(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年5月15日(15.05.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/100280 A1

(51) 国際特許分類:
H05H 1/00 (2006.01) *H05H 1/46* (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/038272

(22) 国際出願日： 2024年10月28日(28.10.2024)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2023-191368 2023年11月9日(09.11.2023) JP

(71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(**TOKYO ELECTRON LIMITED**) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目３番１号 (JP).

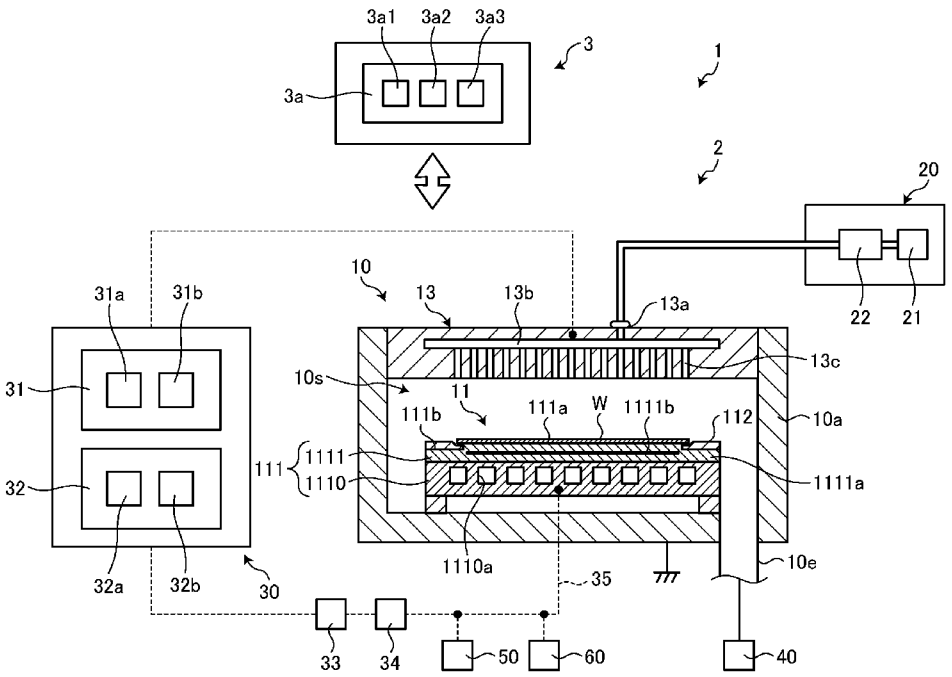
(72) 発明者: 進藤 崇央 (**SHINDO, Takahiro**); 〒1838705 東京都府中市住吉町２－３０－７ 東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社内 (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人酒井国際特許事務所 (**SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1000013 東京都千代田区霞が関３丁目８番１号 虎ノ門ダイビルイースト (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** PLASMA EVALUATION SYSTEM AND PLASMA EVALUATION METHOD

(54) 発明の名称： プラズマ評価システム及びプラズマ評価方法



(57) **Abstract:** A plasma evaluation system (1) comprises: a plasma processing device (2); a derivation circuit unit (50) which is connected to a high-frequency application line (35) for plasma generation of the plasma processing device (2) and derives an equivalent circuit of the generated plasma; and a simulator unit (3) which, on the basis of a parameter of the equivalent circuit derived by the derivation circuit unit, executes simulation of the plasma to calculate an evaluation parameter indicating a characteristic of the plasma.

WO 2025/100280 A1

［続葉有］

MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：プラズマ評価システム（１）は、プラズマ処理装置（２）と、プラズマ処理装置（２）のプラズマ生成用の高周波印加ライン（３５）に接続され、生成されたプラズマの等価回路を導出する導出回路部（５０）と、導出回路部で導出された等価回路のパラメータに基づいて、プラズマのシミュレーションを実行することで、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出するシミュレータ部（３）と、を有する。

明　細　書

発明の名称 ： プラズマ評価システム及びプラズマ評価方法

技術分野

[0001]　本開示は、プラズマ評価システム及びプラズマ評価方法に関する。

背景技術

[0002]　特許文献１には、ウエハ（フォーカスリング）表面から見た負荷インピーダンスが、ウエハ（フォーカスリング）表面のイオンシースの抵抗成分（Ｒ１）とキャパシタンス成分（Ｃ４）の並列接続、及び、プラズマのインピーダンス成分（Ｚｐ）、接地点の表面のイオンシースの抵抗成分（Ｒ２）とキャパシタンス成分（Ｃ５）の並列接続を、それぞれ直列に接続したもので表すことができることが開示されている。また、特許文献１には、その他にも、シース抵抗成分をダイオードで表すこともできるし、プラズマ抵抗、プラズマキャパシタンスやプラズマインダクタンスを入れることもできることが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２００５－３０３０９９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　本開示は、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出することができるプラズマ評価システム及びプラズマ評価方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0005]　本開示の一態様によるプラズマ評価システムは、プラズマ処理装置と、プラズマ処理装置のプラズマ生成用の高周波印加ラインに接続され、生成されたプラズマの等価回路を導出する導出回路部と、導出回路部で導出された等価回路のパラメータに基づいて、プラズマのシミュレーションを実行することで、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出するシミュレータ部と、

を有する。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図１は、本開示の一実施形態におけるプラズマ評価システムの一例を示す図である。

[図2]図２は、本実施形態における導出回路部を構成するブリッジ回路の一例を示す図である。

[図3]図３は、本実施形態における導出回路部の構成の一例を示す図である。

[図4]図４は、本実施形態におけるプラズマの等価回路の一例を示す図である。

[図5]図５は、本実施形態におけるプラズマ評価処理の一例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0008] 以下に、開示するプラズマ評価システム及びプラズマ評価方法の実施形態について、図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施形態により開示技術が限定されるものではない。

[0009] プラズマ処理装置のチャンバコンティションをモニタリングする手法として、マッチャーポジション及びＶＩプローブ等を用いて、それぞれチャンバインピーダンス及びＶｐｐ，Ｖｄｃ等を測定することが行われている。また、ラングミュアプローブ等を用いてプラズマの電子密度を測定することが行われている。さらに、フォーカスリング構造の最適化に、プラズマの等価回路解析を用いることが知られている。しかしながら、これらの手法では、プロセス状態、つまり、プラズマの状態が具体的にどのように変化したのかを知ることが難しかったり、プローブによりプラズマの状態を乱してしまいプロセス中とは異なる状態となる場合がある。すなわち、プロセス中におけるプラズマの状態として、プラズマの特性を表す評価パラメータ（プラズマパ

ラメータ）を取得することが難しい。そこで、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出することが期待されている。

[0010] ［プラズマ評価システムの構成］

以下に、プラズマ評価システム１の構成例について説明する。図１は、本開示の一実施形態におけるプラズマ評価システムの一例を示す図である。プラズマ評価システム１は、容量結合型のプラズマ処理装置２、制御部３、導出回路部５０及び波形検出器６０を含む。容量結合型のプラズマ処理装置２は、プラズマ処理チャンバ１０、ガス供給部２０、電源３０及び排気システム４０を含む。なお、導出回路部５０及び波形検出器６０は、プラズマ処理装置２が含むようにしてもよい。また、プラズマ処理装置２は、基板支持部１１及びガス導入部を含む。ガス導入部は、少なくとも１つの処理ガスをプラズマ処理チャンバ１０内に導入するように構成される。ガス導入部は、シャワーヘッド１３を含む。基板支持部１１は、プラズマ処理チャンバ１０内に配置される。シャワーヘッド１３は、基板支持部１１の上方に配置される。一実施形態において、シャワーヘッド１３は、プラズマ処理チャンバ１０の天部（ceiling）の少なくとも一部を構成する。プラズマ処理チャンバ１０は、シャワーヘッド１３、プラズマ処理チャンバ１０の側壁１０ａ及び基板支持部１１により規定されたプラズマ処理空間１０ｓを有する。プラズマ処理チャンバ１０は、少なくとも１つの処理ガスをプラズマ処理空間１０ｓに供給するための少なくとも１つのガス供給口と、プラズマ処理空間１０ｓからガスを排出するための少なくとも１つのガス排出口とを有する。プラズマ処理チャンバ１０は接地される。シャワーヘッド１３及び基板支持部１１は、プラズマ処理チャンバ１０の筐体とは電気的に絶縁される。

