

(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
2024年5月23日(23.05.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/106256 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) *H05H 1/46* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/039941
- (22) 国際出願日: 2023年11月6日(06.11.2023)
- (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 2022-184995 2022年11月18日(18.11.2022) 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 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 奥水 地 塩 (KOSHIMIZU Chishio); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 上坂 友佑人(KOSAKA Yuto); 〒9813629

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP).

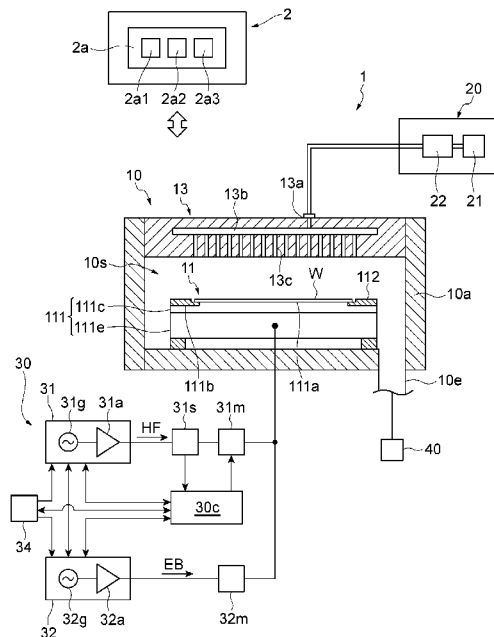
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, 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,

(54) Title: PLASMA PROCESSING DEVICE AND PLASMA PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) Abstract: This plasma processing device comprises a chamber, a substrate-supporting part, a high-frequency power source, and a bias power source. The substrate-supporting part is provided inside the chamber. The high-frequency power source is configured such that source high-frequency power is supplied during a first partial period, which includes the rise time of the source high-frequency power, and a second partial period, which follows the first partial period. The bias power source is configured such that electrical bias pulses are supplied to the substrate support part during the first partial period, and the supply of the electrical bias is paused from the end of the electrical bias pulse supply until at least a point of time between the second partial period start time and end time.

(57) 要約: 開示されるプラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持部、高周波電源、及びバイアス電源を含む。基板支持部は、チャンバ内に設けられている。高周波電源は、ソース高周波電力を、ソース高周波電力の立ち上がり時を含む第1の部分期間と該第1の部分期間に続く第2の部分期間において供給するように構成されている。バイアス電源は、第1の部分期間において電気バイアスのパルスを基板支持部に供給し、電気バイアスのパルスの供給の終了時から少なくとも第2の部分期間の開始時点と終了時点との間の時点まで、電気バイアスの供給を停止するように構成されている。



WO 2024/106256 A1

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))

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

技術分野

[0001] 本開示の例示的实施形態は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関するものである。

背景技術

[0002] プラズマ処理装置が、基板に対するプラズマ処理において用いられている。プラズマ処理装置は、ソース高周波電力を供給することによりチャンバ内でガスからプラズマを生成する。プラズマ処理装置は、チャンバ内で生成されたプラズマからイオンを基板に引き込むために、バイアス高周波電力を用いる。下記の特許文献1は、バイアス高周波電力のパワーレベル及び周波数を変調するプラズマ処理装置を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2009-246091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、ソース高周波電力の反射を高速に低減させる技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 一つの例示的实施形態において、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持部、高周波電源、及びバイアス電源を含む。基板支持部は、チャンバ内に設けられている。高周波電源は、チャンバに電氣的に結合されており、チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力を発生するように構成されている。バイアス電源は、基板支持部に電氣的に結合されており、基板支持部にイオンを引き込むための電気バイアスを発生するように構成されている。高周波電源は、ソース高周波電力を、該ソース高周波電力の立ち上がり時を含む第1の部分期間と該第1の部分

期間に続く第2の部分期間において供給するように構成されている。バイアス電源は、第1の部分期間において電気バイアスのパルスを基板支持部に供給し、電気バイアスのパルスの供給の終了時から少なくとも第2の部分期間の開始時点と終了時点との間の時点まで、電気バイアスの供給を停止するように構成されている。

発明の効果

[0006] 一つの例示的实施形態によれば、ソース高周波電力の反射を高速に低減させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]プラズマ処理システムの構成例を説明するための図である。

[図2]容量結合型のプラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。

[図3]容量結合型のプラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。

[図4]図4(a)及び図4(b)の各々は、電気バイアスの波形の例を示す図である。

[図5]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置に関連する一例のタイミングチャートである。

[図6]図6(a)～図6(e)の各々は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置におけるソース周波数の時間変化を示す図である。

[図7]図7(a)～図7(e)の各々は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置におけるソース周波数の時間変化を示す図である。

[図8]図8(a)～図8(e)の各々は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置におけるソース周波数の時間変化を示す図である。

[図9]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。

[図10]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置に関連する別の例のタイミングチャートである。

[図11]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置に関連する更に別の例のタイミングチャートである。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、図面を参照して種々の例示的实施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

[0009] 図1は、プラズマ処理システムの構成例を説明するための図である。一実施形態において、プラズマ処理システムは、プラズマ処理装置1及び制御部2を含む。プラズマ処理装置1は、プラズマ処理チャンバ10、基板支持部11及びプラズマ生成部12を含む。プラズマ処理チャンバ10は、プラズマ処理空間を有する。また、プラズマ処理チャンバ10は、少なくとも一つの処理ガスをプラズマ処理空間に供給するための少なくとも一つのガス供給口と、プラズマ処理空間からガスを排出するための少なくとも一つのガス排出口とを有する。ガス供給口は、後述するガス供給部20に接続され、ガス排出口は、後述する排気システム40に接続される。基板支持部11は、プラズマ処理空間内に配置され、基板を支持するための基板支持面を有する。

[0010] プラズマ生成部12は、プラズマ処理空間内に供給された少なくとも一つの処理ガスからプラズマを生成するように構成される。プラズマ処理空間において形成されるプラズマは、容量結合プラズマ(CCP; Capacitively Coupled Plasma)、誘導結合プラズマ(ICP; Inductively Coupled Plasma)、ECRプラズマ(Electron-Cyclotron-resonance plasma)、ヘリコン波励起プラズマ(HWP: Helicon Wave Plasma)、又は、表面波プラズマ(SWP: Surface Wave Plasma)等であってもよい。また、AC(Alternating Current)プラズマ生成部及びDC(Direct Current)プラズマ生成部を含む、種々のタイプのプラズマ生成部が用いられてもよい。

[0011] 制御部2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1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2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1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2の一部又は全てがプラズマ処理装置1に含まれてもよい。制御部2は、例えばコンピュータ2aを含んでもよい。コンピュータ2aは、例えば、処理部(CPU: Central Processing Unit)2a1、記憶部2a2、及び通信インタフェース2a3を含んでもよい。処理部2a1は、記憶部2a2に格納されたプログラムに基づいて種々の制御動作を行うように構成され得る。記憶部2a2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。通信インタフェース2a3は、LAN(Local Area Network)等の通信回線を介してプラズマ処理装置1との間で通信してもよい。

[0012] 以下に、プラズマ処理装置1の一例としての容量結合型のプラズマ処理装置の構成例について説明する。図2及び図3の各々は、容量結合型のプラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。

[0013] 容量結合プラズマ処理装置1は、プラズマ処理チャンバ10、ガス供給部20、電源システム30、及び排気システム40を含む。また、プラズマ処理装置1は、基板支持部11及びガス導入部を含む。ガス導入部は、少なくとも一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。側壁10a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の筐体とは電氣的に絶縁される。

[0014] 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（ウェハ）Wを支持するための中央領域（基板支持面）111aと、リングアセンブリ112を支持するための環状領域（リング支持面）111bとを有する。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111a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。一実施形態において、本体部111は、基台111e及び静電チャック111cを含む。基台111eは、導電性部材を含む。基台111eの導電性部材は下部電極として機能する。静電チャック111cは、基台111eの上に配置される。静電チャック111cの上面は、基板支持面111aを有する。リングアセンブリ112は、1又は複数の環状部材を含む。1又は複数の環状部材のうち少なくとも一つはエッジリングである。また、図示は省略するが、基板支持部11は、静電チャック111c、リングアセンブリ112、及び基板Wのうち少なくとも一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、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。流路には、ブラインやガスのような伝熱流体が流れる。また、基板支持部11は、基板Wの裏面と基板支持面111aとの間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からの少なくとも一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、少なくとも一つのガス供給口13a、少なくとも一つのガス拡散室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、導電性部材を含む。シャワーヘッド13の導電性部材は上部電極として機能する。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、一つ以上のガスソース21及び少なくとも一つ以上の流量制御器22を含んでもよい。一実施形態において、ガス供給部20は、一つ以上の処理ガスを、それぞれに対応のガスソース21からそれぞれに対応の流量制御器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、一つ以上の処理ガスの流量を変調又はパルス化する一つ以上の流量変調デバイスを含んでもよい。

[0017] 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。

[0018] プラズマ処理装置1は、電源システム30を更に備える。電源システム30は、高周波電源31及び制御部30cを含んでいる。電源システム30は、バイアス電源32を更に含んでもよい。電源システム30は、一つ以上のセンサ31sを更に含んでもよい。

[0019] 高周波電源31は、チャンバ(プラズマ処理チャンバ10)に電氣的に結合されており、当該チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力HFを発生するように構成されている。ソース高周波電力HFは、ソース周波数 f_s を有する。ソース周波数 f_s は、例えば、13MHz以上、200MHz以下の範囲内の周波数である。ソース周波数 f_s は、27MHz、40、68MHz、60MHz、又は100MHzに設定されてもよい。ソース高周波電力HFのパワーレベルは、例えば、500W以上、20kW以下である。

[0020] 一実施形態において、高周波電源31は、高周波信号発生器31g及び増

幅器 31 a を含んでいてもよい。高周波信号発生器 31 g は、高周波信号を発生する。増幅器 31 a は、高周波信号発生器 31 g から入力される高周波信号を増幅することによりソース高周波電力 HF を生成して、ソース高周波電力 HF を出力する。なお、高周波信号発生器 31 g は、プログラム可能なプロセッサ又は F P G A のようなプログラム可能なロジックデバイスから構成されていてもよい。また、高周波信号発生器 31 g と増幅器 31 a との間には、D / A 変換器が接続されていてもよい。

[0021] 高周波電源 31 は、整合器 31 m を介して高周波電極に接続されている。基台 111 e は、一実施形態において高周波電極を構成する。別の実施形態において、高周波電極は、静電チャック 111 c の中に設けられた電極であってもよい。高周波電極は、後述するバイアス電極と共通の電極であってもよい。或いは、高周波電極は、上部電極であってもよい。整合器 31 m は、整合回路を含んでいる。整合器 31 m の整合回路は、可変インピーダンスを有する。整合器 31 m の整合回路は、制御部 30 c によって制御される。整合器 31 m の整合回路のインピーダンスは、負荷側のインピーダンスを高周波電源 31 の出力インピーダンスに整合させるように調整される。一実施形態において、ソース高周波電力 HF が供給されているときの整合器 31 m の整合回路のインピーダンスは、後述する第 2 の部分期間 $S P_2$ においてプラズマが定常状態であるとき、即ち、ソース高周波電力 HF の反射が抑制されているか収束しているときの負荷側のインピーダンスを高周波電源 31 の出力インピーダンスに整合させるように、設定される。

