

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7000521号
(P7000521)

(45)発行日 令和4年1月19日(2022.1.19)

(24)登録日 令和3年12月27日(2021.12.27)

| | | | | |
|--------------------------|---------|--------|---------|--|
| (51)国際特許分類 | F I | | | |
| H 0 1 L 21/3065(2006.01) | H 0 1 L | 21/302 | 1 0 1 B | |
| H 0 5 H 1/46 (2006.01) | H 0 5 H | 1/46 | M | |
| | H 0 5 H | 1/46 | A | |

請求項の数 18 (全28頁)

| | | | |
|-------------------|-------------------------------------|----------|---|
| (21)出願番号 | 特願2020-150811(P2020-150811) | (73)特許権者 | 000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号 |
| (22)出願日 | 令和2年9月8日(2020.9.8) | (74)代理人 | 100107766 弁理士 伊東 忠重 |
| (62)分割の表示 | 特願2019-156107(P2019-156107))の分割 | (74)代理人 | 100070150 弁理士 伊東 忠彦 |
| 原出願日 | 令和1年8月28日(2019.8.28) | (72)発明者 | 輿水 地塩 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 |
| (65)公開番号 | 特開2020-205444(P2020-205444 A) | (72)発明者 | 広津 信 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 |
| (43)公開日 | 令和2年12月24日(2020.12.24) | 審査官 | 佐藤 靖史 |
| 審査請求日 | 令和2年9月8日(2020.9.8) | | |
| (31)優先権主張番号 | 特願2018-191735(P2018-191735) | | |
| (32)優先日 | 平成30年10月10日(2018.10.10) | | |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 日本国(JP) | | |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置及び制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理容器と、

前記処理容器内で被処理体を載置する電極と、

前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成源と、

前記電極にパルス状の負極性の直流電圧を周期的に供給するバイアス電源と、

前記被処理体の周縁に配置されるエッジリングと、

前記エッジリングに直流電圧を供給する直流電源と、

を備え、

前記直流電源は、前記バイアス電源からの前記パルス状の負極性の直流電圧が前記電極に供給されていない第1の期間において第1の直流電圧を供給し、前記パルス状の負極性の直流電圧が前記電極に供給されている第2の期間において第2の直流電圧を供給するように構成され、

前記第2の直流電圧は0である、プラズマ処理装置。

【請求項2】

前記直流電源は、前記パルス状の負の直流電圧の周期とは独立した周期で間欠的に停止する、

請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】

前記パルス状の負の直流電圧は、前記直流電圧の周期とは独立した周期で間欠的に停止す

る、

請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記第 1 の直流電圧が 2 つ以上の値をとる、

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記第 2 の直流電圧が 2 つ以上の値をとる、

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記第 1 の直流電圧は、前記エッジリングの消耗度合いに応じて補正される、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 7】

前記第 1 の直流電圧が 2 つ以上の値を繰り返す、

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】

処理容器と、

前記処理容器内で被処理体を載置する電極と、

前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成源と、

前記電極にパルス状の負の直流電圧を周期的に供給するバイアス電源と、

前記被処理体の周縁に配置されるエッジリングと、

前記エッジリングに高周波電圧を供給する高周波電源と、

を備え、

前記高周波電源は、前記バイアス電源からの前記パルス状の負極性の直流電圧が前記電極に供給されていない第 1 の期間において正の高周波電圧を供給し、前記パルス状の負極性の直流電圧が前記電極に供給されている第 2 の期間において負の前記高周波電圧の供給するように構成されている、プラズマ処理装置。

20

【請求項 9】

前記高周波電圧を前記パルス状の負の直流電圧とは独立した周期で間欠的に停止する、

請求項 8 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記パルス状の負の直流電圧を前記高周波電圧の周期とは独立した周期で間欠的に停止する、

請求項 8 又は 9 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 11】

処理容器と、

前記処理容器内で被処理体を載置する電極と、

前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成源と、

前記電極にパルス状の負の直流電圧を周期的に供給するバイアス電源と、

前記被処理体の周縁に配置されるエッジリングと、

前記エッジリングに直流電圧を供給する直流電源と、

を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、

前記直流電源は、前記バイアス電源からの前記パルス状の負極性の直流電圧が前記電極に供給されていない第 1 の期間において第 1 の直流電圧を供給し、前記パルス状の負の直流電圧が前記電極に供給されている第 2 の期間において第 2 の直流電圧を供給し、前記第 2 の直流電圧は 0 である、プラズマ処理装置の制御方法。

40

【請求項 12】

前記電極の電位に同期する同期信号を作成し、該同期信号から出力する直流電源用の制御信号を生成し、生成した前記制御信号を直流電源と位相シフト回路との少なくともいずれかに送信し、

前記直流電源と前記位相シフト回路との少なくともいずれかから前記エッジリングに直流

50

電圧を供給する、

請求項 1 1 に記載のプラズマ処理装置の制御方法。

【請求項 1 3】

前記直流電圧を前記パルス状の負の直流電圧の周期とは独立した周期で間欠的に停止する、
請求項 1 1 又は 1 2 に記載のプラズマ処理装置の制御方法。

【請求項 1 4】

前記パルス状の負の直流電圧を前記直流電圧の周期とは独立した周期で間欠的に停止する、
請求項 1 1 ~ 1 3 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置の制御方法。

【請求項 1 5】

処理容器と、

前記処理容器内で被処理体を載置する電極と、

前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成源と、

前記電極にパルス状の負の直流電圧を供給するバイアス電源と、

前記被処理体の周縁に配置されるエッジリングと、

前記エッジリングに高周波電圧を供給する高周波電源と、

を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、

前記高周波電源は、前記バイアス電源からの前記パルス状の負極性の直流電圧が前記電極に供給されていない第 1 の期間において正の前記高周波電圧を供給し、前記パルス状の負の直流電圧が前記電極に供給されている第 2 の期間において負の前記高周波電圧を供給する、

プラズマ処理装置の制御方法。

【請求項 1 6】

前記バイアス電源から出力するパルス状の負の直流電圧用の制御信号を生成し、生成した前記制御信号を位相シフト回路に送信し、

前記位相シフト回路から前記エッジリングに高周波電圧を供給する、

請求項 1 5 に記載のプラズマ処理装置の制御方法。

【請求項 1 7】

前記高周波電圧を前記パルス状の負の直流電圧の周期とは独立した周期で間欠的に停止する、

請求項 1 5 又は 1 6 に記載のプラズマ処理装置の制御方法。

【請求項 1 8】

前記パルス状の負の直流電圧を前記高周波電圧の周期とは独立した周期で間欠的に停止する、

請求項 1 5 ~ 1 7 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置及び制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

載置台上に載置されたウエハの周縁のエッジリングにより、処理の面内均一性を向上させることが可能なプラズマ処理装置が知られている（例えば、特許文献 1 を参照）。プラズマ処理装置では、高周波電力によってガスから生成したプラズマによりエッチング処理を行い、ウエハに微細なホール等を形成する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2005 - 277369 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

しかしながら、真円のホールをエッチングするとき、ウエハのエッジ部においてエッチングしたホールの真円度が崩れ、径方向に長辺を持つ楕円のホールになる場合がある。特に 4 0 0 k H z 程度の低周波数のバイアス用の高周波電力を印加したときにこの現象が発生し易い。

【 0 0 0 5 】

上記課題に対して、一側面では、本発明は、被処理体のエッチング形状の精度を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

上記課題を解決するために、一の態様によれば、処理容器と、前記処理容器内で被処理体を載置する電極と、前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成源と、前記電極にパルス状の負極性の直流電圧を周期的に供給するバイアス電源と、前記被処理体の周縁に配置されるエッジリングと、前記エッジリングに直流電圧を供給する直流電源と、備え、前記直流電源は、前記バイアス電源からの前記パルス状の負極性の直流電圧が前記電極に供給されていない第 1 の期間において第 1 の直流電圧を供給し、前記パルス状の負極性の直流電圧が前記電極に供給されている第 2 の期間において第 2 の直流電圧を供給するように構成され、前記第 2 の直流電圧は 0 である、プラズマ処理装置が提供される。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

一の側面によれば、被処理体のエッチング形状の精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【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 2】一実施形態に係る制御部の構成の一例を示す図。

【図 3 A】一実施形態の変形例に係る制御信号の生成を説明するための図。

【図 3 B】一実施形態に係る給電系に付けたセンサの位相信号で制御する例を示す図。

【図 3 C】一実施形態に係るバイアスパワーの高周波若しくはパルス波の周期に同期する信号で制御する例を示す図。

【図 3 D】一実施形態に係るバイアスパワーの高周波若しくはパルス波の周期に同期する信号で制御する例を示す図。

【図 4】プラズマ電位とウエハ電位とシース厚との関係を説明する図。

【図 5】一実施形態に係る負の直流電圧の印加方法とその効果の一例を示す図。

【図 6】一実施形態に係る負の直流電圧の印加方法の一例を示す図。

【図 7】一実施形態に係る負の直流電圧の印加方法の一例を示す図。

【図 8】変形例に係る負の直流電圧の印加方法（チルト制御）の一例を示す図。

【図 9】変形例に係る負の直流電圧の印加方法（チルト制御）の一例を示す図。

【図 1 0 A】一実施形態の変形例 1 - 1 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 0 B】一実施形態の変形例 1 - 2 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 0 C】一実施形態の変形例 1 - 3 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 0 D】一実施形態の変形例 1 - 4 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 1】一実施形態の変形例 2 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 2 A】一実施形態の変形例 3 - 1 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 2 B】一実施形態の変形例 3 - 2 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 2 C】一実施形態の変形例 3 - 3 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 2 D】一実施形態の変形例 3 - 4 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図 1 3】一実施形態の R F の周波数とウエハ及びエッジリングの電位差の一例を示す図。

【図 1 4】一実施形態の R F の周波数とウエハ及びエッジリングの電位差の一例を示す図。

【図 1 5】一実施形態の R F の周波数とウエハ及びエッジリングの電位差の一例を示す図。

【図 1 6】一実施形態の変形例 4 に係る制御方法を示すタイミングチャート。

10

20

30

40

50

【図 17】一実施形態の変形例 5 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】

以下、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 LF（Low Frequency）ともいい、バイアスパワーを LF 電力ともいう。