[0011] 基板支持部１１は、本体部１１１及びリングアセンブリ１１２を含む。本体部１１１は、基板Ｗを支持するための中央領域１１１ａと、リングアセンブリ１１２を支持するための環状領域１１１ｂとを有する。ウェハは基板Ｗの一例である。本体部１１１の環状領域１１１ｂは、平面視で本体部１１１の中央領域１１１ａを囲んでいる。基板Ｗは、本体部１１１の中央領域１１

１ａ上に配置され、リングアセンブリ１１２は、本体部１１１の中央領域１１１ａ上の基板Ｗを囲むように本体部１１１の環状領域１１１ｂ上に配置される。従って、中央領域１１１ａは、基板Ｗを支持するための基板支持面とも呼ばれ、環状領域１１１ｂは、リングアセンブリ１１２を支持するためのリング支持面とも呼ばれる。

[0012] 一実施形態において、本体部１１１は、基台１１１０及び静電チャック１１１１を含む。基台１１１０は、導電性部材を含む。基台１１１０の導電性部材は下部電極として機能し得る。静電チャック１１１１は、基台１１１０の上に配置される。静電チャック１１１１は、セラミック部材１１１１ａとセラミック部材１１１１ａ内に配置される静電電極１１１１ｂとを含む。セラミック部材１１１１ａは、中央領域１１１ａを有する。一実施形態において、セラミック部材１１１１ａは、環状領域１１１ｂも有する。なお、環状静電チャックや環状絶縁部材のような、静電チャック１１１１を囲む他の部材が環状領域１１１ｂに設けられてもよい。この場合、リングアセンブリ１１２は、環状静電チャック又は環状絶縁部材の上に配置されてもよく、静電チャック１１１１と環状絶縁部材の両方の上に配置されてもよい。また、後述するＲＦ（Radio Frequency）電源３１及び／又はＤＣ（Direct Current）電源３２に結合される少なくとも１つのＲＦ／ＤＣ電極がセラミック部材１１１１ａ内に配置されてもよい。この場合、少なくとも１つのＲＦ／ＤＣ電極が下部電極として機能する。後述するバイアスＲＦ信号及び／又はＤＣ信号が少なくとも１つのＲＦ／ＤＣ電極に供給される場合、ＲＦ／ＤＣ電極はバイアス電極とも呼ばれる。なお、基台１１１０の導電性部材と少なくとも１つのＲＦ／ＤＣ電極とが複数の下部電極として機能してもよい。また、静電電極１１１１ｂが下部電極として機能してもよい。従って、基板支持部１１は、少なくとも１つの下部電極を含む。

[0013] リングアセンブリ１１２は、１又は複数の環状部材を含む。一実施形態において、１又は複数の環状部材は、１又は複数のエッジリングと少なくとも１つのカバーリングとを含む。エッジリングは、導電性材料又は絶縁材料で

形成され、カバーリングは、絶縁材料で形成される。

[0014] また、基板支持部１１は、静電チャック１１１１、リングアセンブリ１１２及び基板のうち少なくとも１つをターゲット温度に調節するように構成される温調モジュールを含んでもよい。温調モジュールは、ヒータ、伝熱媒体、流路１１１０ａ、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。流路１１１０ａには、ブラインやガスのような伝熱流体が流れる。一実施形態において、流路１１１０ａが基台１１１０内に形成され、１又は複数のヒータが静電チャック１１１１のセラミック部材１１１１ａ内に配置される。また、基板支持部１１は、基板Wの裏面と中央領域１１１ａとの間の間隙に伝熱ガスを供給するように構成された伝熱ガス供給部を含んでもよい。

[0015] シャワーヘッド１３は、ガス供給部２０からの少なくとも１つの処理ガスをプラズマ処理空間１０ｓ内に導入するように構成される。シャワーヘッド１３は、少なくとも１つのガス供給口１３ａ、少なくとも１つのガス拡散室１３ｂ、及び複数のガス導入口１３ｃを有する。ガス供給口１３ａに供給された処理ガスは、ガス拡散室１３ｂを通過して複数のガス導入口１３ｃからプラズマ処理空間１０ｓ内に導入される。また、シャワーヘッド１３は、少なくとも１つの上部電極を含む。なお、ガス導入部は、シャワーヘッド１３に加えて、側壁１０ａに形成された１又は複数の開口部に取り付けられる１又は複数のサイドガス注入部（ＳＧＩ：Side Gas Injector）を含んでもよい。

[0016] ガス供給部２０は、少なくとも１つのガスソース２１及び少なくとも１つの流量制御器２２を含んでもよい。一実施形態において、ガス供給部２０は、少なくとも１つの処理ガスを、それぞれに対応するガスソース２１からそれぞれに対応する流量制御器２２を介してシャワーヘッド１３に供給するように構成される。各流量制御器２２は、例えばマスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器を含んでもよい。さらに、ガス供給部２０は、少なくとも１つの処理ガスの流量を変調又はパルス化する１又はそれ以上の流量変調デバイスを含んでもよい。

[0017] 電源３０は、少なくとも１つのインピーダンス整合回路を介してプラズマ処理チャンバ１０に結合されるＲＦ電源３１を含む。ＲＦ電源３１は、少なくとも１つのＲＦ信号（ＲＦ電力）を少なくとも１つの下部電極及び／又は少なくとも１つの上部電極に供給するように構成される。これにより、プラズマ処理空間１０ｓに供給された少なくとも１つの処理ガスからプラズマが形成される。従って、ＲＦ電源３１は、プラズマ処理チャンバ１０において１又はそれ以上の処理ガスからプラズマを生成するように構成されるプラズマ生成部の少なくとも一部として機能し得る。また、バイアスＲＦ信号を少なくとも１つの下部電極に供給することにより、基板Wにバイアス電位が発生し、形成されたプラズマ中のイオン成分を基板Wに引き込むことができる。

[0018] 一実施形態において、ＲＦ電源３１は、第１のＲＦ生成部３１ａ及び第２のＲＦ生成部３１ｂを含む。第１のＲＦ生成部３１ａは、少なくとも１つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも１つの下部電極及び／又は少なくとも１つの上部電極に結合され、プラズマ生成用のソースＲＦ信号（ソースＲＦ電力）を生成するように構成される。一実施形態において、ソースＲＦ信号は、１００ｋＨｚ～２．５ＧＨｚの範囲内の周波数を有する。一実施形態において、第１のＲＦ生成部３１ａは、異なる周波数を有する複数のソースＲＦ信号を生成するように構成されてもよい。生成された１又は複数のソースＲＦ信号は、少なくとも１つの下部電極及び／又は少なくとも１つの上部電極に供給される。

[0019] 例えば、第１のＲＦ生成部３１ａは、インピーダンス整合回路３３と、フィルタ３４とを介して、高周波印加ライン３５により基板支持部１１の基台１１１０に結合される。フィルタ３４は、高周波印加ライン３５の第１のＲＦ生成部３１ａ側に対して、導出回路部５０から出力される測定信号を遮断するフィルタである。フィルタ３４は、例えば、測定信号を遮断するバンドリジェクトフィルタ又はハイパスフィルタ等を用いることができる。なお、フィルタ３４は、第１のフィルタの一例である。また、図１では、電源３０

と基台１１１０との間について高周波印加ライン３５を図示しているが、図示しない他の結線があっても構わない。さらに、フィルタ３４は、プラズマ処理装置２に設けられてもよいし、導出回路部５０に設けられてもよい。

[0020] 第２のＲＦ生成部３１ｂは、少なくとも１つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも１つの下部電極に結合され、バイアスＲＦ信号（バイアスＲＦ電力）を生成するように構成される。バイアスＲＦ信号の周波数は、ソースＲＦ信号の周波数と同じであっても異なっていてもよい。一実施形態において、バイアスＲＦ信号は、ソースＲＦ信号の周波数よりも低い周波数を有する。一実施形態において、バイアスＲＦ信号は、１００ｋＨｚ～６０ＭＨｚの範囲内の周波数を有する。一実施形態において、第２のＲＦ生成部３１ｂは、異なる周波数を有する複数のバイアスＲＦ信号を生成するように構成されてもよい。生成された１又は複数のバイアスＲＦ信号は、少なくとも１つの下部電極に供給される。また、種々の実施形態において、ソースＲＦ信号及びバイアスＲＦ信号のうち少なくとも１つがパルス化されてもよい。

[0021] また、電源３０は、プラズマ処理チャンバ１０に結合されるＤＣ電源３２を含んでもよい。ＤＣ電源３２は、第１のＤＣ生成部３２ａ及び第２のＤＣ生成部３２ｂを含む。一実施形態において、第１のＤＣ生成部３２ａは、少なくとも１つの下部電極に接続され、第１のＤＣ信号を生成するように構成される。生成された第１のバイアスＤＣ信号は、少なくとも１つの下部電極に印加される。一実施形態において、第２のＤＣ生成部３２ｂは、少なくとも１つの上部電極に接続され、第２のＤＣ信号を生成するように構成される。生成された第２のＤＣ信号は、少なくとも１つの上部電極に印加される。

