

(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
2019年12月26日(26.12.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/244734 A1

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

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/023238

(22) 国際出願日: 2019年6月12日(12.06.2019)

(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 2018-119344 2018年6月22日(22.06.2018) JP
特願 2019-105708 2019年6月5日(05.06.2019) JP

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

(72) 発明者: 奥水 地塩 (KOSHIMIZU, Chishio); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 平野 太一 (HIRANO, Taichi); 〒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). 早坂 徹 (HAYASAKA, Toru); 〒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). 久保田 紳治 (KUBOTA, Shinji); 〒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). 丸山 幸児 (MARUYAMA, Koji); 〒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). 道菅 隆 (DOKAN, Takashi); 〒9813629 宮

(54) Title: CONTROL METHOD AND PLASMA TREATMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 制御方法及びプラズマ処理装置

[図4]

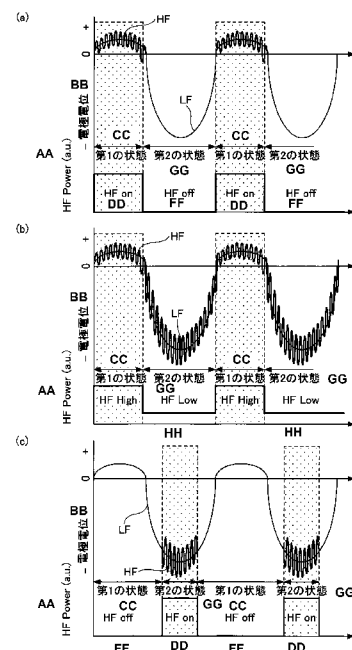


FIG. 4:
AA HF Power (a.u.)
BB Negative electrode potential
CC First state
DD HF on
EE HF High
FF HF off
GG Second state
HH HF Low

(57) Abstract: Provided is a control method for controlling a plasma treatment device having a first electrode on which an object to be treated is mounted, the control method involving a process in which bias power is supplied to the first electrode, and a process in which source power having a higher frequency than the bias power is supplied into a plasma treatment space, wherein the source power has a first state and a second state, and the method also involves a first control process in which the source power in the first state and that in the second state are alternately applied in synchronization

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: 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, 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, 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))

with a phase in a single cycle of a reference electrical state indicating a voltage, a current, or an electromagnetic field measured in the bias power supply system.

(57) 要約: 被処理体を載置する第 1 の電極を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、バイアスパワーを前記第 1 の電極に供給する工程と、前記バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程と、を有し、前記ソースパワーは、第 1 の状態と第 2 の状態とを有し、前記第 1 の状態と前記第 2 の状態とを前記バイアスパワーの給電系で測定される電圧、電流又は電磁界のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する第 1 制御工程を含む、制御方法が提供される。

明 細 書

発明の名称：制御方法及びプラズマ処理装置

技術分野

[0001] 本開示は、制御方法及びプラズマ処理装置に関する。

背景技術

[0002] エッチングの際、印加するイオン引き込み用の高周波電力をプラズマ生成用の高周波電力のオン・オフに同期させることでイオンを多結晶シリコン層上に到達させ、多結晶シリコン層のエッチングレートを均一にする技術が知られている(例えば、特許文献1参照)。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平10-64915号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1では、プラズマ生成用の高周波電力であるソースパワー及びイオン引き込み用の高周波電力であるバイアスパワーの、異なる2つの周波数の高周波電力を処理容器内に印加してエッチングレートを制御する。

[0005] 本開示は、ラジカルとイオンの量と質を制御する技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一の態様によれば、被処理体を載置する第1の電極を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、バイアスパワーを前記第1の電極に供給する工程と、前記バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程と、を有し、前記ソースパワーは、第1の状態と第2の状態とを有し、前記第1の状態と前記第2の状態とを前記バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又は前記バイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する第1制御工程を含む、制御方法が提供

される。

発明の効果

[0007] 一の側面によれば、ラジカルとイオンの量と質を制御することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]一実施形態に係るプラズマ処理装置の一例を示す図。

[図2A]一実施形態に係る制御部の構成の一例を示す図。

[図2B]一実施形態に係る給電系に付けたセンサーの位相信号で制御する場合、又はバイアスパワーの高周波の周期に同期する信号で制御する場合を示す図。

[図3]一実施形態に係るL Fの一周期内の位相に応じたH Fの供給タイミングの一例を示す図。

[図4]一実施形態に係るL Fの一周期内の位相に応じたH Fの供給タイミングの一例を示す図。

[図5]一実施形態に係るL Fの一周期内の位相とプラズマ密度 N_e 及び自己バイアス V_{dc} との関係の一例を示す図。

[図6]一実施形態に係る反射波パワーの一例を示す図。

[図7]一実施形態に係る反射波パワーの一例を示す図。

[図8]一実施形態の変形例1に係る制御方法を説明するための図。

[図9]一実施形態の変形例2に係る制御方法を説明するための図。

[図10]一実施形態の変形例3に係る制御方法を説明するための図。

[図11]一実施形態の変形例4に係る制御方法を説明するための図。

[図12]一実施形態に係るIMD（相互変調歪）の一例を示す図。

[図13A]一実施形態の変形例5-1に係る制御方法を示すタイミングチャート。

[図13B]一実施形態の変形例5-2に係る制御方法を示すタイミングチャート。

[図13C]一実施形態の変形例5-3に係る制御方法を示すタイミングチャート。

[図13D]一実施形態の変形例5－4に係る制御方法を示すタイミングチャート。
。

[図14]一実施形態の変形例6に係る制御方法を示すタイミングチャート。

[図15A]一実施形態の変形例7－1に係る制御方法を示すタイミングチャート。
。

[図15B]一実施形態の変形例7－2に係る制御方法を示すタイミングチャート。
。

[図15C]一実施形態の変形例7－3に係る制御方法を示すタイミングチャート。
。

[図15D]一実施形態の変形例7－4に係る制御方法を示すタイミングチャート。
。

[図16]一実施形態に係るソースパワーの反射波パワーの一例を示す図。

[図17]一実施形態の変形例8に係る制御方法を説明するためのタイミングチャート。

[図18]一実施形態の変形例9に係る制御方法を説明するためのタイミングチャート。

[図19]一実施形態の変形例10に係る制御方法を説明するためのタイミングチャート。

[図20]一実施形態の変形例11に係る制御方法を説明するためのタイミングチャート。

[図21]一実施形態の変形例12に係る制御方法を示すタイミングチャート。

[図22]一実施形態の変形例13に係る制御方法を示すタイミングチャート。

発明を実施するための形態

[0009] 本発明を実施するための形態について図面を参照して説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の構成については、同一の符号を付することにより重複した説明を省く。

[0010] 以下、ソースパワーの周波数（高周波）を「HF」（High Frequency）ともいい、ソースパワーを「HF電力」ともいう。また、ソースパワーの周波

数よりも低い周波数のバイアスパワーの周波数（高周波）を「L F」（Low F
requency）ともいい、バイアスパワーを「L F 電力」ともいう。

[0011] [はじめに]

プラズマ生成用の高周波電力であるソースパワーとイオン引き込み用の高周波電力であるバイアスパワーの、異なる2つ周波数の高周波電力を処理容器内に印加すると、I M D（Intermodulation distortion：相互変調歪）が反射波パワーとして発生する場合がある。

[0012] I M Dは、整合不良を発生するのみならず、反射耐性のため、かつプラズマの維持のために、本来必要な高周波電力よりも大きな電力を投入し得る容量の高周波電源が必要となる。このため、従来からI M Dの発生を低減するために、高周波電源の給電ラインに使用される同軸ケーブルのケーブル長を最適化することが行われている。

[0013] しかしながら、I M Dは、H F 電力の基本波及び／又は高調波と、L F 電力の基本波及び／又は高調波との和や差の周波数に生じる。このため、同軸ケーブルのケーブル長を最適化する方法では、特定の周波数の高周波電力の反射波パワーを減少させることはできても、I M Dに含まれるH F 電力及びL F 電力の基本波及び／又は高調波との和や差から生じる他の周波数の反射波パワーをなくすことはできない。

[0014] また、L F 電力の周波数が低い程、H F 電力の基本波に近い周波数にてI M Dが発生するため、できるだけL F 電力の周波数を高くし、H F 電力の基本波に近い周波数におけるI M Dの発生を抑制することが考えられる。しかしながら、近年、特に高アスペクト比のエッチング処理では、L F 電力の周波数を低くした方がプロセス結果がよい。つまり、高アスペクト比の穴を深くエッチングするほどエッチングレートが下がるため、L F 電力の周波数をより低周波数にし、かつパワーを上げることが行われる。これにより、高アスペクト比のエッチングにおいてエッチングレートを上げることができる。ただし、このプロセス条件では更にI M Dが増加するため、近年のL F 電力の高パワーかつ低周波数化により高周波電力の反射波パワーは高くなってい

る。特に、L F 電力とH F 電力を同一電極に印加する場合に高周波電力の反射波パワーが増大する。

[0015] 例えば、図 1 2 は、L F 電力を印加した電極に所定の周波数のH F 電力を印加したときに発生する反射波パワーの一例を示す。IMDはL F のV_{pp} (Peak to Peak) の位相に同期して周期的に強度が変化する。例えば、図 1 2 の例では、L F の電位が正の最大値付近でIMDはほぼ0 W、つまり反射が生じていない状態となっている。また、L F の電位が負の範囲でIMDは比較的低くなっている。L F の電位が正の最大値を超えてから負に掛けて、最大の反射波パワーが生じ、IMDが最大となっている。

[0016] そこで、発明者らは、IMDが発生するタイミングを考慮して、L F の位相に応じてIMDの発生を抑制する制御方法及び該制御方法を実行するプラズマ処理装置を提案する。更に、発明者らは、L F 及びH F の異なる2つの周波数の高周波電力を制御してラジカルとイオンの量と質の制御する制御方法を提案する。

[0017] [プラズマ処理装置の全体構成]

まず、一実施形態に係るプラズマ処理装置 1 の一例について、図 1 を参照しながら説明する。図 1 は、一実施形態に係るプラズマ処理装置の一例を示す図である。

[0018] 一実施形態にかかるプラズマ処理装置 1 は、容量結合型の平行平板プラズマ処理装置であり、例えば表面が陽極酸化処理されたアルミニウムからなる円筒状の処理容器 10 を有している。処理容器 10 は接地されている。

[0019] 処理容器 10 の底部には、セラミックス等からなる絶縁板 12 を介して円柱状の支持台 14 が配置され、この支持台 14 の上に例えばアルミニウムからなる載置台 16 が設けられている。載置台 16 は下部電極を構成し、その上に静電チャック 18 を介して被処理体の一例であるウェハWが載置される。

[0020] 載置台 16 の上面には、ウェハWを静電力で吸着保持する静電チャック 18 が設けられている。静電チャック 18 は、導電膜からなる電極 20 を一対

の絶縁層または絶縁シートで挟んだ構造を有する。電極 20 には直流電源 22 が接続されている。直流電源 22 から出力された直流電圧は、電極 20 に印加される。これにより生じたクーロン力等の静電力によってウェハ W が静電チャック 18 に吸着保持される。

[0021] 載置台 16 上であってウェハ W の周囲には、例えばシリコンからなる導電性のエッジリング 24 が配置されている。エッジリング 24 はフォーカスリングともいう。載置台 16 および支持台 14 の側面には、例えば石英からなる円筒状の内壁部材 26 が設けられている。

[0022] 支持台 14 の内部には、例えば環状に冷媒室 28 が設けられている。冷媒室 28 には、外部に設けられたチラーユニットより配管 30 a, 30 b を介して所定温度の冷媒、例えば冷却水が循環供給され、冷媒の温度によって載置台 16 上のウェハ W の処理温度が制御される。なお、冷媒は、配管 30 a, 30 b に循環供給される温度調整用の媒体の一例であり、温度調整用の媒体は、載置台 16 及びウェハ W を冷却するだけでなく、加熱する場合もあり得る。

[0023] さらに、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス、例えば He ガスがガス供給ライン 32 を介して静電チャック 18 の上面とウェハ W の裏面との間に供給される。

[0024] 載置台 16 の上方には、載置台 16 と対向するように平行に上部電極 34 が設けられている。上部電極 34 と下部電極間の間はプラズマ処理空間となる。上部電極 34 は、載置台 16 上のウェハ W と対向してプラズマ処理空間と接する面、つまり対向面を形成する。

[0025] 上部電極 34 は、絶縁性の遮蔽部材 42 を介して、処理容器 10 の上部に支持されている。上部電極 34 は、載置台 16 との対向面を構成しかつ多数のガス吐出孔 37 を有する電極板 36 と、この電極板 36 を着脱自在に支持し、導電性材料、例えば表面が陽極酸化処理されたアルミニウムからなる電極支持体 38 とを有する。電極板 36 は、例えばシリコンや SiC により形成されてもよい。電極支持体 38 の内部には、ガス拡散室 40 が設けられ、

このガス拡散室40からはガス吐出孔37に連通する多数のガス通流孔41が下方に延びている。

[0026] 電極支持体38にはガス拡散室40へ処理ガスを導くガス導入口62が形成されており、このガス導入口62にはガス供給管64が接続され、ガス供給管64には処理ガス供給源66が接続されている。ガス供給管64には、上流側から順にマスフローコントローラ(MFC)68および開閉バルブ70が設けられている。そして、処理ガス供給源66からエッチングのための処理ガスが供給される。処理ガスは、ガス供給管64からガス拡散室40に至り、ガス通流孔41を介してガス吐出孔37からシャワー状にプラズマ処理空間に吐出される。このようにして上部電極34は処理ガスを供給するためのシャワーヘッドとして機能する。

[0027] 上部電極34には、可変直流電源50が接続され、可変直流電源50からの直流電圧が上部電極34に印加される。可変直流電源50の極性および電流・電圧と、電流や電圧をオン・オフする電子スイッチの制御は、制御部200により制御される。

[0028] 載置台16には、給電棒47及び整合器46を介して第1の高周波電源48が接続されている。第1の高周波電源48は、載置台16にLF電力を印加する。これにより、載置台16上のウェハWにイオンが引き込まれる。第1の高周波電源48は、200kHz～13.56MHzの範囲内の周波数のLF電力を出力する。整合器46は第1の高周波電源48の内部インピーダンスと負荷インピーダンスとを整合させる。

[0029] 載置台16には、給電棒89及び整合器88を介して第2の高周波電源90が接続されている。第2の高周波電源90は、載置台16にHF電力を印加する。HFの周波数は、LFの周波数よりも高く、第2の高周波電源90から13.56MHz以上の周波数のHF電力が出力される。例えば400kHzのLF電力に対して、周波数が高い100MHzのHF電力を出力してもよい。整合器88は、第2の高周波電源90の内部インピーダンスと負荷インピーダンスとを整合させる。載置台16には、所定の高周波をグラン

ドに通すためのフィルタ 94 が接続されてもよい。なお、第 2 の高周波電源 90 から供給される H F 電力を、上部電極 34 に印加してもよい。

[0030] 処理容器 10 の底部には排気口 80 が設けられ、この排気口 80 に排気管 82 を介して排気装置 84 が接続されている。排気装置 84 は、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、処理容器 10 内は所望の真空度まで減圧可能である。また、処理容器 10 の側壁にはウェハ W の搬入出口 85 が設けられており、この搬入出口 85 はゲートバルブ 86 により開閉可能である。また、処理容器 10 の内壁に沿って処理容器 10 にエッチング副生物（デポ）が付着することを防止するためのデポシールド 11 が着脱自在に設けられている。すなわち、デポシールド 11 が処理容器の壁を構成している。また、デポシールド 11 は、内壁部材 26 の外周にも設けられている。処理容器 10 の底部の処理容器の壁側のデポシールド 11 と内壁部材 26 側のデポシールド 11 との間には排気プレート 83 が設けられている。デポシールド 11 および排気プレート 83 としては、アルミニウム材に Y_2O_3 等のセラミックスを被覆したものをを用いることができる。

[0031] かかる構成のプラズマ処理装置 1 にてエッチング処理を行う際には、まず、ゲートバルブ 86 を開状態とし、搬入出口 85 を介してエッチング対象であるウェハ W を処理容器 10 内に搬入し、載置台 16 上に載置する。そして、処理ガス供給源 66 からエッチングのための処理ガスを所定の流量でガス拡散室 40 へ供給し、ガス通流孔 41 およびガス吐出孔 37 を介して処理容器 10 内へ供給する。また、排気装置 84 により処理容器 10 内を排気し、その中の圧力を例えば 0.1 ~ 150 Pa の範囲内の設定値とする。ここで、処理ガスとしては、従来用いられている種々のものを採用することができる。例えば C_4F_8 ガス等のハロゲン元素を含有するガスを好適に用いることができる。さらに、Ar ガスや O_2 ガス等の他のガスが含まれていてもよい。

[0032] このように処理容器 10 内にエッチングガスを導入した状態で、第 2 の高周波電源 90 から H F 電力を載置台 16 に印加する。また、第 1 の高周波電源 48 から L F 電力を載置台 16 に印加する。また、可変直流電源 50 から

直流電圧を上部電極 3 4 に印加する。また、直流電源 2 2 から直流電圧を電極 2 0 に印加し、ウェハ W を載置台 1 6 に吸着保持する。

[0033] 上部電極 3 4 のガス吐出孔 3 7 から吐出された処理ガスは、主に H F 電力により解離及び電離しプラズマが生成される。プラズマ中のラジカルやイオンによってウェハ W の被処理面がエッチングされる。また、載置台 1 6 に L F 電力を印加することで、プラズマ中のイオンを制御し、高アスペクト比のホールのエッチングを可能とする等、プラズマの制御マージンを広くできる。

[0034] プラズマ処理装置 1 には、装置全体の動作を制御する制御部 2 0 0 が設けられている。制御部 2 0 0 は、R O M (Read Only Memory) 及び R A M (Random Access Memory) 等のメモリに格納されたレシピに従って、エッチング等の所望のプラズマ処理を実行する。レシピには、プロセス条件に対する装置の制御情報であるプロセス時間、圧力（ガスの排気）、高周波電力や電圧、各種ガス流量、処理容器内温度（上部電極温度、処理容器の側壁温度、ウェハ W 温度、静電チャック温度等）、チラーから出力される冷媒の温度などが設定されている。なお、これらのプログラムや処理条件を示すレシピは、ハードディスクや半導体メモリに記憶されてもよい。また、レシピは、C D - R O M、D V D 等の可搬性のコンピュータにより読み取り可能な記憶媒体に收容された状態で所定位置にセットされ、読み出されるようにしてもよい。

[0035] H F の電力のオン・オフ又は H i g h ・ L o w を、バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又はバイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかの一周期内の位相に同期させるように制御してもよい。例えば、制御部 2 0 0 は、H F の電力のオン・オフ又は H i g h ・ L o w を L F の電圧又は電流の一周期内の位相に同期させるように制御してもよい。これにより、イオンとラジカルの量と質を制御することができる。また、I M D の発生を低減できる。

[0036] バイアスパワーの給電系とは、第 1 の高周波電源 4 8 → 整合器 4 6 → 給電

棒 4 7 → 載置台 1 6 → (プラズマ) → 上部電極 3 4 → (グランド) をいう。
バイアスパワーの給電系で測定される電圧、電流又は電磁界のいずれかとは、
第 1 の高周波電源 4 8 から整合器 4 6 の内部及び給電棒 4 7 を介して載置
台 1 6 に至るまでのパーツと上部電極 3 4 で測定される電圧、電流又は電磁
界をいう。

[0037] また、バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号の状態、又はバイ
アスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかを「基準電
気状態」ともいう。H F 電力 (ソースパワー) は、基準電気状態の一周期内
の位相と同期して後述する第 1 の状態と第 2 の状態とに交互に印加するよう
に制御される。

[0038] ただし、バイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のい
ずれかを「基準電気状態」とする場合、基準電気状態は、載置台 1 6 から給
電棒 4 7 を介して接続される整合器の内部までのいずれかの部材において測
定される電圧、電流又は電磁界のいずれかであることが好ましい。

[0039] バイアスパワーの給電系で基準電気状態を測定する方法としては、バイ
アスパワーの給電系のいずれかのパーツの近傍に電圧プローブ、電流プローブ
、 B Z プローブ (誘導磁場を測るプローブ) を設置することで各パーツの電
圧、電流又は誘導磁場を計測する方法が一例として挙げられる。

[0040] 例えば、図 2 B (a) は、バイアスパワーの給電系で測定された電圧、電
流又は電磁界のいずれかを「基準電気状態」とする場合の一例である。例え
ば図 2 B (a) では、プロセッサ 1 0 0 が給電系に取り付けられた V I プロ
ーブ等のセンサから H F の電圧又は電流、 L F の電圧又は電流、 H F の位相
信号又は L F の位相信号のいずれかを入力する。プロセッサ 1 0 0 は、入力
した H F の電圧又は電流、 L F の電圧又は電流、 H F の位相信号又は L F の
位相信号のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相と同期してソース
パワーを第 1 の状態と第 2 の状態に交互に印加する。

[0041] プロセッサ 1 0 0 は、センサからの信号に基づかずに第 1 の高周波電源 4
8 から出力されるバイアスパワーの高周波の周期に同期する信号を生成して

もよい。この場合、該信号の状態を基準電気状態とすることができる。また、バイアスパワーの給電系で基準電気状態を測定する工程を省くことができる。例えば図2B(b)では、プロセッサ100が、第1の高周波電源48からLFの位相信号(小電力波形)又はバイアスパワーの情報に関する信号を入力し、この入力信号に基づきバイアスパワーの高周波の周期に同期する信号を生成する。プロセッサ100は、生成した信号を第2の高周波電源90に出力する。第2の高周波電源90は、この信号に基づきソースパワーを第1の状態と第2の状態に交互に印加する。

[0042] なお、プロセッサ100は、第1の高周波電源48からの信号に基づかずにバイアスパワーの高周波の周期に同期する信号を生成してもよい。この場合、プロセッサ100は、例えば図3のLFに示す周期を有する信号を生成すると共に、この信号に同期する、例えば図3のHFに示すオン・オフ信号を生成する。プロセッサ100は、生成した信号を第1の高周波電源48及び第2の高周波電源90に出力する。第1の高周波電源48は、この信号に基づきバイアスパワーを出力する。第2の高周波電源90は、この信号に基づきソースパワーを第1の状態と第2の状態に交互に印加する。

[0043] なお、載置台16は、ウェハWを載置する第1の電極の一例である。上部電極は、第1の電極と対向する第2の電極の一例である。第1の高周波電源48は、第1の電極にLF電力を供給するバイアス電源の一例である。第2の高周波電源90は、第1の電極又は第2の電極にLF電力よりも高い周波数のHF電力を供給するソース電源の一例である。制御部200は、バイアス電源及びソース電源を制御する制御部の一例である。バイアスパワーを印加する下部電極(載置台16)の電位を、電極電位ともいう。

[0044] [制御部の構成]

制御部200の具体的構成について、図2Aを参照して説明する。制御部200は、プロセッサ100、信号発生回路102、方向性結合器105、108、反射検出器111、オシロスコープ112を有する。

