

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7336395号
(P7336395)

(45)発行日 令和5年8月31日(2023.8.31)

(24)登録日 令和5年8月23日(2023.8.23)

(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	1 0 1 B
H 05 H	1/46	R
	1/46	M

請求項の数 11 (全16頁)

(21)出願番号 特願2020-12239(P2020-12239)
(22)出願日 令和2年1月29日(2020.1.29)
(65)公開番号 特開2021-118314(P2021-118314)
A)
(43)公開日 令和3年8月10日(2021.8.10)
審査請求日 令和4年9月9日(2022.9.9)

(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	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(74)代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(74)代理人	100122507 弁理士 柏岡 潤二
(72)発明者	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
審査官	船越 亮

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられ、下部電極を有する基板支持器と、

前記下部電極の上方に設けられた上部電極と、

第1の周波数を有する高周波電力を前記下部電極又は上部電極に供給するように構成された高周波電源であり、前記高周波電力は、第1の期間に、第1のパワーレベルを有し、該第1の期間の後の第2の期間に、前記第1のパワーレベルより低い第2のパワーレベルを有し、前記第1の期間及び前記第2の期間は、交互に繰り返される、該高周波電源と、前記第2の期間に、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数を有するバイアス電力を前記下部電極に供給するように構成されたバイアス電源であり、第2の周波数で規定される各周期は、第1の副期間及び第2の副期間を有する、該バイアス電源と、

前記第1の副期間に第1の負直流電圧を前記上部電極に印加し、前記第2の副期間に第2の負直流電圧を印加するように構成された直流電源であり、前記第1の負直流電圧は、前記第2の負直流電圧よりも低い、該直流電源と、

を備えるプラズマ処理装置。

【請求項2】

前記基板支持器上の基板は、前記第1の副期間において正の電位を有し、前記第2の副期間において負の電位を有する、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】

前記基板支持器上の基板は、前記第1の副期間において負の電位を有し、前記第2の副期間において正の電位を有する、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】

前記高周波電源及び前記バイアス電源は、前記第1の期間と前記第2の期間との間の休止期間において、前記高周波電力及び前記バイアス電力の供給を停止する、請求項1～3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】

前記直流電源は、前記休止期間に、前記第1の負直流電圧より高い第3の負直流電圧を前記上部電極に印加するように構成される、請求項4に記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】

前記直流電源は、前記第1の期間に、前記第1の負直流電圧より高い第4の負直流電圧を印加するように構成される、請求項1～5の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】

前記第1の負直流電圧は、前記上部電極と前記下部電極との間の電位差を一定に維持するように制御される、請求項1～6の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】

前記第2の負直流電圧は、ゼロである、請求項1～7の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】

前記バイアス電力は、前記第2の周波数を有する高周波バイアス電力である、請求項1～8の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項10】

前記バイアス電力は、直流電圧パルスであり、前記直流電圧パルスは、前記第1の副期間及び前記第2の副期間のうち一方において第1の負電圧レベルを有し、前記第1の副期間及び前記第2の副期間のうち他方において前記第1の負電圧レベルよりも大きい第2の負電圧レベル又はゼロレベルを有する、請求項1～8の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】

プラズマ処理装置を用いた基板処理方法であって、

前記プラズマ処理装置は、

20

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた下部電極と、

前記下部電極の上方に設けられた上部電極と、

を備え、

30

該基板処理方法は、複数のサイクルを含み、各サイクルは、

第1の期間に、第1のパワーレベルを有する高周波電力を前記下部電極又は上部電極に供給する工程であり、前記高周波電力は、第1の周波数を有する、該工程と、

前記第1の期間の後の第2の期間に、前記第1のパワーレベルより低い第2のパワーレベルを有する前記高周波電力を前記下部電極又は上部電極に供給する工程と、

前記第2の期間に、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数を有するバイアス電力を前記下部電極に供給する工程であり、前記第2の周波数で規定される各周期は、第1の副期間及び第2の副期間を有する、該工程と、

前記第1の副期間に、第1の負直流電圧を前記上部電極に印加する工程と、

前記第2の副期間に、第2の負直流電圧を印加する工程であり、前記第1の負直流電圧は、前記第2の負直流電圧よりも低い、該工程と、

を有する、基板処理方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の例示的実施形態は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関するものであ