[0022] 種々の実施形態において、第１及び第２のＤＣ信号のうち少なくとも１つがパルス化されてもよい。この場合、電圧パルスのシーケンスが少なくとも１つの下部電極及び／又は少なくとも１つの上部電極に印加される。電圧パルスは、矩形、台形、三角形又はこれらの組み合わせのパルス波形を有してもよい。一実施形態において、ＤＣ信号から電圧パルスのシーケンスを生成するための波形生成部が第１のＤＣ生成部３２ａと少なくとも１つの下部電

極との間に接続される。従って、第１のＤＣ生成部３２ａ及び波形生成部は、電圧パルス生成部を構成する。第２のＤＣ生成部３２ｂ及び波形生成部が電圧パルス生成部を構成する場合、電圧パルス生成部は、少なくとも１つの上部電極に接続される。電圧パルスは、正の極性を有してもよく、負の極性を有してもよい。また、電圧パルスのシーケンスは、１周期内に１又は複数の正極性電圧パルスと１又は複数の負極性電圧パルスとを含んでもよい。なお、第１及び第２のＤＣ生成部３２ａ，３２ｂは、ＲＦ電源３１に加えて設けられてもよく、第１のＤＣ生成部３２ａが第２のＲＦ生成部３１ｂに代えて設けられてもよい。

[0023] 排気システム４０は、例えばプラズマ処理チャンバ１０の底部に設けられたガス排出口１０ｅに接続され得る。排気システム４０は、圧力調整弁及び真空ポンプを含んでもよい。圧力調整弁によって、プラズマ処理空間１０ｓ内の圧力が調整される。真空ポンプは、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ又はこれらの組み合わせを含んでもよい。

[0024] 導出回路部５０は、高周波印加ライン３５に接続され、プラズマ処理空間１０ｓに生成されたプラズマの等価回路を導出する。導出回路部５０は、プラズマをその回路の一部としたブリッジ回路を構成可能な回路と、ブリッジ回路に測定信号を出力する電圧源とを備える。導出回路部５０は、ブリッジ回路を用いてプラズマの等価回路を導出する。導出回路部５０は、導出した等価回路のパラメータを制御部３に出力する。なお、導出回路部５０は、インピーダンス整合回路３３の内部に設けてもよい。

[0025] ここで、図２及び図３を用いて導出回路部５０について説明する。図２は、本実施形態における導出回路部を構成するブリッジ回路の一例を示す図である。図２に示すブリッジ回路５１は、プラズマ処理空間１０ｓで生成されたプラズマに対してブリッジ回路を構成可能な回路である。なお、ブリッジ回路５１は、例えば、ホイートストンブリッジとすることができる。ブリッジ回路５１では、インピーダンスＺ１，Ｚ２が既知の値であり、インピーダンスＺａが可変素子回路であり、インピーダンスＺｃがプラズマのインピー

ダンスに対応する。ブリッジ回路５１には、電圧源Ｖｂから測定信号が供給される。導出回路部５０は、ブリッジ回路５１の検流計Ｇの値に基づいて、ブリッジ回路５１が下記の式（１）に示す平衡条件（検流計Ｇが示す値が０）を満たすように、インピーダンスＺａの可変素子を調整するように制御する。

[0026] Ｚ１×Ｚｃ＝Ｚ２×Ｚａ ・・・（１）

[0027] 図３は、本実施形態における導出回路部の構成の一例を示す図である。図３に示すように、導出回路部５０は、ブリッジ回路５１の電圧源Ｖｂと、検流計Ｇ（抵抗成分ＲＧ）と、インピーダンスＺ１，Ｚ２，Ｚａに対応する各回路とを有する。また、導出回路部５０は、ブリッジ回路５１のインピーダンスＺｃにおいて、インピーダンスＺａに含まれるフィルタＦａに対応するフィルタＦｃを有する。なお、図３では、検流計Ｇとして、検流計Ｇの抵抗成分ＲＧを表している。

[0028] 電圧源Ｖｂは、プラズマ生成用の高周波であるソースＲＦ信号とは異なる周波数の測定信号を出力する。電圧源Ｖｂは、測定信号として、例えば、１００Ｈｚ～１０ＭＨｚの正弦波を出力する。検流計Ｇは、接続点５２と接続点５３との間を流れる電流を検出する。インピーダンスＺ１に対応する回路は、抵抗Ｒ１を有する。インピーダンスＺ２に対応する回路は、抵抗Ｒ２を有する。

[0029] フィルタＦｃは、コンデンサＣ１及びコイルＬ１を有する。フィルタＦｃは、ソースＲＦ信号のインピーダンスＺ１，Ｚ２及び電圧源Ｖｂ側への流入を遮断する。なお、フィルタＦｃは、第２のフィルタの一例である。ブリッジ回路５１のインピーダンスＺｃには、フィルタＦｃの他に、プラズマの等価回路として、コンデンサＣｘ１，Ｃｘ２と、抵抗Ｒｘ１～Ｒｘ３と、ダイオードＤ１，Ｄ２とが含まれる。コンデンサＣｘ１、抵抗Ｒｘ１及びダイオードＤ１は、並列接続され、基板支持部１１側の第１のシース電圧に相当する等価回路の第１の要素である。コンデンサＣｘ２、抵抗Ｒｘ２及びダイオードＤ２は、並列接続され、基板Ｗと対向する対向電極（シャワーヘッド１

３）側の第２のシース電圧に相当する等価回路の第３の要素である。抵抗Ｒｘ１と抵抗Ｒｘ２との間には、抵抗Ｒｘ３が直列接続される。抵抗Ｒｘ３は、バルクプラズマに相当する等価回路の第２の要素である。また、導出回路部５０におけるブリッジ回路５１へのソースＲＦ信号の入力は、図３の「ＲＦ＿ＩＮ」で示すように、フィルタＦｃと抵抗Ｒｘ１との間の接続点５４となる。つまり、接続点５４は、高周波印加ライン３５に接続される。接続点５４から見た場合、高周波印加ライン３５を介したプラズマ処理チャンバ１０側のプラズマの等価回路が、コンデンサＣｘ１，Ｃｘ２と、抵抗Ｒｘ１～Ｒｘ３と、ダイオードＤ１，Ｄ２とに対応することになる。

[0030] インピーダンスＺａに対応する回路は、フィルタＦａと、可変コンデンサＶＣ１，ＶＣ２と、可変抵抗ＶＲ１～ＶＲ３と、ダイオードＤ３，Ｄ４とを有する。可変コンデンサＶＣ１、可変抵抗ＶＲ１及びダイオードＤ３は、並列接続される。可変コンデンサＶＣ２、可変抵抗ＶＲ２及びダイオードＤ４は、並列接続される。可変抵抗ＶＲ１と可変抵抗ＶＲ２との間には、可変抵抗ＶＲ３が直列接続される。フィルタＦａは、コンデンサＣ２及びコイルＬ２を有する。フィルタＦａは、ブリッジ回路５１が平衡条件を満たせるように、フィルタＦｃに対応するために接続されている。なお、可変コンデンサＶＣ１，ＶＣ２、及び、可変抵抗ＶＲ１～ＶＲ３は、それぞれバリコン（バリアブルコンデンサ）及びポテンショメータであってもよいし、複数の素子の接続がスイッチで切り替えられる方式であってもよい。

[0031] 導出回路部５０は、検流計Ｇの値に基づいて、可変コンデンサＶＣ１，ＶＣ２、及び、可変抵抗ＶＲ１～ＶＲ３を調整する制御部５５を有する。つまり、制御部５５は、検流計Ｇの値に基づいて、式（１）の平衡条件を満たすように、可変コンデンサＶＣ１，ＶＣ２、及び、可変抵抗ＶＲ１～ＶＲ３を調整する。制御部５５は、調整後の可変コンデンサＶＣ１，ＶＣ２、及び、可変抵抗ＶＲ１～ＶＲ３の各設定値を、導出したプラズマの等価回路のパラメータとして制御部３に出力する。また、制御部５５は、電圧源Ｖｂを制御して、測定信号を出力させる。

