

(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2月1日(01.02.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/024594 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/3065 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/026442

(22) 国際出願日: 2023年7月19日(19.07.2023)

(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 2022-120800 2022年7月28日(28.07.2022) JP

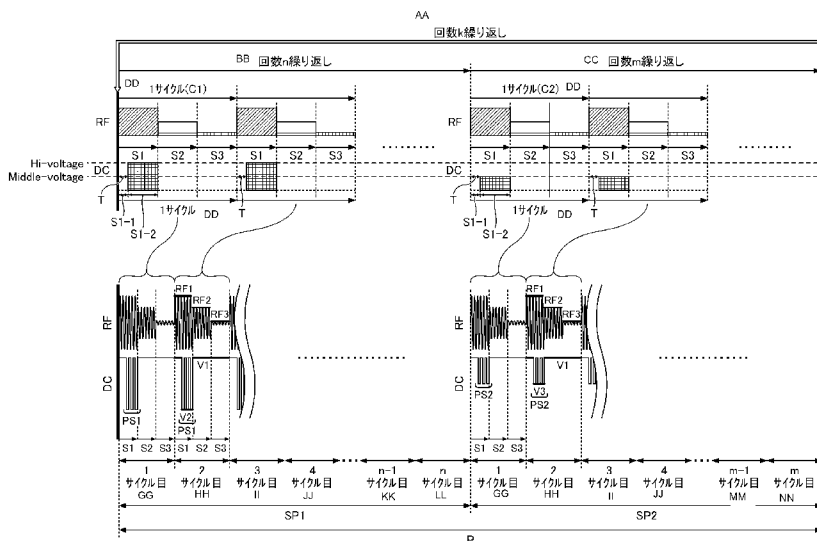
(71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 四本松 康太(SHIHOMMATSU, Kota);

〒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). 李 黎夫(LI, Lifu); 〒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). 辻本 宏(TSUJIMOTO, Hiroshi); 〒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). 水上 大地(MIZUKAMI, Daichi); 〒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). 阿部 淳(ABE, Jun); 〒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). 加藤 秀生(KATO, Hideo); 〒9813629 宮城

(54) Title: PLASMA PROCESSING DEVICE AND POWER SUPPLY SYSTEM

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置及び電源システム



- AA Repeat k times
- BB Repeat n times
- CC Repeat m times
- DD One cycle
- GG First cycle
- HH Second cycle
- II Third cycle
- JJ Fourth cycle
- KK n-1th cycle
- LL nth cycle
- MM m-1th cycle
- NN mth cycle

(57) Abstract: Provided is a plasma processing device comprising: a plasma processing chamber; a substrate support part that is disposed within the plasma processing chamber and includes a lower electrode; an upper electrode that is disposed above the substrate support part; an RF power source that is configured to supply an RF signal to the upper electrode or the lower electrode, the RF signal having a first power level during a first state within a first repetition period, having the first power level during a second state within the first repetition period, having a second power level lower than the first power level during a third state within the first repetition period, and having a third power level lower than the second power level during a fourth state within the first repetition period; and a DC power source that is configured to apply a DC signal to the lower electrode, the DC signal having a voltage pulse sequence having a first voltage level during the first state within the first repetition period and having a second voltage level during the second state within the first repetition

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: 伊東 忠重, 外 (ITO, Tadashige 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) 16階 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, 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))

period, and the absolute value of the second voltage level being larger than the absolute value of the first voltage level.

(57) 要約: プラズマ処理チャンバと、前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含む基板支持部と、前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、前記上部電極又は前記下部電極にRF信号を供給するように構成されるRF電源であり、前記RF信号は、第1繰り返し期間内の第1状態の間に第1電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第2状態の間に第1電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第3状態の間に前記第1電力レベルよりも小さい第2電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第4状態の間に前記第2電力レベルよりも小さい第3電力レベルを有する、RF電源と、前記下部電極にDC信号を印加するように構成されるDC電源であり、前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第1状態の間に第1電圧レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態の間に第2電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第2電圧レベルの絶対値は、前記第1電圧レベルの絶対値よりも大きい、DC電源と、を備える、プラズマ処理装置が提供される。

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及び電源システム

技術分野

[0001] 本開示は、プラズマ処理装置及び電源システムに関する。

背景技術

[0002] 例えば、特許文献1は、少なくとも第1のパルス期間において第1電力レベルを持ち、第2のパルス期間において第2電力レベルを持つマルチレベルのRF電力波形をプラズマ源に供給する。第1のパルス期間において供給ガスのうち第1の種をイオン化し、第2のパルス期間において第2の種をイオン化する。更に、第1のパルス期間において基板にバイアスを供給することを提案している。マルチレベルのRF電力を印加することによりイオン化される種、イオン及び電子の数、電子温度及びプラズマ密度に影響を与えることができ、これにより、基板処理を制御することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特表2013-535074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、エッチング形状の制御性を高めることができる技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一の態様によれば、プラズマ処理チャンバと、前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含む基板支持部と、前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、前記上部電極又は前記下部電極にRF信号を供給するように構成されるRF電源であり、前記RF信号は、第1繰り返し期間内の第1状態の間に第1電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第2状態の間に第1電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第3状態の

間に前記第 1 電力レベルよりも小さい第 2 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 2 電力レベルよりも小さい第 3 電力レベルを有する、RF 電源と、前記下部電極に DC 信号を印加するように構成される DC 電源であり、前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に第 1 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きい、DC 電源と、を備える、プラズマ処理装置が提供される。

発明の効果

[0006] 一の側面によれば、エッチング形状の制御性を高めることができる。

図面の簡単な説明

- [0007] [図1]一実施形態に係るプラズマ処理システムの一例を示す図。
[図2]一実施形態に係るプラズマ処理装置の一例を示す断面模式図。
[図3]RF 信号と DC 信号を説明するための図。
[図4]第 1 実施形態に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。
[図5]第 1 実施形態に係るエッチング処理の一例を示すフローチャート。
[図6]第 1 実施形態に係るエッチング処理を説明するための図。
[図7]第 2 実施形態に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。
[図8]第 2 実施形態に係るエッチング処理の一例を示すフローチャート。
[図9]第 2 実施形態に係る RF 信号と DC 信号の他の例を示す図。
[図10]第 2 実施形態に係る RF 信号と DC 信号の他の例を示す図。
[図11]変形例に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。
[図12]変形例 1 に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。
[図13]変形例 2 に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。
[図14]変形例 2 - 1 に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。
[図15]変形例 2 - 2 に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。
[図16]変形例 3 に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。
[図17]変形例 4 に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図。

[図18]変形例6に係るRF信号とDC信号の例を示す図。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、図面を参照して本開示を実施するための形態について説明する。各図面において、同一構成部分には同一符号を付し、重複した説明を省略する場合がある。

[0009] [プラズマ処理システム]

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。プラズマ処理システムは、基板処理システムの一例であり、プラズマ処理装置1は、基板処理装置の一例である。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1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1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1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(図2)に接続され、ガス排出口は、後述する排気システム40(図2)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1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。一実施形態において、ACプラズマ生成部で用いられるAC信号（AC電力）は、100kHz～10GHzの範囲内の周波数を有する。従って、AC信号は、RF（Radio Frequency）信号及びマイクロ波信号を含む。一実施形態において、RF信号は、100kHz～150MHzの範囲内の周波数を有する。

[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、処理部2a1、記憶部2a2及び通信インターフェース2a3を含んでもよい。制御部2は、例えばコンピュータ2aにより実現される。処理部2a1は、記憶部2a2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2a2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2a2に格納され、処理部2a1によって記憶部2a2から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ2a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2a3に接続されている通信回線であってもよい。処理部2a1は、CPU（Central Processing Unit）であってもよい。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。通信インターフェース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] 容量結合型のプラズマ処理装置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。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。

[0015] 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を有してもよい。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電源31及び／又はDC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。

[0016] 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。

[0017] 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。

[0018] 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。

[0019] 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、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少なくとも1つの流量変調デバイスを含んでもよい。

[0020] 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、プラズマ生成部12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。

[0021] 一実施形態において、RF電源31は、第1のRF生成部31a、第2のRF生成部31b及びRF生成器31c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、10MHz～150MHz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。RF生成器31cは、RF信号を生成するように構成される。

[0022] 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。

[0023] 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、第2のDC生成部32b及びDC生成器32c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。DC生成器32cは、DC信号を生成するように構成される。

[0024] 種々の実施形態において、第1及び第2のDC信号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。

[0025] 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。

[0026] 以下、上部電極又は下部電極に供給される、パルス化RF信号を「RF信号」という。また、下部電極に印加される、パルス化DC信号を「DC信号」という。以下の説明では、パルス化RF信号は下部電極に供給されるが、これに限らず、パルス化RF信号は上部電極に供給されてもよい。

[0027] [RF信号／DC信号]

図3は、RF信号とDC信号を説明するための図である。以下の図では、

RF信号を「RF」、DC信号を「DC」と省略して示す。以下の説明では、RF信号は、パルス化ソースRF信号を例に挙げて説明する。ソースRF信号は、プラズマ生成用のRF信号である。図3の横軸は時間を示し、RFの縦軸は電力レベル、DCの縦軸は電圧レベルを示す。

- [0028] RF信号及びDC信号は時刻 t_0 から時刻 t_1 までの間はオン状態であり、時刻 t_1 から時刻 t_2 までの間はオフ状態であり、これを1サイクルとしてオン状態及びオフ状態を繰り返す。RF信号及びDC信号において、パルス周波数 F_1 は1kHz～50kHzの範囲内である。
- [0029] RF信号は、オン状態の間、100kHz～150MHzの範囲内の周波数を有し、オフ状態の間、ゼロ電力レベルを有する。DC信号は、オン状態の間、電圧パルスのシーケンスPS1を有する。負極性の電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスPS1は、第2パルス周期（パルス周波数 F_2 ）でオン状態（負極性の電圧レベル）及びオフ状態（ゼロ電圧レベル）を繰り返す。即ち、電圧パルスのシーケンスPS1は、パルス周波数 F_1 より大きいパルス周波数 F_2 を有する。一実施形態において、パルス周波数 F_2 は、100kHz～1MHzの範囲内である。一実施形態において、パルス周波数 F_2 は、300kHz～600kHzの範囲内である。
- [0030] デューティー比（Pulse Duty）は、RF信号のオン状態とオフ状態の時間の合計時間に対するRF信号のオン状態の時間である。図3の例では、デューティー比は50%であり、RF信号は、1サイクルの1/2をオンし、1サイクルの1/2をオフするようにRF信号のオン状態とオフ状態を周期的に繰り返す。
- [0031] DC信号のデューティー比は、RF信号のデューティー比と同じであり、50%である。DC信号は、1サイクルの1/2をオンし、1サイクルの1/2をオフするようにDC信号のオン状態とオフ状態を周期的に繰り返す。本開示では、DC信号は、オフ状態の間はゼロ電圧レベルを維持し、オン状態の間、負極性の電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスPS1を維持する。一実施形態において、電圧パルスのシーケンスPS1は、ゼロ電圧レ

ベルと負極性の電圧レベルとをパルス周波数 F_2 で繰り返す。

[0032] 図4以降のRF信号とDC信号は、図3に示すパルス周波数 F_1 を有し、電圧パルスのシーケンスPS1は、パルス周波数 F_2 を有する。図3のRF信号は、1サイクル内に2つの電力レベル（オン状態及びオフ状態）を有するのに対して、図4以降のRF信号は、1サイクル内に3つ以上の電力レベルを有する。

[0033] <第1実施形態>

第1実施形態に係るエッチング処理時のRF信号とDC信号の例について、図4を参照しながら説明する。図4は、第1実施形態に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。図4に示すRF信号とDC信号は、例えば図1及び図2に示す制御部2が、RF生成器31cを含むRF電源31、DC生成器32cを含むDC電源32を制御することによりプラズマ処理装置1により実行される。

[0034] 第1実施形態では、RF信号は、図4(a)及び(b)では1サイクル内に3つの電力レベルを有する。また、RF信号は、図4(c)では1サイクル内に4つの電力レベルを有する。

[0035] 図4(a)～(c)の上段のRFは、RF信号の電力レベルを示し、下段のRFは、上段の電力レベルを有するRF信号のパターン波形を示す。

[0036] 図4(a)～(c)の上段のDCは、DC信号の電圧レベルを示し、下段のDCは、上段の電圧レベルを有するDC信号の電圧パルスパターンを示す。本開示では、電圧パルスは矩形状であるが、これに限らず、電圧パルスは、矩形、台形、三角形又はこれらの組み合わせであってもよい。

[0037] RF信号は、1サイクルにおいて階段状に電力レベルが小さくなる。これをnサイクル繰り返す。nは、予め決められた設定回数であり、1以上である。

[0038] 図4(a)及び(b)では、1サイクルは期間S1、S2、S3から構成される。この1サイクルは「第1繰り返し期間」の一例である。第1繰り返し期間は、1kHz～50kHzの繰り返し周波数を有する。RF信号は、

期間S 1の間に第1電力レベルRF 1を有する。RF信号は、期間S 2の間に第2電力レベルRF 2を有する。RF信号は、期間S 3の間に第3電力レベルRF 3を有する。第2電力レベルRF 2は第1電力レベルRF 1よりも小さく、第3電力レベルRF 3は第2電力レベルRF 2よりも小さい。

[0039] 第1実施形態では、DC信号は、1サイクルにおいて2つの電圧レベルを有する。DC信号は、期間S 1内の期間T（以下、「オフセット期間T」とする。）の間に第1電圧レベルV 1を有し、期間S 1内の残りの期間の間に第2電圧レベルV 2を有する電圧パルスのシーケンスPS 1を有する。DC信号は、期間S 2, S 3の間に第1電圧レベルV 1を有する。期間S 1のうちオフセット期間Tは「期間S 1-1」ともいう。期間S 1のうちオフセット期間T以外の期間は「期間S 1-2」ともいう。

[0040] 図4 (a) 及び (b) では、RF信号は、1サイクル内の第1状態の間（期間S 1-1）に第1電力レベルRF 1を有し、第2状態の間（期間S 1-2）に第1電力レベルRF 1を有する。また、RF信号は、第3状態の間（期間S 2）に第1電力レベルRF 1よりも小さい第2電力レベルRF 2を有し、第4状態の間（期間S 3）に第2電力レベルRF 2よりも小さい第3電力レベルRF 3を有する。

[0041] 図4 (a) では、DC信号は、1サイクル内の第1状態の間（期間S 1-1）に第1電圧レベルV 1を有し、第2状態の間（期間S 1-2）に第2電圧レベルV 2を有する電圧パルスのシーケンスPS 1を有する。第2電圧レベルV 2の絶対値は、第1電圧レベルV 1の絶対値よりも大きい。一実施形態において、第1電圧レベルV 1は、ゼロ電圧レベルを有する。第2電圧レベルV 2は、負極性を有する。また、DC信号は、1サイクル内の第3状態の間（期間S 2）に第1電圧レベルV 1を有し、第4状態（期間S 3）の間に第1電圧レベルV 1を有する。

[0042] 図4 (b) では、DC信号は、1サイクル内の第1状態の間（期間S 1-1）に第1電圧レベルV 1を有し、第2状態（期間S 1-2）及び第3状態（期間S 2）の間に第2電圧レベルV 2を有する電圧パルスのシーケンスP

S 1 を有する。第 2 電圧レベル V 2 の絶対値は、第 1 電圧レベル V 1 の絶対値よりも大きい。一実施形態において、第 1 電圧レベル V 1 は、ゼロ電圧レベルを有する。第 2 電圧レベル V 2 は、負極性を有する。また、DC 信号は、1 サイクル内の第 4 状態（期間 S 3）の間に第 1 電圧レベル V 1 を有する。

[0043] 図 4（c）では、1 サイクルは期間 S 1、S 2、S 3、S 4 から構成される。この 1 サイクルは「第 1 繰り返し期間」の一例である。図 4（c）では、RF 信号は、1 サイクル内の第 1 状態の間（期間 S 1-1）に第 1 電力レベル RF 1 を有し、第 2 状態の間（期間 S 1-2）に第 1 電力レベル RF 1 を有する。また、RF 信号は、第 3 状態の間（期間 S 2）に第 1 電力レベル RF 1 よりも小さい第 2 電力レベル RF 2 を有し、第 4 状態の間（期間 S 3）に第 2 電力レベル RF 2 よりも小さい第 3 電力レベル RF 3 を有する。更に、RF 信号は、第 5 状態の間（期間 S 4）に第 3 電力レベル RF 3 よりも小さい第 4 電力レベル RF 4 を有する。