50

る。

【背景技術】

【0002】

プラズマ処理装置が、プラズマエッティングといった基板のプラズマ処理に用いられている。プラズマ処理装置は、チャンバ内でプラズマを生成し、当該プラズマからの化学種により基板を処理するように構成されている。プラズマ処理装置の一種として、容量結合型のプラズマ処理装置が知られている。容量結合型のプラズマ処理装置は、上部電極及び下部電極を有する。下部電極を含む基板支持器は、チャンバ内で基板を支持する。上部電極は、基板支持器の上方に設けられている。容量結合型のプラズマ処理装置は、上部電極と下部電極との間で高周波電界を生成することにより、チャンバ内のガスからプラズマを生成する。

10

【0003】

下記の特許文献1に記載された容量結合型のプラズマ処理装置は、上部電極に接続された直流電源を有する。直流電源は、上部電極に負極性の直流電圧を印加するように構成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2006-270017号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本開示は、上部電極から基板に調整された量の電子を供給可能とする技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一つの例示的実施形態において、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持器、上部電極、高周波電源、バイアス電源、直流電源、及び制御部を備える。基板支持器は、下部電極を有する。基板支持器は、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。上部電極は、下部電極の上方に設けられている。高周波電源は、チャンバ内のガスからプラズマを生成するために第1の周波数を有する高周波電力を供給するように構成されている。バイアス電源は、下部電極に電気的に接続されている。バイアス電源は、基板支持器上に載置された基板にイオンを引き込むためにバイアス電力を供給するように構成されている。バイアス電力は、第2の周波数で規定される各周期内で基板支持器上に載置された基板の電位を変動させる。直流電源は、上部電極に電気的に接続されている。制御部は、高周波電源、バイアス電源、及び直流電源を制御するように構成されている。制御部は、第1の期間において高周波電力を供給するよう高周波電源を制御する。制御部は、第1の期間の後の第2の期間における高周波電力のパワーレベルを第1の期間における高周波電力のパワーレベルから減少されたパワーレベルに設定するよう高周波電源を制御する。制御部は、第2の期間内でバイアス電力を下部電極に与えるようバイアス電源を制御する。制御部は、第2の期間において上部電極に直流電圧を印加するよう直流電源を制御する。第2の期間における直流電圧は、第2の周波数で規定される各周期内で、第1の副期間におけるその極性が負であり、第1の副期間におけるその絶対値が、第1の副期間とは異なる第2の副期間におけるその絶対値よりも大きくなるように設定される。

30

【発明の効果】

【0007】

一つの例示的実施形態によれば、上部電極から基板に調整された量の電子を供給することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

40

50

【図1】一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

【図2】一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。

【図3】図1に示すプラズマ処理装置におけるバイアス電力BPのレベル、高周波電力RFのパワーレベル、電位、及び直流電圧DCSの一例のタイミングチャートである。

【図4】バイアス電力の別の例を示すタイミングチャートである。

【図5】図1に示すプラズマ処理装置におけるバイアス電力BPのレベル、高周波電力RFのパワーレベル、電位（基板W又は下部電極18の電位）、及び直流電圧DCSの別の例のタイミングチャートである。

【図6】直流電圧DCSの別の例のタイミングチャートである。

【発明を実施するための形態】

10

【0009】

以下、種々の例示的実施形態について説明する。

【0010】

一つの例示的実施形態において、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持器、上部電極、高周波電源、バイアス電源、直流電源、及び制御部を備える。基板支持器は、下部電極を有する。基板支持器は、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。上部電極は、下部電極の上方に設けられている。高周波電源は、チャンバ内のガスからプラズマを生成するために第1の周波数を有する高周波電力を供給するように構成されている。バイアス電源は、下部電極に電気的に接続されている。バイアス電源は、基板支持器上に載置された基板にイオンを引き込むためにバイアス電力を供給するように構成されている。バイアス電力は、第2の周波数で規定される各周期内では基板支持器上に載置された基板の電位を変動させる。直流電源は、上部電極に電気的に接続されている。制御部は、高周波電源、バイアス電源、及び直流電源を制御するように構成されている。制御部は、第1の期間において高周波電力を供給するよう高周波電源を制御する。制御部は、第1の期間の後の第2の期間における高周波電力のパワーレベルを第1の期間における高周波電力のパワーレベルから減少されたパワーレベルに設定するよう高周波電源を制御する。制御部は、第2の期間内でバイアス電力を下部電極に与えるようバイアス電源を制御する。制御部は、第2の期間において上部電極に直流電圧を印加するよう直流電源を制御する。第2の期間における直流電圧は、第2の周波数で規定される各周期内では、第1の副期間におけるその極性が負であり、第1の副期間におけるその絶対値が、第1の副期間とは異なる第2の副期間におけるその絶対値よりも大きくなるように設定される。

