

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5498217号
(P5498217)

(45) 発行日 平成26年5月21日(2014.5.21)

(24) 登録日 平成26年3月14日(2014.3.14)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 R	27/02	(2006.01)
GO 1 R	35/00	(2006.01)
HO 5 H	1/46	(2006.01)
HO 5 H	1/00	(2006.01)
HO 1 L	21/3065	(2006.01)

GO 1 R	27/02	A
GO 1 R	35/00	E
GO 1 R	35/00	J
HO 5 H	1/46	R
HO 5 H	1/00	A

請求項の数 8 (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2010-67843 (P2010-67843)

(22) 出願日

平成22年3月24日(2010.3.24)

(65) 公開番号

特開2011-202973 (P2011-202973A)

(43) 公開日

平成23年10月13日(2011.10.13)

審査請求日

平成25年1月25日(2013.1.25)

(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

(74) 代理人 100086380

弁理士 吉田 稔

(74) 代理人 100103078

弁理士 田中 達也

(74) 代理人 100115369

弁理士 仙波 司

(74) 代理人 100130650

弁理士 鈴木 泰光

(74) 代理人 100135389

弁理士 白井 尚

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】高周波測定装置、および、高周波測定装置の校正方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

チャンバー内でプラズマを発生させるプラズマ処理装置と当該プラズマ処理装置に高周波電力を供給する高周波電源装置との間に接続されて、当該接続点における高周波電圧および高周波電流を検出し、検出された電圧値と電流値とに基づいて、前記プラズマ処理装置のチャンバー内のインピーダンスを算出する高周波測定装置の前記電圧値と電流値の校正方法であって、

第1の3つの基準負荷に前記高周波測定装置を接続した時に算出されたインピーダンスと前記第1の3つの基準負荷のインピーダンスとに基づいて、前記電圧値と電流値とを校正するための第1のパラメータを算出して、前記高周波測定装置に設定する第1の工程と、

前記検出された電圧値と電流値とをそれぞれ前記チャンバー内の電圧値と電流値とに変換するための第2のパラメータを算出して、前記高周波測定装置に設定する第2の工程と、

前記高周波測定装置を測定対象のプラズマ処理装置に接続してプラズマ処理を行い、検出された電圧値と電流値とを前記第1のパラメータおよび第2のパラメータを用いて校正し、当該校正後の電圧値と電流値とに基づいて、前記チャンバー内のインピーダンスを算出する第3の工程と、

スミスチャート上で表示した場合に、前記第3の工程で算出されたインピーダンスを含み、かつ、前記第1の3つの基準負荷のインピーダンスによって囲まれる範囲より狭い範

囲を囲むことになる3つのインピーダンスを決定する第4の工程と、

前記3つのインピーダンスをそれぞれ有する第2の3つの基準負荷をそれぞれ前記測定対象のプラズマ処理装置のチャンバー内に配置したときに当該プラズマ処理装置に接続された前記高周波測定装置が測定したインピーダンスと前記第2の3つの基準負荷のインピーダンスとに基づいて、前記第1のパラメータおよび第2のパラメータを用いて校正された電圧値と電流値とをさらに校正するための第3のパラメータを算出して、前記高周波測定装置に設定する第5の工程と、

前記高周波測定装置を前記測定対象のプラズマ処理装置に接続して、検出された電圧値と電流値とを前記第1のパラメータ、第2のパラメータ、および第3のパラメータを用いて校正する第6の工程と、

を備えている校正方法。

【請求項2】

前記第2のパラメータは、前記接続点と前記プラズマ処理装置のチャンバー内との間で測定されたSパラメータから算出される、請求項1に記載の校正方法。

【請求項3】

前記第1の3つの基準負荷の内の1つの基準負荷は前記高周波測定装置の特性インピーダンスと同一のインピーダンスを有する負荷である、請求項1または2に記載の校正方法。

【請求項4】

前記プラズマ処理装置は一対の対向する平行平板電極を有している、請求項1ないし3のいずれかに記載の校正方法。

【請求項5】

チャンバー内でプラズマを発生させるプラズマ処理装置と当該プラズマ処理装置に高周波電力を供給する高周波電源装置との間に接続されて、当該接続点における高周波電圧および高周波電流を検出する高周波測定装置であって、

前記接続点における高周波電圧を検出する電圧検出手段と、

前記接続点における高周波電流を検出する電流検出手段と、

前記電圧検出手段によって検出された電圧値と前記電流検出手段によって検出された電流値とを校正する校正手段と、

前記校正手段によって校正された前記電圧値と電流値とに基づいて、前記プラズマ処理装置のチャンバー内のインピーダンスを算出するインピーダンス算出手段と、

を備えており、

前記校正手段は、

第1の3つの基準負荷に前記高周波測定装置を接続した時の前記インピーダンス算出手段によって算出されたインピーダンスと前記第1の3つの基準負荷のインピーダンスとに基づいて算出された第1のパラメータを用いて、前記検出された電圧値と電流値とを校正する第1校正手段と、

前記検出された電圧値と電流値とをそれぞれ前記チャンバー内の電圧値と電流値とに変換するための第2のパラメータを用いて、前記第1校正手段によって校正された電圧値と電流値とを校正する第2校正手段と、

スミスチャート上で表示した場合に前記第1の3つの基準負荷のインピーダンスによって囲まれる範囲より狭い範囲を囲むことになる第2の3つの基準負荷をそれぞれ前記測定対象のプラズマ処理装置のチャンバー内に配置したときに当該プラズマ処理装置に接続された前記高周波測定装置が測定したインピーダンスと前記第2の3つの基準負荷のインピーダンスとに基づいて算出された第3のパラメータを用いて、前記第1校正手段および第2校正手段によって校正された前記電圧値と電流値とをさらに校正する第3校正手段と、を備えている高周波測定装置。

【請求項6】

前記第2のパラメータは、前記接続点と前記プラズマ処理装置のチャンバー内との間で測定されたSパラメータから算出される、請求項5に記載の高周波測定装置。

10

20

30

40

50

【請求項 7】

前記第1の3つの基準負荷の内の1つの基準負荷は前記高周波測定装置の特性インピーダンスと同一のインピーダンスを有する負荷である、請求項5または6に記載の高周波測定装置。

【請求項 8】

前記プラズマ処理装置は一対の対向する平行平板電極を有している、請求項5ないし7のいずれかに記載の高周波測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、高周波電圧および高周波電流を検出しインピーダンス等の高周波パラメータを算出することで測定する高周波測定装置、および、当該高周波測定装置の校正方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、高周波電源装置から出力される高周波電力をプラズマ処理装置に供給し、エッチング等の方法を用いて半導体ウェハや液晶基板等の被加工物を加工するプラズマ処理システムが開発されている。

【0003】

図11は、一般的なプラズマ処理システムの構成を示すブロック図である。

20

【0004】

プラズマ処理中にプラズマ処理装置400のインピーダンスは変動するので、当該プラズマ処理装置400の入力端で反射した反射波電力が高周波電源装置100を損傷する虞がある。したがって、プラズマ処理システムA100においては、一般に、高周波電源装置100とプラズマ処理装置400との間にインピーダンス整合装置200が設けられており、当該インピーダンス整合装置200がプラズマ処理装置400のインピーダンス変動に応じて整合動作を行っている。また、プラズマ処理中のプラズマ処理装置400のインピーダンスやプラズマ処理装置400の入力端における高周波電圧および高周波電流などの監視を行う必要がある。

【0005】

30

プラズマ処理装置400の監視は、プラズマ処理装置400の入力端に設けられた高周波測定装置300が測定する各種高周波パラメータを用いて行われる。

【0006】

高周波測定装置300は、高周波電圧（以下、単に「電圧」という。）と高周波電流（以下、単に「電流」という。）を検出し、その検出値から電圧と電流の位相差（以下、単に「位相差」という。）を求めるとともに、電圧実効値V、電流実効値I、インピーダンス $Z = R + jX$ 、反射係数 ρ 、プラズマ処理装置400に入力される進行波電力 P_f 、インピーダンス不整合によりプラズマ処理装置400の入力端で反射される反射波電力 P_r などの高周波パラメータを算出する。

【0007】

40

高周波測定装置300は、プラズマ処理装置400に電力を伝送するための棒状の導電体に容量結合させたコンデンサと同胴体部に磁気結合させたコイルとを有し、コンデンサによって電圧 $v = 2 \cdot V \cdot \sin(\omega t)$ を、また、コイルによって電流 $i = 2 \cdot I \cdot \sin(\omega t + \phi)$ を検出する。また、高周波測定装置300は、検出した電圧 v および電流 i から電圧実効値 V 、電流実効値 I 、位相差 ϕ を求め、これらを用いて下記（1）～（5）式により上記の高周波パラメータを算出する。すなわち、高周波測定装置300は、電圧 v と電流 i を検出するセンサとそのセンサの検出値から上記の高周波パラメータを算出する演算処理回路を備えた、いわゆるRFセンサと呼ばれるものである。