[0022] 一つ以上のセンサ 31 s は、高周波電源 31 と整合器 31 m との間で接続されていてもよい。或いは、一つ以上のセンサ 31 s は、整合器 31 m からバイアス電極に向けて延びる電氣的パスとバイアス電源 32 又は後述の整合器 32 m からバイアス電極に向けて延びる電氣的パスとの合流点とバイアス電極との間で接続されていてもよい。或いは、一つ以上のセンサ 31 s は、当該合流点と整合器 31 m との間で接続されていてもよい。なお、一つ以上のセンサ 31 s は、整合器 31 m から分離されたセンサであってもよく、或

いは、整合器 31m の一部であってもよい。

[0023] 一つ以上のセンサ 31s は、方向性結合器を含んでいてもよい。方向性結合器は、高周波電源 31 の負荷から戻されるソース高周波電力 HF の反射波のパワーレベルを検出し、検出した反射波のパワーレベルを制御部 30c に通知するように構成されている。

[0024] また、一つ以上のセンサ 31s は、V I センサを含んでいてもよい。V I センサは、ソース高周波電力の電圧 V_{HF} 及び電流 I_{HF} を検出し、電圧 V_{HF} 及び電流 I_{HF} から高周波電源 31 の負荷側のインピーダンス Z_L を特定するように構成されている。V I センサは、電圧 V_{HF} と電流 I_{HF} との間の位相差を特定するように構成されていてもよい。

[0025] バイアス電源 32 は、バイアス電極に電氣的に結合されている。基台 111e は、一実施形態においてバイアス電極を構成する。別の実施形態において、バイアス電極は、静電チャック 111c の中に設けられた電極であってもよい。バイアス電源 32 は、電気バイアス EB（又はバイアスエネルギー）をバイアス電極に与えるように構成されている。

[0026] 以下、図 1～図 3 と共に図 4（a）及び図 4 の（b）を参照する。図 4（a）及び図 4 の（b）の各々は、電気バイアスの波形の例を示す図である。バイアス電源 32 は、波形周期 CY を有する電気バイアス EB をバイアス電極に周期的に与えるように構成されている。即ち、電気バイアス EB は、波形周期 CY の繰り返しである複数の波形周期 CY の各々においてバイアス電極に与えられる。波形周期 CY は、バイアス周波数で規定される。バイアス周波数は、例えば 50 kHz 以上、27 MHz 以下の周波数である。波形周期 CY の時間長は、バイアス周波数の逆数である。

[0027] 図 4 の（a）に示すように、電気バイアス EB は、バイアス周波数を有するバイアス高周波電力 LF であってもよい。即ち、電気バイアス EB は、その周波数がバイアス周波数である正弦波状の波形を有していてもよい。この場合には、バイアス電源 32 は、図 2 に示すように、整合器 32m を介して、バイアス電極に電氣的に接続される。整合器 32m の可変インピーダンス

は、バイアス高周波電力L Fの負荷からの反射を低減するよう、設定される。

[0028] 或いは、図4の(b)に示すように、電気バイアスE Bは、電圧パルスV Pを含んでいてもよい。電圧パルスV Pは、波形周期C Y内においてバイアス電極に印加される。電圧パルスV Pは、波形周期C Yの時間長と同じ長さの時間間隔で周期的にバイアス電極に印加される。電圧パルスV Pの波形は、矩形波、三角波、又は任意の波形であり得る。電圧パルスV Pの電圧の極性は、基板Wとプラズマとの間に電位差を生じさせてプラズマからのイオンを基板Wに引き込むことができるように設定される。電圧パルスV Pは、負の電圧のパルス又は負の直流電圧のパルスであってもよい。なお、電気バイアスE Bが電圧パルスV Pである場合には、図3に示すように、プラズマ処理装置1は整合器3 2 mを備えていない。

[0029] 図2に示すように、バイアス電源3 2は、信号発生器3 2 g及び増幅器3 2 aを含んでいてもよい。信号発生器3 2 gは、それから電気バイアスE Bを生成するための信号を発生する。増幅器3 2 aは、信号発生器3 2 gから入力される信号を増幅することにより電気バイアスE Bを生成して、生成した電気バイアスE Bをバイアス電極に供給する。なお、信号発生器3 2 gは、プログラム可能なプロセッサ又はFPGAのようなプログラム可能なロジックデバイスから構成されていてもよい。また、信号発生器3 2 gと増幅器3 2 aとの間には、D/A変換器が接続されていてもよい。

[0030] 電気バイアスE Bが電圧パルスV Pを含む場合には、図3に示すように、バイアス電源3 2は、直流電源3 2 d及びスイッチ3 2 sを含んでいてもよい。この場合には、バイアス電源3 2は、スイッチ3 2 sの開閉により直流電源3 2 dからの直流電圧の出力と出力停止を切り替えることにより、電圧パルスV Pを発生する。

[0031] バイアス電源3 2は、高周波電源3 1と同期されている。このために用いられる同期信号は、バイアス電源3 2から高周波電源3 1に与えられてもよい。或いは、同期信号は、高周波電源3 1からバイアス電源3 2に与えられ

てもよい。或いは、同期信号は、制御部30cのような別の装置から高周波電源31及びバイアス電源32に与えられてもよい。

[0032] 一実施形態において、高周波電源31は、ソース高周波電力HFのパルスを高周波電極に供給するように構成されていてもよい。ソース高周波電力HFのパルスは、周期的に供給されてもよい。また、バイアス電源32は、電気バイアスEBのパルスをバイアス電極に供給するように構成されていてもよい。電気バイアスEBのパルスは、周期的に供給されてもよい。この場合には、高周波電源31及びバイアス電源32の各々は、パルスコントローラ34から与えられる信号により、パルスの供給期間を特定してもよい。なお、制御部2が、パルスコントローラ34として機能してもよい。パルスコントローラ34は、高周波電源31の一部であってもよい。

[0033] 制御部30cは、高周波電源31を制御するように構成されている。制御部30cは、バイアス電源32を更に制御してもよい。制御部30cは、CPUといったプロセッサから構成され得る。制御部30cは、整合器31mの一部であってもよく、高周波電源31の一部であってもよく、整合器31m及び高周波電源31から分離された制御部であってもよい。或いは、制御部2が、制御部30cを兼ねていてもよい。制御部30cは、パルスコントローラ34を兼ねていてもよい。

[0034] 以下、図5を参照する。図5は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置に関連する一例のタイミングチャートである。図5は、ソース高周波電力HF及び電気バイアスEBのタイミングチャートを示している。図5において、ソース高周波電力HFの「ON」は、ソース高周波電力HFが供給されていることを示しており、ソース高周波電力HFの「OFF」は、ソース高周波電力HFの供給が停止されていることを示している。図5において、ソース高周波電力HFの「LOW」は、ソース高周波電力HFのパワーレベルが、「HIGH」で示すソース高周波電力HFのパワーレベルよりも低いことを示している。また、図5において、電気バイアスEBの「ON」は、電気バイアスEBが供給されていることを示しており、電気バイアスEB

の「OFF」は、電気バイアスEBの供給が停止されていることを示している。

[0035] 図5に示すように、高周波電源31は、第1の部分期間SP₁と第2の部分期間SP₂においてソース高周波電力HFを供給するように構成されている。第1の部分期間SP₁は、ソース高周波電力HFの立ち上がり時を含む期間である。ソース高周波電力HFの立ち上がり時は、ソース高周波電力HFの供給開始時又は後述するソース高周波電力HFのパルスHF Pの供給開始時である。第2の部分期間SP₂は、第1の部分期間SP₁に続く期間である。第1の部分期間SP₁の長さは、第2の部分期間SP₂の長さよりも短い。第1の部分期間SP₁の長さは、波形周期CYの時間長と同一であるか、波形周期CYよりも長い。第1の部分期間SP₁の長さは、10μ秒以下であってもよい。

[0036] 一実施形態において、高周波電源31は、図5に示すように、第1の期間P₁においてソース高周波電力HF（即ち、そのパルスHF P）を供給してもよい。第1の期間P₁は、第1の部分期間SP₁と第2の部分期間SP₂を含む期間である。また、高周波電源31は、第1の期間P₁と交互の第2の期間P₂において、ソース高周波電力HFの供給を停止してもよい。或いは、高周波電源31は、第2の期間P₂において、ソース高周波電力HFのパワーレベルを第1の期間P₁におけるソース高周波電力HF（パルスHF P）のパワーレベルよりも低いレベルに設定してもよい。このように、高周波電源31は、ソース高周波電力HFのパルスHF Pを周期的に供給してもよい。

[0037] 別の実施形態では、高周波電源31は、ソース高周波電力HFを連続的に供給してもよい。即ち、高周波電源31は、第1の部分期間SP₁と第2の部分期間SP₂を含む単一の期間においてソース高周波電力HFを連続的に供給してもよい。

[0038] バイアス電源32は、第1の部分期間SP₁において電気バイアスEBのパルスEB P1を基板支持部11（即ち、バイアス電極）に供給する。バイアス電源32は、図5に示すように、パルスEB P1の基板支持部11への供

給を第1の部分期間 SP_1 の開始時点と同時に開始してもよい。パルス EBP_1 が第1の部分期間 SP_1 内で供給されている期間の時間長は、単一の波形周期 CY の長さと同じであってもよい。即ち、第1の部分期間 SP_1 では、一周期（単一の波形周期 CY ）のみの電気バイアス EB が供給されてもよい。

[0039] バイアス電源32は、パルス EBP_1 の供給の終了時から少なくとも第2の部分期間 SP_2 の開始時点と終了時点との間の時点まで、電気バイアス EB の供給を停止する。一実施形態において、バイアス電源32は、第2の部分期間 SP_2 において電気バイアス EB の供給を停止してもよい。或いは、バイアス電源32は、パルス EBP_1 の供給の終了時から第2の部分期間 SP_2 の開始時点と終了時点との間の時点まで電気バイアス EB の供給を停止してもよい。

[0040] パルス EBP_1 は、パルス EBP_1 が供給されているときの基板支持部11（即ち、バイアス電極）の自己バイアス電圧 V_{dc} の絶対値が、第2の部分期間 SP_2 内でプラズマが定常状態である期間における基板支持部11（即ち、バイアス電極）の自己バイアス電圧 V_{dc} の絶対値以上であるように設定されたレベルを有する。このような、パルス EBP_1 のレベルは、予め設定されている。なお、パルス EBP_1 のレベルは、電気バイアス EB がバイアス高周波電力 LF である場合には、バイアス高周波電力 LF のパワーレベルである。また、パルス EBP_1 のレベルは、電気バイアス EB が電圧パルス VP である場合には、電圧パルス VP の電圧レベルと基準レベルとの間の差の絶対値である。電気バイアス EB が電圧パルス VP である場合には、パルス EBP_1 のレベルは、電圧パルス VP の電圧レベルが基準レベルから負側に大きく離れているほど、高い。

[0041] 一実施形態では、バイアス電源32は、第2の期間 P_2 において電気バイアス EB のパルス EBP_2 を基板支持部11（即ち、バイアス電極）に供給してもよい。即ち、バイアス電源32は、パルス EBP_2 を周期的に供給してもよい。パルス EBP_2 が供給される期間内では、波形周期 CY が繰り返される。パルス EBP_2 の供給は、第2の期間 P_2 の開始時点又は当該開始時点