10

【0011】

[はじめに]

近年、プラズマ処理装置の載置台に印加する LF の周波数が、3.2 MHz 程度から 400 kHz 程度に低周波数化している。該プロセス条件では、半導体ウエハ（以下、ウエハともいう。）のエッジ周辺に形成されるホールのエッチング形状の真円度が径方向に崩れ、径方向に長辺を持つ楕円形状のホールが形成されるという課題がある。また、ウエハの周縁に配置されたエッジリング（フォーカスリングともいう。）の消耗により、ウエハのエッジ部においてエッチング形状が内側に斜めに形成されるチルティングが生じるという課題がある。

20

【0012】

そこで、本実施形態にかかるプラズマ処理装置では、ウエハ W のエッジ部のホールの形状を真円にし、かつ、チルティングを防ぎ、上記課題を解決する。以下、本実施形態にかかるプラズマ処理装置 1 の一例について説明し、当該プラズマ処理装置 1 を使用した直流電圧（以下、「DC 電圧」ともいう。）の制御について説明する。

【0013】

[プラズマ処理装置の全体構成]

図 1 は、一実施形態に係るプラズマ処理装置 1 の一例を示す図である。本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。

30

【0014】

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 20 を介して被処理体の一例であるウエハ W が載置される。

【0015】

載置台 16 の上面には、ウエハ W を静電力で吸着保持する静電チャック 20 が設けられている。静電チャック 20 は、導電膜からなる電極 20a を絶縁層 20b で挟んだ構造を有し、電極 20a には直流電源 22 が接続されている。そして、直流電源 22 からの直流電圧により生じたクーロン力等の静電力によりウエハ W が静電チャック 20 に吸着保持される。

40

【0016】

載置台 16 上であってウエハ W の周縁には、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。

【0017】

支持台 14 の内部には、例えば円周上に冷媒室 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 30a、30b 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 上のウエハ W の処理温度が制御

50

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 及びウエハ W を冷却するだけでなく、加熱する場合もあり得る。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 20 の上面とウエハ W の裏面との間に供給される。

【0018】

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 上のウエハ 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。

【0019】

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、シリコンや SiC で構成されるのが好ましい。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。

10

【0020】

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。

20

【0021】

エッジリング 24 には、可変直流電源 50 が電氣的に接続され、可変直流電源 50 から直流電圧が印加される。可変直流電源 50 から供給される直流電圧及び直流電流の極性及び電流・電圧と、これらをオン・オフする電子スイッチの制御は、制御部 200 により行われる。

【0022】

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 上のウエハ W にイオンが引き込まれる。第 1 の高周波電源 48 は、200 kHz ~ 13.56 MHz の範囲内の周波数の高周波電力を出力する。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。

30

【0023】

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、13.56 MHz 以上、例えば 100 MHz であってもよい。LF の周波数は HF の周波数よりも低く、例えば 400 kHz であってもよい。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ウ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 HF 電力を、上部電極 34 に印加してもよい。

40

【0024】

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 内を所望の真空度まで減圧可能となる。また、処理容器 10 の側壁にはウエハ 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

50

いる。すなわち、デポシールド 11 が処理容器壁を構成している。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 Y₂O₃ 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。

【0025】

かかる構成のプラズマ処理装置におい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エハ 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、例えば C₄F₈ ガスのようなフルオロカーボンガス (C_xF_y) に代表される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 O₂ ガス等の他のガスが含まれていてもよい。

10

【0026】

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 HF 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 LF 電力を載置台 16 に印加する。また、直流電源 22 から直流電圧を電極 20a に印加し、ウエハ W を載置台 16 に保持する。また、可変直流電源 50 から負の直流電圧をエッジリング 24 に印加する。

20

【0027】

上部電極 34 のガス吐出孔 37 から吐出された処理ガスは、主に HF 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エハ W の被処理面がエッチングされる。また、載置台 16 に LF 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。

【0028】

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 200 が設けられている。制御部 200 は、ROM (Read Only Memory) 及び RAM (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、ウエハ 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、CD-ROM、DVD 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収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。

30

【0029】

例えば、制御部 200 は、可変直流電源 50 から出力する負の直流電圧を、バイアスパワーの伝達経路で測定される、電圧、電流、電磁界、発生したプラズマの発光周期又はウエハ W (下部電極) 上のプラズマのシース厚の変化 (以下、「周期的に変動するパラメータ」ともいう。) の各周期内の部分期間に印加し、負の直流電圧のオンとオフとを交互に繰り返すように制御してもよい。第 2 の高周波電源 90 から出力する HF の電圧を、周期的に変動するパラメータの各周期内の部分期間に印加し、HF の電圧のオンとオフとを交互に繰り返すように制御してもよい。これにより、ウエハ W のエッジ部のホールの形状を真円にし、かつ、チルティングを防ぐことができる。

40

【0030】

バイアスパワーの供給経路とは、第 1 の高周波電源 48 整合器 46 給電棒 47 載置

50

台 1 6 プラズマ 上部電極 3 4 (グランド) をいう。バイアスパワーの伝達経路で測定される電圧、電流、電磁界とは、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、電磁界、又は、プラズマで測定される電磁界をいう。

【 0 0 3 1 】

負の直流電圧は、後述する第 1 の状態と第 2 の状態とを周期的に繰り返し、第 1 の状態は、周期的に変動するパラメータの各周期内の部分期間に印加され、第 2 の状態を第 1 の状態と連続して印加するように制御される。

【 0 0 3 2 】

周期的に変動するパラメータは、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。

10

【 0 0 3 3 】

直流電圧のオン・オフ又は絶対値の High・Low を、バイアスパワーの高周波若しくはパルス波の周期に同期する信号、又はバイアスパワーの伝達経路(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、DC 電圧のオン・オフ又は High・Low を LF 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。

【 0 0 3 4 】

また、バイアスパワーの高周波若しくはパルス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。DC 電圧は、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ようにしてもよい。

20

【 0 0 3 5 】

バイアスパワーの伝達経路で周期的に変動するパラメータを測定する方法としては、バイアスパワーの伝達経路のいずれかのパーツの近傍に電圧センサ、電流センサ又は B Z センサ(誘導磁場を測るセンサ)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。なお、図 2 には、電圧センサ 3 0 0 を示したが、これに限られず、電流センサ又は B Z センサであってもよい。また、上記各センサの配置は、給電棒 4 7 に接続されることが好ましいが、これに限られない。電圧センサ 3 0 0 等のセンサからの信号は、例えば制御部 2 0 0 の信号発生回路 1 0 2 に入力される。

30

【 0 0 3 6 】

更に、プラズマの発光周期、ウエハ W 上のプラズマのシース厚の変化の周期を指標にしても良い。プラズマの発光周期は、フォトダイオード、フォトマイクロセンサ等で検出できる。シース厚については、ICCD カメラなどを用いてナノ sec の間隔(例えば 1 0 ~ 2 5 0 n s e c) でシャッターを切り、これにより、シース厚の変化を測定できる。

【 0 0 3 7 】

なお、載置台 1 6 は、ウエハ W を載置する電極(下部電極)の一例である。上部電極は、下部電極と対向する電極の一例である。第 1 の高周波電源 4 8 は、下部電極にバイアスパワー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 9 0 は、下部電極又は上部電極に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の一例である。可変直流電源 5 0 は、エッジリング 2 4 に直流電圧を供給する直流電源の一例である。ソース電源は、処理容器 1 0 内にプラズマを供給するプラズマ生成源に相当する。

40

【 0 0 3 8 】

制御部 2 0 0 は、バイアス電源、ソース電源及び直流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 1 6) の電位を、電極電位ともいう。

【 0 0 3 9 】

[制御部の構成]

制御部 2 0 0 の具体的構成について、図 2 を参照して説明する。制御部 2 0 0 は、プロセッサ 1 0 0、信号発生回路 1 0 2、方向性結合器 1 0 5、1 0 8、電力メータ 1 1 1、オ

50

シロスコープ 112 を有する。ただし、電力メータ 111、オシロスコープ 112、方向性結合器 108 は設けなくてもよい。

【0040】

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。

【0041】

方向性結合器 105 は、LF の進行波パワーの一部をオシロスコープ 112 に与える。方向性結合器 108 は、HF の進行波パワーの一部をオシロスコープ 112 に与える。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 400 kHz であり、HF の周波数は、例えば 100 MHz である。これにより、オシロスコープ 112 では、LF の進行波の波形と HF の進行波の波形を観察できる。

10

【0042】

方向性結合器 108 は、HF の進行波の一部を電力メータ 111 に与える。電力メータ 111 は、HF の進行波の電力量を計量する。

【0043】

方向性結合器 105 は、LF の進行波の一部をプロセッサ 100 に与える。プロセッサ 100 は、LF の進行波に同期させる DC 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 DC 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、前記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。

20

【0044】

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 の進行波に同期する制御信号を発生し、可変直流電源 50 及び第1の高周波電源 48 に与える。

【0045】

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 LF 電力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、LF 電力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に同期させて又は該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。プロセッサ 100 は、第1の高周波電源 48 から LF 電力の一部を入力せずに、第1の高周波電源 48 を制御するための LF の信号を自ら生成し、その LF の信号に同期させて又は該信号から任意の遅延と任意の幅を有するオン信号とを作成してもよい。オン信号は、同期信号の一例である。

30

【0046】

信号発生回路 102 は、オン信号の間、直流電圧を発生させるために可変直流電源 50 に指令信号を送る。指令信号には、可変直流電源 50 の入力形態に応じて、オン信号の間、直流電圧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。同様に、信号発生回路 102 は、オン信号の間、HF 電力を発生させるために第2の高周波電源 90 に指令信号を送るようにしてもよい。

40

【0047】

第1の高周波電源 48 が LF 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 LF 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可変直流電源 50 に送信する。

【0048】

例えば、可変直流電源 50 の代わりに図示しない交流電源を備え、交流電源をエッジリング 24 に電氣的に接続し、制御（オン）信号に基づき交流電源から高周波電圧をエッジリ

50

ング 2 4 に印加してもよい。可変直流電源 5 0 及び交流電源は、エッジリング 2 4 に負の直流電圧及び高周波電圧の少なくともいずれかを供給する電源の一例である。