[0045] 第1の高周波電源48の給電ラインには、第1の高周波電源48と整合器

46の間に方向性結合器105が接続されている。第2の高周波電源90の給電ラインには、第2の高周波電源90と整合器88の間に方向性結合器108が接続されている。

[0046] 方向性結合器105は、LFの進行波パワー(P_f)の一部をオシロスコープ112に与える。また、方向性結合器108は、HFの進行波パワー及び反射波パワーの一部をオシロスコープ112に与える。

[0047] 一実施形態において、オシロスコープ112に表示されるLFの周波数は、例えば400kHzであり、HFの周波数は、例えば100MHzである。これにより、オシロスコープ112では、LFの進行波パワーの波形と、HFの進行波パワーの波形及びHFの反射波パワーの波形とを観察できる。

[0048] また、方向性結合器108は、HFの反射波の一定割合を分離し、反射検出器111に与える。反射検出器111は、たとえば、スペクトルアナライザ、パワーメータ等から構成され、どんな波長のIMD (Intermodulation distortion: 相互変調歪) がどのくらい発生しているかやどの程度の反射波パワーであるかを計測する。IMDは、プラズマ処理装置1の上部電極又は下部電極にHF電力を印加し(一実施形態では下部電極)、下部電極にLF電力を印加することで生じる、LFの基本波及び／又は高調波と、HFの基本波及び／又は高調波との和や差の周波数に応じて生じる、プラズマ側からの反射波パワーをいう。

[0049] 方向性結合器105は、LFの進行波パワーの一部をプロセッサ100に与える。プロセッサ100は、LFの進行波パワーに同期させるHF用の同期信号を作成する。例えば、プロセッサ100は、LFの進行波の正のタイミングに同期させてHF用の同期信号を作成してもよい。なお、方向性結合器105の代わりに、V1プローブ等のセンサを用いて検出したLFの波形をプロセッサ100に与えてもよい。

[0050] プロセッサ100は、作成した同期信号を信号発生回路102に与える。信号発生回路102は、与えられた同期信号からLFの進行波パワーに同期する制御信号を生成し、第2の高周波電源90及び第1の高周波電源48に

与える。

[0051] 制御信号の生成方法には、以下の2通りがある。第1の高周波電源48が一般的な電源の場合、方向性結合器105が第1の高周波電源48から出力されるL Fの電圧又は電流の一部を波形として取り出し、プロセッサ100に入力する。ただし、これに限られず、プロセッサ100が、第1の高周波電源48から直接、L Fの電力等の一部を入力してもよい。プロセッサ100は、入力した波形の信号から任意の遅延と任意の幅を有するオン信号を作成し、信号発生回路102に送信する。オン信号は、同期信号の一例である。

[0052] 信号発生回路102は、オン信号の間、H Fの電力を発生させるために第2の高周波電源90に指令信号を送る。指令信号には、第2の高周波電源90の入力形態に応じて、オン信号の間、H Fの電力を発生させる制御信号又はオン信号そのものが使用される。

[0053] 第1の高周波電源48がL Fの電力、電圧又は電流を増幅するアンプの場合、方向性結合器105からの信号は使用せず、信号発生回路102が第1の高周波電源48から出力されるL Fの電力等の一部を波形として取り出し、該波形の信号から任意の遅延と任意の幅を有するオン信号を作成してもよい。信号発生回路102は、該波形の信号及びオン信号を第2の高周波電源90に送信する。

[0054] ただし、以上の制御信号の生成方法は一例であり、これに限らない。与えられた同期信号から基準電気状態の一周期内の位相（L Fの電圧又は電流の一周期内の位相、電極電位等）と同期してH Fの電力のオン・オフ又は、H i g h・L o wが交互に印加されるように制御する制御信号を生成できれば、図2 Aに示す制御部200の回路に限られず、他のハードウェア又はソフトウェアを使用できる。

[0055] 第1の高周波電源48のアンプは、400k H zのL Fの変調信号の振幅（A M : amplitude modulation）を増幅し、下部電極に供給する。第2の高周波電源90のアンプは、100M H zのH Fの変調信号の振幅を増幅し、下

部電極に供給する。

[0056] 図3は、L Fの電圧又は電流の波形と、L Fの電圧又は電流が正のタイミングに応じて印加するH Fの電圧又は電流の一例を示す図である。下から2つ目の波形に示す電極電位が正のとき、H Fの電圧又は電流は正の値に制御（オン）される。電極電位が負のとき、H Fの電圧又は電流は0に制御（オフ）される。基本的には、L Fの電圧又は電流によって電極電位が決まるため、L Fの電圧又は電流が負のタイミングにH Fの電圧又は電流はオフされ、L Fの電圧又は電流が正のタイミングにH Fの電圧又は電流はオンされる。

[0057] プロセッサ100は、電極電位が正のタイミングを含む時間帯にH Fの電力を制御する同期信号を作成してもよい。ただし、プロセッサ100は、これに限られず、電極電位が負に最も深くなるタイミングを含む短時間にH Fの電力を制御する同期信号を作成してもよい。

[0058] [H Fの電力の供給タイミング]

次に、一実施形態におけるH Fの電力の供給タイミングについて、図4を参照しながら説明する。図4は、一実施形態に係るH Fの電力の供給タイミングの一例を示す図である。

[0059] 図4（a）～（c）の縦軸は、電極の電位を示す。電極の電位はウェハの電位とほぼ同一である。電極の電位はL F及びH Fの電圧が重畳したときの電位である。ここで、L Fの周波数が400kHzのL F電圧のV_{pp}は、H Fの周波数が100MHzのH F電圧のV_{pp}よりもはるかに大きい。よって、基本的には、L Fの電圧によって電極電位が決まり、H Fの電圧のV_{pp}の幅（振幅）で振動する。

[0060] 電極上のシースについても、基本的にはL Fの電圧に応じてシースの厚さが決まる。L Fの電圧が負のときの電極電位は、いわゆる自己バイアス電圧V_{dc}によりL Fの電圧が正のときの電極電位よりも負に深くなる。電極電位がグラウンド電位に対して正電位にあるときにはプラズマ電位に近くなる為、高速な一部の電子が電極に流入可能となり、グラウンド電位に対して負電位

にあるときにはイオンが流入する。

[0061] 電極はブロッキングコンデンサ（一実施形態では整合器）によりグランドからフローティングしているため、電極に流入した電子はグランドに流れない。よって、電極の表面がプラズマに対して正電位にある周期（半サイクル）に電子が電極に流入し蓄積していく。しかし、蓄積した電子のために電極の表面は負に帯電してプラズマに対して負のバイアスが発生する。その負のバイアスにより、イオンが電極の表面に流入するようになる。これにより、電極の表面にシースが形成される。

[0062] 最終的には、電極の表面はプラズマ電位に接近し、そのときに流入する電子と、負のバイアスにより定常的に流入するイオンとが平衡したときの電極の電位のDC成分が自己バイアス電圧 V_{dc} である。

[0063] 図3は、LFの位相に対応した電極電位、LFの位相に対応したプラズマ電位、シース厚及びインピーダンス Z を模式的に示す。プラズマ電位は、処理容器10内の最も高い電位よりもわずかに高くなる。よって、プラズマ電位は、電極電位が正のときには電極電位よりもわずかに高くなり、電極電位が負のときには処理容器10の壁の電位を0とすると、壁面の電位0よりもわずかに高くなる。

[0064] 自己バイアス電圧 V_{dc} によりLFの電圧が負のときに電極電位が負に深くなると、シースの厚さは電圧に比例するため、電極電位が負のときには電極に大きな電圧がかかり、シースの厚さが厚くなる。これに対して、電極電位が正のときには電極電位が負のときと比べて電極には小さい電圧がかかるためにシースの厚さは薄くなる。

[0065] 一実施形態では、載置台16（下部電極）にLF電力とHF電力とが印加されるから、図4に示す電極電位は下部電極の電位となる。LFの位相に対応して載置台16上のシースの厚さはほぼフラットな薄い状態のタイミングと、シースが厚い状態のタイミングとがある。このため、シースをコンデンサと仮定すると、シースが薄いときにはコンデンサの容量は大きくなって、インピーダンス $Z = 1 / \omega C$ よりシースのインピーダンス Z は低くなる。つ

まり、電極電位が正のときには、シースが薄いためにインピーダンス Z は低く、かつほぼ一定である。一方、電極電位が負のときには、シースが厚いためにインピーダンス Z は高く、かつ変化が大きくなる。更に、インピーダンス Z は、 LF の電圧によりほぼ決定される。以上から、 HF 電力のインピーダンス整合は難しくなる。特に、電極電位が負のとき、つまり LF の電圧が負のときには、インピーダンスは高くかつ変化が大きいため、 HF 電力のインピーダンス整合は難しくなる。

[0066] このようなインピーダンス Z の変動に対して、 HF 電力に対するインピーダンス整合を行う整合器88は、モータの稼働により最大1Hz程度の周波数までは追従できるが、それ以上の周波数になると追従して整合を取ることが困難となり、 LF の位相によって刻々と変化するインピーダンスのうちの一つのタイミングに整合することになる。この状態では、整合器88は、整合した一つのタイミング以外の他の位相では整合できていないため、IMDの反射波パワーは大きい。

[0067] そこで、一実施形態では、図4(a)及び図4(b)に示すように、電極電位が正のときに HF の電力をオン又はHighに制御し、電極電位が負のときに HF の電力をオフ又はLowに制御する。

[0068] 一実施形態では、電極電位が正のときには、インピーダンス Z はほぼ一定であるため、このタイミングで HF の電力を供給すれば整合が取り易い。このため、このタイミングでは HF 電力をオン又はHighに制御する。一方、電極電位が負のときには、インピーダンスは高くかつ変化が大きいため、このタイミングで HF の電力を供給しても整合が取り難い。このため、このタイミングでは HF 電力の供給をオフ又はLowに制御する。これにより、IMDの発生を低減できる。

[0069] 図4(b)に示すように、 HF の電力をHigh又はLowに制御する場合、電極電位が負のタイミングにおいて HF の電力をオフにせずLowに保持するため、 HF の電力をオン又はオフに制御する場合と比べてプラズマ密度の減少を抑制できる。また、電極電位が負のタイミングにおいて印加する

H F の電力を、電極電位が正のタイミングにおいて印加する H F の電力よりも小さくすることで、I M D の発生を抑制できる。

[0070] ただし、電極電位が正のタイミングに一致させて H F の電力をオン又は H i g h にする制御方法は一例であり、これに限らない。基準電気状態の位相の少なくとも一部が正のときに H F の電力をオン又は H i g h に制御してもよい。また、基準電気状態の位相の少なくとも一部が負のときに H F の電力をオン又は H i g h に制御してもよい。つまり、H F 電力（ソースパワー）は第 1 の状態と第 1 の状態よりも小さい第 2 の状態とを有し、第 1 の状態の期間は、基準電気状態の位相がピークとなるタイミングを含んでいてもよい。この場合のピークは、正のピークであってもよいし、負のピークであってもよい。また、第 1 の状態の期間は、基準電気状態の位相の少なくとも一部が正のタイミングを含んでもよい。また、第 1 の状態の期間は、基準電気状態の位相の少なくとも一部が負のタイミングを含んでもよい。また、H F の電力は、基準電気状態の位相が正のタイミングに一致させた矩形波だけでなく、立ち上がりのスローアップ又は立ち下りのスローダウンの少なくともいずれかを含む略矩形波を印加してもよい。また、H F の電力は、基準電気状態の位相が正のタイミングから所定時間だけ後にずらしたタイミング又は所定時間だけ前にずらしたタイミングの少なくともいずれかに印加してもよい。

[0071] H F の電力を基準電気状態の位相が正のタイミングから所定時間だけずらす制御方法の利用例としては次の場合が挙げられる。基準電気状態の位相が正のときだけに H F の電力を印加すると、イオンエネルギーが小さくなる。エッチングの種類によっては、より大きなイオンエネルギーのプロセスが望まれる場合がある。その場合には、L F の基準電気状態が正から負になり、所望の大きさのイオンエネルギーが得られるタイミングまで H F の電力を印加する。これにより、イオンエネルギーの大きなプロセスを実現させることができる。

[0072] また、基準電気状態の位相が正のタイミングを基準にして、H F の電力を

所定時間だけ短く又は長くするようにH Fの電力を供給する時間幅を調整してもよい。例えば、H Fの電力は、基準電気状態の位相が正のタイミングに加えてその前と後に所定時間を加えて供給してもよい。

[0073] 基準電気状態の位相が負のタイミングでH Fの電力を供給してもよい。ただし、基準電気状態の位相が負のタイミングではインピーダンスが高く、かつ時間により変化する。よって、この場合には基準電気状態の位相が負のタイミングであって、より短い時間幅にH Fの電力をオンする制御が好ましい。例えばゲート機能やディレイ機能を有する回路でH Fの電力を印加するタイミングや幅を調整することが好ましい。事前に、基準電気状態の一周期における反射強度を計測し、計測結果から、L Fの電力の反射が少ないタイミングにH Fの電力を印加するように自動調整機能を有する回路を用いて制御してもよい。

[0074] 例えば、図4（c）に示すように、電極電位が負のタイミングで、電極の自己バイアスV d cが負に最も大きくなる時間を含む短い時間幅にH Fの電力をオン又はH i g hにし、それ以外の時間帯にはH Fの電力をオフ又はL o wにしてもよい。また、反射波パワーを前もって検出してその大きさに応じて、反射波パワーの多い時間帯にはH Fの電力をオフ又はL o wにし、反射波パワーの少ない時間帯にはH Fの電力をオン又はH i g hにしてもよい。図4（c）に示す電極電位が負に最も大きくなる時間を含む時間幅にH Fの電力を短時間印加することで、H A R C（High Aspect Ratio Contact）等の特定のエッチングにおいて、強いイオンの打ち込みを実現できる。これにより、エッチング速度の向上やエッチング形状の向上を実現できる。

[0075] 以上に説明したように、一実施形態に係るプラズマ処理装置1の制御方法によれば、基準電気状態の一周期内の位相に同期してH Fの電力のオン・オフ又はH i g h・L o wを制御する。これにより、I M Dの発生を低減できる。また、イオンエネルギーを制御し、ラジカルとイオンの量と質を制御することが可能になる。

[0076] なお、図3及び図4（a）～図4（c）に一例を示すように、H Fの電力

をオン又はH i g hに制御している状態は、第1の状態の一例であり、H Fの電力をオフ又はL o wに制御している状態は、第2の状態の一例である。

[0077] 一実施形態に係るプラズマ処理装置1の制御方法では、第1の状態と第2の状態とを基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する第1制御工程を有する。第2の状態は第1の状態よりも小さければよく、第2の状態の電力は0であってもよいし、0以外の第1の状態よりも小さい値であってもよい。

[0078] [効果の一例]

次に、基準電気状態の一周期内の位相に同期してH Fの電力のオン・オフ又はH i g h・L o wを制御する効果の一例について、図5～図7を参照して説明する。図5のグラフは、一実施形態に係るL Fの位相とプラズマ密度N eと自己バイアスの絶対値 $|V_{dc}|$ との関係の一例を示す図である。図6及び図7は、一実施形態に係る反射波パワーの一例を示す図である。

[0079] 図5のグラフは、基準電気状態の一周期に対し、H Fの電力をその一周期の約40%の時間幅で、位相を変え周期的に印加し計測した実測結果であり、グラフの左の縦軸にプラズマ密度N e (cm^{-3})を示し、右の縦軸に自己バイアスの絶対値 $|V_{dc}|$ (V)を示す。プラズマ処理装置1の下部電極にH Fの電力とL Fの電力とを重畳して印加する場合、L Fの周期で下部電極のシースが変動し、その結果、インピーダンスZが変化してプラズマ密度N e及び自己バイアス V_{dc} が変動する。

[0080] 電極電位が正のタイミングにH Fの電力をオンし、電極電位が負のタイミングにH Fの電力をオフする場合（図5の左上図参照）、図5の下側のグラフの領域aに示すように、プラズマ密度N eが高くなっており、プラズマ生成効率を高くできる。また、領域aでは、自己バイアスの絶対値 $|V_{dc}|$ が低くなっており、IMDの発生を効果的に抑制できる。

[0081] また、電極電位が正のタイミングにH Fの電力をオフし、電極電位が負に最も大きくなるときを含む短時間にH Fの電力をオンする場合（図5の右上図参照）、図5の下側のグラフの領域bに示すように、プラズマ密度N eは中

程度～高程度になり、プラズマ生成効率は中程度以上になる。これは、電極電位が負のときには電極に大きな電圧がかかり、シースの厚さが厚くなり、H F の電力をオンしたときのH F の電界が低下し、プラズマの生成効率が低下するためである。

[0082] また、領域bでは、自己バイアスの絶対値 $|V_{dc}|$ が高くなっており、イオンエネルギーの単色化、つまり、イオンエネルギーが揃ったイオンをウェハWへ引き込むことができる。特に高アスペクト比のプロセスにおいて、単色化された高エネルギーのイオンをウェハWへ引き込むことができる。このときIMDの発生は高まるが、下部電極の電位が負に最も大きくなる短時間にH F の電力を印加することで、常時H F の電力を印加する場合と比較してトータルとしてIMDの発生を低減できる。

[0083] 以上、一実施形態に係るプラズマ処理装置1によれば、例えば電極電位が正のタイミングを基準にH F の電力をオン又はHighに制御することで、IMDの発生を低減できる。また、電極電位が負のタイミングではシースが厚くなることで、プラズマ生成効率が低下することを課題として、電極電位の正のタイミングにH F の電力を印加することで、プラズマ生成効率を上げることができる。

[0084] また、電極電位が負であって最も深いタイミングに短時間だけH F の電力を印加することで、単色化された高エネルギーのイオンをウェハWへ引き込むことができる。

[0085] 例えば、図6の左の上下のグラフ及び図6の右の(a)及び(b)の画面の波形は、制御部200の反射検出器111による検出結果及びオシロスコープ112の表示結果の一例を示す。左の下側のグラフは、L F の一周期のVppとVdcを示す。Vdcが負に深い程シースが厚くなり、H F の電力を印加したときのプラズマ生成効率が低下する。上側のグラフは、L F の一周期のVppとVdcに対するH F の進行波パワー(Pf)と反射波パワー(Pr)を示す。

[0086] 図6の(a)のオシロスコープ112の表示の一例は、領域cに示すL F

の位相が 180° のときに測定されたLFの進行波パワーの波形A、ウェハ上の高周波電力の振幅B（すなわち、LF電力とHF電力の合算値）を示す。また、HFの進行波パワーの波形をCで示し、HFの反射波パワーの波形をDで示す。また、図6の（b）のオシロスコープ112の表示の一例は、領域dに示すLFの位相が 0° （ $=360^\circ$ ）のときに測定されたLFの進行波パワーの波形A、ウェハ上の高周波電力の振幅B、HFの進行波パワーの波形C及びHFの反射波パワーの波形Dを示す。

[0087] これによれば、領域dでは、領域cよりも反射波パワーが小さい。よって、LFの位相が 0° を含むようにバイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又はバイアスパワーの給電系で測定された基準電気状態の一周期内の位相と同期して、HFの電力を第1の状態（例えばオン又はHigh状態）と第2の状態（例えばオフ又はLow状態）にするように交互に印加することで、IMDの発生を抑制できることがわかる。例えば、上述したように、電極電位が正のタイミングに合わせてHFの電力を第1の状態にし、電極電位が負のタイミングに合わせてHFの電力を第2の状態にすることで、自己バイアスの絶対値 $|V_{dc}|$ に応じた制御を行い、IMDを抑え、プラズマ生成効率を高めることができる。また、電極電位に応じて任意のタイミングにHFの電力を第1の状態と第2の状態とに制御することで、プラズマ密度 N_e が高い領域と、自己バイアスの絶対値 $|V_{dc}|$ が大きい領域とを利用して高エネルギーイオンをウェハWへ引き込むことができる。また、この場合、HFの電力をパルス状に印加することでトータルとしてIMDの発生を低減できる。

[0088] 図7は、LF V_{pp} 、LF $|V_{dc}|$ 、HFの進行波パワー（ P_f ）、HFの反射波パワー（ P_r ）の一例を示す。これによれば、HFの反射波パワー（ P_r ）は、LFの電圧の一周期の位相において最大で約5倍（約10W～約50W）に変化する。以上から、基準電気状態の一周期内の位相と同期してHFの電力を制御することにより、IMDを $1/5$ 程度に減少させることができる可能性がある。また、LF V_{pp} 、LF $|V_{dc}|$ につ

いても、基準電気状態の一周期内の位相と同期してHFの電力を制御することにより、最小値に対して最大で約1.6倍となる範囲で変化させることができることがわかる。

[0089] [変形例]

次に、一実施形態の変形例1～変形例4に係る制御方法について、図8～図11を参照して説明する。図8は、一実施形態の変形例1に係る制御方法を説明するための図である。図9は、一実施形態の変形例2に係る制御方法を説明するための図である。図10は、一実施形態の変形例3に係る制御方法を説明するための図である。図11は、一実施形態の変形例4に係る制御方法を説明するための図である。

[0090] (変形例1)

上記に説明した実施形態では、基準電気状態の一周期内の位相と同期してHFの電力をパルス変調（図3のHF AM変調参照）しようとする、LFの周波数と同じ周波数でパルス変調させるHF電源が必要となり、コストが高くなる場合がある。

[0091] そこで、変形例1に係るプラズマ処理装置1では、図8(a)に示すように、第1の高周波電源48及び第2の高周波電源90に接続される給電ライン又は下部電極に、バイパスラインを構成する付加回路250が取り付けられる。付加回路250は、下部電極に接続される給電棒にコイル252及び可変コンデンサ251が直列に接続され、可変コンデンサ251は、処理容器10に接続され、接地される。

[0092] 付加回路250によりプラズマ側の負荷インピーダンスに対する処理容器10側のインピーダンスの割合を大きく見せることによって、付加回路250がない場合に比べてインピーダンスが変化しても、付加回路250により、付加回路250及び処理容器10側のインピーダンスを合算したインピーダンスZが大きく変化することを緩和できる。例えば、図8(b)に示すように、付加回路250により、合算のインピーダンスZの変化を小さくすることで、基準電気状態の一周期内の位相と同期してHFの電力を印加したと

きに、IMDの発生をより抑制できる。また、付加回路250を取り付けるだけで、IMDを抑制する仕組みをシンプルで安価に構築できる。なお、付加回路250は、給電棒の分岐後の第2の高周波電源90側に挿入されると、HF電力がLF電力の影響を受けにくくなるため好ましい。第1の高周波電源48と第2の高周波電源90の間にフィルタを設ければ、さらにHF電力がLF電力の影響を受けにくくなり、合算のインピーダンスZの変動を小さくでき、IMDの発生をより抑制できる。付加回路250は、コイル、コンデンサ又はダイオードの少なくともいずれかの素子を含んでもよい。

[0093] (変形例2)

