

(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 I

G O 1 R 27/02 (2006. 01)

G O 1 R 27/02 A

G O 1 R 35/00 (2006. 01)

G O 1 R 35/00 E

H O 5 H 1/46 (2006. 01)

G O 1 R 35/00 J

H O 5 H 1/00 (2006. 01)

H O 5 H 1/46 R

H O 1 L 21/3065 (2006. 01)

H O 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 臼井 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

10

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

20

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对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对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、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  $i = 2 \cdot I \cdot \sin(\omega t + \theta)$  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  $\theta$  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

## 【 0 0 1 3 】

高周波測定装置 3 0 0 とプラズマ処理装置 4 0 0 とが直接接続されている場合、高周波測定装置 3 0 0 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 4 0 0 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 3 0 0 とプラズマ処理装置 4 0 0 とが離れて設置される場合、高周波測定装置 3 0 0 とプラズマ処理装置 4 0 0 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ため、高周波測定装置 3 0 0 の測定値ではプラズマ処理装置 4 0 0 を監視することができない。

## 【 0 0 1 4 】

例えば、高周波測定装置 3 0 0 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 4 0 0 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、チャンバー内で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 3 0 0 とプラズマ処理装置 4 0 0 とが離れて設置される場合、高周波測定装置 3 0 0 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。

## 【 0 0 1 5 】

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】

## 【 0 0 1 6 】

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。

## 【 0 0 1 7 】

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 のパラメータ

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对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

30

【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。

40

【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对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

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、より明らかとなる。

【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。）のチャンパ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。

【 0 0 3 3 】

例えば、測定対象装置のチャンパ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パ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パ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。

【 0 0 3 4 】

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パ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パ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。

【 0 0 3 5 】

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パ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。

【 0 0 3 6 】

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、精度は低い幅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、プラズマ処理中のチャンパ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。

【 0 0 3 7 】



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。

【 0 0 3 8 】

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 50 Ω 系として構成されている。

10

【 0 0 3 9 】

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。

【 0 0 4 0 】

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

【 0 0 4 1 】

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。

【 0 0 4 2 】

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。

30

【 0 0 4 3 】

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。

40

【 0 0 4 4 】

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。

【 0 0 4 5 】

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

## 【 0 0 4 6 】

カレントトランス部 3 1 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 3 2 に出力する。電流用変換回路 3 2 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 3 5 および位相差検出回路 3 7 に出力する。コンデンサ部 3 3 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 3 4 に出力する。電圧用変換回路 3 4 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 3 6 および位相差検出回路 3 7 に出力する。

## 【 0 0 4 7 】

実効値算出回路 3 5 は、電流実効値を算出するものである。実効値算出回路 3 5 は、電流用変換回路 3 2 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 3 8 に出力する。実効値算出回路 3 6 は、電圧実効値を算出するものである。実効値算出回路 3 6 は、電圧用変換回路 3 4 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 3 8 に出力する。位相差検出回路 3 7 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 3 7 は、電流用変換回路 3 2 より入力される電流信号  $i$  と電圧用変換回路 3 4 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 3 8 に出力する。

## 【 0 0 4 8 】

校正回路 3 8 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 3 8 は、実効値算出回路 3 5 より入力される電流実効値  $I$ 、実効値算出回路 3 6 より入力される電圧実効値  $V$ 、および位相差検出回路 3 7 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 3 9 に出力する。

## 【 0 0 4 9 】

校正回路 3 8 は、ベクトル変換部 3 8 1、第 1 校正部 3 8 2、第 2 校正部 3 8 3、第 3 校正部 3 8 4、およびベクトル逆変換部 3 8 5 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 3 8 1 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  $I_0$  および電圧信号  $V_0$  を算出して第 1 校正部 3 8 2 に出力する。電流信号  $I_0$  および電圧信号  $V_0$  は、電流信号  $I_0$  の位相を基準（実数軸、虚数部 0）として、 $I_0 = I + j 0$ 、 $V_0 = V \cos \theta + j V \sin \theta$  で算出される。

