

(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1月18日(18.01.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/014398 A1

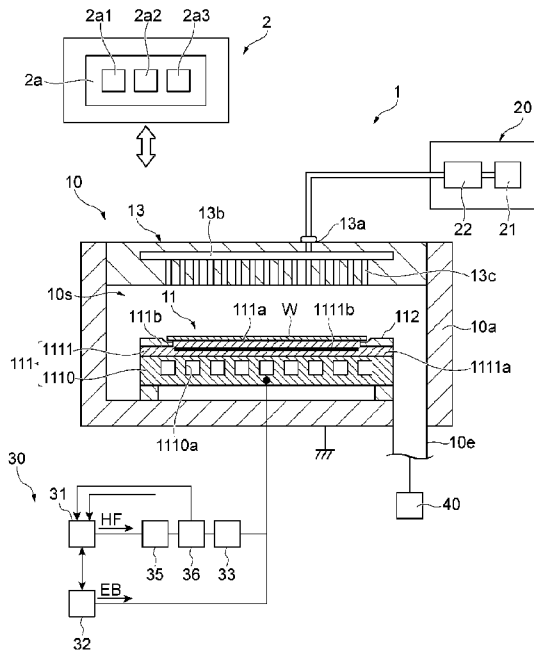
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/025154
- (22) 国際出願日: 2023年7月6日(06.07.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2022-113747 2022年7月15日(15.07.2022) JP
- (71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 王 湯貴(WANG Tangkuei); 〒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). 大石 哲也(OHISHI Tetsuya); 〒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). 浦川 理史(URAKAWA Masafumi); 〒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). 森北 信也(MORIKITA Shinya); 〒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 TREATMENT DEVICE AND PLASMA TREATMENT 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: In a disclosed plasma treatment device, a control unit provides a repeat of a cycle. The cycle includes a step for supplying pulses of source high-frequency power from a high-frequency power source in order to generate plasma from a gas within a chamber, and a step for supplying pulses of electrical bias from a bias power source to a substrate support part. The pulses of electrical bias include DC voltage pulses periodically generated at a bias frequency of 1 MHz or less. The repetition frequency of the cycle is 5 kHz or greater. A start timing of the pulses of electrical bias coincides with or precedes a stop timing of the pulses of source high-frequency power. A stop timing of the pulses of electrical bias follows the stop timing of the pulses of source high-frequency power.



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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 開示されるプラズマ処理装置では、制御部が、サイクルの繰り返しをもたらす。サイクルは、チャンバ内でガスから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のパルスを提供する工程と、バイアス電源から基板支持部に電気バイアスのパルスを提供する工程と、を含む。電気バイアスのパルスは、1 MHz 以下のバイアス周波数で周期的に発生される直流電圧パルスを含む。サイクルの繰り返し周波数は、5 kHz 以上である。電気バイアスのパルスの開始タイミングは、ソース高周波電力のパルスの停止タイミングと同時か該停止タイミングよりも早い。電気バイアスのパルスの停止タイミングは、ソース高周波電力のパルスの停止タイミングよりも遅い。

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、基板の膜のエッチングに用いられている。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持部、ソース高周波電源、及びバイアス高周波電源を備える。基板支持部は、チャンバ内に設けられている。ソース高周波電源は、チャンバ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を供給する。バイアス高周波電源は、基板支持部上の基板にプラズマからイオンを引き込むために、バイアス高周波電力を基板支持部に供給する。このようなプラズマ処理装置は、下記の特許文献1に記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2000-173993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、エッチングレートと基板に形成される開口の垂直性を高める技術を提供する。

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、バイアス電源、及び制御部を備える。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、チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力を供給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いる。制御部は、高周波電源及びバイアス電源を制御するように構成されている。

。制御部は、サイクルの繰り返しをもたらす。サイクルは、チャンバ内でガスから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のパルスを提供する工程（i）と、バイアス電源から基板支持部に電気バイアスのパルスを提供する工程（i i）と、を含む。電気バイアスのパルスは、1 MHz以下のバイアス周波数で周期的に発生される直流電圧パルスを含む。サイクルの繰り返し周波数であるパルス周波数は、5 kHz以上である。制御部は、サイクル内で、工程（i i）における電気バイアスのパルスの開始タイミングを、工程（i）におけるソース高周波電力のパルスの開始タイミングよりも遅く、且つ、工程（i）におけるソース高周波電力のパルスの停止タイミングと同時か該停止タイミングよりも早いタイミングに設定する。制御部は、サイクル内で、工程（i i）における電気バイアスのパルスの停止タイミングを、ソース高周波電力のパルスの停止タイミングよりも遅いタイミングに設定する。

発明の効果

[0006] 一つの例示的实施形態によれば、エッチングレートと基板に形成される開口の垂直性を高め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]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4]図4に示すプラズマ処理方法の工程S T cの詳細例を示す図である。

[図5]図5の（a）～図5の（d）の各々は、図3に示すプラズマ処理方法の各工程に関連する一例の基板の部分拡大断面図である。

[図6]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法に関連するタイミングチャートである。

[図7]図7の（a）及び図7の（b）の各々は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法に関連するタイミングチャートである。

[図8]一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法に関連するタイミングチ

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ることとする。

[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。

[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 2 a 1、記憶部 2 a 2 及び通信インターフェース 2 a 3 を含んでもよい。制御部 2 は、例えばコンピュータ 2 a により実現される。処理部 2 a 1 は、記憶部 2 a 2 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 2 a 2 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 2 a 2 に格納され、処理部 2 a 1 によって記憶部 2 a 2 から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ 2 a 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 2 a 3 に接続されている通信回線であってもよい。処理部 2 a 1 は、CPU (Central Processing Unit) であってもよい。記憶部 2 a 2 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 2 a 3 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 1 0、ガス供給部 2 0、電源システム 3 0 及び排気システム 4 0 を含む。また、プラズマ処理装置 1 は、基板支持部 1 1 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 1 0 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 1 3 を含む。基板支持部 1 1 は、プラズマ処理チャンバ 1 0 内に配置される。シャワーヘッド 1 3 は、基板支持

部 1 1 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 1 3 は、プラズマ処理チャンバ 1 0 の天部 (c e i l i n g) の少なくとも一部を構成する。プラズマ処理チャンバ 1 0 は、シャワーヘッド 1 3、プラズマ処理チャンバ 1 0 の側壁 1 0 a 及び基板支持部 1 1 により規定されたプラズマ処理空間 1 0 s を有する。プラズマ処理チャンバ 1 0 は接地される。基板支持部 1 1 は、プラズマ処理チャンバ 1 0 の筐体とは電氣的に絶縁される。

[0014] 基板支持部 1 1 は、本体部 1 1 1 及びリングアセンブリ 1 1 2 を含む。本体部 1 1 1 は、基板 W を支持するための中央領域 1 1 1 a と、リングアセンブリ 1 1 2 を支持するための環状領域 1 1 1 b とを有する。ウェハは基板 W の一例である。本体部 1 1 1 の環状領域 1 1 1 b は、平面視で本体部 1 1 1 の中央領域 1 1 1 a を囲んでいる。基板 W は、本体部 1 1 1 の中央領域 1 1 1 a 上に配置され、リングアセンブリ 1 1 2 は、本体部 1 1 1 の中央領域 1 1 1 a 上の基板 W を囲むように本体部 1 1 1 の環状領域 1 1 1 b 上に配置される。従って、中央領域 1 1 1 a 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 1 1 1 b は、リングアセンブリ 1 1 2 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 1 1 1 は、基台 1 1 1 0 及び静電チャック 1 1 1 1 を含む。基台 1 1 1 0 は、導電性部材を含む。静電チャック 1 1 1 1 は、基台 1 1 1 0 の上に配置される。静電チャック 1 1 1 1 は、セラミック部材 1 1 1 1 a とセラミック部材 1 1 1 1 a 内に配置される静電電極 1 1 1 1 b とを含む。セラミック部材 1 1 1 1 a は、中央領域 1 1 1 a を有する。一実施形態において、セラミック部材 1 1 1 1 a は、環状領域 1 1 1 b 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 1 1 1 1 を囲む他の部材が環状領域 1 1 1 b を有してもよい。この場合、リングアセンブリ 1 1 2 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 1 1 1 1 と環状絶縁部材の両方の上に配置されてもよい。

[0016] リングアセンブリ 1 1 2 は、1 又は複数の環状部材を含む。一実施形態に

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] 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。

[0021] 電源システム３０は、高周波電源３１及びバイアス電源３２を含む。高周波電源３１は、一実施形態のプラズマ生成部１２を構成する。高周波電源３１は、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、ソース周波数を有する。即ち、ソース高周波電力HFは、その周波数がソース周波数である正弦波状の波形を有する。ソース周波数は、 $10\text{MHz} \sim 150\text{MHz}$ の範囲内の周波数であり得る。高周波電源３１は、整合器３３を介して高周波電極に電氣的に接続されており、ソース高周波電力HFを高周波電極に供給するように構成されている。高周波電極は、基板支持部１１内に設けられていてもよい。高周波電極は、基台１１１０の導電性部材又はセラミック部材１１１１a内に設けられた少なくとも一つ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。ソース高周波電力HFが高周波電極に供給されると、チャンバ１０内のガスからプラズマが生成される。