[0044] 図 4（c）では、DC 信号は、1 サイクル内の第 1 状態の間（期間 S 1-1）に第 1 電圧レベル V 1 を有し、第 2 状態（期間 S 1-2）、第 3 状態（期間 S 2）及び第 4 状態（期間 S 3）の間に第 2 電圧レベル V 2 を有する電圧パルスのシーケンス PS 1 を有する。第 2 電圧レベル V 2 の絶対値は、第 1 電圧レベル V 1 の絶対値よりも大きい。一実施形態において、第 1 電圧レベル V 1 は、ゼロ電圧レベルを有する。第 2 電圧レベル V 2 は、負極性を有する。また、DC 信号は、1 サイクル内の第 5 状態（期間 S 4）の間に第 1 電圧レベル V 1 を有する。

[0045] [エッチング処理]

次に、図 5 及び図 6 を参照しながら、第 1 実施形態に係るエッチング処理について説明する。図 5 は、第 1 実施形態に係るエッチング処理の一例を示すフローチャートである。図 6 は、第 1 実施形態に係るエッチング処理を説明するための図である。本開示のエッチング処理は、制御部 2 により制御され、プラズマ処理装置 1 により実行される。

- [0046] 図5に示すエッチング処理が開始されると、ステップST1において、制御部2は、基板Wを基板支持部11に載置し、準備する。次に、ステップST2において、制御部2は、エッチング用の処理ガスを供給し、期間S1の間、第1電力レベルRF1を有するRF信号を供給し、期間S1-1の間、第1電圧レベルV1を有するDC信号を供給する。
- [0047] 次に、ステップST3において、制御部2は、オフセット期間Tが経過したかを判定する。制御部2は、オフセット期間Tが経過するまで待ち、オフセット期間Tが経過した後、ステップST4において、第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有するDC信号を供給する。
- [0048] 期間S1の経過後であって期間S2の間、ステップST5において、制御部2は、第2電力レベルRF2を有するRF信号を供給し、第1電圧レベルV1を有するDC信号を供給する。
- [0049] 期間S2の経過後であって期間S3の間、ステップST6において、制御部2は、第3電力レベルRF3を有するRF信号を供給し、第1電圧レベルV1を有するDC信号を供給する。
- [0050] 次に、ステップST7において、制御部2は、設定した回数n繰り返したかを判定する。制御部2は、設定した回数n繰り返すまでステップST2～ST6の処理を繰り返し、回数n繰り返した後、本処理を終了する。
- [0051] 第1実施形態に係るプラズマ処理装置1は、図4(a)に示すように、DC信号を期間S1の終了時に合わせて第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1から第1電圧レベルV1（ゼロ電圧レベル）に遷移させてもよい。図4(b)に示すように、DC信号は、期間S2の終了時に合わせて第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1から第1電圧レベルV1（ゼロ電圧レベル）に遷移されてもよい。図4(c)に示すように、DC信号は、期間S3の終了時に合わせて第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1から第1電圧レベルV1（ゼロ電圧レベル）に遷移されてもよい。
- [0052] DC信号を第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1に

遷移するタイミングは、オフセット期間Tの経過後であるが、オフセット期間Tは「0」であってもよい。この場合、期間S1の開始時にDC信号が第2電圧レベルV2に遷移される。ただし、オフセット期間Tは「0」よりも大きくオフセット期間経過後にDC信号を第2電圧レベルV2に遷移することでよりエッチング形状を良好にすることができる。

[0053] 期間S1の開始直後のRF信号の立ち上がり時には、RF信号が目標パワーにならず、瞬時ではあるが目標パワーになるまでに時間を要する。このためRF信号の立ち上がりでは電力が目標パワーである第1電力レベルRF1に到達するまでプラズマが不安定になり、エッチング形状に影響を及ぼす。

[0054] よって、制御部2は、RF信号の立ち上がりのオフセット期間Tの間、DC信号を第1電圧レベルV1のゼロ電圧レベルに維持する。そして、プラズマが安定したオフセット期間Tの経過後、DC信号は、第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1に遷移する。

[0055] これにより、図6(a)に示すように、プラズマ中のイオンをシリコン基板100上のエッチング対象膜101の凹部103内に引き込む。これにより、イオンが凹部103内を垂直にエッチングすることによって凹部103のエッチング形状を良好に制御することができる。

[0056] RF信号とともにDC信号を供給するのは、RF信号を供給してDC信号を供給しない場合、エッチングにより生成された反応生成物が堆積し、基板に形成された凹部103の開口が閉塞してエッチストップが生じ得るためである。例えば処理ガスとしてCF含有ガスを供給した場合、堆積物はマスク102やエッチング対象膜101の凹部103の上部側壁に付着しやすい。このため、基板に形成されたエッチング対象膜101の凹部103の開口がCF_x含有堆積物により閉塞することが生じ得る。

[0057] これに対して、期間S1-2にて第2電圧レベルV2の電圧パルスのシーケンスPS1を有するDC信号が下部電極に供給される。これにより、マスク102及びエッチング対象膜101の凹部103の上部側壁にCF_x含有堆積物を堆積しつつ、イオンにより凹部103のエッチングを進行する。こ

のときイオンによりマスク102もエッチングされるが、マスク102の表面にはCF_x含有堆積物が堆積しているため、マスク102がイオンにより削れることを抑制することができる。

[0058] 本開示では、DC信号はオン状態においてパルス化されている。DC信号がオン状態においてパルス化されておらず、例えば期間S1-2において第2電圧レベルV2を有するDC信号が連続的に印加される場合には、基板Wの電位が変化しない。このため基板Wにイオンを引き込むことができない。

[0059] 一方、本開示のDC信号は、例えば期間S1-2において、電圧パルスのシーケンスPS1を有する。電圧パルスのシーケンスPS1は、パルス周波数F2で第2電圧レベルV2と、第1電圧レベルV1とを繰り返す。これにより、基板Wに第1電圧レベルV1の電圧が印加されたときと、第2電圧レベルV2の電圧が印加されたときの基板Wの電位差によってイオンを基板Wに引き込むことができる。

[0060] 一実施形態において、電圧パルスのシーケンスPS1は、例えば400kHzのパルス周波数F2を有する。これにより、電圧パルスのシーケンスPS1が第1電圧レベルV1（ゼロ電圧レベル）と第2電圧レベルV2（負極性）とを繰り返すことで、イオンを加速させる。これにより、エッチング対象膜の凹部の底部までイオンを引き込み、エッチング形状の制御性を高めることができる。すなわち、凹部103のエッチング形状を垂直に改善するとともに、エッチングを促進することができる。

[0061] RF信号は、1サイクル中において段階的に電力を減少させている。プラズマ着火時プラズマは不安定になり易い。このため、期間S1では安定してプラズマ着火させ、プラズマ密度の高いプラズマを生成するために1サイクル中において最も高い電力レベルに制御する。

[0062] 期間S2の間、図4(a)ではDC信号をゼロ電圧レベルに維持する。これにより、基板へのイオンの引き込みは行われず、図6(b)に示すように、マスク102及びエッチング対象膜101の凹部103の上部にCF_x含有堆積物104が堆積する。このとき、RF信号は中程度に制御する。これ

により、期間S1の間よりも生成されるプラズマの電子密度を減らし、エッチング時に生成されるCF_x含有堆積物104の堆積量を減らすことができ、エッチング対象膜101の凹部103の開口がCF_xの堆積物104により閉塞することを抑制できる。

[0063] 期間S3の間、DC信号をゼロ電圧レベルに維持し、RF信号は期間S2の間の電力レベルよりも更に小さい電力レベルに維持される。これにより、CF_xの堆積物104の堆積量を更に減らすことができる。これにより、図6(c)に示すように、エッチング対象膜101の凹部103の開口を閉塞せずにCF_xの堆積物104をマスク102上に堆積させることができる。このため、次のサイクルに図6(a)に示すイオンの引き込みによるマスク102へのダメージを減らすことができる。

[0064] 図4(b)及び図4(c)では、図4(a)と比較してRF信号の電力レベルを減らす毎に相対的に電圧パルスのシーケンスPS1の作用が増す。これにより、イオンの直進性が増してエッチングを促進でき、エッチング対象膜101の凹部103をより深くエッチングすることができる。ただし、図4(c)、図4(b)、図4(a)のシーケンスの順に電圧パルスのシーケンスPS1の作用が増すため、マスク102は削られ易くなる。

[0065] 第1実施形態に係るエッチング処理では、図4(a)～図4(c)に示すパターンを複数サイクル繰り返す。これにより、マスク102への堆積物の堆積とエッチング対象膜101のエッチング形状の制御との間の強弱のバランス(度合)にグラデーションをつけることができる。すなわち、マスク102への堆積物の堆積とエッチング対象膜101のエッチングの促進とのバランスを制御することができる。これにより、エッチング対象膜101の凹部103のエッチング形状の制御性を高めることができる。

[0066] 更に、パルス周波数F1、パルス周波数F2、RF信号のRF周波数、デューティー比の少なくともいずれかを制御することができる。これにより、マスク102への堆積物の堆積とエッチング対象膜101のエッチングの促進との間の強弱を更に細かく制御することができ、エッチング対象膜101

の凹部103のエッチング形状の制御性を高めることができる。

[0067] <第2実施形態>

次に、第2実施形態に係るエッチング処理時のRF信号とDC信号の例について、図7を参照しながら説明する。図7は、第2実施形態に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。

[0068] 第2実施形態は、DC信号が第2の電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1と第3の電圧レベルV3を有する電圧パルスのシーケンスPS2とを有する点で、第1実施形態と異なる。

[0069] なお、第2実施形態においても、図7では、RF信号は1サイクル内に3つの電力レベルを含み、このサイクルを複数回繰り返す。

[0070] 図7の例では、メインサイクルPがk回繰り返される。メインサイクルPは、第1サブサイクルSP1及び第2サブサイクルSP2を含む。第1サブサイクルSP1は、複数の第1サイクルC1を含む。図7の例では、第1サイクルC1は、第1サブサイクルSP1においてn回繰り返される。また、第2サブサイクルSP2は、複数の第2サイクルC2を含む。図7の例では、第2サイクルC2は、第2サブサイクルSP2においてm回繰り返される。ここで、n、m及びkは、予め決められた回数であり、n、m及びkは1以上である。第1サイクルC1及び第2サイクルC2の各々は、第1状態S1、第2状態S2及び第3状態S3を含む。RF信号は、第1サイクルC1及び第2サイクルC2において階段状に小さくなっていく複数の電力レベルを有する。

[0071] 図7の例では、RF信号は、第1状態S1の間に第1の電力レベルRF1を有し、第2状態S2の間に第1の電力レベルRF1よりも小さい第2の電力レベルRF2を有し、第3状態S3の間に第2の電力レベルRF2よりも小さい第3の電力レベルRF3を有する。即ち、図7の例では、RF信号は、第1サイクルC1と第2サイクルC2との間で同一のパルスパターンを有する。また、図7の例では、DC信号は、第1サイクルC1内の第1状態S1において遅延時間S1-1（オフセット期間T）経過後の状態S1-2の

間に第2の電圧レベル V_2 を有する電圧パルスの第1シーケンス PS_1 を有する。DC信号は、第2サイクル C_2 内の第1状態 S_1 において遅延時間 S_{1-1} （オフセット期間 T ）経過後の状態 S_{1-2} の間に第3の電圧レベル V_3 を有する電圧パルスの第2シーケンス PS_2 を有する。そして、図7の例では、DC信号は、第1サイクル C_1 及び第2サイクル C_2 の双方における遅延時間 S_{1-1} 、第2状態 S_2 及び第3状態 S_3 の間に第1の電圧レベル V_1 を有する。第3の電圧レベル V_3 の絶対値は、第2の電圧レベル V_2 の絶対値よりも小さい。また、第1の電圧レベル V_1 の絶対値は、第3の電圧レベル V_3 の絶対値及び第2の電圧レベル V_2 の絶対値よりも小さい。第2電圧レベル V_2 及び第3の電圧レベル V_3 は、負極性を有する。一実施形態において、第1の電圧レベル V_1 は、ゼロ電圧レベルを有する。

[0072] 第1繰り返し期間が複数回（例えば n 回）繰り返される第1サブサイクルと、第2繰り返し期間が複数回（例えば m 回）繰り返される第2サブサイクルとは交互に繰り返される。メインサイクルは、第1サブサイクルと第2サブサイクルとを含み、期間 P に実行される第1サブサイクルのシーケンスと第2サブサイクルのシーケンスを複数回（例えば k 回）繰り返す。一実施形態において、メインサイクルは、 $1\text{ Hz} \sim 10\text{ Hz}$ の繰り返し周波数を有する。

[0073] 図7の例では、第1サブサイクル SP_1 内の第1サイクル C_1 は期間 S_1 、 S_2 、 S_3 から構成され、「第1繰り返し期間」の一例である。第1サブサイクル SP_1 では、RF信号は、第1サイクル C_1 内の第1状態の間（期間 S_{1-1} ）に第1電力レベル RF_1 を有し、第2状態の間（期間 S_{1-2} ）に第1電力レベル RF_1 を有する。また、RFパルス信号は、第3状態の間（期間 S_2 ）に第1電力レベル RF_1 よりも小さい第2電力レベル RF_2 を有し、第4状態の間（期間 S_3 ）に第2電力レベル RF_2 よりも小さい第3電力レベル RF_3 を有する。第1サブサイクル PS_1 では、第1サイクル C_1 が n 回繰り返される。

[0074] また、第1サブサイクル SP_1 では、DC信号は、第1サブサイクル SP

1内の第1サイクルC1内の第1状態の間(期間S1-1)に第1電圧レベルV1を有し、第1サイクルC1内の第2状態の間(期間S1-2)に第2電圧レベルV2を有する電圧パルスの第1シーケンスPS1を有する。第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも大きい。一実施形態において、第1電圧レベルV1は、ゼロ電圧レベルを有する。第2電圧レベルV2は、負極性を有する。また、DC信号は、第1サイクルC1内の第3状態の間(期間S2)に第1電圧レベルV1を有し、第1サイクルC1内の第4状態の間(期間S3)に第1電圧レベルV1を有する。

[0075] 図7の例では、第2サブサイクルSP2内の第2サイクルC2は期間S1、S2、S3から構成され、「第2繰り返し期間」の一例である。第2繰り返し期間は、1kHz~50kHzの繰り返し周波数を有する。RF信号は、第1サブサイクルSP1と第2サブサイクルSP2との間で同一である。RF信号は、第2サイクルC2内の第1状態の間(期間S1-1)に第1電力レベルRF1を有し、第2サイクルC2内の第2状態の間(期間S1-2)に第1電力レベルRF1を有する。RF信号は、第2サイクルC2内の第3状態の間(期間S2)に第2電力レベルRF2を有し、第2サイクルC2内の第4状態の間(期間S3)に第3電力レベルRF3を有する。

[0076] また、第2サブサイクルSP2では、DC信号は、第2サブサイクルSP2内の第2サイクルC2内の第1状態の間(期間S1-1)に第1電圧レベルV1を有する。第2サイクルC2内の第2状態の間(期間S1-2)に第3電圧レベルV3を有する電圧パルスの第2シーケンスPS2を有する。第3電圧レベルV3の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも大きく、第2電圧レベルの絶対値V2よりも小さい。第3電圧レベルV3は、負極性を有する。また、DC信号は、第2サイクルC2内の第3状態の間(期間S2)に第1電圧レベルV1を有し、第2サイクルC2内の第4状態の間(期間S3)に第1電圧レベルV1を有する。

[0077] [エッチング処理]

次に、図8を参照しながら、第2実施形態に係るエッチング処理について

説明する。図8は、第2実施形態に係るエッチング処理の一例を示すフローチャートである。本開示のエッチング処理は、制御部2により制御され、プラズマ処理装置1により実行される。図5に示す第1実施形態のエッチング処理と同じステップ番号は、同じ処理を示し、説明を簡略する。また、ステップST9、ST10、ST12、ST13は、ステップST2、ST3、ST5、ST6と同じ処理である。

