

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7345382号
(P7345382)

(45)発行日 令和5年9月15日(2023.9.15)

(24)登録日 令和5年9月7日(2023.9.7)

(51)国際特許分類

H 01 L 21/3065(2006.01)
H 05 H 1/46 (2006.01)

F I

H 01 L 21/302 101 B
H 05 H 1/46 M

請求項の数 14 (全29頁)

(21)出願番号 特願2019-224853(P2019-224853)
(22)出願日 令和1年12月12日(2019.12.12)
(65)公開番号 特開2020-109838(P2020-109838)
A)
(43)公開日 令和2年7月16日(2020.7.16)
審査請求日 令和4年10月26日(2022.10.26)
(31)優先権主張番号 特願2018-248260(P2018-248260)
(32)優先日 平成30年12月28日(2018.12.28)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

早期審査対象出願

(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
(74)代理人 100107766
弁理士 伊東 忠重
(74)代理人 100070150
弁理士 伊東 忠彦
(72)発明者 久富 竜晃
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
輿水 地塙
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
斎藤 道茂
宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
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供給するプラズマ生成源と、

前記電極に所望の波形のバイアスパワーを供給するバイアス電源と、

前記処理容器内のプラズマに暴露されるパーティと、

前記パーティに所望の波形の電圧を供給する電源と、

前記電圧が、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の電圧値を印加する第1制御手順を含む処理を実行する制御部と、

を有し、

前記パーティは、前記処理容器の天井壁、インシュレータリング、デポシールドの前記処理容器内のパーティ、又は、前記電極と対向して上部電極の下方に設けられた処理空間、ガス空間或いはエッジリングの上空外側に配置した専用のパーティの少なくともいずれかである、

プラズマ処理装置。

【請求項2】

前記電極の電位は、前記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、又は前記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、

前記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る、

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記電源は、直流電源である、

請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記部分期間は、前記電極の電位が正のピークとなるタイミングを含む、

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 5】

前記部分期間は、前記電極の電位が負のピークとなるタイミングを含む、

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 の状態が 2 つ以上の電圧値をとる、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

前記第 2 の状態が 2 つ以上の電圧値をとる、

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項 8】

前記第 1 の電圧値は負の値であり、

前記第 2 の状態の電圧値は 0 である、

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 9】

前記処理の前記第 1 制御手順は、前記電圧が、前記第 1 の状態と、前記第 2 の状態と、2 つ以上の電圧値を有する 2 以上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 の状態と前記 2 以上の状態とが連続するように前記第 2 の電圧値、前記 2 つ以上の電圧値を順に印加する、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 10】

前記処理は、前記電圧が、前記第 1 制御手順の周期とは独立した周期で間欠的に停止する第 2 制御手順を含む、

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】

前記バイアスパワーの波形に替えてパルス状の直流電圧を前記電極に印加する、

請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 12】

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、

前記電極に所望の波形のバイアスパワーを供給するバイアス電源と、

前記処理容器内のプラズマに暴露されるパートと、

前記パートに所望の波形の電圧を供給する電源と、を有するプラズマ処理装置の制御方法であって、

前記電圧が、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す工程と、

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 の電圧値を印加する工程と、

を有し、

40

50

前記パーティクルは、前記処理容器の天井壁、インシュレータリング、デポシールドの前記処理容器内のパーティクル、又は、前記電極と対向して上部電極の下方に設けられた処理空間、ガス空間或いはエッジリングの上空外側に配置した専用のパーティクルの少なくともいずれかである。

プラズマ処理装置の制御方法。

【請求項 1 3】

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前記電源のための制御信号を生成し、生成した前記制御信号を前記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パーティクルに電圧を供給する、

請求項 1 2 に記載のプラズマ処理装置の制御方法。

【請求項 1 4】

前記電源は、直流電源である、

請求項 1 2 又は 1 3 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】

【0 0 0 1】

本開示は、プラズマ処理装置及び制御方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

例えば、特許文献 1 は、プラズマの状態によらず、プラズマの均一性を容易に確保することができるプラズマ処理装置を提供することを提案している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

【文献】特開 2 0 0 6 - 2 8 6 8 1 3 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 4】

プラズマ処理装置の処理容器内に配置されたパーティクルであって、プラズマに暴露されるパーティクルがスパッタされることがある。

【0 0 0 5】

本開示は、イオンの衝突エネルギーを制御することができる技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 6】

本開示の一の態様によれば、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供給するプラズマ生成源と、前記電極に所望の波形のバイアスパワーを供給するバイアス電源と、前記処理容器内のプラズマに暴露されるパーティクルと、前記パーティクルに所望の波形の電圧を供給する電源と、前記電圧が、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、を有す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、イオンの衝突エネルギーを制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【0 0 0 8】

10

20

30

40

50

【図1A】一実施形態に係るプラズマ処理装置の一例を示す図。

【図1B】一実施形態に係るプラズマ処理装置の他の例を示す図。

【図2】一実施形態に係る制御部の構成の一例を示す図。

【図3A】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3B】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3C】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3D】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】電極電位とイオンの衝突エネルギーとの関係を説明する図。

10

【図5】一実施形態に係る直流電圧の印加方法(スパッタ制御)の一例を示す図。

【図6】一実施形態に係る電極電位の正負とイオンの衝突エネルギーの一例を示す図。

【図7】一実施形態に係る直流電圧の印加方法(クリーニング)の一例を示す図。

【図8】一実施形態に係る複数の直流電源への直流電圧の印加方法の一例を示す図。

【図9】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10A】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10B】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11】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12】一実施形態の変形例1-5に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図13】一実施形態の変形例1-6に係る制御方法を示すタイミングチャート。

20

【図14A】一実施形態の変形例2-1に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図14B】一実施形態の変形例2-2に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図14C】一実施形態の変形例2-3に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図14D】一実施形態の変形例2-4に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図15】一実施形態の変形例3に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図16A】一実施形態の変形例4-1に係る制御方法を示すタイミングチャート。

【図16B】一実施形態の変形例4-2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、本開示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。

30

【0010】

[はじめに]

プラズマ処理装置において、高周波電力を印加する電極の電位が処理容器の壁や処理容器内のその他のパーツの電位を上回ると、前記壁やパーツがスパッタされる現象が発生し、プロセスの結果に影響を与える。また、ウエハWに対するプラズマ処理では、プラズマ処理中に生成された副生成物が処理容器の側壁や天井壁に付着する。この場合、副生成物を除去するクリーニング処理が必要となり生産性が低下する。

【0011】

そこで、従来から処理容器内の電極に対して処理容器の壁への単位面積当たりのイオンの衝突エネルギーを低く見せることが行われている。また、処理容器の側壁にコーティングする溶射膜の厚さを変更したり、側壁のコーティングに使用する材料を結合力のより強い材質へ変更したりすることで、イオンの衝突エネルギーにより壁がスパッタされることを抑制することが行われている。さらに、ウエハレスドライクリーニング(WLCD)の手順を示したレシピの、クリーニング時間や供給電力等の設定を、処理容器内のコンディションに応じて調整することが行われている。

【0012】

以下に説明する一実施形態にかかるプラズマ処理装置では、高周波電力を印加する電極電位の変動に追従して、処理容器内のプラズマに暴露され、かつ副生成物が付着するバー

40

50

ツに任意の直流電圧を印加する。これにより、当該パーツへのイオンの衝突エネルギーを制御し、当該パーツへのスパッタの低減を図る。また、クリーニング処理の効率化を実現する。処理容器内のプラズマに暴露され、かつ副生成物が付着するパーツは、処理容器内パーツにより構成される。当該パーツは、天井壁、インシュレータリング、デボシールド、及びバッフル板等の処理容器内のパーツの少なくともいずれかであってもよい。又は、当該パーツは、上部電極の下方に形成された処理空間、ガス空間或いはエッジリングの上空外側に配置した専用のパーツの少なくともいずれかであってもよい。ただし、ウォールスパッタ抑制効果のある場合には、当該パーツは、処理容器内のプラズマに暴露されるパーツであって、副生成物が付着していないパーツであってもよい。以下では、プラズマの影響下にある前記パーツの一例として、デボシールドを例にあげてプラズマ処理装置について説明する。

【0013】

以下、ソースパワーとしての高周波をHF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としての高周波をLFともいい、バイアスパワーをLF電力ともいう。

【0014】

[プラズマ処理装置の全体構成]

図1A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や溶射された酸化イットリウム(Y₂O₃)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。

【0015】

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、その上に被処理体の一例であるウエハWが載置される。

【0016】

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。

【0017】

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。載置台16および支持台14の外周側面には、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。エッジリング24の外周側面にはインシュレータリング25が設けられている。

【0018】

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の処理温度が制御される。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。

【0019】

載置台16の上方には、載置台16と対向して上部電極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。

【0020】

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つつ多数のガス吐出孔37を有する

電極板 3 6 と、この電極板 3 6 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 3 8 とを有する。電極板 3 6 は、シリコンや S i C で構成されるのが好ましい。電極支持体 3 8 の内部には、ガス拡散室 4 0 が設けられ、このガス拡散室 4 0 からはガス吐出孔 3 7 に連通する多数のガス通流孔 4 1 が下方に延びている。

【 0 0 2 1 】

電極支持体 3 8 には、ガス拡散室 4 0 へ処理ガスを導くガス導入口 6 2 が形成されており、このガス導入口 6 2 にはガス供給管 6 4 が接続され、ガス供給管 6 4 には処理ガス供給源 6 6 が接続されている。ガス供給管 6 4 には、上流側から順にマスフローコントローラ (M F C) 6 8 および開閉バルブ 7 0 が設けられている。そして、処理ガス供給源 6 6 から、エッティングのための処理ガスがガス供給管 6 4 からガス拡散室 4 0 に至り、ガス通流孔 4 1 を介しガス吐出孔 3 7 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 3 4 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。