20

【0011】

上記実施形態によれば、その絶対値が大きい負極性の直流電圧が上部電極に印加されるときの、基板の電位の極性を設定することができる。基板の電位が正の電位であるときにその絶対値が大きい負極性の直流電圧が上部電極に印加されている状態では、基板には比較的多量の電子が供給される。一方、基板の電位が負の電位であるときにその絶対値が大きい負極性の直流電圧が上部電極に印加されている状態では、基板に供給される電子の量は少ない。したがって、上記実施形態によれば、上部電極から基板に調整された量の電子を供給することが可能となる。また、基板の電位が正の電位であるときにその絶対値が大きい負極性の直流電圧が上部電極に印加されている状態では、チャンバ内のガスの解離度は低くなる。一方、基板の電位が負の電位であるときにその絶対値が大きい負極性の直流電圧が上部電極に印加されている状態では、チャンバ内のガスの解離度は高くなる。したがって、上記実施形態によれば、第2の期間においてチャンバ内のガスの解離度を調整された解離度に設定することが可能となる。

30

【0012】

一つの例示的実施形態において、制御部は、第2の期間内でバイアス電力が正の電位を有するときの直流電圧の絶対値が、第2の期間内でバイアス電力が負の電位を有するときの直流電圧の絶対値よりも大きくなるように直流電源を制御してもよい。

40

【0013】

50

一つの例示的実施形態において、制御部は、第2の期間内でバイアス電力が負の電位を有するときの直流電圧の絶対値が、第2の期間内でバイアス電力が正の電位を有するときの直流電圧の絶対値よりも大きくなるように直流電源を制御してもよい。

【0014】

一つの例示的実施形態において、制御部は、第1の期間と第2の期間との間の期間において、高周波電力の供給及びバイアス電力の供給を停止するよう高周波電源及びバイアス電源を制御してもよい。

【0015】

一つの例示的実施形態において、制御部は、直流電圧を、第1の期間と第2の期間との間の期間において上部電極に印加するよう直流電源を制御してもよい。第1の期間と第2の期間との間の期間において上部電極に印加される直流電圧は、第1の副期間において上部電極に印加される直流電圧の最小の絶対値よりも小さい絶対値を有し、且つ、負極性を有する。この実施形態によれば、第1の期間と第2の期間との間の期間では、比較的少量の電子が上部電極からチャンバ内に放出される。その結果、プラズマは、第1の期間と第2の期間との間の期間においても、確実に維持され得る。

10

【0016】

一つの例示的実施形態において、制御部は、第1の副期間において上部電極に印加される直流電圧の最小の絶対値よりも小さい絶対値を有し、且つ、負極性を有する直流電圧を、第1の期間において上部電極に印加するよう直流電源を制御してもよい。

20

【0017】

一つの例示的実施形態において、第1の副期間において直流電源によって上部電極に印加される直流電圧のレベルは、上部電極と下部電極との間の電位差を一定に維持するように変化してもよい。

【0018】

一つの例示的実施形態において、第2の副期間における直流電圧のレベルはゼロであってもよい。

【0019】

一つの例示的実施形態において、バイアス電力は、第2の周波数を有する高周波バイアス電力であってもよい。

30

【0020】

一つの例示的実施形態において、バイアス電力は、第2の周波数で規定される各周期内の二つの副期間のうち一方の副期間においてその極性が負である直流電圧であってもよい。この実施形態では、バイアス電力は、二つの副期間のうち他方の副期間においてそのレベルがゼロであるかその極性が負であり且つその絶対値が一方の副期間におけるその絶対値よりも小さい直流電圧であり得る。

【0021】

別の例示的実施形態においては、プラズマ処理方法が提供される。プラズマ処理方法において用いられるプラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持器、上部電極、高周波電源、バイアス電源、直流電源、及び制御部を備える。基板支持器は、下部電極を有する。基板支持器は、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。上部電極は、下部電極の上方に設けられている。高周波電源は、チャンバ内のガスからプラズマを生成するために第1の周波数を有する高周波電力を供給するように構成されている。バイアス電源は、下部電極に電気的に接続されている。バイアス電源は、基板支持器上に載置された基板にイオンを引き込むためにバイアス電力を供給するように構成されている。バイアス電力は、第2の周波数で規定される各周期内で基板支持器上に載置された基板の電位を変動させる。直流電源は、上部電極に電気的に接続されている。プラズマ処理方法は、第1の期間において高周波電力を供給する工程を含む。プラズマ処理方法は、第1の期間の後の第2の期間における高周波電力のパワーレベルを第1の期間における高周波電力のパワーレベルから減少されたパワーレベルに設定する工程を更に含む。プラズマ処理方法は、第2の期間内でバイアス電力を下部電極に与える工程を更に含む。プラズマ処理方法は、第2の期