[0022] 整合器３３は、可変インピーダンスを有する。整合器３３の可変インピーダンスは、ソース高周波電力HFの負荷からの反射を低減するよう、設定される。整合器３３は、例えば制御部２によって制御され得る。

[0023] バイアス電源３２は、基板支持部１１に電氣的に結合されている。バイアス電源３２は、基板支持部１１内のバイアス電極に電氣的に接続されており、電気バイアスEBをバイアス電極に供給するように構成されている。バイアス電極は、基台１１１０の導電性部材又はセラミック部材１１１１a内に設けられた少なくとも一つの電極であってもよい。バイアス電極は、高周波

電極と共通であってもよい。電気バイアスE Bがバイアス電極に供給されると、プラズマからのイオンが基板Wに引き付けられる。

[0024] 電気バイアスE B及びそのパルスE B P（図6参照）は、1 MHz以下のバイアス周波数で周期的に発生される直流電圧パルスP V（図7参照）を含む。即ち、電気バイアスE B及びそのパルスE B Pは、バイアス周波数の逆数の時間間隔（波形周期C Y）で周期的に発生される直流電圧パルスP Vから構成される。バイアス周波数は、400 kHz以下であってもよい。なお、以下では、電気バイアスE Bのレベルについて記述することがある。電気バイアスE Bのレベルは、直流電圧パルスP Vの負電圧レベルの絶対値である。また、電気バイアスE Bのレベルがゼロであることは、電気バイアスE Bのバイアス電極への供給が停止されていることを意味する。

[0025] 以下、図1及び図2と共に、図3～図7を参照し、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。また、制御部2によるプラズマ処理装置1の各部の制御についても説明する。図6、図7の（a）、及び図7の（b）には、ソース高周波電力H F及び電気バイアスE Bのタイミングチャートが示されている。

[0026] 図3に示すプラズマ処理方法（以下、「方法M T」という）は、プラズマ処理装置1を用いて行われ得る。方法M Tは、工程S T cを含む。方法M Tは、工程S T p、工程S T a、及び工程S T bを更に含んでもよい。方法M Tは、工程S T dを更に含んでもよい。工程S T a、工程S T b、工程S T c、及び工程S T dは、制御部2によるプラズマ処理装置1の各部の制御により、もたらされ得る。

[0027] 工程S T pでは、チャンバ10内で基板支持部11上に基板Wが準備される。基板Wは、基板支持部11上に載置されて、静電チャック1111によって保持される。一例の基板Wは、図5の（a）に示すように、膜E F（E t c h F i l m）及びマスクM Kを含む。膜E Fは、誘電体膜である。膜E Fは、例えば酸化シリコンから形成される。マスクM Kは、膜E F上に設けられている。マスクM Kは、工程S T cにおいて膜E FがマスクM Kに対

して選択的にエッチングされるように選択された材料から形成される。マスクMKは、例えば有機材料から形成される。基板Wは、下地領域URを更に有していてもよい。膜EFは、下地領域UR上に設けられる。

[0028] 工程STaでは、図5の(b)に示すように、基板支持部11上の基板Wに堆積物DPが形成される。このため、工程STaでは、チャンバ10内に処理ガスが供給され、且つ、電気バイアスEBのバイアス電極への供給が停止されている状態で、ソース高周波電力HFが高周波電極に供給される。

[0029] 工程STaにおいて用いられる処理ガスは、堆積性を有する。工程STaにおいて用いられる処理ガスは、フッ素及び炭素を含むガス成分を含んでもよい。このガス成分は、 C_4F_8 ガスのようなフルオロカーボンガスであってもよい。このガス成分は、フルオロカーボンガスに加えて、或いはフルオロカーボンガスに代えて、ハイドロフルオロカーボンガスを含んでもよい。処理ガスは、窒素ガス、酸素含有ガス（例えば酸素ガス）、及び貴ガス（例えば、Arガス）のうち一つ以上を更に含んでもよい。

[0030] 工程STaにおいて、制御部2は、処理ガスをチャンバ10内に供給するよう、ガス供給部20を制御する。工程STaにおいて、制御部2は、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に調整するよう、排気システム40を制御する。工程STaにおいて、制御部2は、電気バイアスEBのバイアス電極への供給を停止するよう、バイアス電源32を制御し、ソース高周波電力HFを高周波電極に供給するよう、高周波電源31を制御する。図6に示すように、制御部2は、工程STaにおけるソース高周波電力HFのパワーレベルをパワーレベル L_{HFa} に設定する。

[0031] 図3及び図6に示すように、工程STbは、工程STaの後に行われる。工程STbでは、チャンバ10内で処理ガスから生成されたプラズマからのイオンを堆積物DPに供給することにより、図5の(c)に示すように、堆積物DPから改質された堆積物MDPが形成される。このため、工程STbでは、ソース高周波電力HFが高周波電極に供給され、電気バイアスEBがバイアス電極に供給される。工程STbにおけるソース高周波電力HFのパ

ワーレベルは、図6に示すように、工程STaにおけるソース高周波電力HFのパワーレベル $L_{HF a}$ から変更されて、パワーレベル $L_{HF b}$ に設定される。パワーレベル $L_{HF b}$ は、パワーレベル $L_{HF a}$ よりも小さくてもよい。

[0032] 工程STbにおいてプラズマを生成するために用いられる処理ガスは、工程STaにおいて用いられる上述の処理ガスと同一であり得る。工程STbにおいて、制御部2は、処理ガスをチャンバ10内に供給するよう、ガス供給部20を制御する。工程STbにおいて、制御部2は、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に調整するよう、排気システム40を制御する。工程STbにおいて、制御部2は、電気バイアスEBをバイアス電極に供給するよう、バイアス電源32を制御する。工程STbにおいて、制御部2は、ソース高周波電力HFを高周波電極に供給するよう、高周波電源31を制御する。図6に示すように、制御部2は、工程STbにおけるソース高周波電力HFのパワーレベルをパワーレベル $L_{HF b}$ に設定する。制御部2は、工程STbにおける電気バイアスEBのレベルをレベル $L_{EB b}$ に設定する。

[0033] 図3及び図6に示すように、工程STcは、工程STbの後に行われる。工程STcでは、膜EFをエッチングするために、サイクルCAが繰り返される。図4に示すように、サイクルCAは、工程STc1及び工程STc2を含む。

[0034] 工程STc1では、チャンバ10内でエッチング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が、高周波電源31から高周波電極に供給される。エッチングガスは、工程STa及び／又は工程STbで用いられる処理ガスと同一の処理ガスであってもよい。或いは、エッチングガスは、膜EFを選択的にエッチングするように選択された他のガスであってもよい。図6に示すように、工程STc1におけるソース高周波電力HFのパルスHFPのパワーレベルは、パワーレベル $L_{HF c}$ に設定される。パワーレベル $L_{HF c}$ は、パワーレベル $L_{HF a}$ より小さくてもよく、パワーレベル $L_{HF b}$ より大きくてもよい。

[0035] 工程STc2では、エッチングガスから生成されたプラズマからイオンを

基板Wに引き込むために、電気バイアスEBのパルスが、バイアス電源32からバイアス電極に供給される。図6に示すように、工程STc2における電気バイアスEBのパルスEBPのレベルは、レベル L_{EBc} に設定される。レベル L_{EBc} は、レベル L_{EBb} より大きくてもよい。即ち、工程STc2における直流電圧パルスPVの負の電圧レベルの絶対値は、工程STbにおける直流電圧パルスPVの負の電圧レベルの絶対値よりも大きくてもよい。工程STc2における直流電圧パルスPVの負の電圧レベルの絶対値は、100V以上又は1000V以上であってもよい。

[0036] 続く工程STJAでは、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、サイクルCAが行われた回数が所定回数に達している場合に満たされる。工程STJAにおいて停止条件が満たされていないと判定された場合には、サイクルCAが再び行われる。工程STJAにおいて停止条件が満たされていると判定された場合には、工程STcが終了する。

[0037] なお、サイクルCAの繰り返し周波数であるパルス周波数、即ちサイクルCAの時間長の逆数は、5kHz以上である。パルス周波数は、10kHz以上又は20kHz以上であってもよい。

[0038] 工程STc1及び工程STc2において、制御部2は、チャンバ10内にエッチングガスを供給するよう、ガス供給部20を制御する。工程STc1及び工程STc2の各々において、制御部2は、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に調整するよう、排気システム40を制御する。工程STc1において、制御部2は、ソース高周波電力HFのパルスHFPを高周波電極に供給するよう、高周波電源31を制御する。制御部2は、工程STc1におけるパルスHFPのパワーレベルをパワーレベル L_{HFc} に設定する。なお、サイクルCA内の工程STc1の期間以外の期間では、ソース高周波電力HFの供給は停止され得る。工程STc2において、制御部2は、電気バイアスEBのパルスEBPをバイアス電極に供給するよう、バイアス電源32を制御する。制御部2は、工程STc2におけるパルスEBPのレベルをレベル L_{EBc} に設定する。なお、サイクルCA内の工程STc2の期間以外の期間