10

【 0 0 2 2 】

エッジリング 2 4 には、可変直流電源 5 0 が電気的に接続され、可変直流電源 5 0 から直流電圧が印加される。可変直流電源 5 0 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 2 0 0 により行われる。可変直流電源 5 0 には、L F 及びH F の電流をカットし、可変直流電源 5 0 を保護するローパスフィルタ 5 1 が接続されている。

20

【 0 0 2 3 】

デポシールド 1 1 には、可変直流電源 1 1 5 が電気的に接続され、可変直流電源 1 1 5 から直流電圧が印加される。可変直流電源 1 1 5 から供給される直流電圧及び直流電流の極性、及び直流電圧及び直流電流とこれらをオン・オフする電子スイッチの制御は、制御部 2 0 0 により行われる。可変直流電源 1 1 5 には、L F 及びH F の電流をカットし、可変直流電源 1 1 5 を保護するローパスフィルタ 1 1 6 が接続されている。本実施形態では、可変直流電源 1 1 5 はデポシールド 1 1 に接続されているが、これに限らず、処理容器 1 0 内のパーツ、例えば処理容器 1 0 の天井壁、インシュレータリング 2 5 及びバッフル板 8 3 の少なくともいずれかのパーツに接続されてもよい。更に、可変直流電源 1 1 5 は、載置台 1 6 と対向する上部電極 3 4 の下方に設けられた処理空間若しくはガス空間、又はエッジリング 2 4 の上空外側に配置した専用のパーツに接続されてもよい。また、可変直流電源 1 1 5 は、一つに限らず、二つ以上がデポシールド 1 1 や天井壁等の少なくともいずれかのパーツに接続されてもよい。図 1 には、一例として、エッジリング 2 4 の上方の外側に専用のパーツ 1 0 1 が配置されている。パーツ 1 0 1 は内部に電極を有し、可変直流電源 1 0 4 が電気的に接続され、可変直流電源 1 0 4 からその電極に直流電圧が印加される。可変直流電源 1 0 4 には、L F 及びH F の電流をカットし、また、可変直流電源 1 0 4 を保護するローパスフィルタ 1 0 3 が接続されている。パーツ 1 0 1 は、リング状であってもよいし、円弧状であってもよいし、その他の形状であってもよい。パーツ 1 0 1 は、例えば、シリコン (S i) やシリコンカーバイト (S i C) から構成される。

30

【 0 0 2 4 】

載置台 1 6 には、給電棒 4 7 及び整合器 4 6 を介して第 1 の高周波電源 4 8 が接続されている。第 1 の高周波電源 4 8 は、載置台 1 6 に L F 電力を印加する。これにより、載置台 1 6 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 4 8 は、2 0 0 k H z ~ 1 3 . 5 6 M H z の範囲内の周波数の高周波電力を output する。整合器 4 6 は第 1 の高周波電源 4 8 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。

40

【 0 0 2 5 】

載置台 1 6 には、給電棒 8 9 及び整合器 8 8 を介して第 2 の高周波電源 9 0 が接続されている。第 2 の高周波電源 9 0 は、載置台 1 6 に H F 電力を印加する。H F の周波数は、1 3 . 5 6 M H z 以上、例えば 1 0 0 M H z であってもよい。L F の周波数は H F の周波数よりも低く、例えば 4 0 0 k H z であってもよい。整合器 8 8 は、第 2 の高周波電源 9 0 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 1 6 には、所定の

50

高周波をグランドに通すためのフィルタ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。

【0026】

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内を所望の真空中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の内壁に沿ってエッティング時に生成された副生成物(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が処理容器の壁部を構成している。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との間にはバッフル板83が設けられている。デポシールド11およびバッフル板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用いることができる。10

【0027】

かかる構成のプラズマ処理装置においてエッティ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を介してエッティ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からエッティ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0.1~150Pa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もよい。20

【0028】

このように処理容器10内にエッティ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から直流電圧をエッジリング24に印加する。30

【0029】

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の被処理面がエッティングされる。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ティ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。

【0030】

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プロセスレシピに従って、エッティング等の所望のプラズマ処理を実行する。プロセスレシピには、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、各種ガス流量が設定されてもよい。また、プロセスレシピには、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もよい。なお、これらのプログラムや処理条件を示すプロセスレシピは、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、プロセスレシピは、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。40

【0031】

10

20

30

40

50

例えば、制御部 200 は、可変直流電源 115 から出力する直流電圧（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、直流電圧のオンとオフやその電圧の大小を交互に繰り返すように制御してもよい。制御部 200 は、バイアスパワーの高周波の周期若しくはバイアスパワーのパルス波（以下、「DC パルス」ともいう。）の周期に同期する信号により、直流電圧のオンとオフやその電圧の大小を交互に繰り返すように制御してもよい。

【0032】

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 納電棒 47 載置台 16 プラズマ 上部電極 34（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 48 から整合器 46 の内部及び納電棒 47 を介して載置台 16 に至るまでのパーツと上部電極 34 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。

10

【0033】

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第 1 の電圧値を印加し、第 2 の状態は、第 1 の状態と連続して第 2 の電圧値を印加するように制御される。直流電圧が、第 1 の状態と、第 2 の状態と、2 つ以上の電圧値を有する 2 以上の状態とを周期的に繰り返し、パラメータの各周期内の部分期間に第 1 の電圧値を印加し、第 1 の状態と第 2 の状態と 2 以上の状態とが連続するように第 2 の電圧値と 2 つ以上の電圧値とを順に印加してもよい。「周期的に変動するパラメータ」は、周期的に変動する電極電位の一例である。

20

【0034】

周期的に変動するパラメータは、載置台 16 から納電棒 47 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。

【0035】

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 BZ 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 300 を示したが、これに限られず、電流センサ又は BZ センサであってもよい。また、上記各センサの配置は、納電棒 47 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 300 等のセンサからの信号は、例えば制御部 200 の信号発生回路 102 に入力される。

30

【0036】

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、フォトマルチプライヤー等の光電変換素子で検出できる。シース厚については、ICCD カメラなどを用いてナノ秒の間隔（例えば 10 ~ 250 ナ秒）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。例えば、可変直流電源 115 から出力する直流電圧を LF の電圧の周期に同期させるように制御してもよい。これにより、イオンの衝突エネルギーを制御することができる。また、クリーニング処理の効率化を図ることができる。

40

【0037】

なお、載置台 16 は、ウエハ W を載置する電極（第 1 の電極）の一例である。上部電極は、載置台 16 と対向する電極（第 2 の電極）の一例である。第 1 の高周波電源 48 は、載置台 16 に LF 電力（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 90 は、載置台 16 又は上部電極 34 に LF 電力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 115 は、処理容器 10 内のプラズマに暴露されるパーツに電圧を供給する電源の一例である。可変直流電源 115 は、直流電源であってもよい。制御部 200 は、バイアス電源、ソース電源及び直流電源を制御

50

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。

【 0 0 3 8 】

なお、図 1 のプラズマ処理装置 1 では、デポシールド 11 に可変直流電源 115 が電気的に接続され、可変直流電源 115 から直流電圧が印加されたが、これに限られない。可変直流電源 115 が、処理容器 10 内のパーツ、例えば処理容器 10 の天井壁、インシュレータリング 25 及びバッフル板 83 の少なくともいずれかのパーツに接続され、これらのパーツの少なくともいずれかに直流電圧を印加してもよい。更に、可変直流電源 115 が、載置台 16 と対向する上部電極 34 の下方に設けられた処理空間若しくはガス空間、又はエッジリング 24 の上空外側に配置した専用のパーツに接続され、この専用のパーツに直流電圧を印加してもよい。10

【 0 0 3 9 】

図 1B は、一実施形態に係るプラズマ処理装置 1 の他の例を示す図である。図 1B では、遮蔽部材 42 の内部に電極 42a が設けられている。電極 42a には、可変直流電源 117 が電気的に接続され、可変直流電源 117 から直流電圧が印加される。可変直流電源 117 には、LF 及びHF の電流をカットし、可変直流電源 117 を保護するローパスフィルタ 118 が接続されている。

【 0 0 4 0 】

また、可変直流電源 115 は、一つに限らず、二つ以上がデポシールドや天井壁等の少なくともいずれかのパーツに接続されてもよい。図 1A には、一例として、エッジリング 24 の上方の外側に専用のパーツ 101 が配置されている。パーツ 101 は内部に電極を有し、可変直流電源 104 が電気的に接続され、可変直流電源 104 からその電極に直流電圧が印加される。可変直流電源 104 には、LF 及びHF の電流をカットし、また、可変直流電源 104 を保護するローパスフィルタ 103 が接続されている。パーツ 101 は、リング状であってもよいし、円弧状であってもよいし、その他の形状であってもよい。パーツ 101 は、例えば、シリコン (Si) やシリコンカーバイト (SiC) から構成される。20

【 0 0 4 1 】

[制御部の構成]

制御部 200 の具体的構成について、図 2 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、電力メータ 111、オシロスコープ 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。30

【 0 0 4 2 】

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。

【 0 0 4 3 】

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。40

【 0 0 4 4 】

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。

【 0 0 4 5 】

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（可変直流電源用）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50

信号を作成してもよい。なお、方向性結合器 105 の替わりに、前記センサを用いて検出した L F 電力をプロセッサ 100 に与えてもよい。

【0046】

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 L F の進行波に同期する制御信号を発生し、可変直流電源 115 及び第 1 の高周波電源 48 に与える。

【0047】

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 電力の位相に同期する波形を取り出し、プロセッサ 100 に入力する。ただし、これに限らず、プロセッサ 100 が、第 1 の高周波電源 48 から直接、L F 電力の位相に同期する波形を入力してもよい。L F 電力の位相に同期する波形、L F 電圧又は L F 電流の位相に同期する波形、及び D C パルスの電力、電圧又は電流の位相に同期する波形を以下、バイアス波形ともいう。D C パルスは、L F の電圧のピークに対応するパルス状の電圧をいう。所望の波形のバイアスパワーは、バイアス波形の L F パワーに相当する。