変形例2に係るプラズマ処理装置1には、図9(a)に示すように、第1の高周波電源48及び第2の高周波電源90に接続される給電ライン又は下部電極に、インピーダンス変化回路300が取り付けられる。インピーダンス変化回路300は、プラズマ側の負荷インピーダンスとインピーダンス変化回路300のインピーダンスの合成インピーダンスが一定になるようにインピーダンスを変化させるように機能する。又は、インピーダンス変化回路300は、整合器88から見たインピーダンスの変化を抑えるように、LFの位相に応じてインピーダンスを変化させる。これにより、反射波パワーを抑え、IMDの発生を低減できる。インピーダンス変化回路300は、LFの位相(又はインピーダンス)、LFのVdc又は反射波パワー等に応じて、インピーダンスを基準電気状態の一周期内で変化させ、これによりIMDを抑える。

[0094] インピーダンス変化回路300の一例としては、コンデンサがアレイ状に設けられ、電子スイッチでコンデンサの接続を切り替える構成が挙げられる。制御部200は、電子スイッチの制御を行い、インピーダンス変化回路300のインピーダンスを変化させる。

[0095] 制御部200は、例えば図9(b)に示すように、プラズマ側の負荷インピーダンスとインピーダンス変化回路300のインピーダンスとの合算のインピーダンスZの変化を小さくするように、インピーダンス変化回路300

のコンデンサの接続を切り替える。これにより、基準電気状態の一周期内の位相と同期してHFの電力を印加したときに、インピーダンス整合が良好になりIMDの発生をより抑制できる。

[0096] インピーダンス変化回路300は、整合器88の内部に挿入され、整合器88と一体化されてもよい。インピーダンス変化回路300は、給電棒の分岐後の第2の高周波電源90側に挿入されると、HF電力がLF電力の影響を受けにくくなるため好ましい。第1の高周波電源48と第2の高周波電源90の間にフィルタを設ければ、さらにHF電力がLF電力の影響を受けにくくなり、合算のインピーダンスZの変動を小さくでき、IMDの発生をより抑制できる。

[0097] (変形例3)

変形例3では、図10(a)に示すように、処理容器10の上部に電磁石350が設けられている。電磁石350の位置は、図10(a)の位置に限られず、処理容器10の一部であればよく、例えば処理容器10の内部であってもよい。制御部200は、基準電気状態の位相（又はインピーダンス）、LFの位相、バイアスパワーが印加される電極電位、LF Vdc又はHFの反射波パワー等に応じて電磁石350の強弱を制御することで磁場の特性を変化させる。例えば図10(b)に示すように、シースが厚くなるLF Vdcが負のときに磁場を強くし、シースが薄くなるLF Vdcが正のときに磁場を弱く又は無くしてインピーダンスZの変化を小さくする。これにより、IMDの発生をより抑制できる。なお、電磁石350は、マルチポール電磁石や固定磁石を用いることができ、磁場を発生させる磁場発生部の一例である。変形例3に示した電磁石350による制御は、変形例1の付加回路250又は変形例2のインピーダンス変化回路300による制御と併用してもよい。

[0098] (変形例4)

シースの厚さが変わると、見かけ上の静電容量が変わり、HFの共振周波数が変化する。整合器88は、処理容器10内のインダクタンス（例えば給

電棒等）及びコンダクタンス（例えばシース等）のすべてのL成分とC成分とを合算して、HFの周波数で共振するように機能し、整合を取る。

[0099] よって、シースの厚さが変わるとC成分が変わるため、本来は整合器88が、シースの厚さの変化によるC成分の変化に対応して再度、整合を取らなければ反射波パワーが大きくなる。しかしながら、整合器88は、可変コンデンサを動かすのに1秒くらいかかるため、シースの厚さの変化に追従できず、正確に整合を取ることができない場合がある。

[0100] そこで、変形例4では、制御部200は、シース厚さの変化によるC成分の変化分だけHFの周波数を変化させる。つまり、 f （供給周波数） $\propto 1/\sqrt{LC}$ の供給周波数の式に基づき、シースの厚さ分のC成分の変化に応じてHFの周波数 f を変化させる。

[0101] 例えば電極上のシースの容量をCと仮定し、容量Cがシースの厚さの変化に応じて4倍に変化すると、HFの周波数を約2倍変化させる。これにより、シースの厚さの変化に応じて概ね整合がとれた状態とすることができる。

[0102] また、容量Cがシースの厚さの変化に応じて10倍に変化すると、HFの周波数を約3.3倍変化させる。これにより、シースの厚さの変化に応じて概ね整合がとれた状態とすることができる。つまり、変形例4では、図11（a）に示すように、LFの電圧の一周期の変化に応じたシースの厚さの変化に整合させるように、HFの周波数を上記共振周波数の式に基づき変化させる。これにより、シースの厚さの変化に応じて概ね整合がとれた状態となり、HFの反射波パワーを小さくすることができ、IMDの発生を抑制できる。なお、変形例4では、第2の高周波電源90は、HFの周波数を変えることが可能な周波数可変電源を用いる。なお、変形例4に示した制御は、変形例1の付加回路250、変形例2のインピーダンス変化回路300又は変形例3の電磁石350の少なくともいずれかと併用してもよい。

[0103] また、上記実施形態及び上記変形例のすべての例に対して、LFの位相、電極電位、給電系の電位、Vdc、電極のシースの厚さ、プラズマの発光、HF電力の反射強度等のいずれかの元信号、計測信号に基づき、ゲート機能

やディレイ機能を有する回路によるシフト時間や遅延幅の調整を行ってもよい。

[0104] また、L F の電圧の一周期内の位相と同期してH F の電力を印加するタイミングを制御する替わりに、図11(b)に示すように、L F の電圧のピークに対応するパルス状（以下、「L F パルス」ともいう。）のパワーを印加し、L F パルスに応じてH F の電力を印加するタイミングを制御してもよい。つまり、例えば400kHzのL F に応じたL F パルスをオン・オフして印加し、これに応じてH F の電力をパルス状（H F パルス）に制御してもよい。基準電気状態の位相のピークに対応するL F パルスのパワーを印加し、L F パルスに応じてH F の電力を印加するタイミングを制御してもよい。

[0105] 以上に説明したように、IMDはL F の電力に応じて発生の強度が異なる。このため、上記実施形態及び上記各変形例に係るプラズマ処理装置1の制御方法によれば、H F の反射波パワーの低いタイミングを選択して、そのタイミングにH F の電力を印加することにより、IMDの発生を低減できる。IMDの発生を低減することで、プロセスやプラズマ処理装置1の安定性の向上、さらに装置コストの低減を図ることができる。さらに、プラズマ密度や自己バイアスV_{dc}等を制御することが可能である。

[0106] ただし、H F の電力を印加する時間が少なくなると、H F の電力の絶対量が減り、プラズマ密度N_eが低くなることが懸念される。そこで、基準電気状態が一周期内で2回ピークになるときを含む2回のタイミングのそれぞれにおいてL F の電力及びH F 電力を印加してもよい。その他、H F 電力の印加の制御方法を自由に変えることができる。なお、H F 電力の印加は、下部電極に限らず、上部電極であってもよい。

[0107] [制御方法]

以上に説明したように、一実施形態に係る平行平板型のプラズマ処理装置1の制御方法は、バイアスパワーを、ウェハWを載置する下部電極に供給する工程と、バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーを下部電極又は上部電極に印加することでプラズマ処理空間に供給する工程とを含む

。該制御方法では、ソースパワーは、第1の状態と第2の状態とを有し、第1の状態と第2の状態とをバイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又はバイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する第1制御工程を含む。

[0108] 上記制御方法は、平行平板型のプラズマ処理装置以外のプラズマ処理装置によっても実行することができる。平行平板型のプラズマ処理装置以外のプラズマ処理装置の制御方法は、バイアスパワーを下部電極に供給する工程と、バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程とを含む。該制御方法においても、ソースパワーは、第1の状態と第2の状態とを有し、第1の状態と第2の状態とを基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する第1制御工程を含む。

[0109] [変形例5-1～5-4]

次に、一実施形態の変形例5-1～5-4に係るプラズマ処理装置1の制御方法について説明する。変形例5-1～5-4では、ソースパワー及び／又はバイアスパワーを間欠的に停止する制御を行う。図13A～図13Dは、一実施形態の変形例5-1～5-4に係る制御方法を示すタイミングチャートである。

[0110] 図13Aの変形例5-1では、第1制御工程に加えて、ソースパワーをL F電圧により一例を示す基準電気状態の周期と独立した周期で間欠的に停止する第2制御工程を含む。第1制御工程と第2制御工程とは繰り返し実行される。

[0111] 変形例5-1では、L F電圧は、第1制御工程及び第2制御工程において同じ周期で印加される。一方、ソースパワーは、第1制御工程において第1の状態と第2の状態とを交互に1回以上繰り返し、第2制御工程において第1制御工程の間で間欠的に停止される。

[0112] 第1制御工程及び第2制御工程では、L Fの周波数は、例えば0.1 Hz～100 Hzであってもよい。なお、ソースパワーのDuty比(=第4の

状態／（第３の状態＋第４の状態）は、１％～９０％の範囲内であればよい。

[0113] 第１制御工程における基準電気状態の周期と同期したソースパワーの状態は、第３の状態の一例である。第２制御工程における基準電気状態の周期と独立したソースパワーの状態は、第３の状態と異なる第４の状態の一例である。

[0114] 図１３Ｂの変形例５－２にかかる制御方法は、変形例５－１と同じ第１制御工程に加えて、バイアスパワーをＨＦの電圧又は電流の周期とは独立した周期で間欠的に停止する第３制御工程を含む。第３制御工程におけるバイアスパワーの状態は、第４の状態の一例である。

[0115] 変形例５－２では、第１制御工程と第３制御工程とが繰り返し実行される。変形例５－２では、第３制御工程におけるソースパワーは、第１制御工程と同じ周期で第１の状態と第２の状態とが繰り返される。

[0116] なお、第１制御工程においてＬＦの周波数は、例えば０．１Ｈｚ～１００Ｈｚであってもよい。なお、バイアスパワーのＤｕｔｙ比（＝第４の状態／（第３の状態＋第４の状態））は、１％～９０％の範囲内であればよい。

[0117] 図１３Ｃの変形例５－３にかかる制御方法は、変形例５－１と同じ第１制御工程に加えて、変形例５－１の第２制御工程のソースパワーの制御と変形例５－２の第３制御工程のバイアスパワーの制御が行われる。つまり、変形例５－３におけるソースパワー及びバイアスパワーの両方を間欠的に停止した状態は、第４の状態の一例である。

[0118] バイアスパワーを間欠的に停止する周期とソースパワーを間欠的に停止する周期とは同期させてもよい。この場合、ソースパワー及びバイアスパワーを間欠的に停止する周期は、図１３Ｃに示すように一致してもよいし、図１３Ｄに示すように、ソースパワーがバイアスパワーよりも後ろにずれていてもよいし、ソースパワーがバイアスパワーよりも前にずれていてもよい。ソースパワーの停止時間がバイアスパワーの停止時間よりも長くてもよいし、短くてもよい。

[0119] [変形例 5-1 ~ 5-4 に係る制御方法の効果]

以上に説明したように、変形例 5-1 ~ 変形例 5-4 に係る制御方法では、ラジカルとイオンの質と量を制御できる。具体的には、HF をオフするとプラズマ中のイオンはほぼ消滅するが、ラジカルは寿命が長いため、ある程度の時間消滅せずに存在する。よって、例えば HF をオフする間、ラジカルを均一に拡散させることができる。また、HF をオフ又は Low に制御する間、プラズマ中のイオンとラジカルとの比を変えることができる。これにより、ラジカルとイオンの量を制御できる。

[0120] また、ガスの解離が進むと解離の進行に応じたラジカルが生成される。例えば、 C_4F_8 ガスは、 $C_4F_8 \rightarrow C_4F_7^* \rightarrow \dots \rightarrow CF_2$ と解離が進み、解離の程度に応じて異なるラジカル ($C_4F_7^*$ 等) が生成される。解離を進行させるパラメータとしては、イオンエネルギーや反応時間がある。よって、バイアスパワーやソースパワーの印加タイミングや印加時間を制御することでイオンエネルギー及び／又は反応時間を制御し、プロセスに適したラジカルの生成を促進することでラジカルとイオンの質を制御できる。

[0121] また、バイアスパワーがオフの間、イオンエネルギーが減少するためエッチングが進まず、ホール等の底部に堆積した副生成物をホール外へ除去し、マスク上に堆積させることができる。また、バイアスパワーがオフの間、ウェハ W 上のパターン表面へラジカルを付着させることができる。これにより、マスク上に付着したラジカルがマスクを保護し、マスク選択比を向上させることができる。これにより、エッチングを促進し、エッチングレートを高めるとともに、エッチング形状を良好にすることができる。

[0122] 以上では、ソースパワーを間欠的に停止するときの効果の一例を説明したが、これに限られない。例えば、バイアスパワーによってもプラズマを生成できる場合があり、バイアスパワーを間欠的に停止するときにも同じ効果が得られる場合がある。つまり、バイアスパワーを間欠的に停止することで、ラジカルとイオンの質と量を制御することができる。これにより、エッチングレートを高めるとともにエッチング形状を良好にすることができる。

[0123] なお、図13A～図13Dでは、第3の状態において、 $L F \ V d c$ が負に深いタイミングに、ソースパワーをオンしているが、これに限られず、 $L F \ V d c$ が正のタイミングやその他のタイミングに、ソースパワーをオンしてもよい。また、ソースパワーを周期的にオン・オフする替わりに、周期的に $H i g h \cdot L o w$ に制御してもよい。

[0124] [変形例6]

次に、一実施形態の変形例6に係る制御方法について、図14を参照して説明する。図14は、一実施形態の変形例6に係る制御方法を示すタイミングチャートである。

[0125] 例えば、変形例6に係る制御方法では、図14に示すように $L F$ パルスが載置台16に印加される。 $L F$ パルスの正の値は、 $L F$ 電圧の正のピークに一致し、 $L F$ パルスの負の値は、 $L F$ 電圧の負のピークに一致する。

[0126] この場合、変形例6に係る制御方法では、 $H F$ の第1の状態と第2の状態とを $L F$ パルスの一周期内の位相と同期して交互に印加する。これによっても、ラジカルとイオンの量と質を制御できる。

[0127] 具体的には、 $L F$ パルスが正の間の一部又は全部においてソースパワーをオフまたは $L o w$ に制御し、 $L F$ パルスが負の間の一部又は全部においてソースパワーをオン又は $H i g h$ に制御してもよい。これによれば、 $L F$ パルスが2値化されており、これに応じてソースパワーを2値化して制御するため、制御が容易になる。なお、図14は、図13Aの $L F$ 電圧をパルス化した $L F$ パルスに対応して図13Aに示す $H F$ の状態を制御したが、これに限られない。例えば、図13B～図13Dの $L F$ 電圧をパルス化した $L F$ パルスに対応して図13B～図13Dに示す $H F$ の状態を制御してもよい。

[0128] [変形例7-1～変形例7-4]

次に、一実施形態の変形例7-1～変形例7-4に係る制御方法について、図15A～図15Dを参照して説明する。図15Aは、一実施形態の変形例7-1に係る制御方法を示すタイミングチャートである。図15Bは、一実施形態の変形例7-2に係る制御方法を示すタイミングチャートである。

図 1 5 C は、一実施形態の変形例 7-3 に係る制御方法を示すタイミングチャートである。図 1 5 D は、一実施形態の変形例 7-4 に係る制御方法を示すタイミングチャートである。

[0129] 図 1 5 A 及び図 1 5 B に示す変形例 7-1、変形例 7-2 に係る制御方法では、第 1 の制御工程において、ソースパワーの第 1 の状態と第 2 の状態とを L F 電圧や電極電位を一例とする基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する。変形例 7-1 では、電極電位の負のタイミングに同期して、ソースパワーの第 1 の状態が段階的に 2 つ以上の状態を有する。また、変形例 7-2 では、電極電位の負のタイミングに同期して、ソースパワーの第 1 の状態が滑らかに 2 つ以上の状態を有する。ただし、ソースパワーの第 1 の状態は、電極電位の正のタイミングに同期してもよい。

[0130] 図 1 5 C 及び図 1 5 D に示す変形例 7-3、変形例 7-4 に係る制御方法では、第 1 の制御工程に加えて第 2 の制御工程を有し、第 1 の制御工程においてソースパワーの第 1 の状態と第 2 の状態とを L F 電圧を一例とする基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する。変形例 7-3 では、電極電位の正のタイミングに同期して、ソースパワーの第 1 の状態が段階的に 2 つ以上の状態を有する。また、変形例 7-4 では、電極電位の正のタイミングに同期して、ソースパワーの第 1 の状態が滑らかに 2 つ以上の状態を有する。ただし、ソースパワーの第 1 の状態は、電極電位の負のタイミングに同期してもよい。

[0131] 変形例 7-1 ~ 変形例 7-4 では、第 1 の状態におけるソースパワーを複数の値に制御することで、より精度良くラジカルとイオンの量と質を制御できる。なお、図 1 5 C 及び図 1 5 D に示す第 1 制御工程に加えて図 1 5 C 及び図 1 5 D の第 2 制御工程の代わりに図 1 3 B に示す第 3 制御工程を有してもよいし、図 1 3 C 及び図 1 3 D に示す第 2 及び第 3 制御工程を有してもよい。

[0132] 一実施形態の変形例 3 に係る制御方法では、基準電気状態の位相（又はインピーダンス）、L F の位相、バイアスパワーが印加される電極電位、L F

Vdc又はHFの反射波パワー等に応じて電磁石350の強弱を制御する。これにより、整合器46, 88から見たインピーダンスの変化を小さくすることで、IMDの発生を抑制できる。また、一実施形態の変形例4に係る制御方法では、シース厚さの変化によるC成分の変化分だけHFの周波数を変化させる。つまり、 f （供給周波数） $\propto 1/\sqrt{LC}$ の供給周波数の式に基づき、シースの厚さ分のC成分の変化に応じてHFの周波数 f を変化させる。これにより、シースの厚さの変化に応じて概ね整合がとれた状態となり、HFの反射波パワーを小さくすることができ、IMDの発生を抑制できる。なお、変形例4では、第2の高周波電源90は、HFの周波数を変えることが可能な周波数可変電源を用いる。

[0133] 周波数可変電源は、負荷インピーダンスが一定の場合には、連続的に周波数を変え、ソースパワーの反射波パワーが極力小さくなるように制御している。ところが、LFの電圧又は電流の一周期内の位相に同期させてソースパワーを制御する場合において、LFの電圧又は電流の一周期内でHFの負荷は周期的に大きく変動する。よって、第2の高周波電源90は、一周期内のLFの位相に応じて周期的に大きく変動するシース厚さ、より好ましくはシース厚さに応じたインピーダンスに対応して周波数を変化させる必要がある。

[0134] 例えば、図16は、一実施形態に係るHFの反射波パワー（HF-P_r）の一例を示す図である。HFの反射波パワーは、ガス種やLFの位相で変わる。例えば、図16（a）は、処理容器10内にアルゴンガスを供給し、500WのHFの進行波パワー（HF-P_f）を印加し（A参照）、1000WのLFパワーを印加した場合のHFの反射波パワー（B参照）の一例を示す。図16（b）は、処理容器10内にSF₆ガスを供給し、500WのHFの進行波パワーを印加し（A参照）、1000WのLFパワーを印加した場合のHFの反射波パワー（B参照）の一例を示す。なお、Cは載置台16上に搭載されたウエハの電位を示す。ウエハの電位は、LFの周波数が例えば400kHzのときのLF電圧のV_{pp}にほぼ等しく、HFの周波数が例え

ば100MHzのときのHFの電圧の V_{pp} の幅（振幅）が加算され、両方の電位で振動する。

[0135] 図16(a)及び(b)のBを見ると、アルゴンガスを供給した場合と、SF₆ガスを供給した場合とで、LFの一周期内の位相に対するHFの反射波パワーの出方が異なっていることが分かる。

[0136] HFの反射波パワーの出方の違いに応じて第2の高周波電源90から出力するHFの出波数を、リアルタイムに最適な周波数に変えることは、第2の高周波電源90が最適な周波数を決めるには時間がかかるため、現実的ではない。例えば、通常の周波数可変電源は、周波数をずらして反射波パワーを計測する作業を、最高で1kHz～10kHzで行うことができる。一方、例えば400kHzのLFに対して、一周を10分割すると4MHzとなり、更に分割内で10回波長をシフトさせるためには、40MHzで波長を変え、これに同期してリアルタイムにHFの反射量及び周波数の変化方向を決める必要がある。この作業は、通常の周波数可変電源の動作周波数では間に合わず、現実的ではない。

[0137] そこで、一実施形態の変形例8～変形例11に係る制御方法では、基準電気状態の一周期内の位相（本変形例ではLFの位相）と同期してHFの反射波パワーを制御する際に、LFの一周期を分割した各位相においてHFの反射が少ない周波数を求め、HFの反射波パワーを最小限に抑える。変形例8～変形例11においてLFの各位相は、LFの一周期を最低でも10分割したときの各位相を示す。ただし、LFの一周期の分割数は、これに限られず、10分割～100分割のいずれでもよい。LFの一周期の位相の分割数が多い方が制御の精度が高くなり、HFの反射波パワーをより少なくすることができる。変形例8～変形例11の制御は、プロセッサ100により実行される。

[0138] [変形例8]

まず、図17を参照して、一実施形態の変形例8に係る制御方法について説明する。図17は、一実施形態の変形例8に係る制御方法を説明するため

のタイミングチャートである。一実施形態の変形例 8 に係る制御方法では、 $L F$ の一周期を複数に分割した各位相に同期して $H F$ の周波数を変える。そして、そのときの $H F$ の反射波パワーをモニターし、モニター結果からそれぞれの位相において $H F$ の反射波パワーが少なくなるように第 2 の高周波電源 90 の $H F$ の周波数が制御される。そして、この第 2 の高周波電源 90 から出力する $H F$ の新たな周波数を見出すシーケンスを、プロセス前、プロセス中等に所定時間毎に実施し、その結果に基づき第 2 の高周波電源 90 が制御する $H F$ の周波数を決定する。

[0139] 図 17 の横軸は時間を示し、縦軸の左は $H F$ の進行波パワー ($H F - P f$) 及び反射波パワー ($H F - P r$) を示し、縦軸の右はウエハ電位を示す。

[0140] 図 17 の 1 回目の周期では、 $L F$ の最初の一周期内 (C の 1 周期目) において第 2 の高周波電源 90 が制御する周波数を初期周波数に設定したときの $H F$ の反射波パワー (B 参照) を示す。初期周波数は任意の値であり、例えば一つの基本周波数 (例えば、 40MHz) に設定されている。

[0141] 図 17 の 2 回目の周期では、 $L F$ の 2 番目の一周期内 (C の 2 周期目) において第 2 の高周波電源 90 が制御する周波数を初期周波数から他の周波数に変える。ただし、2 回目では、 $L F$ の一周期の位相のうち分割数に応じた位相毎に周波数を上げ下げすることはせず、周波数を増やす又は減らすのどちらかに設定し、反射量の位相依存結果を取得する。図 17 の 2 回目の例では、周波数 (2 回目周波数) を上げた例を示しているが、下げてもよい。