以降に開始されてもよい。或いは、パルスEBP2の供給は、第2の部分期間SP₂の開始時点と終了時点との間の時点から開始されてもよい。

[0042] 一実施形態において、高周波電源31は、ソース高周波電力HFのソース周波数を、ソース高周波電力HFの供給の開始から停止までの間、固定してもよい。或いは、高周波電源31は、図6の(a)~図6の(e)、図7の(a)~図7の(e)、及び図8の(a)~図8の(e)に示すように、ソース高周波電力HFのソース周波数 f_s を、第1の部分期間SP₁において変化させてもよい。図6の(a)~図6の(e)、図7の(a)~図7の(e)、及び図8の(a)~図8の(e)の各々は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置におけるソース周波数の時間変化を示す図である。

[0043] 具体的には、図6の(a)~図6の(e)、図7の(a)~図7の(e)、及び図8の(a)~図8の(e)に示すように、高周波電源31は、第1の部分期間SP₁内の周波数増加期間P_Uにおいて、ソース周波数 f_s の時系列を、第1の周波数 f_1 から第2の周波数 f_2 まで徐々に又は段階的に増加する周波数の時系列に設定してもよい。高周波電源31は、周波数増加期間P_Uにおいて、ソース周波数 f_s を減少させることなく、ソース周波数 f_s を第1の周波数 f_1 から第2の周波数 f_2 まで徐々に又は段階的に増加させてもよい。高周波電源31は、周波数増加期間P_Uにおいて用いるソース周波数 f_s の時系列を、第1の周波数 f_1 と第2の周波数 f_2 に対する一つ以上の直線又は曲線を用いた補間により求めてもよい。

[0044] 図6の(a)~図6の(e)に示すように、周波数増加期間P_Uは、第1の部分期間SP₁と同一であってもよい。即ち、第1の部分期間SP₁の開始時点と周波数増加期間P_Uの開始時点は同一であってもよく、第1の部分期間SP₁の終了時点と周波数増加期間P_Uの終了時点は同一であってもよい。この場合には、ソース周波数 f_s は、第1の部分期間SP₁の開始時点において第1の周波数 f_1 に設定されて、第1の部分期間SP₁において第2の周波数 f_2 まで増加される。

[0045] 図7の(a)~図7の(e)及び図8の(a)~図8の(e)に示すよう

に、第1の部分期間 SP_1 は、周波数増加期間 P_U の前に開始期間 P_S を含んでもよい。開始期間 P_S は、第1の部分期間 SP_1 の開始時点を含んでもよい。図7の(a)～図7の(e)に示すように、ソース周波数 f_s は、開始期間 P_S において周波数 f_0 に維持されてもよい。図8の(a)～図8の(e)に示すように、ソース周波数 f_s は、開始期間 P_S において周波数 f_0 から第1の周波数 f_1 まで減少されてもよい。周波数 f_0 は、第2の周波数 f_2 よりも大きいてもよい。周波数 f_0 は、チャンバ10内でプラズマが生成されていないときのチャンバ10に対するソース高周波電力HFの共振周波数であってもよい。この場合には、開始期間 P_S において放電が発生しやすくなる。なお、第1の期間 P_1 の繰り返しである複数の第1の期間 P_1 のうち最初の第1の期間 P_1 内の第1の部分期間 SP_1 だけが開始期間 P_S を含んでもよく、他の第1の期間 P_1 は周波数増加期間 P_U だけを含んでもよい。

[0046] 図6の(a)、図7の(a)、及び図8の(a)の各々に示す例では、周波数増加期間 P_U におけるソース周波数 f_s の時系列は、第1の周波数 f_1 と第2の周波数 f_2 に対する一つの曲線を用いた補間により設定される。図6の(b)、図7の(b)、及び図8の(b)の各々に示す例では、周波数増加期間 P_U におけるソース周波数 f_s の時系列は、第1の周波数 f_1 、第2の周波数 f_2 、及び第1の周波数 f_1 と第2の周波数 f_2 との間の中間の周波数に対する二つの直線を用いた補間により設定される。図6の(c)、図7の(c)、及び図8の(c)の各々に示す例では、周波数増加期間 P_U におけるソース周波数 f_s の時系列は、第1の周波数 f_1 と第2の周波数 f_2 に対する一つの直線を用いた補間により設定される。図6の(d)、図6の(e)、図7の(d)、図7の(e)、図8の(d)、及び図8の(e)の各々に示す例では、周波数増加期間 P_U におけるソース周波数 f_s の時系列は、第1の周波数 f_1 から第2の周波数 f_2 まで段階的に増加する周波数の時系列に設定される。

[0047] 第1の期間 P_1 の繰り返しである複数の第1の期間 P_1 の各々の中の第1の部分期間 SP_1 において用いられるソース周波数 f_s の時系列は、全ての他の第1の期間 P_1 の各々の中の第1の部分期間 SP_1 において用いられるソース

周波数 f_s の時系列と同一であってもよい。即ち、ソース高周波電力 $H F$ のパルス $H F P$ が周期的に供給される実施形態において、複数の第 1 の期間 P_1 それぞれの第 1 の部分期間 $S P_1$ では、ソース周波数 f_s の同一の時系列が用いられてもよい。或いは、複数の第 1 の期間 P_1 のうち最初の第 1 の期間を除く全ての第 1 の期間の各々の中の第 1 の部分期間 $S P_1$ において用いられるソース周波数 f_s の時系列は、当該最初の第 1 の期間を除く全ての第 1 の期間のうち他の第 1 の期間の各々の中の第 1 の部分期間 $S P_1$ において用いられるソース周波数の時系列 f_s と同一であってもよい。即ち、複数の第 1 の期間 P_1 のうち最初の第 1 の期間を除く全ての第 1 の期間 P_1 それぞれの第 1 の部分期間 $S P_1$ では、ソース周波数 f_s の同一の時系列が用いられてもよい。或いは、複数の第 1 の期間 P_1 の各々の中の第 1 の部分期間 $S P_1$ において用いられるソース周波数 f_s の時系列は、後述するパルス間フィードバックにより変更されてもよい。

[0048] なお、高周波電源 31 は、第 1 の部分期間 $S P_1$ においてソース周波数 f_s を変化させる場合に、少なくとも第 2 の部分期間 $S P_2$ の開始から所定時間の間、ソース周波数 f_s を固定してもよい。高周波電源 31 は、少なくとも第 2 の部分期間 $S P_2$ の開始から所定時間の間、ソース周波数 f_s を第 2 の周波数 f_2 に固定してもよい。高周波電源 31 は、第 2 の部分期間 $S P_2$ の全体にわたってソース周波数 f_s を固定してもよい。高周波電源 31 は、第 2 の部分期間 $S P_2$ におけるソース周波数 f_s を、第 2 の周波数 f_2 に固定してもよい。

[0049] 以下、パルス間フィードバックについて説明する。以下の説明において、第 1 の部分期間 $S P_1[n]$ は、第 1 の期間 P_1 の繰り返し、即ち複数の第 1 の期間 P_1 の繰り返しにおける n 番目の第 1 の期間 P_1 内の第 1 の部分期間 $S P_1$ を表す。また、 α_m は、第 1 の部分期間 $S P_1$ の開始時点から m 時間経過後の時点を表す。また、ソース周波数 $f_s [S P_1[n], \alpha_m]$ は、第 1 の部分期間 $S P_1[n]$ の時点 α_m において用いられるソース周波数 f_s を表す。

[0050] パルス間フィードバックでは、ソース高周波電力の反射の度合いが利用される。反射の度合いは、ソース高周波電力 $H F$ の反射波のパワーレベルとし

て取得されてもよい。反射の度合いは、ソース高周波電力HFの進行波のパワーレベル又はソース高周波電力HFの設定出力パワーレベルに対するソース高周波電力HFの反射波のパワーレベルの比の値として取得されてもよい。或いは、反射の度合いは、ソース高周波電力HFの高周波電極への給電ラインの特性インピーダンス（例えば50Ω）に対するインピーダンス Z_L のずれ量として取得されてもよい。或いは、反射の度合いは、電圧 V_{HF} と電流 I_{HF} との間の位相差として取得されてもよい。或いは、反射の度合いは、ソース周波数 f_s におけるプラズマへの整合の度合いを表す他の量として取得されてもよい。何れの場合にも、反射の度合いは、一つ以上のセンサ31sによって取得されるか、一つ以上のセンサ31sによって取得された測定値から特定され得る。

[0051] パルス間フィードバックにおいて、制御部30cは、ソース周波数 f_s [SP₁[n], α_m] を、第1の部分期間SP₁[n-q]内の同一時点 α_m でのソース周波数 f_s [SP₁[n-q], α_m] から第1の部分期間SP₁[n-p]内の同一時点 α_m での f_s [SP₁[n-p], α_m] への変化と、第1の部分期間SP₁[n-q]内の同一時点 α_m でのソース高周波電力HFの反射の度合いから第1の部分期間SP₁[n-p]内の同一時点 α_m でのソース高周波電力HFの反射の度合いへの変化とに応じて、第1の部分期間SP₁[n]内での時点 α_m でのソース高周波電力HFの反射の度合いを抑制するように、設定する。ここで、q, pは1以上の整数であり、qはpよりも大きい。例えば、qは2であり、pは1である。

[0052] 一例において、第1の部分期間SP₁[n-q]内の時点 α_m でのソース高周波電力HFの反射の度合いから第1の部分期間SP₁[n-p]内の時点 α_m でのソース高周波電力HFの反射の度合いへの変化が反射の度合いの減少であれば、制御部30cは、ソース周波数 f_s [SP₁[n-q], α_m] からソース周波数 f_s [SP₁[n-p], α_m] への変化の方向と同一の方向の変化をソース周波数 f_s [SP₁[n-p], α_m] に与えた周波数を、ソース周波数 f_s [SP₁[n], α_m] として設定する。第1の部分期間SP₁[n-q]内の時点 α

α_m でのソース高周波電力HFの反射の度合いから第1の部分期間SP₁[n-p]内の時点 α_m でのソース高周波電力HFの反射の度合いへの変化が反射の度合いの増加であれば、制御部30cは、ソース周波数 f_s [SP₁[n-q], α_m]からソース周波数 f_s [SP₁[n-p], α_m]への変化の方向と逆の方向の変化をソース周波数 f_s [SP₁[n-p], α_m]に与えた周波数を、ソース周波数 f_s [SP₁[n], α_m]として設定する。

[0053] 上述したように、プラズマ処理装置1では、第1の部分期間SP₁において、電気バイアスEBのパルスEBP₁が供給される。これにより、負荷側のインピーダンスを高周波電源31の出力インピーダンスに整合させるように瞬間的にプラズマシースの厚さが変化する。その結果、第1の部分期間SP₁内でプラズマへのソース高周波電力HFの結合効率が高くなり、プラズマが成長して定常状態に至るまでの時間が短縮される。故に、プラズマ処理装置1によれば、ソース高周波電力HFの立ち上がり時からソース高周波電力HFの反射が低減又は収束するまでの時間を短縮することが可能である。

[0054] また、上述したように、第1の部分期間SP₁においてソース周波数 f_s が徐々に又は段階的に増加されてもよい。即ち、第1の部分期間SP₁においては、初期的に低いソース周波数 f_s が用いられる。低いソース周波数 f_s 有するソース高周波電力HFのプラズマへの結合効率は、プラズマシースの厚さが小さい状態において、高い。したがって、この場合には、ソース高周波電力HFの立ち上がり時からソース高周波電力HFの反射が低減又は収束するまでの時間を更に短縮することが可能となる。