10

【0048】

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 L F 電力の位相に同期する波形を入力せずに、第 1 の高周波電源 48 を制御するための L F の信号を自ら生成し、その L F 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。

20

【0049】

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 115 に指令信号を送る。指令信号には、可変直流電源 115 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、H F 電力を発生させるために指令信号を第 2 の高周波電源 90 に送信してもよい。

【0050】

第 1 の高周波電源 48 が L F 電力、電圧又は電流を增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 電力の位相に同期する波形 L F 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 115 に送信する。

30

【0051】

例えば、可変直流電源 115 の替わりに図示しない交流電源を備え、交流電源をデボシールド等のパーツに電気的に接続し、制御（オン）信号に基づき交流電源から高周波電圧をデボシールド等のパーツに印加してもよい。可変直流電源 115 及び交流電源は、パーツに所望の波形の電圧を供給する電源の一例である。交流電源は、第 2 の高周波電源 90 であってもよいし、別の R F 電源であってもよい。

40

【0052】

また、図 3 A に示すように、第 1 の高周波電源 48 から出力される L F 電力の位相に同期する波形を制御部 200 に設けられた位相シフト回路 210 に入力し、位相シフト回路 210 にて L F の位相を所定量シフトさせた高周波電圧をデボシールド等のパーツに印加してもよい。

【0053】

位相シフト回路 210 にて L F の位相を所定量シフトする替わりに、第 1 の高周波電源 48 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デボシールド等のパーツに印加してもよい。

【0054】

50

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。直流電圧の場合、例えば、オンとオフとが交互に繰り返さるように制御する制御信号を生成してもよい。

【0055】

第1の高周波電源48のアンプは、400kHzのLFの変調信号の振幅(AM: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、100MHzのHFの変調信号の振幅を増幅し、下部電極に供給する。

【0056】

信号発生回路102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直流電圧を印加し、直流電圧の絶対値がHighとLowとが交互に繰り返さるように制御する制御信号を発生し、可変直流電源115に与えてよい。プロセッサ100は、LFが印加されていない場合、HFの進行波の正のピークとなる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。

【0057】

信号発生回路102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HighとLowとが交互に繰り返さるように制御する制御信号を発生し、可変直流電源115に与える。部分期間は、電極の電位が正のピークとなるタイミングを含んでもよいし、電極の電位が負のピークとなるタイミングを含んでもよいし、その両方のタイミングを含んでもよい。例えば、図3B及び図3C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3Bでは、プロセッサ100が伝送経路に取り付けられたVIプローブ等のセンサからHFの電圧又は電流、LFの電圧又は電流、HFの位相信号又はLFの位相信号のいずれかを入力する。プロセッサ100は、入力したHFの電圧又は電流、LFの電圧又は電流、HFの位相信号又はLF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直流電圧を第1の状態と第2の状態に交互に印加する。

【0058】

プロセッサ100は、センサからの信号に基づかず第1の高周波電源48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利用して生成してもよい。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ます。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3C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100は、生成した信号を可変直流電源115に出力する。可変直流電源115は、この信号に基づき直流電圧を第1の状態と第2の状態に交互に印加する。

【0059】

なお、図3Dに示すように、プロセッサ100は、第1の高周波電源48からの信号を用いずに、第1の高周波電源48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48から出力され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LFの信号を生成するとともに、この生成した信号に同期する直流電圧の信号を生成する。プロセッサ100は、生成したLFの信号を第1の高周波電源48に送信し、生成した直流電圧の信号を可変直流電源115に送信する。第1の高周波電源48は、LF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115は、直流電圧の信号に基づき直流電圧を第1の状態と第2の状態に交互に印加する。生成したLFの信号及び直流電圧の信号には、パワー情報が含まれる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

[電極電位とイオンの衝突エネルギーとの関係]

次に、電極電位とイオンの衝突エネルギーとの関係について図 4 を参照して説明する。第 1 の高周波電源 4 8 から正弦波で L F 電力を印加した場合、L F の電圧が負のときには L F の電圧が正のときよりも自己バイアス V d c によって電圧が負に深くなる。これにより、図 4 に示すように、L F 電力が印加される電極電位が正のときには、その電極電位が側壁の電位（グランド）よりも高くなる。プラズマ電位は、処理容器 1 0 内のもっとも高い電位よりも若干高い電位をとるから、電極電位が正のときにはプラズマ電位は電極電位よりも若干高くなる。そのときのプラズマ電位と側壁との電位差 V b を図 4 の枠 B 内に示す。

10

【 0 0 6 1 】

一方、L F 電力が印加される電極電位が負のときには、自己バイアス V d c により電極電位が側壁の電位（グランド）よりも低くなる。このとき、プラズマ電位は側壁の電位よりも若干高くなる。そのときのプラズマ電位と側壁との電位差 V a を図 4 の枠 A 内に示す。これにより、電極電位が正のときのプラズマ電位と側壁との電位差 V b は電極電位が負のときのプラズマ電位と側壁との電位差 V a よりも大きくなる。このため、電極電位が正のとき、側壁へ向かうイオンの加速電圧は大きくなり、側壁への 1 個当たりのイオンの衝突エネルギーが大きくなる。この結果、側壁へのスパッタが発生しやすくなる。よって、電極電位に応じてプラズマ電位と側壁及び天井壁との電位差を制御することで、加速電圧を制御すれば 1 個のイオンの衝突エネルギーを制御でき、側壁及び天井壁へのスパッタ力を制御できる。例えば、プラズマ電位と側壁及び天井壁との電位差を大きく制御すれば、図 4 の (a) の矢印に示すように、側壁及び天井壁へのスパッタ力を強めることができる。一方、その電位差を小さく制御すれば、図 4 の (b) の矢印に示すように、側壁及び天井壁へのスパッタ力を弱めることができる。

20

【 0 0 6 2 】

そこで、一実施形態にかかるプラズマ処理装置 1 の制御方法では、バイアスパワーを下部電極へ供給し、可変直流電源 1 1 5 からの直流電圧をデポシールド 1 1 などのパーツに供給する。また、本制御方法は、直流電圧が、第 1 の電圧値を有する第 1 の状態と、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す工程と、電極の電位の各周期内の部分期間に第 1 の電圧値を印加し、第 1 の状態と第 2 の状態とが連続するように第 2 の電圧値を印加する工程とを有する。直流電圧が、第 1 の状態と、第 2 の状態と、2 つ以上の電圧値を有する 2 以上の状態とを周期的に繰り返し、電極の電位の各周期内の部分期間に第 1 の電圧値を印加し、第 1 の状態と第 2 の状態と 2 以上の状態とが連続するように第 2 の電圧値、2 つ以上の電圧値を順に印加する工程を有してもよい。

30

【 0 0 6 3 】

制御部 2 0 0 は、電極電位の周期と同期する同期信号を作成し、該同期信号から直流電圧を出力する直流電源用の制御信号を生成し、可変直流電源 1 1 5 と位相シフト回路 2 1 0 との少なくともいずれかに送信する。電極の電位の周期とは、バイアス波形の周期に同期する。これにより、制御部 2 0 0 は、可変直流電源 1 1 5 と位相シフト回路 2 1 0 との少なくともいずれかからデポシールド 1 1 などのパーツに直流電圧を供給する。例えば、直流電圧が、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を用意する。そして、制御部 2 0 0 は、記憶媒体のプログラムを実行する。以下では、可変直流電源 1 1 5 に直流電圧を印加する場合を例に挙げて説明する。

40

【 0 0 6 4 】

[D C の電圧の供給タイミング]

本実施形態における D C の電圧の供給タイミングの効果について、図 5 を参照しながら説明する。図 5 は、一実施形態に係る直流電圧の印加方法（スパッタ制御）とその効果の

50

一例を示す図である。以下では、LFの電圧及びDCの電圧を制御したときの、LFの電圧を印加した電極電位とプラズマ電位、デポシールド11の電位について説明する。

【0065】

(スパッタ抑制)

図5(b)の横軸には時間が示され、縦軸にはLFの電圧を供給したときの電極電位、プラズマ電位、デポシールド11の電位が示されている。電極電位は、LFの電圧にほぼ等しい。図5(b)のCの枠内に示すように、LFの電圧が正のときには可変直流電源115から正の直流電圧がデポシールド11に印加される。これにより、プラズマ電位とデポシールド11の電位差を小さくでき、図5(a)に矢印で示すように側壁へのスパッタ力を抑制できる。

10

【0066】

図5(b)に示すように、LFの電圧が負のときには可変直流電源115からの直流電圧の印加は停止され、デポシールド11に印加される直流電圧は0になる。直流電圧は、電極電位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が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。

【0067】

制御部200は、電極電位の周期と同期する同期信号からLFの電圧が正のときに正の直流電圧を印加し、LFの電圧が負のときに直流電圧の印加を停止する直流電源用の制御信号を生成し、可変直流電源115に送信する。LFの電圧が正のときに正の直流電圧を印加する状態は第1の状態の一例であり、LFの電圧が負のときに直流電圧の印加を停止する状態は第2の状態の一例である。制御信号を受信すると、可変直流電源115は、直流電圧の第1の状態と第2の状態とを電極電位の周期と同期して交互に印加する。

20

【0068】

LF電力が印加される電極電位が負のときには可変直流電源115からの直流電圧の印加は停止され、プラズマ電位とデポシールド11との電位差V_{off}が、側壁へ向かうイオンを加速する加速電圧となる。よって、側壁への1個当たりのイオンの衝突エネルギーは電位差V_{off}によって定まる。