[0032] 図１の説明に戻る。波形検出器６０は、高周波印加ライン３５に接続され、高周波印加ライン３５を流れるソースＲＦ信号の波形（電圧波形）を検出する。波形検出器６０は、検出した波形の情報を制御部３に出力する。なお、波形の情報は、導出回路部５０に出力して導出回路部５０の図示しない記憶部に記憶されるようにしてもよい。また、波形検出器６０は、省略してもよいが、ＲＦ＿ＩＮから導出回路部５０に入力されるソースＲＦ信号の波形は、実際には、ＲＦ電源３１からの出力波形が歪められた波形になっている場合もあるため、波形検出器６０を設けることが好ましい。

[0033] 制御部３は、本開示において述べられる種々の工程をプラズマ処理装置２に実行させるコンピュータ実行可能な命令を処理する。制御部３は、ここで述べられる種々の工程を実行するようにプラズマ処理装置２の各要素を制御するように構成され得る。一実施形態において、制御部３の一部又は全てがプラズマ処理装置２に含まれてもよい。制御部３は、処理部３ａ１、記憶部３ａ２及び通信インターフェース３ａ３を含んでもよい。制御部３は、例えばコンピュータ３ａにより実現される。処理部３ａ１は、記憶部３ａ２からプログラムを読み出し、読み出されたプログラムを実行することにより種々の制御動作を行うように構成され得る。このプログラムは、予め記憶部３ａ２に格納されていてもよく、必要なときに、媒体を介して取得されてもよい。取得されたプログラムは、記憶部３ａ２に格納され、処理部３ａ１によって記憶部３ａ２から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ３ａに読み取り可能な種々の記憶媒体であってもよく、通信インターフェース３ａ３に接続されている通信回線であってもよい。処理部３ａ１は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）であってもよい。記憶部３ａ２は、ＲＡＭ（Random Access Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）、ＨＤＤ（Hard Disk Drive）、ＳＳＤ（Solid State Drive）、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。通信インターフェース３ａ３は、ＬＡＮ（Local Area Network）等の通信回線を介してプラズマ処理装置２との間で通信してもよい。

[0034] 制御部３には、導出回路部５０から等価回路のパラメータが入力され、波

形検出器６０から波形の情報が入力される。制御部３は、入力された等価回路のパラメータと、波形の情報とに基づいて、プラズマのシミュレーションを実行する。つまり、制御部３は、シミュレーション部の一例である。制御部３は、シミュレーションの結果として、等価回路におけるシース電圧を算出する。制御部３は、算出したシース電圧からプラズマの特性を表す評価パラメータを算出する。ここで、評価パラメータは、イオンエネルギー分布関数、イオン入射角度分布関数、及び、電子エネルギー分布関数のうち、少なくとも１つのパラメータである。なお、イオンエネルギー分布関数は、ＩＥＤＦ（Ion Energy Distribution Function）とも表し、イオン入射角度分布関数は、ＩＡＤＦ（Ion Angular Distribution Function）とも表す。また、電子エネルギー分布関数は、ＥＥＤＦ（Electron Energy Distribution Function）とも表す。また、評価パラメータでは、例えば、シース電圧として、基板Ｗを支持する基板支持部１１側のシース電圧を用いる。

[0035] ［等価回路のシミュレーション］

ここで、図４を用いて等価回路のシミュレーションについて説明する。図４は、本実施形態におけるプラズマの等価回路の一例を示す図である。図４に示す等価回路２００は、制御部３が実行するシミュレーションに用いるプラズマの等価回路である。等価回路２００は、基板支持部１１側の第１のシース電圧に相当する第１の要素２０１と、バルクプラズマに相当する第２の要素２０２と、基板Ｗと対向する対向電極（シャワーヘッド１３）側の第２のシース電圧に相当する第３の要素２０３とを有する。また、等価回路２００は、波形検出器６０で検出されたソースＲＦ信号の波形の情報に基づくＲＦ信号源Ｖｒと、ブロッキングコンデンサＢＣとを有する。なお、本実施形態では、基板支持部１１にソースＲＦ信号が供給され、シャワーヘッド１３が接地されている場合について説明する。

[0036] 第１の要素２０１は、容量成分Ｃｓと、抵抗成分Ｒｓと、ダイオードＤｓとの並列接続で表され、図３のコンデンサＣｘ１、抵抗Ｒｘ１及びダイオードＤ１に相当する要素になっている。第２の要素２０２は、抵抗成分Ｒｂで

表され、図３の抵抗Ｒｘ３に相当する要素になっている。第３の要素２０３は、容量成分Ｃｇと、抵抗成分Ｒｇと、ダイオードＤｇとの並列接続で表され、図３のコンデンサＣｘ２、抵抗Ｒｘ２及びダイオードＤ２に相当する要素になっている。また、第１の要素２０１、第２の要素２０２及び第３の要素２０３は、ＲＦ信号源Ｖｒ側から順に直列接続されている。ブロッキングコンデンサＢＣは、直流成分を遮断する。等価回路２００では、ブロッキングコンデンサＢＣと第１の要素２０１との接続部分が基板Wの電位となり、第１の要素２０１における電位差Ｖｓに基づいて、基板W直上のシース電圧が算出できる。すなわち、制御部３は、等価回路２００を用いることで、基板支持部１１側の第１のシース電圧が算出できる。これにより、基板Wへのイオン衝撃の定量的評価を行うことができる。また、制御部３は、シース電圧に基づいて、プラズマ処理チャンバ１０の側壁１０ａへのイオン衝撃の定量的評価を行うようにしてもよい。

[0037] また、制御部３は、算出された基板W直上のシース電圧の波形に基づいて、既知の計算手法を用いて数値解析を行うことにより、ＩＥＤＦ、ＩＡＤＦ及びＥＥＤＦを算出することができる。当該数値解析には、例えば、プラズマ処理チャンバ１０内の圧力、処理ガスの種類等の他の情報を用いてもよい。なお、プラズマの評価パラメータには、基板W直上のシース電圧を含んでもよい。

[0038] さらに、制御部３は、プラズマの電子密度が一様であるとした簡易モデルを用いることで、プラズマの電子密度ｎ及び電子温度T_eを算出するようにしてもよい。

[0039] [数1]

基板支持面上の平均的なシース厚さ$\bar{s}$は、下記の式(2)で表すことができる。

$$\bar{s} = \varepsilon_0 \frac{A}{C_s} \quad \cdots (2)$$

[0040] ここで、Ｃｓは、上述の第１の要素２０１の容量成分（シース容量）Ｃｓ

を表し、Ａは、基板支持部１１の基板支持面（中央領域１１１ａ）の面積Ａを表す。また、第２の要素２０２を流れる導電電流の振幅をＩ$_1$、ＲＦ信号源Ｖｒの角周波数をω、電気素量をｅとすると、電子密度ｎは、下記の式（３）で表すことができる。

[0041] [数2]

$$n = \frac{I_1}{e\omega \bar{s} A} \quad \cdots (3)$$

[0042] また、プラズマから基板支持部１１に流れ込むイオンの電流は、第１の要素２０１の抵抗成分Ｒｓを流れる電流の平均値とみなすことができる。従って、ボーム速度をｕ$_B$とすると、下記の式（４）の関係が成立する。また、ボーム速度ｕ$_B$は、ボルツマン定数ｋ$_B$、電子温度Ｔ$_e$及びイオン質量ｍ$_i$を用いて、下記の式（５）と表すことができる。

[0043] [数3]

$$u_B = \frac{enA}{\bar{I}_i} \quad \cdots (4)$$

ここで、$\bar{I}_i$ は、抵抗成分Rsを流れる電流の平均値を示す。

[数4]

$$u_B = \sqrt{k_B T_e / m_i} \quad \cdots (5)$$

[0044] プラズマ処理チャンバ１０内の処理ガスが単一のガスであり、イオン質量が既知の場合、制御部３は、下記の式（６）を用いて、基板Ｗ直上（基板支持部１１の基板支持面（中央領域１１１ａ）直上）の電子温度Ｔ$_e$を算出できる。

[0045] [数5]

$$T_e = \frac{m_i u_B^2}{k_B} = \frac{m_i}{k_B} \cdot \left(\frac{enA}{\bar{I}_i} \right)^2 \quad \cdots (6)$$

[0046] ［プラズマ評価方法］

次に、本実施形態に係るプラズマ評価方法について説明する。図５は、本実施形態におけるプラズマ評価処理の一例を示すフローチャートである。

[0047] プラズマ評価システム１の制御部３は、図示しないゲートバルブを制御することにより、図示しない搬入出口を開放する。基板Wは、搬入出口が開放されているときに、搬入出口を介してプラズマ処理チャンバ１０のプラズマ処理空間１０ｓに搬入され、基板支持部１１に支持される（ステップＳ１）。制御部３は、ゲートバルブを制御することにより、搬入出口を閉鎖する。制御部３は、プラズマ生成前に、基板支持部１１の静電チャック容量及びＲＦ給電ロッド等の寄生容量等を測定する。なお、これらのパラメータは、予め他の測定器によって測定されてもよい。