では、電気バイアスEBの供給は停止され得る。

[0039] 図7の(a)及び図7の(b)に示すように、制御部2は、サイクルCA内の工程STc2におけるパルスEBPの開始タイミング t_{EBPS} を、サイクルCA内の工程STc1におけるパルスHFPの開始タイミング t_{HFPS} よりも遅いタイミングに設定する。図7の(a)に示すように、制御部2は、サイクルCA内の工程STc2におけるパルスEBPの開始タイミング t_{EBPS} を、サイクルCA内の工程STc1におけるパルスHFPの停止タイミング t_{HFPE} と同一のタイミングに設定する。或いは、図7の(b)に示すように、制御部2は、サイクルCA内の工程STc2におけるパルスEBPの開始タイミング t_{EBPS} を、サイクルCA内の工程STc1におけるパルスHFPの停止タイミング t_{HFPE} よりも早いタイミングに設定する。また、制御部2は、サイクルCA内の工程STc2におけるパルスEBPの停止タイミング t_{EBPE} を、サイクルCA内の工程STc1におけるパルスHFPの停止タイミング t_{HFPE} よりも遅いタイミングに設定する。

[0040] 図3及び図6に示すように、工程STdは、工程STcの後に行われる。工程STdでは、工程STcにおいて生成されたエッチング副生成物がチャンバ10から排気される。工程STdにおいて、制御部2は、チャンバ10の排気を行うよう、排気システム40を制御する。工程STdにおいて、制御部2は、ソース高周波電力HFの供給を停止するよう、高周波電源31を制御する。工程STdにおいて、制御部2は、電気バイアスEBの供給を停止するよう、バイアス電源32を制御する。

[0041] 一実施形態において、方法MTは、図3に示すように、工程STa、工程STb、及び工程STcを含むサイクルCBの繰り返しを含んでもよい。サイクルCBは、工程STdを更に含んでもよい。この場合には、工程STJBにおいて、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、サイクルCBが行われた回数が所定回数に達している場合に満たされる。工程STJBにおいて停止条件が満たされていないと判定された場合には、サイクルCBが再び行われる。工程STJBにおいて停止条件が満たされ

ていると判定された場合には、方法MTが終了する。

[0042] 方法MTでは、膜EFが工程STcのエッチングによりエッチングされて、図5の(d)に示すように、マスクMKのパターンが膜EFに転写される。

[0043] 上述したように、サイクルCAにおける電気バイアスEBのパルスEBPの開始タイミング t_{EBPS} は、サイクルCA内のソース高周波電力HFのパルスHFPの停止タイミング t_{HFPE} と同時であるか停止タイミング t_{HFPE} よりも早い。また、サイクルCAの繰り返し周波数、即ちパルス周波数は、5 kHz以上である。したがって、工程STc1において生成されたプラズマのイオンを失活させることなく、当該イオンを工程STc2において基板Wに供給することができる。したがって、方法MTによれば、膜EFのエッチングレートが高められる。

[0044] また、方法MTでは、1 MHz以下のバイアス周波数で周期的に発生される直流電圧パルスPVが電気バイアスEBのパルスEBPとして用いられる。したがって、工程STc2において、電気バイアスEBによりエッチングガスの解離が抑制され、基板W上に過剰に堆積物が形成されることが抑制される。また、工程STc2において、単色化された高いエネルギーを有するイオンが基板Wに供給される。したがって、工程STcのエッチングにより、膜EFに高い垂直性を有する凹部が形成される。

[0045] また、工程STbでは、比較的高いエネルギーのイオンが堆積物DPに供給されて、堆積物DPから不要な元素（例えば、フッ素）が取り出される。したがって、工程STbで得られる堆積物MDPにおいては、高い結合エネルギーを有する結合（例えば、炭素間結合）が多く形成され得る。マスクMKは、このように改質された堆積物MDPにより、工程STcのエッチングから保護される。したがって、方法MTによれば、エッチングによるマスクMKの減少を抑制することが可能となる。

[0046] 以下、図8を参照する。図8には、電気バイアスEBとソース高周波電力HFのソース周波数のタイミングチャートが示されている。工程STc1の

一部期間及び工程 S T b においては、ソース高周波電力 H F の供給と電気バイアス E B の供給が同時に行われる。ソース高周波電力 H F の供給と電気バイアス E B の供給が同時に行われる重複期間内では、負荷からのソース高周波電力 H F の反射の度合いを抑制するように、ソース高周波電力 H F のソース周波数が、変更されてもよい。具体的には、ソース周波数が、重複期間内の直流電圧パルス P V の波形周期 C Y 内で、図 8 に示すように、変更されてもよい。

[0047] 図 8 に示すように、波形周期 C Y は、複数の位相期間 S P に分割されてもよい。ソース周波数は、重複期間内の波形周期 C Y 内の各位相期間 S P におけるソース高周波電力 H F の反射の度合いを低減するように、設定される。重複期間内の波形周期 C Y 内の複数の位相期間 S P それぞれのためのソース周波数は、制御部 2 によって高周波電源 3 1 に指定されてもよい。

[0048] 重複期間内の波形周期 C Y 内の複数の位相期間 S P それぞれのためのソース周波数は、予め準備された当該複数の位相期間 S P それぞれのための複数の周波数を含む周波数セットを用いて設定されてもよい。或いは、先行する二つ以上の波形周期 C Y 内の同一の位相期間 S P (n) において異なるソース周波数を用いることにより得られるソース高周波電力 H F の反射の度合いから、反射の度合いを最小化するように決定されたソース周波数が、後続の位相期間 S P (n) において用いられてもよい。なお、位相期間 S P (n) は、波形周期 C Y 内の複数の位相期間 S P のうち、 n 番目の位相期間を表す。

[0049] ソース高周波電力 H F の反射の度合いを決定するために、プラズマ処理装置 1 は、図 2 に示すように、センサ 3 5 及び／又はセンサ 3 6 を更に備えていてもよい。センサ 3 5 は、ソース高周波電力 H F の負荷からの反射波のパワーレベル P r を測定するように構成されている。センサ 3 5 は、例えば方向性結合器を含む。方向性結合器は、高周波電源 3 1 と整合器 3 3 との間に設けられていてもよい。なお、センサ 3 5 は、ソース高周波電力 H F の進行波のパワーレベル P f を更に測定するように構成されていてもよい。センサ

35によって測定された反射波のパワーレベル P_r は、制御部2に通知される。加えて、進行波のパワーレベル P_f が、センサ35から制御部2に通知されてもよい。

[0050] センサ36は、電圧センサ及び電流センサを含む。センサ36は、高周波電源31と高周波電極とを互いに接続する給電路における電圧 V_{RF} 及び電流 I_{RF} を測定するように構成されている。ソース高周波電力 H_F は、この給電路を経由して高周波電極に供給される。センサ36は、高周波電源31と整合器33との間に設けられていてもよい。電圧 V_{RF} 及び電流 I_{RF} は、制御部2に通知される。

[0051] 制御部2は、複数の位相期間 SP の各々における測定値から代表値を生成する。測定値は、センサ35によって取得される反射波のパワーレベル P_r であってもよい。測定値は、ソース高周波電力 H_F の出力パワーレベルに対する反射波のパワーレベル P_r の比の値（即ち、反射率）であってもよい。測定値は、複数の位相期間 SP の各々においてセンサ36によって取得される電圧 V_{RF} と電流 I_{RF} の位相差 θ であってもよい。測定値は、複数の位相期間 SP の各々における高周波電源31の負荷側のインピーダンス Z であってもよい。インピーダンス Z は、センサ36によって取得される電圧 V_{RF} と電流 I_{RF} から決定される。代表値は、複数の位相期間 SP の各々における当該測定値の平均値又は最大値であってもよい。制御部2は、複数の位相期間 SP の各々における代表値を、ソース高周波電力 H_F の反射の度合いを表す値として用いて、ソース周波数を決定することができる。なお、反射の度合い及びソース周波数は、高周波電源31によって決定されてもよい。

[0052] 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。

[0053] 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]～[E13]に記載する。

[0054] [E 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、

前記チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力を供給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たバイアス電源と、

前記高周波電源及び前記バイアス電源を制御するように構成された制御部と、

を備え、

前記制御部は、

(i) 前記チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、前記高周波電源から前記ソース高周波電力のパルスを提供する工程と、

(ii) 前記バイアス電源から前記基板支持部に電気バイアスのパルスを提供する工程と、

を含むサイクルの繰り返しをもたらすように構成されており、

前記電気バイアスのパルスは、1 MHz 以下のバイアス周波数で周期的に発生される直流電圧パルスを含み、

前記サイクルの繰り返し周波数であるパルス周波数は、5 kHz 以上であり、

前記制御部は、前記サイクル内で、

前記(ii)における前記電気バイアスの前記パルスの開始タイミングを、前記(i)における前記ソース高周波電力の前記パルスの開始タイミングよりも遅く、且つ、前記(i)における前記ソース高周波電力の前記パルスの停止タイミングと同時か該停止タイミングよりも早いタイミングに設定し、