【0069】

一方、図5(b)の枠C内に示す電極電位が正のときには、可変直流電源115からの直流電圧はオンされ、正の直流電圧がデポシールド11に印加される。そうすると、プラズマ電位とデポシールド11との電位差V_cが加速電圧となり、側壁への1個当たりのイオンの衝突エネルギーは電位差V_cによって定まる。プラズマ電位とデポシールド11との電位差V_cは、可変直流電源115からの正の直流電圧がデポシールド11に印加されない場合と比較して小さくなる。このため、側壁への1個当たりのイオンの衝突エネルギーは、正の直流電圧がデポシールド11に印加した場合、印加されない場合と比較して低くなる。このように、電極の電位が負のときにはプラズマ電位とデポシールド11との電位差V_{off}は小さい。これに対して、可変直流電源115からの正の直流電圧をオンしないと、電極の電位が正のときには電極電位が壁の電位よりも大きくなるためにプラズマ電位とデポシールド11との電位差が大きい。このため、可変直流電源115からの正の直流電圧をオンし、プラズマ電位とデポシールド11との電位差を小さくするように制御することで、側壁へのスパッタ力を抑制することができる。これにより、処理容器10内の下部電極と比較して側壁の面積を大きくすることで、カソード/アノード比を制御し、単位面積当たりの1個のイオンの衝突エネルギーを小さく見せる制御と同様な制御が可能になる。これにより、単位面積当たりの1個のイオンの衝突エネルギーを小さくすることで、側壁へのスパッタによるプロセスへの影響を小さくすることができる。なお、第1の状態と第2の状態は、可変直流電源115からの正の直流電圧をオン・オフすることで設定する制御に限られない。第1の状態と第2の状態は、可変直流電源115からの正の直流電圧をHigh・Lowにすることで設定するように制御してもよい。

30

【0070】

側壁へのイオンの衝突エネルギーを減らしたい場合、電極電位が正のときにデポシール

40

50

ド 1 1 へ正の直流電圧をオンに制御することで、電極電位が正のときにイオンが側壁を叩く効果を低減することができる。このようにして側壁へのイオン衝突エネルギーを抑制することでチャンバの側面の寿命を延ばすことができる。また、側壁へのイオン衝突エネルギーを抑制することでパーティクルを低減できる。また、側壁へのイオン衝突エネルギーを抑制することで、クリーニングサイクルを伸ばすことができる。

【 0 0 7 1 】

また、電極電位が負のときに正の直流電圧をオフに制御することで、電極電位が負のときにイオンがウエハWを叩くエネルギーを維持することができる。

【 0 0 7 2 】

(クリーニング／特定のプロセス)

10

以上に説明した第1の状態の期間は、電極電位が正のピークとなるタイミングを含み、正又は負の直流電圧を前記パーティクルに印加してもよい。第1の状態の期間は、電極電位が負のピークとなるタイミングを含み、正又は負の直流電圧を前記パーティクルに印加してもよい。

【 0 0 7 3 】

図6は、一実施形態に係る電極電位の正負とイオンの衝突エネルギーの一例を示す図である。図6(c)の枠H内に示すように、例えば、電極電位が正のときに正の直流電圧をデポシールド11及び天井壁(例えば、遮蔽部材42)へ印加した場合、プラズマ電位とデポシールド11の電位との電位差がH1からH2へ小さくなり、側壁への1個当たりのイオンの衝突エネルギーが下がる。その結果、側壁及び天井壁へのスパッタ力を弱めることができる。一方、電極電位が正のときに負の直流電圧をデポシールド11及び天井壁へ印加した場合、プラズマ電位とデポシールド11の電位との電位差が大きくなり、側壁への1個当たりのイオンの衝突エネルギーが上がる。その結果、側壁及び天井壁へのスパッタ力を強めることができる。このようにして、図6(a)に示すように側壁及び天井壁への1個当たりのイオンの衝突エネルギーを制御できる。

20

【 0 0 7 4 】

また、図6の枠G内に示すように、電極電位が負のときに直流電圧をデポシールド11及び天井壁へ印加することによって、図6(b)に示すように、ウエハWへの1個当たりのイオンの衝突エネルギーを制御できる。例えば、図7(b)に示すように、電極電位が負のときに正の直流電圧をデポシールド11へ印加すると、プラズマ電位と電極電位との電位差が大きくなり、図7(a)の矢印に示すように、ウエハWへの1個当たりのイオンの衝突エネルギーが上がる。これにより、プロセスの効率化を図ることができる。たとえば、MRAMの製造では、数十層のメタルをエッチングする。このようにウエハに高いイオンエネルギーを持ったイオンを叩き着けて深く穴をエッチングしたいプロセスがある。かかるプロセスでは、電極電位が正のときには直流電圧の印加を停止し、電極電位が負のときに正の直流電圧をデポシールド11に印加することで高いイオンエネルギーを持ったイオンをウエハWに叩きつけることができる。これにより、当該プロセスでのウエハへのイオンの衝突エネルギーを上げてプロセスの処理効率を高め、生産性を向上させることができる。

30

【 0 0 7 5 】

クリーニング処理時には、電極電位が正のときに負の直流電圧をデポシールド11へ印加し、側壁への1個当たりのイオンの衝突エネルギーを上げ、電極電位が負のときに直流電圧のデポシールド11への印加を停止する。これにより、側壁へのイオン衝突エネルギーを増加又は変更させて最適なイオンエネルギーに制御することで、クリーニングサイクルを伸ばすことができ、かつ、クリーニング時間を短縮することができる。なお、クリーニング処理時には、電極電位が正のときに負の直流電圧をデポシールド11に印加し、電極電位が負のときには直流電圧の印加を停止する制御に限られず、電極電位が負のときにも電極電位が正のときと同じ負の直流電圧を連続して印加してもよい。電極の電位が負のときに負のDCをデポシールド11へ印加すると、プラズマ電位と電極電位との電位差が小さくなり、ウエハへの1個当たりのイオンの衝突エネルギーが下がる。これにより、WLDCのクリーニングにおいては、ウエハを載置する載置台の載置面へのダメージを軽減

40

50

できる。

【 0 0 7 6 】

また、たとえば側壁の副生成物や天井壁のスパッタ物をウエハに堆積させたいプロセスの場合、電極電位が正のときに負の直流電圧をデポシールド 1 1 へ印加することで、イオンを壁面に叩き易くすることで、副生成物等をウエハに堆積させることができる。他方、たとえば側壁の副生成物等をウエハに堆積させたくないプロセスや、側壁のスパッタを極力行いたくないプロセスの場合、電極電位が正のときに正の直流電圧をデポシールド 1 1 へ印加し、イオンをウエハに叩き難くすることで、副生成物等をウエハに堆積させないようにすることができる。

【 0 0 7 7 】

このようにデポシールド 1 1 への直流電圧の正・負及び大きさにより側壁へのイオンの衝突エネルギーを制御することで、高いバイアスパワーを印加する制御が可能になる。さらに、上記直流電圧の正・負及び大きさの制御とともに、供給するバイアスパワーをさらに上げて印加してもよい。

【 0 0 7 8 】

複数の可変直流電源を用いて直流電圧を複数のパートに印加してもよい。例えば、図 8 (a) に示すように可変直流電源 1 1 5 が処理容器 1 0 のデポシールド 1 1 に電気的に接続され、可変直流電源 1 1 7 が処理容器 1 0 の天井壁のパートに電気的に接続されてもよい。可変直流電源 1 1 5 には、L F 及び H F の電流をカットし、可変直流電源 1 1 5 を保護するローパスフィルタ 1 1 6 が接続されている。可変直流電源 1 1 7 には、L F 及び H F の電流をカットし、可変直流電源 1 1 7 を保護するローパスフィルタ 1 1 8 が接続されている。

【 0 0 7 9 】

例えば、下部電極に L F 電力及び H F 電力が印加される場合、上部電極に副生成物が付着しやすい。そこで、副生成物が付着しやすい天井壁に接続された可変直流電源 1 1 7 には、図 8 (b) の E に示すように、電極電位が正のときに負の直流電圧をデポシールド 1 1 に印加する。これにより、プラズマ電位と天井壁の電位との電位差を大きくし、天井壁へのイオンの衝突エネルギーを上げることで天井壁へのスパッタ力を高め、天井壁に付着した副生成物を除去し易くする。また、副生成物が天井壁よりも付着しにくいデポシールド 1 1 に接続された可変直流電源 1 1 5 には、図 8 (b) の D に示すように、電極電位が正のときに正の直流電圧をデポシールド 1 1 に印加する。これにより、プラズマ電位とデポシールド 1 1 の電位との電位差を小さくし、側壁へのイオンの衝突エネルギーを下げ、側壁へのスパッタ力を弱めることができる。この結果、複数のパートによって副生成物の付着量が異なる場合であっても、複数の可変直流電源 1 1 5 , 1 1 7 を用いてパート毎に適切に副生成物を除去し、クリーニング時間を同じにすることができる。

【 0 0 8 0 】

また、上部電極と側壁とでは温度が異なり、上部電極は側壁よりも温度が高くなる。つまり、上部電極の近傍にはプラズマが生成されるため、温度が高く、かつイオンの数が多い。これに対して側壁は、上部電極よりも温度が低く、かつイオンの数も少ない。イオンの衝突エネルギーは、温度と加速電圧で決まるから、これを考慮し複数系統の可変直流電源からの複数のパートへの直流電圧を制御することが好ましい。

【 0 0 8 1 】

[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、直流電圧を処理容器内のプラズマに暴露されるパートに供給する直流電源に供給する工程とを含む。

【 0 0 8 2 】

本制御方法では、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、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

10

20

30

40

50

るよう前に記第2の電圧値を印加する。電極の電位は、前記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により定められ、前記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。

【0083】

例えば、図8の例では、デポシールド11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の電圧を印加し、第2の状態を第1の状態と連続して印加する。図5、図7、図8、デポシールド11、図10Aでは、DCの電圧の第1の状態が正(又は負)の電圧値であり、第2の状態が0である。図10Bでは、DCの電圧の第1の状態が正の電圧値であり、第2の状態が負の電圧値である。