[0048] 制御部３は、排気システム４０を制御することにより、プラズマ処理チャンバ１０内の圧力を所定の圧力に減圧させる。制御部３は、ガス供給部２０を制御することにより、複数のガス導入口１３ｃから、処理ガスをプラズマ処理チャンバ１０に供給させる。なお、処理ガスは、例えば、Ａｒガス等の不活性ガスやその他の処理ガスである。制御部３は、第１のＲＦ生成部３１ａを制御して、所定の電力でプラズマを着火させる。つまり、制御部３は、プラズマ処理チャンバ１０内にプラズマを生成させる（ステップＳ２）。

[0049] 制御部３は、プラズマの着火後に、導出回路部５０を制御して、プラズマの等価回路を導出する（ステップＳ３）。導出回路部５０は、導出した等価回路のパラメータを制御部３に出力する。また、制御部３は、波形検出器６０から検出した波形の情報を取得する。なお、等価回路の導出及び波形の情報の取得は、プラズマ処理チャンバ１０の経時変化を取得するために、一定の期間をおいて繰り返し行われてもよい。導出した等価回路のパラメータ及び波形の情報は、導出回路部５０の図示しない記憶部に記憶され、シミュレーションの実行時に制御部３により読み出されるようにしてもよい。

[0050] 制御部３は、入力された等価回路のパラメータと、波形の情報とに基づい

て、プラズマのシミュレーションを実行する（ステップＳ４）。制御部３は、シミュレーションの結果として、等価回路におけるシース電圧を算出する。制御部３は、算出したシース電圧からプラズマの評価パラメータを算出する（ステップＳ５）。

[0051] 制御部３は、等価回路の導出又はプラズマの評価パラメータの算出、又はプロセス処理が完了すると、ソースＲＦ信号を停止させてプラズマの生成を停止させる。また、制御部３は、ゲートバルブを制御することにより、搬入出口を開放する。制御部３は、図示しない基板支持ピンを基板支持部１１の基板支持面から突出させて基板Ｗを持ち上げるようにプラズマ処理装置２を制御する。基板Ｗは、搬入出口が開放されているときに、搬入出口を介して図示しない搬送室のアームによりプラズマ処理チャンバ１０内から搬出される。つまり、制御部３は、プラズマ処理チャンバ１０内から基板Ｗを搬出するようプラズマ処理装置２を制御する（ステップＳ６）。このように、プラズマの等価回路を導出してシース電圧を算出するので、プラズマ内に測定器を入れることなく、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出することができる。また、プラズマ処理装置２において機差が生じた場合に、処理ガスを導入した状態でリアルタイムに確認しながら高周波電源（例えば、第１のＲＦ生成部３１ａ）を調整することができる。

[0052] 以上、本実施形態によれば、プラズマ評価システム１は、プラズマ処理装置２と、導出回路部５０と、シミュレータ部（制御部３）とを有する。導出回路部５０は、プラズマ処理装置２のプラズマ生成用の高周波印加ライン３５に接続され、生成されたプラズマの等価回路２００を導出する。シミュレータ部は、導出回路部５０で導出された等価回路２００のパラメータに基づいて、プラズマのシミュレーションを実行することで、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出する。その結果、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出することができる。

[0053] また、本実施形態によれば、プラズマ評価システム１は、高周波印加ライン３５に接続された波形検出器６０をさらに有する。シミュレータ部は、等

価回路のパラメータと、波形検出器６０で検出された波形とに基づいて、シミュレーションを行うことで、評価パラメータを算出する。その結果、評価パラメータの算出精度を向上させることができる。

[0054] また、本実施形態によれば、導出回路部５０は、ブリッジ回路５１を構成可能な回路を備え、ブリッジ回路５１を用いて等価回路２００を導出する。その結果、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出することができる。

[0055] また、本実施形態によれば、導出回路部５０は、プラズマ生成用の高周波と異なる周波数の測定信号を出力する電圧源Ｖｂを備える。その結果、測定信号を用いてプラズマの等価回路２００を導出することができる。

[0056] また、本実施形態によれば、高周波印加ライン３５の高周波電源（第１のＲＦ生成部３１ａ）側に対して測定信号を遮断する第１のフィルタ（フィルタ３４）をさらに有する。その結果、測定信号が高周波電源側に漏出することを抑制することができる。

[0057] また、本実施形態によれば、第１のフィルタは、プラズマ処理装置２（電源３０）に設けられる。その結果、測定信号が高周波電源側に漏出することを抑制することができる。

[0058] また、本実施形態によれば、第１のフィルタは、導出回路部５０に設けられる。その結果、測定信号が高周波印加ライン３５側に漏出することを抑制することができる。

[0059] また、本実施形態によれば、導出回路部５０は、ブリッジ回路５１において、プラズマ生成用の高周波（ソースＲＦ信号）を遮断する第２のフィルタ（フィルタＦｃ）を備える。その結果、ソースＲＦ信号がブリッジ回路５１の電圧源Ｖｂ側に漏出することを抑制することができる。

[0060] また、本実施形態によれば、等価回路２００は、基板Ｗを支持する基板支持部１１側の第１のシース電圧に相当する第１の要素２０１と、バルクプラズマに相当する第２の要素２０２と、基板Ｗと対向する対向電極（シャワーヘッド１３）側の第２のシース電圧に相当する第３の要素２０３とを含む。その結果、プラズマ処理チャンバ１０内のプラズマをシミュレーションする

ことができる。

[0061] また、本実施形態によれば、プラズマ評価方法は、プラズマ処理装置２のチャンバ（プラズマ処理チャンバ１０）内にプラズマを生成する工程と、プラズマ処理装置２のプラズマ生成用の高周波印加ライン３５に接続された導出回路部５０により、生成されたプラズマの等価回路２００を導出する工程と、導出回路部５０で導出された等価回路２００のパラメータに基づいて、プラズマのシミュレーションを実行することで、等価回路２００におけるシース電圧を算出する工程と、シース電圧からプラズマの特性を表す評価パラメータを算出する工程とを有する。その結果、プラズマの特性を表す評価パラメータを算出することができる。

[0062] また、本実施形態によれば、シミュレーションは、プラズマを生成した際のプラズマ生成用の電圧波形と同等の電圧波形を等価回路２００に印加するものとして実行する。その結果、評価パラメータの算出精度を向上させることができる。

[0063] また、本実施形態によれば、評価パラメータは、イオンエネルギー分布関数、イオン入射角度分布関数、及び、電子エネルギー分布関数のうち、少なくとも１つのパラメータである。その結果、生成されたプラズマを評価することができる。

[0064] また、本実施形態によれば、シース電圧は、基板Wを支持する基板支持部１１側のシース電圧である。その結果、基板W直上のプラズマを評価することができる。

[0065] 今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

[0066] また、上記した実施形態では、下部電極である基板支持部１１にソースＲＦ信号を供給し、上部電極であるシャワーヘッド１３を接地した形態を説明したが、これに限定されない。例えば、基板支持部１１にソースＲＦ信号を

供給し、シャワーヘッド１３をＬＣ回路を介して接地する形態としてもよい。この場合、ＬＣ回路を設けることで、ソースＲＦ信号をシャワーヘッド１３により引き込むことができる。また、例えば、基板支持部１１及びシャワーヘッド１３に、ソースＲＦ信号及びバイアスＲＦ信号のうち１つ以上のＲＦ信号をそれぞれ供給する形態としてもよい。この場合、導出回路部５０は、基板支持部１１及びシャワーヘッド１３のうち、いずれか一方の高周波印加ラインに接続されてもよいし、両方の高周波印加ラインに接続されてもよい。また、例えば、シャワーヘッド１３にソースＲＦ信号を供給し、基板支持部１１を接地する形態としてもよい。また、例えば、シャワーヘッド１３にソースＲＦ信号を供給し、基板支持部１１をＬＣ回路を介して接地する形態としてもよい。

[0067] また、上記した実施形態では、下部電極である基板支持部１１は、静電チャック１１１１が誘電体であるセラミック部材１１１１ａで覆われていたが、これに限定されない。例えば、基板支持部１１の基板支持面が導電性部材であり、基台１１１０と接続されてもよい。