【 0 0 4 9 】

また、図 3 A に示すように、第 1 の高周波電源 4 8 から出力される L F の一部を制御部 2 0 0 に設けられた位相シフト回路 2 1 0 に入力し、位相シフト回路 2 1 0 にて L F の位相を所定量シフトさせた高周波電圧をエッジリング 2 4 に印加してもよい。

【 0 0 5 0 】

位相シフト回路 2 1 0 にて L F の位相を所定量シフトする代わりに、第 1 の高周波電源 4 8 から出力される L F の波形から任意の遅延と任意の幅を有する高周波電圧を生成し、生成した高周波電圧をエッジリング 2 4 に印加してもよい。

10

【 0 0 5 1 】

ただし、以上の制御信号の生成方法は一例であり、これに限られない。与えられた周期的に変動するパラメータの各周期内の部分期間に負の直流電圧と高周波電圧との少なくともいずれかを印加するように制御する制御信号を生成できれば、図 2 に示す制御部 2 0 0 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。直流電圧の場合、例えば、オンとオフとが交互に繰り返されるように制御する制御信号を生成してもよい。

【 0 0 5 2 】

第 1 の高周波電源 4 8 のアンプは、4 0 0 k 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 9 0 のアンプは、1 0 0 M 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。

20

【 0 0 5 3 】

信号発生回路 1 0 2 は、与えられた同期信号からバイアスパワーの伝達経路で測定される、周期的に変動するパラメータの各周期内の部分期間に負の直流電圧を印加し、負の直流電圧の絶対値が H i g h と L o w とが交互に繰り返されるように制御する制御信号を発生し、可変直流電源 5 0 に与えてもよい。信号発生回路 1 0 2 は、与えられた同期信号からバイアスパワーの伝達経路で測定される、周期的に変動するパラメータの各周期内の部分期間に高周波電圧を印加し、高周波電圧が H i g h と L o w とが交互に繰り返されるように制御する制御信号を発生し、第 2 の高周波電源 9 0 に与えてもよい。

【 0 0 5 4 】

例えば、図 3 B 及び図 3 C は、バイアスパワーの伝送経路 (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 3 B では、プロセッサ 1 0 0 が伝送経路に取り付けられた 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 D C 電圧を第 1 の状態と第 2 の状態に交互に印加する。

30

【 0 0 5 5 】

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若しくはパルス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 3 C では、プロセッサ 1 0 0 が、第 1 の高周波電源 4 8 から L F 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若しくはパルス波の周期に同期する信号を生成する。プロセッサ 1 0 0 は、生成した信号を可変直流電源 5 0 へ出力する。可変直流電源 5 0 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。

40

【 0 0 5 6 】

なお、図 3 D に示すように、プロセッサ 1 0 0 は、第 1 の高周波電源 4 8 からの信号を用いずに、第 1 の高周波電源 4 8 を制御するための信号を生成し、その生成した信号に同期する信号を生成することで、第 1 の高周波電源 4 8 から出力されたバイアスパワーの高周

50

波若しくはパルス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、第 1 の高周波電源 48 を制御する L F の信号（例えば図 5 等参照）を生成するとともに、この生成した信号に同期する、例えば図 5 の D C 電圧の信号を生成する。プロセッサ 100 は、生成した L F の信号を第 1 の高周波電源 48 に送信し、生成した D C 電圧の信号を可変直流電源 50 に送信する。第 1 の高周波電源 48 は、L F の信号に基づきバイアスパワーを出力する。可変直流電源 50 は、D C 電圧の信号に基づき D C 電圧を第 1 の状態と第 2 の状態に交互に印加する。生成した L F の信号及び D C 電圧の信号には、パワー情報が含まれる。

【 0 0 5 7 】

[プラズマ電位とウエハ電位とシース厚]

図 4 は、プラズマ電位 (Plasma potential) とウエハ電位 (Wafer potential) とシース厚との関係を説明する図である。ウエハ電位は、電極電位とほぼ同一である。図 4 (a) の横軸は時間、縦軸はウエハ W の電位を示す。図 4 は、100 MHz の周波数の H F 電力と 400 kHz の周波数の L F の電力を載置台 16 に印加し、そのときのウエハ W の電位を実測した結果を示す。ウエハ W の電位は、基本的に線 a に示す 400 kHz の低周波数の L F V p p の振幅にて示され、線 b に示す 100 MHz の高周波数の H F 電力が L F の電力に重畳することで H F V p p の幅で振動する。

【 0 0 5 8 】

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い電位になっている。重畳して載置台 16 に印加される L F と H F のうち、主に低周波数の L F によってウエハの電位が定まり、プラズマ電位とウエハ W 電位の電位差は、ウエハ W 電位が正の位相、つまり領域 A で示されるウエハ W の電位が正の領域又はその近傍で小さく、ウエハ W 電位が負に大きい位相、つまり領域 B で示されるウエハ W の電位が負に深い領域では極めて大きくなることわかる。

【 0 0 5 9 】

シースの厚さは式 (1) により求められ、プラズマ電位とウエハ W 電位の電位差に概ね比例する。

【 0 0 6 0 】

【 数 1 】

$$Sheath\ Thickness = \frac{\sqrt{2}}{3} \left(\frac{\epsilon_0 \cdot T_e}{e \cdot N_e} \right) \left(\frac{2V_{dc}}{T_e} \right)^{\frac{3}{4}}$$

ここで、V d c は自己バイアス、T e はプラズマ温度、N e はプラズマ密度、 ϵ_0 は真空の誘電率、e は電気素量である。

【 0 0 6 1 】

これによれば、ウエハ W 電位が正の位相の場合、プラズマ電位とウエハ W 電位の電位差及びプラズマ電位とエッジリング 24 電位の電位差は小さくなり、図 4 (b) に示すようにウエハ W 及びエッジリング 24 上のシースの厚さは薄くなる。

【 0 0 6 2 】

この結果、ウエハ W のエッジ部の、エッジリング 24 との間に形成された隙間 S にプラズマが入り込み、シースに歪みが生じる。このため、隙間 S では、このシースの歪みによってウエハ W の外周側のイオンは、ウエハ W のエッジ部ではウエハ W の内側に向かって斜めに入射される。

【 0 0 6 3 】

10

20

30

40

50

一方、ウエハW電位が負に大きい位相のとき、つまり領域Bでは、プラズマ電位とウエハW電位の電位差及びプラズマ電位とエッジリング24電位の電位差は大きくなり、図4(c)に示すようにウエハW及びエッジリング24上のシース厚は厚くなる。

【0064】

よって、ウエハW電位が負に大きい位相のとき、隙間Sにおけるシースの歪みはなく、イオンは、シースの中で十分に加速し、ウエハWのエッジ部においてもウエハWに垂直に入射される。

【0065】

このようにしてウエハWのエッジ部では、隙間Sにおけるシースの歪みの有無が周期的に繰り返されることで、ウエハW電位によりイオンがウエハWに斜めに入射したり、垂直に入射したりすることが周期的に連続的に繰り返された結果、ウエハWのエッジ部にてホールが楕円形状になると考えられる。

10

【0066】

一方、隙間Sがなければ上記シースの歪みは発生しない。しかし、ウエハWは一枚ずつ搬送され、載置台16に載置される毎にわずかに位置がずれる。よって、ウエハWからエッジリング24までの間には、ウエハWに位置ずれが生じてウエハWがエッジリング24に接触しないように隙間Sを設ける必要がある。

【0067】

また、近年、LFが数MHzから数100kHzまで低周波数化しており、ウエハWのエッジ部にてホールの真円度が崩れたり、チルティングが発生したりすることが顕在化している。つまり、LFが数MHz程度のときには、シースの厚さがLFの周期で変化してもイオンは重いため、イオンの加速方向が明確に区別されず、LFの自己バイアスVdcによってほぼ一定のエネルギーで入射し、イオンの入射角の変化は少なかった。

20

【0068】

一方、例えば、LFが数100kHzと低いと、シースの厚いタイミングと薄いタイミングとで、イオンの加速方向が明確に区別されるようになり、ウエハ電位又は電極電位が正のときと負のときでイオンの入射角が変化することが周期的に連続的に繰り返され、ウエハWのエッジ部にてホールが楕円形状に形成され易くなる。

【0069】

そこで、本実施形態に係るプラズマ処理装置1では、ウエハ電位又は電極電位に対応してエッジリング24に負の直流電圧を印加し、エッジリング24におけるシースの厚さを制御する。これにより、ウエハWに真円度の高いホールを形成し、かつ、チルティングの発生を防止してエッチング形状を垂直にすることができる。

30

【0070】

[負の直流電圧の印加方法とその効果]

本実施形態に係る負の直流電圧の印加方法とその効果について、図5を参照しながら説明する。図5は、一実施形態に係る負の直流電圧の印加方法の一例と、その効果の一例を示す図である。図5(a)の横軸は時間、縦軸はウエハWの電位を示す。図5、図6、図8では、Vdcが深く、大きなVppにて振動するLFにHFが重畳し、HFは小さなVppにより振幅していることが示されている。

40

【0071】

制御部200は、電極電位が正のタイミングに応じてエッジリング24に印加する負の直流電圧を制御する。以下では、エッジリング24に印加する直流電圧の制御を説明する。

【0072】

エッジリング24に印加する直流電圧を制御する方法の一例として、制御部200は、電極電位が正のタイミングに同期してエッジリング24に負の直流電圧を印加してもよい。また、制御部200は、電極電位が0の近傍のタイミングに、エッジリング24に負の直流電圧を印加してもよい。また、制御部200は、電極電位が自己バイアスVdcよりも0に近いタイミングに、エッジリング24に負の直流電圧を印加してもよい。また、制御部200は、電極電位が負に最も深い時間帯以外のときに、エッジリング24に負の直流

50

電圧を印加してもよい。また、制御部 200 は、ウエハ W の周縁部とエッジリング 24 との間隙 S にプラズマが入り込まないように又は経験則によりホールが真円に形成されるように負の直流電圧を制御してもよい。