前記(ii)における前記電気バイアスの前記パルスの停止タイミングを、前記ソース高周波電力の前記パルスの前記停止タイミングよりも遅いタイミングに設定する、

ように構成されている、
プラズマ処理装置。

[0055] [E 2]

前記制御部は、

(a) 前記基板支持部上の基板に堆積物を形成するために、前記チャンバ内に堆積性を有する処理ガスが供給されており、且つ、前記電気バイアスの供給が停止されている状態で、前記高周波電源から前記ソース高周波電力を供給する工程と、

(b) プラズマからイオンを前記堆積物に供給することにより前記堆積物を改質するために、前記ソース高周波電力のパワーレベルを前記(a)における該パワーレベルから変更し、且つ、前記電気バイアスを供給する工程と、

を更にもたらすように構成されており、

前記制御部は、前記(a)及び前記(b)の後に、前記サイクルの前記繰り返しをもたらすように構成されている、

[E 1]に記載のプラズマ処理装置。

[0056] [E 3]

前記制御部は、前記(a)、前記(b)、並びに前記(i)及び前記(ii)を含む前記サイクルの繰り返しを含む別のサイクルの繰り返しをもたらすように更に構成されている、[E 2]に記載のプラズマ処理装置。

[0057] [E 4]

前記制御部は、前記別のサイクルにおいて、前記(i)及び前記(ii)を含む前記サイクルの後に、前記ソース高周波電力及び前記電気バイアスが停止されている状態で、前記チャンバの排気を行う工程を更にもたらすように構成されている、[E 3]に記載のプラズマ処理装置。

[0058] [E 5]

前記制御部は、前記(b)における前記ソース高周波電力の前記パワーレベルを前記(a)における該パワーレベルよりも低いレベルに設定するよう

に構成されている、[E 2] ~ [E 4] の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0059] [E 6]

前記制御部は、前記 (i i) における前記直流電圧パルスの負の電圧レベルの絶対値を前記 (b) おける前記直流電圧パルスの負の電圧レベルの絶対値よりも大きくするように構成されている、[E 2] ~ [E 5] の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0060] [E 7]

前記制御部は、前記 (i) における前記ソース高周波電力の供給と前記 (i i) における前記電気バイアスの供給が同時に行われる期間において、負荷からの前記ソース高周波電力の反射の度合いを抑制するように前記直流電圧パルスの波形周期内で前記ソース高周波電力のソース周波数を変更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。

[0061] [E 8]

前記直流電圧パルスは、負の直流電圧パルスであり、前記 (i i) において 100 V 以上の絶対値を有する、[E 1] ~ [E 7] の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0062] [E 9]

前記パルス周波数は、10 kHz 以上である、[E 1] ~ [E 8] の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0063] [E 10]

前記バイアス周波数は、400 kHz 以下である、[E 1] ~ [E 9] の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

[0064] [E 11]

プラズマ処理装置のチャンバ内で基板支持部上に基板を準備する工程であり、該基板は膜及び該膜上に設けられたマスクを含む、該工程と、
前記膜をエッチングするためにサイクルの繰り返しを行う工程と、

を含み、

前記サイクルは、

(i) 前記チャンバ内でガスから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のパルスを供給する工程と、

(i i) バイアス電源から前記基板支持部に電気バイアスのパルスを供給する工程と、

を含み、

前記電気バイアスのパルスは、1 MHz 以下のバイアス周波数で周期的に発生される直流電圧パルスを含み、

前記サイクルの繰り返し周波数であるパルス周波数は、5 kHz 以上であり、

前記サイクル内で、

前記 (i i) における前記電気バイアスの前記パルスの開始タイミングは、前記 (i) における前記ソース高周波電力の前記パルスの開始タイミングよりも遅く、且つ、前記 (i) における前記ソース高周波電力の前記パルスの停止タイミングと同時か該停止タイミングよりも早く、

前記 (i i) における前記電気バイアスの前記パルスの停止タイミングは、前記ソース高周波電力の前記パルスの前記停止タイミングよりも遅い、プラズマ処理方法。

[0065] [E 1 2]

(a) 前記基板支持部上の前記基板に堆積物を形成するために、前記チャンバ内に堆積性を有する処理ガスが供給されており、且つ、前記電気バイアスの供給が停止されている状態で、前記高周波電源から前記ソース高周波電力を供給する工程と、

(b) プラズマからイオンを前記堆積物に供給することにより前記堆積物を改質するために、前記ソース高周波電力のパワーレベルを前記 (a) における該パワーレベルから変更し、且つ、前記電気バイアスを供給する工程と、

を更に含み、

前記（a）及び前記（b）の後に、前記サイクルの前記繰り返しが行われる、

[E 1 1] に記載のプラズマ処理方法。

[0066] [E 1 3]

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持部と、

前記チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力を供給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たバイアス電源と、

前記高周波電源及び前記バイアス電源を制御するように構成された制御部と、

を備え、

前記制御部は、

（a）前記チャンバ内に堆積性を有する処理ガスが供給されており、且つ、前記バイアス電源から前記基板支持部への電気バイアスの供給が停止されている状態で、前記高周波電源から前記ソース高周波電力を供給する工程と、

（b）前記ソース高周波電力のパワーレベルを前記（a）における該パワーレベルから変更し、且つ、前記電気バイアスを供給する工程と、

をもたらすように構成され、さらに、前記（a）及び前記（b）の後に、

（i）前記高周波電源から前記ソース高周波電力のパルスを供給する工程と、

（i i）前記バイアス電源から前記基板支持部に前記電気バイアスのパルスを供給する工程と、

を含むサイクルの繰り返しをもたらすように構成されており、

前記制御部は、前記サイクル内で、

前記（i i）における前記電気バイアスの前記パルスの開始タイミング

を、前記（i）における前記ソース高周波電力の前記パルスの開始タイミングよりも遅く、且つ、前記（i）における前記ソース高周波電力の前記パルスの停止タイミングと同時に該停止タイミングよりも早いタイミングに設定し、

前記（i i）における前記電気バイアスの前記パルスの停止タイミングを、前記ソース高周波電力の前記パルスの前記停止タイミングよりも遅いタイミングに設定する、

ように構成されている、
プラズマ処理装置。

[0067] 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

[0068] 1…プラズマ処理装置、2…制御部、10…チャンバ、11…基板支持部、31…高周波電源、32…バイアス電源、HF…ソース高周波電力、EB…電気バイアス。

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、
前記チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力を供給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たバイアス電源と、
前記高周波電源及び前記バイアス電源を制御するように構成された制御部と、
を備え、
前記制御部は、
 (i) 前記チャンバ内でガスからプラズマを生成するために、前記高周波電源から前記ソース高周波電力のパルスを供給する工程と、
 (ii) 前記バイアス電源から前記基板支持部に電気バイアスのパルスを供給する工程と、
を含むサイクルの繰り返しをもたらすように構成されており、
前記電気バイアスのパルスは、1 MHz 以下のバイアス周波数で周期的に発生される直流電圧パルスを含み、
前記サイクルの繰り返し周波数であるパルス周波数は、5 kHz 以上であり、
前記制御部は、前記サイクル内で、
 前記 (ii) における前記電気バイアスの前記パルスの開始タイミングを、前記 (i) における前記ソース高周波電力の前記パルスの開始タイミングよりも遅く、且つ、前記 (i) における前記ソース高周波電力の前記パルスの停止タイミングと同時か該停止タイミングよりも早いタイミングに設定し、
 前記 (ii) における前記電気バイアスの前記パルスの停止タイミングを、前記ソース高周波電力の前記パルスの前記停止タイミングよりも遅いタイミングに設定する、

ように構成されている、
プラズマ処理装置。

[請求項2] 前記制御部は、

(a) 前記基板支持部上の基板に堆積物を形成するために、前記チャンバ内に堆積性を有する処理ガスが供給されており、且つ、前記電気バイアスの供給が停止されている状態で、前記高周波電源から前記ソース高周波電力を供給する工程と、

(b) プラズマからイオンを前記堆積物に供給することにより前記堆積物を改質するために、前記ソース高周波電力のパワーレベルを前記(a)における該パワーレベルから変更し、且つ、前記電気バイアスを供給する工程と、

を更にもたらすように構成されており、

前記制御部は、前記(a)及び前記(b)の後に、前記サイクルの前記繰り返しをもたらすように構成されている、
請求項1に記載のプラズマ処理装置。

[請求項3] 前記制御部は、前記(a)、前記(b)、並びに前記(i)及び前記(ii)を含む前記サイクルの繰り返しを含む別のサイクルの繰り返しをもたらすように更に構成されている、請求項2に記載のプラズマ処理装置。

[請求項4] 前記制御部は、前記別のサイクルにおいて、前記(i)及び前記(ii)を含む前記サイクルの後に、前記ソース高周波電力及び前記電気バイアスが停止されている状態で、前記チャンバの排気を行う工程を更にもたらすように構成されている、請求項3に記載のプラズマ処理装置。