【0008】

50

【数1】

$$R = \frac{V}{I} \cos \theta \quad (1)$$

$$X = \frac{V}{I} \sin \theta \quad (2)$$

$$Z = R + jX$$

$$\Gamma = \sqrt{\left(\frac{R^2 + X^2 - 1}{(R + 1)^2 + X^2} \right)^2 + \left(\frac{2 \cdot X}{(R + 1)^2 + X^2} \right)^2} \quad (3)$$

$$P_f = \frac{V \cdot I \cdot \cos \theta}{1 - \Gamma^2} \quad (4)$$

$$P_r = P_f \cdot \Gamma^2 \quad (5)$$

10

【0009】

一般に、計測装置や測定装置は、センサの感度がばらつき当該センサで検出される検出値が正しい値と異なるため、予め基準となる被測定物を測定して検出値を正しい値に換算する校正パラメータを取得しておき、実際の測定では検出値を当該校正パラメータで正しい検出値に校正して出力する構成となっている。

【0010】

20

高周波測定装置300が検出した電圧 v および電流 i の校正では、例えば、SOLT(Short-Open-Load-Thru)校正が用いられる。SOLT校正では、まず、インピーダンスの真値があらかじめ特定された標準器に高周波測定装置300を接続し、高周波測定装置300によってインピーダンスを測定する。標準器としては、測定系の特性インピーダンス(測定のために高周波を伝送する伝送線路の特性インピーダンス。一般には50又は75)を有するダミーロード、開放状態のインピーダンス(無限大)、および、短絡状態のインピーダンス(ゼロ)にそれぞれ近いインピーダンスを有するダミーロードが用いられる。次に、高周波測定装置300によって測定された各標準器のインピーダンスと各標準器のインピーダンスの真値とから、電圧 v および電流 i を校正するための校正パラメータを算出して、高周波測定装置300のメモリ(図示せず)に記録する。実際の測定では、検出された電圧 v および電流 i を、メモリに記録されている校正パラメータで校正してから、各種高周波パラメータを算出する。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開2007-163308号公報

【特許文献2】特開2004-309132号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

40

しかしながら、上記の校正パラメータはインピーダンスの極めて広い範囲で校正を行うことができるように求められたものなので、当該校正パラメータによる校正の精度は十分高いものではない。また、上記校正では、高周波測定装置300を各標準器に直接接続してインピーダンスを測定し、この測定インピーダンスに基づいて校正パラメータを算出している。つまり、当該校正パラメータは、高周波測定装置300の出力端での各種高周波パラメータを校正するものである。したがって、当該校正がされて測定された電圧実効値 V および電流実効値 I は高周波測定装置300の出力端での電圧実効値および電流実効値であり、測定されたインピーダンス Z は高周波測定装置300の出力端から負荷側をみたインピーダンスである。しかし、プラズマ処理装置400の監視のためには、プラズマ処理装置400のチャンバー内における各種高周波パラメータを測定する必要がある。

50

【0013】

高周波測定装置300とプラズマ処理装置400とが直接接続されている場合、高周波測定装置300の出力端での電圧実効値、電流実効値、およびインピーダンスがプラズマ処理装置400のチャンバー内における電圧実効値、電流実効値、およびインピーダンスに相当すると考えることもできるが、高周波測定装置300とプラズマ処理装置400とが離れて設置される場合、高周波測定装置300とプラズマ処理装置400との間の伝送線路（例えば、同軸ケーブルなど）の寄生容量の影響が大きいので、高周波測定装置300の測定値ではプラズマ処理装置400を監視することができない。

【0014】

例えば、高周波測定装置300の測定値を、Eチャックコントローラなどに用いる場合がある。Eチャックコントローラは、プラズマ処理装置400のチャンバー内でウエハを固定するための静電チャックの強さを、測定された電圧実効値および電流実効値に基づいて制御する。したがって、チャンバー内の電圧実効値および電流実効値を高い精度で測定する必要がある。しかしながら、高周波測定装置300とプラズマ処理装置400とが離れて設置される場合、高周波測定装置300によって測定された電圧実効値および電流実効値に基づいて静電チャックの強さを制御することは困難である。さらに、プラズマの電子密度は電極電圧、電流と密接な関係があるため、プラズマパラメータを推定する場合でも、高度な電圧、電流実効値の測定は必要となっている。

【0015】

本発明は上記した事情のもとで考え出されたものであって、プラズマ処理装置から離れた位置に設置された場合でも、プラズマ処理装置のチャンバー内の各種高周波パラメータを精度よく測定することができる高周波測定装置と、当該高周波測定装置を校正する方法を提供することをその目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記課題を解決するため、本発明では、次の技術的手段を講じている。

【0017】

本発明の第1の側面によって提供される校正方法は、チャンバー内でプラズマを発生させるプラズマ処理装置と当該プラズマ処理装置に高周波電力を供給する高周波電源装置との間に接続されて、当該接続点における高周波電圧および高周波電流を検出し、検出された電圧値と電流値とに基づいて、前記プラズマ処理装置のチャンバー内のインピーダンスを算出する高周波測定装置の前記電圧値と電流値の校正方法であって、第1の3つの基準負荷に前記高周波測定装置を接続した時に算出されたインピーダンスと前記第1の3つの基準負荷のインピーダンスとに基づいて、前記電圧値と電流値とを校正するための第1のパラメータを算出して、前記高周波測定装置に設定する第1の工程と、前記検出された電圧値と電流値とをそれぞれ前記チャンバー内の電圧値と電流値とに変換するための第2のパラメータを算出して、前記高周波測定装置に設定する第2の工程と、前記高周波測定装置を測定対象のプラズマ処理装置に接続してプラズマ処理を行い、検出された電圧値と電流値とを前記第1のパラメータおよび第2のパラメータを用いて校正し、当該校正後の電圧値と電流値とに基づいて、前記チャンバー内のインピーダンスを算出する第3の工程と、スミスチャート上で表示した場合に、前記第3の工程で算出されたインピーダンスを含み、かつ、前記第1の3つの基準負荷のインピーダンスによって囲まれる範囲より狭い範囲を囲むことになる3つのインピーダンスを決定する第4の工程と、前記3つのインピーダンスをそれぞれ有する第2の3つの基準負荷をそれぞれ前記測定対象のプラズマ処理装置のチャンバー内に配置したときに当該プラズマ処理装置に接続された前記高周波測定装置が測定したインピーダンスと前記第2の3つの基準負荷のインピーダンスとに基づいて、前記第1のパラメータおよび第2のパラメータを用いて校正された電圧値と電流値とをさらに校正するための第3のパラメータを算出して、前記高周波測定装置に設定する第5の工程と、前記高周波測定装置を前記測定対象のプラズマ処理装置に接続して、検出された電圧値と電流値とを前記第1のパラメータ、第2のパラメータ、および第3のパラメー

10

20

30

40

50

タを用いて校正する第6の工程とを備えている。

【0018】

なお、「検出された電圧値と電流値」は、例えば、デジタル変換された電圧値と電流値や、電圧実効値と電流実効値、電圧最大値と電流最大値などである。

【0019】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記第2のパラメータは、前記接続点と前記プラズマ処理装置のチャンバー内との間で測定されたSパラメータから算出される。

【0020】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記第1の3つの基準負荷の内の1つの基準負荷は前記高周波測定装置の特性インピーダンスと同一のインピーダンスを有する負荷である。

10

【0021】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記プラズマ処理装置は一対の対向する平板電極を有している。