【0073】

電極電位が正のとき、シースは薄くなる。よって、このときに負の直流電圧（例えば、図 5 の領域 A に示す DC 電圧 d_1 ）をエッジリング 24 に印加することで、エッジリング 24 の電位は、図 5 (a) の線 c に示す電位に制御される。これにより、ウエハ W 電位とプラズマ電位の電位差が小さい領域 A のタイミングにおいて該電位差を大きくすることで、エッジリング 24 上のシースを厚くできる。つまり、電極電位が正又は正の近傍のときに負の直流電圧を印加することで、シースを図 5 (b) から図 5 (c) の状態に厚くすることができる。これにより、ウエハ W の周縁の間隙 S にプラズマが入り込むことを回避できる。これにより、ウエハ W のエッジ部において間隙 S におけるシースの歪みによってイオンがウエハ W に斜めに入射することを回避でき、ホールが楕円形状に形成されることや、チルティングを防止できる。

10

【0074】

ただし、負の直流電圧を印加するタイミングは、電極電位が正のタイミングに限られない。それ以外のタイミング、例えば、電極電位が正のピークを含むタイミング、電極電位が正のタイミングにその前後の負のタイミングを含むタイミング、電極電位が 0 の近傍以外のタイミング又は電極電位が自己バイアス V_{dc} よりも深いタイミング、電極電位が正のタイミング又は負のタイミングに任意の遅延と任意の幅を有する時間等に負の直流電圧を印加してもよい。

20

【0075】

なお、シースを厚くする手段としては、負の直流電圧を連続的に印加する代わりに、LF の電圧のピークに対応するパルス状の電力（以下、「LF パルス」ともいう。）に応じて負の直流電圧等の供給タイミングを制御してもよい。加えて、HF 電力を大きくするように制御してもよい。

【0076】

図 7 には、LF パルス i に応じてエッジリング 24 に印加する負の直流電圧を制御する方法が示されている。例えば、図 7 に示すように、Duty が 30% ~ 50% の LF パルス i に応じてエッジリング 24 に印加する負の直流電圧を制御してもよい。例えば、LF パルス i が 0 の場合、エッジリング 24 に負の直流電圧を印加し、LF パルス i が 0 以外の場合、負の直流電圧の印加を停止するか、そのまま連続して負の直流電圧を印加するか、図 7 に示す曲線 c の LF V_{pp} の電圧になるように負の直流電圧を印加してもよい。

30

【0077】

これにより、ウエハ W 上のシースが薄い領域 A においてもシースを厚く制御することができ、ウエハ W のエッジ部においても真円度の高いホールを形成し、かつ、チルティングの発生を防止してエッチング形状を垂直にすることができる。なお、Duty が 30% ~ 50% の負の LF パルス i とは、一周期において電圧が 0 である時間の割合が 30% ~ 50% の波形をいう。

【0078】

エッジリング 24 に負の直流電圧を連続して印加してもよいが、エッジリング 24 への負の直流電圧の印加をオン・オフする場合、その条件の一例としては、一象限で一方向しか電流を流せない DC 電源や、DC 電源の出力にダイオード等を取り付け、一方向にしか電流が流れないようにした場合、図 6 に示すように、プラズマ電位より負に大きくしたいタイミングにおいて負の直流電圧 e_1 を印加し、それ以外のタイミングでは直流電圧 e_2 を 0 に制御してもよい。このように、印加する負の直流電圧は、第 1 の状態の第 1 の電圧値 e_1 が第 2 の状態の第 2 の電圧値 e_2 よりも小さい。

40

【0079】

また、一方向しか電流を流せない電源の場合、プラズマ電位よりも浅い電位の負の直流電圧を印加しても、電流は流れず、シースを厚くする効果は生じない。四象限の電源の場合

50

、電圧と電流の方向が双方向であるため、電源を保護するために直流電圧は切らず、ウエハW電位に沿って直流電圧を印加することが好ましい。図5に示すように、プラズマ電位よりも負に大きくしたいタイミングにおいて負の直流電圧d1を印加し、それ以外のタイミングでは図5に示す曲線aのLF Vppの電圧になるように負の直流電圧d2を印加してもよい。この場合にも、印加する負の直流電圧は、第1の状態の第1の電圧値d2が第2の状態の第2の電圧値d1よりも小さい。

【0080】

(直流電圧の印加方法のその他の例)

ウエハW上のシースの厚さを測定し、測定したシースの厚さに応じてエッジリング24に印加する負の直流電圧の値を制御してもよい。例えば、ウエハWのシースの厚さが予め定められた閾値以下のときに、エッジリング24に印加する負の直流電圧を印加してもよい。ウエハWのシースの厚さが閾値を上回るときに、エッジリング24に印加する負の直流電圧の供給を停止してもよい。

10

【0081】

また、ウエハWのシースの厚さが閾値以下のときに、エッジリング24に印加する負の直流電圧を段階的又は滑らかに変化させるように制御してもよい。

【0082】

電極電位が正のタイミングから任意の遅延と任意の幅を有する時間帯に、エッジリング24に印加する負の直流電圧を印加してもよい。例えば、電極電位が正のタイミングから前後に所定時間だけ長い時間帯、前後に所定時間だけ短い時間帯、任意の時間だけ前後にずれた時間帯に、エッジリング24に印加する負の直流電圧を印加してもよい。

20

【0083】

直流電圧は、第1の電圧値を有する第1の状態と、前記第1の電圧値よりも高い第2の電圧値を有する第2の状態とを周期的に繰り返し、前記電極の電位の各周期内の部分期間に前記第1の電圧値を印加し、前記第1の状態と前記第2の状態とが連続するように前記第2の電圧値を制御するプログラムを有する記憶媒体を用いて、制御部200により制御される。

【0084】

[変形例：DC電圧の印加方法(チルト制御)]

次に、エッジリング24の消耗に応じた変形例に係る負の直流電圧の印加方法について、図8及び図9を参照しながら説明する。

30

【0085】

エッジリング24の消耗によりウエハWのシースの高さとエッジリング24のシースの高さに段差が生じると、ウエハWのエッジ部におけるエッチング形状が垂直形状にならず、斜めになるチルティングが生じる。これに対して、エッジリング24の消耗に応じてエッジリング24に印加する負の直流電圧の絶対値を大きくすることでシースを厚くすることができる。

【0086】

つまり、変形例に係るエッジリング24に印加する直流電圧の印加方法では、上記実施形態に係る直流電圧の印加方法によって制御される負の直流電圧に対して、エッジリング24の消耗度合に応じて負の直流電圧の絶対値が大きくなるように補正を行い、補正後の負の直流電圧をエッジリング24に印加する。これにより、図8に示すように、直流電圧を印加した後のエッジリング24の電位を、補正前の負の直流電圧を印加したときの電位cから、エッジリング24の消耗度合に応じた補正後の負の直流電圧を印加したときの電位fに変えることができる。

40

【0087】

これにより、エッジリング24のシースの厚さをエッジリング24の消耗に応じて厚くすることで、ウエハWのシースとエッジリング24のシースの厚さを揃えることができる。これにより、ウエハWのエッジ部においてチルティングの発生を抑制し、かつ真円のホールを形成することができる。

50

【 0 0 8 8 】

制御部 2 0 0 は、電極電位が正のとき及び負のときのそれぞれにおいて、独立して直流電圧を補正することが好ましい。例えば、制御部 2 0 0 は、電極電位が正のときと負のときとでそれぞれ異なる負の値に印加する直流電圧を補正してもよいし、電極電位が負のときには負の直流電圧をオフしてもよい。

【 0 0 8 9 】

制御部 2 0 0 は、エッジリング 2 4 の使用時間、H F 電力の印加時間、H F 電力と L F 電力の合計印加時間の少なくともいずれかに基づき、エッジリング 2 4 の消耗度合いを予測して制御する負の直流電圧を補正してもよい。

【 0 0 9 0 】

補正方法としては、例えば、エッジリング 2 4 の使用時間、H F 電力の印加時間又は H F 電力と L F 電力の合計印加時間に対する直流電圧の補正值を予め制御部 2 0 0 のメモリに記憶してもよい。制御部 2 0 0 は、メモリに記憶した情報から、エッジリング 2 4 の使用時間、H 電力 F の印加時間又は H F 電力と L F 電力の合計印加時間によってエッジリング 2 4 の消耗量に応じた直流電圧の補正量を抽出し、エッジリング 2 4 に印加する補正後の直流電圧の値を決定してもよい。

10

【 0 0 9 1 】

あるいは、エッジリング 2 4 の消耗量に対する直流電圧の補正值を予め制御部 2 0 0 のメモリに記憶しておく。制御部 2 0 0 は、エッジリング 2 4 の厚さを実測し、エッジリング 2 4 の消耗量の実測値に応じてメモリに記憶した情報から、エッジリング 2 4 の消耗量に応じた直流電圧の補正量を抽出し、エッジリング 2 4 に印加する補正後の直流電圧の値を決定してもよい。

20

【 0 0 9 2 】

電極電位に応じて負の直流電圧を複数の段階に分けて制御してもよい。それぞれの段階の電極電位に応じて固定又は可変の負の直流電圧を印加する例を図 9 に示す。図 9 では、電極電位（ウエハ電位）に応じて 3 段階の固定の異なる負の直流電圧が印加される。g は、3 段階の負の直流電圧を段階的にエッジリング 2 4 に印加した場合の一例を示す。電極電位に応じて負の直流電位をエッジリング 2 4 に滑らかに印加してもよい。

【 0 0 9 3 】

以上に説明したように、本実施形態のプラズマ処理装置 1 及び D C の印加方法によれば、電極電位に応じて直流電圧等の印加タイミングを制御することで、ウエハ W においてホルルの楕円形状やチルティングの発生を抑制することができる。

30

【 0 0 9 4 】

[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、ウエハ W を載置する載置台 1 6 に供給する工程と、負の直流電圧をエッジリング 2 4 に供給する工程と、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。

【 0 0 9 5 】

本制御方法では、負の直流電圧と高周波電圧とは、第 1 の状態と第 2 の状態とを周期的に繰り返す。前記負の直流電圧は、前記第 1 の状態の第 1 の電圧値が前記第 2 の状態の第 2 の電圧値よりも小さい。前記高周波電圧は、前記第 1 の状態の第 1 の電圧値が前記第 2 の状態の第 2 の電圧値よりも大きい。

40

【 0 0 9 6 】

さらに、本制御方法は、第 1 の状態をバイアスパワーの伝達経路で測定される、周期的に変動するパラメータの各周期内の部分期間に印加し、第 2 の状態を第 1 の状態と連続して印加する第 1 制御工程を含む。

