2 の周波数と前記第 2 の近傍周波数との差に相当する第 2 の中間周波数を有する第 2 の中間周波信号を選択的に通過させる第 2 のローパス・フィルタと、

前記第 2 のローパス・フィルタによって取り出された前記第 2 の中間周波信号を検波して、前記第 2 の反射波パワー測定値信号の一部を成す第 2 の基本反射波パワー測定値信号を出力する第 2 の検波器と

を有し、

前記第 2 の近傍周波数は、前記第 2 の周波数と前記第 2 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第 2 の周波数からオフセットしており、

前記第 2 の周波数に最も近い前記第 2 の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(2)を演算して決定される、プラズマ処理装置。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

但し、A は第 1 の周波数、m は A の高次係数(第 m 次高調波)、B は第 2 の周波数、n は B の高次係数(第 n 次高調波)、C は第 3 の周波数、l は C の高次係数(第 l 次高調波)である。

【請求項 5】

被処理基板を出し入れ可能に收容する真空排気可能な処理容器と、

前記処理容器内で前記基板を載置して保持する第 1 の電極と、

前記処理容器内で前記第 1 の電極と対向して配置される第 2 の電極と、

前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する処理ガス供給部と、

第 1 の周波数を有する第 1 の高周波を出力する第 1 の高周波電源と、

前記第 1 の高周波電源からの前記第 1 の高周波を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極に伝送する第 1 の高周波給電ラインと、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 1 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 1 の高周波給電ライン上に設けられる第 1 の整合器と、

10

20

30

40

50

前記第 1 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極から前記第 1 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 1 の反射波パワー測定部と、

前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数を有する第 2 の高周波を出力する第 2 の高周波電源と、

前記第 2 の高周波電源からの前記第 2 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 2 の高周波給電ラインと、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 2 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 2 の高周波給電ライン上に設けられる第 2 の整合器と、

前記第 2 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 2 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 2 の反射波パワー測定部と、

プラズマから前記第 1 の電極上の前記基板にイオンを引き込むための前記第 2 の周波数よりも低い第 3 の周波数を有する第 3 の高周波を出力する第 3 の高周波電源と、

前記第 3 の高周波電源からの前記第 3 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 3 の高周波給電ラインと、

前記第 3 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 3 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 3 の反射波パワー測定部と、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 2 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 3 の高周波給電ライン上に設けられる第 3 の整合器と、

前記第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定値信号に基づいて前記第 1、第 2 および第 3 の整合器の各々を制御する制御部と

を有し、

前記第 2 の反射波パワー測定部が、

前記第 2 の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第 2 の方向性結合器と、

前記第 2 の周波数に対して前記第 2 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第 2 の近傍周波数を有する第 2 の局部発振信号を発生する第 2 の局部発振器と、

前記第 2 の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第 2 の局部発振信号とを混合する第 2 の混合器と、

前記第 2 の混合器より出力される信号のうち前記第 2 の周波数と前記第 2 の近傍周波数との差に相当する第 2 の中間周波数を有する第 2 の中間周波信号を選択的に通過させる第 2 のローパス・フィルタと、

前記第 2 のローパス・フィルタによって取り出された前記第 2 の中間周波信号を検波して、前記第 2 の反射波パワー測定値信号の一部を成す第 2 の基本反射波パワー測定値信号を出力する第 2 の検波器と

を有し、

前記第 2 の近傍周波数は、前記第 2 の周波数と前記第 2 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第 2 の周波数からオフセットしており、

前記第 2 の周波数に最も近い前記第 2 の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(2)を演算して決定される、プラズマ処理装置。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

但し、A は第 1 の周波数、m は A の高次係数 (第 m 次高調波)、B は第 2 の周波数、n は B の高次係数 (第 n 次高調波)、C は第 3 の周波数、l は C の高次係数 (第 l 次高調波) である。

【請求項 6】

前記制御部が、前記式(2)を演算して、前記第 1 の周波数に最も近い前記異周波反射波の周波数を決定する、請求項 4 または請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

10

20

30

40

50

被処理基板を出し入れ可能に収容する真空排気可能な処理容器と、
 前記処理容器内で前記基板を載置して保持する第 1 の電極と、
 前記処理容器内で前記第 1 の電極と対向して配置される第 2 の電極と、
 前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する処理ガス供給部と、
 第 1 の周波数を有する第 1 の高周波を出力する第 1 の高周波電源と、
 前記第 1 の高周波電源からの前記第 1 の高周波を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極に伝送する第 1 の高周波給電ラインと、

前記第 1 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極から前記第 1 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 1 の反射波パワー測定部と、

10

前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数を有する第 2 の高周波を出力する第 2 の高周波電源と、

前記第 2 の高周波電源からの前記第 2 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 2 の高周波給電ラインと、

前記第 2 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 2 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 2 の反射波パワー測定部と、

プラズマから前記第 1 の電極上の前記基板にイオンを引き込むための前記第 2 の周波数よりも低い第 3 の周波数を有する第 3 の高周波を出力する第 3 の高周波電源と、

前記第 3 の高周波電源からの前記第 3 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 3 の高周波給電ラインと、

20

前記第 3 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 3 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 3 の反射波パワー測定部と、

前記第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定値信号に基づいて前記第 1、第 2 および第 3 の高周波電源の各々を制御する制御部と

を有し、

前記第 3 の反射波パワー測定部が、

前記第 3 の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第 3 の方向性結合器と、

前記第 3 の周波数に対して前記第 3 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第 3 の近傍周波数を有する第 3 の局部発振信号を発生する第 3 の局部発振器と、

30

前記第 3 の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第 3 の局部発振信号とを混合する第 3 の混合器と、

前記第 3 の混合器より出力される信号のうち前記第 3 の周波数と前記第 3 の近傍周波数との差に相当する第 3 の中間周波数を有する第 3 の中間周波信号を選択的に通過させる第 3 のローパス・フィルタと、

前記第 3 のローパス・フィルタによって取り出された前記第 3 の中間周波信号を検波して、前記第 3 の反射波パワー測定値信号の一部を成す第 3 の基本反射波パワー測定値信号を出力する第 3 の検波器と

を有し、

40

前記第 3 の近傍周波数は、前記第 3 の周波数と前記第 3 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第 2 の周波数からオフセットしており、

前記第 3 の周波数に最も近い前記第 3 の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式 (3) を演算して決定される、プラズマ処理装置。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

但し、A は第 1 の周波数、m は A の高次係数 (第 m 次高調波)、B は第 2 の周波数、n は B の高次係数 (第 n 次高調波)、C は第 3 の周波数、l は C の高次係数 (第 l 次高調波) である。

【請求項 8】

50

被処理基板を出し入れ可能に収容する真空排気可能な処理容器と、
 前記処理容器内で前記基板を載置して保持する第 1 の電極と、
 前記処理容器内で前記第 1 の電極と対向して配置される第 2 の電極と、
 前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する処理ガス供給部と、
 第 1 の周波数を有する第 1 の高周波を出力する第 1 の高周波電源と、
 前記第 1 の高周波電源からの前記第 1 の高周波を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極に伝送する第 1 の高周波給電ラインと、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 1 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 1 の高周波給電ライン上に設けられる第 1 の整合器と、

前記第 1 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極もしくは前記第 2 の電極から前記第 1 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 1 の反射波パワー測定部と、

前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数を有する第 2 の高周波を出力する第 2 の高周波電源と、

前記第 2 の高周波電源からの前記第 2 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 2 の高周波給電ラインと、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 2 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 2 の高周波給電ライン上に設けられる第 2 の整合器と、

前記第 2 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 2 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 2 の反射波パワー測定部と、

プラズマから前記第 1 の電極上の前記基板にイオンを引き込むための前記第 2 の周波数よりも低い第 3 の周波数を有する第 3 の高周波を出力する第 3 の高周波電源と、

前記第 3 の高周波電源からの前記第 3 の高周波を前記第 1 の電極まで伝送する第 3 の高周波給電ラインと、

前記第 3 の高周波給電ライン上を前記第 1 の電極から前記第 3 の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第 3 の反射波パワー測定部と、

プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第 2 の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第 3 の高周波給電ライン上に設けられる第 3 の整合器と、

前記第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第 1、第 2 および第 3 の反射波パワー測定値信号に基づいて前記第 1、第 2 および第 3 の整合器の各々を制御する制御部と

を有し、

前記第 3 の反射波パワー測定部が、

前記第 3 の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第 3 の方向性結合器と、

前記第 3 の周波数に対して前記第 3 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第 3 の近傍周波数を有する第 3 の局部発振信号を発生する第 3 の局部発振器と、

前記第 3 の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第 3 の局部発振信号とを混合する第 3 の混合器と、

前記第 3 の混合器より出力される信号のうち前記第 3 の周波数と前記第 3 の近傍周波数との差に相当する第 3 の中間周波数を有する第 3 の中間周波信号を選択的に通過させる第 3 のローパス・フィルタと、

前記第 3 のローパス・フィルタによって取り出された前記第 3 の中間周波信号を検波して、前記第 3 の反射波パワー測定値信号の一部を成す第 3 の基本反射波パワー測定値信号を出力する第 3 の検波器と

を有し、

前記第 3 の近傍周波数は、前記第 3 の周波数と前記第 3 の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第 2 の周波数からオフセットしており、

前記第 3 の周波数に最も近い前記第 3 の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は

10

20

30

40

50

、次の式(3)を演算して決定される、プラズマ処理装置。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

但し、Aは第1の周波数、mはAの高次係数(第m次高調波)、Bは第2の周波数、nはBの高次係数(第n次高調波)、Cは第3の周波数、lはCの高次係数(第l次高調波)である。

【請求項9】

前記制御部が、前記式(3)を演算して、前記第1の周波数に最も近い前記異周波反射波の周波数を決定する、請求項7または請求項8に記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】

前記第1の周波数Aは40.68MHzであり、前記第2の周波数Bは12.88MHzであり、前記第3の周波数Cは3.2MHzである、請求項1, 2, 4, 5, 7, 8のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項11】

前記第1の反射波パワー測定部が、前記第1の周波数を含む第1の周波数帯域内のトータルの反射波パワーを測定して、前記第1の反射波パワー測定値信号の一部を成す第1のトータル反射波パワー測定値信号を出力する第1のトータル反射波パワー測定回路を有し

、
前記第2の反射波パワー測定部が、前記第2の周波数を含む第2の周波数帯域内のトータルの反射波パワーを測定して、前記第2の反射波パワー測定値信号の一部を成す第2のトータル反射波パワー測定値信号を出力する第2のトータル反射波パワー測定回路を有し

20

、
前記第3の反射波パワー測定部が、前記第3の周波数を含む第3の周波数帯域内のトータルの反射波パワーを測定して、前記第3の反射波パワー測定値信号の一部を成す第3のトータル反射波パワー測定値信号を出力する第3のトータル反射波パワー測定回路を有する、

請求項1～10のいずれか一項に記載プラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被処理基板にプラズマ処理を施す技術に係り、特に処理容器内で生成されるプラズマに3種類の高周波を印加する容量結合型のプラズマ処理装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスやFPD(Flat Panel Display)の製造プロセスにおけるエッチング、堆積、酸化、スパッタリング等の処理では、処理ガスに比較的低温で良好な反応を行わせるためにプラズマが多く利用されている。この種のプラズマプロセスにおいては、真空の処理容器内で処理ガスを放電または電離させるために、高周波(RF)やマイクロ波が使用されている。