第 1 校正部 3 8 2 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 3 8 1 から入力される電流信号  $I_0$  および電圧信号  $V_0$  に第 1 段階の校正を行い、校正後の電流信号  $I_1$  および電圧信号  $V_1$  を第 2 校正部 3 8 3 に出力する。第 2 校正部 3 8 3 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 3 8 2 から入力される電流信号  $I_1$  および電圧信号  $V_1$  に第 2 段階の校正を行い、校正後の電流信号  $I_2$  および電圧信号  $V_2$  を第 3 校正部 3 8 4 に出力する。第 3 校正部 3 8 4 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 3 8 3 から入力される電流信号  $I_2$  および電圧信号  $V_2$  に第 3 段階の校正を行い、校正後の電流信号  $I_3$  および電圧信号  $V_3$  をベクトル逆変換部 3 8 5 に出力する。ベクトル逆変換部 3 8 5 は、第 3 校正部 3 8 4 から入力される校正後の電流信号  $I_3$  および電圧信号  $V_3$  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。

## 【 0 0 5 0 】

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。

## 【 0 0 5 1 】

ベクトル変換部 3 8 1 から出力される電流信号  $I_0$  および電圧信号  $V_0$  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  $I_0$  および電圧信号  $V_0$  を電流信号  $I_1$  および電圧信号  $V_1$  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。

【0052】

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。

【0053】

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。

【0054】

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。

【0055】

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。

【0056】

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。

【0057】

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。

【0058】

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

測定する。

【 0 0 5 9 】

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。

【 0 0 6 0 】

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。

【 0 0 6 1 】

【 数 2 】

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

$$V_0 = X_{11} \cdot I_0 - X_{12} \cdot I_1$$

$$V_1 = X_{21} \cdot I_0 - X_{22} \cdot I_1$$

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

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

【 0 0 6 2 】

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 4 1 a 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。

【 0 0 6 3 】

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 4 1 a 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。

【 0 0 6 4 】

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 4 2 に接続されている。アダプタ 4 2 は、プラズマ処理装置 4 のチャンバー内の平板電極 4 1 a および 4 1 b の間に配置される。ただし、アダプタ 4 2 の材質は高周波からみてオープンとな

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。

【 0 0 6 5 】

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 4 1 a との間の回路網の S パラメータを測定する。アダプタ 4 2 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 4 1 a に接続するためのものである。なお、アダプタ 4 2 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 4 1 a 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

【 0 0 6 6 】

図 7 は、S パラメータと入力側の入射波 a 1、反射波 b 1 および出力側の入射波 a 2、反射波 b 2 の関係を示している。なお、I N が入力側であり、O U T が出力側である。

【 0 0 6 7 】

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 ( 1 0 ) 式のように、a 2 および b 2 を a 1 および b 1 の式で表すことができる。

【 0 0 6 8 】

【数 3】

$$\begin{bmatrix} b \ 1 \\ b \ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{1 \ 1} & S_{1 \ 2} \\ S_{2 \ 1} & S_{2 \ 2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \ 1 \\ a \ 2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

20

$$\begin{aligned} b \ 1 &= S_{1 \ 1} \cdot a \ 1 + S_{1 \ 2} \cdot a \ 2 \\ b \ 2 &= S_{2 \ 1} \cdot a \ 1 + S_{2 \ 2} \cdot a \ 2 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} a \ 2 &= \frac{b \ 1 - S_{1 \ 1} \cdot a \ 1}{S_{1 \ 2}} \\ b \ 2 &= \frac{S_{2 \ 2} \cdot b \ 1 - (S_{1 \ 1} \cdot S_{2 \ 2} - S_{1 \ 2} \cdot S_{2 \ 1}) \cdot a \ 1}{S_{1 \ 2}} \end{aligned} \quad (10)$$