[0068] なお、本開示は以下のような構成も取ることができる。

（１）

プラズマ処理装置と、

前記プラズマ処理装置のプラズマ生成用の高周波印加ラインに接続され、生成されたプラズマの等価回路を導出する導出回路部と、

前記導出回路部で導出された前記等価回路のパラメータに基づいて、前記プラズマのシミュレーションを実行することで、前記プラズマの特性を表す評価パラメータを算出するシミュレータ部と、

を有するプラズマ評価システム。

（２）

前記高周波印加ラインに接続された波形検出器をさらに有し、

前記シミュレータ部は、前記等価回路のパラメータと、前記波形検出器で検出された波形とに基づいて、前記シミュレーションを行うことで、前記評

価パラメータを算出する、

前記（１）に記載のプラズマ評価システム。

（３）

前記導出回路部は、ブリッジ回路を備え、前記ブリッジ回路を用いて前記等価回路を導出する、

前記（１）又は（２）に記載のプラズマ評価システム。

（４）

前記導出回路部は、前記プラズマ生成用の高周波と異なる周波数の測定信号を出力する電圧源を備える、

前記（１）～（３）のいずれか１つに記載のプラズマ評価システム。

（５）

前記高周波印加ラインの高周波電源側に対して前記測定信号を遮断する第１のフィルタをさらに有する、

前記（４）に記載のプラズマ評価システム。

（６）

前記第１のフィルタは、前記プラズマ処理装置に設けられる、

前記（５）に記載のプラズマ評価システム。

（７）

前記第１のフィルタは、前記導出回路部に設けられる、

前記（５）に記載のプラズマ評価システム。

（８）

前記導出回路部は、前記ブリッジ回路において、前記プラズマ生成用の高周波を遮断する第２のフィルタを備える、

前記（３）に記載のプラズマ評価システム。

（９）

前記等価回路は、基板を支持する基板支持部側の第１のシース電圧に相当する第１の要素と、バルクプラズマに相当する第２の要素と、前記基板と対向する対向電極側の第２のシース電圧に相当する第３の要素とを含む、

前記（１）～（８）のいずれか１つに記載のプラズマ評価システム。

（１０）

プラズマ処理装置のチャンバ内にプラズマを生成する工程と、

前記プラズマ処理装置のプラズマ生成用の高周波印加ラインに接続された導出回路部により、生成された前記プラズマの等価回路を導出する工程と、

前記導出回路部で導出された前記等価回路のパラメータに基づいて、前記プラズマのシミュレーションを実行することで、前記等価回路におけるシース電圧を算出する工程と、

前記シース電圧から前記プラズマの特性を表す評価パラメータを算出する工程と、

を有するプラズマ評価方法。

（１１）

前記シミュレーションは、前記プラズマを生成した際のプラズマ生成用の電圧波形と同等の電圧波形を前記等価回路に印加するものとして実行する、

前記（１０）に記載のプラズマ評価方法。

（１２）

前記評価パラメータは、イオンエネルギー分布関数、イオン入射角度分布関数、及び、電子エネルギー分布関数のうち、少なくとも１つのパラメータである、

前記（１０）又は（１１）に記載のプラズマ評価方法。

（１３）

前記シース電圧は、基板を支持する基板支持部側のシース電圧である、

前記（１０）～（１２）のいずれか１つに記載のプラズマ評価方法。

符号の説明

[0069] １　プラズマ評価システム

２　プラズマ処理装置

３　制御部

１０　プラズマ処理チャンバ

１１　基板支持部

１３　シャワーヘッド

３０　電源

３１ａ　第１のＲＦ生成部

３４，Ｆｃ　フィルタ

３５　高周波印加ライン

５０　導出回路部

５１　ブリッジ回路

６０　波形検出器

２００　等価回路

２０１　第１の要素

２０２　第２の要素

２０３　第３の要素

Ｖｂ　電圧源

Ｖｒ　ＲＦ信号源

Ｗ　基板

請求の範囲

[請求項1] プラズマ処理装置と、

前記プラズマ処理装置のプラズマ生成用の高周波印加ラインに接続され、生成されたプラズマの等価回路を導出する導出回路部と、

前記導出回路部で導出された前記等価回路のパラメータに基づいて、前記プラズマのシミュレーションを実行することで、前記プラズマの特性を表す評価パラメータを算出するシミュレータ部と、

を有するプラズマ評価システム。

[請求項2] 前記高周波印加ラインに接続された波形検出器をさらに有し、

前記シミュレータ部は、前記等価回路のパラメータと、前記波形検出器で検出された波形とに基づいて、前記シミュレーションを行うことで、前記評価パラメータを算出する、

請求項１に記載のプラズマ評価システム。

[請求項3] 前記導出回路部は、ブリッジ回路を構成可能な回路を備え、前記ブリッジ回路を用いて前記等価回路を導出する、

請求項１又は２に記載のプラズマ評価システム。

[請求項4] 前記導出回路部は、前記プラズマ生成用の高周波と異なる周波数の測定信号を出力する電圧源を備える、

請求項１又は２に記載のプラズマ評価システム。

[請求項5] 前記高周波印加ラインの高周波電源側に対して前記測定信号を遮断する第１のフィルタをさらに有する、

請求項４に記載のプラズマ評価システム。

[請求項6] 前記第１のフィルタは、前記プラズマ処理装置に設けられる、

請求項５に記載のプラズマ評価システム。

[請求項7] 前記第１のフィルタは、前記導出回路部に設けられる、

請求項５に記載のプラズマ評価システム。

[請求項8] 前記導出回路部は、前記ブリッジ回路において、前記プラズマ生成用の高周波を遮断する第２のフィルタを備える、

請求項３に記載のプラズマ評価システム。

[請求項9] 前記等価回路は、基板を支持する基板支持部側の第１のシース電圧に相当する第１の要素と、バルクプラズマに相当する第２の要素と、前記基板と対向する対向電極側の第２のシース電圧に相当する第３の要素とを含む、