【0022】

本発明の第2の側面によって提供される高周波測定装置は、チャンバー内でプラズマを発生させるプラズマ処理装置と当該プラズマ処理装置に高周波電力を供給する高周波電源装置との間に接続されて、当該接続点における高周波電圧および高周波電流を検出する高周波測定装置であって、前記接続点における高周波電圧を検出する電圧検出手段と、前記接続点における高周波電流を検出する電流検出手段と、前記電圧検出手段によって検出された電圧値と前記電流検出手段によって検出された電流値とを校正する校正手段と、前記校正手段によって校正された前記電圧値と電流値とに基づいて、前記プラズマ処理装置のチャンバー内のインピーダンスを算出するインピーダンス算出手段とを備えており、前記校正手段は、第1の3つの基準負荷に前記高周波測定装置を接続した時の前記インピーダンス算出手段によって算出されたインピーダンスと前記第1の3つの基準負荷のインピーダンスとに基づいて算出された第1のパラメータを用いて、前記検出された電圧値と電流値とを校正する第1校正手段と、前記検出された電圧値と電流値とをそれぞれ前記チャンバー内の電圧値と電流値とに変換するための第2のパラメータを用いて、前記第1校正手段によって校正された電圧値と電流値とを校正する第2校正手段と、スミスチャート上で表示した場合に前記第1の3つの基準負荷のインピーダンスによって囲まれる範囲より狭い範囲を囲むことになる第2の3つの基準負荷をそれぞれ前記測定対象のプラズマ処理装置のチャンバー内に配置したときに当該プラズマ処理装置に接続された前記高周波測定装置が測定したインピーダンスと前記第2の3つの基準負荷のインピーダンスとに基づいて算出された第3のパラメータを用いて、前記第1校正手段および第2校正手段によって校正された前記電圧値と電流値とをさらに校正する第3校正手段とを備えている。

20

【0023】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記第2のパラメータは、前記接続点と前記プラズマ処理装置のチャンバー内との間で測定されたSパラメータから算出される。

【0024】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記第1の3つの基準負荷の内の1つの基準負荷は前記高周波測定装置の特性インピーダンスと同一のインピーダンスを有する負荷である。

30

【0025】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記プラズマ処理装置は一対の対向する平板電極を有している。

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、校正された電圧値と電流値とに基づいて、プラズマ処理装置のチャンバー内のインピーダンスが算出される。まず、第1の3つの基準負荷に基づいて算出された第1のパラメータと、検出された電圧値と電流値とをそれぞれチャンバー内の電圧値と

40

50

電流値とに変換するための第2のパラメータとによって、測定対象のプラズマ処理装置を接続して検出した電圧値と電流値とが校正され、インピーダンスが算出される。次に、当該算出されたインピーダンスに基づいて、より狭い範囲の3つのインピーダンスが決定される。当該3つのインピーダンスをそれぞれ有する第2の3つの基準負荷に基づいて算出された第3のパラメータと、第1のパラメータおよび第2のパラメータとによって、検出された電圧値と電流値とが校正される。

【0027】

第3のパラメータは第1のパラメータより狭いインピーダンスの範囲でのみ校正を行うために求められたものなので、インピーダンスが当該範囲に入っている場合は、第3のパラメータによる校正の精度は十分高いものになる。したがって、検出された電圧値と電流値とを高い精度で校正することができる。また、第2のパラメータは検出された電圧値と電流値とをそれぞれチャンバー内の電圧値と電流値とに変換するものなので、チャンバー内の電圧値と電流値とを検出することができる。したがって、高周波測定装置がプラズマ処理装置から離れた位置に設置された場合でも、プラズマ処理装置のチャンバー内の各種高周波パラメータを精度よく測定することができる。

【0028】

本発明のその他の特徴および利点は、添付図面を参照して以下に行う詳細な説明によって、より明らかとなろう。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本発明に係る校正方法の考え方を説明するための図である。

【図2】第1実施形態に係る高周波測定装置を用いたプラズマ処理システムの構成を説明するためのブロック図である。

【図3】第1実施形態に係る高周波測定装置の内部構成を説明するためのブロック図である。

【図4】校正パラメータを説明するための図である。

【図5】第1の校正パラメータの各要素を算出するために行う、基準負荷のインピーダンスの測定方法を説明するための図である。

【図6】第2の校正パラメータを算出するために行う、Sパラメータの測定方法を説明するための図である。

【図7】Sパラメータと入力側および出力側の入射波および反射波の関係を示す図である。

【図8】第3の校正パラメータの各要素を算出するために行う、基準負荷のインピーダンスの測定方法を説明するための図である。

【図9】基準負荷の一例を示す回路図である。

【図10】第1実施形態に係る高周波測定装置の校正方法の手順を説明するためのフローチャートである。

【図11】一般的なプラズマ処理システムの構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下、本発明の実施の形態を、プラズマ処理装置の監視に用いられる高周波測定装置の場合を例として、添付図面を参照して具体的に説明する。

【0031】

図1は、本発明に係る校正方法の考え方を説明するための図であり、スミスチャート上での各インピーダンスの位置を示すための図である。

【0032】

同図(a)の点A, B, Cはそれぞれ、特性インピーダンスである50Ω、開放状態のインピーダンス(無限大)に近いインピーダンス、短絡状態のインピーダンス(ゼロ)に近いインピーダンスの位置を示している。点A, B, Cのインピーダンスを基準として算出された校正パラメータは、点A, B, Cで囲まれた範囲D、すなわち、スミスチャート

10

20

30

40

50

上のほぼ全てのインピーダンスの範囲で校正を行うことができる。しかし、高周波測定装置が実際に測定を行うプラズマ処理装置（以下、「測定対象装置」とする。）のチャンバー内のインピーダンスがそこまで広いインピーダンスの範囲で変化することはないので、ほぼ全てのインピーダンスの範囲で校正を行う必要はない。つまり、広いインピーダンスの範囲で精度の低い校正を行うより、狭いインピーダンスの範囲で精度の高い校正を行うことが期待される。

【0033】

例えば、測定対象装置のチャンバー内のインピーダンスが同図（b）の範囲Eの中でのみ変化する場合、範囲E以外のインピーダンスでの校正を考える必要はない。この場合、範囲Eを囲む点A'，B'，C'のインピーダンスを基準として校正パラメータを算出し当該校正パラメータで校正を行えば、点A，B，Cのインピーダンスを基準として算出した校正パラメータで校正を行う場合より、精度の高い校正を行うことができる。しかし、測定対象装置のチャンバー内のインピーダンスが点A'，B'，C'で囲まれた範囲外にある場合、点A，B，Cのインピーダンスを基準として算出した校正パラメータで校正を行うより、校正の精度は低くなる。したがって、測定対象装置のチャンバー内のインピーダンスの変化範囲を含むように点A'，B'，C'を決定する必要がある。

10

【0034】

点A'，B'，C'を決定するためには、実際にプラズマ処理を行っている測定対象装置のチャンバー内のインピーダンスを測定する必要がある。当該インピーダンスの測定においてはインピーダンスの変化範囲がわからないので、インピーダンスのできるだけ広い範囲で校正ができる校正パラメータを用いる必要がある。したがって、点A，B，Cのインピーダンスを基準として算出された校正パラメータを用いればよい。しかし、当該校正は高周波測定装置が接続されている接続点における検出値を校正するものであり、校正後の検出値から算出されるインピーダンスは当該接続点から負荷側をみたインピーダンスである。したがって、高周波測定装置と測定対象装置との距離が離れている場合、高周波測定装置は、高周波測定装置と測定対象装置の間の伝送線路の寄生容量が加わったインピーダンスを測定する。例えば、測定対象装置のチャンバー内のインピーダンスが同図（c）の点Fのインピーダンスであっても、伝送線路の寄生容量が加わることにより、同図（c）の点F'のインピーダンスが測定される。したがって、本発明では、この寄生容量によるインピーダンスの変化分を打ち消すような校正を行っている。

20

【0035】

本発明は、低精度だが広いインピーダンスの範囲で校正可能な校正パラメータで校正を行い、伝送線路の寄生容量を打ち消すための校正を行って測定対象装置のチャンバー内のインピーダンスの変化範囲を確認し、当該変化範囲でのみ高精度に校正可能な校正パラメータで校正を行うという、多段階の校正を行うものである。

30

【0036】

まず、測定対象装置のインピーダンスの変化範囲を確認するために、精度は低いが広いインピーダンスの範囲で校正を行うことができる第1の校正パラメータを算出して設定する。第1の校正パラメータの算出方法は後述する。次に、伝送線路の寄生容量を打ち消す校正を行うための第2の校正パラメータを算出して設定する。第2の校正パラメータの算出方法は後述する。高周波測定装置を測定対象装置に接続して、プラズマ処理中のインピーダンスを測定する。このインピーダンス測定値は、第1の校正パラメータおよび第2の校正パラメータで校正された電流値と電圧値とに基づいて算出されたものである。したがって精度は低いが、プラズマ処理中のチャンバー内のインピーダンスの範囲を確認することはできる。次に、確認されたインピーダンスの範囲を含む狭いインピーダンスの範囲でのみ精度の高い校正を行うことができる第3の校正パラメータを算出して設定する。第3の校正パラメータの算出方法は後述する。検出した電流値と電圧値を、第1の校正パラメータ、第2の校正パラメータ、および第3の校正パラメータで校正することにより、精度の高い校正を行うことができる。