[0142] この結果、図 17 の実線 B で示す $H F$ の 2 回目反射波パワーは、破線 B で示す $H F$ の 1 回目反射波パワーよりも、位相によって反射が減ったところと増えたところがあることがわかる。図 17 では、 $L F$ が正の位相の場合に $H F$ の反射波パワーが減り、 $L F$ が負の位相の場合に $H F$ の反射波パワーが増えている時間帯がある。ただし、このときの反射波パワーは一例を示すものに過ぎず、これに限らない。

[0143] 図 17 の 3 回目の周期では、 $L F$ の 3 番目の一周期内において第 2 の高周波電源 90 が制御する周波数のシフト方向及びシフト量を、前回の位相毎の

H F の反射波パワーの増減に基づき決定する。図 17 に示す 3 回目周波数は、決定したシフト方向及びシフト量の一例である。また、このときの反射波パワーは一例を示すものに過ぎず、これに限らない。

[0144] 第 2 の高周波電源 90 が一度に制御する周波数のシフト量及び最初のシフト方向（3 回目周波数の矢印の方向）は過去のデータに基づき決定してもよい。過去のデータに基づき制御する周波数のシフト量、最初のシフト方向を予めレシピに設定し、レシピに基づいて制御してもよい。過去のデータは、前回の H F の反射波パワーであってもよいし、前々回の H F の反射波パワーであってもよいし、前回及びそれ以前の H F の反射波パワーであってもよい。例えば、前回の反射波パワーの状態に基づいて、L F の一周期を分割した位相毎に各位相における H F の反射波パワーが減るように、次の L F の一周期を分割した位相毎の周波数のシフト方向及びシフト量を決定してもよい。前回の反射波パワーの状態に加えて、又は前回の反射波パワーの状態の替わりに前回よりも前の過去の反射波パワーの状態に基づいてシフト方向及びシフト量を決定してもよい。

[0145] 3 回目の第 2 の高周波電源 90 が制御する周波数は反射が減る方向にシフトさせるが、その際の制御タイミングでは、例えば L F の一周期を 10 分割する場合、L F の一周期を 10 分割した時間間隔で周波数を変える。

[0146] 4 回目以降、第 2 の高周波電源 90 は、3 回目のデータ又はそれ以前に事前に得られたデータに基づき、最適な周波数で H F を発振させていく。第 2 の高周波電源 90 が制御する周波数は、許容周波数の範囲で、予め定められた指定回数又は H F の反射波パワーが予め定められた指定量になるまで繰り返すことで、L F の一周期の各位相において H F の反射波パワーが小さい周波数を絞り込むことができる。

[0147] 一実施形態の変形例 8 に係る制御方法では、以上に説明したシーケンスを指定のタイミングで行う。これにより、L F の位相やガス種により変化する H F の反射波パワーを極力小さくすることができる。なお、指定のタイミングの一例としては、L F の一周期を n ($n \geq 10$) 分割したときの時間間隔

のシンクロパルス周期、レシピ内で指定された時間、予め定められた時間間隔等が挙げられる。

[0148] [変形例 9]

次に、図 18 を参照して、一実施形態の変形例 9 に係る制御方法について説明する。図 18 は、一実施形態の変形例 9 に係る制御方法を説明するためのタイミングチャートである。一実施形態の変形例 9 に係る制御方法では、変形例 8 と同様に、第 2 の高周波電源 90 が L F の一周期内の各位相に同期して H F の周波数を制御することに加えて、第 2 の高周波電源 90 が出力するソースパワーの値も制御する。

[0149] 例えば、図 18 に示すように、B にて示す H F の反射波パワーが小さい B 1 付近の時間帯には、第 2 の高周波電源 90 は、H F の周波数を制御し（図 17 参照）、かつ D で示す H F パワー（ソースパワー）の出力を D 1 に示すように大きくする。逆に、H F の反射波パワーが大きい B 2 の時間帯には、第 2 の高周波電源 90 は、H F の周波数を変え、かつソースパワーの出力を D 2 に示すように小さくする。

[0150] 一実施形態の変形例 9 に係る制御方法では、L F の位相やガス種により変化する H F の反射波パワーを極力小さくすることができ、かつ、H F の反射波パワーが小さいときにはソースパワーを上げることで、プラズマ密度の減少を抑制できる。なお、L F が正の位相であれば、第 1 のソースパワー～第 2 のソースパワーの範囲でソースパワーを制御し、L F が負の位相であれば、第 3 のソースパワー～第 4 のソースパワーの範囲でソースパワーを制御するようにしてもよい。第 1 のソースパワー～第 2 のソースパワーの範囲と第 3 のソースパワー～第 4 のソースパワーの範囲とは異なる範囲であってもよいし、同じ範囲であってもよいし、一方の範囲が他方の範囲に包含されてもよいし、一部において重複してもよい。

[0151] [変形例 10]

次に、図 19 を参照して、一実施形態の変形例 10 に係る制御方法について説明する。図 19 は、一実施形態の変形例 10 に係る制御方法を説明する

ためのタイミングチャートである。

[0152] 図19の横軸には、LFの一周期とRFパルスの一周期の一例が示されている。RFパルスの一周期は0.1～100kHzであってもよし、これより長くてもよいし、短くてもよいが、LFの一周期よりも長い時間帯に設定される。一実施形態の変形例10に係る制御方法では、第2の高周波電源90は、例えば周波数がRFパルスの一周期の位相を複数に分割した各位相に応じてHFの周波数を制御してもよい。RFパルスの一周期の位相を複数に分割した各位相に応じてHFの周波数とソースパワーとを制御してもよい。

[0153] 特に、RFパルスのオン及びオフの直後は、プラズマ密度 N_e の変化及び電極電位の変化が大きく、HFの反射波パワーがRFパルスの定常時とは異なる変化になり易い。そこで、図19に示すように、一周期毎のRFパルスをオンした時刻Vの直後はLFの立ち上がりに時間がかかり、シース厚は薄い（つまり、シースの容量大）。このため、RFパルスをオンした時刻Vの直後、第2の高周波電源90は、HFの周波数を高く制御する（E参照）。

[0154] また、図19では、RFパルスの後半の時間にバイアスパワーがオフしている（C1参照）。この間、HFの反射波パワーは、B3にて示すように0に近く一定である。つまり、バイアスパワーがオフし、ソースパワーがオンしているタイミングでは、バイアスパワーがオフしているために、シースのインピーダンスは常に一定である。このためで、HFの反射波パワーは一定になる。よって、バイアスパワーがオフしている間、HFの反射波パワーが最小限になるように周波数が決定され、第2の高周波電源90は、決定した周波数のソースパワーを出力する。

[0155] バイアスパワーがオフしている間、ソースパワーはオフに制御してもよいし、オンに制御してもよい。例えば、図19のC1に示すように、バイアスパワーがオフしている間、前半はHFの周波数をE1の周波数に設定し、かつソースパワーをHigh（又はオン）に制御し、後半はHFの周波数をE2の周波数に変え、かつソースパワーをLow（又はオフ）に制御してもよい。なお、ソースパワー及びバイアスパワーを間欠的に停止する周期は、一

致してもよいし、ソースパワーがバイアスパワーよりも後ろにずれていてもよいし、ソースパワーがバイアスパワーよりも前にずれていてもよい。ソースパワーの停止時間は、バイアスパワーの停止時間よりも長くてもよいし、短くてもよい。

[0156] なお、変形例 8～変形例 10 に係る制御方法は、図 2 A のプロセッサ 100 により実行され、信号発生回路 102 を介して HF の周波数及び HF のパワーを制御する制御信号が第 2 の高周波電源 90 に送られる。第 2 の高周波電源 90 は、制御信号に従い、出力する HF の周波数やパワーを変える。

[0157] [変形例 11]

次に、図 20 を参照して、一実施形態の変形例 11 に係る制御方法について説明する。図 20 は、一実施形態の変形例 11 に係る制御方法を説明するためのタイミングチャートである。

[0158] 変形例 10 において説明したように、RF パルスをオンした直後は LF の立ち上がりに時間がかかり、シース厚は薄い（つまり、シースの容量大）。このため、RF パルスの立ち上がりでは、プラズマ密度 N_e が大きく変化し、インピーダンスの変動が大きい。

[0159] そこで、変形例 11 に係る制御方法では、第 2 の高周波電源 90 は、LF の一周期において RF パルスの立ち上がりのタイミング、つまり、図 20 の E3 のときに複数の周波数の合成波を発振させる。図 2 A の反射検出器 111 は、複数の周波数のそれぞれに対する HF の反射波パワーを検出する。検出した周波数毎の HF の反射波パワーは、プロセッサ 100 に送られる。

[0160] 例えば、第 2 の高周波電源 90 が、周波数を 35 MHz～45 MHz まで増幅できる場合であって、41、42、43、44、45 MHz の 5 つの周波数の合成波を発振させたとする。このうち、反射検出器 111 は、5 つの周波数のソースパワーに対する反射波パワーをそれぞれ検出し、プロセッサ 100 に送る。プロセッサ 100 は、このうちから反射波パワーの最も少ない周波数を選択する。

[0161] 例えば、反射波パワーの最も少ない周波数が 41 MHz であった場合、次

のL Fの一周期においてR Fパルスの立ち上がりのタイミングには、41 MHzに周波数を決定し、第2の高周波電源90から出力するH Fの周波数としてもよい。また、図20のE4では、例えば前回最も反射波パワーの少なかった41 MHzの周波数を中心に、39、40、41、42、43 MHzの5つの周波数のソースパワーを出力してもよい。

[0162] これにより、第2の高周波電源90から出力するH Fの周波数を、H Fの反射波パワーが最も少ない、目標とする周波数に最速で到達できる。この結果、第2の高周波電源90から出力するソースパワーをより早くH Fの反射波パワーが少ない周波数に持っていくことができ、より早くプラズマを着火させることができる。

[0163] なお、プロセッサ100が変形例11に係る制御方法を実行する場合、図2Aの反射検出器111が検出した複数の周波数に対応するH Fの反射波パワーに基づき、信号発生回路102を介してH Fの周波数を制御する制御信号が第2の高周波電源90に送られる。

[0164] ただし、これに限られず、第2の高周波電源90が、上記プロセッサ100の機能を有してもよい。この場合、反射検出器111が検出した複数の周波数に対応するH Fの反射波パワーは、反射検出器111から第2の高周波電源90に直接送られる。

[0165] この場合、第2の高周波電源90は、プロセッサ100の機能を有する制御部を有する可変周波数電源として実現可能である。すなわち、この場合、可変周波数電源が有する制御部は、反射検出器111から複数のH Fの周波数のそれぞれに対応するH Fの反射波パワーを取得し、取得したH Fの反射波パワーに基づき、最も反射波パワーの少ない周波数を選択する。そして、制御部は、選択した周波数のソースパワーを可変周波数電源から出力するように決定する。可変周波数電源は、ソースパワーの周波数を決定した周波数に変え、かつ所定のパワーで出力する。これにより、第2の高周波電源90は、プロセッサ100及び信号発生回路102を用いずに、出力するH Fの周波数及びソースパワーを制御できる。これにより、第2の高周波電源90

は、変形例 8～変形例 11 の制御方法を、プロセッサ 100 を用いずに実行できる。

[0166] 変形例 11 の制御方法では、複数の周波数が合成された高周波を用いたが、変形例 8～10 の制御方法においても、複数の周波数が合成された高周波を用いることができる。また、複数の周波数の高周波の混合比率を変形例 8～10 の制御方法にて自由に変えたり、最適化するシーケンスを有してもよい。

[0167] 以上に説明した変形例 8～変形例 11 の制御方法では、被処理体を載置する第 1 の電極を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、バイアスパワーを前記第 1 の電極に供給する工程と、前記バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程と、を有し、前記ソースパワーは、第 1 の状態と第 2 の状態とを有し、前記第 1 の状態と前記第 2 の状態とを前記バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又は前記バイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相を複数に分割したときの各位相に応じて 2 以上の周波数に制御する第 1 制御工程を含む、制御方法が提供される。

[0168] [変形例 12]

変形例 12 では、HF の電圧の第 1 の状態が、2 つ以上の電圧値を繰り返すパルス状の電圧値をとる。図 21 の例では、HF の電圧の第 1 の状態は、正の電圧値と 0 の電圧値とを繰り返す。ただし、これに限られず、3 つの電圧値を繰り返す等、2 つ以上の電圧値を繰り返してもよい。

[0169] [変形例 13]

バイアスパワーは、サイン波形又はパルス波形のパワーであってもよいし、テイラード波形のパワーであってもよい。つまり、バイアスの電圧又は電流は、サイン波形であってもよいし、LF パルス波形であってもよいし、図 22 に示すテイラード波形でもよい。テイラード波形では、図 22 に示す HF が第 2 の状態のときにバイアスのパワーを変調してもよいし、第 1 の状態のときにバイアスのパワーを変調してもよい。

[0170] なお、同様にして、HFの第1の状態が2つ以上の電圧値をとる場合、HFの波形は、図15A～図15D、図21に示す波形の他、図22に示すテイルード波形でもよい。

[0171] 今回開示された一実施形態に係るプラズマ処理装置及び制御方法は、すべての点において例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で変形及び改良が可能である。上記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。また、上記複数の実施形態に記載された事項は、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。

[0172] 本開示に係るプラズマ処理装置は、Capacitively Coupled Plasma(CCP)、Inductively Coupled Plasma(ICP)、Radial Line Slot Antenna (RLSA)、Electron Cyclotron Resonance Plasma(ECR)、Helicon Wave Plasma(HWP)のどのタイプにも適用可能である。

[0173] たとえば、被処理体を載置する第1の電極と、前記第1の電極に対向する第2の電極とを有するプラズマ処理装置の制御方法であって、バイアスパワーを前記第1の電極に供給する工程と、前記バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程とを有し、前記ソースパワーは、第1の状態と第2の状態とを有し、前記第1の状態と前記第2の状態とを前記基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する第1制御工程を含んでもよい。

[0174] 被処理体を載置する第1の電極を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、バイアスパワーを前記第1の電極に供給する工程と、前記バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程と、を有し、前記ソースパワーは、第1の状態と第2の状態とを有し、前記第1の状態と前記第2の状態とを前記基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する第1制御工程を含む、制御方法を含んでもよい。

[0175] 前記バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程は、プラズマを生成するためのプラズマ生成源が、マ

マイクロ波源、高周波電源等のソースパワーをプラズマ処理空間に供給することで実行されてもよい。

[0176] 本明細書では、被処理体の一例としてウェハWを挙げて説明した。しかし、基板は、これに限らず、LCD (Liquid Crystal Display)、FPD (Flat Panel Display) に用いられる各種基板、CD基板、プリント基板等であっても良い。

[0177] 本国際出願は、2018年6月22日に出願された日本国特許出願2018-119344号に基づく優先権及び2019年6月5日に出願された日本国特許出願2019-105708号に基づく優先権を主張するものであり、その全内容を本国際出願に援用する。

符号の説明

[0178] 1…プラズマ処理装置
10…処理容器
16…載置台（下部電極）
34…上部電極
47…給電棒
46…整合器
48…第1の高周波電源
50…可変直流電源
66…処理ガス供給源
84…排気装置
88…整合器
89…給電棒
90…第2の高周波電源
91…GNDブロック
100…プロセッサ
102…信号発生回路
105, 108…方向性結合器

1 1 1 …反射検出器

1 1 2 …オシロスコープ

2 0 0 …制御部

2 5 0 …付加回路

3 0 0 …インピーダンス変化回路

3 5 0 …電磁石

請求の範囲

- [請求項1] 被処理体を載置する第1の電極を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、
- バイアスパワーを前記第1の電極に供給する工程と、
- 前記バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程と、を有し、
- 前記ソースパワーは、第1の状態と第2の状態とを有し、
- 前記第1の状態と前記第2の状態とを前記バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又は前記バイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加する第1制御工程を含む、制御方法。
- [請求項2] 前記プラズマ処理装置は、前記第1の電極に対向する第2の電極を有し、
- 前記ソースパワーを前記プラズマ処理空間に供給する工程は、前記ソースパワーを前記第1の電極又は前記第2の電極に印加する、
- 請求項1に記載の制御方法。
- [請求項3] 前記第1の状態の期間は、前記基準電気状態の位相が正のピークとなるタイミングを含む、
- 請求項1又は2に記載の制御方法。
- [請求項4] 前記第1の状態の期間は、前記基準電気状態の位相が負のピークとなるタイミングを含む、
- 請求項1又は2に記載の制御方法。
- [請求項5] 前記第1の状態が前記第2の状態よりも大きい、
- 請求項1～4のいずれか一項に記載の制御方法。
- [請求項6] 前記ソースパワーを前記基準電気状態の周期とは独立した周期で間欠的に停止する第2制御工程を含む、
- 請求項1～5のいずれか一項に記載の制御方法。
- [請求項7] 前記バイアスパワーをHFの電圧又は電流の周期とは独立した周期

で間欠的に停止する第3制御工程を含む、

請求項1～6のいずれか一項に記載の制御方法。

[請求項8] 前記ソースパワーを前記基準電気状態の周期とは独立した周期で間欠的に停止する第2制御工程と、

前記バイアスパワーをHFの電圧又は電流の周期とは独立した周期で間欠的に停止する第3制御工程とを含み、

前記第2制御工程と前記第3制御工程とは同期する、

請求項1～7のいずれか一項に記載の制御方法。

[請求項9] 前記基準電気状態の位相のピークに対応するパルス状のパワーを印加する、

請求項1～8のいずれか一項に記載の制御方法。

[請求項10] 前記第1の状態が2つ以上の状態を有する、

請求項1～9のいずれか一項に記載の制御方法。

[請求項11] 前記第2の状態の前記ソースパワーの値は0である、

請求項1～10のいずれか一項に記載の制御方法。

[請求項12] 前記基準電気状態は、バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号の状態、又は前記バイアスパワーの給電系のうち前記第1の電極から前記バイアスパワーの給電棒を介して接続される整合器の内部までのいずれかの部材において測定される電圧、電流又は電磁界のいずれかである、

請求項1～11のいずれか一項に記載の制御方法。

[請求項13] 被処理体を載置する第1の電極と、

プラズマを生成するためのプラズマ生成源と、

前記第1の電極にバイアスパワーを供給するバイアス電源と、

前記プラズマ生成源に前記バイアスパワーよりも高い周波数のソースパワーを供給するソース電源と、

前記バイアス電源及び前記ソース電源を制御する制御部と、

を有するプラズマ処理装置であって、

前記ソースパワーは、第1の状態と第2の状態とを有し、
前記制御部は、

前記第1の状態と前記第2の状態とを前記バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又は前記バイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加するように制御する、

プラズマ処理装置。

[請求項14]

被処理体を載置する第1の電極と、

前記第1の電極と対向する第2の電極と、

前記第1の電極にバイアスパワーを供給するバイアス電源と、

前記第1の電極又は前記第2の電極に前記バイアスパワーよりも高い周波数のソースパワーを供給するソース電源と、

前記バイアス電源及び前記ソース電源を制御する制御部と、
を有するプラズマ処理装置であって、

前記ソースパワーは、第1の状態と第2の状態とを有し、

前記制御部は、

前記第1の状態と前記第2の状態とを前記バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又は前記バイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相と同期して交互に印加するように制御する、プラズマ処理装置。

[請求項15]

前記制御部は、

前記基準電気状態の位相に同期する同期信号を作成し、該同期信号からソースパワーを出力するソース電源用の制御信号を生成し、ソース電源に送信する、

請求項13又は14に記載のプラズマ処理装置。

[請求項16]

前記バイアスパワー及び前記ソースパワーの供給ライン又は前記第1の電極に、コイル、可変コンデンサ又はダイオードの少なくともいずれかの素子を有する付加回路を取り付ける、

請求項 1 3 ～ 1 5 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項17]

前記バイアスパワー及び前記ソースパワーの給電ライン又は前記第 1 の電極に、インピーダンスの変化が可能なインピーダンス変化回路を取り付け、

前記制御部は、前記インピーダンス変化回路のインピーダンスを変化させる、

請求項 1 3 ～ 1 6 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項18]

磁場を印加する磁場発生部を有し、

前記制御部は、前記バイアスパワー、前記基準電気状態の位相、前記バイアスパワーが印加される前記第 1 の電極の電位、自己バイアス又は計測された前記ソースパワーの反射波パワーに応じて前記磁場発生部による磁場の強弱を制御する、

請求項 1 3 ～ 1 7 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項19]

前記ソース電源は、周波数可変電源であり、

前記制御部は、前記基準電気状態の位相に応じて前記ソース電源から出力されるソースパワーの周波数を変化させる、

請求項 1 3 ～ 1 8 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項20]