[0055] 以下、図9を参照して、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法について説明する。図9は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。図9に示すプラズマ処理方法（以下、「方法MT」という）は、基板支持部11上に基板が載置されている状態で行われ得る。方法MTの各工程を行うために、プラズマ処理装置1の各部は制御部2によって制御され得る。

[0056] 方法MTは、工程STaで開始する。工程STaでは、チャンバ10内で

ガスからプラズマを生成するために、ソース高周波電力HF又はそのパルスHF Pが供給される。ソース高周波電力HF又はそのパルスHF Pは、上述したように、第1の部分期間SP₁及び第2の部分期間SP₂において供給される。なお、ガスは、ガス供給部20からチャンバ内に供給される。また、チャンバ10内の圧力は、排気システム40によって調整される。

[0057] 工程STbは、第1の部分期間SP₁において行われる。工程STbでは、上述したように、電気バイアスEBのパルスEB P1がバイアス電極に供給される。

[0058] 一実施形態においては、第1の部分期間SP₁において工程STObが行われてもよい。工程STObでは、上述したように、ソース周波数f_sの時系列が、第1の周波数f₁から第2の周波数f₂まで徐々に又は段階的に増加する周波数の時系列に設定される。

[0059] そして、工程STcが行われる。工程STcは、パルスEB P1の供給の直後に開始する。工程STcでは、電気バイアスEBの供給が停止される。電気バイアスEBの供給の停止は、上述したように、パルスEB P1の供給の直後に開始して、少なくとも第2の部分期間SP₂の開始時点と終了時点との間の時点まで継続する。電気バイアスEBの供給の停止は、第2の部分期間SP₂の終了時点まで継続してもよい。

[0060] 一実施形態では、上述したように、第1の期間P₁と第2の期間P₂が交互に繰り返される。この場合に、方法MTは、工程STJを含む。工程STJでは、停止条件が満たされるか否か判定される。停止条件は、第1の期間P₁と第2の期間P₂の交互の繰り返しの回数が、所定回数に達している場合に満たされる。停止条件が満たされない場合には、工程STaからの処理が再び行われる。一方、停止条件が満たされる場合には、方法MTは終了する。

[0061] 以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实施形態に限定されることなく、様々な追加、省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせることで他の実施形態を形成することが可能である。

[0062] 別の実施形態においては、プラズマ処理装置は、誘導結合型のプラズマ処理装置、ECRプラズマ処理装置、ヘリコン波励起プラズマ処理装置、又は表面波プラズマ処理装置であってもよい。何れのプラズマ処理装置においても、ソース高周波電力HFは、プラズマの生成のために用いられる。

[0063] また、図10に示すように、バイアス電源32は、パルスEBP1の基板支持部11への供給を、第1の部分期間SP₁の開始時点よりも前に開始してもよい。或いは、図11に示すように、バイアス電源32は、パルスEBP1の基板支持部11への供給を、第1の部分期間SP₁内且つ第1の部分期間SP₁の開始時点よりも後に開始してもよい。

[0064] ここで、本開示に含まれる種々の例示的实施形態を、以下の[E1]～[E17]に記載する。

[0065] [E1]

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持部と、

前記チャンバに電氣的に結合されており、前記チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力を発生するように構成された高周波電源と、

前記基板支持部に電氣的に結合されており、前記基板支持部にイオンを引き込むための電気バイアスを発生するように構成されたバイアス電源と、
を備え、

前記高周波電源は、前記ソース高周波電力を、該ソース高周波電力の立ち上がり時を含む第1の部分期間と該第1の部分期間に続く第2の部分期間において供給するように構成されており、

前記バイアス電源は、

前記第1の部分期間において前記電気バイアスのパルスを前記基板支持部に供給し、

該電気バイアスのパルスの供給の終了時から少なくとも前記第2の部分期間の開始時点と終了時点との間の時点まで、前記電気バイアスの供給を停止するように構成されている、

プラズマ処理装置。

[0066] [E 2]

前記電気バイアスの前記パルスは、該パルスが供給されているときの前記基板支持部の自己バイアス電圧の絶対値が、前記第2の部分期間内で前記プラズマが定常状態である期間における該基板支持部の自己バイアス電圧の絶対値以上であるように設定されたレベルを有する、E 1に記載のプラズマ処理装置。

[0067] [E 3]

前記電気バイアスは、波形周期を有するバイアス高周波電力であるか、波形周期を有し周期的に発生される電圧のパルスである、E 1又はE 2に記載のプラズマ処理装置。

[0068] [E 4]

前記第1の部分期間の長さは10 μ 秒以下である、E 1～E 3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0069] [E 5]

前記電気バイアスの前記パルスが前記第1の部分期間内で供給されている期間の時間長は、前記波形周期の長さと同じである、E 3に記載のプラズマ処理装置。

[0070] [E 6]

前記高周波電源は、

前記第1の部分期間及び前記第2の部分期間を含む第1の期間において前記ソース高周波電力を供給し、

前記第1の期間と交互の第2の期間において、前記ソース高周波電力の供給を停止するか、該ソース高周波電力のパワーレベルを前記第1の期間における前記ソース高周波電力のパワーレベルよりも低いレベルに設定することにより、

前記ソース高周波電力のパルスを周期的に供給し、

前記バイアス電源は、前記第2の期間において前記電気バイアスを前記基

板支持部に供給することにより、前記電気バイアスの別のパルスを周期的に供給するように構成されている、

E 1～E 5の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0071] [E 7]

前記高周波電源は、前記ソース高周波電力の供給の開始から停止までの間、該ソース高周波電力のソース周波数を固定するように構成されている、E 1～E 6の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0072] [E 8]

前記高周波電源は、前記第1の部分期間において、前記ソース高周波電力のソース周波数の時系列を、第1の周波数から該第1の周波数よりも高い第2の周波数まで徐々に又は段階的に増加する周波数の時系列に設定するように構成されている、E 1～E 5の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0073] [E 9]

前記第2の部分期間において前記ソース周波数は前記第2の周波数に固定される、E 8に記載のプラズマ処理装置。

[0074] [E 10]

前記高周波電源は、

前記第1の部分期間及び前記第2の部分期間を含む第1の期間において前記ソース高周波電力を供給し、

前記第1の期間と交互の第2の期間において、前記ソース高周波電力の供給を停止するか、該ソース高周波電力のパワーレベルを前記第1の期間における前記ソース高周波電力のパワーレベルよりも低いレベルに設定することにより、

前記ソース高周波電力のパルスを周期的に供給し、

前記バイアス電源は、前記第2の期間において前記電気バイアスを前記基板支持部に供給することにより、前記電気バイアスの別のパルスを周期的に供給するように構成されている、

E 8又はE 9に記載のプラズマ処理装置。

[0075] [E 1 1]

前記第 1 の期間の繰り返しである複数の第 1 の期間の各々の中の前記第 1 の部分期間において用いられる前記ソース周波数の前記時系列は、該複数の第 1 の期間のうち全ての他の第 1 の期間の各々の中の前記第 1 の部分期間において用いられる前記ソース周波数の前記時系列と同一である、E 1 0 に記載のプラズマ処理装置。

[0076] [E 1 2]

前記第 1 の期間の繰り返しである複数の第 1 の期間のうち最初の第 1 の期間を除く全ての第 1 の期間の各々の中の前記第 1 の部分期間において用いられる前記ソース周波数の前記時系列は、該最初の第 1 の期間を除く該全ての第 1 の期間のうち他の第 1 の期間の各々の中の前記第 1 の部分期間において用いられる前記ソース周波数の前記時系列と同一である、E 1 0 に記載のプラズマ処理装置。

[0077] [E 1 3]

前記高周波電源は、前記第 1 の部分期間において用いる前記ソース周波数の前記時系列を、前記第 1 の周波数と前記第 2 の周波数に対する一つ以上の直線又は曲線を用いた補間により求めるように構成されている、E 8 ~ E 1 2 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0078] [E 1 4]

前記バイアス電源は、前記電気バイアスのパルスの前記基板支持部への供給を前記第 1 の部分期間の開始時点と同時に開始するように構成されている、E 1 ~ E 1 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0079] [E 1 5]

前記バイアス電源は、前記電気バイアスのパルスの前記基板支持部への供給を前記第 1 の部分期間の開始時点の前から開始するように構成されている、E 1 ~ E 1 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0080] [E 1 6]

前記バイアス電源は、前記電気バイアスのパルスの前記基板支持部への供

給を前記第 1 の部分期間内且つ前記第 1 の部分期間の開始時点の後に開始するように構成されている、E 1 ~ E 1 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0081] [E 1 7]

(a) プラズマ処理装置のチャンバ内でプラズマを生成するために高周波電源からソース高周波電力を供給する工程であり、該ソース高周波電力は、該ソース高周波電力の立ち上がり時を含む第 1 の部分期間と該第 1 の部分期間に続く第 2 の部分期間において供給される、該工程と、

(b) バイアス電源から前記チャンバ内に設けられた基板支持部に、前記第 1 の部分期間において電気バイアスのパルスを供給する工程と、

(c) 前記 (a) における前記電気バイアスのパルスの供給の終了時から少なくとも前記第 2 の部分期間の開始時点と終了時点との間の時点まで、前記電気バイアスの供給を停止する工程と、
を含むプラズマ処理方法。

[0082] 以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

符号の説明

[0083] 1 … プラズマ処理装置、 2 … 制御部、 1 0 … プラズマ処理チャンバ、 1 1 … 基板支持部、 3 1 … 高周波電源、 3 2 … バイアス電源。

請求の範囲

[請求項1]

チャンバと、
前記チャンバ内に設けられた基板支持部と、
前記チャンバに電氣的に結合されており、前記チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力を発生するように構成された高周波電源と、
前記基板支持部に電氣的に結合されており、前記基板支持部にイオンを引き込むための電気バイアスを発生するように構成されたバイアス電源と、
を備え、
前記高周波電源は、前記ソース高周波電力を、該ソース高周波電力の立ち上がり時を含む第1の部分期間と該第1の部分期間に続く第2の部分期間において供給するように構成されており、
前記バイアス電源は、
前記第1の部分期間において前記電気バイアスのパルスを前記基板支持部に供給し、
該電気バイアスのパルスの供給の終了時から少なくとも前記第2の部分期間の開始時点と終了時点との間の時点まで、前記電気バイアスの供給を停止するように構成されている、
プラズマ処理装置。

[請求項2]

前記電気バイアスの前記パルスは、該パルスが供給されているときの前記基板支持部の自己バイアス電圧の絶対値が、前記第2の部分期間内で前記プラズマが定常状態である期間における該基板支持部の自己バイアス電圧の絶対値以上であるように設定されたレベルを有する、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

[請求項3]

前記電気バイアスは、波形周期を有するバイアス高周波電力であるか、波形周期を有し周期的に発生される電圧のパルスである、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