【0003】

容量結合型のプラズマ処理装置においては、処理容器内に上部電極と下部電極とを平行に配置し、下部電極の上に被処理基板(半導体ウエハ、ガラス基板等)を載置し、上部電極もしくは下部電極にプラズマ生成に適した周波数(通常13.56MHz以上)の高周波を印加する。この高周波の印加によって相対向する電極間に生成された高周波電界により電子が加速され、電子と処理ガスとの衝突電離によってプラズマが発生する。そして、このプラズマに含まれるラジカルやイオンの気相反応あるいは表面反応によって、基板上に薄膜が堆積され、あるいは基板表面の素材または薄膜が削られる。このように、プラズマプロセスでは、基板に入射するラジカルとイオンが重要な役割を果たす。特に、イオンは、基板に入射する際の衝撃によって物理的な作用を奏する点が重要である。

40

【0004】

従来より、プラズマプロセスにおいては、基板を載置する下部電極に比較的低い周波数

50

(通常13.56MHz以下)の高周波を印加して、下部電極上に発生する負のバイアス電圧またはシース電圧によりプラズマ中のイオンを加速して基板に引き込むRFバイアス法が多く用いられている。このようにプラズマからイオンを加速して基板表面に衝突させることにより、表面反応、異方性エッチング、あるいは膜の改質等を促進することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平7-302786号公報

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記のようなRFバイアスの機能を搭載する従来のプラズマ処理装置は、チャンバ内でプラズマから下部電極上の基板に引き込むイオンのエネルギーを制御するために用いる高周波を1種類(単一周波数)に限定し、そのRFパワーもしくは自己バイアス電圧を制御パラメータとしている。

【0007】

しかしながら、イオン引き込み用のRFバイアスに単一の高周波を用いる従来方式は、基板に引き込むイオンの最大エネルギーと最小エネルギーを独立に制御することができないため、複合的なプロセス特性を求められる最先端のプラズマプロセスにおいてはイオンエネルギー分布の制御性に難がある。

20

【0008】

この点に関しては、イオン引き込み用のRFバイアスに周波数の異なる2種類の高周波を組み合わせて使用し、それらのトータルパワーおよび/またはパワー比を制御することにより、基板に入射するイオンのエネルギー分布(IED)においてエネルギーバンド幅および分布形状さらには入射エネルギーの総量を任意に制御できることが最近になってわかってきた。

【0009】

容量結合型のプラズマ処理装置において、イオン引き込み用のRFバイアスに2種類の高周波を用いる場合は、プラズマ生成用の高周波と合わせて全部で3種類の高周波をチャンバ内の平行平板電極に印加することになる。ここで問題となるのは、チャンバ内のプラズマから高周波給電ライン(または高周波伝送路)を伝わって高周波電源に返ってくる反射波であり、当該高周波と同じ周波数の反射波(以下、「基本波反射波」と称する。)以外の反射波スペクトル(以下、「異周波反射波」と称する。)が著しく増加し、しかもその中に基本波反射波にごく近い周波数の異周波反射波が含まれることである。

30

【0010】

従来のプラズマ処理装置は、各々の高周波電源ユニット内に、基本波反射波のパワー SP_r を測定する基本波反射波パワー測定部と、基本波反射波パワーのみならず異周波反射波のパワーも含むトータルの反射波パワー TP_r を測定するトータル反射波パワー測定部とを備えている。

40

【0011】

基本波反射波パワー測定部より得られる基本波反射波パワー SP_r の測定値は、当該高周波給電ライン上に設けられている整合器の動作状況ないし整合状態を表す。ここで、基本波反射波パワー SP_r は小さいほど望ましく、整合が完全にとれているときは $SP_r = 0$ である。整合が完全にとれていないときは $SP_r > 0$ であり、整合がとれていない度合いが大きいほど SP_r の値が大きくなる。通常、基本波反射波パワー SP_r の測定値は、操作パネルのディスプレイに表示され、オペレータが常時監視できるようになっている。また、基本波反射波パワー SP_r の測定値が所定の監視値を超えると、整合器の動作状況が異常であるとの判定がなされて、インターロックが掛かり、装置全体の動作が止まるようになっている。

50

【 0 0 1 2 】

一方、トータル反射波パワー測定部より得られるトータル反射波パワー TP_r の測定値は、プラズマからの反射波によって当該高周波電源が受ける影響の大きさを示す。ここで、トータル反射波パワー TP_r は小さいほど望ましい。しかし、 $TP_r = 0$ になることはない。整合が完全にとれていても、異周波反射波は必ず存在するので、常に $TP_r > 0$ になる。もちろん、大きなトータル反射波パワー TP_r は望ましくない。トータル反射波パワー TP_r が大きいほど、当該高周波電源内の増幅器がその影響を受けて高周波出力が不安定になる。さらには、増幅器が破壊するおそれもある。このため、トータル反射波パワー TP_r の測定値が所定の監視値を超えたときは、当該高周波電源の出力を応急的に下げるようになっている。

10

【 0 0 1 3 】

ところが、従来の容量結合型プラズマ処理装置に3周波印加方式を適用した場合は、反射波の中に基本波反射波にごく近い周波数の異周波反射波が含まれるため、基本波反射波パワー測定部のモニタ情報（基本波反射波パワー SP_r の測定値）の精度ないし信頼性が大きく低下する。このため、整合がとれているか否かの判別が困難になることや、インターロックを適確に掛けるのが困難になることが問題視されている。また、従来の容量結合型プラズマ処理装置では、各々のRF給電系においてトータル反射波パワー TP_r が過大になった時は、当該高周波電源ユニットがそれに無条件に反応してRF出力を一段下げるようになっている。しかし、3周波印加方式の下でそのような過大なトータル反射波パワーに対する無条件または反射的なRF出力制御が各高周波電源ユニットで個々独立に行われると、プラズマに供給されるRFパワーが不定に変動し、実行中のプロセスに大きな影響を与える。このことも問題になっている。

20

【 0 0 1 4 】

本発明は、上記の現状および課題に鑑みてなされたものであり、3周波印加方式において反射波パワーモニタリングを高精度に行うとともに、過大な反射波パワーに対する各RF給電系の制御を適確に行ってプラズマプロセスの再現性および信頼性を向上させる容量結合型のプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 5 】

本発明の第1、第2、第3の観点のプラズマ処理装置は、被処理基板を出し入れ可能に收容する真空排気可能な処理容器と、前記処理容器内で前記基板を載置して保持する第1の電極と、前記処理容器内で前記第1の電極と対向して配置される第2の電極と、前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する処理ガス供給部と、第1の周波数を有する第1の高周波を出力する第1の高周波電源と、前記第1の高周波電源からの前記第1の高周波を前記第1の電極もしくは前記第2の電極に伝送する第1の高周波給電ラインと、前記第1の高周波給電ライン上を前記第1の電極もしくは前記第2の電極から前記第1の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第1の反射波パワー測定部と、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数を有する第2の高周波を出力する第2の高周波電源と、前記第2の高周波電源からの前記第2の高周波を前記第1の電極まで伝送する第2の高周波給電ラインと、前記第2の高周波給電ライン上を前記第1の電極から前記第2の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第2の反射波パワー測定部と、プラズマから前記第1の電極上の前記基板にイオンを引き込むための前記第2の周波数よりも低い第3の周波数を有する第3の高周波を出力する第3の高周波電源と、前記第3の高周波電源からの前記第3の高周波を前記第1の電極まで伝送する第3の高周波給電ラインと、前記第3の高周波給電ライン上を前記第1の電極から前記第3の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第3の反射波パワー測定部と、前記第1、第2および第3の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第1、第2および第3の反射波パワー測定値信号に基づいて前記第1、第2および第3の高周波電源の各々を制御する制御部とを有する。

30

40

そして、上記第1の観点のプラズマ処理装置においては、前記第1の反射波パワー測定

50

部が、前記第1の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第1の方向性結合器と、前記第1の周波数に対して前記第1の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第1の近傍周波数を有する第1の局部発振信号を発生する第1の局部発振器と、前記第1の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第1の局部発振信号とを混合する第1の混合器と、前記第1の混合器より出力される信号のうち前記第1の周波数と前記第1の近傍周波数との差に相当する第1の中間周波数を有する第1の中間周波信号を選択的に通過させる第1のローパス・フィルタと、前記第1のローパス・フィルタによって取り出された前記第1の中間周波信号を検波して、前記第1の反射波パワー測定値信号の一部を成す第1の基本反射波パワー測定値信号を出力する第1の検波器とを有し、前記第1の近傍周波数は、前記第1の周波数と前記第1の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第1の周波数からオフセットしており、前記第1の周波数に最も近い前記第1の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(1)を演算して決定される。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot (1)$$

但し、Aは第1の周波数、mはAの高次係数(第m次高調波)、Bは第2の周波数、nはBの高次係数(第n次高調波)、Cは第3の周波数、lはCの高次係数(第l次高調波)である。

また、上記第2の観点のプラズマ処理装置においては、前記第2の反射波パワー測定部が、前記第2の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第2の方向性結合器と、前記第2の周波数に対して前記第2の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第2の近傍周波数を有する第2の局部発振信号を発生する第2の局部発振器と、前記第2の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第2の局部発振信号とを混合する第2の混合器と、前記第2の混合器より出力される信号のうち前記第2の周波数と前記第2の近傍周波数との差に相当する第2の中間周波数を有する第2の中間周波信号を選択的に通過させる第2のローパス・フィルタと、前記第2のローパス・フィルタによって取り出された前記第2の中間周波信号を検波して、前記第2の反射波パワー測定値信号の一部を成す第2の基本反射波パワー測定値信号を出力する第2の検波器とを有し、前記第2の近傍周波数は、前記第2の周波数と前記第2の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第2の周波数からオフセットしており、前記第2の周波数に最も近い前記第2の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(2)を演算して決定される。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot (2)$$

但し、Aは第1の周波数、mはAの高次係数(第m次高調波)、Bは第2の周波数、nはBの高次係数(第n次高調波)、Cは第3の周波数、lはCの高次係数(第l次高調波)である。

また、上記第3の観点のプラズマ処理装置においては、前記第3の反射波パワー測定部が、前記第3の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第3の方向性結合器と、前記第3の周波数に対して前記第3の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第3の近傍周波数を有する第3の局部発振信号を発生する第3の局部発振器と、前記第3の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第3の局部発振信号とを混合する第3の混合器と、前記第3の混合器より出力される信号のうち前記第3の周波数と前記第3の近傍周波数との差に相当する第3の中間周波数を有する第3の中間周波信号を選択的に通過させる第3のローパス・フィルタと、前記第3のローパス・フィルタによって取り出された前記第3の中間周波信号を検波して、前記第3の反射波パワー測定値信号の一部を成す第3の基本反射波パワー測定値信号を出力する第3の検波器とを有し、前記第3の近傍周波数は、前記第3の周波数と前記第3の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第2の周波数からオフセットしており、前記第3の周波数に最も近い前記第3の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(3)を演算して決定される。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot (3)$$

10

20

30

40

50

但し、Aは第1の周波数、mはAの高次係数（第m次高調波）、Bは第2の周波数、nはBの高次係数（第n次高調波）、Cは第3の周波数、lはCの高次係数（第l次高調波）である。

【0016】

上記第1、第2、第3の観点の装置においては、上記構成の第1、第2および第3の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第1、第2および第3の反射波パワー測定値信号に応じて第1、第2および第3の高周波電源がそれぞれ個別に対応するのではなくて、制御部が第1、第2および第3の反射波パワー測定値信号の各々を他のものと照らし合わせて総合的にモニタ解析し、インターロックも含めて第1、第2および第3の高周波電源の動作（特にRF出力）を統轄的に制御する。