被処理体を載置する第 1 の電極を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、

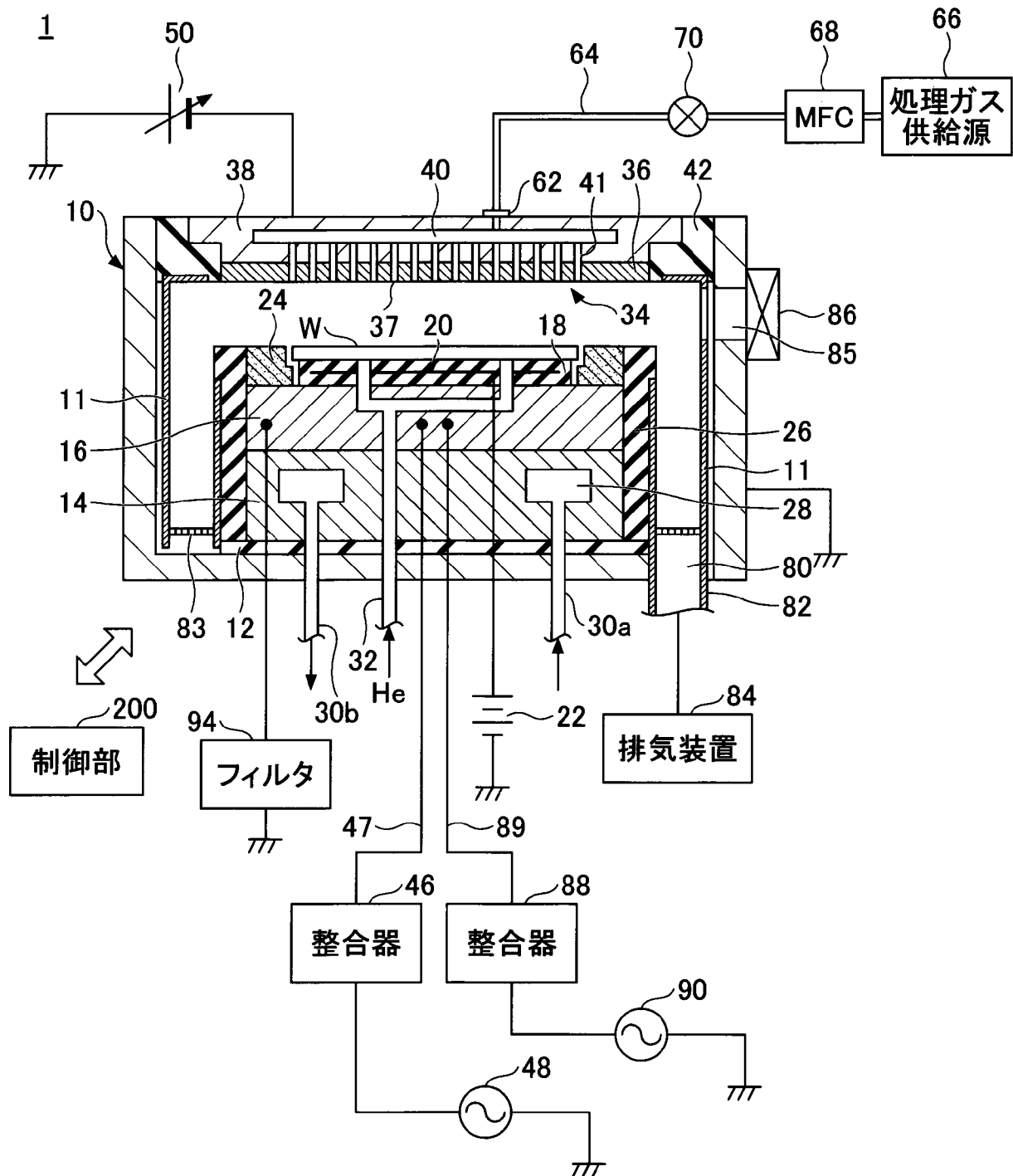
バイアスパワーを前記第 1 の電極に供給する工程と、

前記バイアスパワーよりも高い周波数を有するソースパワーをプラズマ処理空間に供給する工程と、を有し、

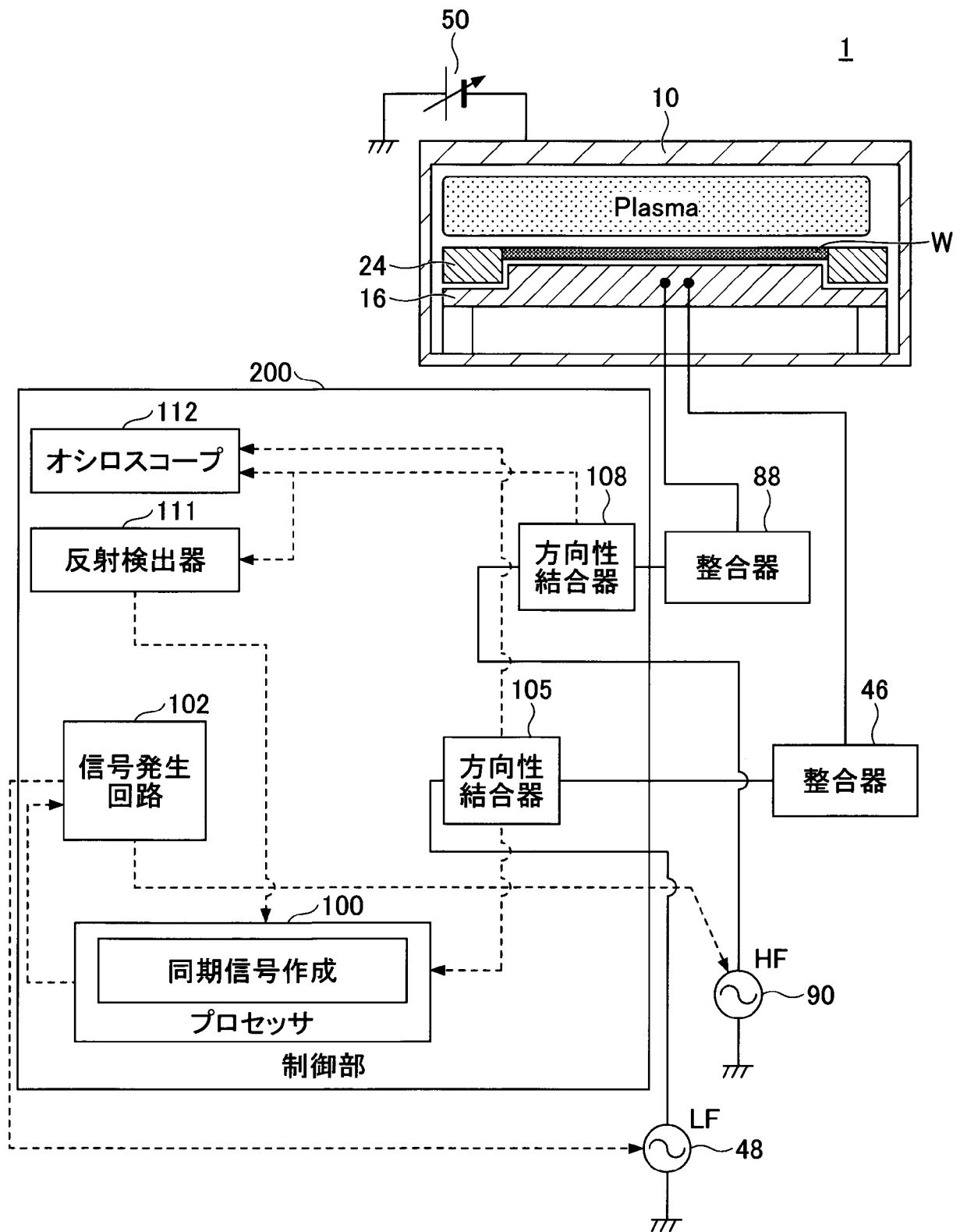
前記ソースパワーは、第 1 の状態と第 2 の状態とを有し、

前記第 1 の状態と前記第 2 の状態とを前記バイアスパワーの高周波の周期に同期する信号、又は前記バイアスパワーの給電系で測定された電圧、電流又は電磁界のいずれかを示す基準電気状態の一周期内の位相を複数に分割したときの各位相に応じて 2 以上の周波数に制御する第 1 制御工程を含む、制御方法。

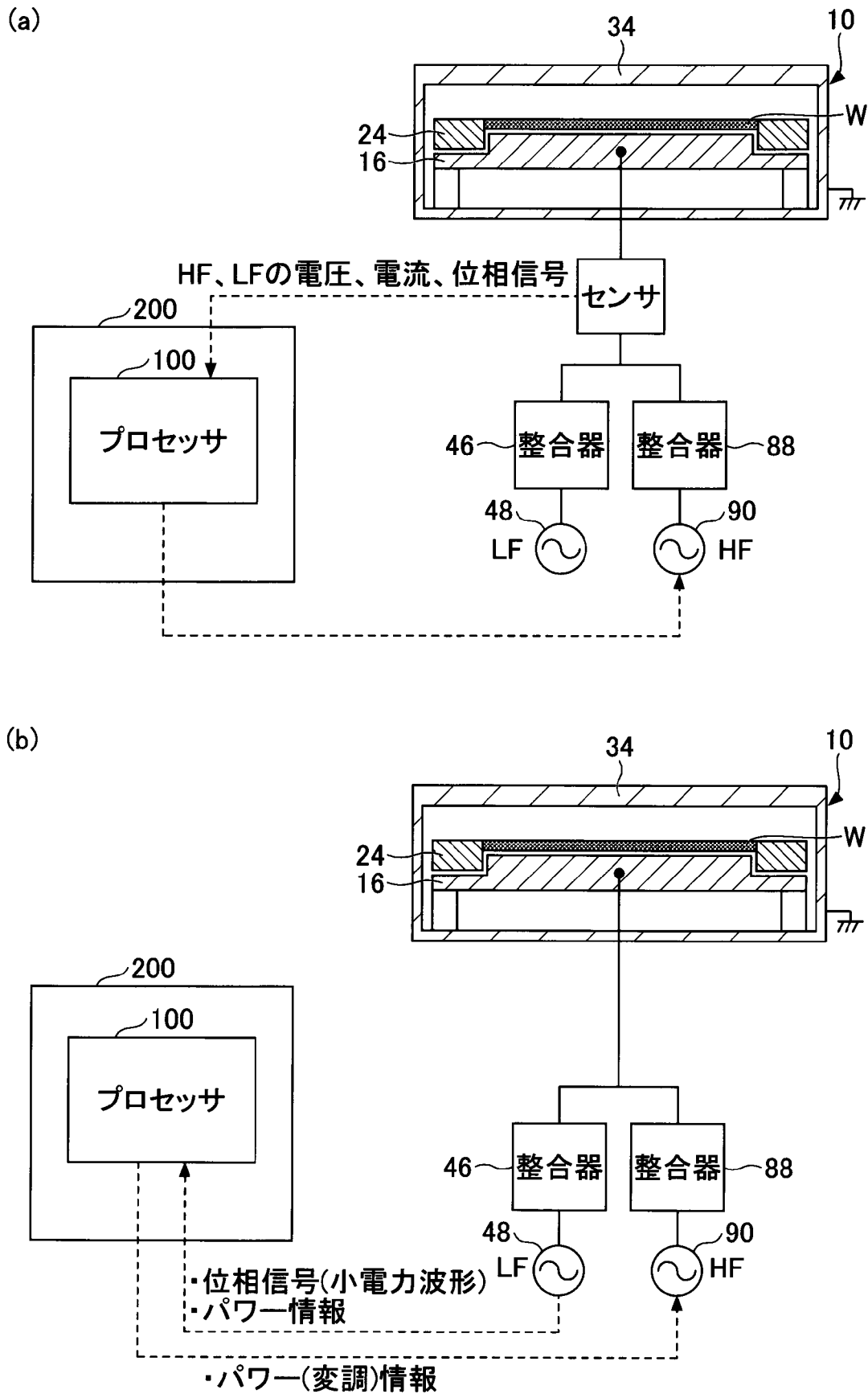
[図1]



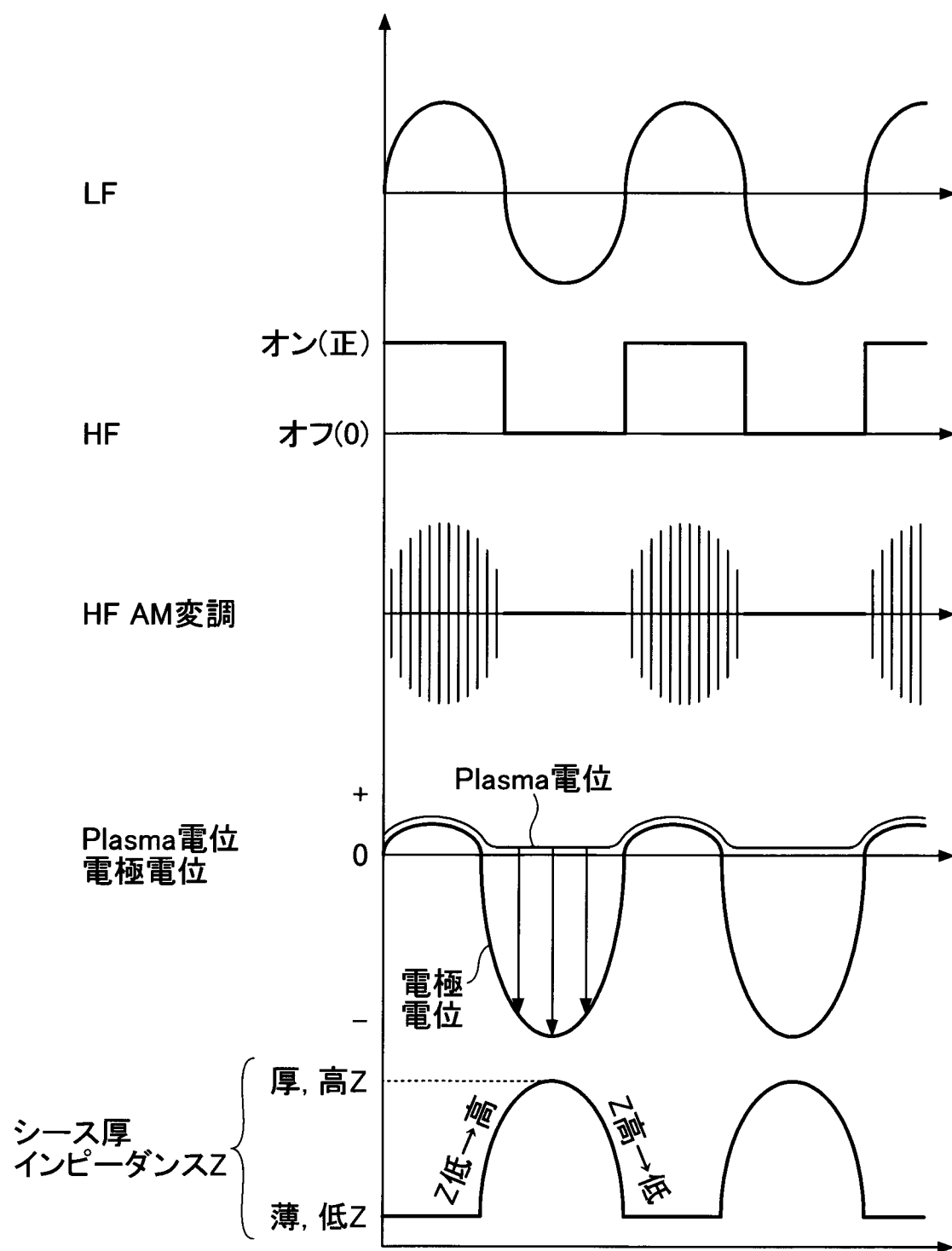
[図2A]



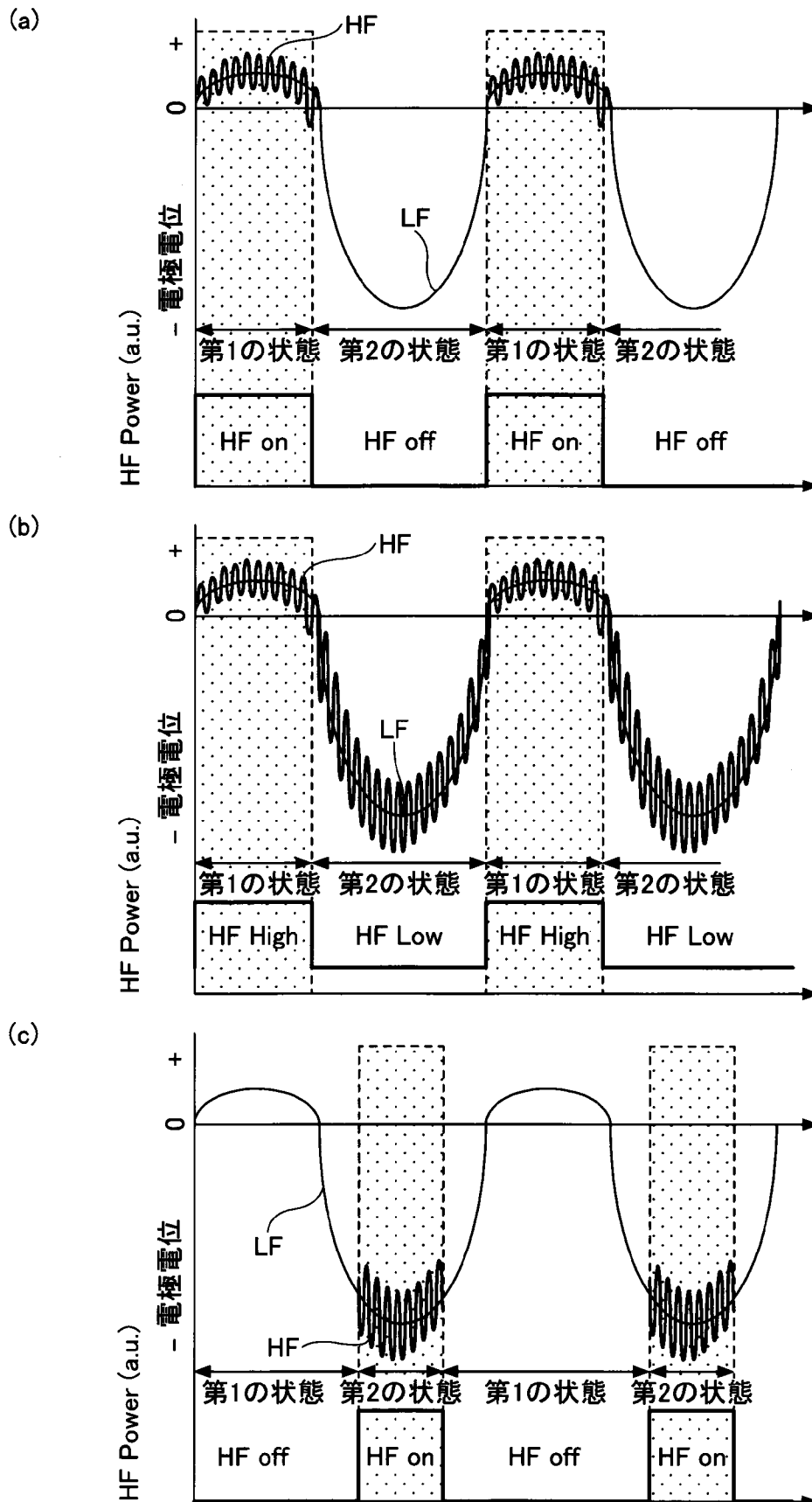
[図2B]



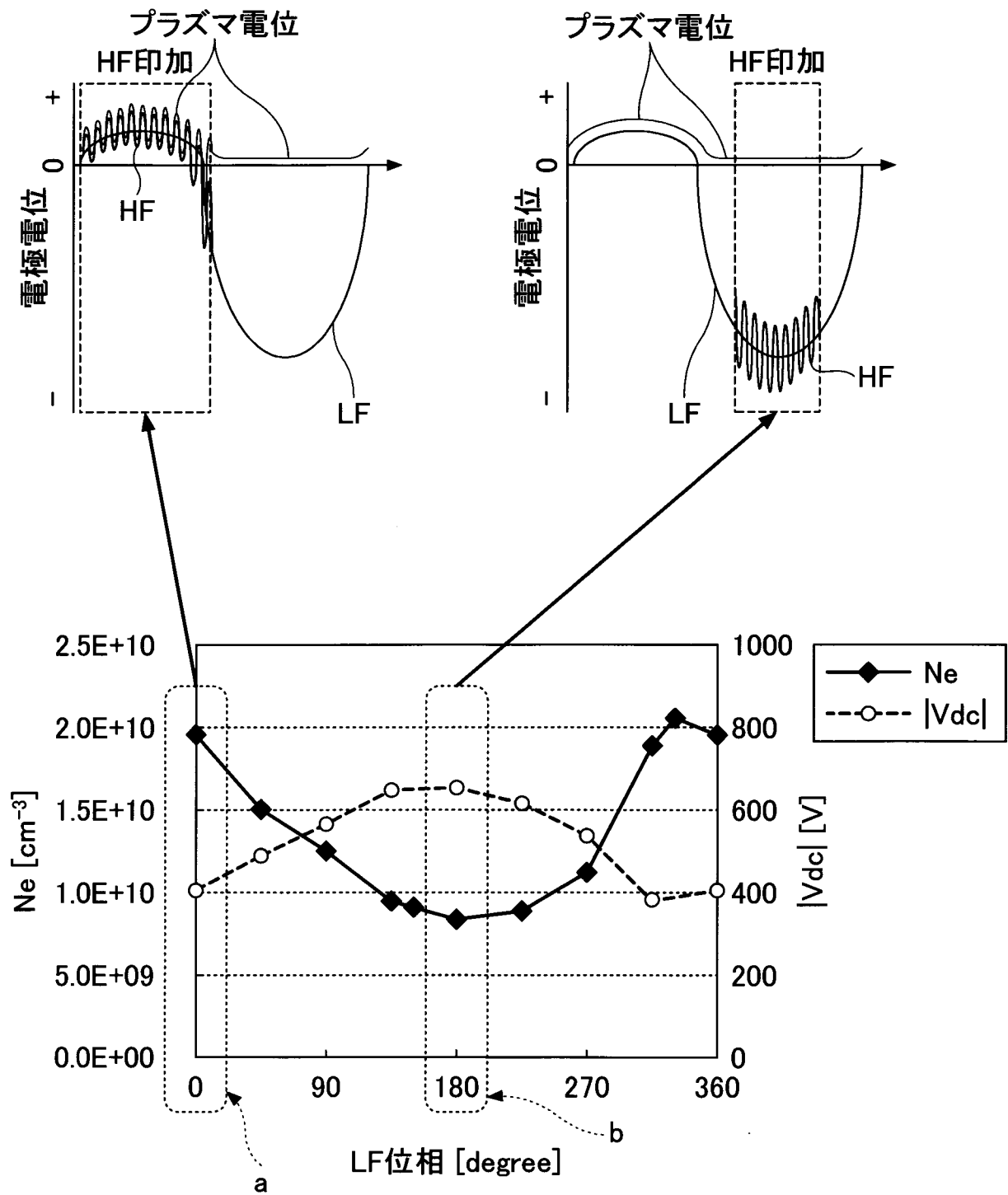
[図3]



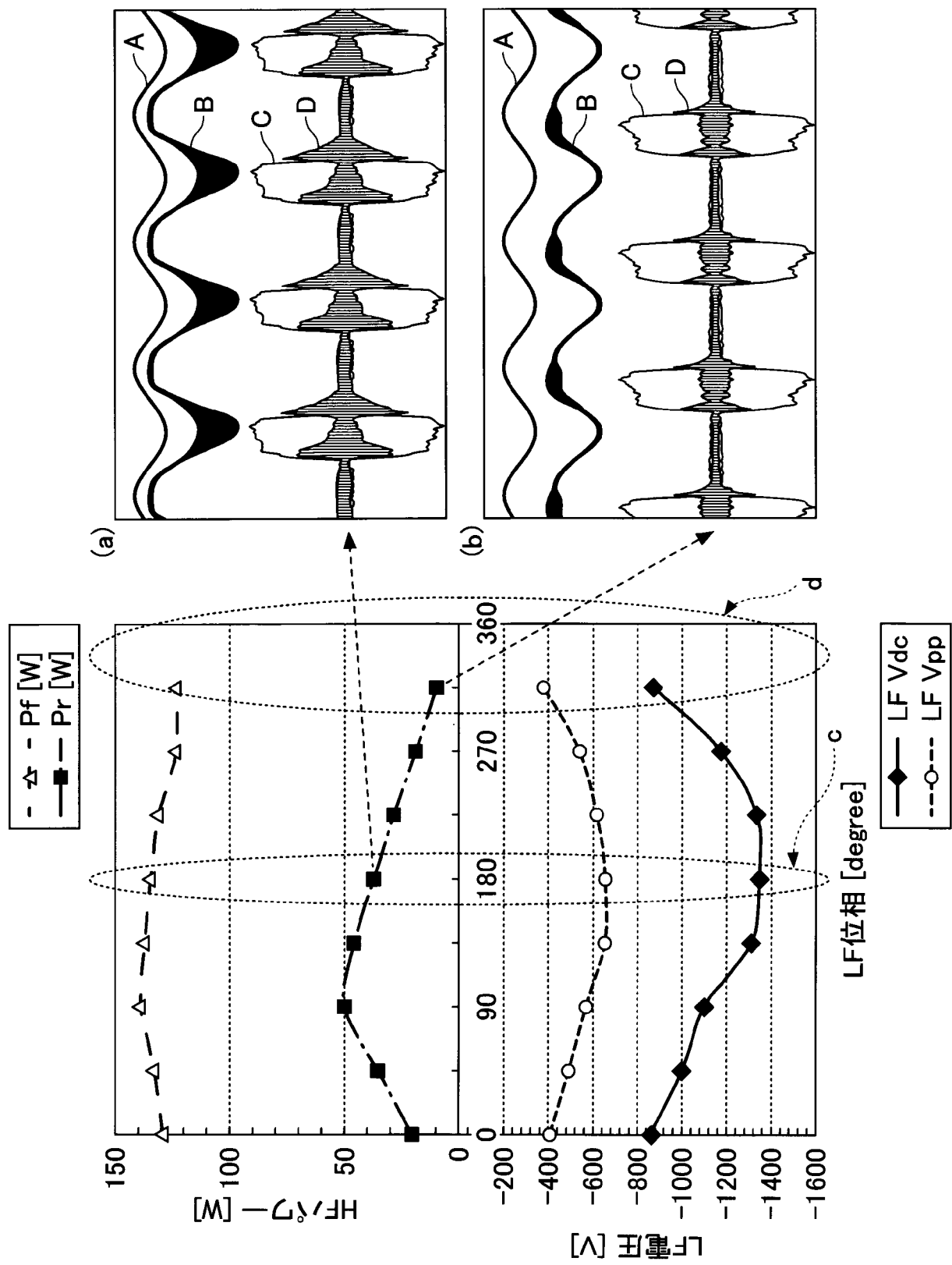
[図4]