- [請求項4] 前記第1の部分期間の長さは10 μ 秒以下である、請求項1～3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項5] 前記電気バイアスの前記パルスが前記第1の部分期間内で供給されている期間の時間長は、前記波形周期の長さと同じである、請求項3に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項6] 前記高周波電源は、
前記第1の部分期間及び前記第2の部分期間を含む第1の期間において前記ソース高周波電力を供給し、
前記第1の期間と交互の第2の期間において、前記ソース高周波電力の供給を停止するか、該ソース高周波電力のパワーレベルを前記第1の期間における前記ソース高周波電力のパワーレベルよりも低いレベルに設定することにより、
前記ソース高周波電力のパルスを周期的に供給し、
前記バイアス電源は、前記第2の期間において前記電気バイアスを前記基板支持部に供給することにより、前記電気バイアスの別のパルスを周期的に供給するように構成されている、
請求項1～3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項7] 前記高周波電源は、前記ソース高周波電力の供給の開始から停止までの間、該ソース高周波電力のソース周波数を固定するように構成されている、請求項1～3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項8] 前記高周波電源は、前記第1の部分期間において、前記ソース高周波電力のソース周波数の時系列を、第1の周波数から該第1の周波数よりも高い第2の周波数まで徐々に又は段階的に増加する周波数の時系列に設定するように構成されている、請求項1～3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項9] 前記第2の部分期間において前記ソース周波数は前記第2の周波数に固定される、請求項8に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項10] 前記高周波電源は、

前記第 1 の部分期間及び前記第 2 の部分期間を含む第 1 の期間において前記ソース高周波電力を供給し、

前記第 1 の期間と交互の第 2 の期間において、前記ソース高周波電力の供給を停止するか、該ソース高周波電力のパワーレベルを前記第 1 の期間における前記ソース高周波電力のパワーレベルよりも低いレベルに設定することにより、

前記ソース高周波電力のパルスを周期的に供給し、

前記バイアス電源は、前記第 2 の期間において前記電気バイアスを前記基板支持部に供給することにより、前記電気バイアスの別のパルスを周期的に供給するように構成されている、

請求項 8 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項11] 前記第 1 の期間の繰り返しである複数の第 1 の期間の各々の中の前記第 1 の部分期間において用いられる前記ソース周波数の前記時系列は、該複数の第 1 の期間のうち全ての他の第 1 の期間の各々の中の前記第 1 の部分期間において用いられる前記ソース周波数の前記時系列と同一である、請求項 10 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項12] 前記第 1 の期間の繰り返しである複数の第 1 の期間のうち最初の第 1 の期間を除く全ての第 1 の期間の各々の中の前記第 1 の部分期間において用いられる前記ソース周波数の前記時系列は、該最初の第 1 の期間を除く該全ての第 1 の期間のうち他の第 1 の期間の各々の中の前記第 1 の部分期間において用いられる前記ソース周波数の前記時系列と同一である、請求項 10 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項13] 前記高周波電源は、前記第 1 の部分期間において用いる前記ソース周波数の前記時系列を、前記第 1 の周波数と前記第 2 の周波数に対する一つ以上の直線又は曲線を用いた補間により求めるように構成されている、請求項 8 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項14] 前記バイアス電源は、前記電気バイアスのパルスの前記基板支持部への供給を前記第 1 の部分期間の開始時点と同時に開始するように構

成されている、請求項 1～3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置
。

[請求項15] 前記バイアス電源は、前記電気バイアスのパルスの前記基板支持部への供給を前記第 1 の部分期間の開始時点の前から開始するように構成されている、請求項 1～3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置
。

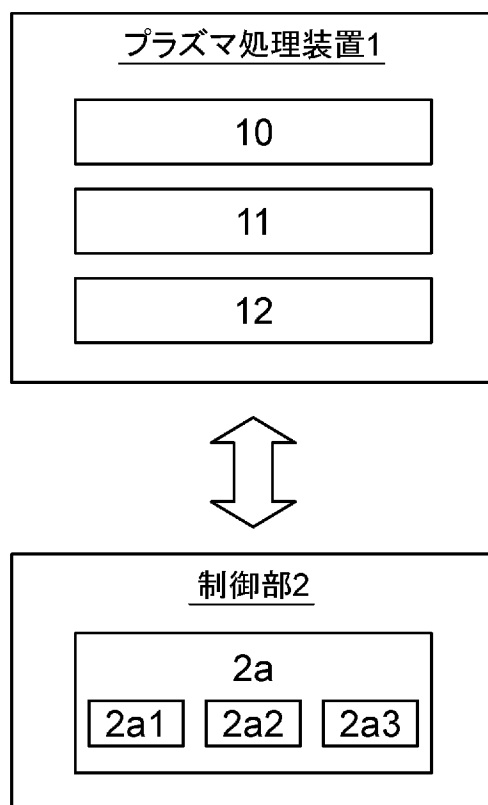
[請求項16] 前記バイアス電源は、前記電気バイアスのパルスの前記基板支持部への供給を前記第 1 の部分期間内且つ前記第 1 の部分期間の開始時点の後に開始するように構成されている、請求項 1～3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項17] (a) プラズマ処理装置のチャンバ内でプラズマを生成するために高周波電源からソース高周波電力を供給する工程であり、該ソース高周波電力は、該ソース高周波電力の立ち上がり時を含む第 1 の部分期間と該第 1 の部分期間に続く第 2 の部分期間において供給される、該工程と、

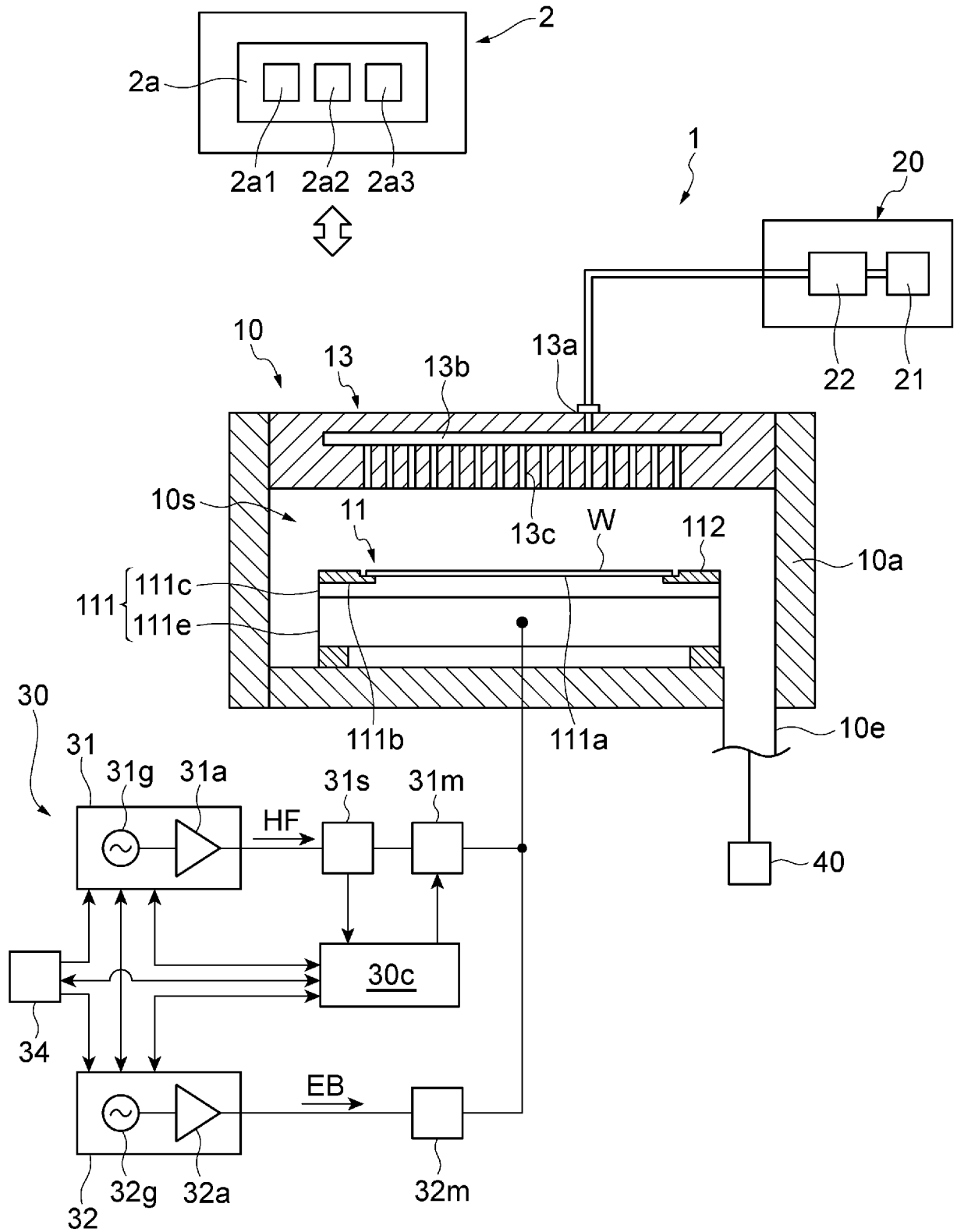
(b) バイアス電源から前記チャンバ内に設けられた基板支持部に、前記第 1 の部分期間において電気バイアスのパルスを供給する工程と、

(c) 前記 (a) における前記電気バイアスのパルスの供給の終了時から少なくとも前記第 2 の部分期間の開始時点と終了時点との間の時点まで、前記電気バイアスの供給を停止する工程と、
を含むプラズマ処理方法。

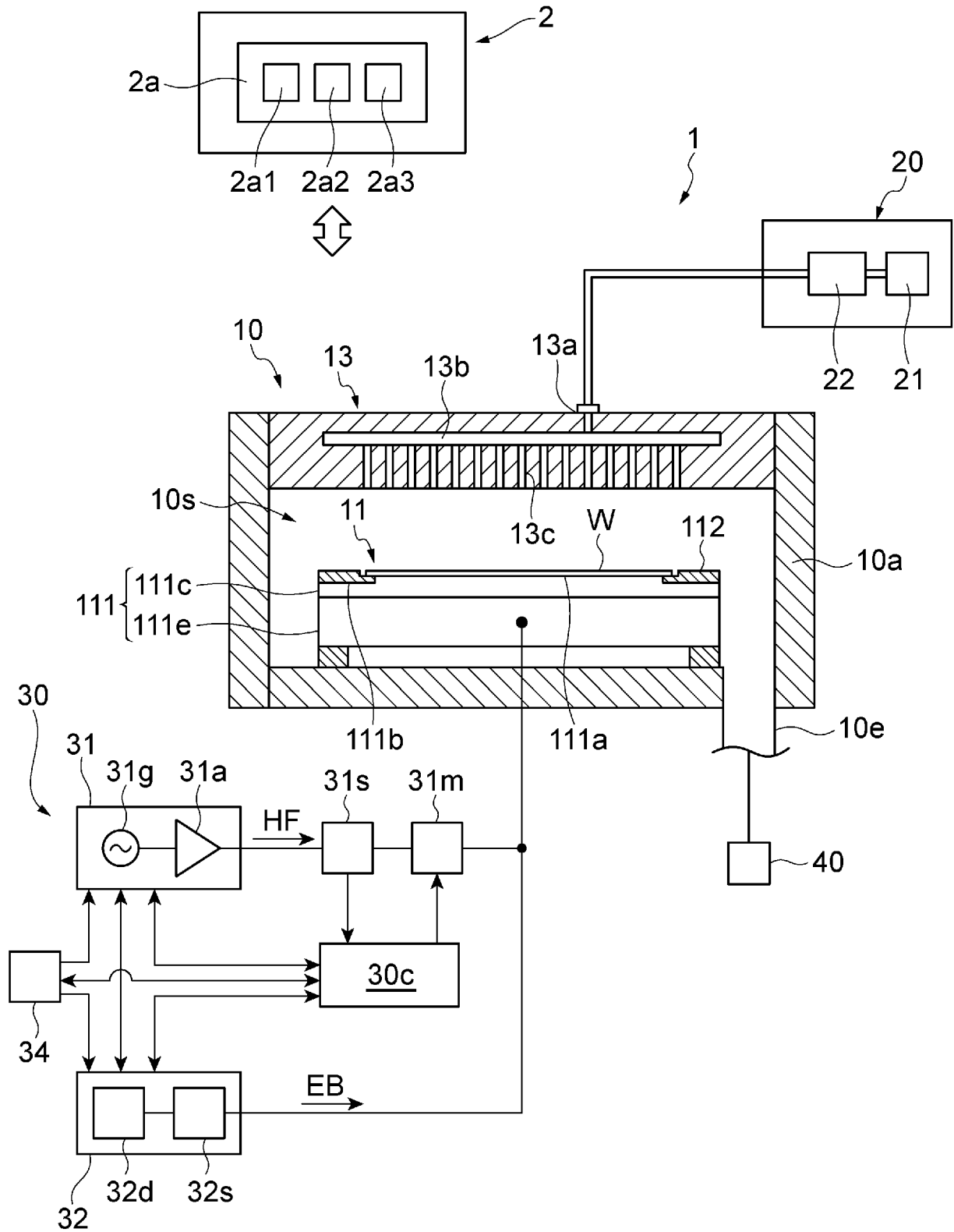
[図1]