- [0078] 図8に示すエッチング処理が開始されると、制御部2は、ステップST1～ST6の処理を実行する。これにより、図7の期間SP1の第1サブサイクルの1サイクル目が実行される。ステップST7において、制御部2は、第1サブサイクルを回数 n 繰り返したかを判定する。
- [0079] 制御部2は、第1サブサイクルを回数 n 繰り返していないと判定すると、ステップST2に戻り、ステップST2～ST6の処理を繰り返す。これにより、第1サブサイクルの2サイクル目から順に n サイクル目までの処理が実行される。
- [0080] ステップST7において、制御部2は、第1サブサイクルを回数 n 繰り返したと判定すると、ステップST9～ST13の処理を実行する。これにより、図7の期間SP2の第2サブサイクルの1サイクル目が実行される。
- [0081] 第2サブサイクルのステップST9～ST13の処理が、第1サブサイクルのステップST2～ST6の処理と異なる点は、ステップST11のみである。すなわち、第1サブサイクルのステップST4では、期間S1-2において第2電圧レベル V_2 を有する電圧パルスの第1シーケンスPS1を印加するのに対して、第2サブサイクルのステップST9では、期間S1-2において第3電圧レベル V_3 を有する電圧パルスの第2シーケンスPS2を印加する。これにより、第1サブサイクルと第2サブサイクルとでイオンの引き込み量を変えることができる。
- [0082] ステップST14において、制御部2は、第2サブサイクルを回数 m 繰り返したかを判定する。制御部2は、第2サブサイクルを回数 m 繰り返していないと判定すると、ステップST9に戻り、ステップST9～ST13の処

理を繰り返す。これにより、第1サブサイクルの2サイクル目から順にmサイクル目までの処理が実行される。

[0083] ステップST14において、制御部2は、第2サブサイクルを回数m繰り返したと判定すると、ステップST15において、メインサイクルを回数k繰り返したかを判定する。制御部2は、メインサイクルを回数k繰り返していないと判定すると、ステップST2に戻り、ステップST2～ST14の処理を繰り返す。これにより、図7の期間Pのメインサイクルの処理が繰り返される。

[0084] ステップST15において、制御部2は、メインサイクルを回数k繰り返したと判定すると本処理を終了する。

[0085] 図9及び図10は、第2実施形態に係るRF信号とDC信号の他の例を示す図である。図9では、RF信号は、1サイクル内に3つの電力レベルを有し、この1サイクルが繰り返される。図10では、RF信号は、1サイクル内に4つの電力レベルを有し、この1サイクルが繰り返される。

[0086] 図9のRF信号は、図7のRF信号と同じである。図9のDC信号は、図7のDC信号と異なる。図7のDC信号は、第1繰り返し期間である第1サイクルC1及び第2繰り返し期間である第2サイクルC2において期間S1から期間S2に遷移する時点で第1電圧レベルV1に遷移する。これに対して、図9のDC信号は、第1サイクルC1及び第2サイクルC2において期間S2から期間S3に遷移する時点で第1電圧レベルV1に遷移する。

[0087] 図10の第1サブサイクルSP1では、第1サイクルC1は期間S1、S2、S3、S4から構成され、「第1繰り返し期間」の一例である。第1サブサイクルSP1では、RF信号は、第1サイクルC1内の第1状態の間（期間S1-1）に第1電力レベルRF1を有する。第1サイクルC1内の第2状態の間（期間S1-2）に第1電力レベルRF1を有する。また、RF信号は、第1サイクルC1内の第3状態の間（期間S2）に第1電力レベルRF1よりも小さい第2電力レベルRF2を有する。RF信号は、第1サイクルC1内の第4状態の間（期間S3）に第2電力レベルRF2よりも小

い第3電力レベルRF3を有し、第1サイクルC1内の第5状態の間（期間S4）に第3電力レベルRF3よりも小さい第4電力レベルRF4を有する。

[0088] 図10の第1サブサイクルSP1では、DC信号は、第1サイクルC1内の第1状態の間（期間S1-1）に第1電圧レベルV1を有し、第1サイクルC1内の第2状態（期間S1-2）、第3状態（期間S2）及び第4状態（期間S3）の間に第2電圧レベルV2を有する電圧パルスの第1シーケンスPS1を有する。第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも大きい。一実施形態において、第1電圧レベルV1は、ゼロ電圧レベルを有する。第2電圧レベルV2は、負極性を有する。そして、DC信号は、第1サイクルC1内の第5状態の間（期間S4）に第1電圧レベルV1を有する。

[0089] 図10の第2サブサイクルSP2は、第2サイクルC2は期間S1、S2、S3、S4から構成され、「第2繰り返し期間」の一例である。第2サブサイクルSP2では、RF信号は、第2サイクルC2内の第1状態の間（期間S1-1）に第1電力レベルRF1を有する。RF信号は、第2サイクルC2内の第2状態の間（期間S1-2）に第1電力レベルRF1を有する。RF信号は、第2サイクルC2内の第3状態の間（期間S2）に第2電力レベルRF2を有する。RF信号は、第2サイクルC2内の第4状態の間（期間S3）に第3電力レベルRF3を有する。RF信号は、第2サイクルC2内の第5状態の間（期間S4）に第4の電力レベルRF4を有する。電力レベルRF1~RF4は、第1サブサイクルSP1と第2サブサイクルSP2との間で同じである。

[0090] 図10の第2サブサイクルSP2では、DC信号は、第2サイクルC2内（1サイクル）の第1状態の間（期間S1-1）に第1電圧レベルV1を有し、第2サイクルC2内の第2状態（期間S1-2）、第3状態（期間S2）及び第4状態（期間S3）の間に第3電圧レベルV3を有する電圧パルスの第2シーケンスPS2を有する。第3電圧レベルV3の絶対値は、第1電

圧レベルV₁の絶対値よりも大きく、第2電圧レベルV₂の絶対値V₂よりも小さい。第3電圧レベルV₃は、負極性を有する。そして、DC信号は、第2サイクルC₂内の第5状態の間（期間S₄）に第1電圧レベルV₁を有する。

[0091] 図11は、変形例に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。図11に示すように、オフセット期間Tは、期間S₁よりも長い期間であってもよい。図11の例では、オフセット期間Tは、期間S₁よりも長く期間S₁と期間S₂の合計時間よりも短い。図11では、DC信号は、1サイクル内の第1状態（期間S₁）及び第2状態（期間S₂-1）の間に第1電圧レベルV₁を有し、1サイクル内の第3状態の間（期間S₂-2）に第2電圧レベルV₂を有する電圧パルスのシーケンスを有する。第2電圧レベルV₂の絶対値は、第1電圧レベルV₁の絶対値よりも大きい。第2電圧レベルV₂は、負極性を有する。そして、DC信号は、1サイクル内の第4状態の間（期間S₃）に第1電圧レベルV₁を有する。

[0092] RF信号は、1サイクルにおいて階段状に小さくなる複数の電力レベルを有する。DC信号は、期間S₁において第1電圧レベルV₁を有し、期間S₂においてオフセット期間Tが経過するまで第1電圧レベルV₁を有する。そして、DC信号は、オフセット期間Tが経過した後に第2電圧レベルV₂を有する電圧パルスのシーケンスを有する。DC信号は、期間S₃において第1電圧レベルV₁を有する。

[0093] [電源システム]

プラズマ処理装置1は、プラズマ処理装置1で使用する電源システムを有する。電源システムは、RF生成器31cとDC生成器32cとを有する。

[0094] RF信号を生成するためのRF生成器31cが第1のRF生成部31aと上部電極又は下部電極との間に電氣的に接続される。

[0095] また、DC信号を生成するためのDC生成器32c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電氣的に接続される。

[0096] プラズマ処理装置で使用する電源システムは、RF生成器31cとDC生

成器 3 2 c とを有する。RF 生成器 3 1 c は、RF 信号を生成するように構成され、RF 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 1 状態の間に第 1 電力レベルを有し、第 1 繰り返し期間内の第 2 状態の間に第 1 電力レベルを有し、第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に第 1 電力レベルよりも小さい第 2 電力レベルを有し、第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に第 2 電力レベルよりも小さい第 3 電力レベルを有する。

[0097] DC 生成器 3 2 c は、DC 信号を生成するように構成され、DC 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 1 状態の間に第 1 電圧レベルを有し、第 1 繰り返し期間内の第 2 状態の間に第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、第 2 電圧レベルの絶対値は、第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きい。

[0098] DC 生成器 3 2 c は、第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に第 1 電圧レベルを有し、第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する DC 信号を生成してもよい。

[0099] DC 生成器 3 2 c は、第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に第 2 電圧レベルを有し、第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する DC 信号を生成してもよい。

[0100] RF 生成器 3 1 c は、第 1 繰り返し期間内の第 5 状態の間に前記第 3 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する RF 信号を生成してもよい。

[0101] DC 生成器 3 2 c は、第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に第 2 電圧レベルを有し、第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に第 2 電圧レベルを有し、第 1 繰り返し期間内の第 5 状態の間に第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する DC 信号を生成してもよい。

[0102] RF 生成器 3 1 c 及び DC 生成器 3 2 c のそれぞれは、以下のように RF 信号及び DC 信号をそれぞれ生成してもよい。RF 信号は、第 2 繰り返し期間内の第 1 状態の間に第 1 電力レベル RF 1 を有する。RF 信号は、第 2 繰り返し期間内の第 2 状態の間に第 1 電力レベル RF 1 を有する。RF 信号は、第 2 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 2 電力レベル RF 2 を有する。RF 信号は、第 2 繰り返し期間内の第 4 状態の間に第 3 電力レベル RF 3

を有する。DC信号は、第2繰り返し期間内の第1状態の間に第1電圧レベルを有する。DC信号は、第2繰り返し期間内の第2状態の間に第3電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する。第3電圧レベルの絶対値は、第1電圧レベルの絶対値よりも大きく、第2電圧レベルの絶対値よりも小さい。

[0103] プラズマ処理装置1は、プラズマ処理チャンバ10と、プラズマ処理チャンバ10内に配置される基板支持部11と、プラズマ処理チャンバ10に結合され、繰り返し期間の間に第1電力レベルから段階的に減少する複数の電力レベルを有するRF信号を生成するように構成されるRF生成器31cと、基板支持部11に結合され、繰り返し期間内のパルス生成状態の間に電圧パルスのシーケンスを生成するように構成されるDC生成器32cであり、パルス生成状態の開始時点は、第1電力レベルの開始時点に対してオフセットされる、DC生成器32cと、を備えてもよい。

[0104] パルス生成状態は、第1電力レベルの終了後に開始されてもよい。

[0105] 以上に説明したように、本実施形態のプラズマ処理装置及び電源システムによれば、エッチング形状の制御性を高めることができる。

[0106] なお、DC信号を第1電圧レベルに変化させるタイミングは、期間S2の終了時（図11の例の場合には期間S3の終了時）から多少ずれていてもよい。

[0107] [他の変形例]

変形例1～変形例7について図12～図18を参照しつつ説明する。RF信号はRF生成器31cにより生成される。DC信号はDC生成器32cにより生成される。

[0108] (変形例1：3ステート)

図12は、変形例1に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。図12の例では、RF信号は、第1繰り返し期間〈1サイクル〉内の第1状態（期間S1-1）及び第2状態（期間S1-2）の間に第1電力レベルRF1を有する。また、RF信号は、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S2）

の間に第1電力レベルよりも小さい第2電力レベルRF2を有する。また、RF信号は、第1繰り返し期間内の第4状態（期間S3）の間に第1電力レベルRF1よりも小さく且つ第2電力レベルRF2よりも大きい第3電力レベルRF3を有する。

[0109] DC信号は、第1繰り返し期間〈1サイクル〉内の第1状態（期間S1-1）の間に第1電圧レベルV1を有し、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S1-2）の間に第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有する。第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも大きい。

[0110] （変形例1-1）

図12に示すように、DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S2）及び第4状態（期間S3）の間に第1電圧レベルV1を有してもよい。

[0111] （変形例1-2）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S2）の間に第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期間内の第4状態（期間S3）の間に第1電圧レベルV1を有してもよい。

[0112] （変形例1-3）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S2）及び第4状態（期間S3）の間に第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有してもよい。

[0113] （変形例2：4ステート）

図13は、変形例2に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。図13に示すように、RF信号は、第1繰り返し期間内の第5状態（期間S4）の間に第2電力レベルRF2よりも小さい第4電力レベルRF4を有してもよい。

[0114] （変形例2-1）

図14は、変形例3に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。図1

4に示すように、RF信号は、第1繰り返し期間内の第5状態（期間S4）の間に第2電力レベルRF2よりも大きく且つ第3電力レベルRF3よりも小さい第4電力レベルRF4を有してもよい。

[0115]（変形例2-2）

図15は、変形例4に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。図15に示すように、RF信号は、第1繰り返し期間内の第5状態（期間S4）の間に第3電力レベルRF3よりも大きく且つ第1電力レベルRF1よりも小さい第4電力レベルRF4を有してもよい。DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S2）、第4状態（期間S3）及び第5状態（期間S4）の間に第1電圧レベルV1を有してもよい。

[0116]（変形例2-3）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S2）の間に第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期間内の第4状態（期間S3）及び第5状態（期間S4）の間に第1電圧レベルV1を有してもよい。

[0117]（変形例2-4）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S2）及び第4状態（期間S3）の間に第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期間内の第5状態（期間S4）の間に第1電圧レベルV1を有してもよい。

[0118]（変形例2-5）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S2）、第4状態（期間S3）及び第5状態（期間S4）の間に第2電圧レベルV2を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有してもよい。

[0119]（変形例2-6）

第2電圧レベルV2は、負極性を有してもよい。

[0120] 第1電圧レベルV1は、ゼロ電圧レベルを有してもよい。

[0121] 第1繰り返し期間は、1kHz～50kHzの繰り返し周波数を有しても

よい。

[0122] 電圧パルスのシーケンス P S 1 は、300 kHz ~ 600 kHz のパルス周波数を有してもよい。

[0123] (変形例 3 : 4 ステート)

図 16 は、変形例 5 に係る RF 信号と DC 信号の例を示す図である。図 16 の例では、RF 信号は、第 1 繰り返し期間 <1 サイクル> 内の第 1 状態 (期間 S 1 - 1) 及び第 2 状態 (期間 S 1 - 2) の間に第 1 電力レベル RF 1 を有する。また、RF 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 3 状態 (期間 S 2) の間に第 1 電力レベル RF 1 よりも小さい第 2 電力レベル RF 2 を有する。また、RF 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 4 状態 (期間 S 3) の間に第 2 電力レベル RF 2 よりも小さい第 3 電力レベル RF 3 を有する。また、RF 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 5 状態 (期間 S 4) の間に第 3 電力レベル RF 3 よりも大きい第 4 電力レベル RF 4 を有する。

[0124] DC 信号は、第 1 繰り返し期間 <1 サイクル> 内の第 1 状態 (期間 S 1 - 1) の間に第 1 電圧レベル V 1 を有し、第 1 繰り返し期間内の第 2 状態 (期間 S 1 - 2) の間に第 2 電圧レベル V 2 を有する電圧パルスのシーケンス P S 1 を有する。第 2 電圧レベル V 2 の絶対値は、第 1 電圧レベル V 1 の絶対値よりも大きい。

[0125] (変形例 3 - 1)

図 16 に示すように、第 4 電力レベル RF 4 は、第 2 電力レベル RF 2 よりも小さくてもよい。

[0126] 第 4 電力レベル RF 4 は、第 1 電力レベル RF 1 よりも小さく且つ第 2 電力レベル RF 2 よりも大きくてもよい。

[0127] 図 16 に示すように、DC 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 3 状態 (期間 S 2)、第 4 状態及び (期間 S 3) び第 5 状態 (期間 S 4) の間に第 1 電圧レベル V 1 を有してもよい。

[0128] (変形例 3 - 2)

DC 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 3 状態 (期間 S 2) の間に第 2 電圧

レベルV 2を有する電圧パルスのシーケンスP S 1を有し、第1繰り返し期間内の第4状態(期間S 3)及び第5状態(期間S 4)の間に第1電圧レベルV 1を有してもよい。

[0129] (変形例3-3)

DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態(期間S 2)及び第4状態(期間S 3)の間に第2電圧レベルV 2を有する電圧パルスのシーケンスP S 1を有し、第1繰り返し期間内の第5状態(期間S 4)の間に第1電圧レベルV 1を有してもよい。

[0130] (変形例3-4)

DC信号は、第1繰り返し期間内の第3状態(期間S 2)、第4状態(期間S 3)及び第5状態(期間S 4)の間に第2電圧レベルV 2を有する電圧パルスのシーケンスP S 1を有してもよい。

[0131] (変形例3-5)

第2電圧レベルV 2は、負極性を有してもよい。

[0132] 第1電圧レベルV 1は、ゼロ電圧レベルを有してもよい。

[0133] 第1繰り返し期間は、1kHz~50kHzの繰り返し周波数を有してもよい。

[0134] 図16において、電圧パルスのシーケンスP S 1は、300kHz~600kHzのパルス周波数を有してもよい。

[0135] (変形例4:3ステート)

図17は、変形例6に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。図17の例では、RF信号は、第1繰り返し期間<1サイクル>内の第1状態(期間S 1)の間に第1電力レベルRF 1を有し、第1繰り返し期間内の第2状態(期間S 2)の間に第1電力レベルRF 1よりも小さい第2電力レベルRF 2を有し、第1繰り返し期間内の第3状態(期間S 3)の間に第2電力レベルRF 2よりも小さい第3電力レベルRF 3を有する。

[0136] DC信号は、第1繰り返し期間内の第1状態(期間S 1)の間に第1電圧レベルV 1を有する電圧パルスのシーケンスP S 1を有する。

[0137] DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）及び第3状態（期間S3）の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さい。

[0138] （変形例4-1）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S3）の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さくてもよい。

[0139] （変形例4-2）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）及び第3状態（期間S3）の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有してもよい。

[0140] （変形例5：4状態）

RF信号は、第1繰り返し期間内の第4状態（期間S4）の間に第3電力レベルRF3よりも小さい第4電力レベルRF4を有してもよい。

[0141] （変形例5-1）

RF信号は、第1繰り返し期間内の第4状態（期間S4）の間に第3電力レベルRF3よりも大きい第4電力レベルRF4を有してもよい。

[0142] （変形例5-2）

第4電力レベルRF4は、第2電力レベルRF2よりも小さくてもよい。

[0143] 第4電力レベルRF4は、第1電力レベルRF1よりも小さく且つ第2電力レベルRF2よりも大きくてもよい。

[0144] （変形例5-3）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）、第3状態（期間S3）及び第4状態（期間S4）の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さくてもよい。

[0145] （変形例5-4）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S3）及び第4状態（期間S4）の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さくてもよい。

[0146]（変形例5-5）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）及び第3状態（期間S3）の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期間内の第4状態（期間S4）の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さくてもよい。

[0147]（変形例5-6）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）、第3状態（期間S3）及び第4状態（期間S4）の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有してもよい。

[0148]（変形例6：3ステート）

図18は、変形例7に係るRF信号とDC信号の例を示す図である。図18の例では、RF信号は、第1繰り返し期間〈1サイクル〉内の第1状態（期間S1）の間に第1電力レベルRF1を有し、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）の間に第1電力レベルRF1よりも小さい第2電力レベルRF2を有し、第1繰り返し期間内の第3状態（期間S3）の間に第1電力レベルRF1よりも小さく且つ第2電力レベルRF2よりも大きい第3電力レベルRF3を有する。

[0149] DC信号は、第1繰り返し期間内の第1状態（期間S1）の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有する。

[0150] DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）及び第3状態（期間S3）の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さい。

[0151] (変形例 6-1)

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態(期間S2)の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期間内の第3状態(期間S3)の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さくてよい。

[0152] (変形例 6-2)

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態(期間S2)及び第3状態(期間S3)の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有してもよい。

[0153] (変形例 7:4ステート)

RF信号は、第1繰り返し期間内の第4状態(期間S4)の間に第2電力レベルRF2よりも小さい第4電力レベルRF4を有してもよい。

[0154] (変形例 7-1)

RF信号は、第1繰り返し期間内の第4状態(期間S4)の間に第2電力レベルRF2よりも大きく且つ第3電力レベルRF3よりも小さい第4電力レベルRF4を有してもよい。

[0155] (変形例 7-2)

RF信号は、第1繰り返し期間内の第4状態(期間S4)の間に第3電力レベルRF3よりも大きく且つ第1電力レベルRF1よりも小さい第4電力レベルRF4を有してもよい。

[0156] (変形例 7-3)

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態(期間S2)、第3状態(期間S3)及び第4状態(期間S4)の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さくてもよい。

[0157] (変形例 7-4)

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態(期間S2)の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期

間内の第3状態（期間S3）及び第4状態（期間S4）の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さくてもよい。

[0158]（変形例7-5）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）及び第3状態（期間S3）の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有し、第1繰り返し期間内の第4状態（期間S4）の間に第2電圧レベルV2を有し、第2電圧レベルV2の絶対値は、第1電圧レベルV1の絶対値よりも小さくてもよい。

[0159]（変形例7-6）

DC信号は、第1繰り返し期間内の第2状態（期間S2）、第3状態（期間S3）及び第4状態（期間S4）の間に第1電圧レベルV1を有する電圧パルスのシーケンスPS1を有してもよい。

[0160] 以上に開示された実施形態は、例えば、以下の態様を含む。

[0161]（付記1）

プラズマ処理チャンバと、

前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含む基板支持部と、

前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、

前記上部電極又は前記下部電極にRF信号を供給するように構成されるRF電源であり、前記RF信号は、第1繰り返し期間内の第1状態の間に第1電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第2状態の間に第1電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第3状態の間に前記第1電力レベルよりも小さい第2電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第4状態の間に前記第2電力レベルよりも小さい第3電力レベルを有する、RF電源と、

前記下部電極にDC信号を印加するように構成されるDC電源であり、前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第1状態の間に第1電圧レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態の間に第2電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第2電圧レベルの絶対値は、前

記第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きい、DC 電源と、
を備える、プラズマ処理装置。

[0162] (付記 2)

前記第 2 電圧レベルは、負極性を有する、付記 1 に記載のプラズマ処理装置。

[0163] (付記 3)

前記第 1 電圧レベルは、ゼロ電圧レベルを有する、付記 2 に記載のプラズマ処理装置。

[0164] (付記 4)

前記第 1 繰り返し期間は、1 kHz ~ 50 kHz の繰り返し周波数を有する、付記 2 又は付記 3 に記載のプラズマ処理装置。

[0165] (付記 5)

前記電圧パルスのシーケンスは、300 kHz ~ 600 kHz のパルス周波数を有する、付記 4 に記載のプラズマ処理装置。

[0166] (付記 6)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 2 乃至付記 5 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0167] (付記 7)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 2 乃至付記 5 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0168] (付記 8)

前記 RF 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 5 状態の間に前記第 3 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する、付記 2 に記載のプラズマ処理装置。

[0169] (付記 9)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 5 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 8 に記載のプラズマ処理装置。

[0170] (付記 10)

前記 RF 信号は、第 2 繰り返し期間内の第 1 状態の間に前記第 1 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 2 状態の間に前記第 1 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 2 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 3 電力レベルを有し、

前記 DC 信号は、前記第 2 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 3 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、

前記第 3 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きく、前記第 2 電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記 2 乃至付記 5 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0171] (付記 11)

前記第 1 繰り返し期間が複数回繰り返される第 1 サブサイクルと、前記第 2 繰り返し期間が複数回繰り返される第 2 サブサイクルとが、交互に繰り返される、付記 10 に記載のプラズマ処理装置。

[0172] (付記 12)

前記第 1 サブサイクル及び前記第 2 サブサイクルを含むメインサイクルは、1 Hz ~ 10 Hz の繰り返し周波数を有する、付記 11 に記載のプラズマ処理装置。

[0173] (付記 13)

プラズマ処理装置で使用する電源システムであって、

RF 信号を生成するように構成される RF 生成器であり、前記 RF 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 1 状態の間に第 1 電力レベルを有し、前記第 1 繰

り返し期間内の第2状態の間に前記第1電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第3状態の間に前記第1電力レベルよりも小さい第2電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第4状態の間に前記第2電力レベルよりも小さい第3電力レベルを有する、RF生成器と、

DC信号を生成するように構成されるDC生成器であり、前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第1状態の間に第1電圧レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態の間に第2電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第2電圧レベルの絶対値は、前記第1電圧レベルの絶対値よりも大きい、DC生成器と、

を備える、電源システム。

[0174] (付記14)

前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第3状態の間に前記第1電圧レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第4状態の間に前記第1電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記13に記載の電源システム。

[0175] (付記15)

前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第3状態の間に前記第2電圧レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第4状態の間に前記第1電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記13に記載の電源システム。

[0176] (付記16)

前記RF信号は、前記第1繰り返し期間内の第5状態の間に前記第3電力レベルよりも小さい第4電力レベルを有する、付記13に記載の電源システム。

[0177] (付記17)

前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第3状態の間に前記第2電圧レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第4状態の間に前記第2電圧レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第5状態の間に前記第1

電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記 16 に記載の電源システム。

[0178] (付記 18)

前記 RF 信号は、第 2 繰り返し期間内の第 1 状態の間に前記第 1 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 2 状態の間に前記第 1 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 2 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 3 電力レベルを有し、

前記 DC 信号は、前記第 2 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 3 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、

前記第 3 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きく、前記第 2 電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記 13 に記載の電源システム。

[0179] (付記 19)

プラズマ処理チャンバと、

前記プラズマ処理チャンバ内に配置される基板支持部と、

前記プラズマ処理チャンバに結合され、繰り返し期間の間に第 1 電力レベルから段階的に減少する複数の電力レベルを有する RF 信号を生成するように構成される RF 生成器と、

前記基板支持部に結合され、前記繰り返し期間内のパルス生成状態の間に電圧パルスのシーケンスを生成するように構成される DC 生成器であり、前記パルス生成状態の開始時点は、前記第 1 電力レベルの開始時点に対してオフセットされる、DC 生成器と、

を備える、プラズマ処理装置。

[0180] (付記 20)

前記パルス生成状態は、前記第 1 電力レベルの終了後に開始される、付記 19 に記載のプラズマ処理装置。

[0181] (付記 21)

プラズマ処理装置で使用する電源システムであって、

R F 信号を生成するように構成される R F 生成器であり、前記 R F 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 1 状態及び第 2 状態の間に第 1 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 1 電力レベルよりも小さい第 2 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 1 電力レベルよりも小さく且つ前記第 2 電力レベルよりも大きい第 3 電力レベルを有する、R F 生成器と、

D C 信号を生成するように構成される D C 生成器であり、前記 D C 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に第 1 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きい、D C 生成器と、

を備える、電源システム。

[0182] (付記 2 2)

前記 D C 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態及び前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 2 1 に記載の電源システム。

[0183] (付記 2 3)

前記 D C 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 2 1 に記載の電源システム。

[0184] (付記 2 4)

前記 D C 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態及び前記第 4 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記 2 1 に記載の電源システム。

[0185] (付記 2 5)

前記 R F 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 5 状態の間に前記第 2 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する、付記 2 1 に記載の電源システム。

ム。

[0186] (付記 26)

前記 RF 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 5 状態の間に前記第 2 電力レベルよりも大きく且つ前記第 3 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する、付記 21 に記載の電源システム。

[0187] (付記 27)

前記 RF 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 5 状態の間に前記第 3 電力レベルよりも大きく且つ前記第 1 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する、付記 21 に記載の電源システム。

[0188] (付記 28)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態、前記第 4 状態及び前記第 5 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 25～27 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0189] (付記 29)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態及び前記第 5 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 25～27 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0190] (付記 30)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態及び前記第 4 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 5 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 25～27 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0191] (付記 31)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態、前記第 4 状態及び前記第 5 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記 25～27 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0192] (付記 32)

前記第2電圧レベルは、負極性を有する、付記21～31のうちいずれかに記載の電源システム。

[0193] (付記33)

前記第1電圧レベルは、ゼロ電圧レベルを有する、付記21～32のうちいずれかに記載の電源システム。

[0194] (付記34)

前記第1繰り返し期間は、1kHz～50kHzの繰り返し周波数を有する、付記21～33のうちいずれかに記載の電源システム。

[0195] (付記35)

前記電圧パルスのシーケンスは、300kHz～600kHzのパルス周波数を有する、付記21～34のうちいずれかに記載の電源システム。

[0196] (付記36)

プラズマ処理装置で使用する電源システムであって、

RF信号を生成するように構成されるRF生成器であり、前記RF信号は、第1繰り返し期間内の第1状態及び第2状態の間に第1電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第3状態の間に前記第1電力レベルよりも小さい第2電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第4状態の間に前記第2電力レベルよりも小さい第3電力レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の第5状態の間に前記第3電力レベルよりも大きい第4電力レベルを有する、RF生成器と、

DC信号を生成するように構成されるDC生成器であり、前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第1状態の間に第1電圧レベルを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態の間に第2電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第2電圧レベルの絶対値は、前記第1電圧レベルの絶対値よりも大きい、DC生成器と、

を備える、電源システム。

[0197] (付記37)

前記第4電力レベルは、前記第2電力レベルよりも小さい、付記36に記載

載の電源システム。

[0198] (付記 38)

前記第 4 電力レベルは、前記第 1 電力レベルよりも小さく且つ前記第 2 電力レベルよりも大きい、付記 36 に記載の電源システム。

[0199] (付記 39)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態、前記第 4 状態及び前記第 5 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 36～38 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0200] (付記 40)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態及び前記第 5 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 36～38 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0201] (付記 41)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態及び前記第 4 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 5 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、付記 36～38 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0202] (付記 42)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態、前記第 4 状態及び前記第 5 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記 36～38 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0203] (付記 43)

前記第 2 電圧レベルは、負極性を有する、付記 36～42 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0204] (付記 44)

前記第 1 電圧レベルは、ゼロ電圧レベルを有する、付記 36～43 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0205] (付記 4 5)

前記第 1 繰り返し期間は、1 kHz ~ 50 kHz の繰り返し周波数を有する、付記 3 6 ~ 4 4 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0206] (付記 4 6)

前記電圧パルスのシーケンスは、300 kHz ~ 600 kHz のパルス周波数を有する、付記 3 6 ~ 4 5 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0207] (付記 4 7)

プラズマ処理装置で使用する電源システムであって、

RF 信号を生成するように構成される RF 生成器であり、前記 RF 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 1 状態の間に第 1 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 2 状態の間に前記第 1 電力レベルよりも小さい第 2 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 2 電力レベルよりも小さい第 3 電力レベルを有する、RF 生成器と、

DC 信号を生成するように構成される DC 生成器であり、前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、DC 生成器と、

を備える、電源システム。

[0208] (付記 4 8)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態及び前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記 4 7 に記載の電源システム。

[0209] (付記 4 9)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記 4 7 に記載の電源システム。

[0210] (付記 5 0)

前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態及び前記第3状態の間に前記第1電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記47に記載の電源システム。

[0211] (付記51)

前記RF信号は、前記第1繰り返し期間内の第4状態の間に前記第3電力レベルよりも小さい第4電力レベルを有する、付記47に記載の電源システム。

[0212] (付記52)

前記RF信号は、前記第1繰り返し期間内の第4状態の間に前記第3電力レベルよりも大きい第4電力レベルを有する、付記47に記載の電源システム。

[0213] (付記53)

前記第4電力レベルは、前記第2電力レベルよりも小さい、付記52に記載の電源システム。

[0214] (付記54)

前記第4電力レベルは、前記第1電力レベルよりも小さく且つ前記第2電力レベルよりも大きい、付記52に記載の電源システム。

[0215] (付記55)

前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態、前記第3状態及び前記第4状態の間に前記第2電圧レベルを有し、前記第2電圧レベルの絶対値は、前記第1電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記51～54のうちいずれかに記載の電源システム。

[0216] (付記56)

前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態の間に前記第1電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第3状態及び前記第4状態の間に前記第2電圧レベルを有し、前記第2電圧レベルの絶対値は、前記第1電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記51～54のうちいずれかに記載の電源システム。

[0217] (付記 57)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態及び前記第 3 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記 51～54 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0218] (付記 58)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態、前記第 3 状態及び前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記 51～54 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0219] (付記 59)