請求項１又は２に記載のプラズマ評価システム。

[請求項10] プラズマ処理装置のチャンバ内にプラズマを生成する工程と、

前記プラズマ処理装置のプラズマ生成用の高周波印加ラインに接続された導出回路部により、生成された前記プラズマの等価回路を導出する工程と、

前記導出回路部で導出された前記等価回路のパラメータに基づいて、前記プラズマのシミュレーションを実行することで、前記等価回路におけるシース電圧を算出する工程と、

前記シース電圧から前記プラズマの特性を表す評価パラメータを算出する工程と、

を有するプラズマ評価方法。

[請求項11] 前記シミュレーションは、前記プラズマを生成した際のプラズマ生成用の電圧波形と同等の電圧波形を前記等価回路に印加するものとして実行する、

請求項１０に記載のプラズマ評価方法。

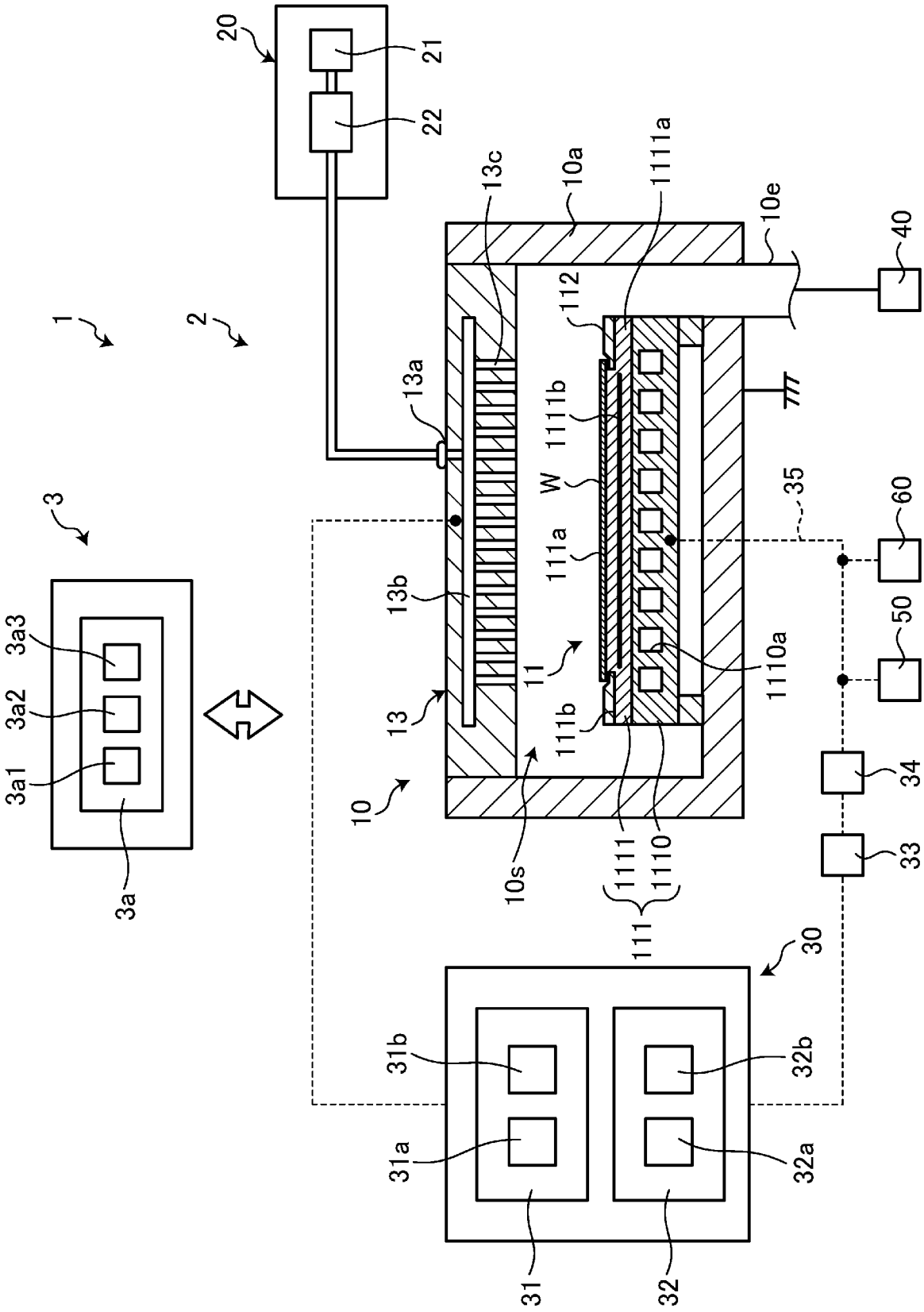
[請求項12] 前記評価パラメータは、イオンエネルギー分布関数、イオン入射角度分布関数、及び、電子エネルギー分布関数のうち、少なくとも１つのパラメータである、

請求項１０又は１１に記載のプラズマ評価方法。

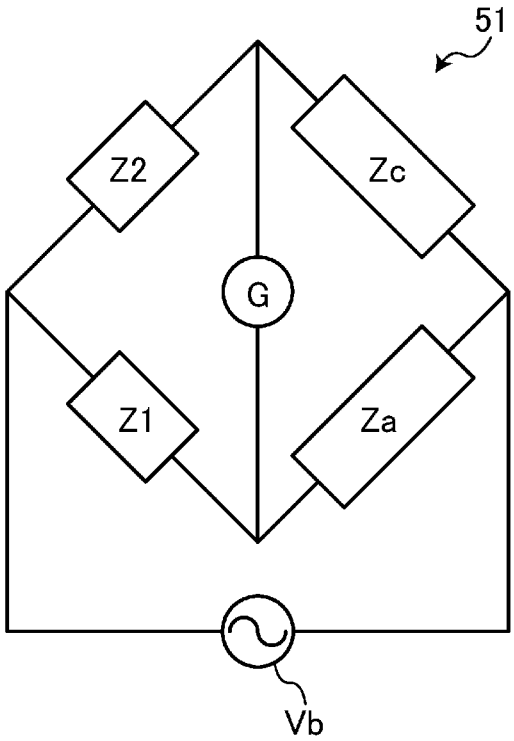
[請求項13] 前記シース電圧は、基板を支持する基板支持部側のシース電圧である、

請求項１０又は１１に記載のプラズマ評価方法。

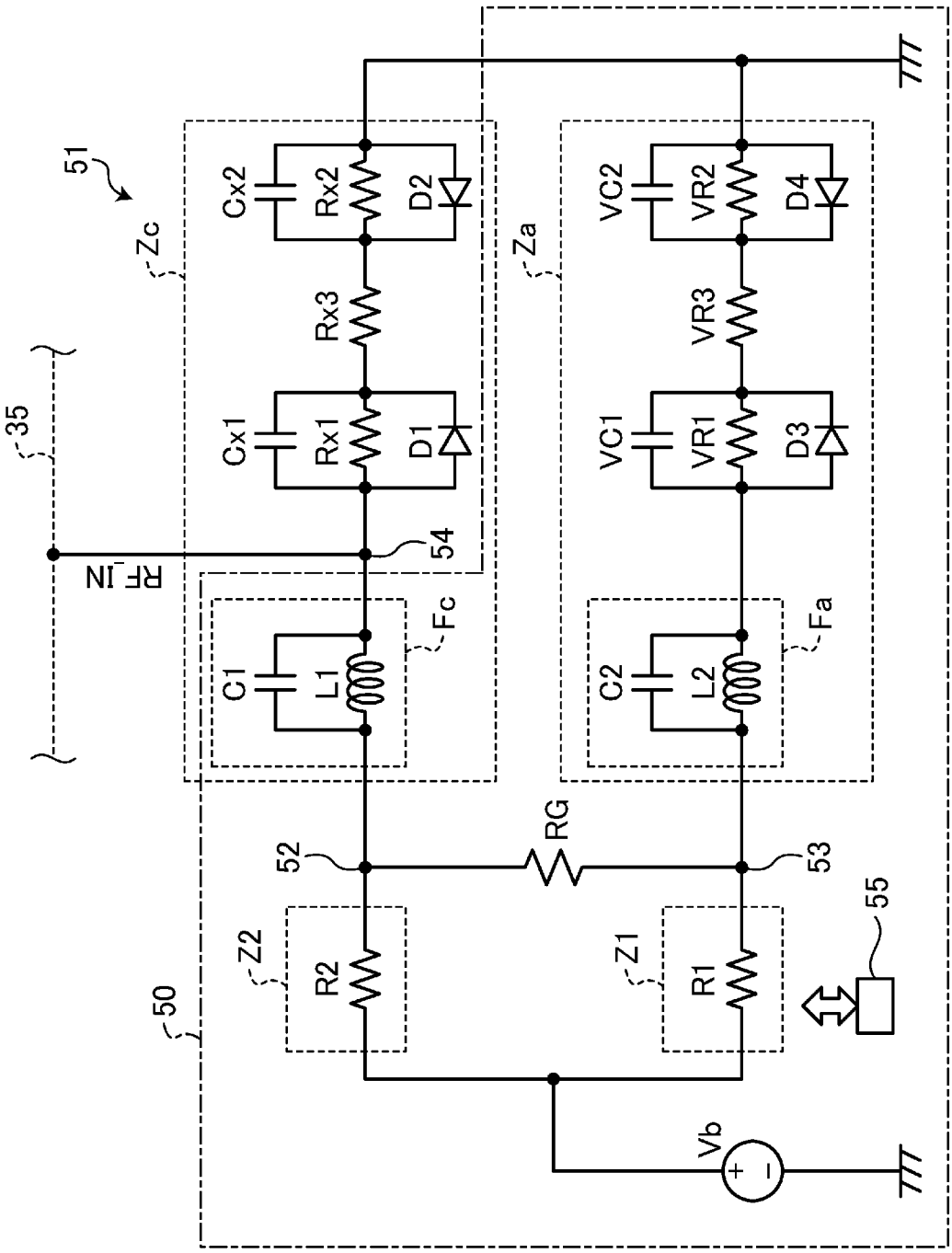
[図1]


20
21
22
1
2
3
3a3
3a2
3a1
3a
13c
10a
1111a
10e
40
112
13a
1111b
W
111a
13b
13
11
111b
10
10s
1111
1110
111
1110a
35
60
50
34
33
30
31b
31a
32b
32a
31
32