[図2]

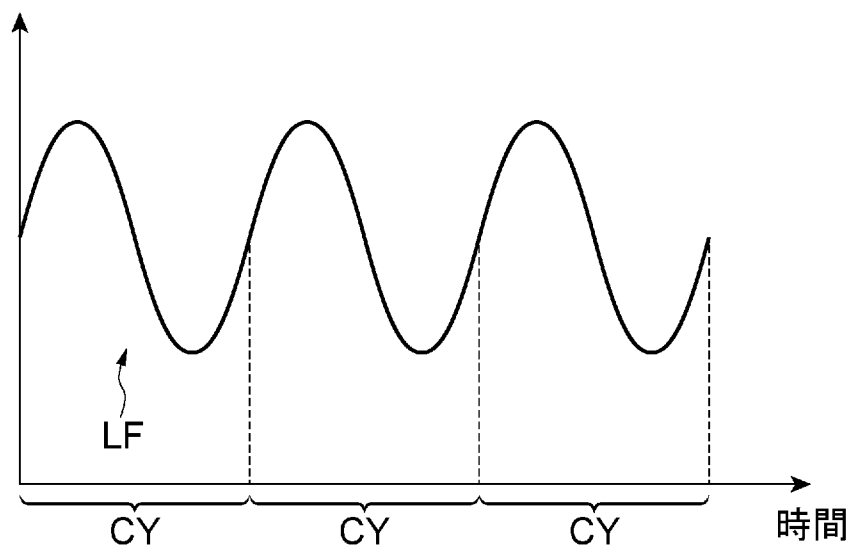


[図3]

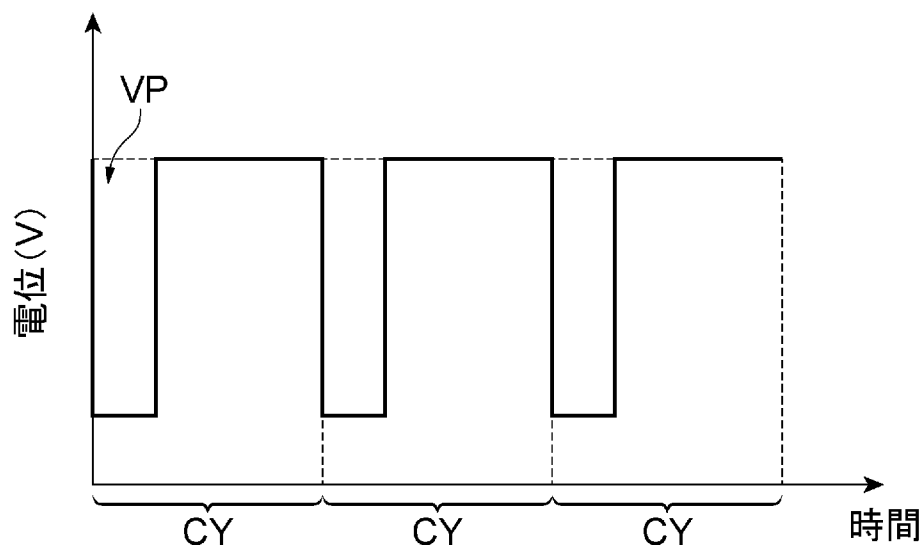


[図4]

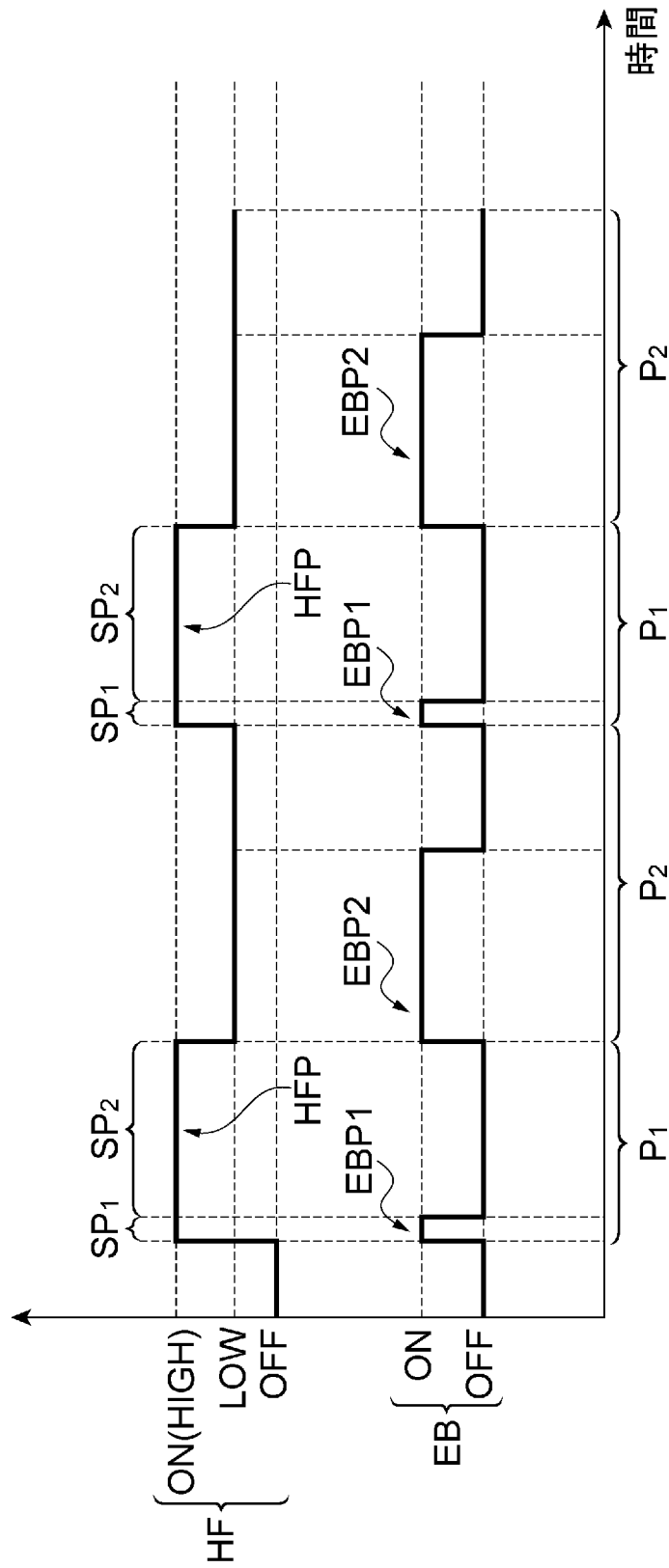
(a)



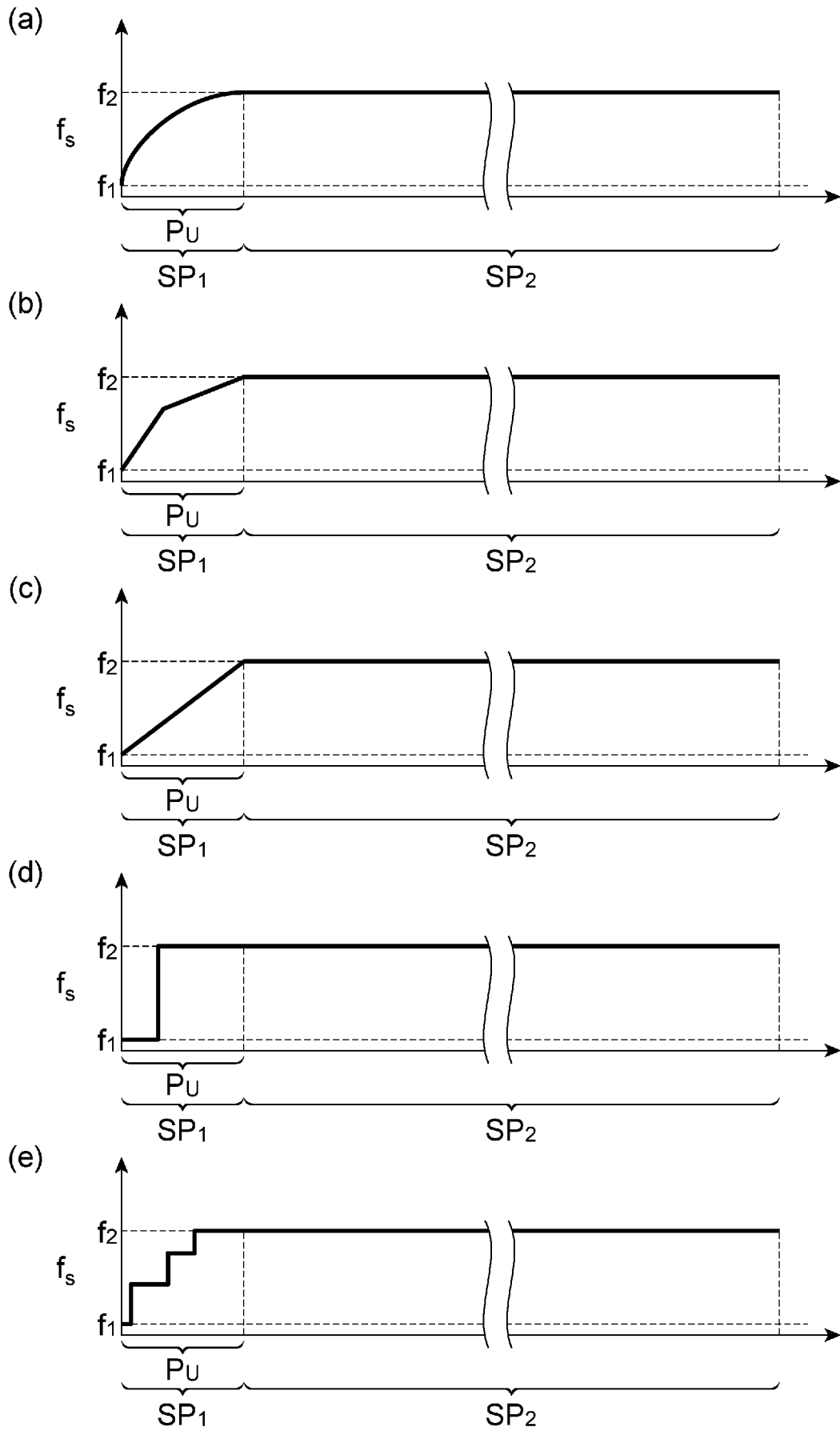
(b)