プラズマ処理装置で使用する電源システムであって、

RF 信号を生成するように構成される RF 生成器であり、前記 RF 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 1 状態の間に第 1 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 2 状態の間に前記第 1 電力レベルよりも小さい第 2 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 1 電力レベルよりも小さく且つ前記第 2 電力レベルよりも大きい第 3 電力レベルを有する、RF 生成器と、

DC 信号を生成するように構成される DC 生成器であり、前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、DC 生成器と、

を備える、電源システム。

[0220] (付記 60)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態及び前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記 59 に記載の電源システム。

[0221] (付記 61)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 1 電圧

レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記 5 9 に記載の電源システム。

[0222] (付記 6 2)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態及び前記第 3 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記 5 9 に記載の電源システム。

[0223] (付記 6 3)

前記 RF 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 2 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する、付記 5 9 に記載の電源システム。

[0224] (付記 6 4)

前記 RF 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 2 電力レベルよりも大きく且つ前記第 3 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する、付記 5 9 に記載の電源システム。

[0225] (付記 6 5)

前記 RF 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 3 電力レベルよりも大きく且つ前記第 1 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する、付記 5 9 に記載の電源システム。

[0226] (付記 6 6)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態、前記第 3 状態及び前記第 4 状態の間に第 2 電圧レベルを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記 6 3～6 5 のうちいずれかに記載の電源システム。

[0227] (付記 6 7)

前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 1 繰り返し期間

内の前記第3状態及び前記第4状態の間に前記第2電圧レベルを有し、前記第2電圧レベルの絶対値は、前記第1電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記63～65のうちいずれかに記載の電源システム。

[0228] (付記68)

前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態及び前記第3状態の間に前記第1電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第1繰り返し期間内の前記第4状態の間に前記第2電圧レベルを有し、前記第2電圧レベルの絶対値は、前記第1電圧レベルの絶対値よりも小さい、付記63～65のうちいずれかに記載の電源システム。

[0229] (付記69)

前記DC信号は、前記第1繰り返し期間内の前記第2状態、前記第3状態及び前記第4状態の間に前記第1電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、付記63～65のうちいずれかに記載の電源システム。

[0230] なお、上記実施形態に挙げた構成等に、その他の要素との組み合わせ等、ここで示した構成に本発明が限定されるものではない。これらの点に関しては、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で変更することが可能であり、その応用形態に応じて適切に定めることができる。また、複数の実施形態に記載された事項は、矛盾しない範囲で他の構成も取り得ることができ、また、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。例えば、上記実施形態では、容量結合型のプラズマ装置を例に説明したが、これに限定されるものではなく、他のプラズマ装置に適用されてもよい。例えば、容量結合型のプラズマ装置に代えて、誘導結合型のプラズマ (Inductively-coupled plasma: ICP) 装置が用いられてもよい。この場合、誘導結合型のプラズマ装置は、アンテナ及び下部電極を含む。下部電極は、基板支持部内に配置され、アンテナは、チャンバの上部又は上方に配置される。そして、RF生成器は、アンテナに結合され、DC生成器は、下部電極に結合される。従って、RF生成器は、容量結合型のプラズマ装置の上部電極、又は、誘導結合型のプラズマ装置のアンテナに結合される。即ち、RF生成器は、プラズマ処理チャンバ10に

結合される。

[0231] 本願は、日本特許庁に2022年7月28日に出願された基礎出願2022-120800号の優先権を主張するものであり、その全内容を参照によりここに援用する。

符号の説明

[0232]	1	プラズマ処理装置
	2	制御部
	2 a	コンピュータ
	2 a 1	処理部
	2 a 2	記憶部
	2 a 3	通信インターフェース
	1 0	プラズマ処理チャンバ
	1 1	基板支持部
	1 2	プラズマ生成部
	1 3	シャワーヘッド
	2 0	ガス供給部
	3 0	電源
	3 1	R F 電源
	3 1 a	第1のR F 生成部
	3 1 b	第2のR F 生成部
	3 1 c	R F 生成器
	3 2	D C 電源
	3 2 a	第1のD C 生成部
	3 2 b	第2のD C 生成部
	3 2 c	D C 生成器
	4 0	排気システム

請求の範囲

- [請求項1] プラズマ処理チャンバと、
前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含む基板支持部と、
前記基板支持部の上方に配置される上部電極と、
前記上部電極又は前記下部電極に R F 信号を供給するように構成される R F 電源であり、前記 R F 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 1 状態の間に第 1 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 2 状態の間に第 1 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 1 電力レベルよりも小さい第 2 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 2 電力レベルよりも小さい第 3 電力レベルを有する、R F 電源と、
前記下部電極に D C 信号を印加するように構成される D C 電源であり、前記 D C 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に第 1 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きい、D C 電源と、
を備える、プラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記第 2 電圧レベルは、負極性を有する、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記第 1 電圧レベルは、ゼロ電圧レベルを有する、請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項4] 前記第 1 繰り返し期間は、1 k H z ~ 5 0 k H z の繰り返し周波数を有する、請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項5] 前記電圧パルスのシーケンスは、3 0 0 k H z ~ 6 0 0 k H z のパルス周波数を有する、請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項6] 前記 D C 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前

記第 1 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項7] 前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項8] 前記 RF 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 5 状態の間に前記第 3 電力レベルよりも小さい第 4 電力レベルを有する、請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項9] 前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 5 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する、請求項 8 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項10] 前記 RF 信号は、第 2 繰り返し期間内の第 1 状態の間に前記第 1 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 2 状態の間に前記第 1 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 2 電力レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 3 電力レベルを有し、

前記 DC 信号は、前記第 2 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有し、前記第 2 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 3 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、

前記第 3 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きく、前記第 2 電圧レベルの絶対値よりも小さい、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項11] 前記第 1 繰り返し期間が複数回繰り返される第 1 サブサイクルと、前記第 2 繰り返し期間が複数回繰り返される第 2 サブサイクルとが、

交互に繰り返される、請求項 10 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項12] 前記第 1 サブサイクル及び前記第 2 サブサイクルを含むメインサイクルは、1 Hz ~ 10 Hz の繰り返し周波数を有する、請求項 11 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項13] プラズマ処理装置で使用する電源システムであって、
RF 信号を生成するように構成される RF 生成器であり、前記 RF 信号は、第 1 繰り返し期間内の第 1 状態の間に第 1 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 2 状態の間に前記第 1 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 3 状態の間に前記第 1 電力レベルよりも小さい第 2 電力レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の第 4 状態の間に前記第 2 電力レベルよりも小さい第 3 電力レベルを有する、RF 生成器と、

DC 信号を生成するように構成される DC 生成器であり、前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 1 状態の間に第 1 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 2 状態の間に第 2 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、前記第 2 電圧レベルの絶対値は、前記第 1 電圧レベルの絶対値よりも大きい、DC 生成器と、

を備える、電源システム。

[請求項14] 前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、請求項 13 に記載の電源システム。

[請求項15] 前記 DC 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 3 状態の間に前記第 2 電圧レベルを有し、前記第 1 繰り返し期間内の前記第 4 状態の間に前記第 1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、請求項 13 に記載の電源システム。

[請求項16] 前記 RF 信号は、前記第 1 繰り返し期間内の第 5 状態の間に前記第

3 電力レベルよりも小さい第4 電力レベルを有する、請求項 1 3 に記載の電源システム。

[請求項17] 前記DC信号は、前記第1 繰り返し期間内の前記第3 状態の間に前記第2 電圧レベルを有し、前記第1 繰り返し期間内の前記第4 状態の間に前記第2 電圧レベルを有し、前記第1 繰り返し期間内の前記第5 状態の間に前記第1 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有する、請求項 1 6 に記載の電源システム。

[請求項18] 前記RF信号は、第2 繰り返し期間内の第1 状態の間に前記第1 電力レベルを有し、前記第2 繰り返し期間内の第2 状態の間に前記第1 電力レベルを有し、前記第2 繰り返し期間内の第3 状態の間に前記第2 電力レベルを有し、前記第2 繰り返し期間内の第4 状態の間に前記第3 電力レベルを有し、

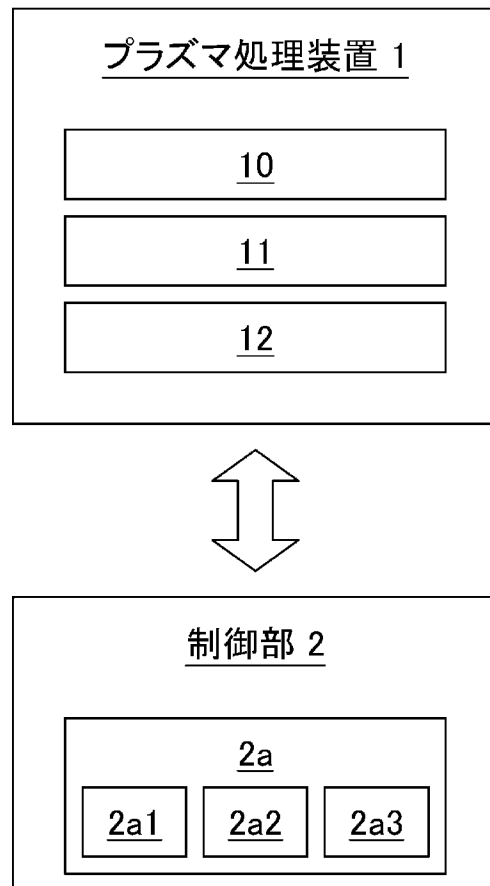
前記DC信号は、前記第2 繰り返し期間内の前記第1 状態の間に前記第1 電圧レベルを有し、前記第2 繰り返し期間内の前記第2 状態の間に第3 電圧レベルを有する電圧パルスのシーケンスを有し、

前記第3 電圧レベルの絶対値は、前記第1 電圧レベルの絶対値よりも大きく、前記第2 電圧レベルの絶対値よりも小さい、請求項 1 3 に記載の電源システム。

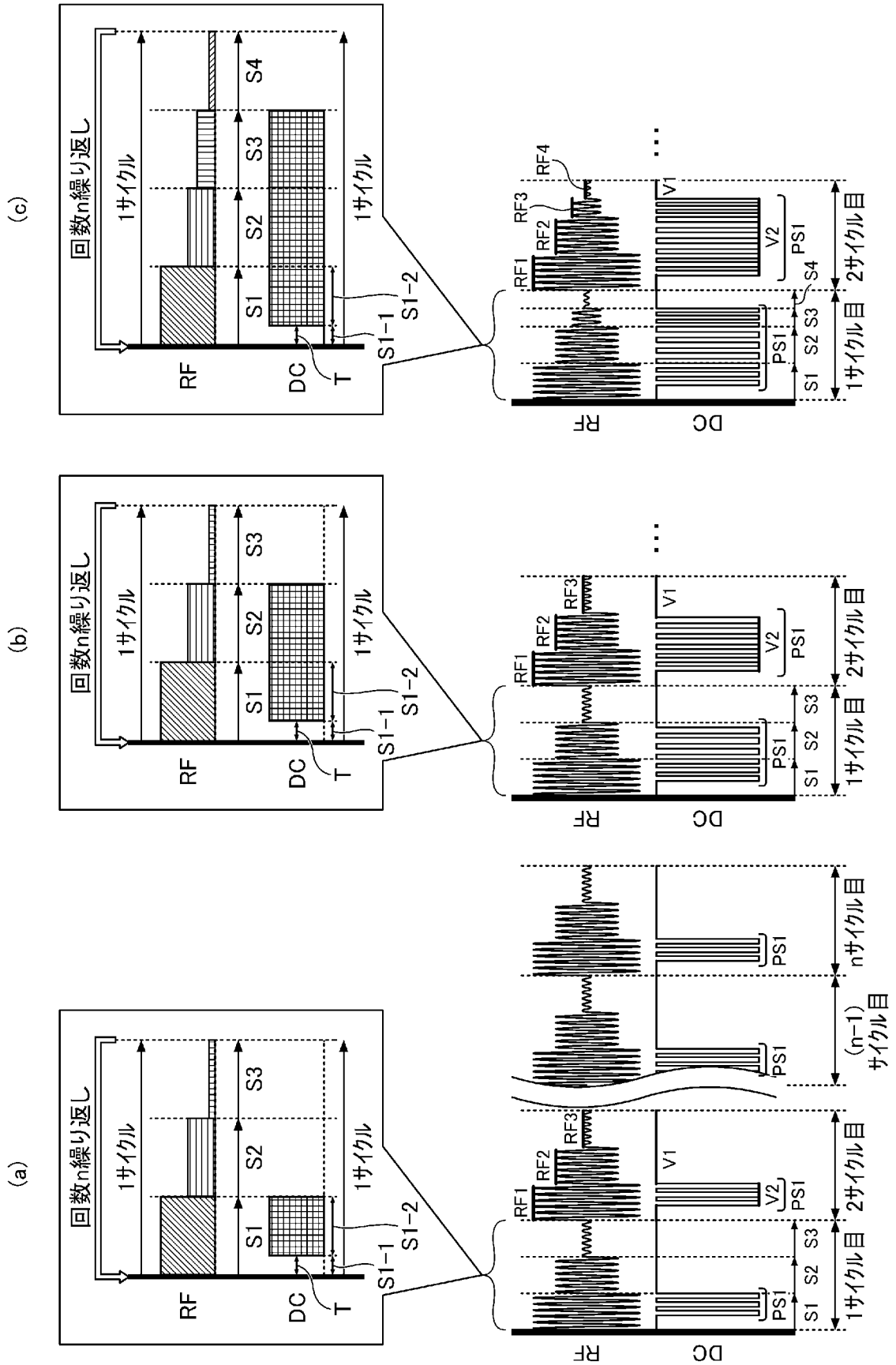
[請求項19] プラズマ処理チャンバと、
前記プラズマ処理チャンバ内に配置される基板支持部と、
前記プラズマ処理チャンバに結合され、繰り返し期間の間に第1 電力レベルから段階的に減少する複数の電力レベルを有するRF信号を生成するように構成されるRF生成器と、
前記基板支持部に結合され、前記繰り返し期間内のパルス生成状態の間に電圧パルスのシーケンスを生成するように構成されるDC生成器であり、前記パルス生成状態の開始時点は、前記第1 電力レベルの開始時点に対してオフセットされる、DC生成器と、
を備える、プラズマ処理装置。