10

【0017】

本発明の第4、第5、第6の観点のプラズマ処理装置は、被処理基板を出し入れ可能に収容する真空排気可能な処理容器と、前記処理容器内で前記基板を載置して保持する第1の電極と、前記処理容器内で前記第1の電極と対向して配置される第2の電極と、前記処理容器内に所望の処理ガスを供給する処理ガス供給部と、第1の周波数を有する第1の高周波を出力する第1の高周波電源と、前記第1の高周波電源からの前記第1の高周波を前記第1の電極もしくは前記第2の電極に伝送する第1の高周波給電ラインと、プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第1の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第1の高周波給電ライン上に設けられる第1の整合器と、前記第1の高周波給電ライン上を前記第1の電極もしくは前記第2の電極から前記第1の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第1の反射波パワー測定部と、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数を有する第2の高周波を出力する第2の高周波電源と、前記第2の高周波電源からの前記第2の高周波を前記第1の電極まで伝送する第2の高周波給電ラインと、プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第2の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第2の高周波給電ライン上に設けられる第2の整合器と、前記第2の高周波給電ライン上を前記第1の電極から前記第2の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第2の反射波パワー測定部と、プラズマから前記第1の電極上の前記基板にイオンを引き込むための前記第2の周波数よりも低い第3の周波数を有する第3の高周波を出力する第3の高周波電源と、前記第3の高周波電源からの前記第3の高周波を前記第1の電極まで伝送する第3の高周波給電ラインと、前記第3の高周波給電ライン上を前記第1の電極から前記第3の高周波電源に向かって逆方向に伝搬する反射波のパワーを測定する第3の反射波パワー測定部と、プラズマ側の負荷インピーダンスを前記第2の高周波電源側のインピーダンスに整合させるために前記第3の高周波給電ライン上に設けられる第3の整合器と、前記第1、第2および第3の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第1、第2および第3の反射波パワー測定値信号に基づいて前記第1、第2および第3の整合器の各々を制御する制御部を有する。

20

30

そして、上記第4の観点のプラズマ処理装置においては、前記第1の反射波パワー測定部が、前記第1の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第1の方向性結合器と、前記第1の周波数に対して前記第1の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第1の近傍周波数を有する第1の局部発振信号を発生する第1の局部発振器と、前記第1の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第1の局部発振信号とを混合する第1の混合器と、前記第1の混合器より出力される信号のうち前記第1の周波数と前記第1の近傍周波数との差に相当する第1の中間周波数を有する第1の中間周波信号を選択的に通過させる第1のローパス・フィルタと、前記第1のローパス・フィルタによって取り出された前記第1の中間周波信号を検波して、前記第1の反射波パワー測定値信号の一部を成す第1の基本反射波パワー測定値信号を出力する第1の検波器とを有し、前記第1の近傍周波数は、前記第1の周波数と前記第1の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第1の周波数からオフセットしており、前記第1の周波数に最も近い前記第1の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(1)を演算して決定される。

40

50

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot (1)$$

但し、Aは第1の周波数、mはAの高次係数(第m次高調波)、Bは第2の周波数、nはBの高次係数(第n次高調波)、Cは第3の周波数、lはCの高次係数(第1次高調波)である。

また、上記第5の観点のプラズマ処理装置においては、前記第2の反射波パワー測定部が、前記第2の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第2の方向性結合器と、前記第2の周波数に対して前記第2の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第2の近傍周波数を有する第2の局部発振信号を発生する第2の局部発振器と、前記第2の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第2の局部発振信号とを混合する第2の混合器と、前記第2の混合器より出力される信号のうち前記第2の周波数と前記第2の近傍周波数との差に相当する第2の中間周波数を有する第2の中間周波信号を選択的に通過させる第2のローパス・フィルタと、前記第2のローパス・フィルタによって取り出された前記第2の中間周波信号を検波して、前記第2の反射波パワー測定値信号の一部を成す第2の基本反射波パワー測定値信号を出力する第2の検波器とを有し、前記第2の近傍周波数は、前記第2の周波数と前記第2の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第2の周波数からオフセットしており、前記第2の周波数に最も近い前記第2の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(2)を演算して決定される。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot (2)$$

但し、Aは第1の周波数、mはAの高次係数(第m次高調波)、Bは第2の周波数、nはBの高次係数(第n次高調波)、Cは第3の周波数、lはCの高次係数(第1次高調波)である。

また、上記第6の観点のプラズマ処理装置においては、前記第3の反射波パワー測定部が、前記第3の高周波給電ライン上の反射波を取り出す第3の方向性結合器と、前記第3の周波数に対して前記第3の高周波給電ライン上の異周波反射波の中で最も近い周波数よりさらに近い第3の近傍周波数を有する第3の局部発振信号を発生する第3の局部発振器と、前記第3の方向性結合器より取り出された反射波の信号と前記第3の局部発振信号とを混合する第3の混合器と、前記第3の混合器より出力される信号のうち前記第3の周波数と前記第3の近傍周波数との差に相当する第3の中間周波数を有する第3の中間周波信号を選択的に通過させる第3のローパス・フィルタと、前記第3のローパス・フィルタによって取り出された前記第3の中間周波信号を検波して、前記第3の反射波パワー測定値信号の一部を成す第3の基本反射波パワー測定値信号を出力する第3の検波器とを有し、前記第3の近傍周波数は、前記第3の周波数と前記第3の高周波給電ライン上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数との差の $1/8 \sim 1/3$ だけ前記第2の周波数からオフセットしており、前記第3の周波数に最も近い前記第3の高周波給電ライン上の異周波反射波の周波数は、次の式(3)を演算して決定される。

$$\pm A [\text{MHz}] \times m \pm B [\text{MHz}] \times n \pm C [\text{MHz}] \times l \quad \cdot \cdot (3)$$

但し、Aは第1の周波数、mはAの高次係数(第m次高調波)、Bは第2の周波数、nはBの高次係数(第n次高調波)、Cは第3の周波数、lはCの高次係数(第1次高調波)である。

【0018】

上記第4、第5、第6の観点の装置においては、上記構成の第1、第2および第3の反射波パワー測定部よりそれぞれ得られる第1、第2および第3の反射波パワー測定値信号に応じて第1、第2および第3の整合器の動作状態をそれぞれ個別に判断するのではなく、制御部が第1、第2および第3の反射波パワー測定値信号の各々を他のものと照らし合わせて総合的にモニタ解析し、インターロックも含めて第1、第2および第3の整合器の動作を統括的に制御する。

【発明の効果】

【0019】

本発明のプラズマ処理装置によれば、上記のような構成および作用により、3周波印加

10

20

30

40

50

方式において反射波パワーモニタリングを高精度に行えらるとともに、過大な反射波パワーに対する各RF給電系の制御を適確に行ってプラズマプロセスの再現性および信頼性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の一実施形態における容量結合型プラズマ処理装置の全体構成を示す図である。

【図2】RFバイアスに2種類の高周波を用いる方式においてイオンエネルギー分布を制御する作用を説明するための図である。

【図3】一実施例においてチャンバ内のプラズマからプラズマ生成用の第1高周波電源に返ってくる反射波のスペクトル分布を模式的に示す図である。

10

【図4A】プラズマ生成用の第1高周波電源に返ってくる反射波のスペクトル分布をスペクトルアナライザによって観測した図である。

【図4B】イオン引き込み用の第2高周波電源に返ってくる反射波のスペクトル分布をスペクトルアナライザによって観測した図である。

【図4C】イオン引き込み用の第3高周波電源に返ってくる反射波のスペクトル分布をスペクトルアナライザによって観測した図である。

【図5】イオン引き込み用に1種類の高周波を用いる比較例においてプラズマ生成用の第1高周波電源に返ってくる反射波のスペクトル分布を模式的に示す図である。

【図6A】プラズマ生成用の第1高周波のRF給電系に設けられる第1RFパワーモニタの構成を示すブロック図である。

20

【図6B】イオン引き込み用の第2高周波のRF給電系に設けられる第2RFパワーモニタの構成を示すブロック図である。

【図6C】イオン引き込み用の第3高周波のRF給電系に設けられる第3RFパワーモニタの構成を示すブロック図である。

【図7A】基本波反射波パワーのモニタリングにおいて実施例のフィルタ周波数特性と比較例のフィルタ周波数特性とを対比して示す図である。

【図7B】実施例のフィルタ周波数特性(図7A)を周波数軸上で拡大して示す図である。

【図8A】周波数軸上で第1高周波の周りに発生する異周波反射波の周波数を求める演算の内容および結果(一覧表)を示す図である。

30

【図8B】上記演算の内容および結果(一覧表の続き)を示す図である。

【図8C】上記演算の内容および結果(一覧表の続き)を示す図である。

【図8D】上記演算の内容および結果(一覧表の続きおよび最後)を示す図である。

【図9】別の実施形態におけるプラズマ処理装置の全体構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、添付図を参照して本発明の好適な実施形態を説明する。

[装置全体の構成及び作用]

【0022】

40

図1に、本発明の一実施形態におけるプラズマ処理装置の構成を示す。このプラズマ処理装置は、下部3周波印加方式の容量結合型プラズマエッチング装置として構成されており、たとえば表面がアルマイト処理(陽極酸化処理)されたアルミニウムからなる円筒形の真空チャンバ(処理容器)10を有している。チャンバ10は接地されている。

【0023】

チャンバ10の底部には、セラミックなどの絶縁板12を介して円柱状のサセプタ支持台14が配置され、このサセプタ支持台14の上たとえばアルミニウムからなるサセプタ16が設けられている。サセプタ16は下部電極を構成し、この上に被処理基板としてたとえば半導体ウエハWが載置される。

【0024】

50

サセプタ 16 の上面には、半導体ウエハ W を静電吸着力で保持するための静電チャック 18 が設けられている。この静電チャック 18 は導電膜からなる電極 20 を一对の絶縁層または絶縁シートの中に挟み込んだものであり、電極 20 には直流電源 22 がスイッチ 24 を介して電氣的に接続されている。直流電源 22 からの直流電圧により、半導体ウエハ W を静電吸着力で静電チャック 18 に吸着保持できるようになっている。静電チャック 18 の周囲でサセプタ 16 の上面には、エッチングの面内均一性を向上させるためのたとえばシリコンからなるフォーカスリング 26 が配置されている。サセプタ 16 およびサセプタ支持台 14 の側面にはたとえば石英からなる円筒状の内壁部材 28 が貼付されている。

【 0025 】

サセプタ支持台 14 の内部には、たとえば円周方向に延びる冷媒室または冷媒通路 30 が設けられている。この冷媒通路 30 には、外付けのチラーユニット（図示せず）より配管 32a, 32b を介して所定温度の冷媒たとえば冷却水 cw が循環供給される。冷媒 cw の温度によってサセプタ 16 上の半導体ウエハ W の処理温度を制御できるようになっている。さらに、伝熱ガス供給機構（図示せず）からの伝熱ガスたとえば He ガスが、ガス供給ライン 34 を介して静電チャック 18 の上面と半導体ウエハ W の裏面との間に供給される。

【 0026 】

サセプタ 16 には、プラズマ生成用の第 1 高周波電源 36、イオン引き込み用の第 2 高周波電源 38 およびイオン引き込み用の第 3 高周波電源 40 がそれぞれ第 1、第 2 および第 3 整合器 42, 44, 46 および共通の高周波給電導体（たとえば給電棒）45 を介して電氣的に接続されている。

【 0027 】

整合器 42, 44, 46 は、チャンバ 10 内に生成されるプラズマ側の負荷インピーダンスを高周波電源 36, 38, 40 のインピーダンスにそれぞれ整合させるように機能する。各々の整合器 42, 44, 46 は、少なくとも 2 つの制御可能なリアクタンス素子を含む整合回路と、各リアクタンス素子のリアクタンス値（インピーダンス・ポジション）を制御するためのアクチエータ（たとえばモータ）と、上記整合回路を含む負荷インピーダンスを測定するセンサと、負荷インピーダンスの測定値を整合ポイント（通常 50）に合わせるように各アクチエータを駆動制御するコントローラとを有している。