10

【0084】

図5、図7～図10Aに示すように、パーツへ印加する直流電圧がオン(DC ON、つまり、DCが正又は負に印加)されている状態は、第1の電圧値を有する第1の状態の一例である。パーツへ印加する直流電圧がオフ(DC OFF、つまり、DCが0)又は第1の状態と異なる電圧値とされている状態は、第1の電圧値よりも高い第2の電圧値を有する第2の状態の一例である。

【0085】

なお、第1の状態及び第2の状態は、パーツ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Low及びHighに制御される状態を含む。

20

【0086】

第1の状態の期間は、第1の電極又は第2の電極の電位が正のピークとなるタイミングを含み、又は負の直流電圧を前記パーツに印加してもよい。また、第1の状態の期間は、第1の電極又は第2の電極の電位が負のピークとなるタイミングを含み、又は負の直流電圧を前記パーツに印加してもよい。

【0087】

また、直流電圧は、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タイミングに前記パーツに印加してもよい。例えば、電極電位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前記パーツに印加してもよい。電極電位の特に正側の波形は、LFの周波数やガス種や圧力に依存して歪む場合がある。このような場合は、電極電位が正のタイミングから所定時間だけずらして、よりシースが薄く電子が入りやすい位相を選定して直流電圧を印加することが好ましい。また、直流電圧は、電極電位が正のタイミングに対して所定時間だけ長く又は短くするように印加時間の幅を調整してもよい。

30

【0088】

LFの電圧の周期と同期して、直流電圧とHFの電圧との両方を、オン・オフ又はHigh・Lowに制御してもよい。このとき、電極電位が正又は負のいずれか一方のタイミングにHFの電圧を供給し、電極電位が正又は負のいずれか他方のタイミングにHFの電圧の供給を停止してもよい。直流電圧の印加タイミングと同じタイミングでHFの電圧を制御してもよい。

40

【0089】

また、例えばWLDのクリーニング処理において載置台16のダメージを低減するためにLF電力を印加しない場合がある。そのときには、制御部200は、前記直流電圧の第1の状態と第2の状態とを電極電位と同期させるために、ソースパワーの周期と同期して交互に印加してもよい。特に、上部電極にHFの電圧を印加することでWLD時のウエハへのダメージを減らすことができる。このとき、載置台16は壁として見なされる。載置台16にRFパワーを印加するRF電源を別途設け、上部電極の電位が高いときに、載置台16にRF電源からRFパワーを印加し、ウエハ電位を高く制御してもよい。これにより、上部電極の電位とウエハ電位との電位差を小さく制御して、載置台16へのダメージを抑制できる。この場合、LFの周波数と同じかそれよりも高い周波数のRFパワー

50

を印加することが好ましい。

【0090】

[変形例1-1~1-3]

次に、一実施形態の変形例1-1~1-3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。図9、図10A、図10Bは、一実施形態の変形例1-1~1-3に係る制御方法を示すタイミングチャートである。図9の変形例1-1では、DCパルスの電圧は、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回以上繰り返す。第1制御工程では、LFの周波数は、例えば0.1Hz~100Hzであってもよい。

【0091】

図9の変形例1-1では、LFの電圧の替わりにDCパルスが載置台16に印加される。DCパルスの電圧の正の値は、LFの電圧の正のピークに一致し、DCパルスの電圧の負の値又は0は、LFの電圧の負のピークに一致し、デポシールド11に印加する直流電圧が第1の状態と第2の状態となるようにDCパルスの電圧に同期して直流電圧を交互に印加する。具体的には、DCパルスの電圧が正のタイミングにデポシールド11の電位は第1の状態になり、DCパルスの電圧が負のタイミングにデポシールド11の電位が第2の状態になるように直流電圧を制御してもよい。これによれば、DCパルスの電圧が2値化されており、これに応じて直流電圧を2値化して制御するため、直流電圧の印加の制御が容易になる。なお、直流電圧を周期的にオン・オフする替わりに、直流電圧を周期的にHigh・Lowになるように制御してもよい。

10

【0092】

図10Aの変形例1-2では、直流電圧は、第1の状態において正の値であって段階的に2つ以上の電圧値を有し、第2の状態において0に制御される。また、図10Bの変形例1-3では、直流電圧は、第1の状態において正の値であって滑らかに2つ以上の電圧値を有し、第2の状態において滑らかに負の電圧値を有する。変形例1-2、1-3では、第1の状態又は第2の状態における直流電圧を複数の値に制御することで、より精度良くイオンエネルギーを制御することができる。

20

【0093】

上記の実施形態及び各変形例では、電極電位の電圧の周期と同期して直流電圧を印加する制御方法の一例として、バイアスパワーの電圧の周期と同期して直流電圧を印加する制御方法について説明した。しかし、ソースパワーの電圧の周期と同期して直流電圧を印加してもよい。バイアスパワー又はソースパワーの電圧の周期と同期して直流電圧及びソースパワーの電圧の少なくともいずれかを印加してもよい。

30

【0094】

以上では、可変直流電源115又は可変直流電源117から処理容器10のデポシールド11に印加する直流電圧についての制御方法を説明したが、これに限られない。例えば、高周波電源(第1の高周波電源48)から処理容器10のデポシールド11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。

【0095】

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、処理容器内で被処理体を載置する電極と、処理容器内にプラズマを供給するプラズマ生成源と、電極にバイアスパワーを供給するバイアス電源と、処理容器内のプラズマに暴露されるパーティと、バイアスパワーの電圧の周波数と同一の周波数を有する高周波電圧をパーティに供給する高周波電源と、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°~270°であってもよい。

40

【0096】

また、バイアス電源から出力する高周波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、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してもよい。

【0097】

50

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。

【0098】

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収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。

【0099】

[変形例1-4~1-6]

次に、一実施形態の変形例1-4~1-6に係るプラズマ処理装置1の制御方法について、図11~図13を参照して説明する。図11は、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である。図12は、一実施形態の変形例1-5に係る制御方法を示すタイミングチャートである。図13は、一実施形態の変形例1-6に係る制御方法を示すタイミングチャートである。

10

【0100】

図11に示す変形例1-4では、直流電圧は、LF電圧又はバイアスパワーの一周期を4ゾーンに分け、各ゾーンに応じて所定の値の直流電圧がデポシールド11に印加される。つまり、第1制御工程において第1ゾーンの第1の状態と、第2ゾーンの第2の状態と、第3ゾーンの第3の状態と、第4ゾーンの第4の状態とをこの順に1回以上繰り返す。これにより、デポシールド11の電位は、4つの状態（固定値）に制御される。変形例1-4では、隣り合うゾーンに印加される電圧は異なる値であって一定の値である。なお、第1制御工程では、LFの周波数は、例えば0.1Hz~100Hzであってもよい。

20

【0101】

図12に示す変形例1-5では、所望の波形のバイアスパワーを使用する。バイアスパワーは、かかるバイアスパワーの波形は、所望の波形（バイアス波形）の一例である。所望のバイアス波形は、図12に示すように任意の波形であり、その一周期を4ゾーンに分け、各ゾーンに応じて所定の値の直流電圧がデポシールド11に印加される。つまり、第1制御工程において第1ゾーンの第1の状態と、第2ゾーンの第2の状態と、第3ゾーンの第3の状態と、第4ゾーンの第4の状態とをこの順に1回以上LFの周期に合わせて繰り返す。これにより、デポシールド11の電位は、4つの状態（固定値）に制御される。変形例1-5では、隣り合うゾーンに印加される電圧は異なる値であって一定の値である。

30

【0102】

図13に示す変形例1-6も、変形例1-5と同一のバイアス波形の一周期を4ゾーンに分け、各ゾーンに応じて所定の値の直流電圧がデポシールド11に印加される。第1制御工程において第1ゾーンの第1の状態と、第2ゾーンの第2の状態と、第3ゾーンの第3の状態と、第4ゾーンの第4の状態とをこの順に1回以上LFの周期に合わせて繰り返す。これにより、デポシールド11の電位は、4つの状態（可変値を含む）に制御される。図13の例では、第1ゾーンで印加される電圧は、始点から終点まで電位が傾斜して変化する可変値である。第2ゾーン~第4ゾーンで印加される電圧は、固定値である。第1ゾーンに示す波形をテーラード波形ともいう。

40

【0103】

以上に説明したように、バイアスパワーを電極に供給するバイアス電源としてLF電力を供給する第1の高周波電源48の替わりに、所望のバイアス波形のバイアスパワーを電極に供給する電源を有してもよい。この場合、バイアス波形のバイアスパワーの一周期を複数のゾーンに分割して各ゾーンに応じて、直流電圧が、第1の電圧値を有する第1の状態と、第1の電圧値と異なる第2の電圧値を有する第2の状態と、第2の電圧値と異なる第3の電圧値を有する第3の状態と、第3の電圧値と異なる第4の電圧値を有する第4の状態と、を周期的に繰り返し、電極の電位の各周期内の部分期間に第1の電圧値を印加し、第1の状態と第2の状態とが連続するように第2の電圧値を印加し、第2の状態と第3の状態とが連続するように第3の電圧値を印加し、第3の状態と第4の状態とが連続する

50

ように第2の電圧値を印加する第1制御手順を含むプログラムを有する記憶媒体を有してもよい。そして、制御部200は、その記憶媒体のプログラムを実行してもよい。これにより、バイアス波形の一周期を複数のゾーンに分け、ゾーン毎に固定又は可変の電圧を印加するよう制御することで、イオンの衝突エネルギーを制御することができる。バイアス波形の一周期を分けるゾーン数は2以上であればよい。これにより、バイアス波形の一周期に2以上の状態の電圧をデポシールド11等のパーツに印加することができる。