[請求項5] 前記制御部は、前記(b)における前記ソース高周波電力の前記パワーレベルを前記(a)における該パワーレベルよりも低いレベルに設定するように構成されている、請求項2～4の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

- [請求項6] 前記制御部は、前記（i i）における前記直流電圧パルスの負の電圧レベルの絶対値を前記（b）における前記直流電圧パルスの負の電圧レベルの絶対値よりも大きくするように構成されている、請求項2～4の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項7] 前記制御部は、前記（i）における前記ソース高周波電力の供給と前記（i i）における前記電気バイアスの供給が同時に行われる期間において、負荷からの前記ソース高周波電力の反射の度合いを抑制するように前記直流電圧パルスの波形周期内で前記ソース高周波電力のソース周波数を変更するように構成されている、請求項1～4の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項8] 前記直流電圧パルスは、負の直流電圧パルスであり、前記（i i）において100V以上の絶対値を有する、請求項1～4の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項9] 前記パルス周波数は、10kHz以上である、請求項1～4の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項10] 前記バイアス周波数は、400kHz以下である、請求項1～4の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項11] プラズマ処理装置のチャンバ内で基板支持部上に基板を準備する工程であり、該基板は膜及び該膜上に設けられたマスクを含む、該工程と、
前記膜をエッチングするためにサイクルの繰り返しを行う工程と、
を含み、
前記サイクルは、
（i）前記チャンバ内でガスから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のパルスを供給する工程と、
（i i）バイアス電源から前記基板支持部に電気バイアスのパルスを供給する工程と、
を含み、

前記電気バイアスのパルスは、1 MHz 以下のバイアス周波数で周期的に発生される直流電圧パルスを含み、

前記サイクルの繰り返し周波数であるパルス周波数は、5 kHz 以上であり、

前記サイクル内で、

前記 (i i) における前記電気バイアスの前記パルスの開始タイミングは、前記 (i) における前記ソース高周波電力の前記パルスの開始タイミングよりも遅く、且つ、前記 (i) における前記ソース高周波電力の前記パルスの停止タイミングと同時か該停止タイミングよりも早く、

前記 (i i) における前記電気バイアスの前記パルスの停止タイミングは、前記ソース高周波電力の前記パルスの前記停止タイミングよりも遅い、

プラズマ処理方法。

[請求項12]

(a) 前記基板支持部上の前記基板に堆積物を形成するために、前記チャンバ内に堆積性を有する処理ガスが供給されており、且つ、前記電気バイアスの供給が停止されている状態で、前記高周波電源から前記ソース高周波電力を供給する工程と、

(b) プラズマからイオンを前記堆積物に供給することにより前記堆積物を改質するために、前記ソース高周波電力のパワーレベルを前記 (a) における該パワーレベルから変更し、且つ、前記電気バイアスを供給する工程と、

を更に含み、

前記 (a) 及び前記 (b) の後に、前記サイクルの前記繰り返しが行われる、

請求項 11 に記載のプラズマ処理方法。

[請求項13]

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持部と、

前記チャンバ内でプラズマを生成するためにソース高周波電力を供給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たバイアス電源と、

前記高周波電源及び前記バイアス電源を制御するように構成された制御部と、

を備え、

前記制御部は、

(a) 前記チャンバ内に堆積性を有する処理ガスが供給されており、且つ、前記バイアス電源から前記基板支持部への電気バイアスの供給が停止されている状態で、前記高周波電源から前記ソース高周波電力を供給する工程と、

(b) 前記ソース高周波電力のパワーレベルを前記(a)における該パワーレベルから変更し、且つ、前記電気バイアスを供給する工程と、

をもたらすように構成され、さらに、前記(a)及び前記(b)の後に、

(i) 前記高周波電源から前記ソース高周波電力のパルスを供給する工程と、

(ii) 前記バイアス電源から前記基板支持部に前記電気バイアスのパルスを供給する工程と、

を含むサイクルの繰り返しをもたらすように構成されており、

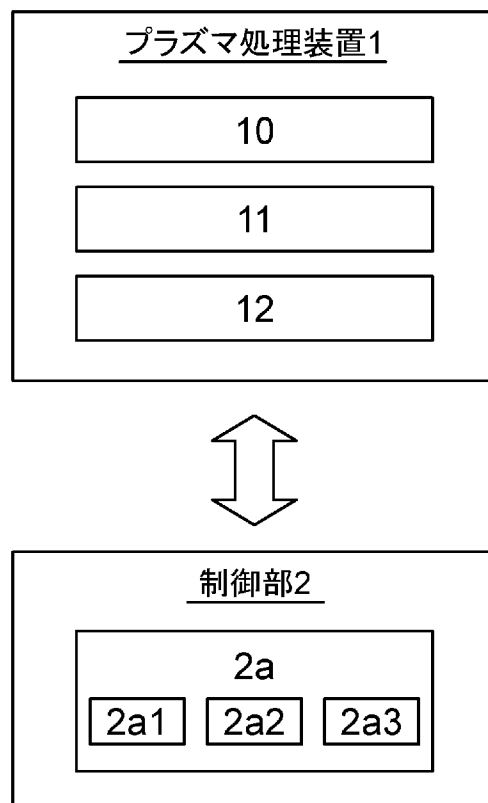
前記制御部は、前記サイクル内で、

前記(ii)における前記電気バイアスの前記パルスの開始タイミングを、前記(i)における前記ソース高周波電力の前記パルスの開始タイミングよりも遅く、且つ、前記(i)における前記ソース高周波電力の前記パルスの停止タイミングと同時か該停止タイミングよりも早いタイミングに設定し、