40

【0037】

50

図2は、第1実施形態に係る高周波測定装置を用いたプラズマ処理システムの構成を説明するためのブロック図である。

【0038】

プラズマ処理システムAは、半導体ウェハや液晶基板などの被加工物に対して高周波電力を供給して、例えばプラズマエッチングといった加工処理を行うものである。同図に示すようにプラズマ処理システムAは、高周波電源装置1、インピーダンス整合装置2、高周波測定装置3、およびプラズマ処理装置4を備えている。高周波電源装置1には、例えば同軸ケーブルからなる伝送線路を介してインピーダンス整合装置2が接続され、インピーダンス整合装置2には、例えば同軸ケーブルからなる伝送線路5を介してプラズマ処理装置4が接続されている。高周波測定装置3は、伝送線路5上のプラズマ処理装置4から離れた位置に設置されている。なお、プラズマ処理システムAは、特性インピーダンスが50Ω系として構成されている。

10

【0039】

高周波電源装置1は、高周波電力を供給するものであって、例えば数百kHz以上の周波数を有する高周波電力を出力することができる電源装置である。

【0040】

インピーダンス整合装置2は、高周波電源装置1とプラズマ処理装置4とのインピーダンスを整合させるものである。インピーダンス整合装置2は、図示しない可変リアクタンス素子（例えば、可変キャパシタ、可変インダクタ等）を備えており、可変リアクタンス素子のリアクタンスを変化させることでインピーダンスを変化させる。インピーダンス整合装置2は、インピーダンス整合装置2の入力端aから負荷側を見たインピーダンスが特性インピーダンスとなるように、インピーダンス整合装置2の出力端bから負荷側を見たインピーダンスを変換する。

20

【0041】

なお、インピーダンス整合装置2内部の電源側には、図示しない高周波測定装置が設けられている。当該高周波測定装置はインピーダンス整合装置2の入力端aから負荷側を見たインピーダンスを測定するものであり、インピーダンス整合装置2は測定されたインピーダンスが特性インピーダンスになるように、可変リアクタンス素子のリアクタンスを変化させる。

【0042】

30

プラズマ処理装置4は、半導体ウェハや液晶基板等の被加工物をエッチングやCVD等の方法を用いて加工するための装置である。なお、プラズマ処理装置4は、CCP(Capacitively Coupled Plasma)型のプラズマ処理装置であり、プラズマを発生させるための窒素ガスやアルゴンガスなどの所定のガスを封入するための容器（チャンバー）（図示せず）と、高周波電源装置1からの高周波電力をチャンバー内のガスに供給するための一対の対向する平板電極41a, 41bを備えている。平板電極41aは伝送線路5に接続されており、平板電極41bはグランド接続されている。プラズマ処理装置4は、高周波電源装置1から供給される高周波電力によって、平板電極41aと平板電極41bとの間にプラズマを発生させ、チャンバー内に配置された被加工物の加工処理を行う。

【0043】

40

高周波測定装置3は、プラズマ処理中のプラズマ処理装置4の状態を監視するために、プラズマ処理装置4のチャンバー内のインピーダンス、反射係数、高周波電圧、高周波電流、進行波電力および反射波電力などの高周波パラメータを測定する、いわゆるRFセンサである。

【0044】

図3は、高周波測定装置3の内部構成を説明するためのブロック図である。

【0045】

同図に示すように、高周波測定装置3は、カレントトランス部31、電流用変換回路32、コンデンサ部33、電圧用変換回路34、実効値算出回路35, 36、位相差検出回路37、校正回路38、およびインピーダンス算出回路39を備えている。

50

【0046】

カレントトランス部31は、伝送線路5に流れる高周波電流に応じた電流を検出するものであり、検出した電流を電流用変換回路32に出力する。電流用変換回路32は、入力された電流をデジタル信号である電流信号iに変換して、実効値算出回路35および位相差検出回路37に出力する。コンデンサ部33は、伝送線路5に生じる高周波電圧に応じた電圧を検出するものであり、検出した電圧を電圧用変換回路34に出力する。電圧用変換回路34は、入力された電圧をデジタル信号である電圧信号vに変換して、実効値算出回路36および位相差検出回路37に出力する。

【0047】

実効値算出回路35は、電流実効値を算出するものである。実効値算出回路35は、電流用変換回路32より入力される電流信号iから電流実効値Iを算出して、校正回路38に出力する。実効値算出回路36は、電圧実効値を算出するものである。実効値算出回路36は、電圧用変換回路34より入力される電圧信号vから電圧実効値Vを算出して、校正回路38に出力する。位相差検出回路37は、電流と電圧の位相差を検出するものである。位相差検出回路37は、電流用変換回路32より入力される電流信号iと電圧用変換回路34より入力される電圧信号vとから位相差を算出して、校正回路38に出力する。

【0048】

校正回路38は、電流実効値I、電圧実効値V、および位相差の校正を行うものである。校正回路38は、実効値算出回路35より入力される電流実効値I、実効値算出回路36より入力される電圧実効値V、および位相差検出回路37より入力される位相差を校正して、校正後の電流実効値I'、電圧実効値V'、および位相差'をインピーダンス算出回路39に出力する。

【0049】

校正回路38は、ベクトル変換部381、第1校正部382、第2校正部383、第3校正部384、およびベクトル逆変換部385を備えており、ベクトルである電流および電圧に対して3段階で校正を行う。ベクトル変換部381は、入力される電流実効値I、電圧実効値V、および位相差から、ベクトルである電流信号I₀および電圧信号V₀を算出して第1校正部382に出力する。電流信号I₀および電圧信号V₀は、電流信号I₀の位相を基準（実数軸、虚数部0）として、 $I_0 = I + j 0$ 、 $V_0 = V \cos + j V \sin$ で算出される。

第1校正部382は、図示しないメモリに記録されている第1の校正パラメータXを用いて、ベクトル変換部381から入力される電流信号I₀および電圧信号V₀に第1段階の校正を行い、校正後の電流信号I₁および電圧信号V₁を第2校正部383に出力する。第2校正部383は、メモリに記録されている第2の校正パラメータX'を用いて、第1校正部382から入力される電流信号I₁および電圧信号V₁に第2段階の校正を行い、校正後の電流信号I₂および電圧信号V₂を第3校正部384に出力する。第3校正部384は、メモリに記録されている第3の校正パラメータX''を用いて、第2校正部383から入力される電流信号I₂および電圧信号V₂に第3段階の校正を行い、校正後の電流信号I₃および電圧信号V₃をベクトル逆変換部385に出力する。ベクトル逆変換部385は、第3校正部384から入力される校正後の電流信号I₃および電圧信号V₃から、校正後の電流実効値I'、電圧実効値V'、および位相差'を算出して出力する。

【0050】

第1の校正パラメータXおよび第3の校正パラメータX''は、それぞれ3つの基準負荷に基づいて算出されて、メモリに記録されている。以下に、第1の校正パラメータXを算出する方法について説明する。

【0051】

ベクトル変換部381から出力される電流信号I₀および電圧信号V₀と、伝送線路5に流れる高周波電流および伝送線路5に生じる高周波電圧との関係を2端子対回路に置き換えると、電流信号I₀および電圧信号V₀を電流信号I₁および電圧信号V₁に校正する第1

10

20

30

40

50

の校正パラメータ X を、図 4 (a) に示す 2 次元のベクトル行列と考えることができる。

【 0 0 5 2 】

高周波測定装置 3 を 3 つの基準負荷に接続して、それぞれ高周波測定装置 3 でインピーダンスを測定し、これらのインピーダンス測定値と 3 つの基準負荷のインピーダンスの真値とから第 1 の校正パラメータ X の各要素 X_{11} 、 X_{12} 、 X_{21} 、 X_{22} を算出することができる。なお、当該算出を行うためには、基準となる電圧値と電流値の絶対値が必要となる。電圧値と電流値の絶対値を基準値として利用するには、精度の高い電力測定値が必要となる。精度の高い電力測定値を測定するには、反射電力が 0 となる負荷を接続して測定するのが最もよい。したがって、本実施形態では、反射電力 0 を実現するために、特性インピーダンスと同一のインピーダンス (すなわち、50) を有する負荷を基準負荷の 1 つに選定している。なお、上述したように、基準負荷の 1 つを特性インピーダンスを有する負荷としているのは精度の高い電力測定値を測定するためであるので、電力測定値を高い精度で測定できるのであれば、特性インピーダンス以外の負荷を用いるようにしてもよい。