【 0028 】

第 1 高周波電源 36 は、処理ガスの容量結合による高周波放電つまりプラズマ生成に適した第 1 RF 周波数（通常 27 MHz ~ 300 MHz）を有する第 1 高周波 RF₁ を所定のパワーで出力可能とするように構成されている。第 2 高周波電源 38 は、サセプタ 16 上の半導体ウエハ W にプラズマのイオンを引き込むのに適した高めの第 2 RF 周波数（通常 6 MHz ~ 40 MHz）を有する第 2 高周波 RF₂ を所定のパワーで出力可能とするように構成されている。第 3 高周波電源 40 は、サセプタ 16 上の半導体ウエハ W にプラズマのイオンを引き込むのに適した低めの第 3 RF 周波数（通常 10 kHz ~ 6 MHz）を有する第 3 高周波 RF₃ を所定のパワーで出力可能とするように構成されている。

【 0029 】

サセプタ 16 の上方には、このサセプタと平行に対向して上部電極 48 が設けられている。この上部電極 48 は、多数のガス噴出孔 50a を有するたとえば Si、SiC などの半導体材料からなる電極板 50 と、この電極板 50 を着脱可能に支持する導電材料たとえば表面がアルマイト処理されたアルミニウムからなる電極支持体 52 とで構成されており、チャンバ 10 の上部にリング状の絶縁体 54 を介して取り付けられている。この上部電極 48 とサセプタ 16 との間にプラズマ生成空間または処理空間 PS が設定されている。リング状絶縁体 54 は、たとえばアルミナ（Al₂O₃）からなり、上部電極 48 の外周面とチャンバ 10 の側壁との間の隙間を気密に塞いでおり、上部電極 48 を非接地で物理的に支持している。

【 0030 】

電極支持体 52 は、その内部にガスバッファ室 56 を有するとともに、その下面にガス

10

20

30

40

50

バッファ室 56 から電極板 50 のガス噴出孔 50 a に連通する多数のガス通気孔 52 a を有している。ガスバッファ室 56 にはガス供給管 58 を介して処理ガス供給源 60 が接続されており、ガス供給管 58 にマスフローコントローラ (MFC) 62 および開閉バルブ 64 が設けられている。処理ガス供給源 60 より所定の処理ガスがガスバッファ室 56 に導入されると、電極板 50 のガス噴出孔 50 a よりサセプタ 16 上の半導体ウエハ W に向けて処理空間 P S に処理ガスがシャワー状に噴出されるようになっている。このように、上部電極 48 は処理空間 P S に処理ガスを供給するためのシャワーヘッドを兼ねている。

【0031】

サセプタ 16 およびサセプタ支持台 14 とチャンバ 10 の側壁との間に形成される環状の空間は排気空間となっており、この排気空間の底にはチャンバ 10 の排気口 66 が設けられている。この排気口 66 に排気管 68 を介して排気装置 70 が接続されている。排気装置 70 は、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 10 の室内、特に処理空間 P S を所望の真空度まで減圧できるようになっている。また、チャンバ 10 の側壁には半導体ウエハ W の搬入出口 72 を開閉するゲートバルブ 74 が取り付けられている。

10

【0032】

チャンバ 10 の外に設置される直流電源 76 の一方の端子つまり出力端子は、スイッチ 78 および直流給電ライン 80 を介して上部電極 48 に電氣的に接続されている。直流電源 76 はたとえば $-2000 \sim +1000$ V の直流電圧 V_{DC} を出力できるように構成されている。直流電源 76 の他方の端子は接地されている。直流電源 76 の出力 (電圧、電流) の極性および絶対値およびスイッチ 78 のオン・オフ切換は、後述する主制御部 82 からの指示の下で DC コントローラ 84 により制御されるようになっている。

20

【0033】

直流給電ライン 80 の途中に設けられるフィルタ回路 86 は、直流電源 76 からの直流電圧 V_{DC} をスルーで上部電極 48 に印加する一方で、サセプタ 16 から処理空間 P S および上部電極 48 を通って直流給電ライン 80 に入ってきた高周波を接地ラインへ流して直流電源 76 側へは流さないように構成されている。

【0034】

また、チャンバ 10 内で処理空間 P S に面する適当な箇所に、たとえば Si, SiC 等の導電性材料からなる DC 接地部品 (図示せず) が取り付けられている。この DC 接地部品は、接地ライン (図示せず) を介して常時接地されている。

30

【0035】

この容量結合型プラズマエッチング装置は、第 1、第 2 および第 3 高周波電源 36, 38, 40 より第 1、第 2 および第 3 高周波 RF₁, RF₂, RF₃ をチャンバ 10 内のサセプタ 16 までそれぞれ伝送する第 1、第 2 および第 3 高周波給電ライン (高周波伝送路) 88, 90, 92 上に第 1、第 2 および第 3 RF パワーモニタ 94, 96, 98 をそれぞれ設けている。

【0036】

通常、RF パワーモニタ 94, 96, 98 は、高周波電源 36, 38, 40 と整合器 42, 44, 46 との間で高周波給電ライン 88, 90, 92 上にそれぞれ設けられる。この実施形態では、機能上の理解を容易にするために、RF パワーモニタ 94, 96, 98 を高周波電源 36, 38, 40 からそれぞれ分離している。実際には、高周波電源 36, 38, 40 とそれぞれ共通のユニット (高周波電源ユニット) 内に RF パワーモニタ 94, 96, 98 が設けられることが多い。

40

【0037】

第 1 RF パワーモニタ 94 は、第 1 高周波給電ライン 88 上を第 1 高周波電源 36 から負荷側に向かって伝搬する高周波 (進行波) のパワー $RF_{88} \cdot P_t$ と、負荷側から第 1 高周波電源 36 に向かって伝搬する高周波 (反射波) のパワー $RF_{88} \cdot P_r$ とを同時にモニタリングする。第 1 高周波電源 36 の負荷は、チャンバ 10 内のプラズマと第 1 整合器 42 内の整合回路のインピーダンスとを含む。

50

【 0 0 3 8 】

第2 RF パワーモニター 96 は、第2 高周波給電ライン 90 上を第2 高周波電源 38 から負荷側に向かって伝搬する高周波（進行波）のパワー $RF_{90} \cdot P_t$ と、負荷側から第2 高周波電源 38 に向かって伝搬する高周波（反射波）のパワー $RF_{90} \cdot P_r$ とを同時にモニタリングする。第2 高周波電源 38 の負荷は、チャンバ 10 内のプラズマと第2 整合器 44 内の整合回路のインピーダンスとを含む。

【 0 0 3 9 】

第3 RF パワーモニター 98 は、第3 高周波給電ライン 92 上を第3 高周波電源 40 から負荷側に向かって伝搬する高周波（進行波）のパワー $RF_{92} \cdot P_t$ と、負荷側から第3 高周波電源 40 に向かって伝搬する高周波（反射波）のパワー $RF_{92} \cdot P_r$ とを同時にモニタリングする。第3 高周波電源 40 の負荷は、チャンバ 10 内のプラズマと第3 整合器 46 内の整合回路のインピーダンスとを含む。

10

【 0 0 4 0 】

第1、第2 および第3 RF パワーモニター 94, 96, 98 の具体的な構成および作用は、後に詳細に説明する。

【 0 0 4 1 】

主制御部 82 は、1 つまたは複数のマイクロコンピュータを含み、このプラズマエッチング装置内の各部たとえば静電チャック用のスイッチ 24、高周波電源 36, 38, 40、整合器 42, 44, 46、処理ガス供給部 (60, 62, 64)、排気装置 70、DC バイアス用の DC コントローラ 84、チラーユニット、伝熱ガス供給部等の動作を制御する。また、主制御部 82 は、キーボード等の入力装置や液晶ディスプレイ等の表示装置を含むマン・マシン・インタフェース用の操作パネル 85 および各種プログラムやレシピ、設定値等の各種データを格納または蓄積する外部記憶装置（図示せず）等とも接続されている。

20

【 0 0 4 2 】

さらに、この実施形態における主制御部 82 は、RF パワーモニター 94, 96, 98 にも接続されており、これらのパワーモニター 94, 96, 98 から送られてくるモニタ情報に基づいて3 系統の高周波電源 36, 38, 40、および整合器 42, 44, 46 を統括的に制御するようになっている。

【 0 0 4 3 】

この実施形態では主制御部 82 が1 つの制御ユニットとして示されているが、複数の制御ユニットが主制御部 82 の機能を並列的または階層的に分担する形態を採ってもよい。

30

【 0 0 4 4 】

このプラズマエッチング装置において、エッチング加工を行なうには、まずゲートバルブ 74 を開状態にし、加工対象の半導体ウエハ W をチャンバ 10 内に搬入して、静電チャック 18 の上に載置する。そして、処理ガス供給源 60 より所定の処理ガスつまりエッチングガス（一般に混合ガス）を所定の流量および流量比でチャンバ 10 内に導入し、排気装置 70 による真空排気でチャンバ 10 内の圧力を設定値にする。さらに、第1 高周波電源 36 よりプラズマ生成用の第1 高周波 RF_1 (27 MHz ~ 300 MHz)、第2 および第3 高周波電源 38, 40 よりイオン引き込み用の第2 高周波 RF_2 (6 MHz ~ 40 MHz) および第3 高周波 RF_3 (10 kHz ~ 6 MHz) をそれぞれ所定のパワーでセプタ (下部電極) 16 に印加する。また、スイッチ 24 をオンにし、静電吸着力によって、静電チャック 18 と半導体ウエハ W との間の接触界面に伝熱ガス (He ガス) を閉じ込める。また、必要に応じて、スイッチ 78 をオンにして、直流電源 76 からの所定の直流電圧 V_{DC} を上部電極 48 に印加する。シャワーヘッド (上部電極) 48 より吐出されたエッチングガスは両電極 16, 48 間で高周波放電によってプラズマ化し、このプラズマに含まれるラジカルやイオンによって半導体ウエハ W の主面の膜がエッチングされる。

40

【 0 0 4 5 】

この実施形態のプラズマエッチング装置は、プラズマから半導体ウエハ W へのイオンの引き込みに適した2 種類の高周波 RF_2 (6 MHz ~ 40 MHz), RF_3 (10 kHz ~

50

6 MHz) をサセプタ 16 に重畳して印加するハードウェア構成 (38, 40, 44, 45, 46) を有し、エッチング加工の仕様、条件またはレシピに応じて主制御部 82 が両高周波 RF_2 , RF_3 のトータルパワーおよびパワー比を制御することにより、サセプタ 12 上の半導体ウエハ W の表面に入射するイオンのエネルギー分布 (IED) に関して、エネルギーバンド幅および分布形状さらには入射エネルギーの総量を多種多様に制御することができるようになっている。

【0046】

たとえば、図 2 に模式的に示すように、イオンエネルギーの最大値 (最大エネルギー) を固定して最小値 (最小エネルギー) を一定の範囲内で任意に調節すること、反対に最小エネルギーを固定して最大エネルギーを一定の範囲内で任意に調節すること、エネルギー平均値または中心値を固定したままエネルギーバンドの幅を一定の範囲内で任意に制御すること、あるいは中間エネルギー領域のイオン分布数を調節すること等が可能となっている。

10

【0047】

他方で、非線形な負荷であるチャンバ 10 内のプラズマに供給される高周波の種類 (周波数) が従来 (2 周波印加方式) の 2 種類からこの実施形態の 3 周波印加方式では 3 種類に増えることで、プラズマで発生する非線形高調波歪が著しく増加する。それによって、チャンバ 10 内のプラズマから各高周波電源 36, 38, 40 に向かって伝搬する反射波には夥しい数のスペクトルが含まれる。しかも、基本波反射波にごく近い周波数の異周波反射波も含まれる。