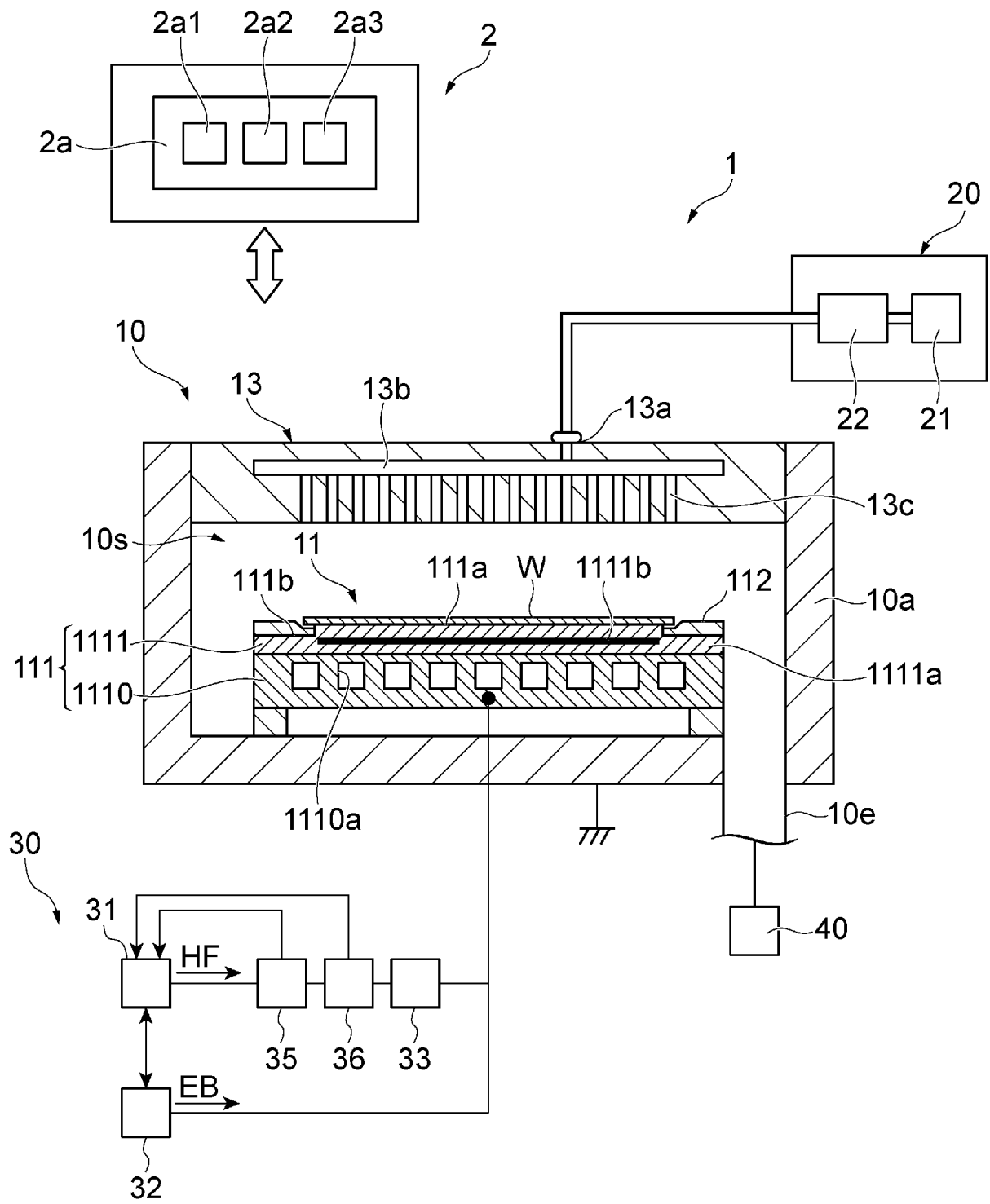
前記(ii)における前記電気バイアスの前記パルスの停止タイ

ミングを、前記ソース高周波電力の前記パルスの前記停止タイミングよりも遅いタイミングに設定する、
ように構成されている、
プラズマ処理装置。

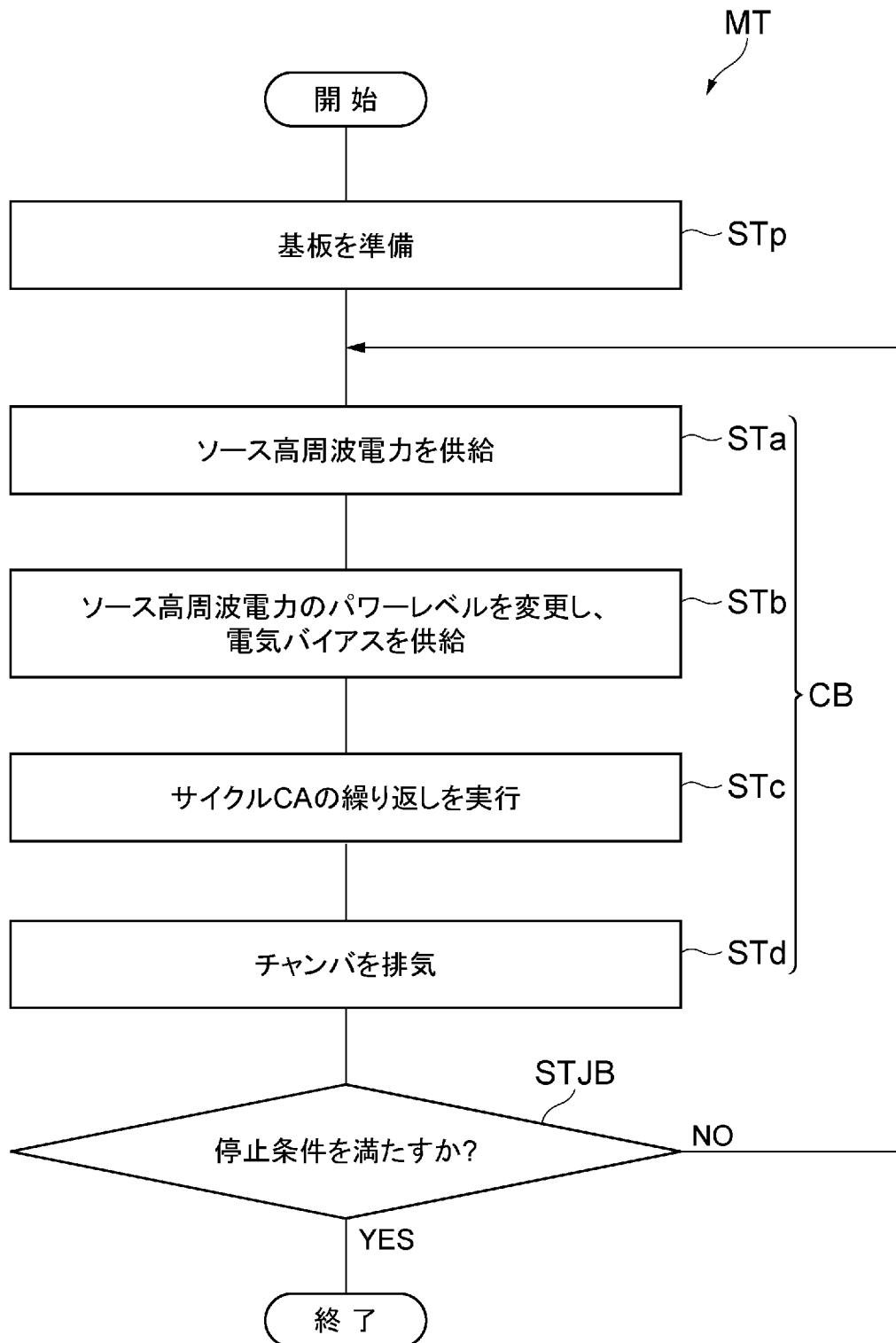
[図1]



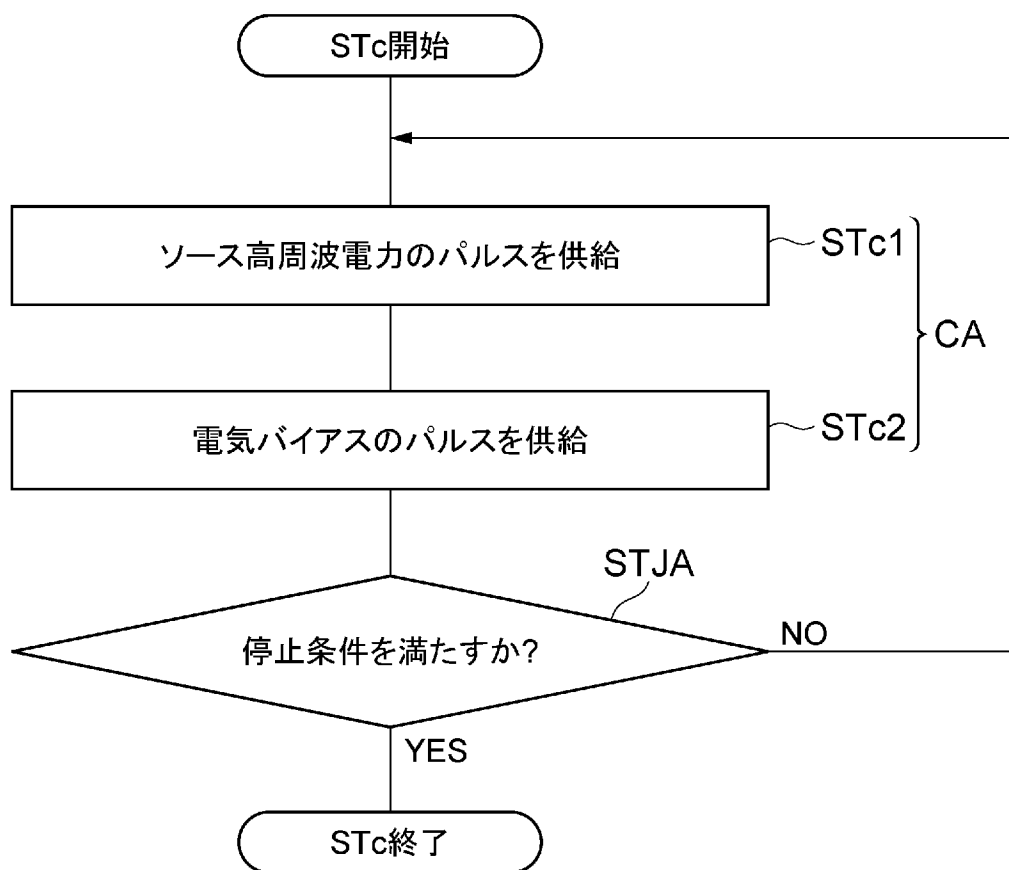
[図2]