【 0 0 9 7 】

第 1 の状態及び第 2 の状態は、エッジリングへ印加する直流電圧がオン及びオフに制御される状態に限られず、電圧値の絶対値が H i g h 及び L o w に制御される状態を含む。

50

【 0 0 9 8 】

[変形例 1 - 1 ~ 1 - 4]

次に、一実施形態の変形例 1 - 1 ~ 1 - 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 1 - 1 ~ 1 - 4 では、バイアスパワーと DC 電圧とのいずれか又は両方を間欠的に停止する制御を行う。図 1 0 A ~ 図 1 0 D は、一実施形態の変形例 1 - 1 ~ 1 - 4 に係る制御方法を示すタイミングチャートである。

【 0 0 9 9 】

図 1 0 A の変形例 1 - 1 では、第 1 制御工程に加えて、DC 電圧を、LF 電圧により一例を示す周期的に変動するパラメータ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。

10

【 0 1 0 0 】

変形例 1 - 1 では、LF 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、DC の電圧は、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。

【 0 1 0 1 】

第 1 制御工程及び第 2 制御工程では、LF の周波数は、例えば 0 . 1 H z ~ 1 0 0 k H z であってもよい。図 1 0 A の変形例 1 - 1 ~ 図 1 0 D の変形例 1 - 4 では、エッジリングの電位が第 1 の状態になるように、電極電位を一例とする周期的に変動するパラメータが正の値を含む部分期間に DC 電圧又は高周波電圧を印加し、第 2 の状態を第 1 の状態と連続して印加する。DC 電圧の場合、負の値であり、第 1 の状態の第 1 の電圧値が第 2 の状態の第 2 の電圧値よりも小さい。

20

【 0 1 0 2 】

図 1 0 A の変形例 1 - 1 ~ 図 1 0 D の変形例 1 - 4 では、DC の電圧の第 1 の状態が負の電圧値を有し、第 2 の状態が 0 である。なお、DC 電圧の Duty 比 (= 第 4 の状態 / (第 3 の状態 + 第 4 の状態)) は、1 % ~ 9 9 % の範囲内であればよい。

【 0 1 0 3 】

所定の高周波電圧 (以下、「RF 電圧」ともいう。) をエッジリング 2 4 へ供給してもよい。この場合、第 2 の高周波電源 9 0 から、RF 電圧をエッジリング 2 4 に供給してもよいし、載置台 1 6 に RF 電圧を印加する RF 電源を別途設けてもよい。RF 電圧は、第 1 の状態の第 1 の電圧値が第 2 の状態の第 2 の電圧値よりも大きい。

30

【 0 1 0 4 】

図 1 0 A の変形例 1 - 1 において、第 1 制御工程における LF 電圧が正のタイミングで同期した DC の電圧が第 1 の状態をとるのが、第 3 の状態の一例である。第 2 制御工程における LF 電圧の周期と独立した DC の電圧の状態は、第 3 の状態と異なる第 4 の状態の一例である。

【 0 1 0 5 】

図 1 0 B の変形例 1 - 2 にかかる制御方法は、変形例 1 - 1 と同じ第 1 制御工程に加えて、バイアスパワー (LF 電圧) を DC の電圧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。

40

【 0 1 0 6 】

変形例 1 - 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 1 - 2 では、第 3 制御工程における DC の電圧は、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。

【 0 1 0 7 】

なお、第 1 制御工程において LF の周波数は、例えば 0 . 1 H z ~ 1 0 0 H z であってもよく、LF の電圧の Duty 比 (= 第 4 の状態 / (第 3 の状態 + 第 4 の状態)) は、1 % ~ 9 0 % の範囲内であればよい。

【 0 1 0 8 】

図 1 0 C の変形例 1 - 3 にかかる制御方法は、変形例 1 - 1 と同じ第 1 制御工程に加えて

50

、変形例 1 - 1 の第 2 制御工程の D C の制御と変形例 1 - 2 の第 3 制御工程の L F の制御が行われる。つまり、変形例 1 - 3 における D C の電圧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。

【 0 1 0 9 】

バイアスパワーを間欠的に停止する周期と D C の電圧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、D C 及びバイアスパワーを間欠的に停止する周期は、図 1 0 C に示すように一致してもよいし、図 1 0 D に示すように、D C がバイアスパワーよりも後ろにずれていてもよいし、D C がバイアスパワーよりも前にずれていてもよい。

【 0 1 1 0 】

なお、図 1 0 A ~ 図 1 0 D では、第 3 の状態において、バイアスパワーが正の一部のタイミングに、D C の電圧をオンしているが、これに限られない。また、D C の電圧を周期的にオン・オフする替わりに、D C の電圧を負の値であって周期的に絶対値が High・Low になるように制御してもよい。

10

【 0 1 1 1 】

[変形例 2]

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

【 0 1 1 2 】

例えば、変形例 2 に係る制御方法では、図 1 1 に示すように L F パルスが載置台 1 6 に印加される。L F パルスの正の値は、L F の電圧の正のピークに一致し、L F パルスの負の値は、L F の電圧の負のピークに一致する。

20

【 0 1 1 3 】

この場合、変形例 2 に係る制御方法では、負の直流電圧又は高周波電圧は第 1 の状態と第 2 の状態とを周期的に繰り返し、第 1 の状態を、L F パルスの各周期内の部分期間に印加し、第 2 の状態を第 1 の状態と連続して印加する。これによっても、ウエハ W のエッジ部のホールの楕円形状やチルティングの発生を防ぐことができる。

【 0 1 1 4 】

例えば、L F パルスが 0 又は正の間の一部又は全部において D C 電圧は、第 1 の状態の第 1 の電圧値に制御され、L F パルスが負の間の一部又は全部において第 2 の状態の第 2 の電圧値は、第 1 の状態の第 1 の電圧値よりも大きくなるように制御してもよい。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 D C の電圧を 2 値化して制御するため、制御が容易になる。

30

【 0 1 1 5 】

[変形例 3 - 1、3 - 2、3 - 3、3 - 4]

図 1 2 A は、一実施形態の変形例 3 - 1 に係る制御方法を示すタイミングチャートである。図 1 2 B は、一実施形態の変形例 3 - 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 2 C は、一実施形態の変形例 3 - 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 2 D は、一実施形態の変形例 3 - 4 に係る制御方法を示すタイミングチャートである。例えば、図 1 2 A 及び図 1 2 B に示す変形例 3 - 1、3 - 2 に係る制御方法では、エッジリングの電位が第 1 の状態になるように、電極電位を一例とする周期的に変動するパラメータが正の値を含む部分期間に D C の電圧又は高周波電圧を印加し、第 2 の状態を第 1 の状態と連続して印加する。図 1 2 C 及び図 1 2 D に示す変形例 3 - 3、3 - 4 に係る制御方法では、エッジリングの電位が第 1 の状態になるように、電極電位を一例とする周期的に変動するパラメータが負の値を含む部分期間に D C 電圧又は高周波電圧を印加し、第 2 の状態を第 1 の状態と連続して印加する。図 1 2 A に示す変形例 3 - 1 及び図 1 2 C に示す変形例 3 - 3 では、D C の電圧の第 1 の状態が、負の値であって段階的に 2 つ以上の第 1 の電圧値を有する。この場合にも負の直流電圧は、第 1 の状態の第 1 の電圧値が第 2 の状態の第 2 の電圧値よりも小さい。

40

【 0 1 1 6 】

高周波電圧を印加する場合には、第 1 の状態の第 1 の電圧値の絶対値が第 2 の状態の第 2

50

の電圧値の絶対値よりも大きい。高周波電圧は、第2の高周波電源90からエッジリング24に供給してもよいし、高周波電圧を印加するRF電源を別途設けてもよい。

【0117】

図12Bに示す変形例3-2及び図12Dに示す変形例3-4では、高周波電圧の第1の状態が、滑らかに2つ以上の第1の電圧値を有する。図12A及び図12Bのいずれの場合にも、第1の状態と第2の状態とは周期的に繰り返される。

【0118】

例えば、図12Aに示す変形例3-1及び図12Cに示す変形例3-3では、DCの電圧の第1の状態が、負の値であって段階的に2つ以上の第1の電圧値を有する。この場合にも負の直流電圧は、第1の状態の第1の電圧値が第2の状態の第2の電圧値よりも小さい。

10

【0119】

高周波電圧を印加する場合には、第1の状態の第1の電圧値が第2の状態の第2の電圧値よりも大きい。高周波電圧は、第2の高周波電源90からエッジリング24に供給してもよいし、高周波電圧を印加するRF電源を別途設けてもよい。

【0120】

図12Bに示す変形例3-2及び図12Dに示す変形例3-4では、高周波電圧の第1の状態が、滑らかに2つ以上の第1の電圧値を有する。図12A～図12Dのいずれの場合にも、第1の状態と第2の状態とは周期的に繰り返される。

【0121】

以上に説明したように、負の直流電圧と高周波電圧とは、第1の状態と第2の状態とを周期的に繰り返す。負の直流電圧は、第1の状態の第1の電圧値が第2の状態の第2の電圧値よりも小さく、高周波電圧は、第1の状態の第1の電圧値が第2の状態の第2の電圧値よりも大きい。

20

【0122】

DCの電圧及び高周波電圧の第1の状態は、電極電位が負の値を含む部分期間に印加してもよい。変形例3-1、3-2では、第1の状態におけるDCの電圧又はRF電圧を複数の値に制御することで、ウエハWのエッジ部のホールの楕円形状やチルティングの発生を防ぐことができる。なお、各変形例にかかる第1の状態の直流電圧及びRF電圧は、エッジリング24の消耗度合いに応じて補正した値であってもよい。

【0123】

エッジリング24へ供給するRF電圧の周波数は、バイアスパワーの周波数よりも高いことが好ましい。エッジリング24にRF電圧を印加する際のRFの周波数の適正值について図13～図15を参照して説明する。図13～図15は、一実施形態のRFの周波数とウエハW及びエッジリング24の電位差の一例を示す図である。