[請求項20] 前記パルス生成状態は、前記第1電力レベルの終了後に開始される、請求項19に記載のプラズマ処理装置。

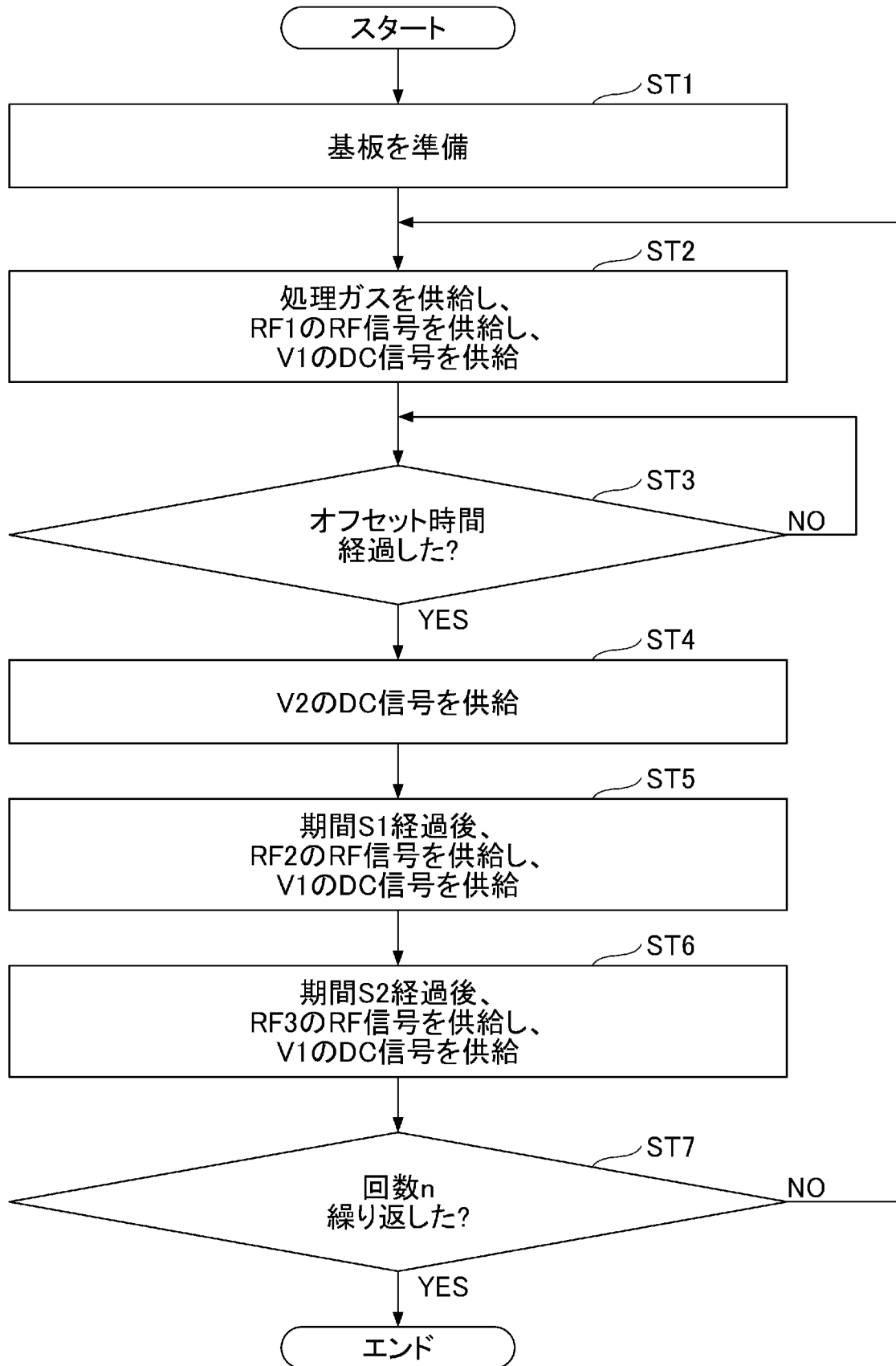
[図1]



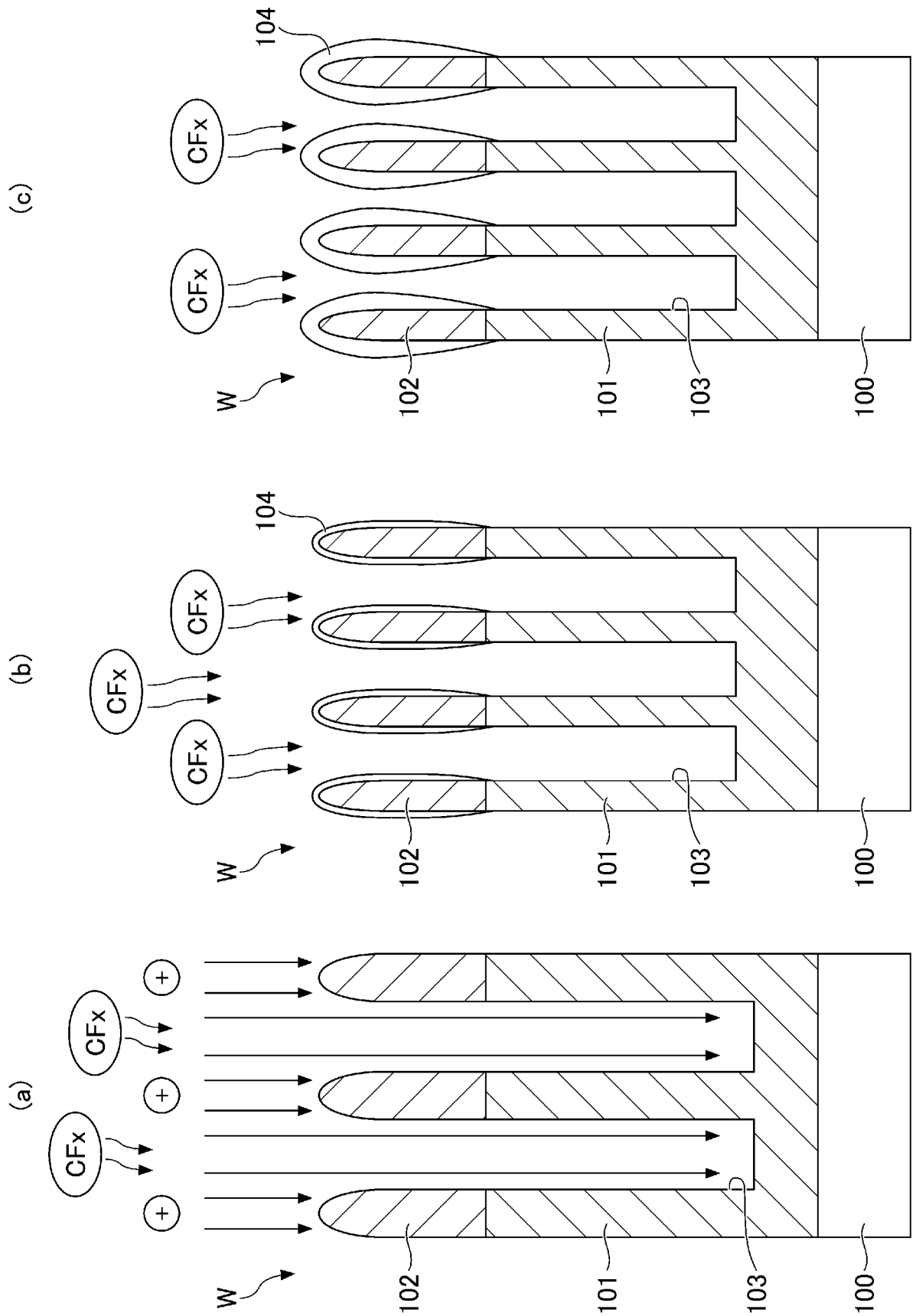
[図4]



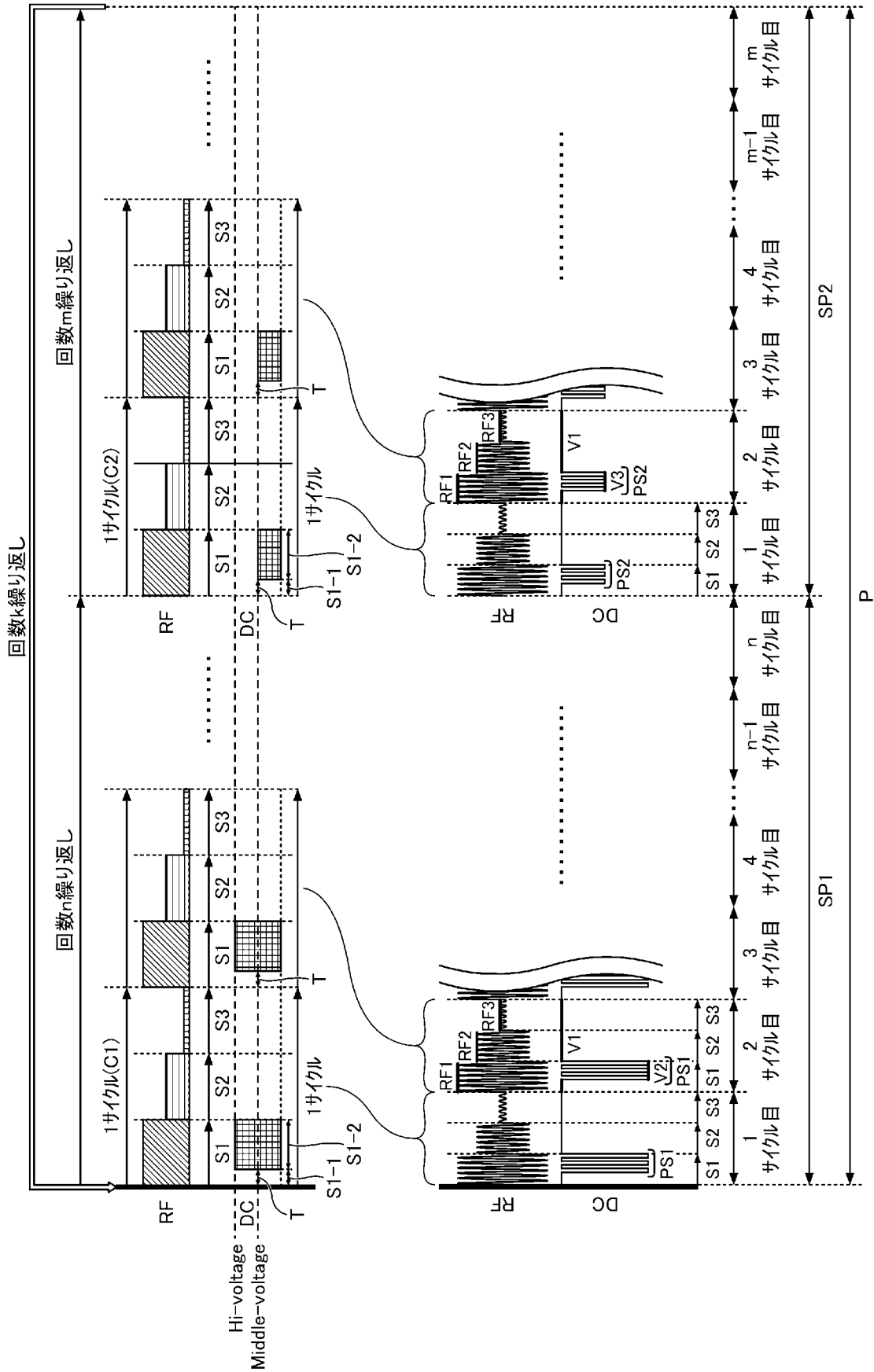
[図5]



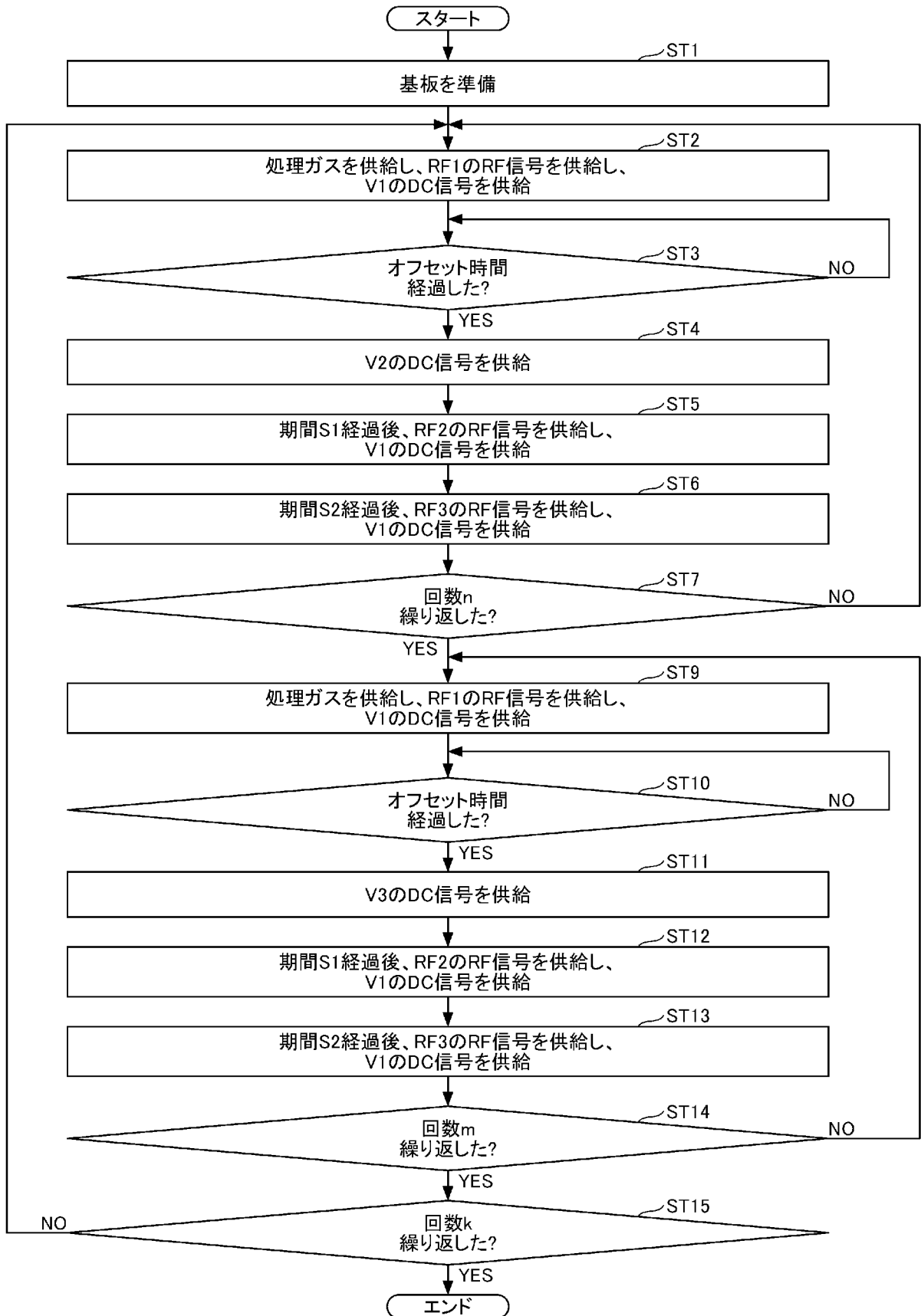
[図6]



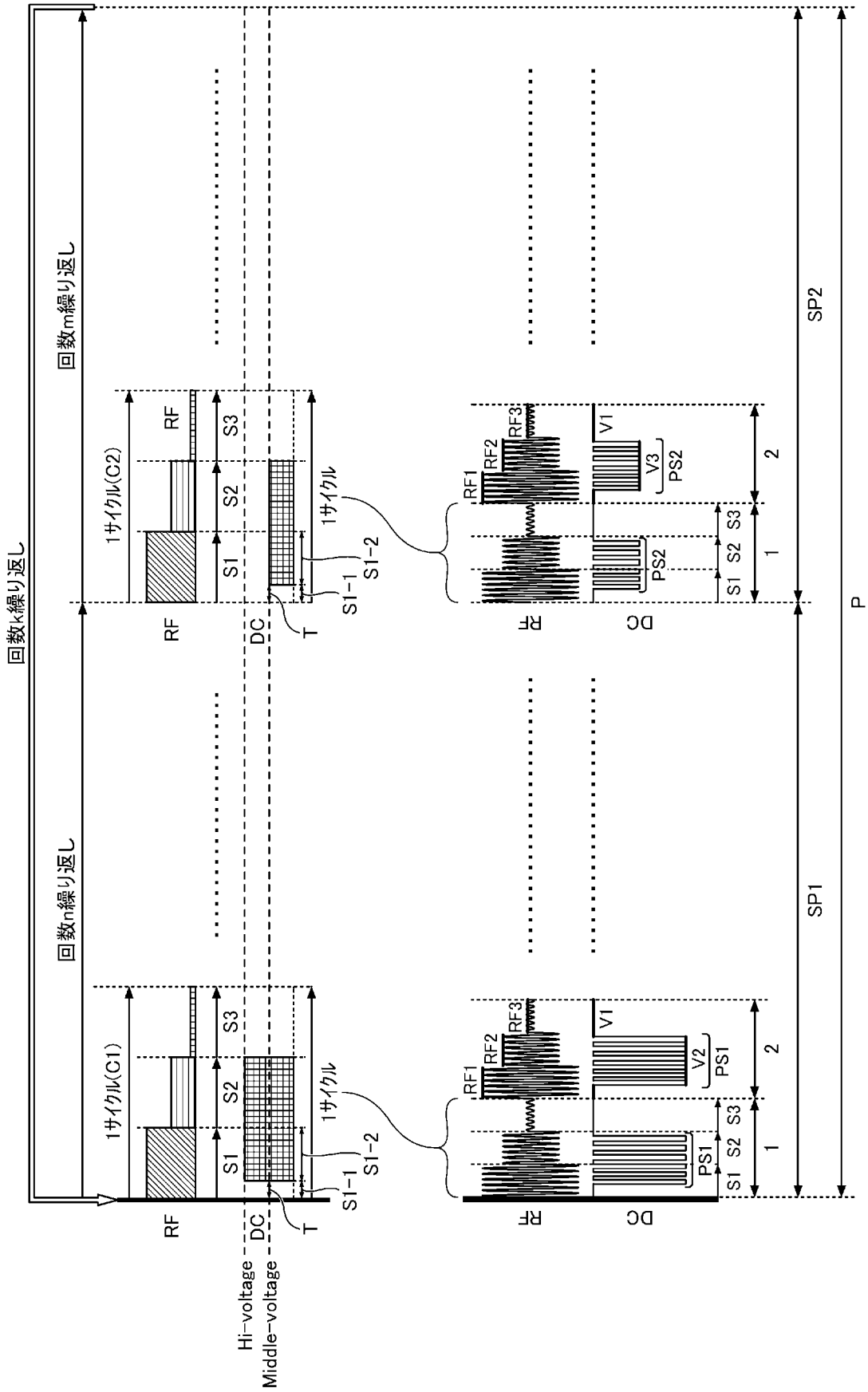
[図7]