20

【0048】

たとえば、一実施例として、プラズマ生成用の第 1 高周波 RF_1 の周波数が 40.68 MHz に選ばれ、イオン引き込み用の第 2 高周波 RF_2 および第 3 高周波 RF_3 の周波数がそれぞれ 12.88 MHz および 3.2 MHz に選ばれるとする。この場合、チャンバ 10 内のプラズマから第 1 高周波給電ライン 88 を通って第 1 高周波電源 36 に返ってくる反射波のスペクトル分布は、模式的には図 3 に示すようになる。すなわち、基本波反射波 (40.68 MHz) の周りに多数の異周波反射波が分布し、そのぶんトータル反射波パワーも増大する。さらに、周波数に関して異周波反射波が基本波反射波 (40.68 MHz) に近接することも特徴的である。特に、基本波反射波 (40.68 MHz) と両隣の異周波反射波 (40.60 MHz, 40.76 MHz) との差 (オフセット) は僅か 0.08 MHz つまり 80 kHz にすぎない。

30

【0049】

図示省略するが、チャンバ 10 内のプラズマから第 2 高周波給電ライン 90 を通って第 2 高周波電源 38 に返ってくる反射波のスペクトル分布も、上記と同様である。すなわち、基本波反射波 (12.88 MHz) の周りに多数の異周波反射波が分布し、トータル反射波パワーも高い。そして、基本波反射波のごく近くに多数の異周波反射波が発生する。特に、基本波反射波 (12.88 MHz) と両隣の異周波反射波 (12.80 MHz, 12.96 MHz) との差 (オフセット) は僅か 0.08 MHz つまり 80 kHz である。

【0050】

同様に、チャンバ 10 内のプラズマから第 3 高周波給電ライン 92 を通って第 3 高周波電源 40 に返ってくる反射波のスペクトル分布においても、基本波反射波 (3.2 MHz) から僅か 80 kHz しかオフセットしていない両隣の異周波反射波 (3.12 MHz, 3.28 MHz) を含めて多数の異周波反射波が分布し、トータル反射波パワーも高い。

40

【0051】

本発明者が、スペクトルアナライザを用いて、第 1、第 2 および第 3 整合器 42, 44, 46 でそれぞれ整合がとれている時に第 1、第 2 および第 3 高周波給電ライン 88, 90, 92 上の反射波の成分 (反射波スペクトル) を測定したところ、図 4 A、図 4 B および図 4 C に示すような反射波スペクトル分布がそれぞれ観測された。

【0052】

図 4 A に示すように、第 1 高周波給電ライン 88 上では、第 1 整合器 42 で整合がとれ

50

ていても、多数の異周波反射波が存在する。特に、基本波反射波(40.68MHz)の周りではそれに近いほど異周波反射波のパワーは高く、基本波反射波(40.68MHz)の両隣の異周波反射波(40.60MHz, 40.76MHz)のパワーが突出して高い。

【0053】

図4Bに示すように、第2高周波給電ライン90上では、第2整合器44で整合がとれていても、基本波反射波(12.88MHz)の周りに多数の異周波反射波が存在する。特に、基本波反射波(12.88MHz)に近いほど異周波反射波のパワーは高く、最も近い両隣の異周波反射波(12.80MHz, 12.96MHz)のパワーが突出して高い。

10

【0054】

同様に、図4Cに示すように、第3高周波給電ライン92上では、第3整合器46で整合がとれていても、基本波反射波(3.2MHz)の周りに多数の異周波反射波が存在する。特に、基本波反射波(3.2MHz)に近いほど異周波反射波のパワーは高く、最も近い両隣の異周波反射波(3.12MHz, 3.28MHz)のパワーが突出して高い。

【0055】

このように、プラズマからの反射波が基本波反射波だけでなく周波数軸上でその周りに多数の異周波反射波を含み、しかも基本波反射波にごく近い周波数の異周波反射波が存在するとなると、反射波のモニタリングおよび反射波に対するRF出力の制御が難しくなる。特に、整合がとれているか否かを判別するための基本波反射波パワーのモニタリングが非常に難しくなる。また、過大なトータル反射波パワーに対して各高周波電源のRF出力を応急的に調整することと実行中のプラズマプロセスを安定に維持することとの両立を図るのが非常に難しくなる。

20

【0056】

因みに、比較例として、イオン引き込み用のRFバイアスに第2高周波RF₂(12.88MHz)のみを使用し、第3高周波RF₃(3.2MHz)を使用しない場合、チャンバ10内のプラズマから第1高周波電源36に返ってくる反射波のスペクトル分布は、模式的に図5に示すようになる。すなわち、基本波反射波(40.68MHz)の近くに存在する異周波反射波は、27.80MHz, 29.84MHz, 38.64MHz, 42.72MHz, 51.52MHz, 53.56MHzの6つである。しかも、基本波反射波(40.68MHz)に最も近い38.64MHzおよび42.72MHzでも2.04MHzの差(オフセット)がある。図示省略するが、チャンバ10内のプラズマから第2高周波電源ライン90上を逆方向に返ってくる反射波のスペクトル分布も、周波数の帯域が異なるだけで、図5と同様の傾向を示す。

30

【0057】

このように、イオン引き込み用のRFバイアスに1種類(単一周波数)の高周波RF₂を使用する場合は、プラズマ側から各高周波電源に向かって各高周波給電ライン上を伝搬してくる反射波に含まれる異周波反射波は非常に少なく、しかも周波数軸上で異周波反射波が基本波反射波から大きく(2MHz以上)離れているので、基本波反射波を見分けるのが容易であるとともに、過大なトータル反射波パワーに対するRF出力の応急的な制御を各高周波電源がそれぞれ個別(勝手)に行ってもプラズマプロセスに与える影響は少ない。

40

【0058】

この実施形態では、上記のような3周波印加方式における基本波反射波パワーのモニタリングの困難性および過大なトータル反射波パワーに対する応急的なRF出力制御とプラズマプロセスの安定維持との両立の困難性を克服するために、第1、第2および第3RFパワーモニタ94, 96, 98の構成および作用ならびに主制御部82の機能に特別な工夫を施している。

【 0 0 5 9 】

図 6 A に、第 1 R F パワーモニタ 9 4 の構成を示す。この R F パワーモニタ 9 4 は、第 1 高周波給電ライン 8 8 上に挿入される方向性結合器 1 0 0 A と、進行波パワーモニタ部 1 0 2 A と、反射波パワーモニタ部 1 0 4 A とを有している。

【 0 0 6 0 】

方向性結合器 1 0 0 A は、第 1 高周波給電ライン 8 8 上を順方向に伝搬する R F パワー（進行波） $R F_{88} \cdot P_t$ と逆方向に伝搬する R F パワー（反射波） $R F_{88} \cdot P_r$ のそれぞれに対応する信号を進行波パワー検出信号 $R F_{88} [P_t]$ および反射波パワー検出信号 $R F_{88} [P_r]$ として取り出すように構成されている。

【 0 0 6 1 】

方向性結合器 1 0 0 A より取り出された進行波パワー検出信号 $R F_{88} [P_t]$ は、進行波パワーモニタ部 1 0 2 A に入力される。進行波パワーモニタ部 1 0 2 A は、方向性結合器 1 0 0 A から入力した進行波パワー検出信号 $R F_{88} [P_t]$ を基に、第 1 高周波給電ライン 8 8 上の進行波に含まれる基本波進行波（40 . 68 MHz）のパワー $R F_1 \cdot S P_t$ を表わす信号を生成し、この信号つまり基本波進行波パワー測定値信号 $R F_1 [S P_t]$ を第 1 高周波電源 3 6 の電源制御部 1 0 6 A に与える。

【 0 0 6 2 】

第 1 高周波電源 3 6 は、第 1 R F 周波数（40 . 68 MHz）の正弦波を発振出力する高周波発振器 1 0 8 A と、この高周波発振器 1 0 8 A より出力された正弦波のパワーを制御可能にして、その利得で増幅するパワーアンプ 1 1 0 A とを有している。第 1 高周波電源 3 6 において、電源制御部 1 0 6 A は、第 1 高周波 $R F_1$ のパワーを設定値に維持するように、進行波パワーモニタ部 1 0 2 A からの基本波進行波パワー測定値信号 $R F_1 [S P_t]$ に応答してパワーアンプ 1 1 0 A にパワーフィードバック制御を掛ける。さらに、電源制御部 1 0 6 A は、後述するトータル反射波パワー $R F_{88} \cdot T P_r$ が過大になっている時に、主制御部 8 2 からの制御信号 $C S_1$ に応じてパワーアンプ 1 1 0 A の出力を応急的に制御する（通常下げる）制御を行うようになっている。

【 0 0 6 3 】

方向性結合器 1 0 0 A より取り出された反射波パワー検出信号 $R F_{88} [P_r]$ は、反射波パワーモニタ部 1 0 4 A に入力される。反射波パワーモニタ部 1 0 4 A は、基本波反射波パワー測定回路 1 1 2 A と、トータル反射波パワー測定回路 1 1 4 A とを有している。

【 0 0 6 4 】

基本波反射波パワー測定回路 1 1 2 A は、混合器 1 1 6 A、局部発振器 1 1 8 A、ローパス・フィルタ（L P F）1 2 0 A および低周波検波器 1 2 2 A からなり、方向性結合器 1 0 0 A から入力した反射波パワー検出信号 $R F_{88} [P_r]$ を基に、チャンバ 1 0 内のプラズマから第 1 高周波電源 3 6 に返ってくる反射波に含まれる基本波反射波（40 . 68 MHz）のパワー $R F_1 \cdot S P_r$ を表わす信号つまり基本波反射波パワー測定値信号 $R F_1 [S P_r]$ を生成する。

【 0 0 6 5 】

より詳細には、局部発振器 1 1 8 A は、第 1 高周波 $R F_1$ の周波数（40 . 68 MHz）に対して第 1 高周波給電ライン 8 8 上の異周波反射波の中で最も近い周波数（40 . 60 MHz , 40 . 76 MHz）よりさらに近い第 1 近傍周波数 f_1 を有する第 1 局部発振信号 $L S_1$ を発生する。混合器 1 1 6 A は、方向性結合器 1 0 0 A からの反射波パワー測定値信号 $R F_{88} [P_r]$ と局部発振器 1 1 8 A からの第 1 局部発振信号 $L S_1$ とを混合する。この混合により、第 1 高周波給電ライン 8 8 上の反射波に含まれる基本波反射波および異周波反射波のそれぞれの周波数と第 1 局部発振信号 $L S_1$ の周波数との和または差の周波数を有する様々な合成信号が生成される。その中で、最もかつ極端に低い周波数を有する合成信号は、基本波反射波の周波数（40 . 68 MHz）と第 1 局部発振信号 $L S_1$ の周波数 f_1 との差（40 . 68 MHz - f_1 ）または（ f_1 - 40 . 68 MHz）に相当する周波数（第 1 中間周波数） f_1 を有する第 1 中間周波数信号 $M S_1$ である。

【 0 0 6 6 】

10

20

30

40

50

この実施形態において、第1局部発振信号 LS_1 の周波数(第1近傍周波数) f_1 は、第1RF周波数(40.68MHz)と第1高周波給電ライン88上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数(40.60MHz, 40.76MHz)との差(80kHz)の $1/8 \sim 1/3$ (より好ましくは $1/6 \sim 1/4$)だけ第1RF周波数(40.68MHz)からオフセットした値に選ばれる。

【0067】

ここで、第1RF周波数に対する第1近傍周波数のオフセット量を第1RF周波数とそれに最も近接する異周波反射波周波数との差(80kHz)の $1/3$ 以下(より好ましくは $1/4$ 以下)とするのは、混合器116Aで得られる上記第1中間周波数信号 MS_1 の周波数を他の如何なる合成信号の周波数よりも著しく低くして、次段のLPF120Aによる弁別を容易にするためである。また、上記オフセット量を上記差(80kHz)の $1/8$ 以上(より好ましくは $1/6$ 以上)とするのは、基本波反射波のパワー $RF_1 \cdot SP_r$ に対する基本波反射波パワー測定値信号 $RF_1[SP_r]$ の応答速度を十分な大きさに確保するためである。かかる要件から、第1近傍周波数 f_1 として、好適には、第1RF周波数(40.68MHz)から15kHzだけオフセットした40.665MHz(または40.695MHz)が選ばれる。