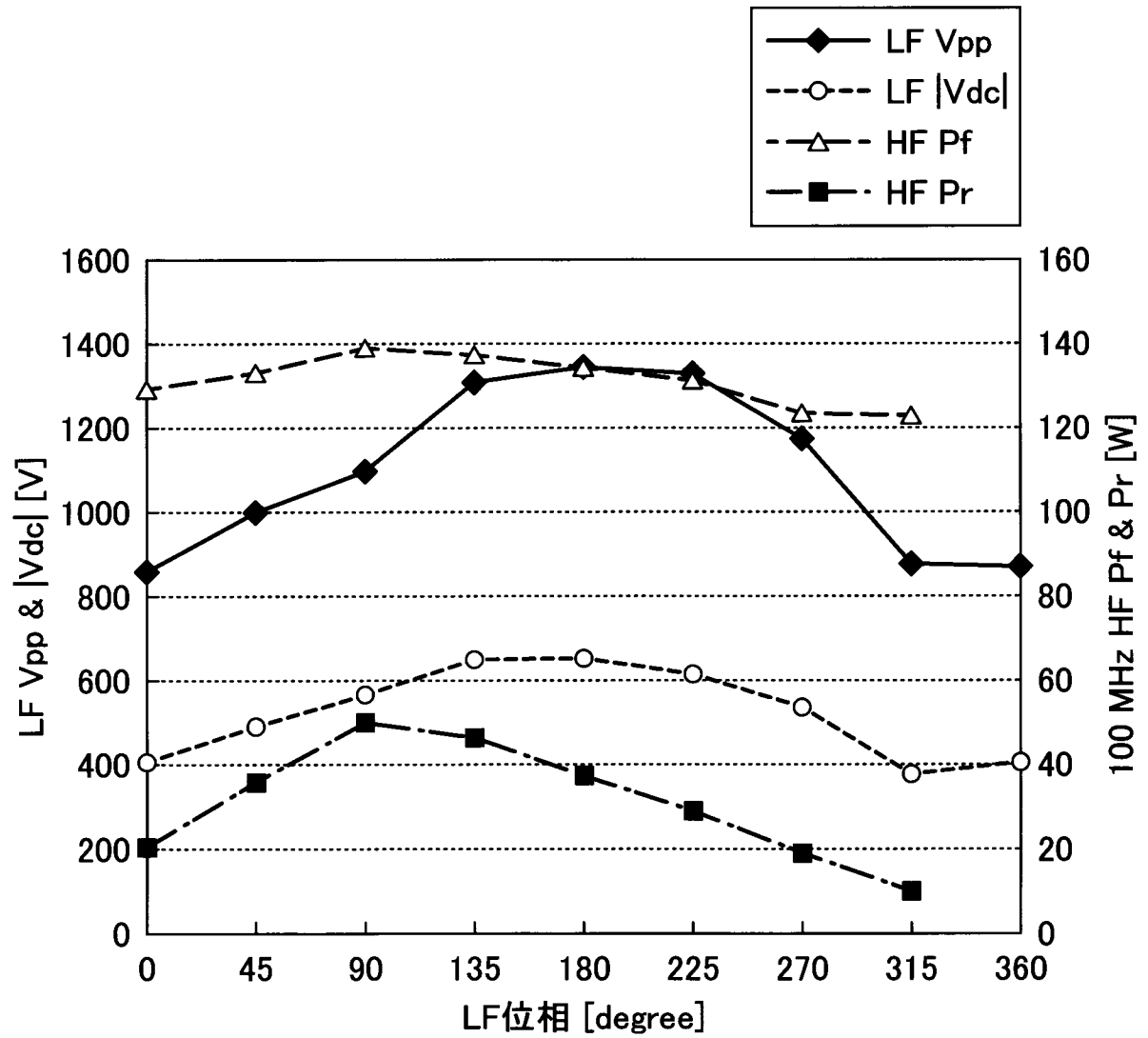
[図5]



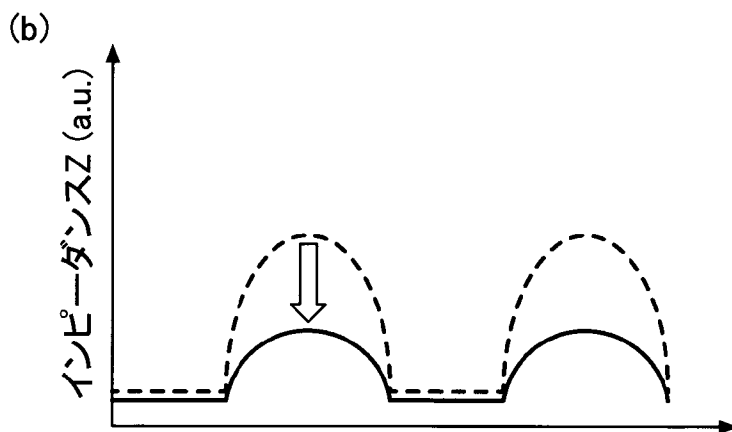
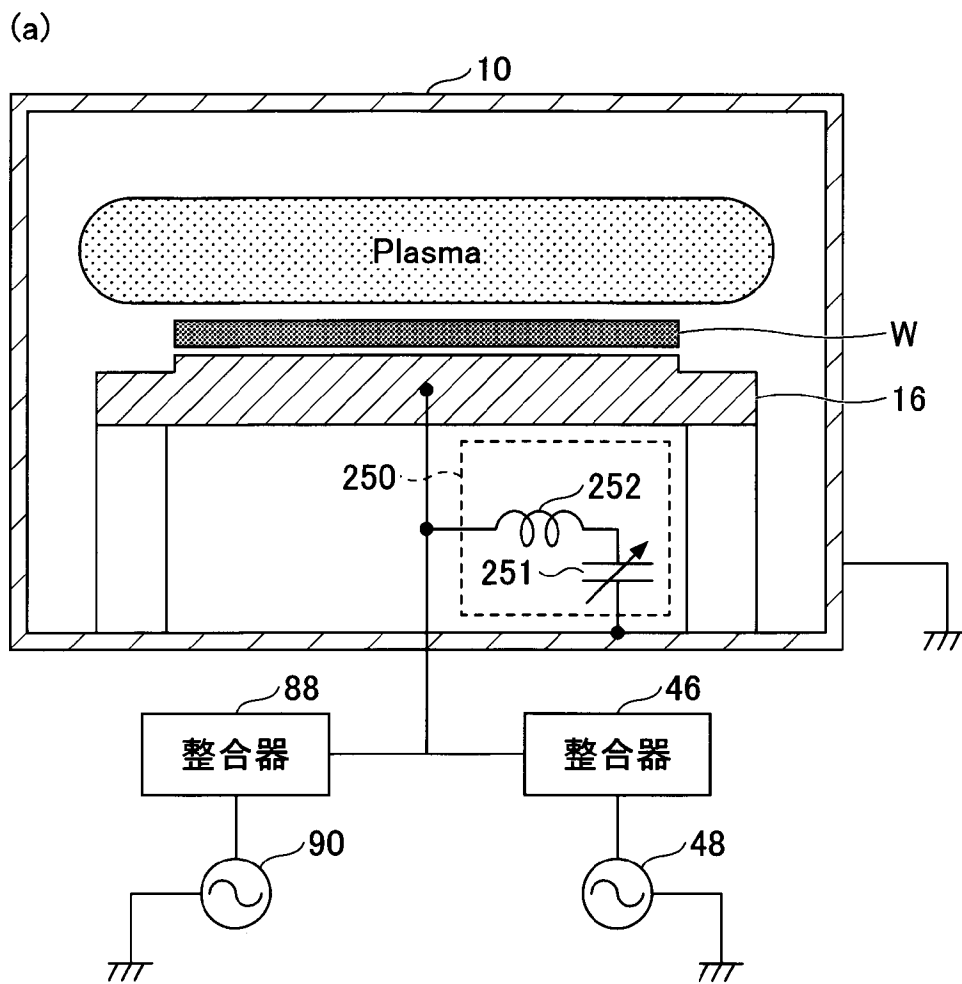
[図6]



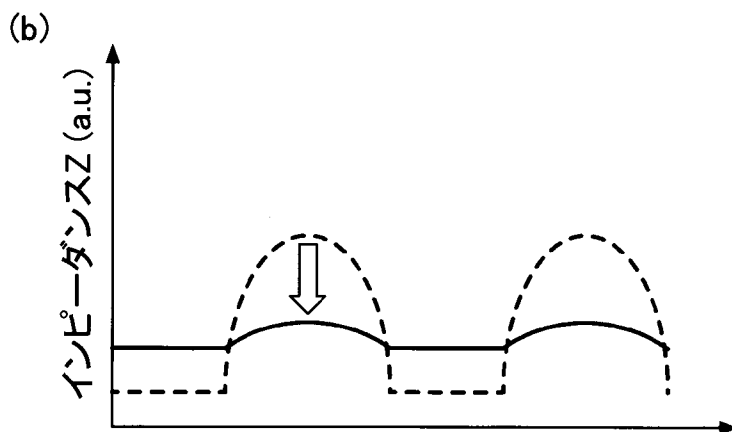
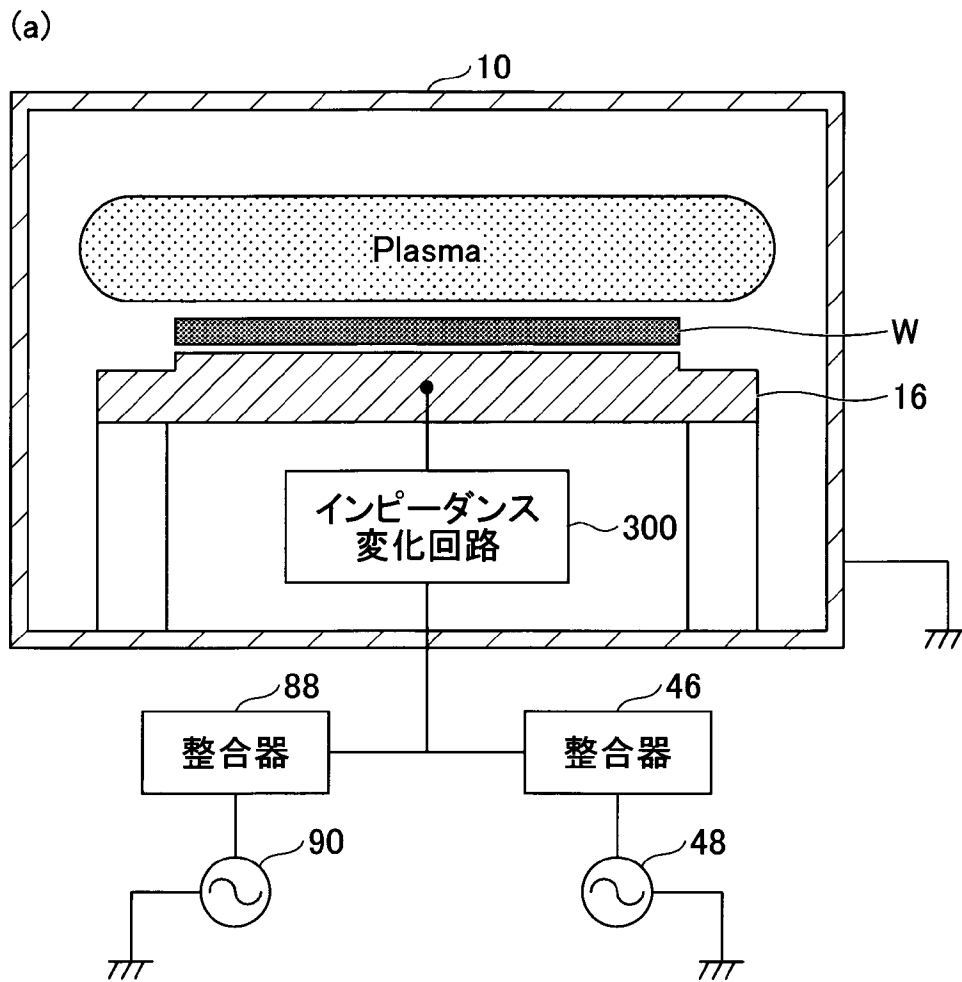
[図7]



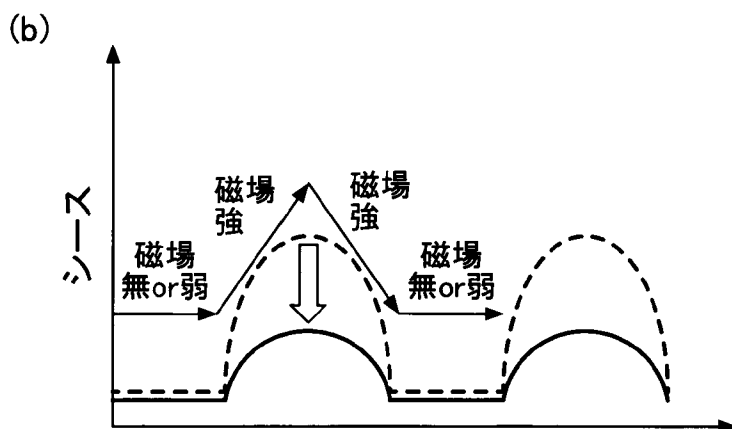
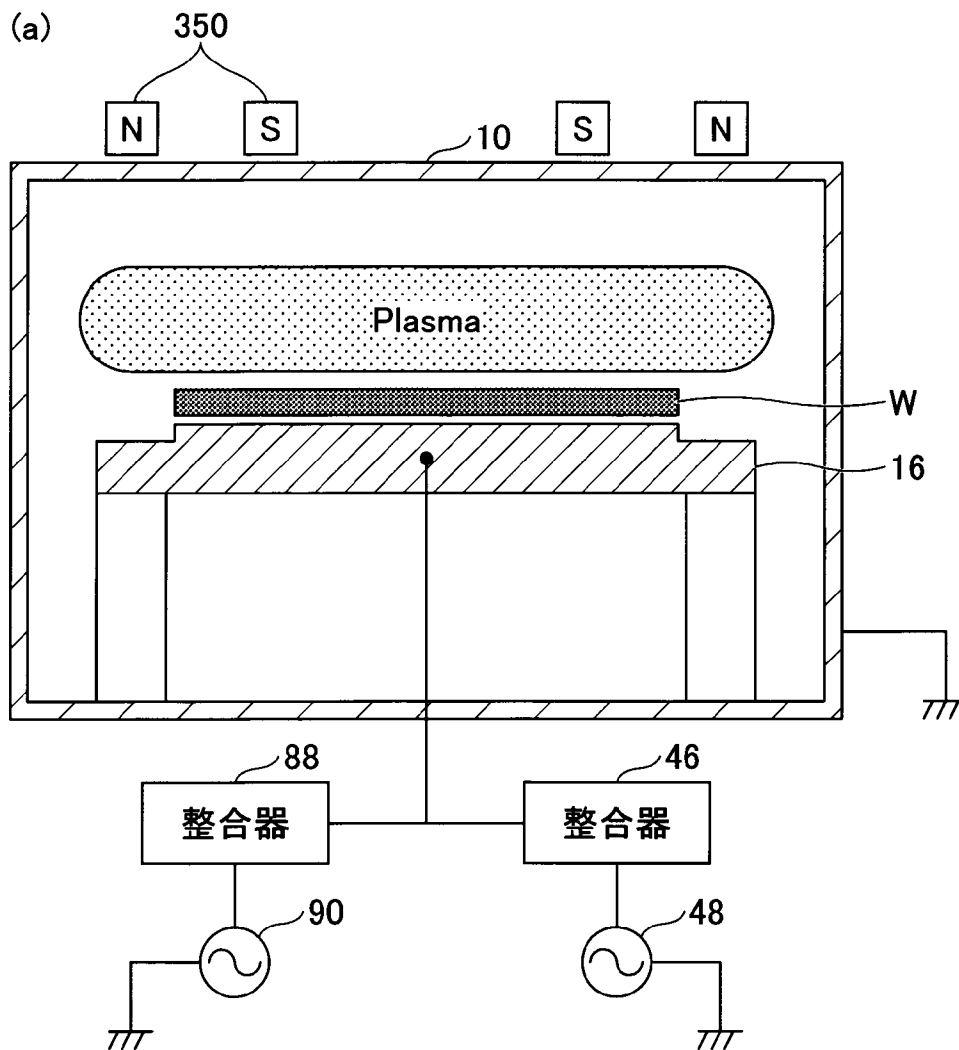
[図8]



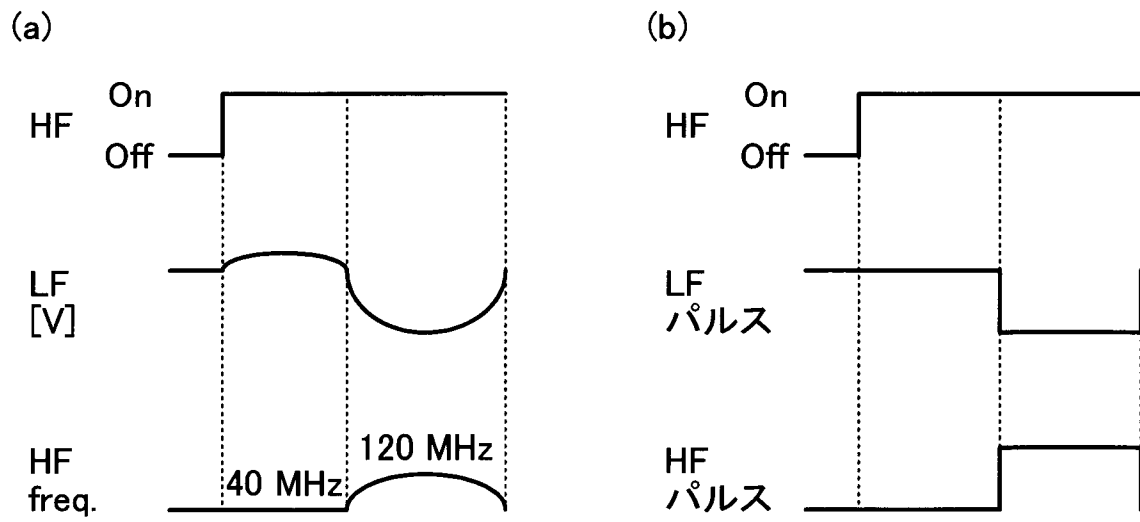
[図9]



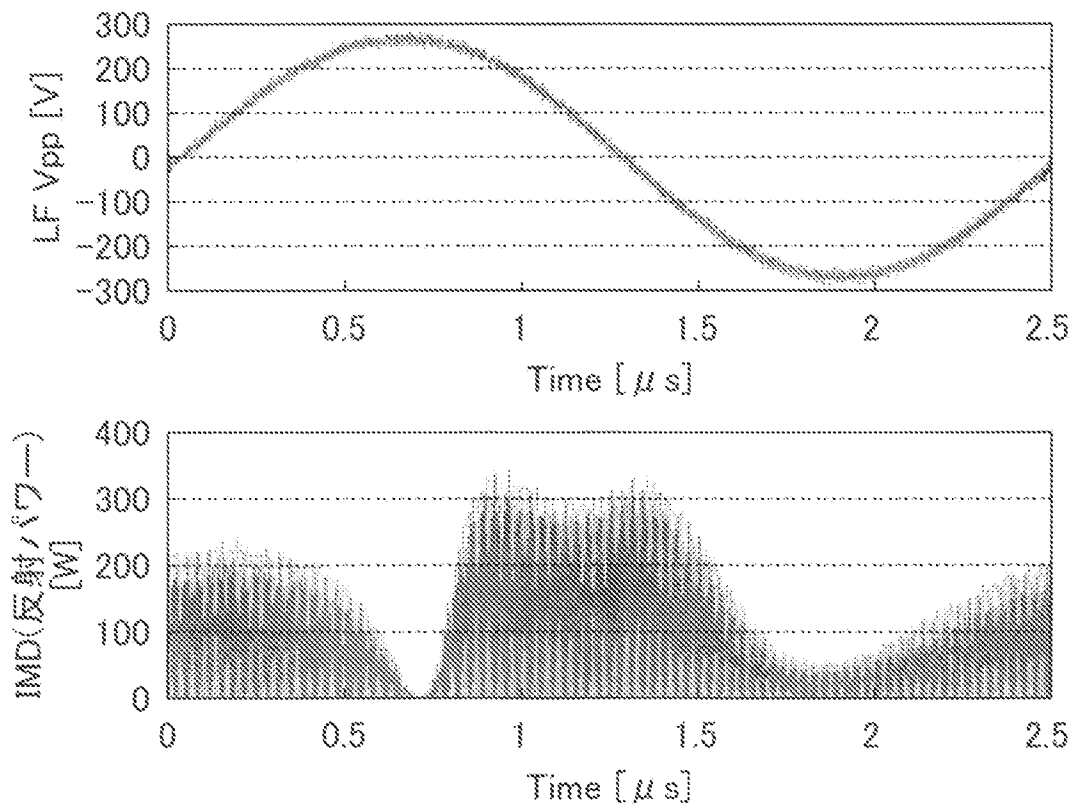
[図10]