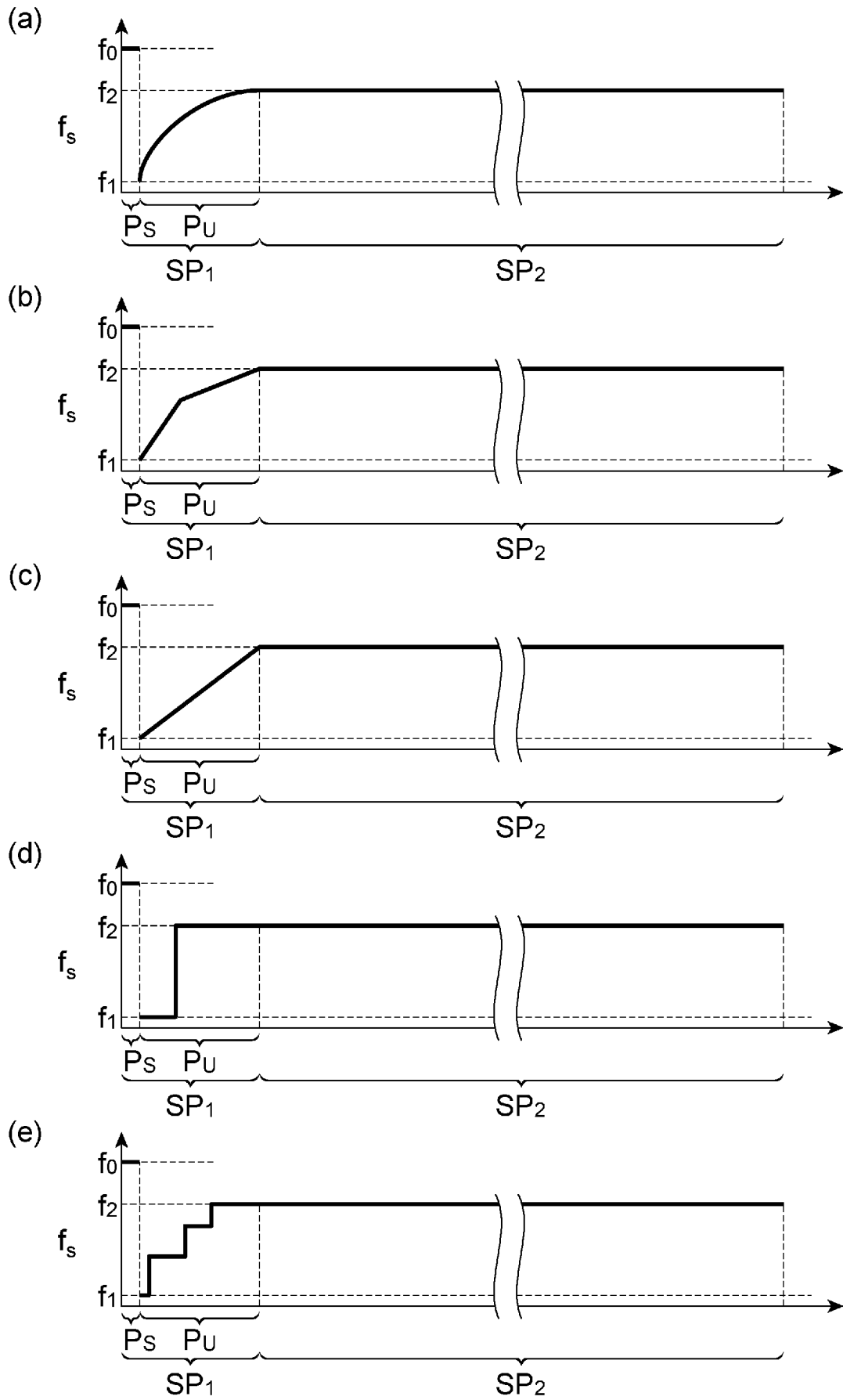
[図5]



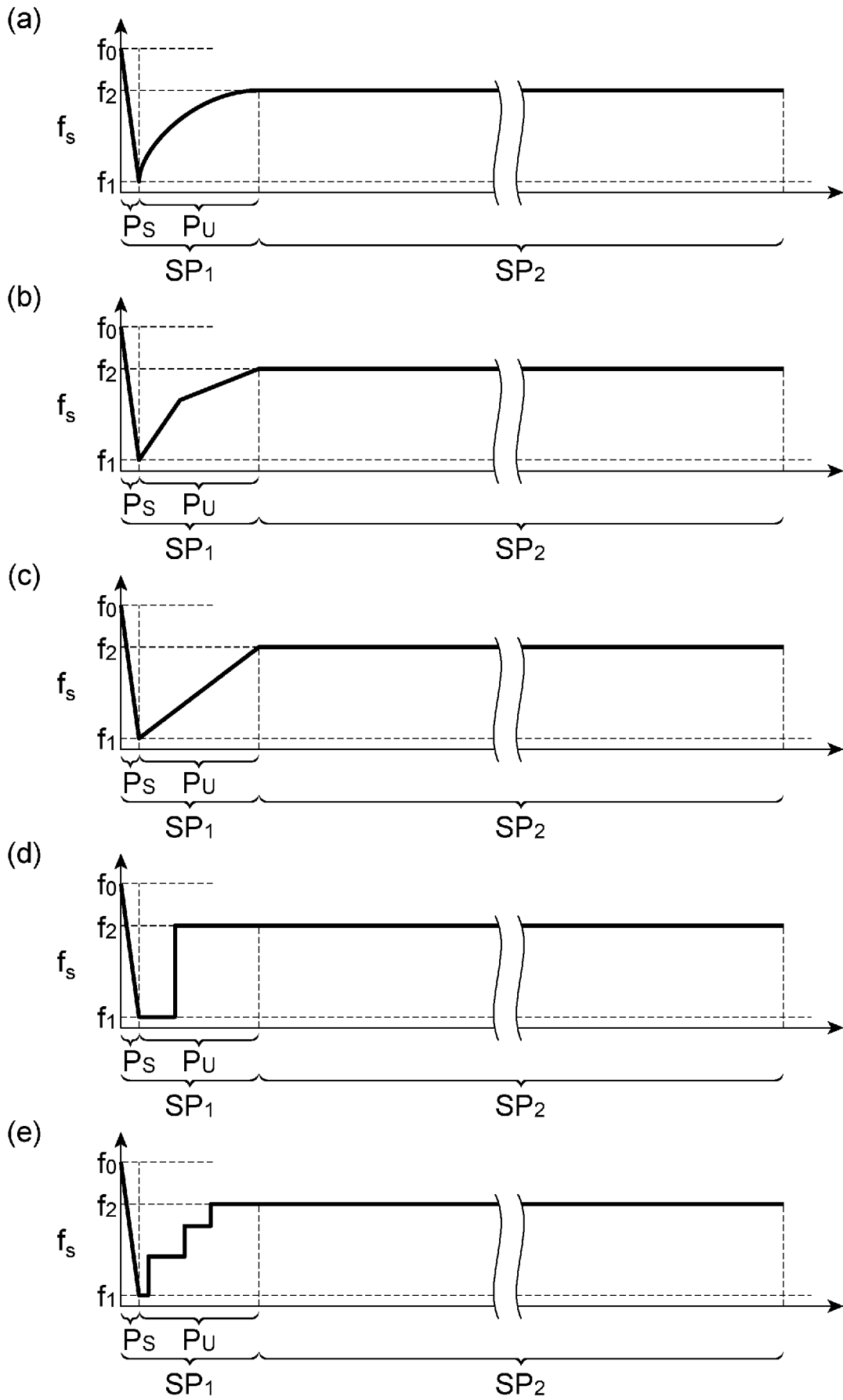
[図6]



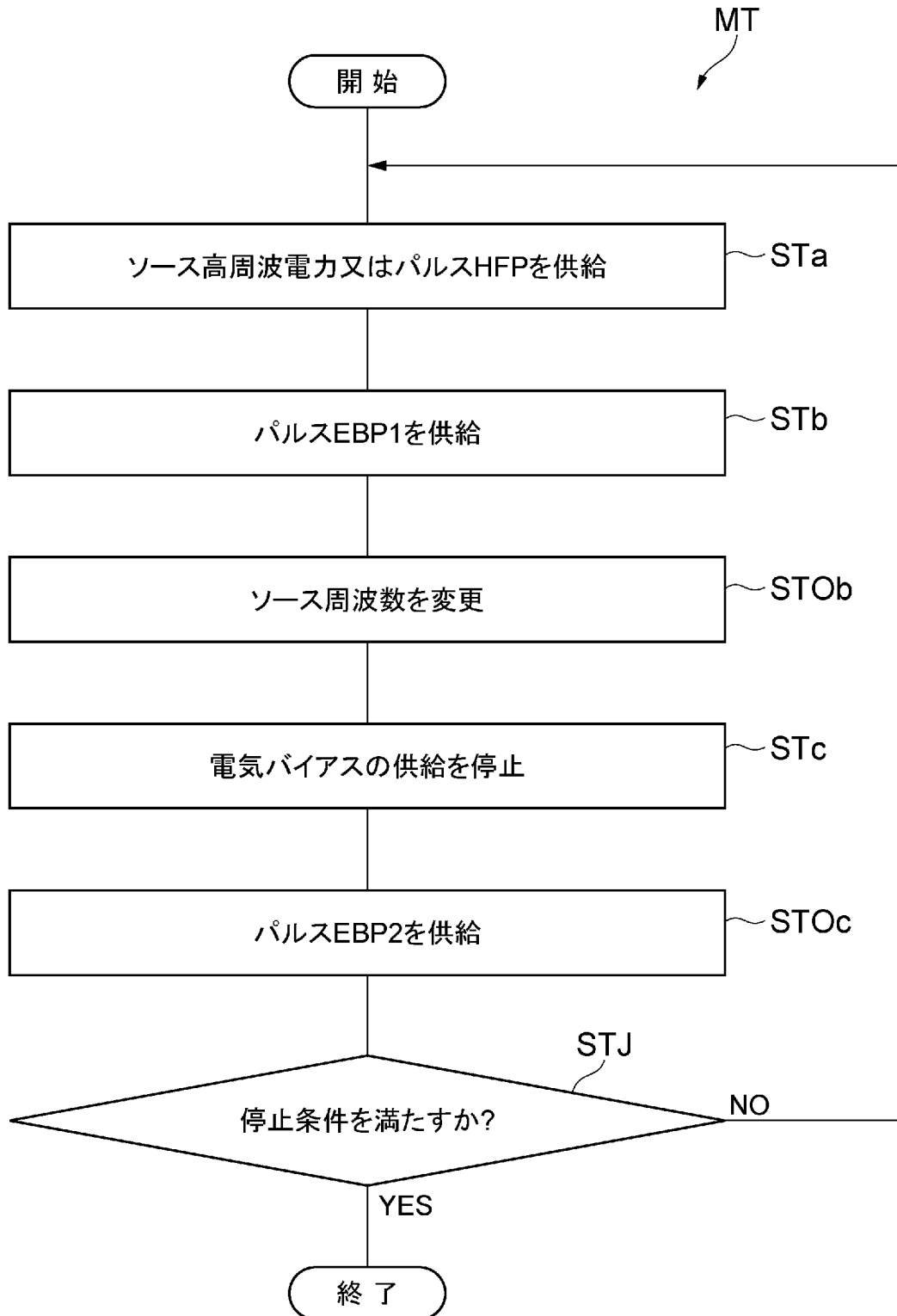
[図7]