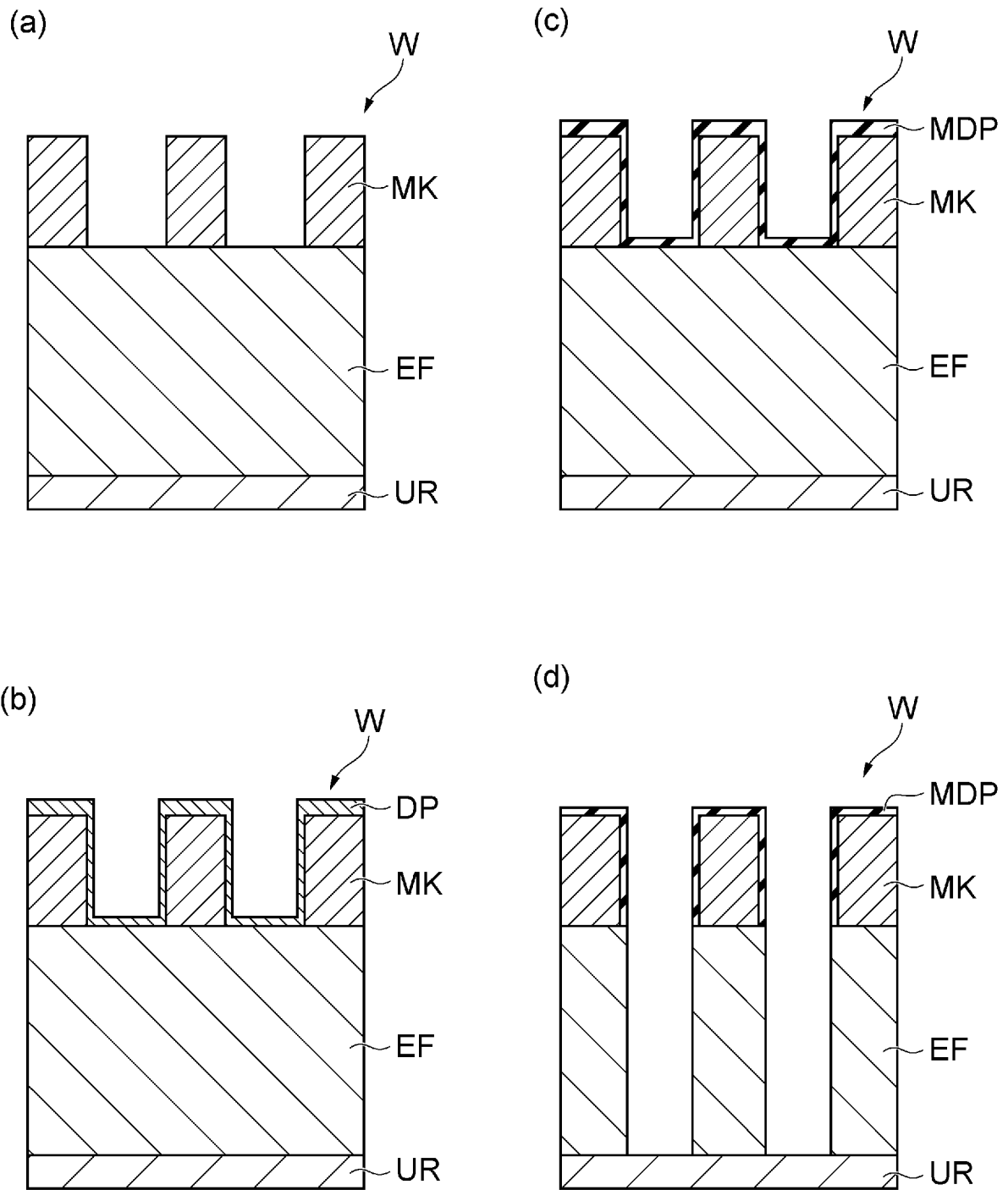
[図3]



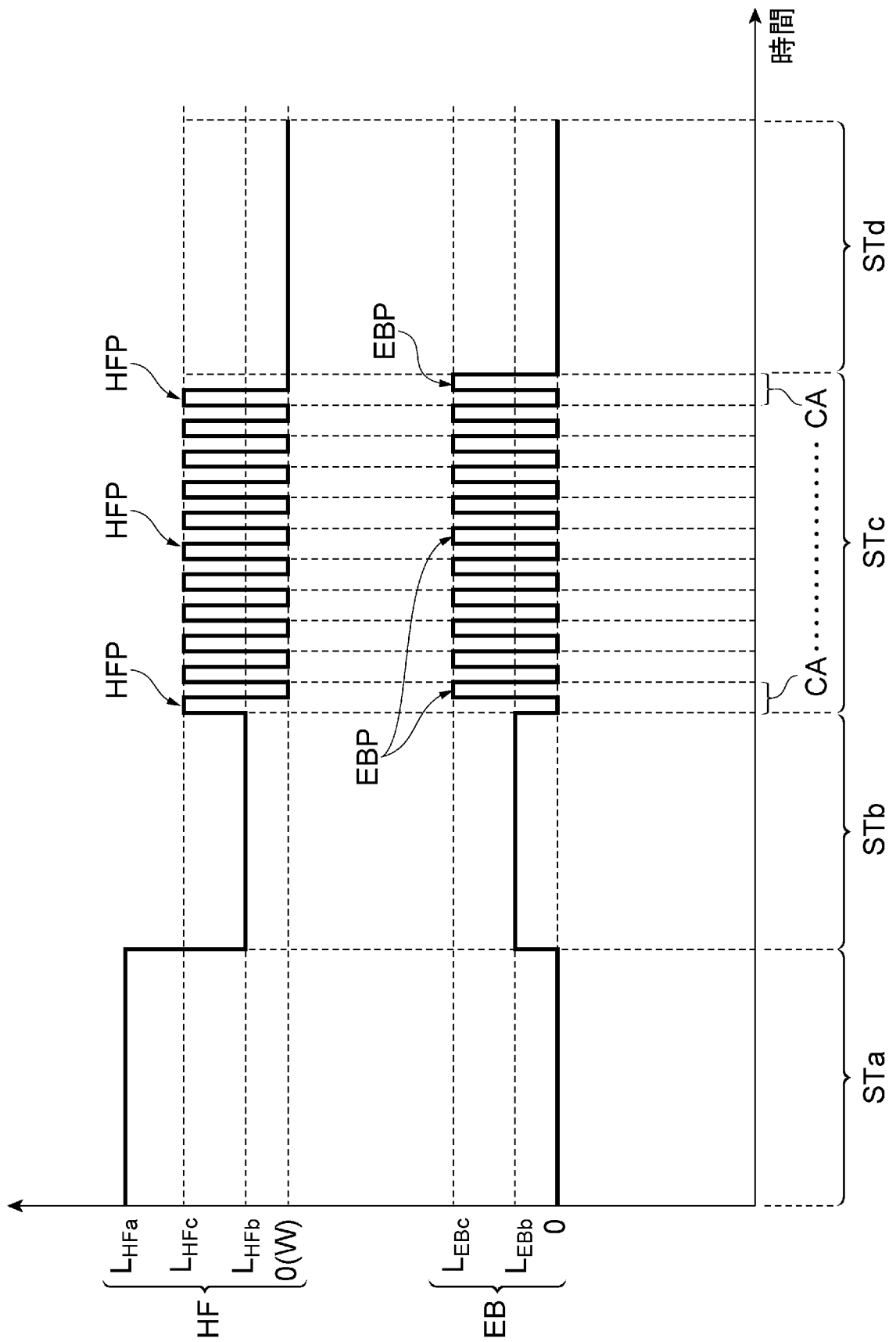
[図4]



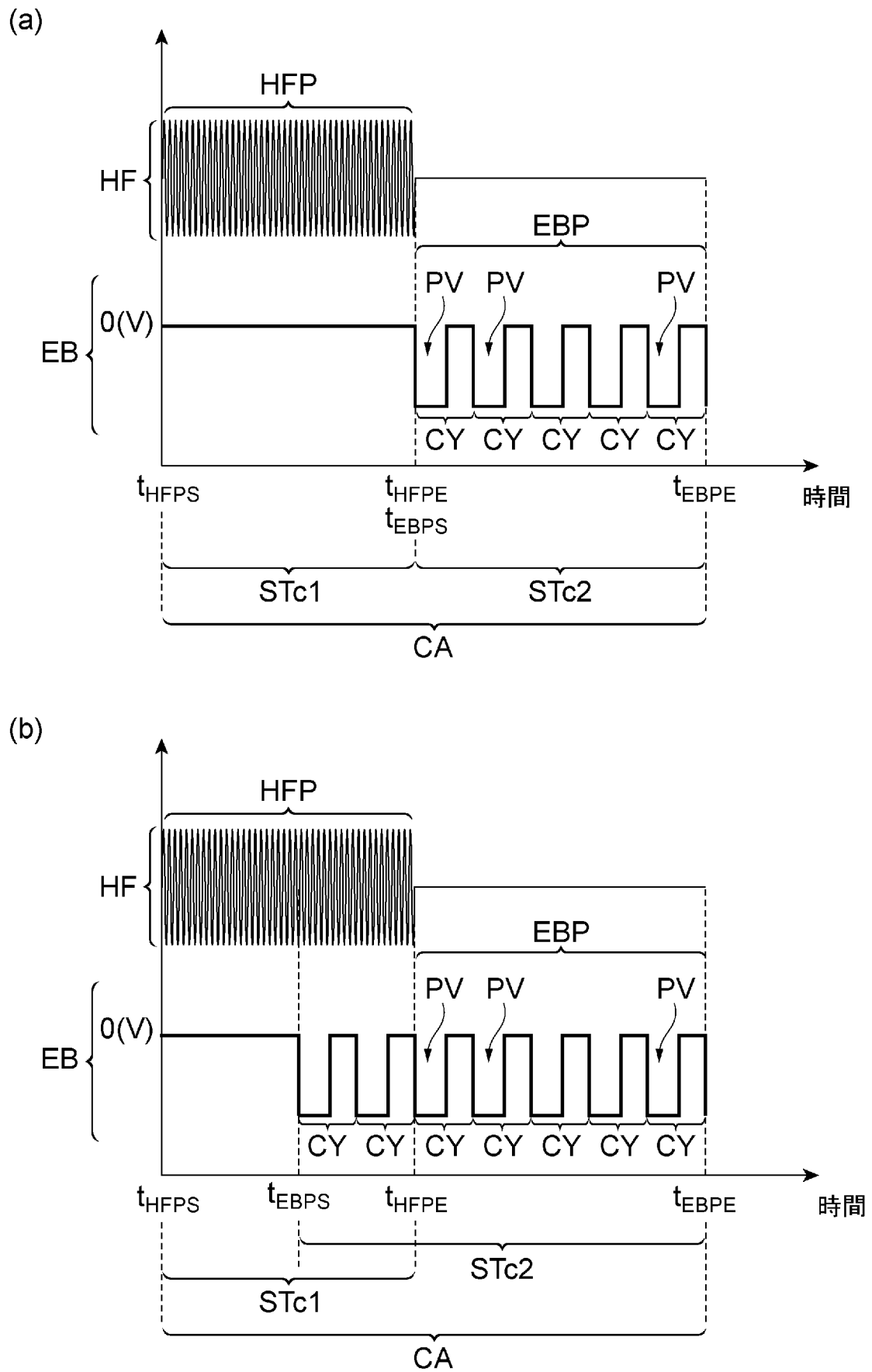
[図5]