30

【0124】

図13に一例を示すように、バイアスパワーの周波数(400kHz)よりも低い周波数(200kHz)のRF電圧をエッジリング24に印加すると、ウエハWの電位とエッジリング24の電位との間に各種の電位差が生じ、これに応じてウエハWとエッジリング24のシースの厚さが径方向で大きく変わる。よって、バイアスパワーの周波数よりも低い周波数のRF電圧をエッジリング24に印加すると、ウエハWのエッジ周辺におけるエッチング形状が悪化する恐れがある。

40

【0125】

次に、図14(a)及び(b)に一例を示すように、バイアスパワーの周波数(400kHz)と同一周波数のRF電圧をエッジリング24に印加する場合について説明する。図14(a)は、RF電圧の位相をバイアスパワーの位相と同一にし、RF電圧を変えた場合のウエハWの電位とエッジリング24の電位とを示す。この場合、ウエハWとエッジリング24のシースの厚さの大小関係を変えることはできない。例えば、エッジリング24の電位を深くすることができるが、エッジリング24のシースを薄くすることはできない。

【0126】

図14(b)は、更にバイアスパワーの位相に対してRF電圧の位相を変えた場合のウエ

50

ハWの電位とエッジリング24の電位とを示す。この場合、図14(b)のT領域ではウエハWの電位がエッジリング24の電位よりも深くなり、エッジリング24のシースはウエハWのシースよりも薄くなる。一方、図14(b)のU領域ではエッジリング24の電位がウエハWの電位よりも深くなり、エッジリング24のシースはウエハWのシースよりも厚くなる。このため、ウエハWの電位とエッジリング24の電位との電位差に応じて、ウエハWのエッジ周辺においてイオンの入射角が、内側に向いたり外側に向いたりする。このため、ウエハWのエッジ周辺におけるホルの真円度が崩れてしまう恐れがある。よって、バイアスパワーの周波数と同一周波数のRF電圧をエッジリング24に印加する場合には、LFとRFの位相を揃えること好ましい。

【0127】

図15は、バイアスパワーの周波数よりも高い周波数のRF電圧をエッジリング24に印加した場合に、RF電圧の印加時間を調整した図である。図15(a)は、LFのVdcが深く、Vppが大きいウエハ電位（ウエハ電位は電極電位に概ね等しい）が負のときに、RF電圧を印加した場合のバイアスパワーの振幅とRF電圧の振幅を示す。

【0128】

図15(b)は、RF電圧を連続的に印加した場合のバイアスパワーの振幅とRFの振幅を示す。図15(c)は、ウエハ電位が正のときに、RF電圧を印加した場合のバイアスパワーの振幅とRFの振幅を示す。

【0129】

図15(a)では、LFのVdcが深く、Vppが大きいタイミングにエッジリング24にRF電圧を印加する。電極電位が負のときにはプラズマ密度が低くなりエッジリング24のシースは厚くなる。これにより、ウエハWのエッジ周辺においてイオンの入射角を垂直又は径方向の外側に補正することができる。

【0130】

これに対して、図15(c)では、電極電位が正のときにはプラズマ密度が高くなりエッジリング24のシースは薄くなる。これにより、ウエハWのエッジ周辺においてイオンの入射角を垂直又は径方向の内側に補正することができる。

【0131】

以上から、図15(b)に示すようにRF電圧を連続的に印加することや、図15(a)及び(c)に示すようにRF電圧を電極電位の値に応じて断続的に印加することで、エッジリング24のシースの厚さを制御することができる。これにより、ウエハWのエッジ周辺におけるエッチング形状を良好にすることができる。

【0132】

以上では、可変直流電源50からエッジリング24に印加する直流電圧についての制御方法を説明したが、これに限られず、例えば、図示しない交流電源からエッジリング24に印加する高周波電圧についても直流電圧についての制御方法と同様に制御することができる。

【0133】

つまり、本実施形態に係るプラズマ処理装置は、処理容器と、前記処理容器内で被処理体を載置する電極と、前記処理容器内にプラズマを供給するプラズマ生成源と、前記電極にバイアスパワーを供給するバイアス電源と、前記被処理体の周縁に配置されるエッジリングと、前記バイアスパワーの周波数と同一の周波数を有する高周波電圧を前記エッジリングに供給する高周波電源と、前記電極の電位の位相に対して所定の位相差を生じるように前記高周波電圧を印加する第1制御手順を含むプログラムを有する記憶媒体と、前記記憶媒体のプログラムを実行する制御部とを有してもよい。所定の位相差は、 $90^{\circ} \sim 270^{\circ}$ であってもよい。

【0134】

また、例えば、直流電圧に三角波で出力される電圧を合成するなど、直流電圧に他の電圧を合成した電圧をかけてもよい。

【0135】

10

20

30

40

50

前記プログラムは、CD-ROM、DVD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、制御部により読み出されるようにしてもよい。

【0136】

[変形例4]

変形例4について、図16を参照して説明する。図16は、一実施形態の変形例4に係る制御方法を示すタイミングチャートである。変形例4では、DC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16の例では、DC電圧の第1の状態は、負の電圧値と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。

10

【0137】

[変形例5]

変形例5について、図17を参照して説明する。図17は、一実施形態の変形例5に係る制御方法を示すタイミングチャートである。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パルスの波形であってもよい。LFパルスは、図11に示す波形の他、図17に示すテイラード波形等の任意の波形を含む。テイラード波形では、図17に示すDC電圧が第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。

【0138】

20

なお、同様にして、DC電圧の第1の状態が2つ以上の電圧値をとる場合、DC電圧の波形は、図12A～図12Dに示すように、第1の状態が2つ以上の電圧値をとってもよいし、第2の状態が2つ以上の電圧値をとってもよい。第2の状態の電圧値は0であってもよい。また、図16に示すように、第1の状態が2つ以上の電圧値を繰り返してもよい。DC電圧の第1の状態又は第2の状態の波形は、LFパルスと同様、図17に示すテイラード波形でもよい。

【0139】

以上に説明したように、電極の電位は、バイアスパワーの伝達経路で測定された、周期的に変動するパラメータにより定められてもよい。周期的に変動するパラメータは、電圧、電流、電磁界、発生したプラズマの発光の変化又は被処理体上のプラズマのシース厚の変化であってもよい。電極の電位は、バイアスパワーの高周波若しくはパルス波の周期に同期する信号により定められてもよい。

30

【0140】

本発明にかかる制御方法及びプラズマ処理装置は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内で種々の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、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。

【0141】

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。

40

【0142】

本明細書では、被処理体の一例として半導体ウエハWを挙げて説明した。しかし、被処理体は、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よい。

【符号の説明】

【0143】

1...プラズマ処理装置

10...処理容器

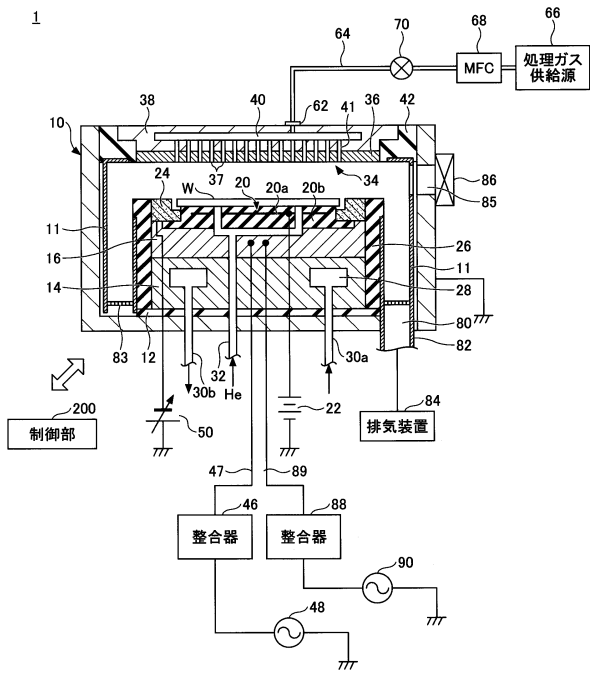
16...載置台(下部電極)

50

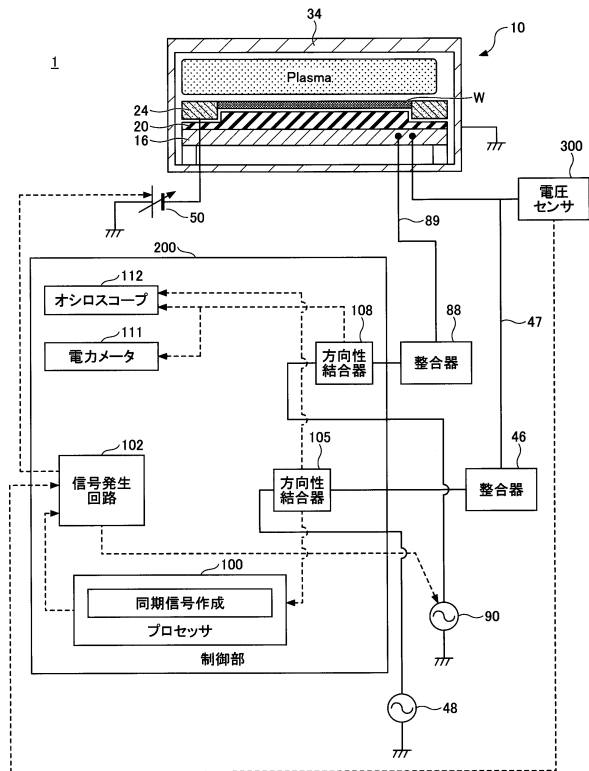
- 3 4 ... 上部電極
- 4 7 ... 給電棒
- 4 6 ... 整合器
- 4 8 ... 第 1 の高周波電源
- 5 0 ... 可変直流電源
- 6 6 ... 処理ガス供給源
- 8 4 ... 排気装置
- 8 8 ... 整合器
- 8 9 ... 給電棒
- 9 0 ... 第 2 の高周波電源
- 1 0 0 ... プロセッサ
- 1 0 2 ... 信号発生回路
- 2 0 0 ... 制御部