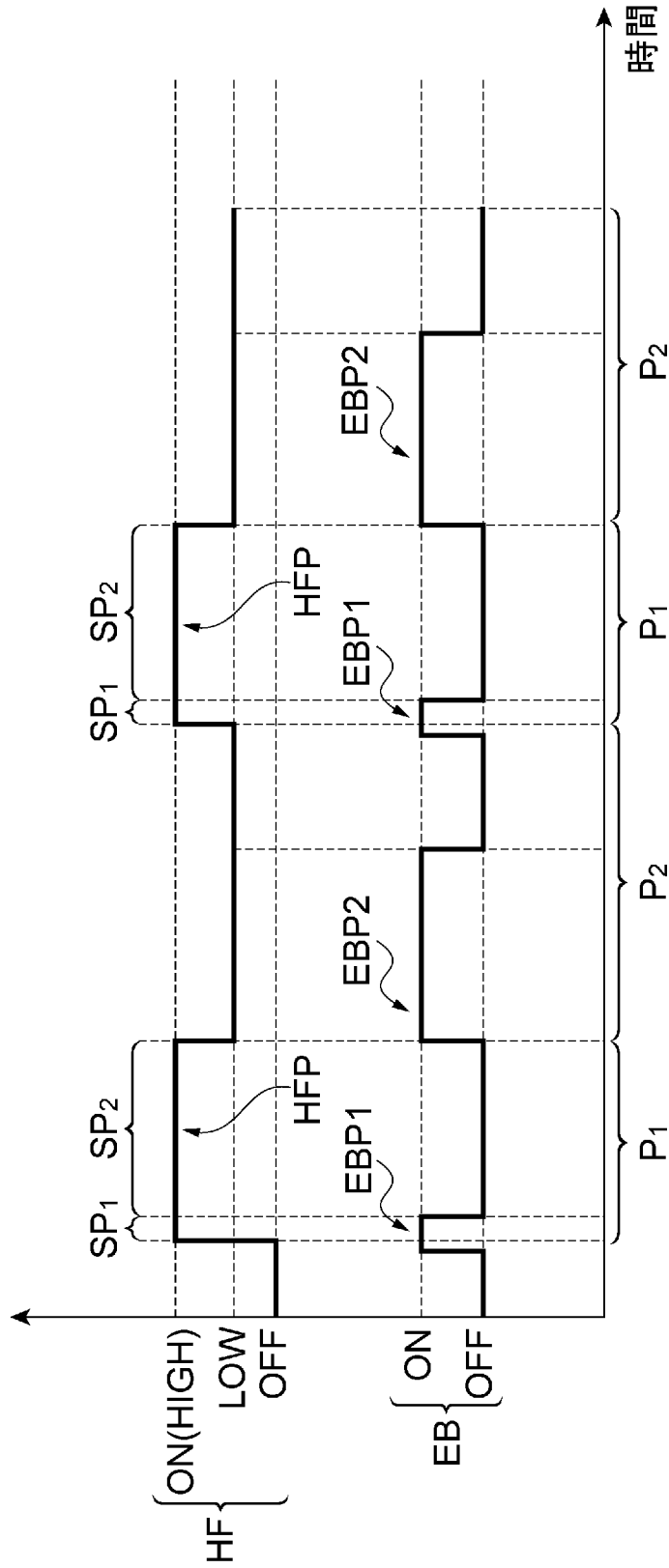
[図8]



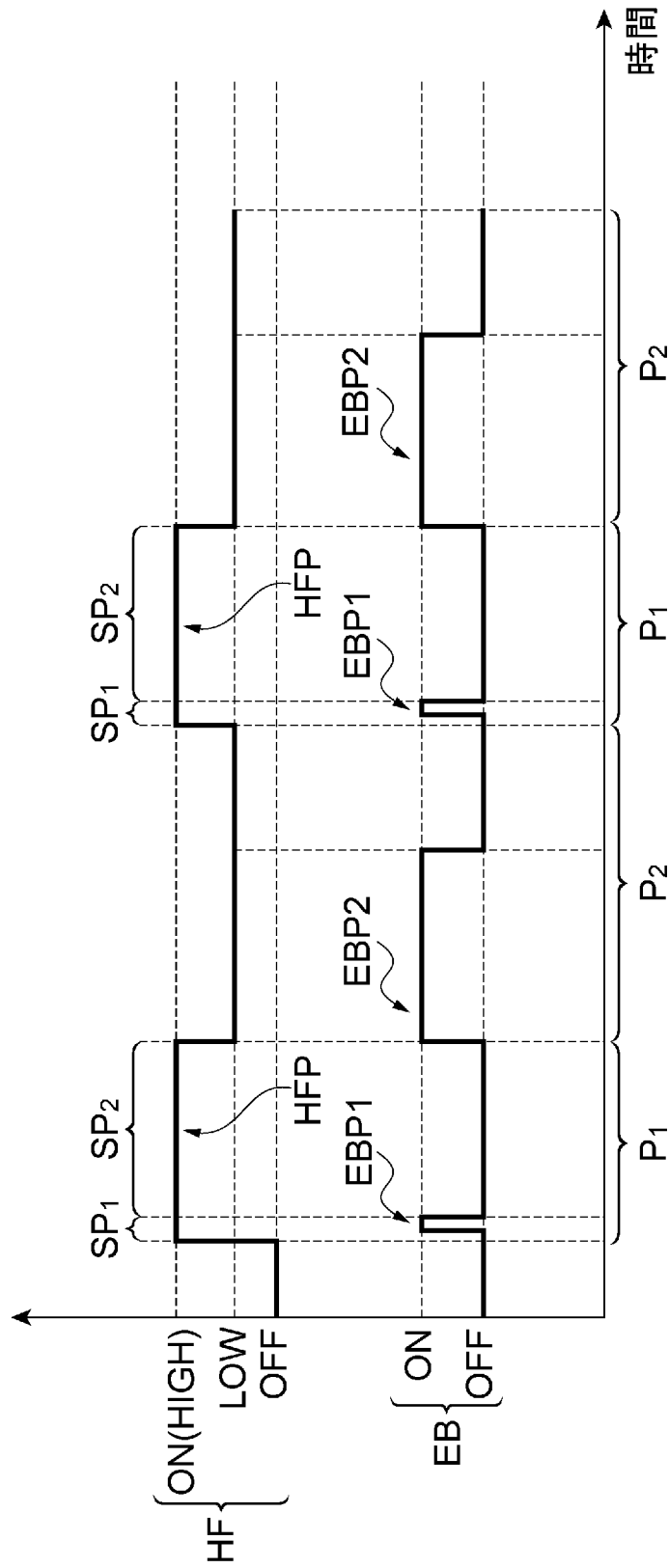
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/039941

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H01L 21/3065</i> (2006.01)i; <i>H05H 1/46</i> (2006.01)i FI: H05H1/46 R; 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) H05H1/46; H01L21/3065		
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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
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 Y A	JP 2017-069542 A (HITACHI HIGH TECH CORP) 06 April 2017 (2017-04-06) paragraphs [0023]-[0024], [0055]-[0057], fig. 9, 15	1-3, 6-7, 14, 16-17 1-3, 6-14, 16-17 4-5, 15
X Y A	JP 2021-534545 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 09 December 2021 (2021-12-09) paragraphs [0028], [0052]-[0054], fig. 4	1-4, 15, 17 1-4, 8-13, 15, 17 5-7, 14, 16
Y A	US 2021/0050185 A1 (MKS INSTRUMENTS, INC.) 18 February 2021 (2021-02-18) paragraphs [0054]-[0061], [0077], [0107]-[0112], fig. 1, 28-30	1-4, 6-17 5
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 04 December 2023		Date of mailing of the international search report 19 December 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/039941

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2017-069542	A	06 April 2017	US 2017/0092468 A1 paragraphs [0033]-[0034], [0065]-[0067], fig. 9, 15	
				US 2021/0398777 A1	
				KR 10-2017-0038142 A	
				TW 201715562 A	
<hr/>					
JP	2021-534545	A	09 December 2021	US 2020/0058469 A1 paragraphs [0067]-[0069], fig. 4	
				JP 2021-534544 A	
				US 2020/0058470 A1	
				WO 2020/036806 A1	
				WO 2020/037331 A1	
				CN 112424904 A	
				KR 10-2021-0032420 A	
				KR 10-2021-0060455 A	
				TW 202033057 A	
				CN 112534544 A	
				TW 202025218 A	
<hr/>					
US	2021/0050185	A1	18 February 2021	WO 2021/030453 A1 paragraphs [0054]-[0061], [0077], [0107]-[0112], fig. 1, 28-30	
				JP 2022-552589 A	
				EP 4014245 A1	
				KR 10-2022-0044819 A	
				CN 114424317 A	
				TW 202121485 A	
<hr/>					

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 21/3065(2006.01)i; H05H 1/46(2006.01)i FI: H05H1/46 R; 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）） H05H1/46; H01L21/3065 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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 Y A	JP 2017-069542 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 06.04.2017 (2017-04-06) [0023]-[0024], [0055]-[0057], 図9, 15	1-3, 6-7, 14, 16-17 1-3, 6-14, 16-17 4-5, 15
X Y A	JP 2021-534545 A (東京エレクトロン株式会社) 09.12.2021 (2021-12-09) [0028], [0052]-[0054], 図4	1-4, 15, 17 1-4, 8-13, 15, 17 5-7, 14, 16
Y A	US 2021/0050185 A1 (MKS Instruments, Inc.) 18.02.2021 (2021-02-18) [0054]-[0061], [0077], [0107]-[0112], Figs. 1, 28-30	1-4, 6-17 5
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 “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 04.12.2023	国際調査報告の発送日 19.12.2023	
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） 中尾 太郎 2G 1765 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/JP2023/039941

引用文献			公表日	パテントファミリー文献		公表日
JP	2017-069542	A	06.04.2017	US 2017/0092468	A1	
				[0033]-[0034], [0065]-		
				[0067], Figs. 9, 15		
				US 2021/0398777	A1	
				KR 10-2017-0038142	A	
				TW 201715562	A	

JP	2021-534545	A	09.12.2021	US 2020/0058469	A1	
				[0067]-[0069], Fig. 4		
				JP 2021-534544	A	
				US 2020/0058470	A1	
				WO 2020/036806	A1	
				WO 2020/037331	A1	
				CN 112424904	A	
				KR 10-2021-0032420	A	
				KR 10-2021-0060455	A	
				TW 202033057	A	
				CN 112534544	A	
				TW 202025218	A	

US	2021/0050185	A1	18.02.2021	WO 2021/030453	A1	
				[0054]-[0061], [0077],		
				[0107]-[0112], Figs. 1,		
				28-30		
				JP 2022-552589	A	
				EP 4014245	A1	
				KR 10-2022-0044819	A	
				CN 114424317	A	
				TW 202121485	A	