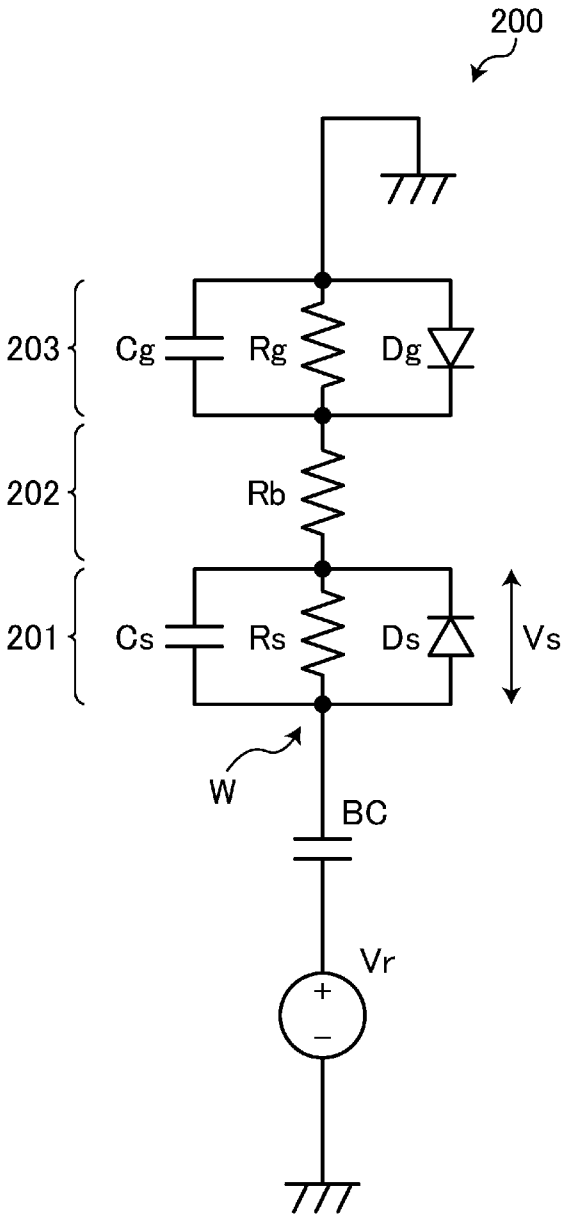
[図2]



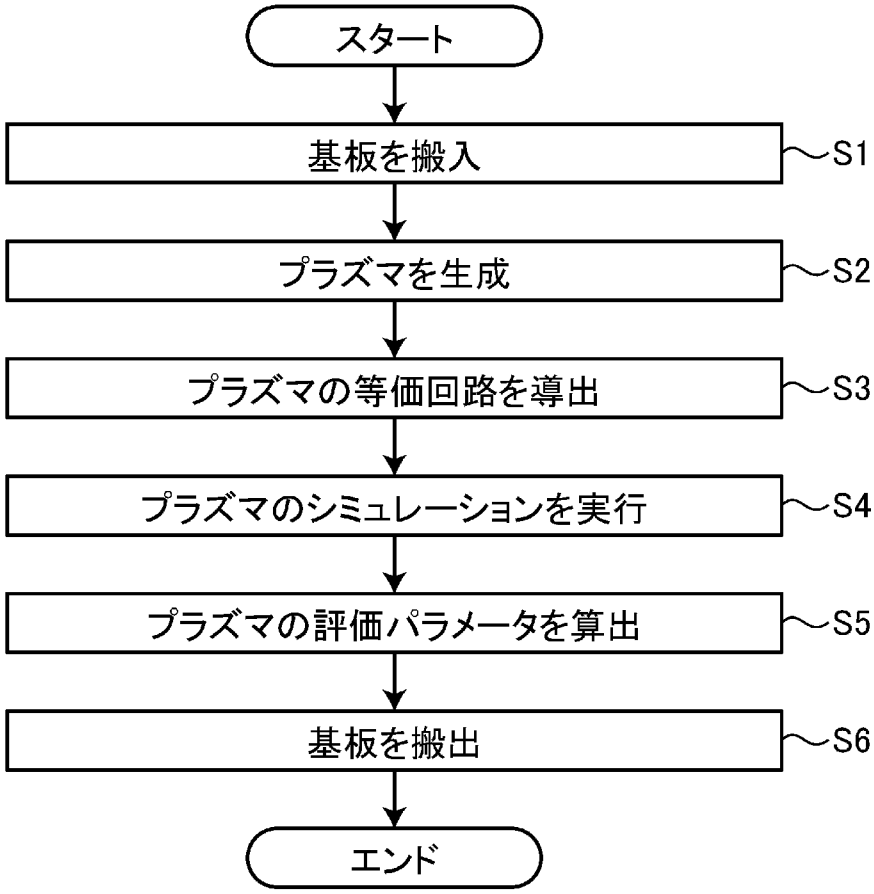
[図3]


51
Zc
Cx2
Rx2
D2
Rx3
Cx1
Rx1
D1
35
RF_IN
54
C1
L1
Fc
Za
VC2
VR2
D4
VR3
VC1
VR1
D3
C2
L2
Fa
RG
52
53
55
Z2
R2
Z1
R1
50
Vb

[図4]



[図5]


スタート
基板を搬入
S1
プラズマを生成
S2
プラズマの等価回路を導出
S3
プラズマのシミュレーションを実行
S4
プラズマの評価パラメータを算出
S5
基板を搬出
S6
エンド

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/038272

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H 1/00(2006.01)i; ***H01L 21/3065***(2006.01)i; ***H05H 1/46***(2006.01)i
FI: H05H1/00 A; H05H1/46 M; H05H1/46 R; H01L21/302 103; H01L21/302 101B

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05H1/00-1/54; H01L21/302; H01L21/3065; H01L21/461

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007-335875 A (APPLIED MATERIALS INC.) 27 December 2007 (2007-12-27) paragraphs [0010]-[0053], fig. 1C-3	1-2, 4-7, 9-13
Y		3, 8
Y	JP 2013-518370 A (KLA-TENCOR CORPORATION) 20 May 2013 (2013-05-20) paragraphs [0012]-[0016], fig. 1	3, 8
A	JP 2019-71270 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 09 May 2019 (2019-05-09) paragraphs [0062]-[0068], fig. 5	1-13
A	JP 2005-142582 A (HITACHI, LTD.) 02 June 2005 (2005-06-02) paragraphs [0031]-[0052], fig. 1-3	1-13
A	CN 1780522 A (DALIAN SCIENCE AND ENGINEERING UNIV) 31 May 2006 (2006-05-31) fig. 1-5	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
29 November 2024	**10 December 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/038272

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2007-335875 A	27 December 2007	US 7286948 B1 column 2, line 51 to column 10, line 16, fig. 1C-3 KR 10-2007-0120027 A CN 101090597 A	
JP 2013-518370 A	20 May 2013	US 2011/0174777 A1 paragraphs [0020]-[0024], fig. 1 WO 2011/090850 A2 EP 2526743 A2 CN 102771194 A KR 10-2012-0118006 A	
JP 2019-71270 A	09 May 2019	US 2019/0108979 A1 paragraphs [0080]-[0087], fig. 5 CN 109659215 A KR 10-2019-0040475 A	
JP 2005-142582 A	02 June 2005	US 2001/0025691 A1 paragraphs [0041]-[0074], fig. 1-3 KR 10-2001-0092676 A	
CN 1780522 A	31 May 2006	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/038272

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H05H 1/00(2006.01)i; H01L 21/3065(2006.01)i; H05H 1/46(2006.01)i
FI: H05H1/00 A; H05H1/46 M; H05H1/46 R; H01L21/302 103; H01L21/302 101B

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H05H1/00-1/54; H01L21/302; H01L21/3065; H01L21/461

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2007-335875 A (アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド) 27.12.2007 (2007-12-27) 段落[0010]-[0053], 図1C-3	1-2,4-7, 9-13
Y		3, 8
Y	JP 2013-518370 A (ケーエルエー　テンカー コーポレイション) 20.05.2013 (2013-05-20) 段落[0012]-[0016], 図1	3, 8
A	JP 2019-71270 A (東京エレクトロン株式会社) 09.05.2019 (2019-05-09) 段落[0062]-[0068], 図5	1-13
A	JP 2005-142582 A (株式会社日立製作所) 02.06.2005 (2005-06-02) 段落[0031]-[0052], 図1-3	1-13
A	CN 1780522 A (DALIAN SCIENCE AND ENGINEERING UNIV.) 31.05.2006 (2006-05-31) 図1-5	1-13

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"D" 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
29.11.2024	10.12.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

坂上　大貴 2G 1567

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/038272

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2007-335875 A	27.12.2007	US 7286948 B1 第2欄第51行-第10欄第16行, 図1C-3 KR 10-2007-0120027 A CN 101090597 A	
JP 2013-518370 A	20.05.2013	US 2011/0174777 A1 段落[0020]-[0024], 図1 WO 2011/090850 A2 EP 2526743 A2 CN 102771194 A KR 10-2012-0118006 A	
JP 2019-71270 A	09.05.2019	US 2019/0108979 A1 段落[0080]-[0087], 図5 CN 109659215 A KR 10-2019-0040475 A	
JP 2005-142582 A	02.06.2005	US 2001/0025691 A1 段落[0041]-[0074], 図1-3 KR 10-2001-0092676 A	
CN 1780522 A	31.05.2006	（ファミリーなし）	