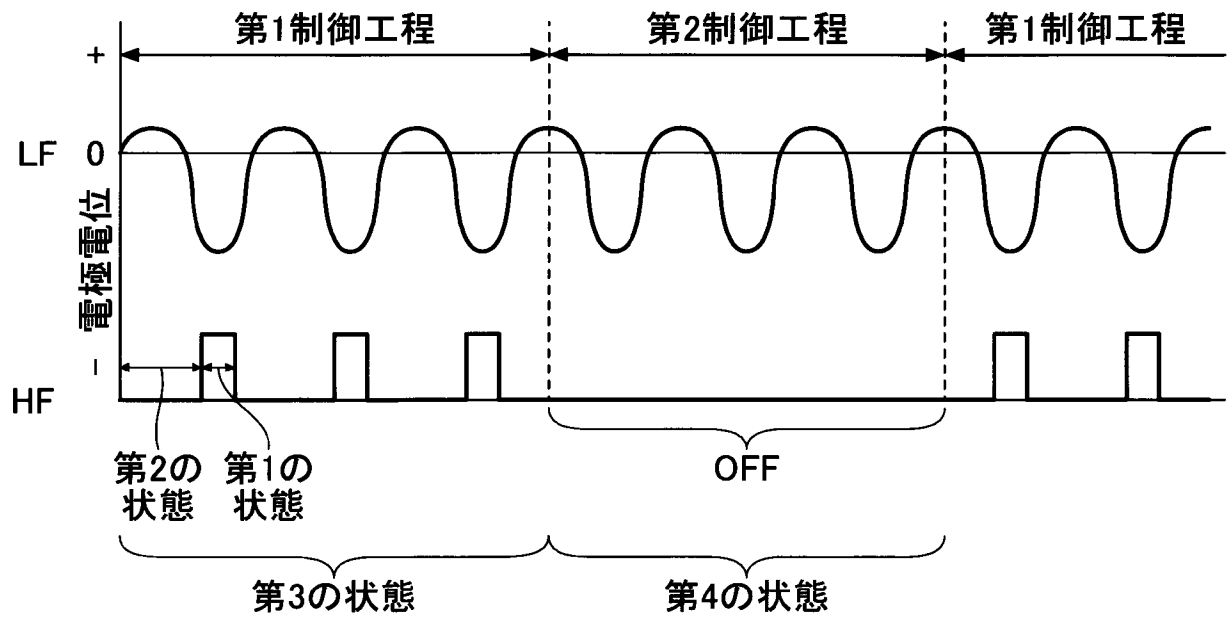
[図11]



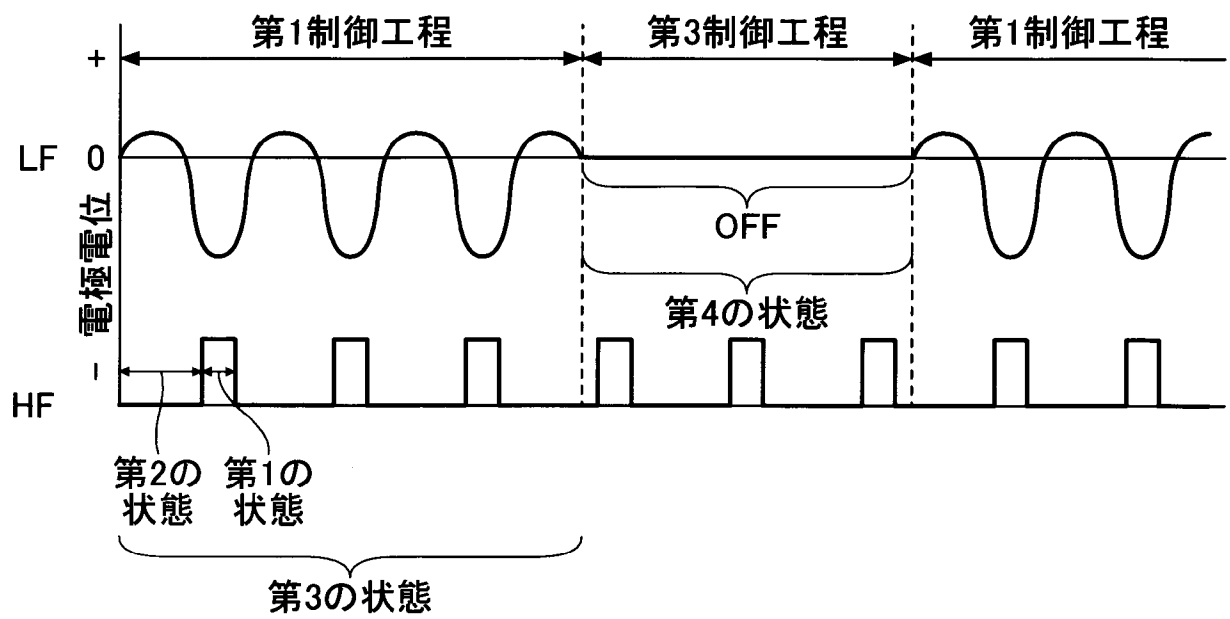
[図12]



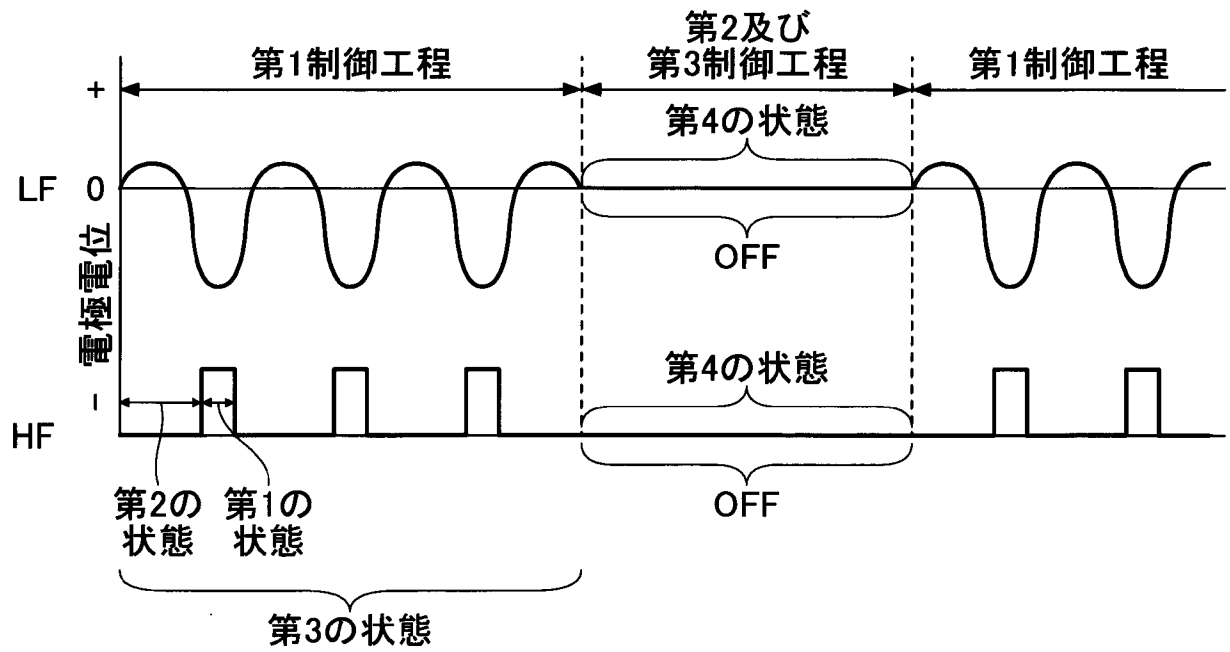
[図13A]



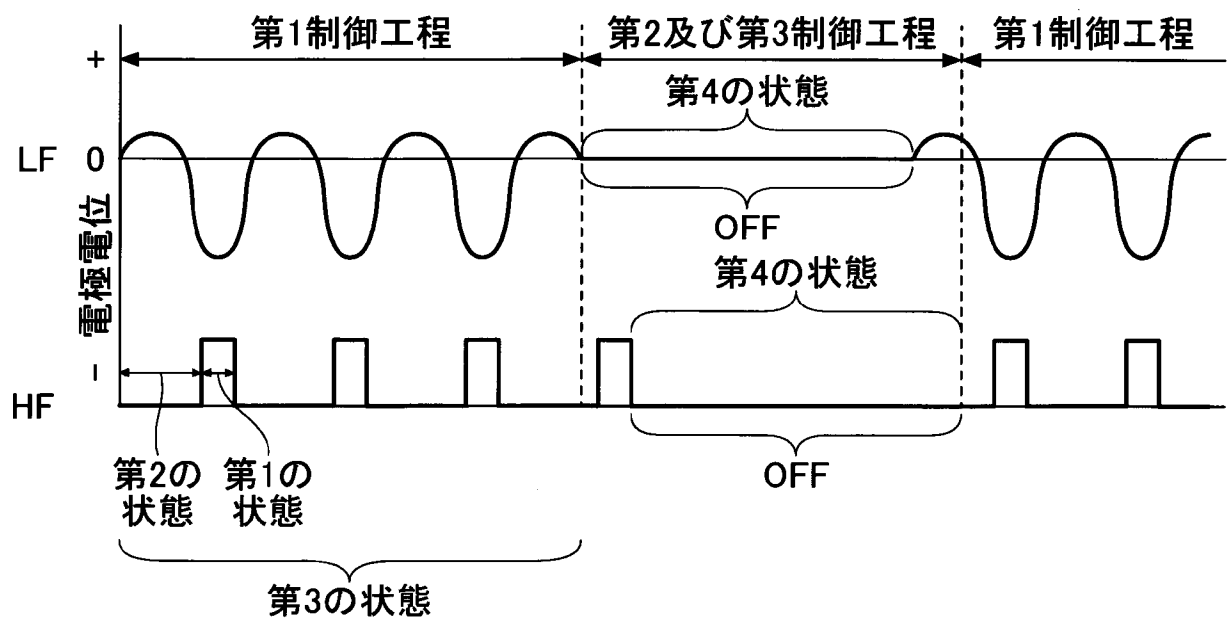
[図13B]



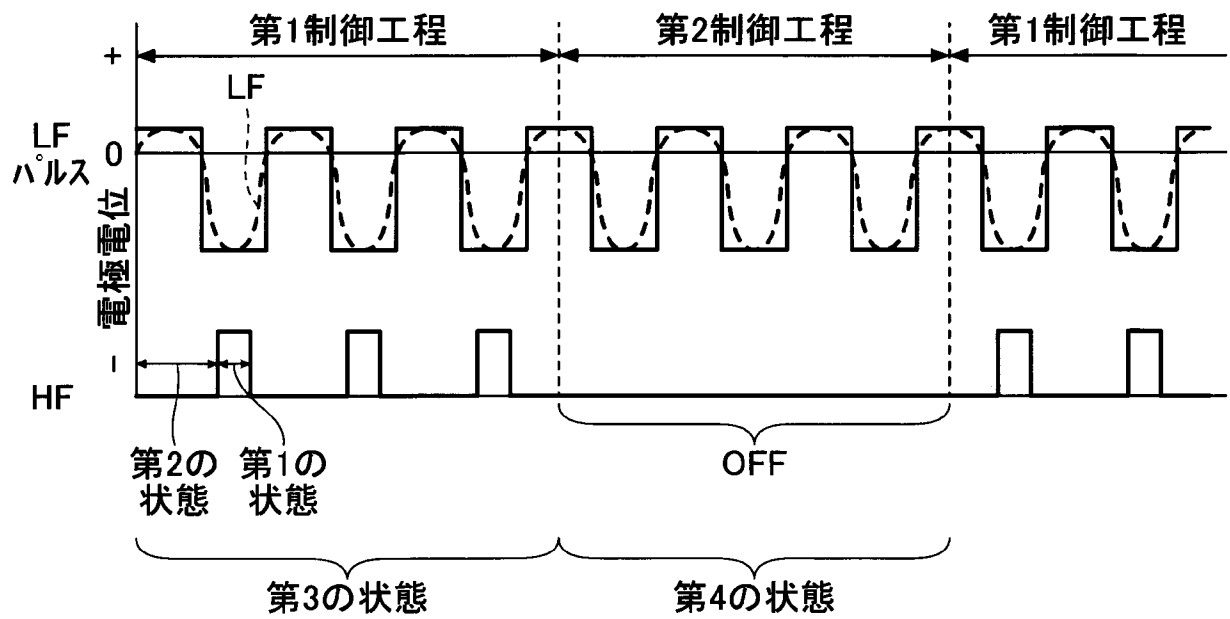
[図13C]



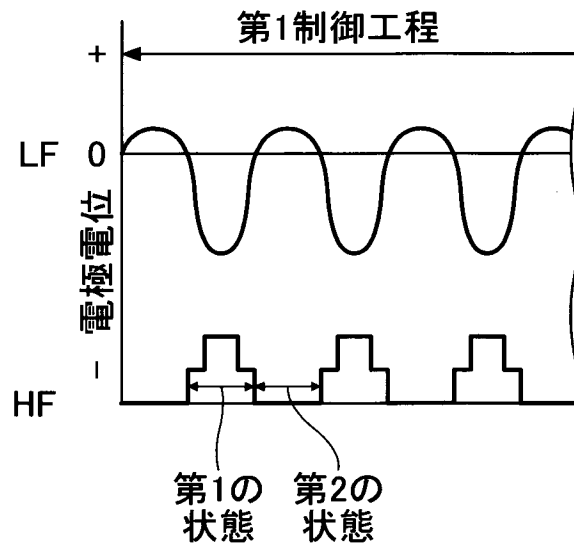
[図13D]



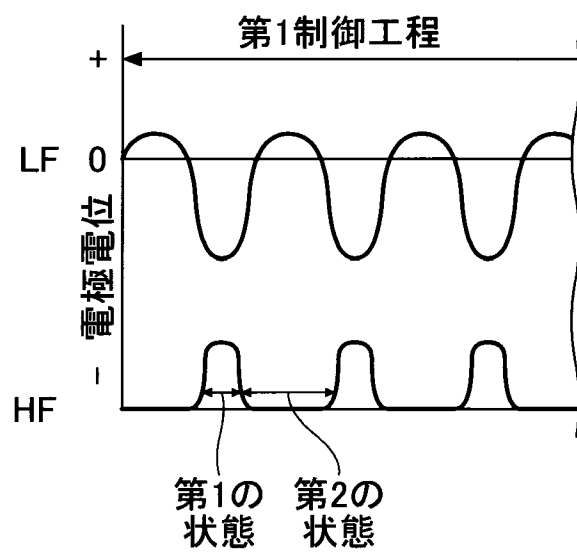
[図14]



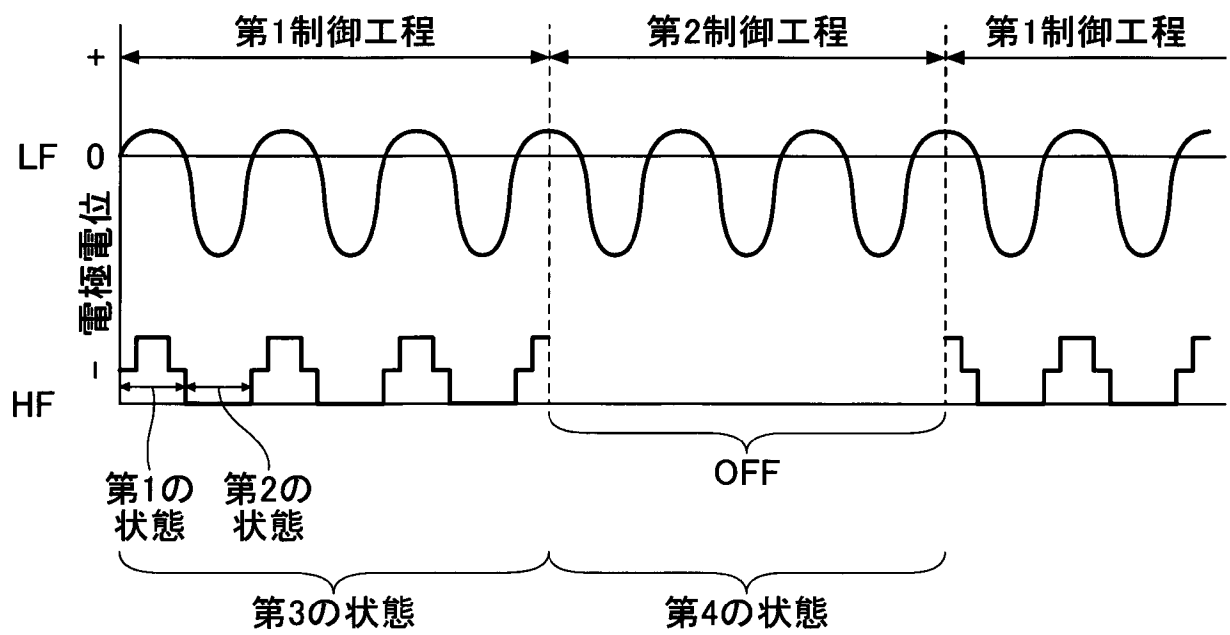
[図15A]



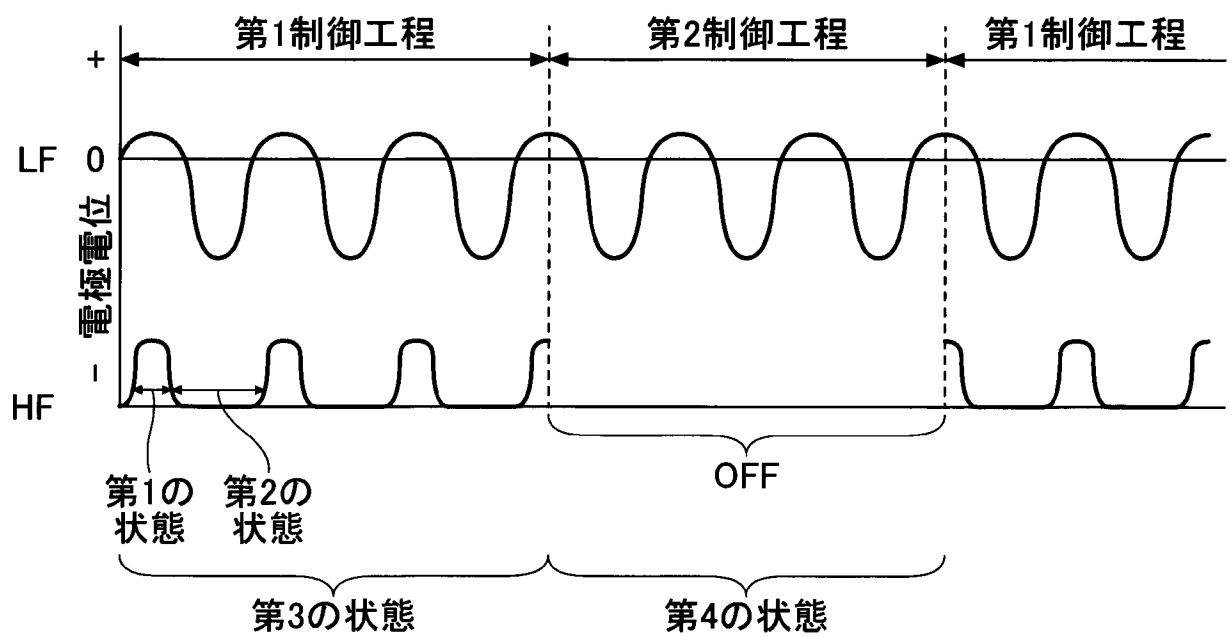
[図15B]



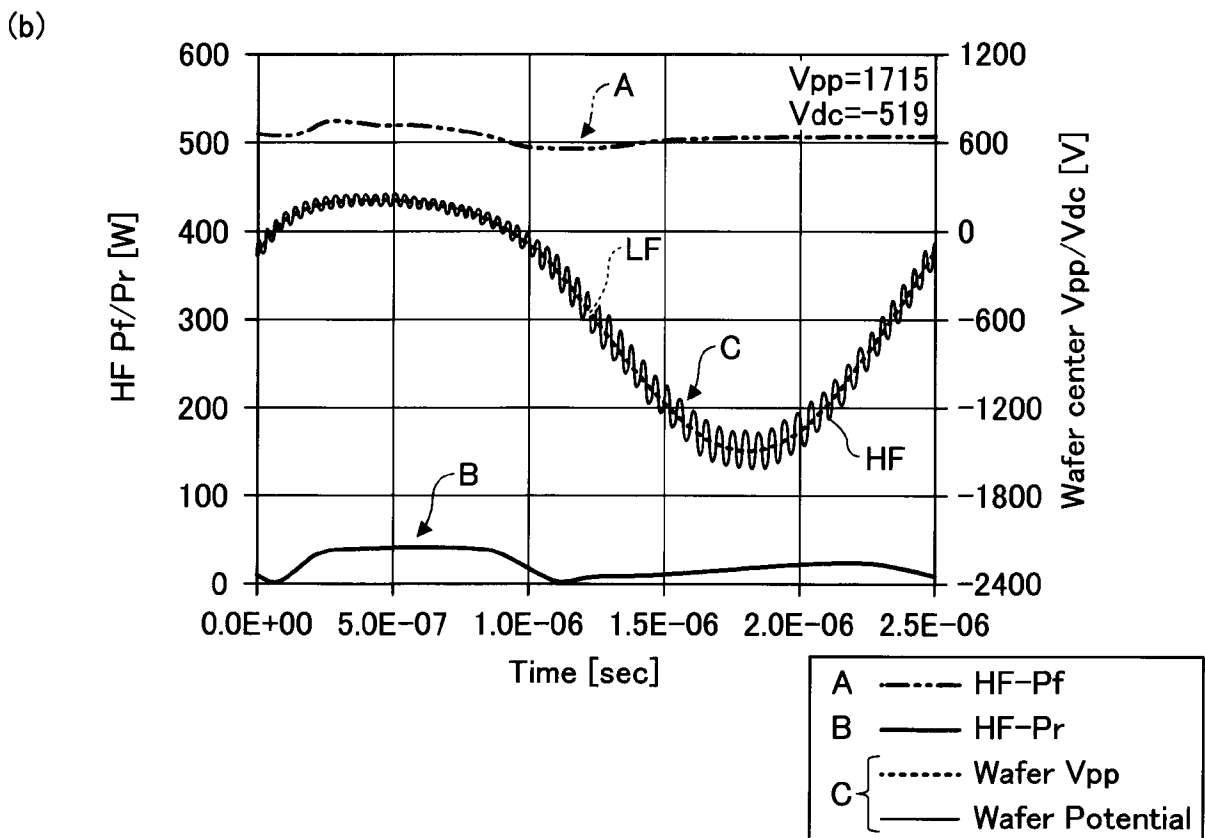
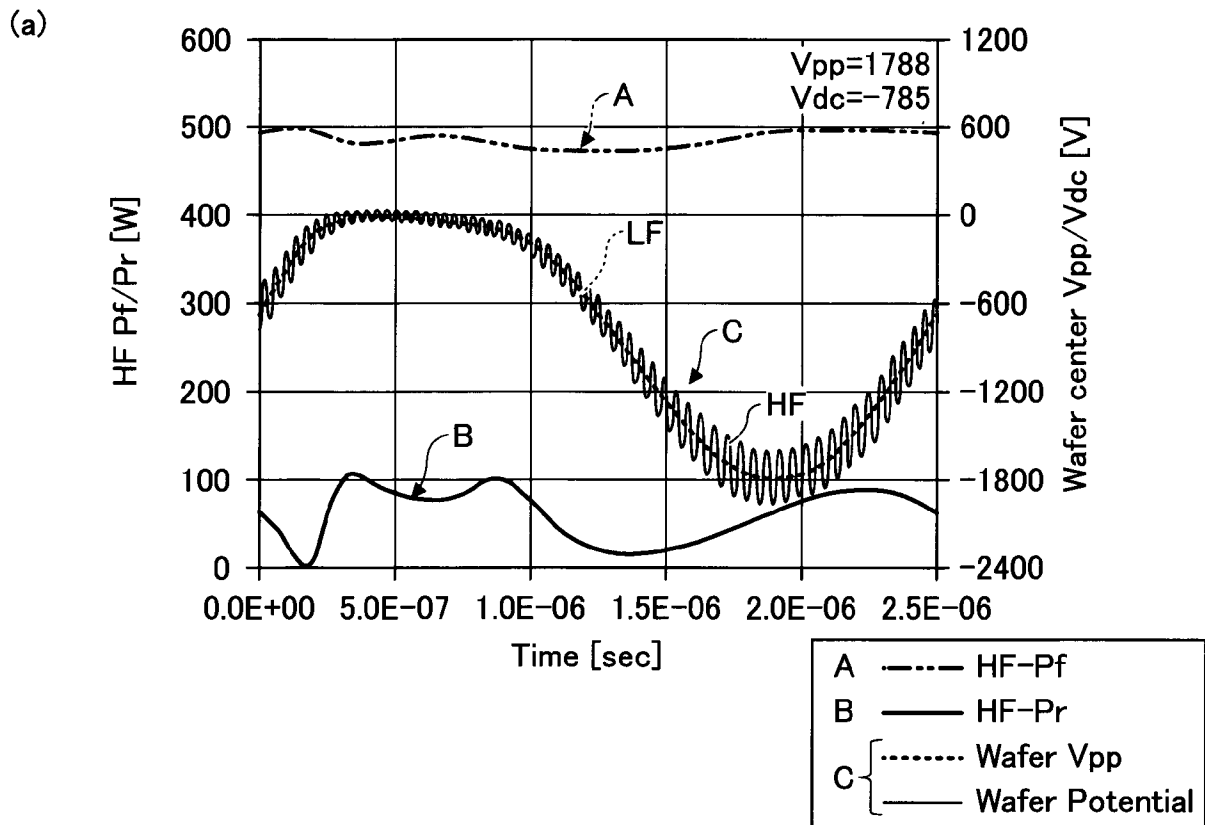
[図15C]