【 図 面 】

【 図 1 】



【 図 2 】



10

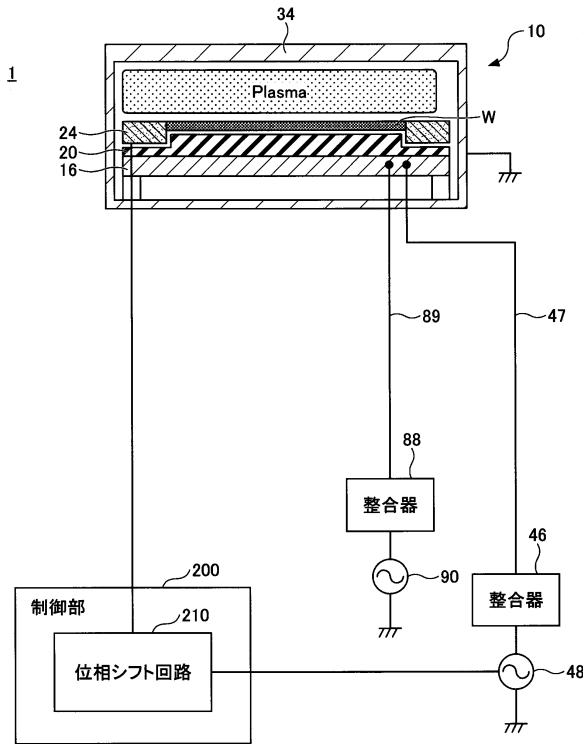
20

30

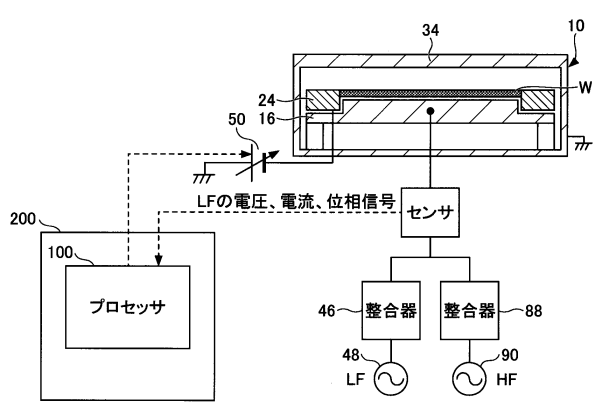
40

50

【図3A】



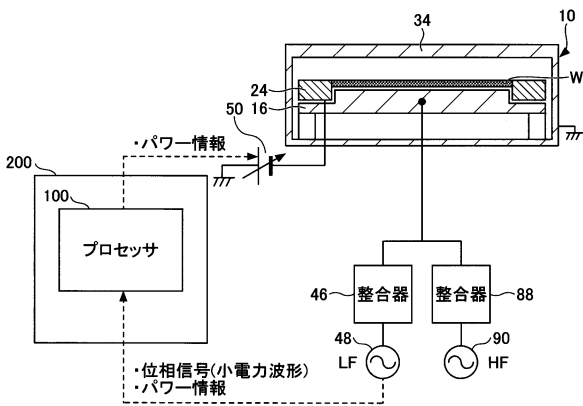
【図3B】



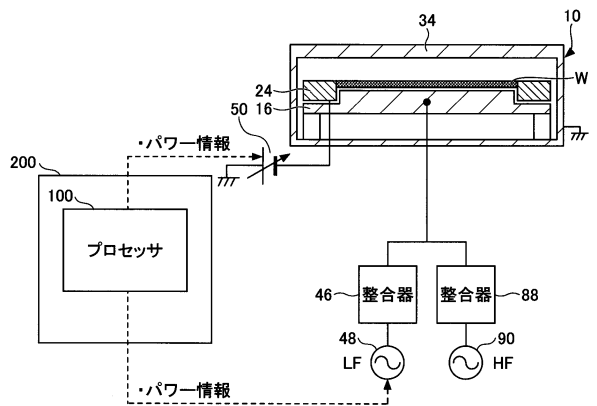
10

20

【図3C】



【図3D】

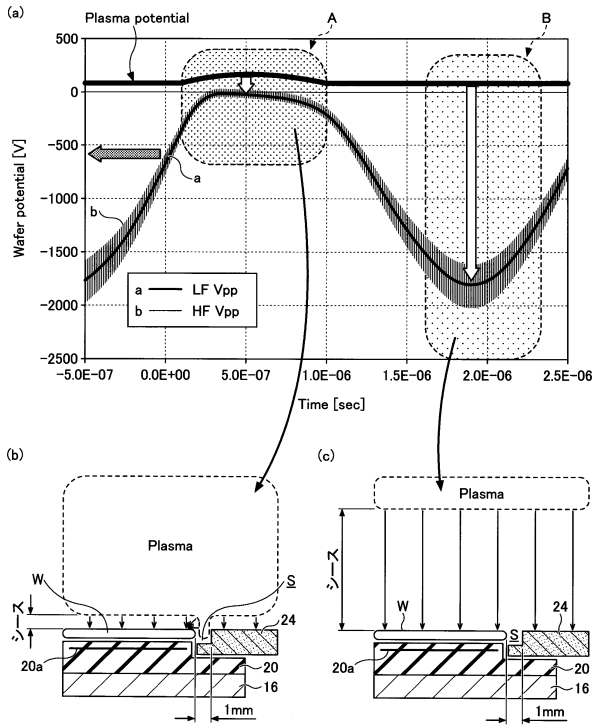


30

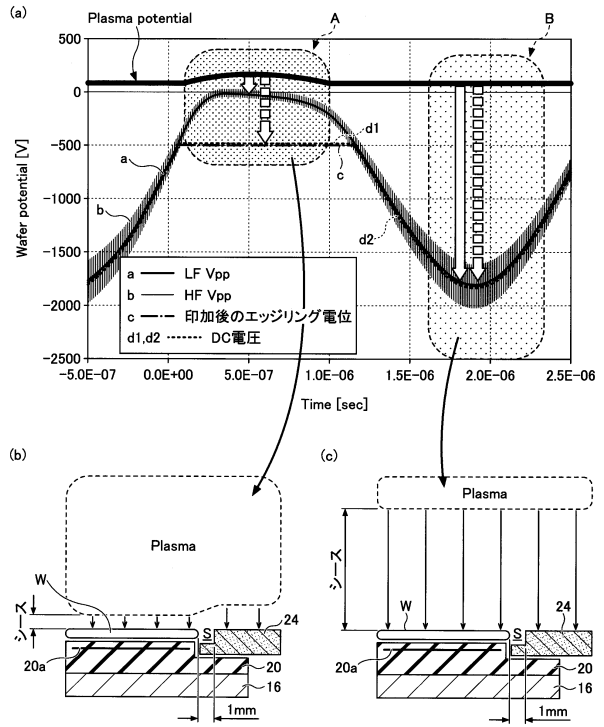
40

50

【 図 4 】



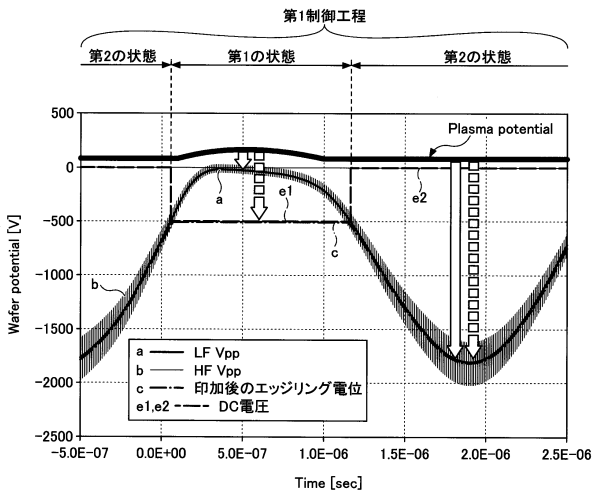
【 図 5 】



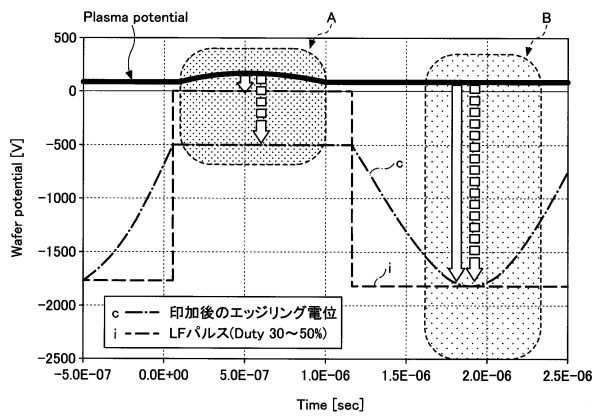
10

20

【 図 6 】



【 図 7 】

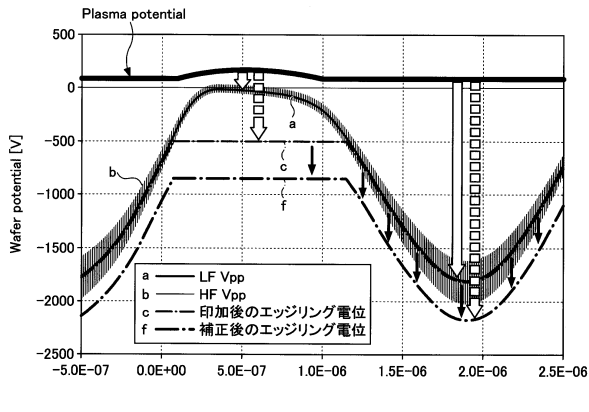


30

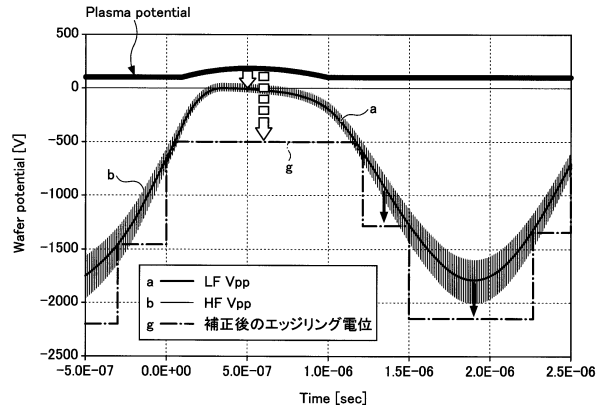
40

50

【 図 8 】

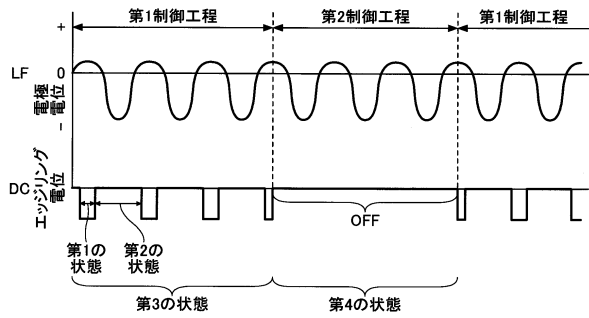


【 図 9 】

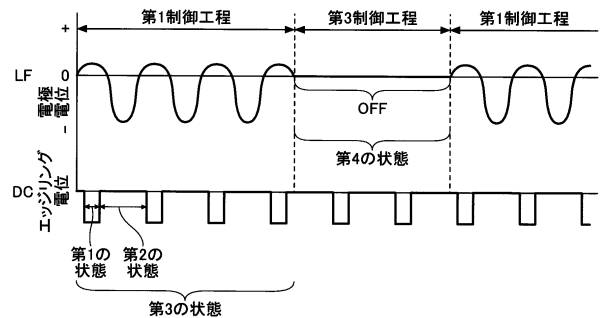


10

【 図 10 A 】



【 図 10 B 】



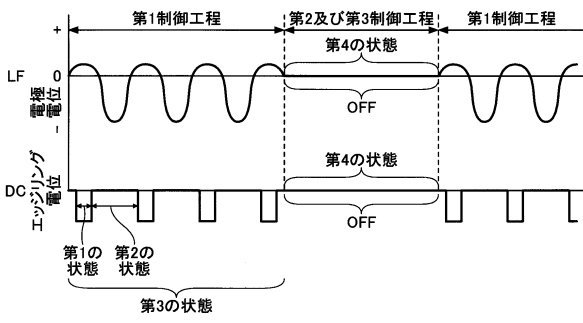
20

30

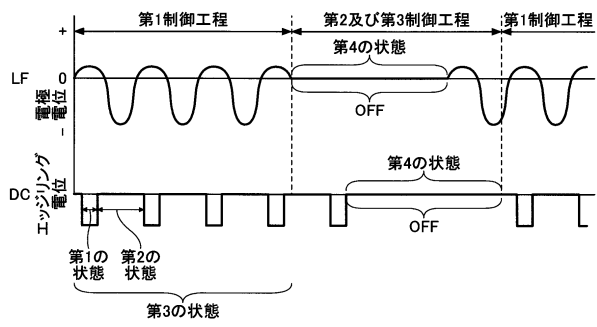
40

50

【図 10 C】

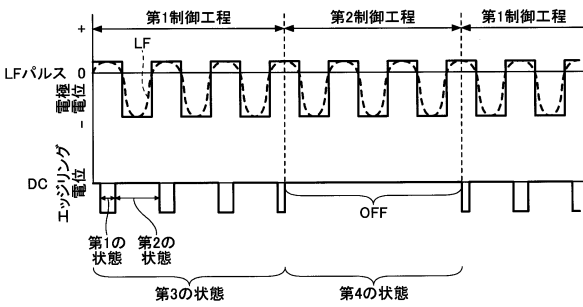