30

【 0 0 6 9 】

一方、入力側の電流信号 I<sub>1</sub> および電圧信号 V<sub>1</sub> と、入力側の入射波 a 1 および反射波 b 1 とは、下記 ( 1 1 ) 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 5 0 である。下記 ( 1 1 ) 式より、下記 ( 1 2 ) 式のように、a 1 および b 1 を I<sub>1</sub> および V<sub>1</sub> の式で表すことができる。

【 0 0 7 0 】

【数 4】

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{a \ 1 - b \ 1}{\sqrt{5 \ 0}} \\ V_1 &= \sqrt{5 \ 0} \cdot (a \ 1 + b \ 1) \end{aligned} \quad (11)$$

40

$$\begin{aligned} a \ 1 &= \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{V_1}{\sqrt{5 \ 0}} + \sqrt{5 \ 0} \cdot I_1 \right) \\ b \ 1 &= \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{V_1}{\sqrt{5 \ 0}} - \sqrt{5 \ 0} \cdot I_1 \right) \end{aligned} \quad (12)$$

50

## 【 0 0 7 1 】

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。

## 【 0 0 7 2 】

## 【数5】

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{\frac{1}{\sqrt{50}}(1 - S_{11})V_1 - \sqrt{50}(1 + S_{11})I_1}{2 \cdot S_{12}} \\ b_2 &= \frac{\frac{1}{\sqrt{50}}\{S_{12}S_{21} + S_{22}(1 - S_{11})\}V_1 + \sqrt{50}\{S_{12}S_{21} - S_{22}(1 + S_{11})\}I_1}{2 \cdot S_{12}} \end{aligned} \quad (13)$$

10

## 【 0 0 7 3 】

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。

20

## 【 0 0 7 4 】

## 【数6】

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{b_2 - a_2}{\sqrt{50}} \\ V_2 &= \sqrt{50} \cdot (b_2 + a_2) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{\frac{1}{50}\{S_{12}S_{21} - (1 - S_{11})(1 - S_{22})\}V_1 + \{S_{12}S_{21} + (1 + S_{11})(1 - S_{22})\}I_1}{2 \cdot S_{12}} \\ V_2 &= \frac{\{S_{12}S_{21} + (1 - S_{11})(1 + S_{22})\}V_1 + 50\{S_{12}S_{21} - (1 + S_{11})(1 + S_{22})\}I_1}{2 \cdot S_{12}} \end{aligned} \quad (15)$$

30

## 【 0 0 7 5 】

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のチャンパー内の平板電極41aに流れる高周波電流およびプラズマ処理装置4のチャンパー内の平板電極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。

40

## 【 0 0 7 6 】

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。

## 【 0 0 7 7 】

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のチャンパー内の平板電極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のチャンパー内の平板電極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、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のチャンパー内の平板電極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のように、抵抗、キャパシタ、インダクタを組み合わせで作成されており、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  $\theta'$  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。

【0087】

30

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】

40

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。

【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 ) 、ネットワークアナライザ 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 4 1 a との間の S パラメータを測定する ( S 3 ) 。

【 0 0 9 0 】

ステップ S 3 でネットワークアナライザ 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 ( S 4 ) 。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、ネットワークアナライザ 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

【 0 0 9 1 】

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 ( S 5 ) 。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

【 0 0 9 2 】

ステップ S 5 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 ( S 6 ) 。第 2 の基準負荷のうちの 1 つは、特性インピーダンス ( 5 0 ) 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 3 9 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

【 0 0 9 3 】

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 4 3 a , 4 3 b , 4 3 c 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 ( S 7 ) 。なお、第 2 の基準負荷 4 3 a , 4 3 b , 4 3 c 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。

【 0 0 9 4 】

ステップ S 7 で高周波測定装置 3 によって測定された基準負荷 4 3 a , 4 3 b , 4 3 c のそれぞれのインピーダンスと、基準負荷 4 3 a , 4 3 b , 4 3 c 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 ( S 8 ) 。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 3 9 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

【 0 0 9 5 】

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 $\theta'$ 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】

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ので、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。