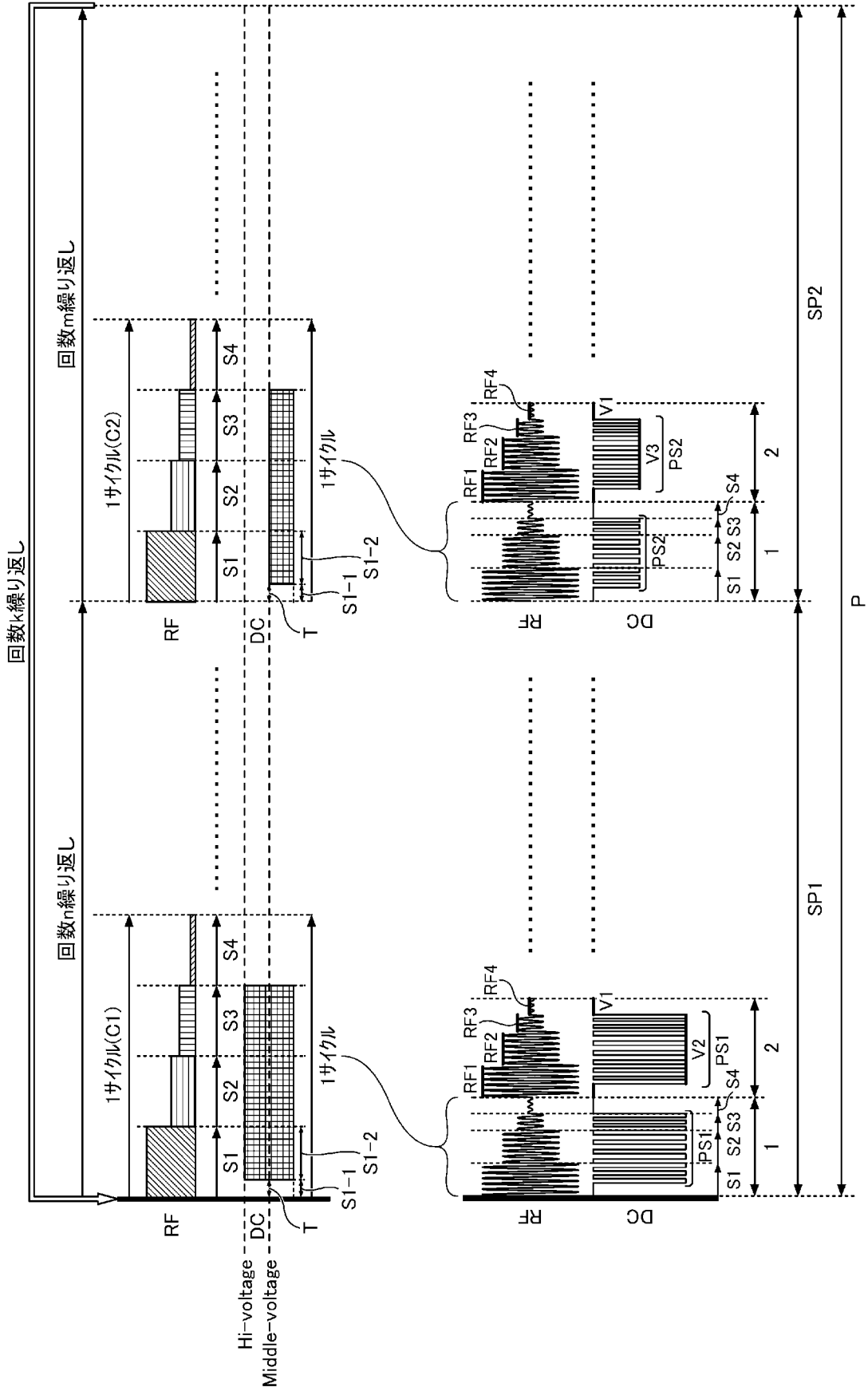
[図8]



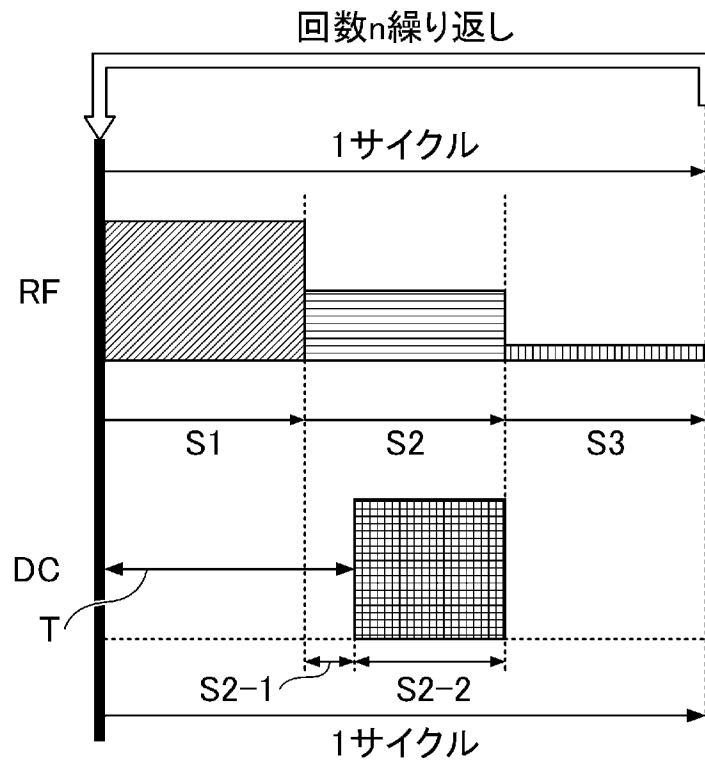
[図9]



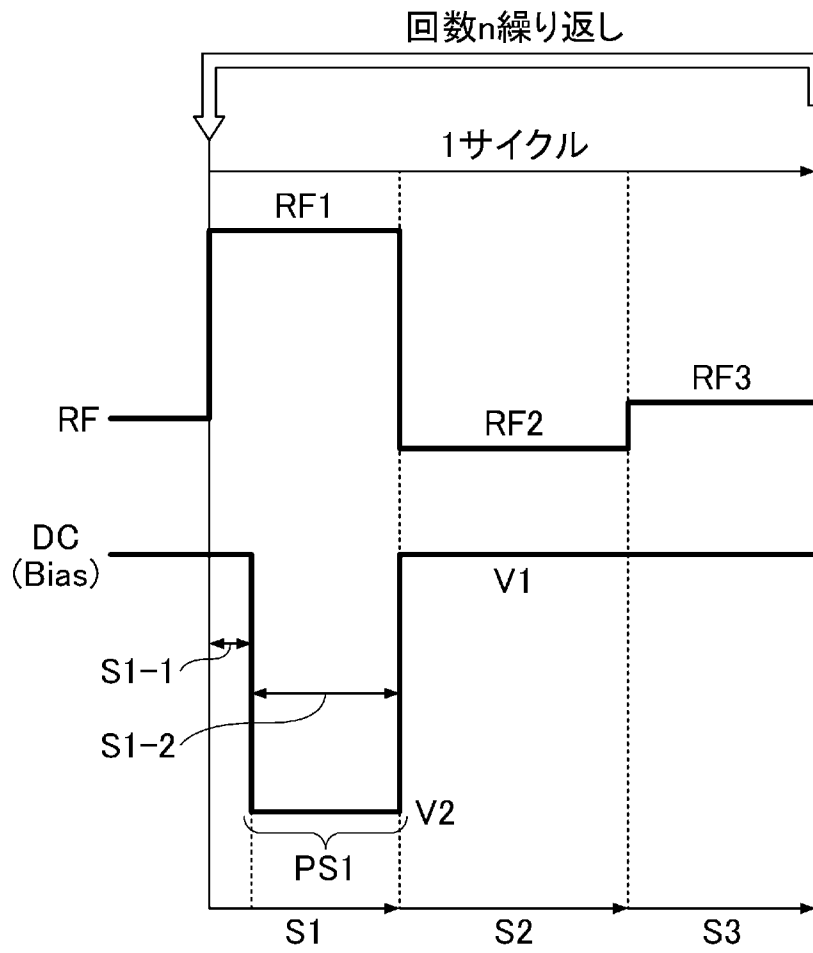
[図10]



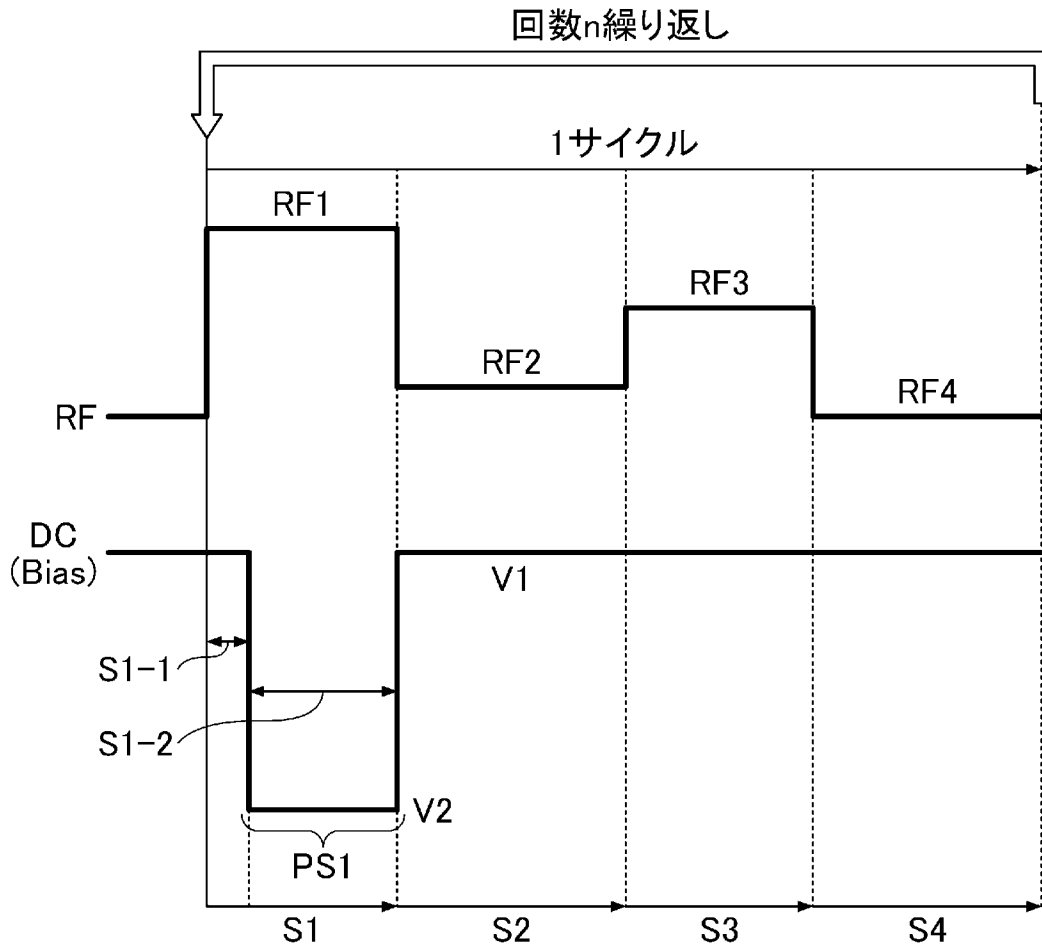
[図11]



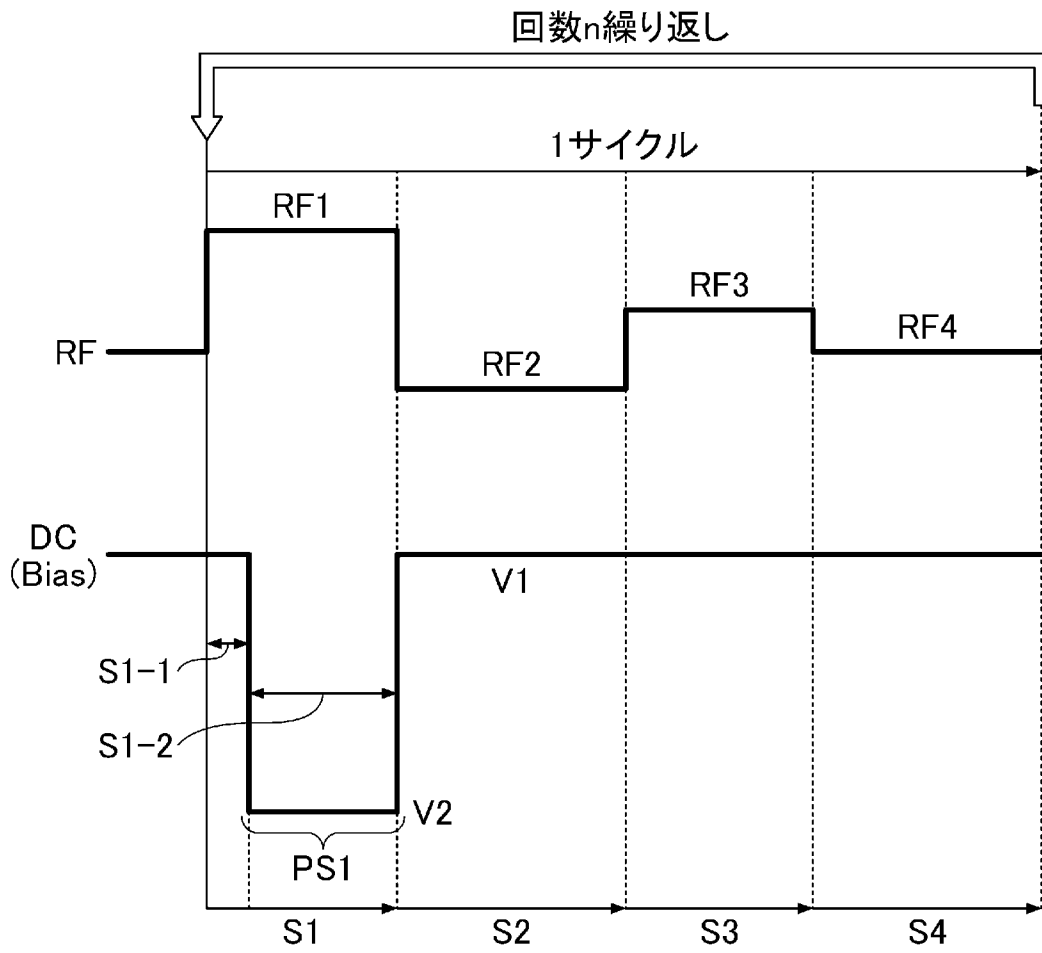
[図12]