【0068】

こうして、混合器116Aより、15kHzの第1中間周波数信号 MS_1 と80kHz以上のその他多数の合成信号とが出力される。LPF120Aは、15kHzと80kHzの間にカットオフ周波数を有するローパス・フィルタとして設計され、第1中間周波数信号 MS_1 だけを弁別して選択的に通過させる。

【0069】

因みに、上記のように第1中間周波数 f_1 を15kHzに設定した場合(実施例)のフィルタ周波数特性と、第1中間周波数 f_1 を500kHzに設定した場合(比較例)のフィルタ周波数特性とを対比すると、図7Aに示すようにそれぞれの周波数選択性に著しい差があることがわかる。図7Bに、実施例のフィルタ周波数特性を拡大して示す。

【0070】

実施例のフィルタ周波数特性によれば、基本波反射波の周波数(40.68MHz)だけを通し、そこから80kHzだけオフセットしている異周波反射波の周波数(40.60MHz, 40.76MHz)を確実に遮断することができる。一方、比較例のフィルタ周波数特性によれば、基本波反射波の周波数(40.68MHz)を通すだけでなく、これに近接する上記異周波反射波の周波数(40.60MHz, 40.76MHz)も一緒に通してしまい、基本波反射波を弁別することはできない。

【0071】

LPF120Aより出力される第1中間周波数信号 MS_1 には、基本波反射波パワー $RF_1 \cdot SP_r$ のエンベロープ波形が乗っている。低周波検波器122Aは、LPF120Aより入力した第1の中間周波数信号 MS_1 を検波して、基本波反射波パワー $RF_1 \cdot SP_r$ のエンベロープ波形を取り出し、アナログDC(直流)の基本波反射波パワー測定値信号 $RF_1[SP_r]$ を出力する。

【0072】

このように、第1高周波給電ライン88上の反射波に基本反射波(40.68MHz)だけでなくそれにごく近い周波数の異周波反射波(40.60MHz, 40.76MHz)が含まれていても、基本波反射波パワー測定回路112Aにより基本反射波(40.68MHz)を明確に見分けて基本波反射波パワー $RF_1 \cdot SP_r$ のモニタリングを精確に行うことができる。

【0073】

一方、トータル反射波パワー測定回路114Aは、たとえばダイオード検波式のRFパワー・メータからなり、方向性結合器100Aから入力した反射波パワー検出信号 $RF_{88}[P_r]$ に基づいて、チャンバ10内のプラズマから第1高周波電源36に返ってくる反射波に含まれる全ての反射波スペクトルのトータルのパワー $RF_{88} \cdot TP_r$ を表わすトー

10

20

30

40

50

タル反射波パワー測定値信号 $RF_{88} [TP_r]$ を生成する。

【0074】

なお、第1整合器42の出力側には、サセプタ16および給電棒45を介して第1高周波給電ライン88上に第2高周波 RF_2 (12.88 MHz) および第3高周波 RF_3 (3.2 MHz) が進入してくるのを阻止(遮断)するためのハイパス・フィルタ124Aが設けられている。したがって、チャンバ10内のプラズマで発生する反射波(基本波反射波、非線形高調波歪等)のうちハイパス・フィルタ124Aを逆方向に通過する帯域の反射波が方向性結合器100Aを介して基本波反射波パワー測定回路112Aおよびトータル反射波パワー測定回路114Aに入力(検知)される。

【0075】

上記のようにして基本波反射波パワー測定回路112Aおよびトータル反射波パワー測定回路114Aよりそれぞれ出力される基本波反射波パワー測定値信号 $RF_1 [SP_r]$ およびトータル反射波パワー測定値信号 $RF_1 [TP_r]$ は、第1RFパワーモニタ94からの第1反射波パワー測定値信号として主制御部82に与えられる。

【0076】

図6Bおよび図6Cに、第2および第3RFパワーモニタ96, 98の構成をそれぞれ示す。これらのRFパワーモニタ96, 98も、扱う高周波の周波数および反射波(基本波反射波、異周波反射波)の周波数が異なるだけで、上述した第1RFパワーモニタ94と同様の構成を有し、同様の作用を奏する。

【0077】

特に、図6Bにおいて、基本波反射波パワー測定回路112Bは、混合器116B、局部発振器118B、ローパス・フィルタ(LPF)120Bおよび低周波検波器122Bからなり、第2高周波給電ライン90上に配置される方向性結合器100Bから入力した反射波パワー検出信号 $RF_{90} [P_r]$ を基に、チャンバ10内のプラズマから第2高周波電源38に返ってくる反射波に含まれる基本波反射波(12.88 MHz)のパワー $RF_2 \cdot SP_r$ を表わす信号つまり基本波反射波パワー測定値信号 $RF_2 [SP_r]$ を生成する。

【0078】

ここで、局部発振器118Bより混合器116Bに与えられる第2局部発振信号 LS_2 の周波数(第2近傍周波数) f_2 は、第2RF周波数(12.88 MHz)と第2高周波給電ライン90上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数(12.80 MHz, 12.96 MHz)との差(80 kHz)の $1/8 \sim 1/3$ (より好ましくは $1/6 \sim 1/4$) だけ第2RF周波数(12.88 MHz)からオフセットした値に選ばれる。この実施例では、第2近傍周波数 f_2 として、第2RF周波数(12.88 MHz)から15 kHz だけオフセットした12.865 MHz (または12.895 MHz) が好適に選ばれる。

【0079】

また、トータル反射波パワー測定回路114Bは、方向性結合器100Bから入力した反射波パワー検出信号 $RF_{90} [P_r]$ に基づいて、チャンバ10内のプラズマから第2高周波電源38に返ってくる反射波に含まれる全ての反射波スペクトルのトータルのパワー $RF_{90} \cdot TP_r$ を表わすトータル反射波パワー測定値信号 $RF_{90} [TP_r]$ を生成する。

【0080】

上記のようにして基本波反射波パワー測定回路112Bおよびトータル反射波パワー測定回路114Bよりそれぞれ出力される基本波反射波パワー測定値信号 $RF_2 [SP_r]$ およびトータル反射波パワー測定値信号 $RF_{90} [TP_r]$ は、第2RFパワーモニタ96からの第2反射波パワー測定値信号として主制御部82に与えられる。

【0081】

図6Cにおいて、基本波反射波パワー測定回路112Cは、混合器116C、局部発振器118C、ローパス・フィルタ(LPF)120Cおよび低周波検波器122Cからなり、第3高周波給電ライン92上に配置される方向性結合器100Cから入力した反射波パワー検出信号 $RF_{92} [P_r]$ を基に、チャンバ10内のプラズマから第3高周波電源4

10

20

30

40

50

0 に返ってくる反射波に含まれる基本波反射波 (3.2 MHz) のパワー $RF_2 \cdot SP_r$ を表わす信号つまり基本波反射波パワー測定値信号 $RF_2 [SP_r]$ を生成する。

【0082】

ここで、局部発振器 118C より混合器 116C に与えられる第3局部発振信号 LS_3 の周波数 (第2近傍周波数) f_3 は、第3RF周波数 (3.2 MHz) と第3高周波給電ライン92上の異周波反射波の中でそれに最も近い周波数 (3.12 MHz , 3.28 MHz) との差 (80 kHz) の $1/8 \sim 1/3$ (より好ましくは $1/6 \sim 1/4$) だけ第3RF周波数 (3.12 MHz) からオフセットしている値に選ばれる。この実施例では、第3近傍周波数 f_3 として、第3RF周波数 (3.2 MHz) から 15 kHz だけオフセットしている 3.185 MHz (または 3.215 MHz) が好適に選ばれる。

10

【0083】

また、トータル反射波パワー測定回路 114C は、方向性結合器 100C から入力した反射波パワー検出信号 $RF_{92} [P_r]$ に基づいて、チャンバ10内のプラズマから第3高周波電源40に返ってくる反射波に含まれる全ての反射波スペクトルのトータルのパワー $RF_{92} \cdot TP_r$ を表わすトータル反射波パワー測定値信号 $RF_{92} [TP_r]$ を生成する。

【0084】

上記のようにして基本波反射波パワー測定回路 112C およびトータル反射波パワー測定回路 114C よりそれぞれ出力される基本波反射波パワー測定値信号 $RF_3 [SP_r]$ およびトータル反射波パワー測定値信号 $RF_{92} [TP_r]$ は、第3RFパワーモニタ98からの第3反射波パワー測定値信号として主制御部82に与えられる。

20

【0085】

上記のように、主制御部82は、第1RFパワーモニタ94から第1反射波パワー測定値信号 (基本波反射波パワー測定値信号 $RF_1 [SP_r]$ およびトータル反射波パワー測定値信号 $RF_{88} [TP_r]$) を受け取り、第2RFパワーモニタ96から第2反射波パワー測定値信号 (基本波反射波パワー測定値信号 $RF_2 [SP_r]$ およびトータル反射波パワー測定値信号 $RF_{90} [TP_r]$) を受け取り、第3RFパワーモニタ98から第3反射波パワー測定値信号 (基本波反射波パワー測定値信号 $RF_3 [SP_r]$ およびトータル反射波パワー測定値信号 $RF_{92} [TP_r]$) を受け取る。

【0086】

主制御部82は、入力した基本波反射波パワー測定値信号 $RF_1 [SP_r]$, $RF_2 [SP_r]$, $RF_3 [SP_r]$ に基づいて、操作パネル85のディスプレイ上に3つのRF給電系における基本波反射波パワー $RF_1 \cdot SP_r$, $RF_2 \cdot SP_r$, $RF_3 \cdot SP_r$ の測定値をモニタ表示するとともに、各測定値を所定の監視値と比較して各整合器42, 44, 46の整合動作ないし整合状況を判定し、判定結果次第でインターロックを掛ける。

30

【0087】

すなわち、基本波反射波パワー $RF_1 \cdot SP_r$, $RF_2 \cdot SP_r$, $RF_3 \cdot SP_r$ の各々の測定値が監視値より低い時は、当該RF給電系において整合が実質的にとれていると判定する。しかし、いずれかの基本波反射波パワー測定値が監視値を超えた時または超えている時は、当該RF給電系において整合がとれていないと判定する。この場合、主制御部82は、他のモニタ情報つまり他のRF給電系の基本波反射波パワー測定値および全RF給電系のトータル反射波パワー測定値を参酌することで、整合がとれていない状況ないしその原因を適確に把握することができる。

40

【0088】

たとえば、第2基本波反射波パワー $RF_2 \cdot SP_r$ の測定値が監視値を超えたとする。この時、他のモニタ情報 (特に第2トータル反射波パワー $RF_{90} \cdot TP_r$ の測定値) が正常 (許容) 範囲内であれば、主制御部82は、現時の非整合状態は第2整合器44の整合動作が正常に機能していないことにその原因があると判定 (断定) することができる。この場合、主制御部82は、第2整合器44に整合動作を検査ないし正常化させるためのルーチンが備わっていれば、第2整合器44内のコントローラにそのルーチンの実行を指示するコマンドを送ってよい。そして、それでも他が正常で第2基本波反射波パワー $RF_2 \cdot$

50

$S P_r$ の測定値だけが監視値を超えている状態が続いたときは、第2整合器44が故障または暴走していると判定してよい。この場合、その旨のメッセージを操作パネル85のディスプレイ上に表示してよく、それと併せてインターロックを掛けてもよい。