20

30

【0098】

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。

40

【0099】

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

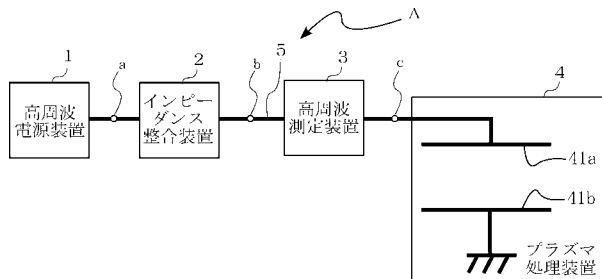
50

- 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
    - 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
- 8 ネットワークアナライザ

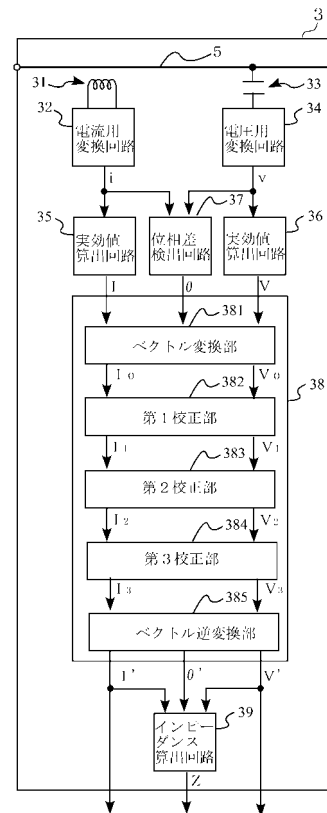
10

20

【図2】

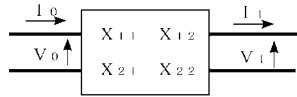


【図3】

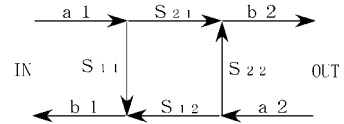


【図 4】

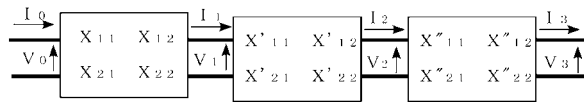
(a)



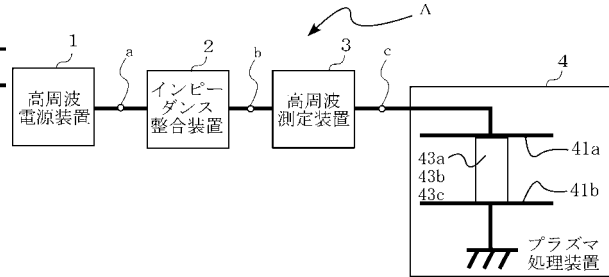
【図 7】



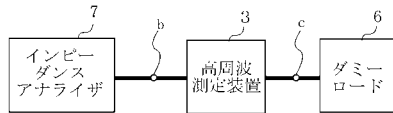
(b)