【 0 0 5 3 】

実際に基準負荷に高周波測定装置 3 を接続して基準負荷のインピーダンスを測定した場合、高周波測定装置 3 は基準負荷の入力端でのインピーダンスを測定することができず、測定されたインピーダンスには高周波測定装置 3 自体のインピーダンスも含まれることになる。したがって、基準負荷のみのインピーダンスを真値として第 1 の校正パラメータ X を算出することはできない。本実施形態では、接続された負荷に高周波測定装置 3 を含めた全体を基準負荷とみなして、当該基準負荷のインピーダンスをインピーダンスアナライザで測定し、当該測定値を基準負荷の真値として第 1 の校正パラメータ X を算出する。

【 0 0 5 4 】

なお、基準負荷のうちの 2 つは、できるだけ広いインピーダンスの範囲を含めるために、開放状態のインピーダンスおよび短絡状態のインピーダンスにそれぞれ近いインピーダンスを有する負荷とすることが望ましい。一方、基準負荷として開放状態または短絡状態に近すぎるインピーダンスを有する負荷を用いた場合、高周波測定装置 3 によって検出される電圧値または電流値の一方が他方に比べ極めて小さい値になる。この場合、第 1 の校正パラメータ X の各要素 X_{11} 、 X_{12} 、 X_{21} 、 X_{22} を適切に算出することができない。したがって、本実施形態では、反射係数の大きさが例えば 0 . 9 以下である負荷を基準負荷としている。

【 0 0 5 5 】

図 5 は、第 1 の校正パラメータ X の各要素 X_{11} 、 X_{12} 、 X_{21} 、 X_{22} を算出するために行う、基準負荷のインピーダンスの測定方法を説明するための図である。

【 0 0 5 6 】

当該測定は、同図に示すように、高周波測定装置 3 の出力端 c にダミーロード 6 を接続し、高周波測定装置 3 の入力端 b にインピーダンスアナライザ 7 を接続して行われる。

【 0 0 5 7 】

ダミーロード 6 は、所定の基準負荷を再現するための負荷装置であり、高周波測定装置 3 の入力端 b から負荷側を見たインピーダンス、すなわちダミーロード 6 および高周波測定装置 3 全体のインピーダンスを所定の基準負荷のインピーダンスにする。ダミーロード 6 は、図示しない可変リアクタンス素子 (例えば、可変キャパシタ、可変インダクタ等) のリアクタンスを変化させることでインピーダンスを変化させる。ダミーロード 6 は、特性インピーダンス (50) を有する基準負荷と、開放状態のインピーダンスおよび短絡状態のインピーダンスにそれぞれ近く反射係数が 0 . 9 以下である 2 つの基準負荷とを、所定の基準負荷として再現できるようにあらかじめ設定されている。なお、ダミーロード 6 を接続して設定を切り替えることで 3 つの所定の基準負荷を再現する代わりに、所定の基準負荷を再現するための 3 つの負荷を順に接続するようにしてもよい。

【 0 0 5 8 】

インピーダンスアナライザ 7 は、インピーダンスを測定するものであり、高周波測定装置 3 の入力端 b から負荷側を見たインピーダンス、すなわち基準負荷のインピーダンスを

10

20

30

40

50

測定する。

【0059】

第1の校正パラメータXの算出のための基準負荷のインピーダンスの測定は、各基準負荷を再現してインピーダンスアナライザ7と高周波測定装置3とでそれぞれインピーダンスを測定することで行われる。なお、高周波測定装置3が測定するインピーダンスの真値を得る方法があれば、インピーダンスアナライザ7を用いなくてもよい。

【0060】

高周波測定装置3によって測定される3つの基準負荷のインピーダンス測定値と、当該3つの基準負荷のインピーダンスの真値とから、第1の校正パラメータXの各要素 X_{11} 、 X_{12} 、 X_{21} 、 X_{22} を算出することができる。算出された第1の校正パラメータXを用いて、図4(a)より、電流信号 I_0 および電圧信号 V_0 を校正後の電流信号 I_1 および電圧信号 V_1 に変換することができる。すなわち、図4(a)より導かれる下記(6)、(7)式より、校正後の電流信号 I_1 および電圧信号 V_1 を算出することができる。

【0061】

【数2】

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ -I_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} V_0 &= X_{11} \cdot I_0 - X_{12} \cdot I_1 \\ V_1 &= X_{21} \cdot I_0 - X_{22} \cdot I_1 \end{aligned}$$

$$I_1 = \frac{X_{11}}{X_{12}} \cdot I_0 - \frac{1}{X_{12}} \cdot V_0 \quad (6)$$

$$V_1 = \frac{(X_{12} \cdot X_{21} - X_{11} \cdot X_{22})}{X_{12}} \cdot I_0 + \frac{X_{22}}{X_{12}} \cdot V_0 \quad (7)$$

【0062】

第2の校正パラメータ X' は、高周波測定装置3が接続された接続点における高周波電流と高周波電圧とを、プラズマ処理装置4のチャンバー内における高周波電流と高周波電圧に変換するものである。つまり、第2の校正パラメータ X' は、高周波電流と高周波電圧の検出点を、高周波測定装置3が接続された接続点からプラズマ処理装置4のチャンバー内に変換するものと考えることができる。第2の校正パラメータ X' は、高周波測定装置3の入力端b(高周波測定装置3が接続された接続点に相当する)とプラズマ処理装置4のチャンバー内の電力供給側の平板電極41aとの間のSパラメータから算出されて、メモリに記録されている。以下に、第2の校正パラメータ X' を算出する方法について説明する。

【0063】

図6は、第2の校正パラメータ X' を算出するために行う、高周波測定装置3の入力端bとプラズマ処理装置4のチャンバー内の電力供給側の平板電極41aとの間のSパラメータの測定方法を説明するための図である。

【0064】

当該Sパラメータは、同図に示すように、高周波測定装置3の出力端cにプラズマ処理装置4を接続して、ネットワークアナライザ8で測定される。高周波測定装置3は、実際に使用されるプラズマ処理システムA(図2参照)と同様となるように、プラズマ処理装置4に接続される。ネットワークアナライザ8の入力側のコネクタ(図示せず)は高周波測定装置3の入力端bに接続され、出力側のコネクタ(図示せず)はアダプタ42に接続されている。アダプタ42は、プラズマ処理装置4のチャンバー内の平板電極41aおよび41bの間に配置される。ただし、アダプタ42の材質は高周波からみてオープンとな

10

20

30

40

50

るようなインピーダンス特性をもつものを選定するのが望ましい。

【0065】

ネットワークアナライザ8は、線形回路網の各種パラメータを測定する測定装置であり、高周波測定装置3の入力端bとプラズマ処理装置4のチャンバー内の電力供給側の平板電極41aとの間の回路網のSパラメータを測定する。アダプタ42は、ネットワークアナライザ8の出力側のコネクタをプラズマ処理装置4の平板電極41aに接続するためのものである。なお、アダプタ42は、ネットワークアナライザ8による測定値に与える影響が可及的に小さなるようにして、ネットワークアナライザ8の出力側のコネクタをプラズマ処理装置4の平板電極41aに接続できるような構成であればよく、その形状、大きさ、構成などは限定されない。

10

【0066】

図7は、Sパラメータと入力側の入射波a1、反射波b1および出力側の入射波a2、反射波b2の関係を示している。なお、INが入力側であり、OUTが出力側である。

【0067】

図7に示す関係を行列式で表すと下記(8)式となる。これを展開すると下記(9)式となり、下記(10)式のように、a2およびb2をa1およびb1の式で表すことができる。

【0068】

【数3】

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

20

$$b_1 = S_{11} \cdot a_1 + S_{12} \cdot a_2$$

$$b_2 = S_{21} \cdot a_1 + S_{22} \cdot a_2 \quad (9)$$

$$a_2 = \frac{b_1 - S_{11} \cdot a_1}{S_{12}}$$

$$b_2 = \frac{S_{22} \cdot b_1 - (S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21}) \cdot a_1}{S_{12}} \quad (10)$$

30

【0069】

一方、入力側の電流信号I1および電圧信号V1と、入力側の入射波a1および反射波b1とは、下記(11)式の関係がある。なお、図7に示す測定系の特性インピーダンスは50Ωである。下記(11)式より、下記(12)式のように、a1およびb1をI1およびV1の式で表すことができる。

【0070】

【数4】

40

$$I_1 = \frac{a_1 - b_1}{\sqrt{50}}$$

$$V_1 = \sqrt{50} \cdot (a_1 + b_1) \quad (11)$$

$$a_1 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_1}{\sqrt{50}} + \sqrt{50} \cdot I_1 \right)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_1}{\sqrt{50}} - \sqrt{50} \cdot I_1 \right) \quad (12)$$