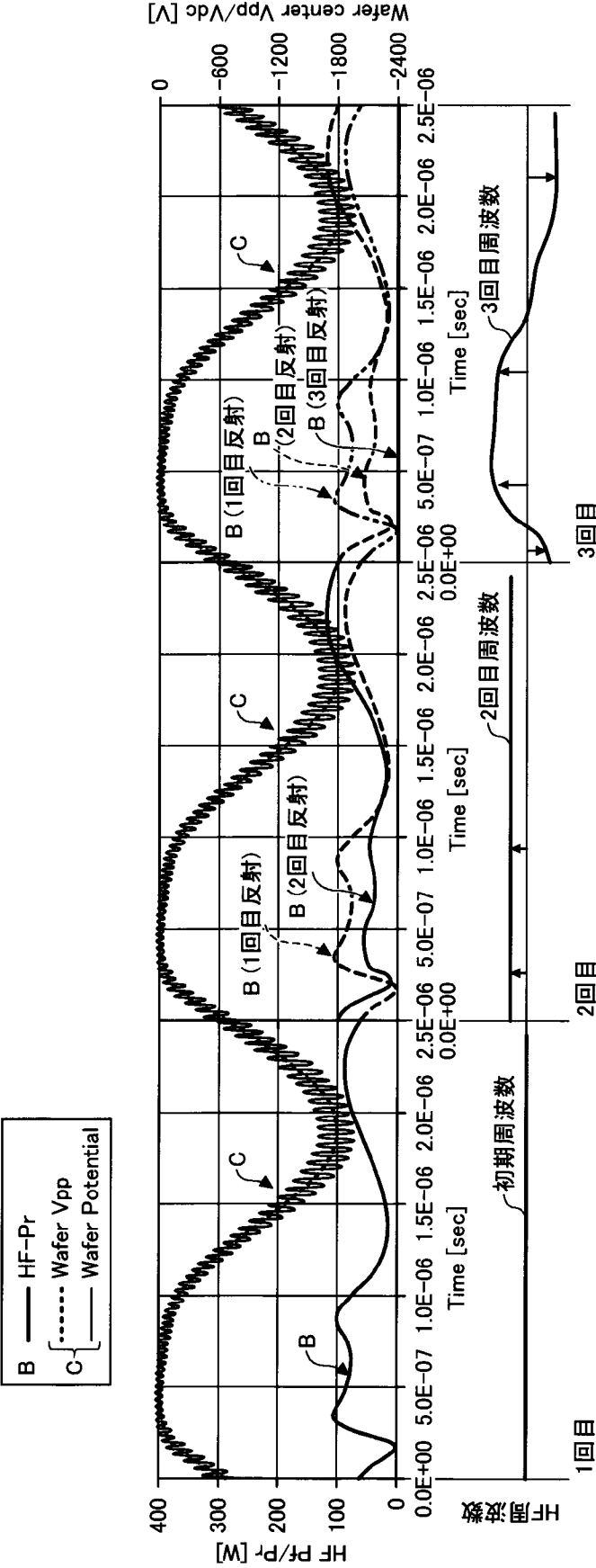
[図15D]



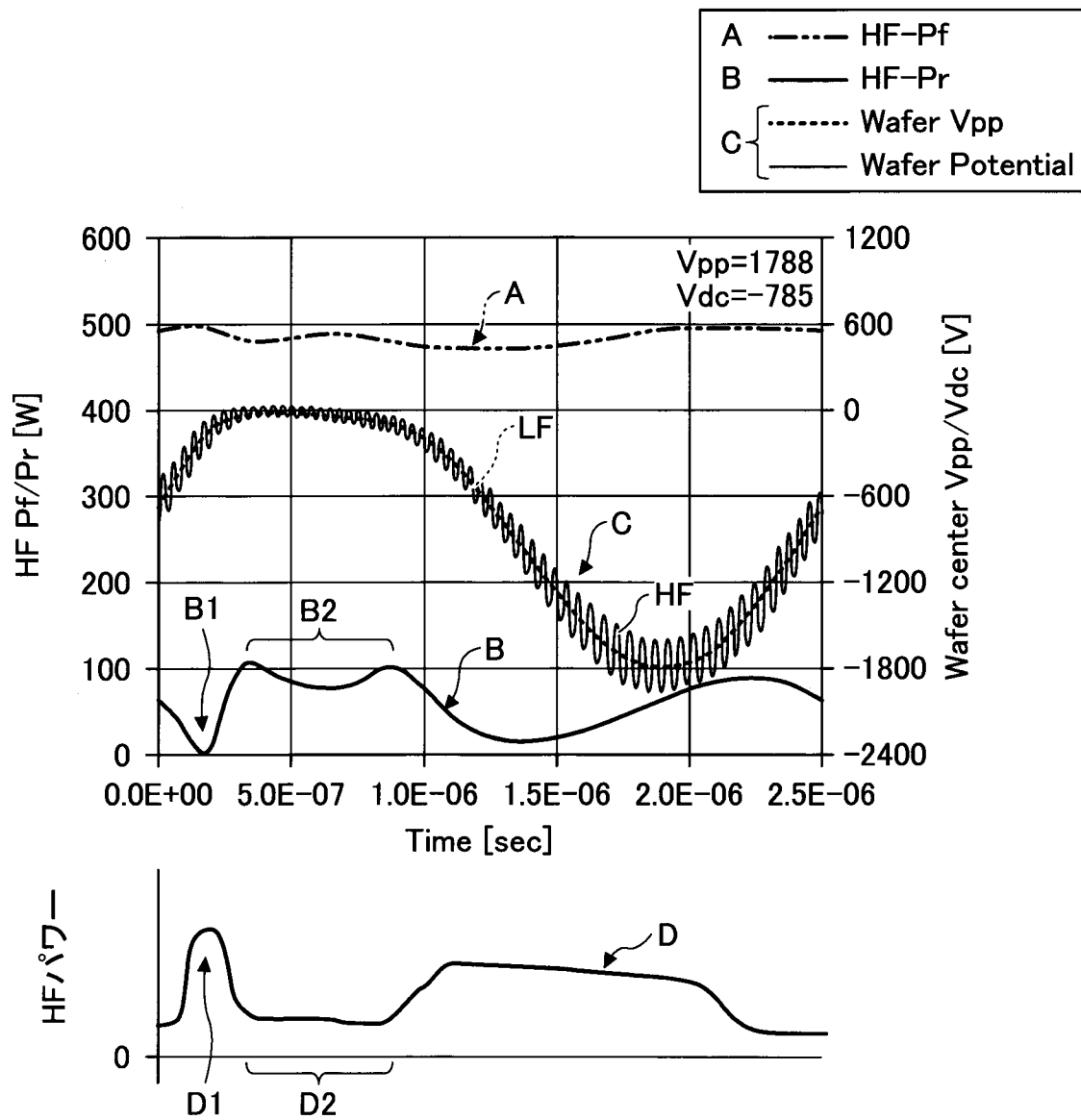
[図16]



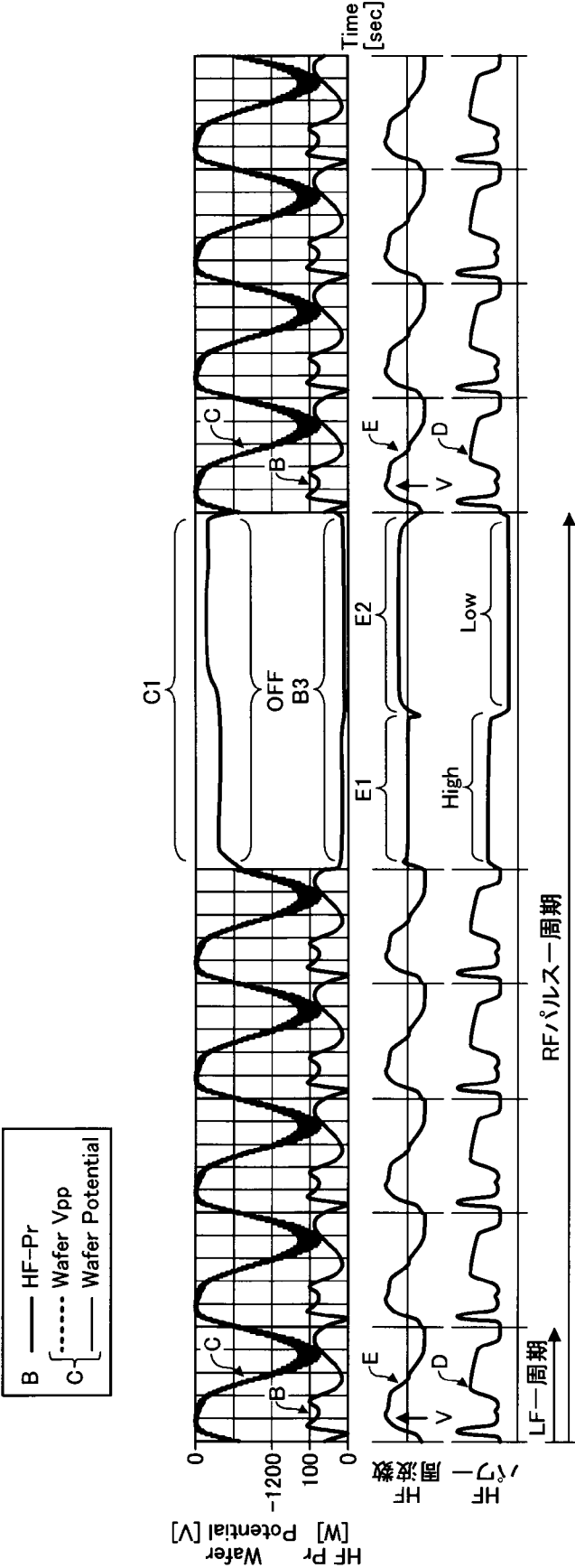
[図17]



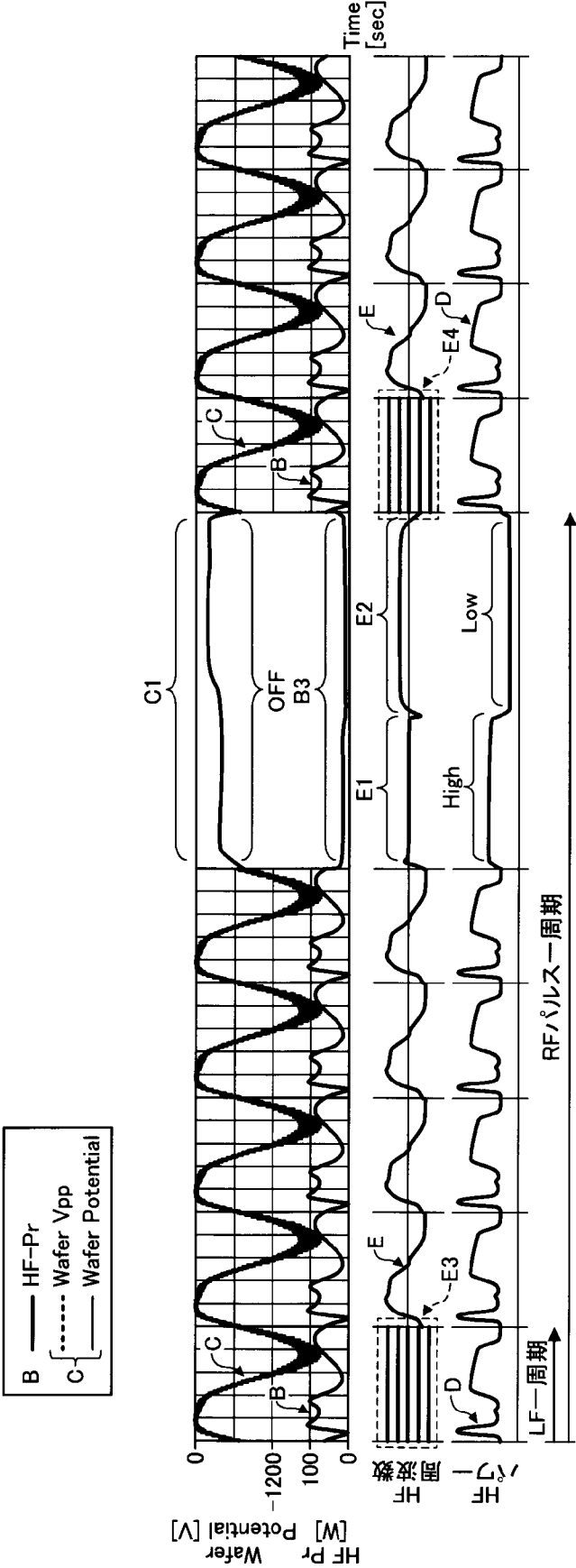
[図18]



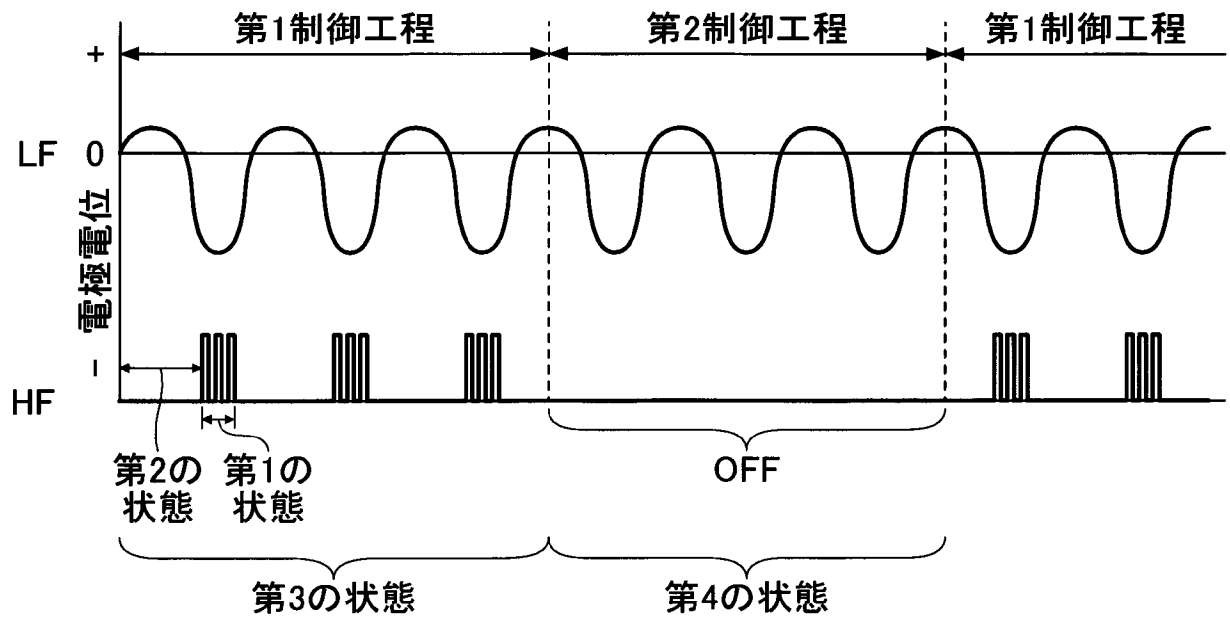
[図19]



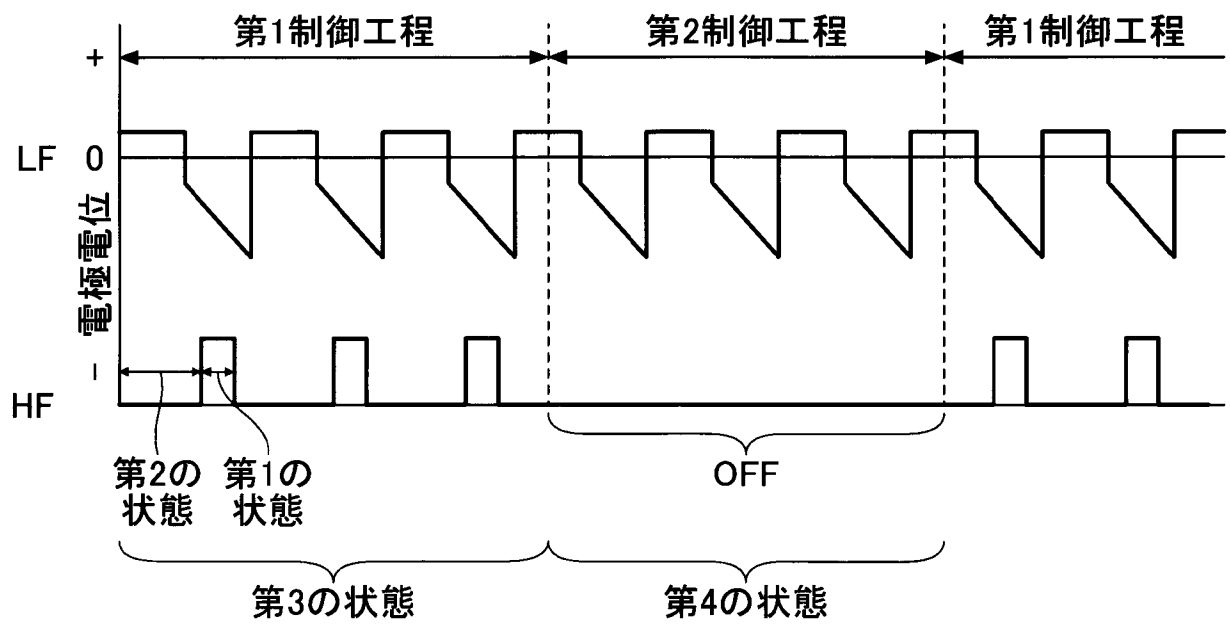
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/023238

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H05H1/46 (2006.01) i, H01L21/3065 (2006.01) i

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)

Int.Cl. H05H1/46, H01L21/3065

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 9-92645 A (FUJITSU LIMITED) 04 April 1997, paragraphs [0069]-[0076], [0080], [0081], [0105], [0106], [0108], [0109], fig. 5, 6, 8, 10	1-6, 9-17 7-8, 18 19-20
Y	JP 2016-157735 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 01 September 2016, paragraph [0033], fig. 4	7-8
Y	JP 7-263413 A (TOSHIBA CORPORATION) 13 October 1995, paragraphs [0024], [0025], fig. 1, 2	18



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
15.08.2019

Date of mailing of the international search report
27.08.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/023238

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2009-71133 A (TOSHIBA CORPORATION) 02 April 2009, paragraphs [0054], [0055], fig. 8, 9	1-2, 4-5, 9, 11-17
A	JP 2010-532549 A (VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC.) 07 October 2010, paragraphs [0070], [0071], fig. 5	19-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/023238

JP 9-92645 A	04 April 1997	US 5779925 A, column 10, line 7 to column 11, line 2, column 11, lines 26-40, column 14, lines 6-23, column 14, lines 40-60, fig. 5, 6, 8, 10 KR 10-0242272 B1
JP 2016-157735 A	01 September 2016	US 2016/0247666 A1, paragraph [0046], fig. 4 US 2018/0096822 A1 KR 10-2016-0102892 A
JP 7-263413 A	13 October 1995	(Family: none)
JP 2009-71133 A	02 April 2009	US 2009/0078678 A1, paragraphs [0077], [0078], fig. 8, 9
JP 2010-532549 A	07 October 2010	US 2009/0004836 A1 US 2009/0001890 A1 WO 2009/005991 A1, paragraphs [0079], [0080], fig. 5 CN 101689498 A KR 10-2010-0028104 A TW 200908099 A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H05H1/46(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i

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））

Int.Cl. H05H1/46, H01L21/3065

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 9-92645 A（富士通株式会社）1997.04.04, [0069] - [0076]、[0080] - [0081]、[0105] - [0106]、 [0108] - [0109]、図5-6、8、10	1-6, 9-17 7-8, 18 19-20
Y	JP 2016-157735 A（東京エレクトロン株式会社）2016.09.01, [0033]、図4	7-8
Y	JP 7-263413 A（株式会社東芝）1995.10.13, [0024] - [0025]、図1-2	18

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「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矛盾するものではなく、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

15.08.2019

国際調査報告の発送日

27.08.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

鳥居 祐樹

2G

4070

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) . 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 2009-71133 A (株式会社東芝) 2009.04.02, [0054] - [0055]、図8-9	1-2, 4-5, 9, 11-17
A	JP 2010-532549 A (ヴァリアン セミコンダクター イクイップメント アソシエイツ インコーポレイテッド) 2010.10.07, [0070] - [0071]、図5	19-20

JP 9-92645 A	1997. 04. 04	US 5779925 A, column 10 line 7 - column 11 line 2, column 11 lines 26-40, column 14 lines 6-23, column 14 lines 40-60, figures 5-6, 8, 10 KR 10-0242272 B1
JP 2016-157735 A	2016. 09. 01	US 2016/0247666 A1, [0046], figure 4 US 2018/0096822 A1 KR 10-2016-0102892 A
JP 7-263413 A	1995. 10. 13	(ファミリーなし)
JP 2009-71133 A	2009. 04. 02	US 2009/0078678 A1, [0077]-[0078], figures 8-9
JP 2010-532549 A	2010. 10. 07	US 2009/0004836 A1 US 2009/0001890 A1 WO 2009/005991 A1, [0079]-[0080], figure 5 CN 101689498 A KR 10-2010-0028104 A TW 200908099 A