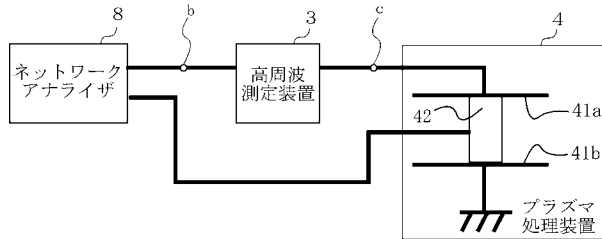
【図 8】



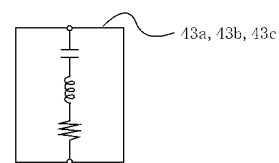
【図 5】



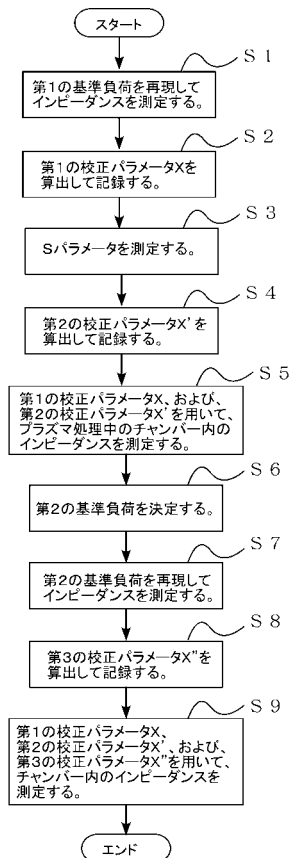
【図 6】



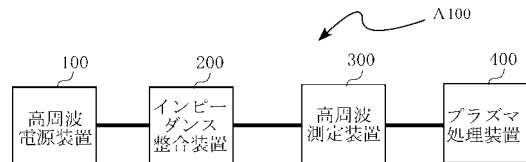
【図 9】



【図 10】

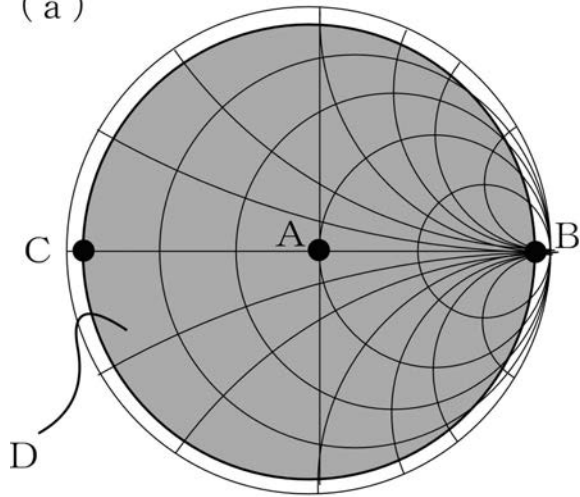


【図 11】

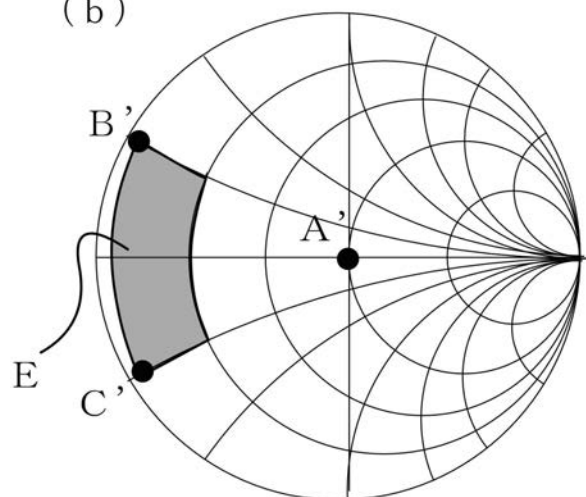


【図 1】

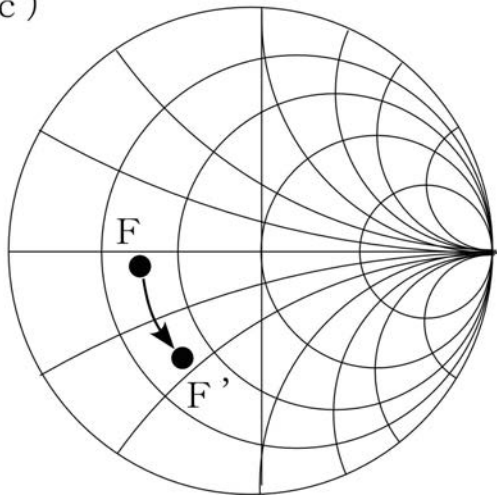
(a)



(b)



(c)



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 L 21/302 1 0 1 B

(72)発明者 田中 良平

大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 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 1 1 号 株式会社ダイヘン内

審査官 菅藤 政明

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

特開 2 0 0 3 - 3 0 2 4 3 1 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 R 2 7 / 0 2

G 0 1 R 3 5 / 0 0

H 0 5 H 1 / 0 0

H 0 5 H 1 / 4 6

H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5