50

【0071】

上記(12)式と(10)式より、下記(13)式のように、 a_2 および b_2 を I_1 および V_1 の式で表すことができる。

【0072】

【数5】

$$a_2 = \frac{\frac{1}{\sqrt{50}}(1 - S_{11})V_1 - \sqrt{50}(1 + S_{11})I_1}{2 \cdot S_{12}} \quad (13)$$

$$b_2 = \frac{\frac{1}{\sqrt{50}}\{S_{12}S_{21} + S_{22}(1 - S_{11})\}V_1 + \sqrt{50}\{S_{12}S_{21} - S_{22}(1 + S_{11})\}I_1}{2 \cdot S_{12}} \quad (13)$$

【0073】

また、出力側の電流信号 I_2 および電圧信号 V_2 と、出力側の入射波 a_2 および反射波 b_2 とは、下記(14)式の関係がある。下記(14)式と(13)式より、下記(15)式のように、 I_2 および V_2 を I_1 および V_1 の式で表すことができる。下記(15)式は、入力側の電流信号 I_1 および電圧信号 V_1 から出力側の電流信号 I_2 および電圧信号 V_2 を算出するものである。したがって、下記(15)式より、電流信号 I_1 および電圧信号 V_1 から校正後の電流信号 I_2 および電圧信号 V_2 を算出することができる。

【0074】

【数6】

$$I_2 = \frac{b_2 - a_2}{\sqrt{50}}$$

$$V_2 = \sqrt{50} \cdot (b_2 + a_2) \quad (14)$$

$$I_2 = \frac{\frac{1}{50}\{S_{12}S_{21} - (1 - S_{11})(1 - S_{22})\}V_1 + \{S_{12}S_{21} + (1 + S_{11})(1 - S_{22})\}I_1}{2 \cdot S_{12}} \quad (15)$$

$$V_2 = \frac{\{S_{12}S_{21} + (1 - S_{11})(1 + S_{22})\}V_1 + 50\{S_{12}S_{21} - (1 + S_{11})(1 + S_{22})\}I_1}{2 \cdot S_{12}} \quad (15)$$

【0075】

第3の校正パラメータ X'' を算出する方法は、上記第1の校正パラメータ X を算出する方法と同様である。上記と同様に、第2校正部383から出力される電流信号 I_2 および電圧信号 V_2 と、プラズマ処理装置4のチャンバー内の平板電極41aに流れる高周波電流およびプラズマ処理装置4のチャンバー内の平板電極41aに生じる高周波電圧との関係を2端子対回路に置き換えると、電流信号 I_2 および電圧信号 V_2 を電流信号 I_3 および電圧信号 V_3 に校正する第3の校正パラメータ X'' を、図4(b)に示す右側の2次元のベクトル行列と考えることができる。なお、図4(b)全体としては、電流信号 I_0 および電圧信号 V_0 を2次元のベクトル行列である第1の校正パラメータ X 、第2の校正パラメータ X' 、および第3の校正パラメータ X'' によって変換して校正後の電流信号 I_3 および電圧信号 V_3 を出力する校正回路38を示している。

【0076】

第3の校正パラメータ X'' の各要素 X''_{11} 、 X''_{12} 、 X''_{21} 、 X''_{22} も、上記と同様に、3つの基準負荷を再現したときにそれぞれ高周波測定装置3によって測定される基準負荷のインピーダンス測定値と、当該3つの基準負荷のインピーダンスの真値とから算出される。

【0077】

10

20

30

40

50

なお、3つの基準負荷の内の1つは、上記と同様に特性インピーダンス(50)を有する負荷とする必要があるが、残り2つの基準負荷は、プラズマ処理装置4のプラズマ処理中のインピーダンスの変化範囲に基づいて決定される。すなわち、当該インピーダンスの変化範囲を含む狭いインピーダンスの範囲Eを特性インピーダンスを示す点A'との間で囲むように点B'、C'が決定され(図1(b)参照)、点B'、C'が示すインピーダンスを有する負荷が基準負荷に決定される。

【0078】

ただし、電流信号 I_2 および電圧信号 V_2 は、高周波測定装置3を実際に使用されるプラズマ処理システムA(図2参照)に配置したときのプラズマ処理装置4のチャンバー内の平板電極41aにおける電流信号および電圧信号を表している。したがって、3つの基準負荷は、プラズマ処理システムAのプラズマ処理装置4のチャンバー内の平板電極41aにおいて再現する必要がある。

10

【0079】

図8は、第3の校正パラメータ X'' の各要素 X''_{11} 、 X''_{12} 、 X''_{21} 、 X''_{22} を算出するために行う、基準負荷のインピーダンスの測定方法を説明するための図である。

【0080】

当該測定は、同図に示すように、高周波測定装置3を実際に使用されるプラズマ処理システムA(図2参照)に配置し、プラズマ処理装置4のチャンバー内の平板電極41aと平板電極41bとの間に3つの基準負荷43a、43b、43cを順に配置して行なわれる。各基準負荷43a、43b、43cは、例えば図9のよう、抵抗、キャパシタ、インダクタを組み合わせて作成されており、それぞれ、点A'、B'、C'が示すインピーダンスを有する負荷である。なお、図9は一例であって、各基準負荷43a、43b、43cの構成は限定されない。なお、3つの基準負荷43a、43b、43cを順に配置する代わりに、1つの可変負荷で切り替えによって3つの基準負荷を再現するようにしてもよい。

20

【0081】

第3の校正パラメータ X'' の算出のための基準負荷のインピーダンスの測定は、各基準負荷43a、43b、43cをプラズマ処理装置4の平板電極41aと平板電極41bとの間にそれぞれ配置して、高周波測定装置3でそれぞれインピーダンスを測定することで行われる。なお、高周波測定装置3が測定するインピーダンスの真値は、各基準負荷43a、43b、43cのインピーダンスとする。

30

【0082】

高周波測定装置3によって測定される3つの基準負荷43a、43b、43cのインピーダンス測定値と、当該3つの基準負荷のインピーダンスの真値とから、第3の校正パラメータ X'' の各要素 X''_{11} 、 X''_{12} 、 X''_{21} 、 X''_{22} を算出することができる。算出された第3の校正パラメータ X'' を用いて、図4(b)より電流信号 I_2 および電圧信号 V_2 を校正後の電流信号 I_3 および電圧信号 V_3 に変換することができる。すなわち、図4(b)より導かれる下記(16)、(17)式より、校正後の電流信号 I_3 および電圧信号 V_3 を算出することができる。

【0083】

40

【数7】

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X''_{11} & X''_{12} \\ X''_{21} & X''_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ -I_3 \end{bmatrix}$$

$$V_2 = X''_{11} \cdot I_2 - X''_{12} \cdot I_3$$

$$V_3 = X''_{21} \cdot I_2 - X''_{22} \cdot I_3$$

$$I_3 = \frac{X''_{11}}{X''_{12}} \cdot I_2 - \frac{1}{X''_{12}} \cdot V_2 \quad (16)$$

$$V_3 = \frac{(X''_{12} \cdot X''_{21} - X''_{11} \cdot X''_{22})}{X''_{12}} \cdot I_2 + \frac{X''_{22}}{X''_{12}} \cdot V_2 \quad (17)$$

10

【0084】

インピーダンス算出回路39は、インピーダンスを算出するものである。インピーダンス算出回路39は、校正回路38より入力される校正後の電流実効値 I' 、電圧実効値 V' 、および位相差 ϕ' から、上記(1)~(3)式により、インピーダンス Z を算出して出力する。なお、高周波測定装置3は、進行波電力 P_f や反射波電力 P_r などの高周波パラメータも算出して出力するが、同図においてはこれらを算出する構成の記載を省略している。

20

【0085】

次に、高周波測定装置3の校正を行う手順について、図10に示すフローチャートを参照して説明する。

【0086】

図10は、高周波測定装置3の校正の手順を説明するためのフローチャートである。当該フローチャートは、高周波測定装置3でプラズマ処理装置4のチャンバー内のインピーダンスを測定する場合の、検出された電流信号 I_0 および電圧信号 V_0 の校正を行う処理手順を示している。

30

【0087】

まず、高周波測定装置3にダミーロード6とインピーダンスアナライザ7とを接続して(図5参照)、ダミーロード6によって第1の基準負荷の再現を行い、インピーダンスアナライザ7と高周波測定装置3とでそれぞれインピーダンスを測定する(S1)。なお、第1の基準負荷は3つ設定されているので、それぞれの第1の基準負荷を再現して、それぞれインピーダンスアナライザ7と高周波測定装置3とでインピーダンスを測定する。当該第1の基準負荷は、特性インピーダンス(50)を有する基準負荷と、開放状態のインピーダンスおよび短絡状態のインピーダンスにそれぞれ近く反射係数が0.9以下である2つの基準負荷としている。