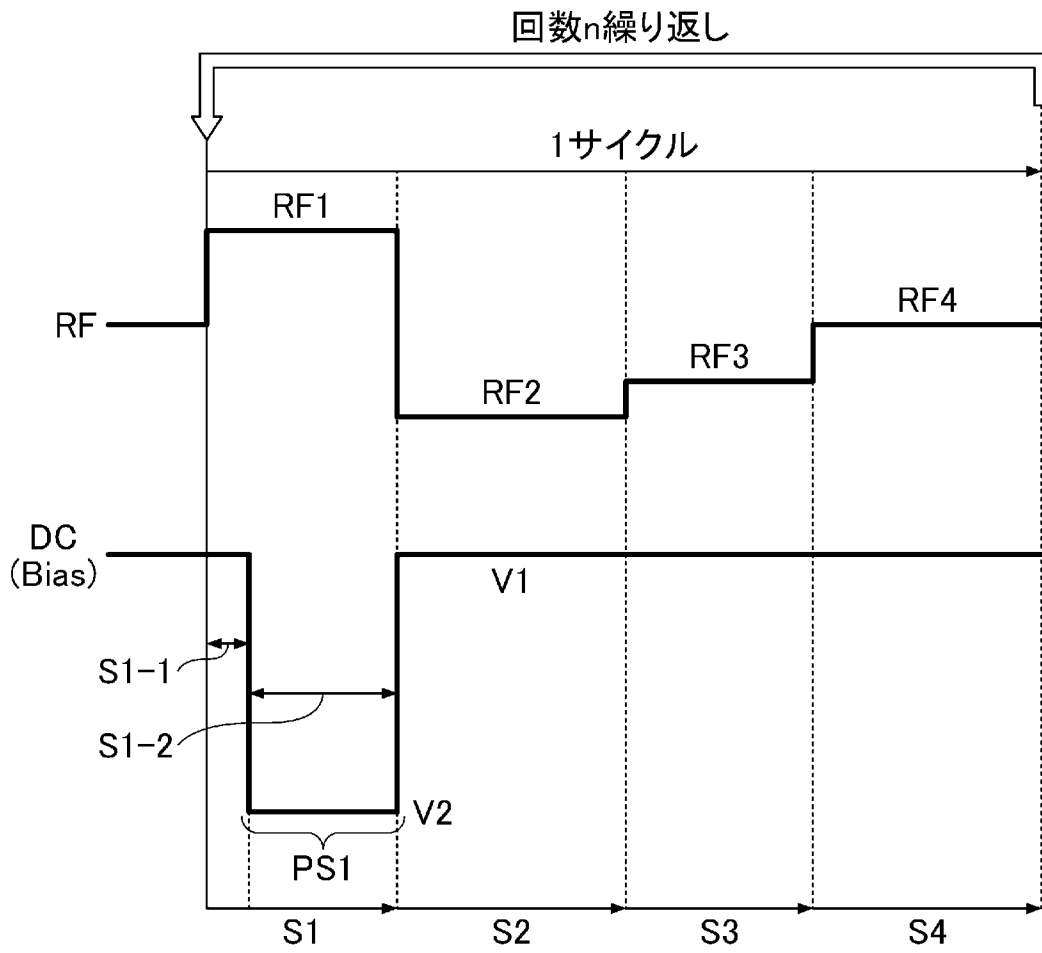
[図13]



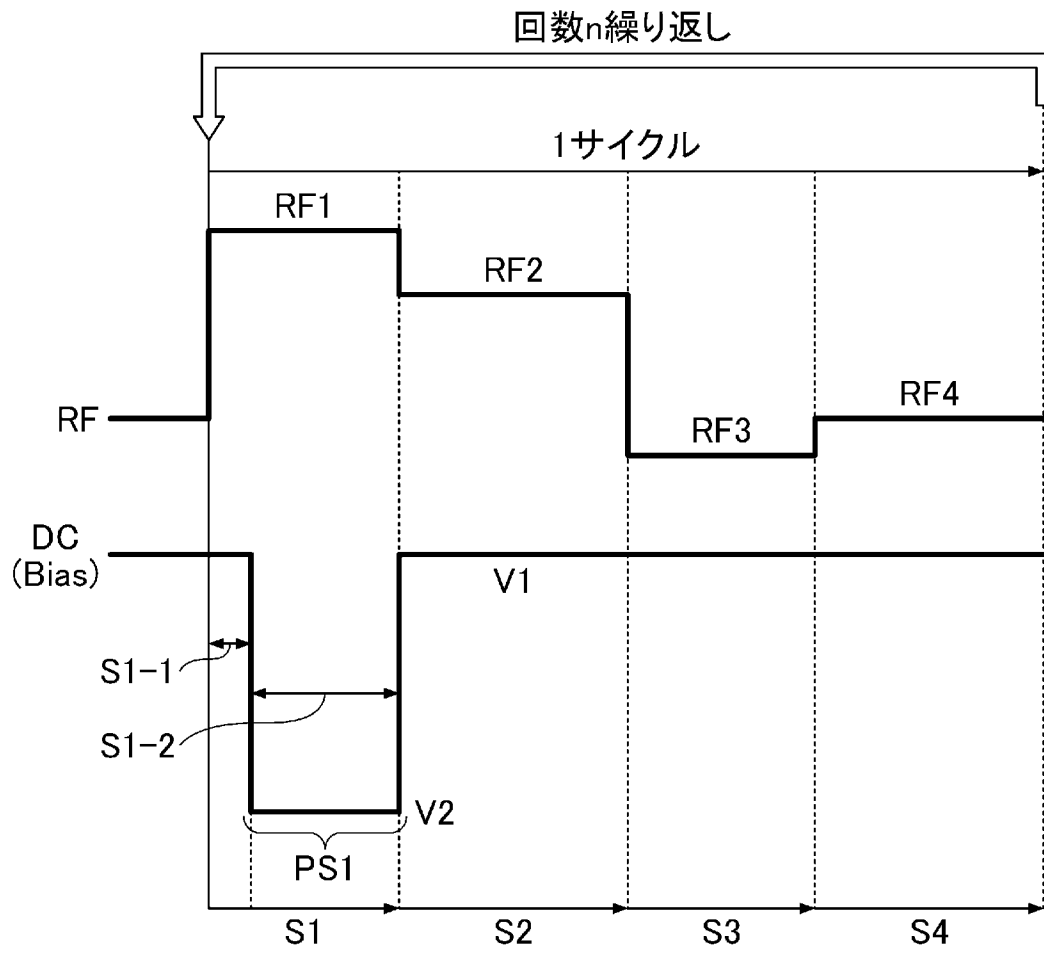
[図14]



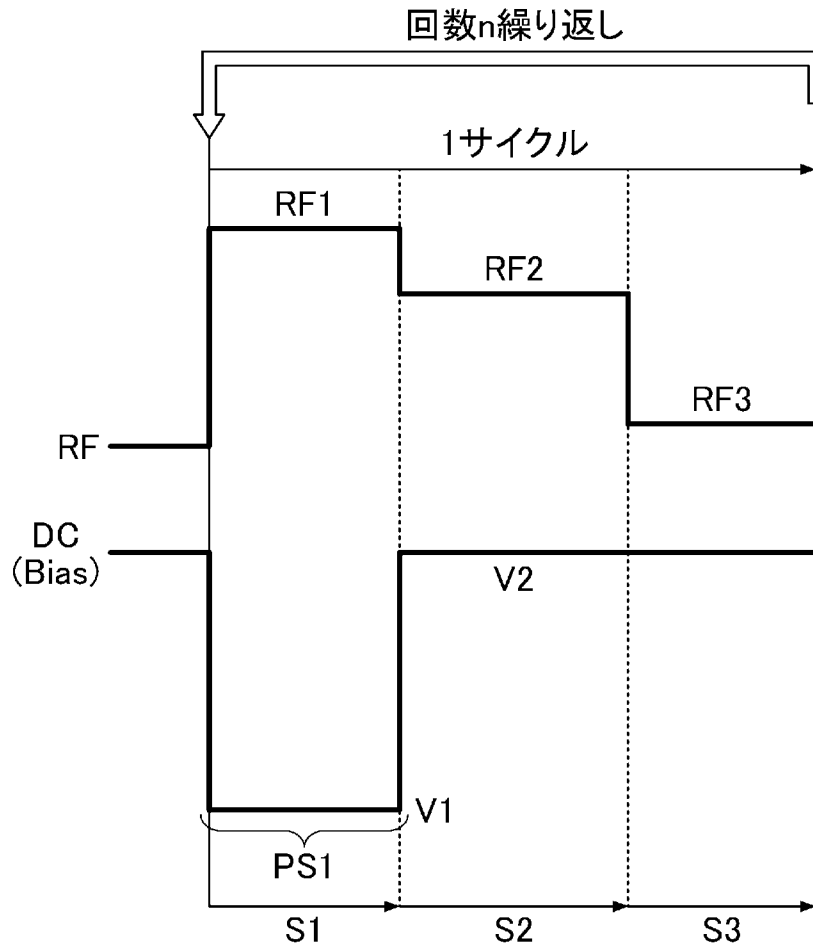
[図15]



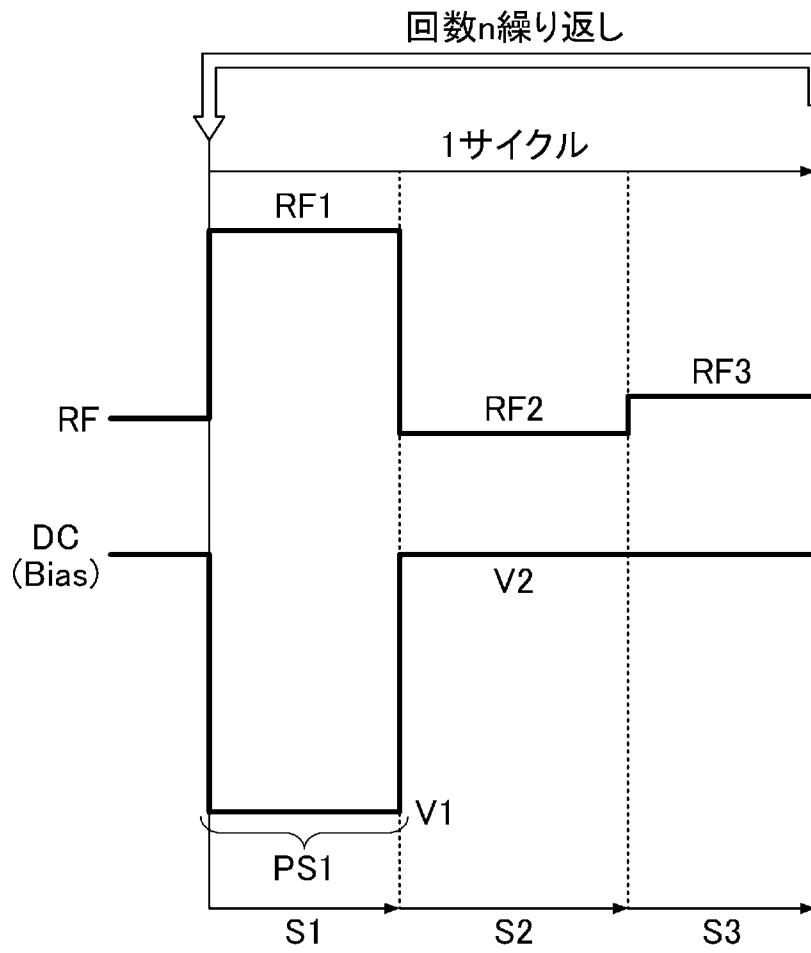
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/026442

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01L 21/3065</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/205</i> (2006.01)i; <i>H05H 1/46</i> (2006.01)i FI: H01L21/302 101B; H01L21/205; H05H1/46 R		
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) H01L21/3065; H01L21/205; H05H1/46		
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	JP 2022-41874 A (TOKYO ELECTRON LTD) 11 March 2022 (2022-03-11) paragraphs [0015]-[0016], [0020]-[0022], [0025], [0061], [0065]-[0073], [0090]-[0102], [0105], fig. 2, 6, 9-12	1, 13, 19-20
Y	paragraphs [0015]-[0016], [0020]-[0022], [0025], [0061], [0065]-[0073], [0090]-[0102], [0105], fig. 2, 6, 9-12	2-9, 14-17
A	entire text, all drawings	10-12, 18
Y	JP 2021-534544 A (TOKYO ELECTRON LTD) 09 December 2021 (2021-12-09) paragraphs [0030]-[0032], [0046]-[0049], [0055]-[0060], fig. 1, 3-4	2-9, 14-17
A	entire text, all drawings	10-12, 18
X	JP 2013-535074 A (VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC.) 09 September 2013 (2013-09-09) paragraphs [0031], [0042], [0068]-[0074], [0082], [0087], [0112]-[0116], [0164]-[0169], fig. 1B, 7, 12	1-3, 13, 19-20
Y	paragraphs [0031], [0042], [0068]-[0074], [0082], [0087], [0112]-[0116], [0164]-[0169], fig. 1B, 7, 12	4-7, 14-15
A	entire text, all drawings	10-12, 18
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "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 19 September 2023		Date of mailing of the international search report 03 October 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/JP2023/026442

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2022-41874	A	11 March 2022	US 2022/0068605 A1 paragraphs [0027]-[0028], [0032]-[0034], [0037], [0077], [0081]-[0089], [0106]-[0119], [0121], fig. 2, 6, 9-12 CN 114121589 A KR 10-2022-0029426 A	

JP	2021-534544	A	09 December 2021	US 2020/0058470 A1 paragraphs [0047]-[0049], [0063]-[0066], [0072]-[0077], fig. 1, 3-4 CN 112534544 A KR 10-2021-0060455 A	

JP	2013-535074	A	09 September 2013	WO 2011/156813 A1 p. 5, line 32 to p. 6, line 6, p. 8, lines 14-23, p. 14, line 2 to p. 15, line 23, p. 17, lines 16-28, p. 18, lines 16-25, p. 23, line 29 to p. 24, line 35, p. 35, line 18 to p. 36, line 14, fig. 1B, 7, 12 CN 103109342 A KR 10-2013-0085955 A	

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; H01L 21/205(2006.01)i; H05H 1/46(2006.01)i FI: H01L21/302 101B; H01L21/205; H05H1/46 R		
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）） H01L21/3065; H01L21/205; H05H1/46 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	JP 2022-41874 A（東京エレクトロン株式会社）11.03.2022（2022-03-11） 段落 [0015]-[0016], [0020]-[0022], [0025], [0061], [0065]-[0073], [0090]-[0102], [0105], 図 2, 6, 9-12	1, 13, 19-20
Y	段落 [0015]-[0016], [0020]-[0022], [0025], [0061], [0065]-[0073], [0090]-[0102], [0105], 図 2, 6, 9-12	2-9, 14-17
A	全文, 全図	10-12, 18
Y	JP 2021-534544 A（東京エレクトロン株式会社）09.12.2021（2021-12-09） 段落 [0030]-[0032], [0046]-[0049], [0055]-[0060], 図 1, 3-4	2-9, 14-17
A	全文, 全図	10-12, 18
X	JP 2013-535074 A（パリアン・セミコンダクター・エクイップメント・アソシエイ ツ・インコーポレイテッド）09.09.2013（2013-09-09） 段落 [0031], [0042], [0068]-[0074], [0082], [0087], [0112]-[0116], [0164]-[0169], 図 1B, 7, 12	1-3, 13, 19-20
Y	段落 [0031], [0042], [0068]-[0074], [0082], [0087], [0112]-[0116], [0164]-[0169], 図 1B, 7, 12	4-7, 14-15
A	全文, 全図	10-12, 18
<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、一般的な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	19.09.2023	国際調査報告の発送日 03.10.2023
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） 加藤 芳健 50 6312 電話番号 03-3581-1101 内線 3559	

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/JP2023/026442

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2022-41874 A	11.03.2022	US 2022/0068605 A1 段落 [0027]-[0028], [0032]-[0034], [0037], [0077], [0081]-[0089], [0106]-[0119], [0121], 図 2, 6, 9-12 CN 114121589 A KR 10-2022-0029426 A	
JP 2021-534544 A	09.12.2021	US 2020/0058470 A1 段落 [0047]-[0049], [0063]-[0066], [0072]- [0077], 図 1, 3-4 CN 112534544 A KR 10-2021-0060455 A	
JP 2013-535074 A	09.09.2013	WO 2011/156813 A1 第5頁第32行-第6頁第6行, 第8頁第14-23行, 第14頁第 2行-第15頁第23行, 第17頁 第16-28行, 第18頁第16-25 行, 第23頁第29行-第24頁第 35行, 第35頁第18行-第36頁 第14行, 図 1B, 7, 12 CN 103109342 A KR 10-2013-0085955 A	