【0104】

所望のバイアス波形は、LF(RF)、DCパルスに限らない。所望のバイアス波形は、図12及び図13に示すテーラード波形を含む波形であってもよい。バイアス波形の信号は、発信器(図3Cのプロセッサ100参照)で生成し、生成した信号をアンプで増幅して任意の波形のパワーを供給する電源に出力することで生成できる。前述したバイアスパワーは、所望のバイアス波形のパワーの一例である。可変直流電源115は、パーツに所望のバイアス波形の電圧を供給する電源の一例である。可変直流電源115に替えて配置され得る交流電源からパーツに所望のバイアス波形の電圧を供給してもよい。また、第1の高周波電源48も同様に、電極に所望のバイアス波形のパワーを供給するバイアス電源の一例である。載置台16に第2の高周波電源90とは別のRFパワーを印加するRF電源を別途設けてもよい。この場合、第2の高周波電源90及びRF電源は、所望のバイアス波形のパワーの電圧の周波数と同一又は異なる周波数を有する高周波電圧をデポシールド11等のパーツに供給する電源の一例である。

【0105】

デポシールド11へ印加する電圧は、直流電圧をオン・オフするだけでなく、高周波RFのパワーを変更してもよいし、図13のデポシールド11の電位に示すように任意に形成されたバイアス波形を印加してもよい。直流電圧及び高周波RFのパワーを制御し、更に高周波RFの周波数を変えてよい。デポシールド11等のパーツへ印加する電圧は、プロセスレシピに対応して制御部200により制御してもよい。

【0106】

[変形例2-1~2-4]

次に、一実施形態の変形例2-1~2-4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2-1~2-4では、バイアスパワーと直流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14A~図14Dは、一実施形態の変形例2-1~2-4に係る制御方法を示すタイミングチャートである。

【0107】

図14Aの変形例2-1では、第1制御工程に加えて、直流電圧を、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。

【0108】

変形例2-1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。

【0109】

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0.1Hz~100kHzであってもよい。図14Aの変形例2-1~図14Dの変形例2-4では、処理容器のデポシールド11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直流電圧を印加し、第2の状態を第1の状態と連続して印加する。直流電圧の場合、正の値であり、第1の状態の第1の電圧値が第2の状態の第2の電圧値よりも高い。

【0110】

図14Aの変形例2-1~図14Dの変形例2-4では、DCの電圧の第1の状態が正の電圧値を有し、第2の状態が0である。なお、直流電圧のDuty比(=第4の状態/(第3の状態+第4の状態))は、1%~99%の範囲内であればよい。

10

20

30

40

50

【0111】

所定の高周波電圧（以下、「RF電圧」ともいう。）を処理容器のデポシールド11へ供給してもよい。この場合、第2の高周波電源90から、RF電圧を処理容器のデポシールド11に供給してもよいし、載置台16にRF電圧を印加するRF電源を別途設けてよい。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の電圧値よりも高い。

【0112】

図14Aの変形例2-1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の状態をとり、0の第2の状態と繰り返されるのが、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。

10

【0113】

図14Bの変形例2-2にかかる制御方法は、変形例2-1と同じ第1制御工程に加えて、バイアスパワーを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。

【0114】

変形例2-2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2-2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。

【0115】

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%～90%の範囲内であればよい。

20

【0116】

図14Cの変形例2-3にかかる制御方法は、変形例2-1と同じ第1制御工程に加えて、変形例2-1の第2制御工程のDCの制御と変形例2-2の第3制御工程のLFの制御が行われる。つまり、変形例2-3におけるDC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。

【0117】

バイアスパワーを間欠的に停止する周期とDC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、DC及びバイアスパワーを間欠的に停止する周期は、図14Cに示すように一致してもよいし、図14Dに示すように、DCがバイアスパワーよりも後ろにずれてもよいし、DCがバイアスパワーよりも前にずれてもよい。

30

【0118】

なお、図14A～図14D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、DCの電圧をオンしているが、これに限られない。また、DCの電圧を周期的にオン・オフする替わりに、DCの電圧を正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。

【0119】**[変形例3]**

次に、一実施形態の変形例3に係る制御方法について、図15を参照して説明する。図11は、一実施形態の変形例3に係る制御方法を示すタイミングチャートである。

40

【0120】

例えば、変形例3に係る制御方法では、図15に示すようにDCパルスが載置台16に印加される。DCパルスの正の値は、LFの電圧の正のピークに一致し、DCパルスの負の値は、LFの電圧の負のピークに一致する。

【0121】

この場合、変形例3に係る制御方法では、正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、DC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。これによつても、ウエハWのエッジ部のホールの橢円形状やチルティングの発生を防ぐことができる。

50

【 0 1 2 2 】

例えば、DC パルスが 0 又は正の間の一部又は全部において直流電圧は、第 1 の状態の第 1 の電圧値に制御され、DC 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 の電圧値よりも低くなるように制御してもよい。これによれば、DC パルスが 2 値化されており、これに応じて DC の電圧を 2 値化して制御するため、制御が容易になる。

【 0 1 2 3 】**[変形例 4 - 1 、 4 - 2]**

図 16 A は、一実施形態の変形例 4 - 1 に係る制御方法を示すタイミングチャートである。図 16 B は、一実施形態の変形例 4 - 2 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 16 A 及び図 16 B に示す変形例 4 - 1 、 4 - 2 に係る制御方法では、処理容器のデポシールド 11 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 16 A に示す変形例 4 - 1 では、DC の電圧の第 1 の状態が、正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。この場合にも正の電圧は、第 1 の状態の第 1 の電圧値が第 2 の状態の第 2 の電圧値よりも高い。

10

【 0 1 2 4 】

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 から処理容器のデポシールド 11 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。

20

【 0 1 2 5 】

図 16 B に示す変形例 4 - 2 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 16 A 及び図 16 B 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。

【 0 1 2 6 】

例えば、図 16 A に示す変形例 4 - 1 では、直流電圧の第 1 の状態が、正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、第 1 の状態の第 1 の電圧値が第 2 の状態の第 2 の電圧値よりも高い。

【 0 1 2 7 】

高周波電圧を印加する場合にも、第 1 の状態の第 1 の電圧値が第 2 の状態の第 2 の電圧値よりも高い。高周波電圧は、第 2 の高周波電源 90 からデポシールド 11 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。

30

【 0 1 2 8 】

図 16 B に示す変形例 4 - 2 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 16 A 及び図 16 B 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。

【 0 1 2 9 】**(その他)**

制御部 200 の制御について付記する。

(付記 1)

制御部 200 は、前記第 1 の状態の期間にソースパワーを供給してもよい。

40

(付記 2)

第 1 の状態の期間は、下部電極又は上部電極が正のピークとなるタイミングを含んでもよい。

(付記 3)

制御部 200 は、前記電極電位が正のタイミングの間にソースパワー及び直流電圧の少なくともいずれかを供給してもよい。

(付記 4)

制御部 200 は、前記電極電位が正のタイミングから所定時間シフトさせた時間にソースパワー及び直流電圧の少なくともいずれかを供給してもよい。

50

(付記 5)

制御部 200 は、前記電極電位が正のタイミングから所定時間のマージンを付加した時間にソースパワー及び直流電圧の少なくともいずれかを供給してもよい。

【 0 1 3 0 】

以上、制御方法及びプラズマ処理装置を上記実施形態により説明したが、本開示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、本開示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。また、一実施形態及び複数の変形例は、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。