【0088】

ステップS1でインピーダンスアナライザ7と高周波測定装置3によって測定された、3つの第1の基準負荷のそれぞれのインピーダンスから、第1の校正パラメータ X を算出して、高周波測定装置3の図示しないメモリに記録する(S2)。本実施形態では、高周波測定装置3の図示しない演算回路が、インピーダンス算出回路39で算出されるインピーダンスとインピーダンスアナライザ7から入力されるインピーダンスとをメモリに記録しておき、3つの第1の基準負荷を測定した後に第1の校正パラメータ X の各要素を算出してメモリに記録する。なお、第1の校正パラメータ X の算出は高周波測定装置3の演算回路が行う場合に限定されず、例えば、作業者が別途行うようにしてもよい。この場合、作業者が高周波測定装置3の図示しない入力手段で第1の校正パラメータ X を入力することで、メモリに記録すればよい。

40

【0089】

50

次に、高周波測定装置3を実際に使用されるプラズマ処理システムA(図2参照)と同様となるようにプラズマ処理装置4に接続して(図6参照)、ネットワークアライザ8で高周波測定装置3の入力端bとプラズマ処理装置4のチャンバー内の電力供給側の平板電極41aとの間のSパラメータを測定する(S3)。

【0090】

ステップS3でネットワークアライザ8によって測定されたSパラメータから第2の校正パラメータX'を算出して、高周波測定装置3の図示しないメモリに記録する(S4)。本実施形態では、高周波測定装置3の図示しない演算回路が、ネットワークアライザ8から入力されるSパラメータから第2の校正パラメータX'の各要素を算出してメモリに記録する。なお、第2の校正パラメータX'の算出は高周波測定装置3の演算回路が行う場合に限定されず、例えば、作業者が別途行うようにしてもよい。この場合、作業者が高周波測定装置3の図示しない入力手段で第2の校正パラメータX'を入力することで、メモリに記録すればよい。

10

【0091】

次に、高周波測定装置3を実際に使用されるプラズマ処理システムAに設置して(図2参照)、実際にプラズマ処理を行っているときのプラズマ処理装置4のチャンバー内のインピーダンスを測定する(S5)。このとき、高周波測定装置3は、電流信号 I_0 および電圧信号 V_0 をメモリに記録された第1の校正パラメータXおよび第2の校正パラメータX'で校正して、校正後の電流信号 I_2 および電圧信号 V_2 に基づいてインピーダンスZを算出する。したがって、高周波測定装置3によって測定されたインピーダンスZは、プラズマ処理装置4のチャンバー内のインピーダンスであり、精度は高くないがある程度信用できるものである。

20

【0092】

ステップS5で高周波測定装置3によって測定されたインピーダンスから、プラズマ処理を行っているときのプラズマ処理装置4のチャンバー内のインピーダンスの変化範囲を確認し、第2の基準負荷を決定する(S6)。第2の基準負荷のうちの1つは、特性インピーダンス(50)を有する基準負荷とされ、残り2つの基準負荷は、プラズマ処理中のチャンバー内のインピーダンスの変化範囲に基づいて決定される。本実施形態では、高周波測定装置3の図示しない演算回路が、インピーダンス算出回路39で算出されるインピーダンスZに基づいて、残り2つの基準負荷のインピーダンスを決定する。なお、残り2つの基準負荷のインピーダンスの決定は高周波測定装置3の演算回路が行う場合に限定されず、例えば、作業者がインピーダンスの測定値に基づいて別途行うようにしてもよい。

30

【0093】

次に、プラズマ処理システムAのプラズマ処理装置4に第2の基準負荷43a, 43b, 43cを順に配置して(図8参照)、高周波測定装置3でインピーダンスを測定する(S7)。なお、第2の基準負荷43a, 43b, 43cは3つ設定されているので、それぞれ高周波測定装置3でインピーダンスを測定する。

【0094】

ステップS7で高周波測定装置3によって測定された基準負荷43a, 43b, 43cのそれぞれのインピーダンスと、基準負荷43a, 43b, 43cのそれぞれのインピーダンスの真値とから、第3の校正パラメータX"を算出して、高周波測定装置3のメモリに記録する(S8)。本実施形態では、高周波測定装置3の演算回路が、インピーダンス算出回路39で算出されるインピーダンスをメモリに記録しておき、3つの第2の基準負荷を測定した後に第3の校正パラメータX"の各要素を算出してメモリに記録する。なお、第3の校正パラメータX"の算出は高周波測定装置3の演算回路が行う場合に限定されず、例えば、作業者が別途行うようにしてもよい。この場合、作業者が高周波測定装置3の図示しない入力手段で第3の校正パラメータX"を入力することで、メモリに記録すればよい。

40

【0095】

50

次に、実際にプラズマ処理を行っているときのプラズマ処理装置4のチャンバー内のインピーダンスを測定する(S9)。このとき、高周波測定装置3は、電流信号 I_0 および電圧信号 V_0 をメモリに記録された第1の校正パラメータ X 、第2の校正パラメータ X' 、および第3の校正パラメータ X'' で校正して、校正後の電流信号 I_3 および電圧信号 V_3 に基づく電流実効値 I' 、電圧実効値 V' 、および位相差 ϕ からインピーダンス Z を算出する。第3の校正パラメータ X'' による校正の精度は十分高いものなので、電流信号 I_0 および電圧信号 V_0 を高い精度で校正することができる。したがって、高周波測定装置3によって測定された電流実効値 I' 、電圧実効値 V' 、およびインピーダンス Z は、精度が高く信用できるものである。

【0096】

10

なお、上記校正の処理手順は、高周波測定装置3のメモリに第1の校正パラメータ X 、第2の校正パラメータ X' 、および第3の校正パラメータ X'' が記録されていない場合の処理手順である。上記処理手順のうちステップS1およびS2については毎回行なう必要はなく、1度行ってメモリに第1の校正パラメータ X を記録しておけばよい。この処理は、高周波測定装置3の製造時に、製造メーカーが行っておいてもよい。一方、ステップS3以降の処理は、プラズマ処理の内容(使用するガスの種類やガスの圧力など)や、高周波測定装置3を設置するプラズマ処理装置4、高周波測定装置3とプラズマ処理装置4との伝送線路の種類や長さが変わるたびに行う必要がある。

【0097】

20

上記のように、本発明においては、3段階の校正が行われる。すなわち、まず、低精度だが広いインピーダンスの範囲で校正可能な第1の校正パラメータ X で校正が行われるとともに、高周波電流と高周波電圧の検出点を高周波測定装置3が接続された接続点からプラズマ処理装置4のチャンバー内に変換する第2の校正パラメータ X' で校正が行われて、プラズマ処理装置4のチャンバー内のインピーダンスの変化範囲が確認される。次に、当該変化範囲でのみ高精度に校正可能な第3の校正パラメータ X'' で校正が行われる。第1の校正パラメータ X は低精度だが広いインピーダンスの範囲で校正を行うことができる。当初はどこに位置するかわからないインピーダンスの変化範囲を確認することができる。第3の校正パラメータ X'' は第1の校正パラメータ X より狭いインピーダンスの範囲でのみ校正を行うために求められたものなので、インピーダンスが当該範囲に入っている場合に、第3の校正パラメータ X'' による校正の精度は十分高いものになる。したがって、検出された電圧および電流を高い精度で校正することができる。また、第2の校正パラメータ X' は高周波電流と高周波電圧の検出点を高周波測定装置3が接続された接続点からプラズマ処理装置4のチャンバー内に変換するものなので、プラズマ処理装置4のチャンバー内のインピーダンスを測定することができる。

【0098】

30

なお、上記実施形態では、プラズマ処理装置4がCCP型のプラズマ処理装置の場合を例にして説明したが、これに限られない。プラズマを発生させるための電極が対向する平行平板電極であれば、上記と同様の方法で本発明を適用することができる。また、平行平板電極でない場合でも、高周波測定装置3の入力端bとプラズマ処理装置4のチャンバー内の電力供給側の電極との間のSパラメータが測定でき、プラズマ処理装置4のチャンバー内で電力供給側の電極とグランド側の電極との間に基準負荷を再現できれば、本発明を適用することができる。

【0099】

40

本発明に係る高周波測定装置、および、高周波測定装置の校正方法は、上述した実施形態に限定されるものではない。また、本発明に係る高周波測定装置の各部の具体的な構成は、種々に設計変更自在である。