【0089】

しかし、他のモニタ情報（特に第2トータル反射波パワー $R F_{90} \cdot T P_r$ の測定値あるいは第1および第3基本波反射波パワー $R F_1 \cdot S P_r$ 、 $R F_3 \cdot S P_r$ の測定値）も同時に監視値を超えている場合は、チャンバ10内の処理空間PSまたは他のRF給電システムにプラズマとの整合をとるのが難しい何らかの異常事態が発生したものと判定することができる。この場合、主制御部82は、即時に第2整合器44が不良であると速断して直ちにインターロックを掛けるのではなくて、たとえば光学センサからのプラズマ発光モニタリング情報を参照したり、全RFシステムおよび/またはガスシステムのチェックを行うことなどにより、プラズマの異常原因を突き止めてよく、操作パネル85のディスプレイを通じて状況報告を行ってもよい。

10

【0090】

このように、いずれかの基本波反射波パワー測定値が監視値を超えた時は、当該RF給電系で整合がとれていないのは確かであるが、単純に当該RF給電系内の整合器の不良または不調と判断するのではなく、主制御部82が他のモニタ情報（RF給電系の基本波反射波パワー測定値および全RF給電系のトータル反射波パワー測定値）を参酌して当該事態を総合的または多角的に解析することにより、整合状態の確立または復帰あるいはプラズマプロセスの安定化に向けて各部を適確に制御することができる。これによって、プラズマプロセスの再現性および信頼性を向上させることができる。

20

【0091】

また、主制御部82は、第1、第2および第3RFパワーモニタ94、96、98から受け取ったトータル反射波パワー測定値信号 $R F_{88} [T P_r]$ 、 $R F_{90} [T P_r]$ 、 $R F_{92} [T P_r]$ に基づいて、高周波給電ライン88、90、92上で反射波のトータル反射波パワー $R F_{88} \cdot T P_r$ 、 $R F_{90} \cdot T P_r$ 、 $R F_{92} \cdot T P_r$ が監視値を超えているか否かをモニタリングすることができる。そして、トータル反射波パワー $R F_{88} \cdot T P_r$ 、 $R F_{90} \cdot T P_r$ 、 $R F_{92} \cdot T P_r$ のいずれかが監視値を超えた時は、その過大なトータル反射波パワーから当該高周波電源を保護するように各高周波電源の電源制御部を通じて応急的にRFパワーを下げる措置をとるとともに、実行中のプラズマプロセスの変動を最小限に抑えるように各RF給電系の間での調整を行う。

30

【0092】

たとえば、第2トータル反射波パワー $R F_{90} \cdot T P_r$ の測定値が監視値を超えたとする。この時は、第2トータル反射波パワー $R F_{90} \cdot T P_r$ が過大になったわけであるから、先ず第2高周波電源38のパワーアンプ110Bを保護するのが先決であり、主制御部82は制御信号 $C S_2$ により電源制御部106Bを通じてパワーアンプ110Bの出力（つまり第2高周波 $R F_2$ のパワー）を下げる。ただし、第2高周波 $R F_2$ のパワーをむやみにあるいは極端に下げるのではなくて、他のモニタ情報（特に第2基本波反射波パワー $R F_2 \cdot S P_r$ の測定値あるいは第1および第3トータル波反射波パワー $R F_{88} \cdot T P_r$ 、 $R F_{92} \cdot T P_r$ の測定値）を参酌して、必要最小限の下げ幅に制御する。あるいは、イオン引き込み用の第2高周波 $R F_2$ のパワーを下げるのと同時に、同じくイオン引き込み用の第3高周波 $R F_3$ のパワーを適度に上げることにより、プラズマから半導体ウエハWに引き込むイオンのエネルギーを安定に保つことも可能である。

40

【0093】

もっとも、主制御部82において第1、第2および第3RFパワーモニタ94、96、98からそれぞれ入力したトータル反射波パワー測定値信号 $R F_{88} [T P_r]$ 、 $R F_{90} [T P_r]$ 、 $R F_{92} [T P_r]$ をそのままスルーで出力して、第1、第2および第3高周波電源36、38、40の電源制御部106A、106B、106Cにそれぞれ送ることも可能である。この場合は、各高周波電源36、38、40の各電源制御部106A、106B、106Cが、それぞれ個別に、各RFパワーモニタ94、96、98からのトータル

50

反射波パワー測定値信号 $R F_{88} [T P_r]$, $R F_{90} [T P_r]$, $R F_{92} [T P_r]$ に応答して、過大なトータル反射波パワーから当該高周波電源を保護するための R F 出力制御を行うことになる。

【 0 0 9 4 】

さらに、主制御部 8 2 には、各 R F 給電系において発生する反射波に含まれる異周波反射波を演算によって決定する機能も備わっている。すなわち、第 1 高周波 $R F_1$ 、第 2 高周波 $R F_2$ および第 3 高周波 $R F_3$ についてそれぞれの周波数（第 1、第 2 および第 3 R F 周波数）の値 A , B , C が操作パネル 8 5 より入力されると、主制御部 8 2 を構成しているマイクロコンピュータが次の式（ 1 ）を演算することにより、3 周波印加時に発生し得る異周波反射波の周波数が求められる。

$$\pm A [M H z] \times m \pm B [M H z] \times n \pm C [M H z] \times l \quad \cdot \cdot (1)$$

【 0 0 9 5 】

但し、 m は A の高次係数（第 m 次高調波）、 n は B の高次係数（第 n 次高調波）、 l は C の高次係数（第 l 次高調波）である。通常、 m , n , l は、各々 1 次 ~ 5 次係数まで考慮すれば十分である。

【 0 0 9 6 】

図 8 A ~ 図 8 D に、上記実施例（ $A = 40.68 M H z$, $B = 12.88 M H z$, $C = 3.2 M H z$ ）において、周波数軸上で第 1 高周波 $R F_1$ の周りに発生する異周波反射波の周波数を求める上記式（ 1 ）の演算内容および演算結果を示す。図示省略するが、第 2 高周波 $R F_2$ および第 3 高周波 $R F_3$ の周りに発生する異周波反射波の周波数も上記式（ 1 ）を演算して求められる。

【 0 0 9 7 】

主制御部 8 2 は、上記式（ 1 ）の演算結果（異周波反射波の一覧）を記憶装置に保存するとともに、操作パネル 8 5 のディスプレイ上に表示する。その演算結果は、R F パワーモニタ 9 4 , 9 6 , 9 8 の基本波反射波パワー測定回路 1 1 2 A , 1 1 2 B , 1 1 2 C の設計に寄与する。特に、周波数軸上で各基本波反射波に最も近い異周波反射波の周波数の値を基に、局部発振周波数 f_1 , f_2 , f_3 の値が決められ、L P F 1 2 0 A , 1 2 0 B , 1 2 0 C のカットオフ周波数も決められる。

【 0 0 9 8 】

さらに、一変形例として、高周波電源 3 6 , 3 8 , 4 0 のいずれかに高周波 $R F_1$ 、 $R F_2$, $R F_3$ の周波数を随時変更または制御する機能が備わる場合に、主制御部 8 2 の上記演算機能は大なる効果を発揮する。たとえば、プラズマ生成用の第 1 高周波 $R F_1$ の周波数を制御できるように高周波電源 3 6 を構成する場合は、R F パワーモニタ 9 4 の局部発振器 1 1 8 A を制御可能な周波数発振器で構成して、主制御部 8 2 の制御の下で第 1 局部発振信号 $L S_1$ の周波数を制御できるようにする。これにより、主制御部 8 2 は、高周波電源 3 6 の電源制御部 1 0 6 A を通じて第 1 高周波 $R F_1$ の周波数を制御すると同時に、関連する（特に最も近接する）異周波反射波の周波数を上記式（ 1 ）の演算によって求め、混合器 1 1 6 A より出力される第 1 中間周波数 $M S_1$ の周波数（第 1 中間周波数） f_1 が一定値（たとえば 1 5 k H z ）に維持されるように、第 1 局部発振信号 $L S_1$ の周波数を制御することができる。イオン引き込み用の第 2 高周波 $R F_2$ または第 3 高周波 $R F_3$ の周波数を制御する場合も、上記と同様に対応することができる。

[他の実施形態または変形例]

【 0 0 9 9 】

上記した実施形態では、第 1 高周波電源 3 6 より出力されるプラズマ生成用の第 1 高周波 $R F_1$ をサセプタ（下部電極）1 6 に印加した。別の実施形態として、図 9 に示すように、第 1 高周波電源 3 6 および第 1 整合器 4 2 を上部電極 4 8 に電気的に接続し、プラズマ生成用の第 1 高周波 $R F_1$ を第 1 高周波給電ライン 8 8 を介して上部電極 4 8 に印加してもよい。

【 0 1 0 0 】

10

20

30

40

50

本発明は、プラズマエッチング装置に限定されず、プラズマCVD、プラズマ酸化、プラズマ窒化、スパッタリングなどの他のプラズマ処理装置にも適用可能である。また、本発明における被処理基板は半導体ウエハに限るものではなく、フラットパネルディスプレイ用の各種基板や、フォトマスク、CD基板、プリント基板等も可能である。

【符号の説明】

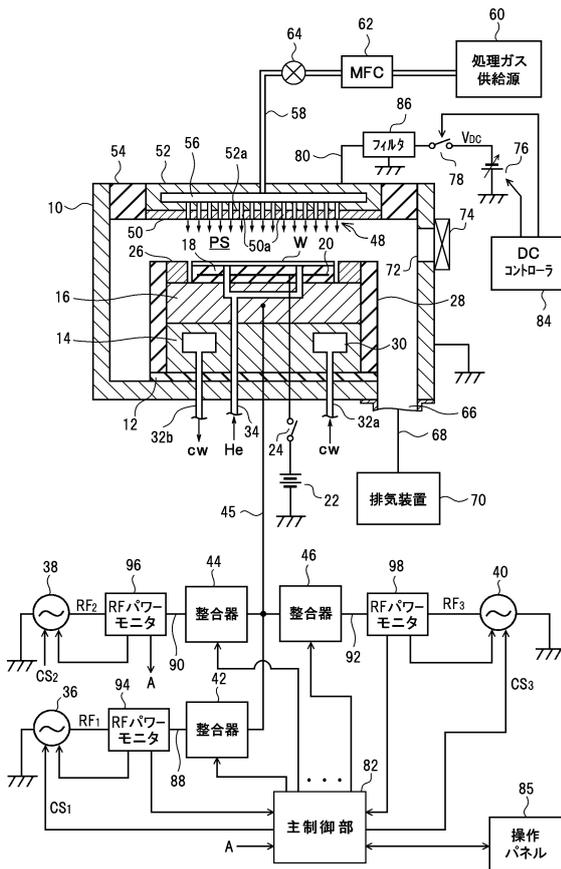
【0101】

- 10 チャンバ
- 16 サセプタ(下部電極)
- 36 第1高周波電源
- 38 第2高周波電源
- 40 第3高周波電源
- 42 第1整合器
- 44 第2整合器
- 46 第3整合器
- 48 上部電極
- 60 処理ガス供給源
- 70 排気装置
- 82 主制御部
- 88 第1高周波給電ライン
- 90 第2高周波給電ライン
- 92 第3高周波給電ライン
- 94 第1RFパワーモニタ
- 96 第2RFパワーモニタ
- 98 第3RFパワーモニタ