【 0 1 3 1 】

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。

10

【 0 1 3 2 】

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。

【 0 1 3 3 】

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良い。

20

【 符号の説明 】

【 0 1 3 4 】

1 ... プラズマ処理装置

1 0 ... 処理容器

1 1 ... デポシールド

1 6 ... 載置台（下部電極）

2 5 ... インシュレーティング

3 4 ... 上部電極

30

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 3 ... バッフル板

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

40

1 0 0 ... プロセッサ

1 0 2 ... 信号発生回路

1 0 4、1 1 5、1 1 7 ... 可変直流電源

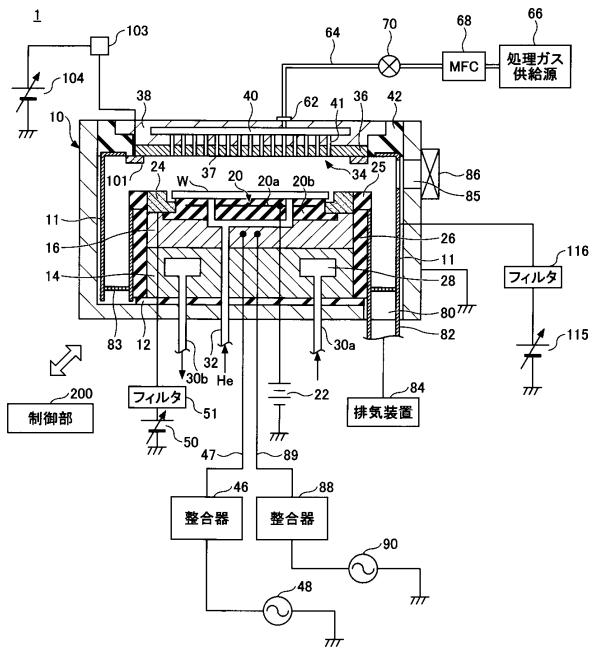
1 1 6、1 1 8 ... ローパスフィルタ

2 0 0 ... 制御部

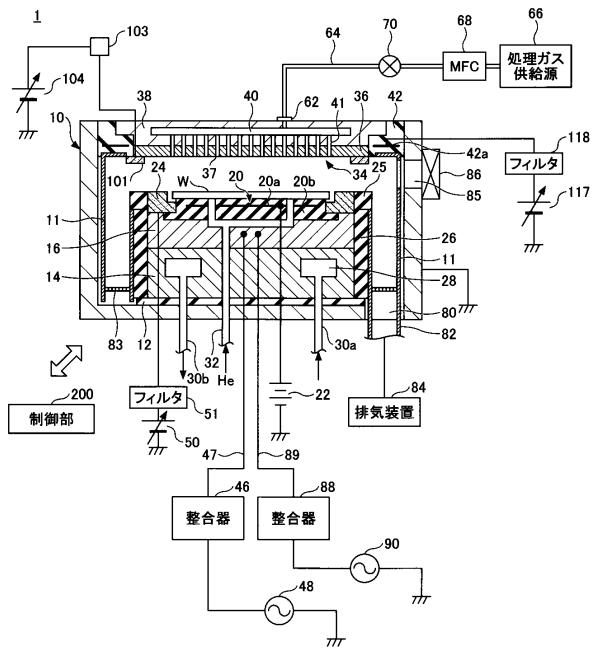
50

【図面】

【図 1 A】



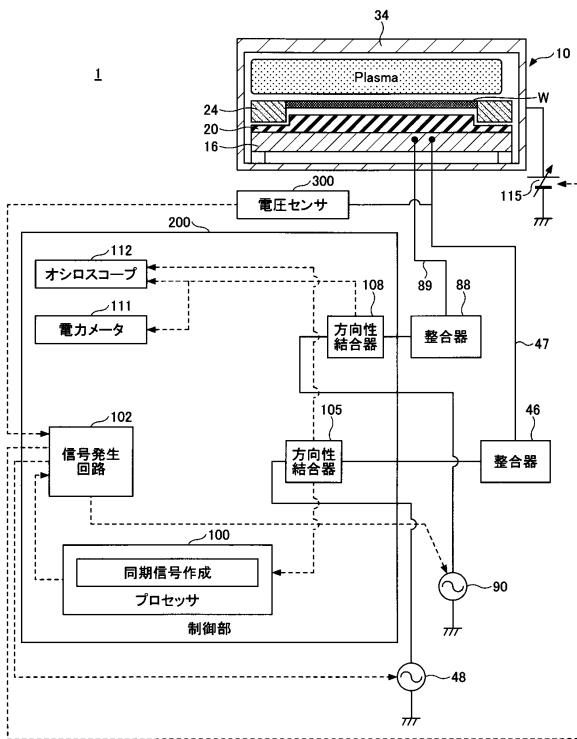
【図 1 B】



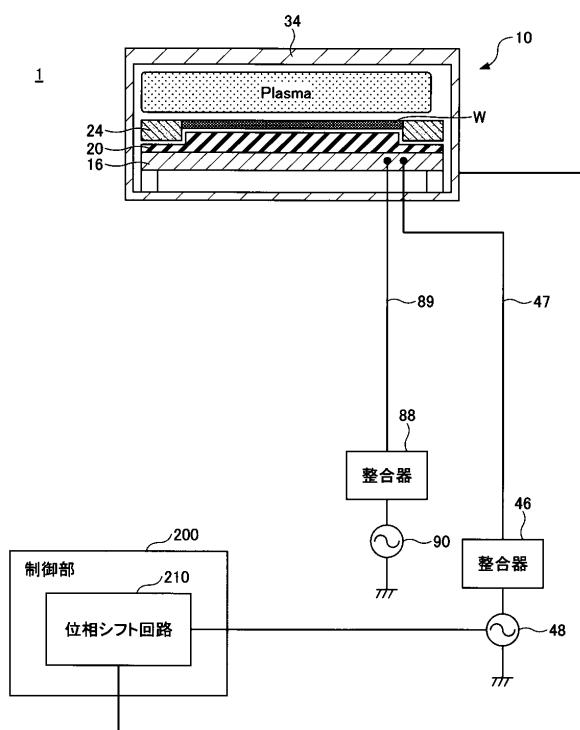
10

20

【図 2】



【図 3 A】

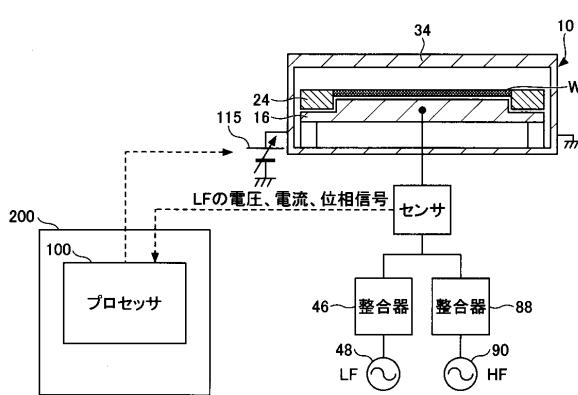


30

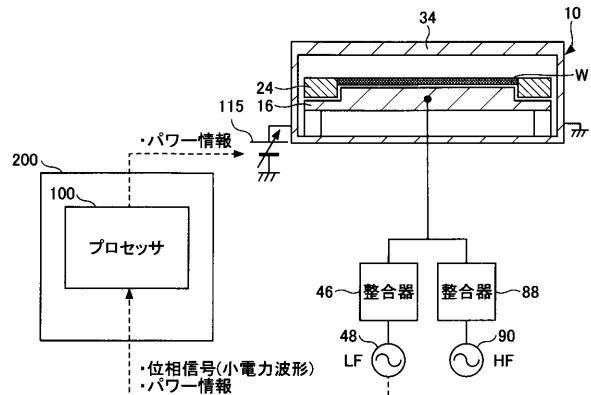
40

50

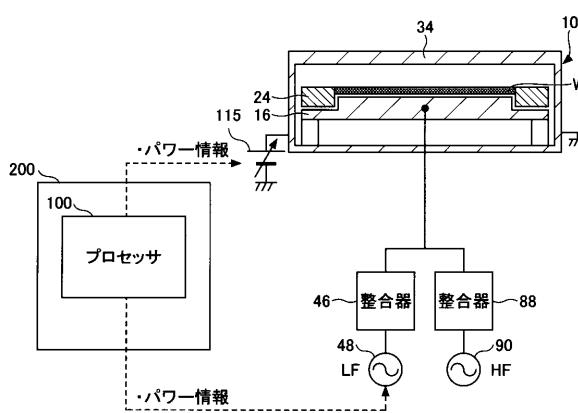
【図 3 B】



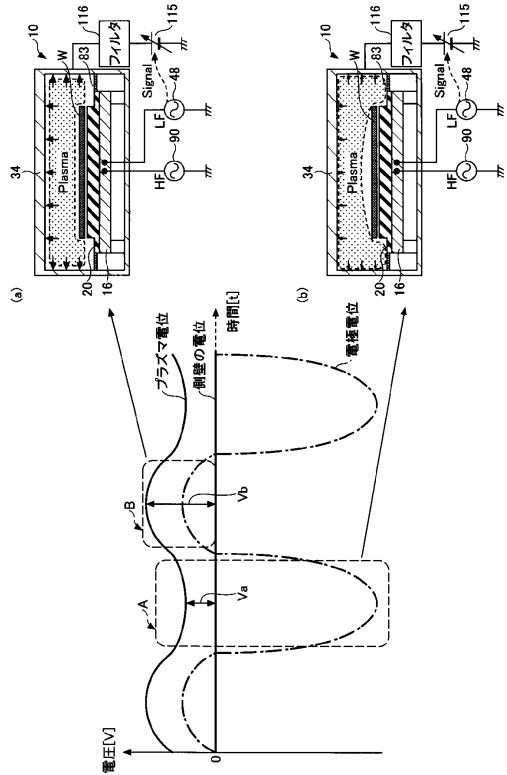
【図 3 C】



【図 3 D】



【図 4】



10

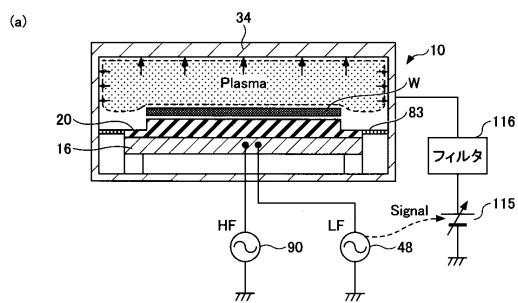
20

30

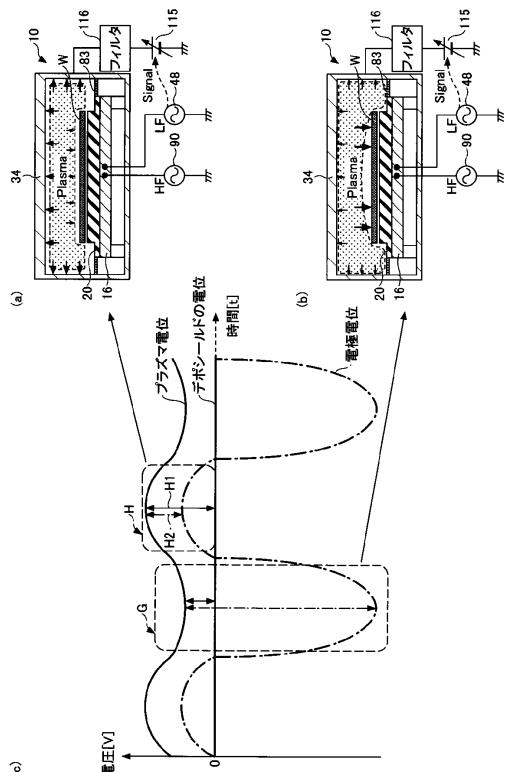
40

50

【図5】