【図 10 D】

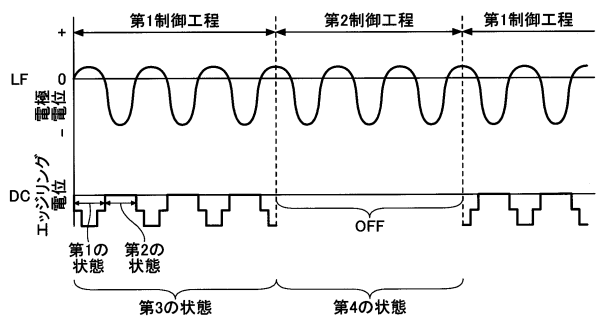


10

【図 11】

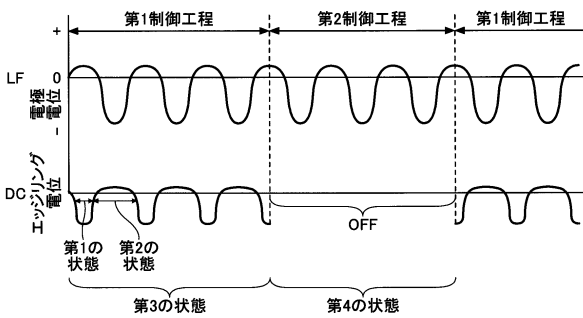


【図 12 A】

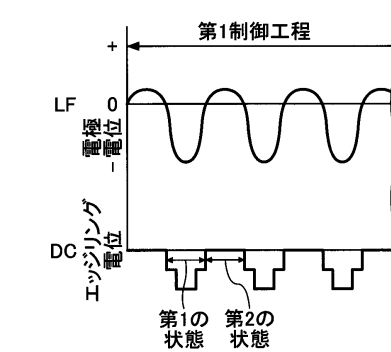


20

【図 12 B】



【図 12 C】

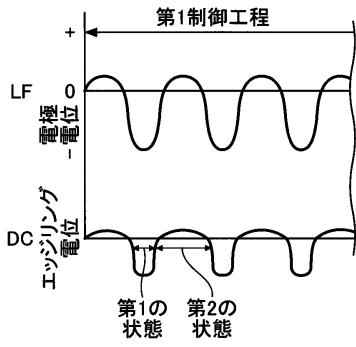


30

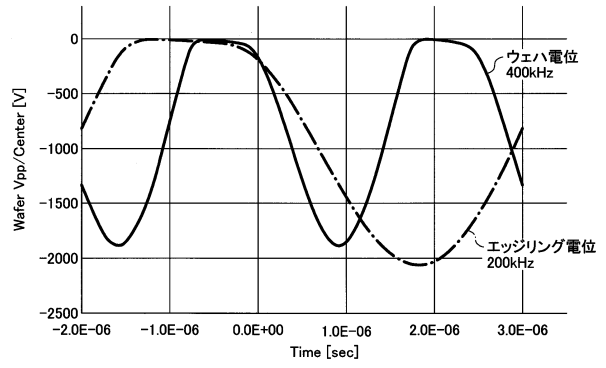
40

50

【図 1 2 D】

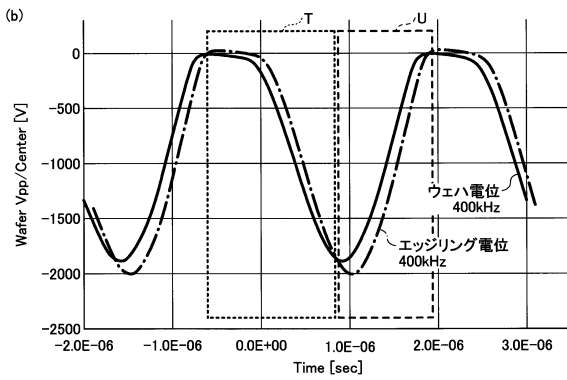
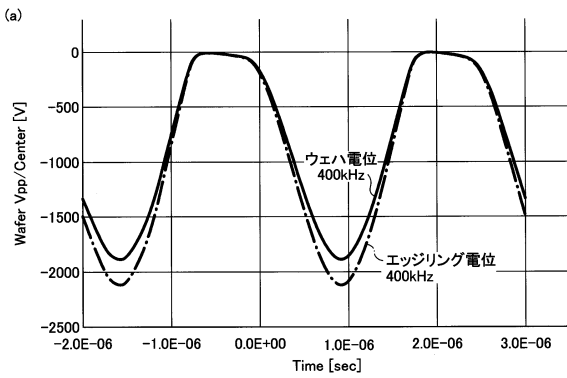


【図 1 3】

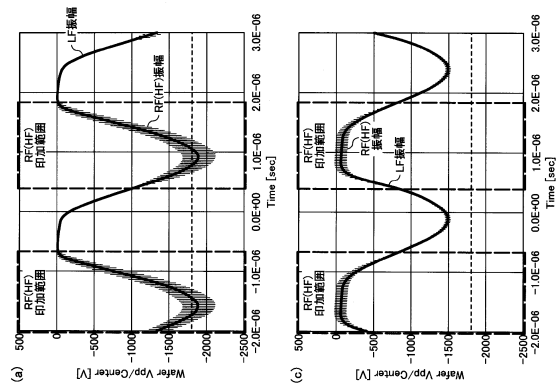
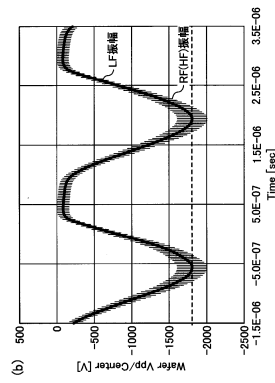


10

【図 1 4】



【図 1 5】



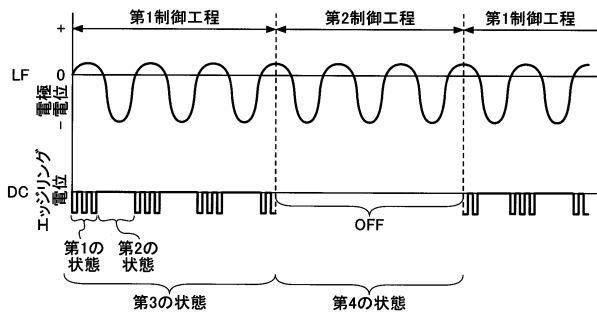
20

30

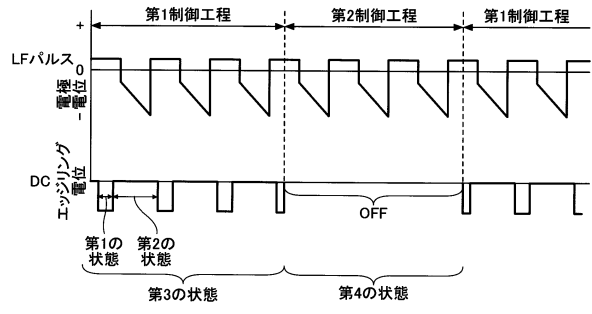
40

50

【図 16】



【図 17】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2016/0056017 (US, A1)
特開2018-117024 (JP, A)
特開2015-012249 (JP, A)
特開2010-021404 (JP, A)
特開2001-107229 (JP, A)
特開2000-357600 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065
H05H 1/46