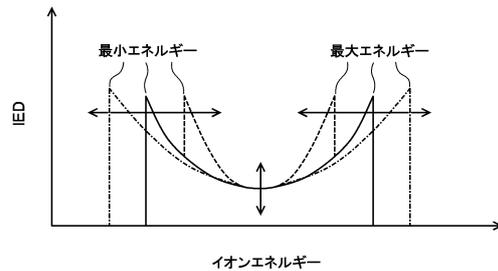
10

20

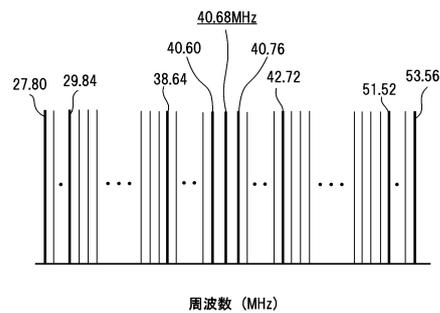
【図1】



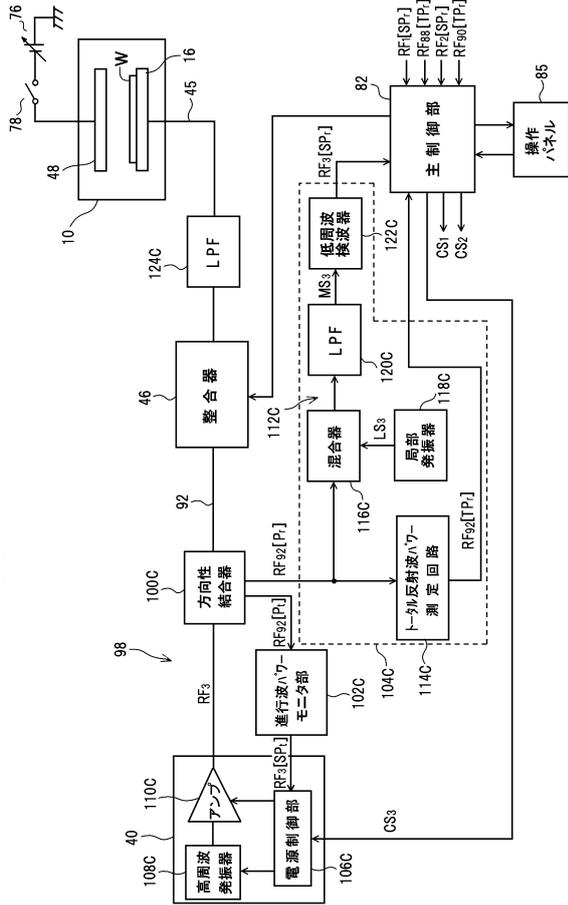
【図2】



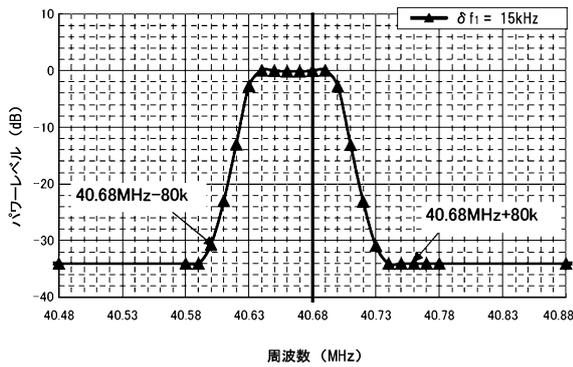
【図3】



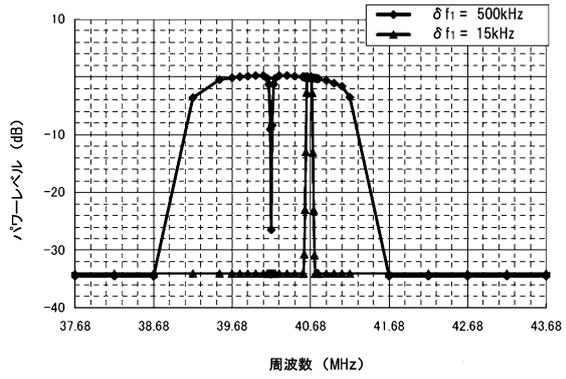
【図 6 C】



【図 7 B】



【図 7 A】



【図 8 A】

識別No.	異周波	計算式	係数
1	27.80MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 12.88\text{MHz} \times 1$	$m=1, n=1, l=0$
2	27.88MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=1, n=0, l=4$
3	28.96MHz	$12.88\text{MHz} \times 2 + 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=0, n=2, l=1$
4	29.04MHz	$12.88\text{MHz} \times 3 - 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=0, n=3, l=3$
5	29.76MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 5 + 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=2, n=5, l=4$
6	29.84MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 4$	$m=2, n=4, l=0$
7	29.92MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 3 - 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=2, n=3, l=4$
8	30.12MHz	$-40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 5 + 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=1, n=5, l=2$
9	30.92MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 12.88\text{MHz} \times 2 + 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=1, n=2, l=5$
10	31.00MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 12.88\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=1, n=1, l=1$
11	31.08MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=1, n=0, l=3$
12	32.16MHz	$12.88\text{MHz} \times 2 + 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=0, n=2, l=2$
13	32.24MHz	$12.88\text{MHz} \times 3 - 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=1, n=3, l=2$
14	32.96MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 5 + 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=2, n=5, l=5$
15	33.04MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 4 + 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=2, n=4, l=1$
16	33.12MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 3 - 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=2, n=3, l=3$
17	33.32MHz	$-40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 5 + 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=1, n=5, l=3$
18	34.20MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 12.88\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=1, n=1, l=2$
19	34.28MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=1, n=0, l=2$
20	35.36MHz	$12.88\text{MHz} \times 2 + 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=0, n=2, l=3$

【図8B】

識別No.	異周波	計算式	係数
21	35.44MHz	$12.88\text{MHz} \times 3 - 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=0, n=3, l=1$
22	35.52MHz	$12.88\text{MHz} \times 4 - 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=0, n=4, l=5$
23	36.24MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 4 + 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=2, n=4, l=2$
24	36.32MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 3 - 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=2, n=3, l=2$
25	36.52MHz	$-40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 5 + 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=1, n=5, l=4$
26	37.40MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 12.88\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=1, n=1, l=3$
27	37.48MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=1, n=0, l=1$
28	37.56MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=1, n=1, l=5$
29	38.56MHz	$12.88\text{MHz} \times 2 + 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=0, n=2, l=4$
30	38.64MHz	$12.88\text{MHz} \times 3$	$m=0, n=3, l=0$
31	38.72MHz	$12.88\text{MHz} \times 4 - 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=0, n=4, l=4$
32	39.44MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 4 + 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=2, n=4, l=3$
33	39.52MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 3 - 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=2, n=3, l=1$
34	39.60MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 2 - 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=2, n=2, l=5$
35	39.72MHz	$-40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 5 + 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=1, n=5, l=5$
36	40.60MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 12.88\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=1, n=1, l=4$
37	40.76MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=1, n=1, l=4$
38	41.64MHz	$40.68\text{MHz} \times 3 - 12.88\text{MHz} \times 5 - 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=3, n=5, l=5$
39	41.76MHz	$12.88\text{MHz} \times 2 + 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=0, n=2, l=5$
40	41.84MHz	$12.88\text{MHz} \times 3 + 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=0, n=3, l=1$

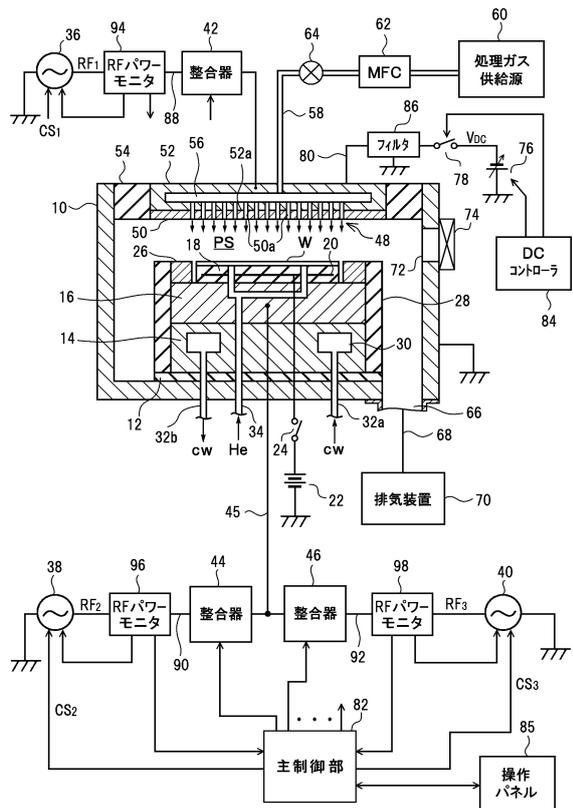
【図8C】

識別No.	異周波	計算式	係数
41	41.92MHz	$12.88\text{MHz} \times 4 - 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=0, n=4, l=3$
42	42.64MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 4 + 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=2, n=4, l=4$
43	42.72MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 3$	$m=2, n=3, l=0$
44	42.80MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 2 - 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=2, n=2, l=4$
45	43.80MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 - 12.88\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=1, n=1, l=5$
46	43.88MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=1, n=0, l=1$
47	43.96MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=1, n=1, l=3$
48	44.84MHz	$40.68\text{MHz} \times 3 - 12.88\text{MHz} \times 5 - 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=3, n=5, l=4$
49	45.04MHz	$12.88\text{MHz} \times 3 + 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=0, n=3, l=2$
50	45.12MHz	$12.88\text{MHz} \times 4 - 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=0, n=4, l=2$
51	45.84MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 4 + 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=2, n=4, l=5$
52	45.92MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 3 + 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=2, n=3, l=1$
53	46.00MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 2 - 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=2, n=2, l=3$
54	47.08MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=1, n=0, l=2$
55	47.16MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=1, n=1, l=2$
56	48.04MHz	$40.68\text{MHz} \times 3 - 12.88\text{MHz} \times 5 - 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=3, n=5, l=3$
57	48.24MHz	$12.88\text{MHz} \times 3 + 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=0, n=3, l=3$
58	48.32MHz	$12.88\text{MHz} \times 4 - 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=0, n=4, l=1$
59	48.40MHz	$12.88\text{MHz} \times 5 - 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=0, n=5, l=5$
60	49.12MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 3 + 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=2, n=3, l=2$

【図8D】

識別No.	異周波	計算式	係数
61	49.20MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 2 - 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=2, n=2, l=2$
62	50.28MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=1, n=0, l=3$
63	50.36MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=1, n=1, l=1$
64	50.44MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 2 - 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=1, n=2, l=5$
65	51.24MHz	$40.68\text{MHz} \times 3 - 12.88\text{MHz} \times 5 - 3.2\text{MHz} \times 2$	$m=3, n=5, l=2$
66	51.44MHz	$12.88\text{MHz} \times 3 + 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=0, n=3, l=4$
67	51.52MHz	$12.88\text{MHz} \times 4$	$m=0, n=4, l=0$
68	51.60MHz	$12.88\text{MHz} \times 5 - 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=0, n=5, l=4$
69	52.32MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 3 + 3.2\text{MHz} \times 3$	$m=2, n=3, l=3$
70	52.40MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 2 - 3.2\text{MHz} \times 1$	$m=2, n=2, l=1$
71	52.48MHz	$40.68\text{MHz} \times 2 - 12.88\text{MHz} \times 1 - 3.2\text{MHz} \times 5$	$m=2, n=1, l=5$
72	53.48MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 3.2\text{MHz} \times 4$	$m=1, n=0, l=4$
73	53.56MHz	$40.68\text{MHz} \times 1 + 12.88\text{MHz} \times 1$	$m=1, n=1, l=0$

【図9】



フロントページの続き

- (72)発明者 大谷 竜二
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 伊藤 峻一
東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 清 一 隆
大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号 株式会社ダイヘン内
- (72)発明者 西田 知正
大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号 株式会社ダイヘン内

審査官 藤本 加代子

- (56)参考文献 特開2008-263587(JP,A)
特開2011-034971(JP,A)
米国特許出願公開第2002/0159216(US,A1)
米国特許出願公開第2005/0090118(US,A1)
特開2008-041795(JP,A)
特開2003-179030(JP,A)
特開2008-244429(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/00
H05H 1/46
H01L 21/3065
H01L 21/205