【符号の説明】

【0100】

A プラズマ処理システム

1 高周波電源装置

50

2 インピーダンス整合装置

3 高周波測定装置

3 1 カレントトランス部（電流検出手段）

3 2 電流用変換回路（電流検出手段）

3 3 コンデンサ部（電圧検出手段）

3 4 電圧用変換回路（電圧検出手段）

3 5 実効値算出回路

3 6 実効値算出回路

3 7 位相差検出回路

3 8 校正回路

10

3 8 1 ベクトル変換部

3 8 2 第1校正部

3 8 3 第2校正部

3 8 4 第3校正部

3 8 5 ベクトル逆変換部

3 9 インピーダンス算出回路

4 プラズマ処理装置

5 伝送線路

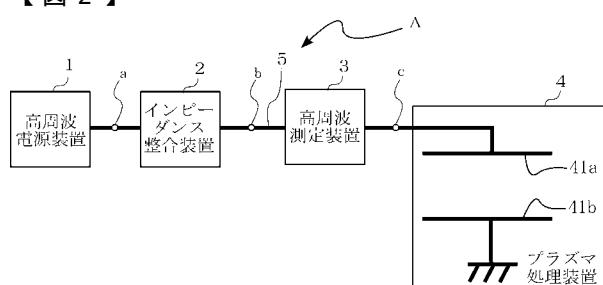
6 ダミーロード

7 インピーダンスアナライザ

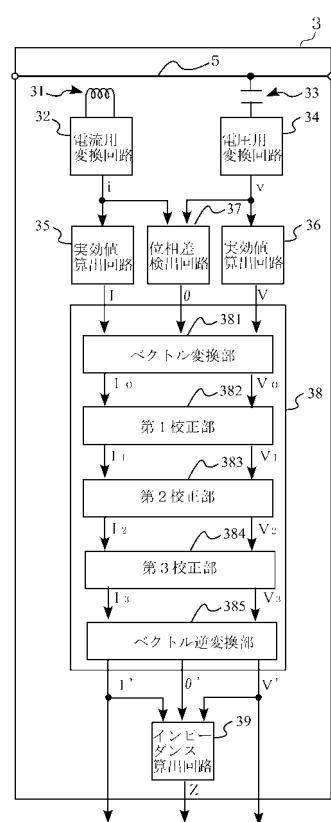
20

8 ネットワークアナライザ

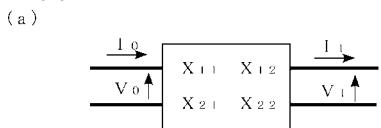
【図2】



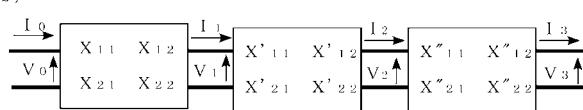
【図3】



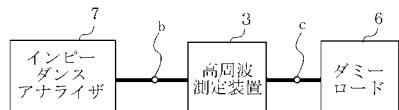
【図4】



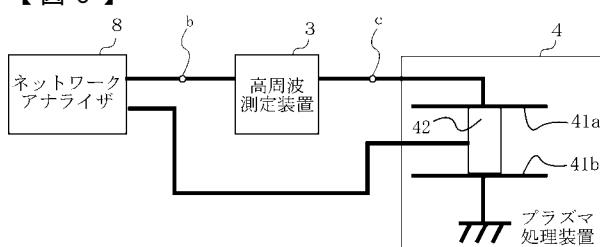
(b)



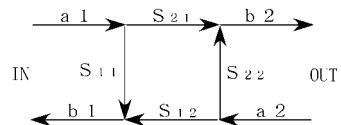
【図5】



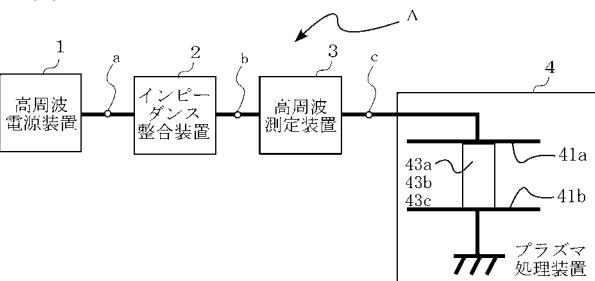
【図6】



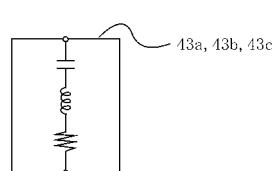
【図7】



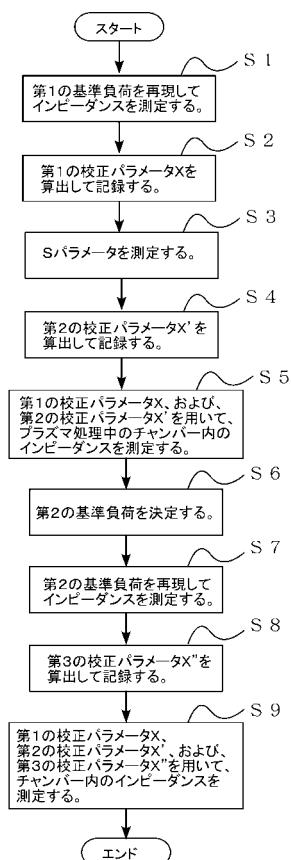
【図8】



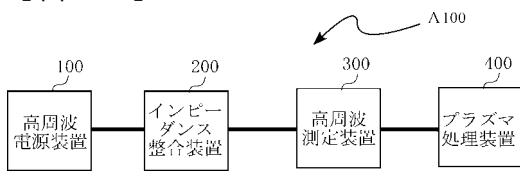
【図9】



【図10】

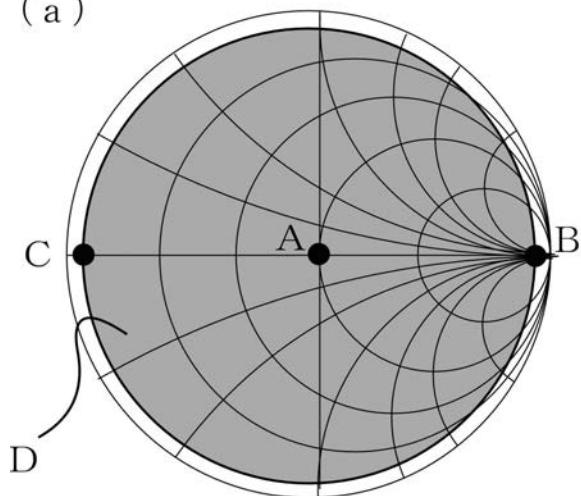


【図11】

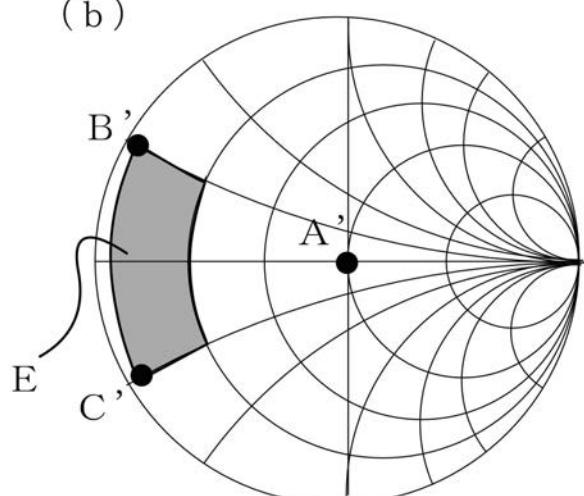


【図1】

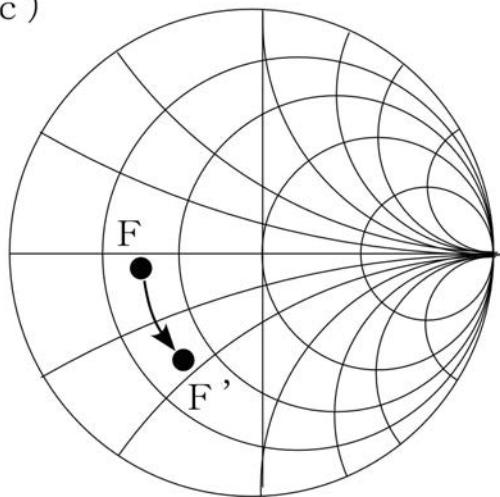
(a)



(b)



(c)



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 01L 21/302 101B

(72)発明者 田中 良平
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 伊吹 吉史
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 菅藤 政明

(56)参考文献 特開2007-336148 (JP, A)
特開2003-302431 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 01 R 27/02
G 01 R 35/00
H 05 H 1/00
H 05 H 1/46
H 01 L 21/3065