【図6】



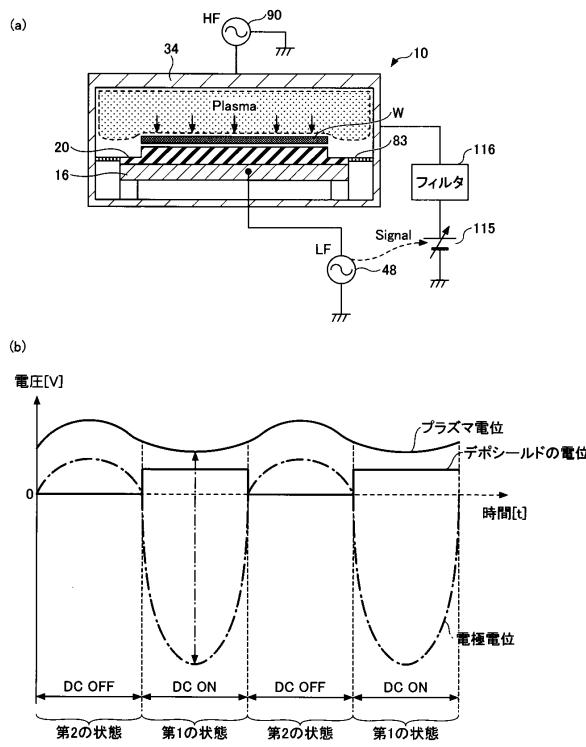
10

20

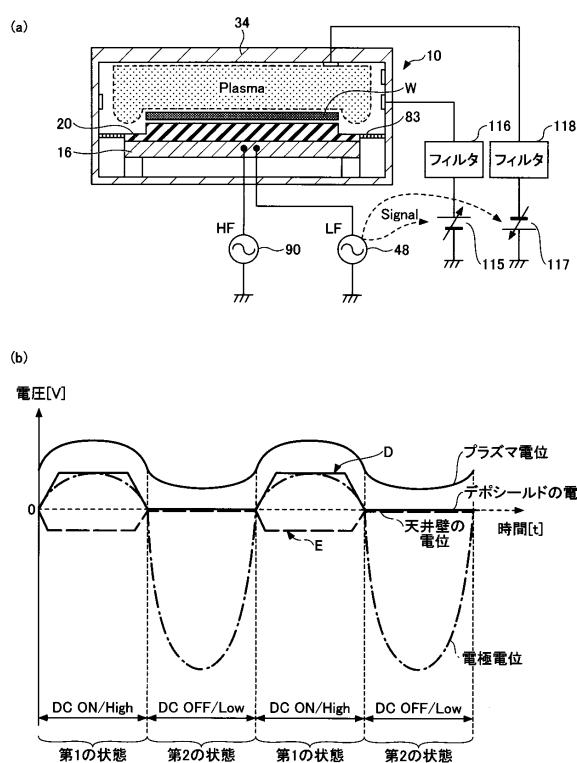
30

40

【図7】

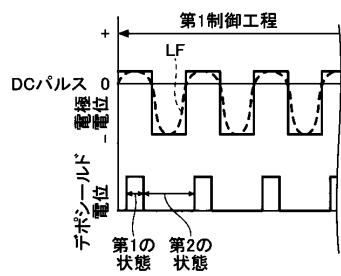


【図8】

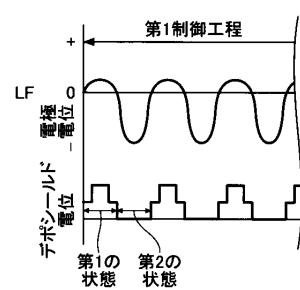


50

【図 9】

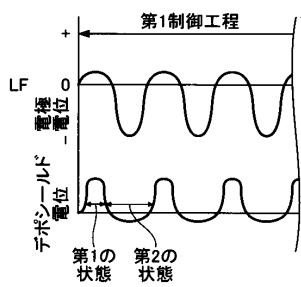


【図 10 A】

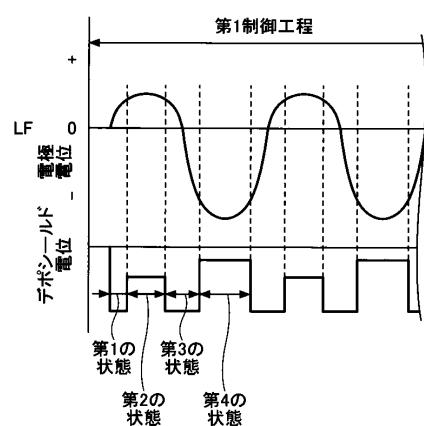


10

【図 10 B】



【図 11】



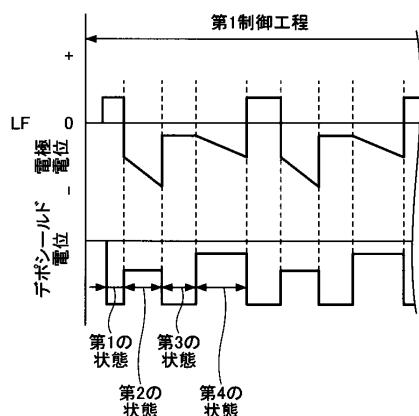
20

30

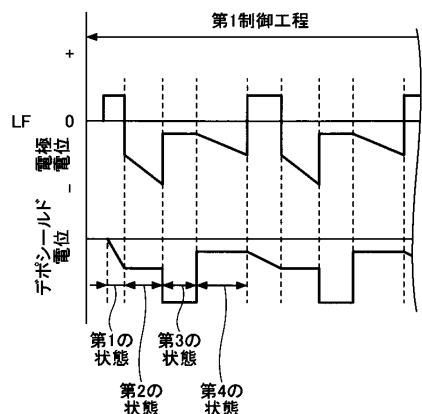
40

50

【図 1 2】

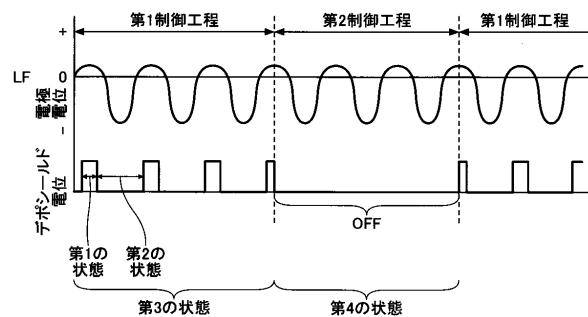


【図 1 3】

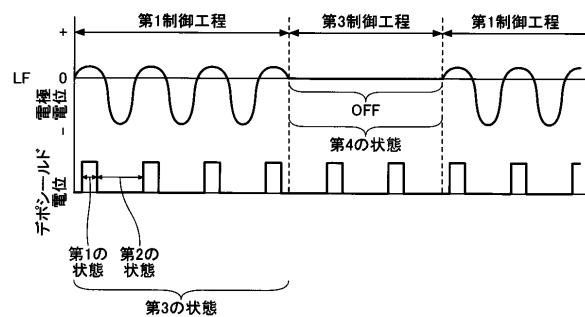


10

【図 1 4 A】



【図 1 4 B】



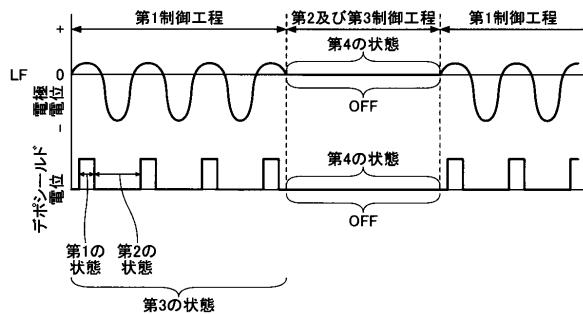
20

30

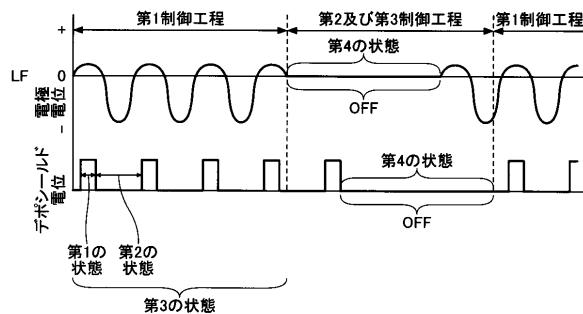
40

50

【図 1 4 C】

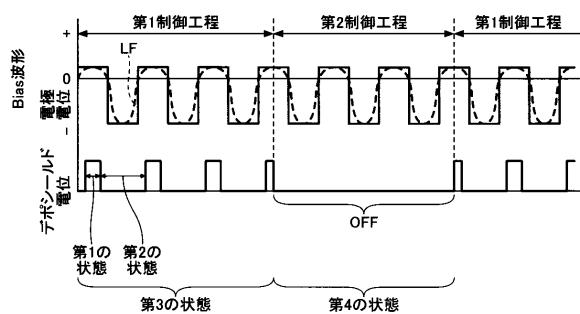


【図 1 4 D】

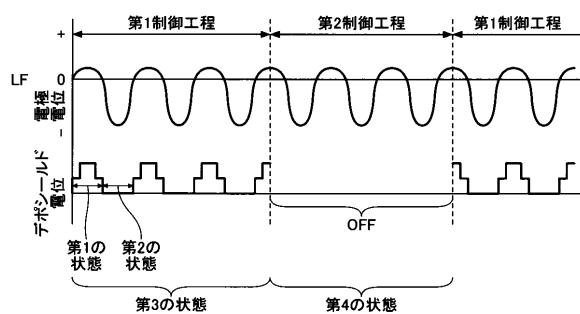


10

【図 1 5】

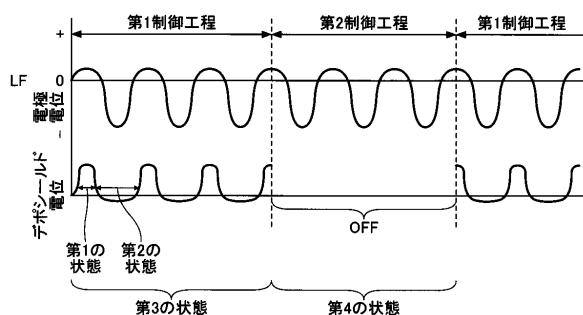


【図 1 6 A】



20

【図 1 6 B】



30

40

50

フロントページの続き

東京エレクトロン宮城株式会社内

審査官 船越 亮

- (56)参考文献 特開2011-040461(JP,A)
 特開2012-104382(JP,A)
 特開2006-032759(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
H01L 21/205
H01L 21/302
H01L 21/31
H01L 21/365
H01L 21/461
H01L 21/469
H01L 21/86
H05H 1/00 - 1/54