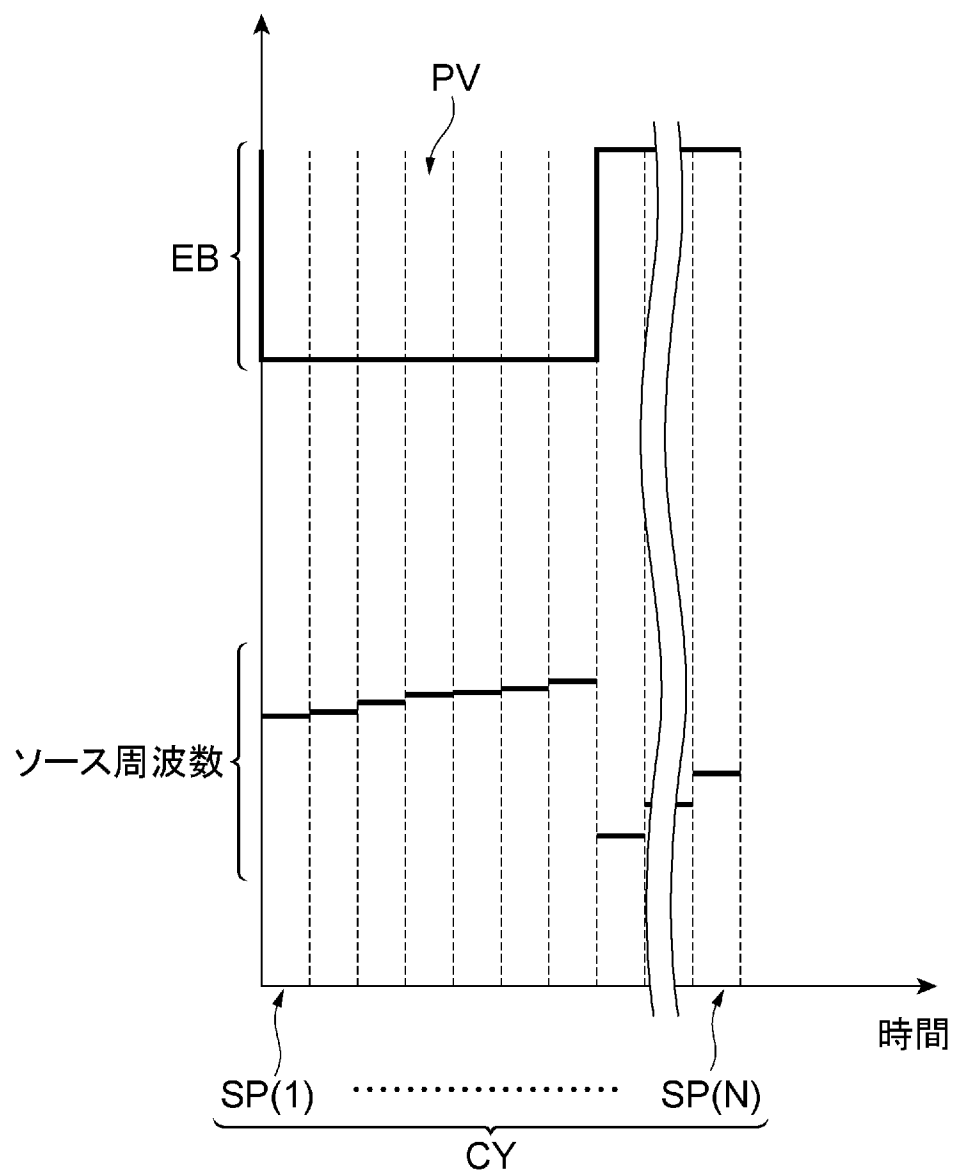
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/025154

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01L 21/3065**(2006.01)i; **H05H 1/46**(2006.01)i

FI: H01L21/302 105A; H05H1/46 R; H05H1/46 M

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; 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 2021-180238 A (TOKYO ELECTRON LTD) 18 November 2021 (2021-11-18) paragraphs [0010]-[0011], [0013]-[0015], [0018]-[0019], [0024]-[0026], [0029]-[0040], [0043]-[0046], [0055]-[0063], fig. 5, 9-10	1, 8, 10-11
A	entire text, all drawings	2-7, 12-13
X	JP 2021-534544 A (TOKYO ELECTRON LTD) 09 December 2021 (2021-12-09) paragraphs [0018]-[0019], [0030]-[0031], [0047]-[0048], [0058]-[0060], fig. 1, 3, 5	1, 9, 11
A	entire text, all drawings	2-7, 12-13
A	JP 2021-182620 A (TOKYO ELECTRON LTD) 25 November 2021 (2021-11-25) paragraphs [0023]-[0025], [0038]-[0060], fig. 2, 5	2-7, 12-13
A	JP 2022-41874 A (TOKYO ELECTRON LTD) 11 March 2022 (2022-03-11) paragraphs [0015]-[0016], [0022], [0049]-[0058], fig. 2, 5	2-7, 12-13

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

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“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

04 September 2023

Date of mailing of the international search report

19 September 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/JP2023/025154

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-180238	A	18 November 2021	US 2021/0358716 A1 paragraphs [0020]-[0021], [0023]-[0025], [0028]-[0029], [0035]-[0037], [0040]-[0051], [0054]-[0057], [0066]-[0074], fig. 5, 9-10 KR 10-2021-0139156 A CN 113675064 A	
JP	2021-534544	A	09 December 2021	US 2020/0058470 A1 paragraphs [0035]-[0036], [0047]-[0048], [0064]-[0065], [0075]-[0077], fig. 1, 3, 5 CN 112424904 A KR 10-2021-0032420 A	
JP	2021-182620	A	25 November 2021	US 2021/0358717 A1 paragraphs [0037]-[0039], [0052]-[0080], fig. 2, 5 KR 10-2021-0141901 A CN 113675065 A	
JP	2022-41874	A	11 March 2022	US 2022/0068605 A1 paragraphs [0027]-[0028], [0034], [0063]-[0073], fig. 2, 5 CN 114121589 A KR 10-2022-0029426 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; H05H 1/46(2006.01)i FI: H01L21/302 105A; H05H1/46 R; H05H1/46 M		
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; 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 2021-180238 A（東京エレクトロン株式会社）18.11.2021（2021-11-18） 段落 [0010]-[0011], [0013]-[0015], [0018]-[0019], [0024]-[0026], [0029]-[0040], [0043]-[0046], [0055]-[0063], 図 5, 9-10	1, 8, 10-11
A	全文, 全図	2-7, 12-13
X	JP 2021-534544 A（東京エレクトロン株式会社）09.12.2021（2021-12-09） 段落 [0018]-[0019], [0030]-[0031], [0047]-[0048], [0058]-[0060], 図 1, 3, 5	1, 9, 11
A	全文, 全図	2-7, 12-13
A	JP 2021-182620 A（東京エレクトロン株式会社）25.11.2021（2021-11-25） 段落 [0023]-[0025], [0038]-[0060], 図 2, 5	2-7, 12-13
A	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], [0022], [0049]-[0058], 図 2, 5	2-7, 12-13
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的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 04.09.2023		国際調査報告の発送日 19.09.2023
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/JP2023/025154

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2021-180238	A	18.11.2021	US 2021/0358716 A1	
				段落 [0020]-[0021], [0023]-[0025], [0028]- [0029], [0035]-[0037], [0040]-[0051], [0054]- [0057], [0066]-[0074], 図 5, 9-10	
				KR 10-2021-0139156 A	
JP	2021-534544	A	09.12.2021	CN 113675064 A	
				US 2020/0058470 A1	
				段落 [0035]-[0036], [0047]-[0048], [0064]- [0065], [0075]-[0077], 図 1, 3, 5	
JP	2021-182620	A	25.11.2021	CN 112424904 A	
				KR 10-2021-0032420 A	
				US 2021/0358717 A1	
JP	2022-41874	A	11.03.2022	段落 [0037]-[0039], [0052]-[0080], 図 2, 5	
				KR 10-2021-0141901 A	
				CN 113675065 A	
JP	2022-41874	A	11.03.2022	US 2022/0068605 A1	
				段落 [0027]-[0028], [0034], [0063]-[0073], 図 2, 5	
				CN 114121589 A	
JP	2022-41874	A	11.03.2022	KR 10-2022-0029426 A	