40

50

間において直流電源から上部電極に直流電圧を印加する工程を更に含む。直流電圧は、第2の周波数で規定される各周期内で、第1の副期間におけるその極性が負であり、該第1の副期間におけるその絶対値が、第1の副期間とは異なる第2の副期間におけるその絶対値よりも大きくなるように設定される。

【0022】

以下、図面を参照して種々の例示的実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

【0023】

図1は、一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図1に示すプラズマ処理装置1は、容量結合型のプラズマ処理装置である。プラズマ処理装置1は、チャンバ10を備えている。チャンバ10は、その中に内部空間10sを提供している。内部空間10sの中心軸線は、鉛直方向に延びる軸線AXである。

10

【0024】

一実施形態において、チャンバ10は、チャンバ本体12を含んでいる。チャンバ本体12は、略円筒形状を有している。内部空間10sは、チャンバ本体12の中に提供されている。チャンバ本体12は、例えばアルミニウムから構成されている。チャンバ本体12は電気的に接地されている。チャンバ本体12の内壁面、即ち内部空間10sを画成する壁面には、耐プラズマ性を有する膜が形成されている。この膜は、陽極酸化処理によって形成された膜又は酸化イットリウムから形成された膜といったセラミック製の膜であります。

20

【0025】

チャンバ本体12の側壁には通路12pが形成されている。基板Wは、内部空間10sとチャンバ10の外部との間で搬送されるときに、通路12pを通過する。この通路12pの開閉のために、ゲートバルブ12gがチャンバ本体12の側壁に沿って設けられている。

【0026】

プラズマ処理装置1は、基板支持器16を更に備える。基板支持器16は、チャンバ10の中で、その上に載置された基板Wを支持するように構成されている。基板Wは、略円盤形状を有する。基板支持器16は、支持部17によって支持されている。支持部17は、チャンバ本体12の底部から上方に延在している。支持部17は、略円筒形状を有している。支持部17は、石英といった絶縁材料から形成されている。

30

【0027】

基板支持器16は、下部電極18及び静電チャック20を有する。下部電極18及び静電チャック20は、チャンバ10の中に設けられている。下部電極18は、アルミニウムといった導電性材料から形成されており、略円盤形状を有している。

【0028】

下部電極18内には、流路18fが形成されている。流路18fは、熱交換媒体用の流路である。熱交換媒体としては、液状の冷媒、或いは、その気化によって下部電極18を冷却する冷媒（例えば、フロン）が用いられる。流路18fには、熱交換媒体の供給装置（例えば、チラーユニット）が接続されている。この供給装置は、チャンバ10の外部に設けられている。流路18fには、供給装置から配管23aを介して熱交換媒体が供給される。流路18fに供給された熱交換媒体は、配管23bを介して供給装置に戻される。

40

【0029】

静電チャック20は、下部電極18上に設けられている。基板Wは、内部空間10sの中で処理されるときに、静電チャック20上に載置され、静電チャック20によって保持される。

【0030】

静電チャック20は、本体及び電極を有している。静電チャック20の本体は、酸化アルミニウム又は窒化アルミニウムといった誘電体から形成されている。静電チャック20の本体は、略円盤形状を有している。静電チャック20の中心軸線は、軸線AXに略一致

50

している。静電チャック 20 の電極は、本体内に設けられている。静電チャック 20 の電極は、膜形状を有している。静電チャック 20 の電極には、直流電源がスイッチを介して電気的に接続されている。直流電源からの電圧が静電チャック 20 の電極に印加されると、静電チャック 20 と基板 Wとの間で静電引力が発生する。発生した静電引力により、基板 Wは静電チャック 20 に引き付けられ、静電チャック 20 によって保持される。

【 0 0 3 1 】

静電チャック 20 は、基板載置領域を含んでいる。基板載置領域は、略円盤形状を有する領域である。基板載置領域の中心軸線は、軸線 AX に略一致している。基板 Wは、チャンバ 10 内で処理されるときには、基板載置領域の上面の上に載置される。

【 0 0 3 2 】

一実施形態において、静電チャック 20 は、エッジリング載置領域を更に含んでいてよい。エッジリング載置領域は、静電チャック 20 の中心軸線の周りで基板載置領域を囲むように周方向に延在している。エッジリング載置領域の上面の上にはエッジリング ER が搭載される。エッジリング ER は、環形状を有している。エッジリング ER は、軸線 AX にその中心軸線が一致するように、エッジリング載置領域上に載置される。基板 Wは、エッジリング ER によって囲まれた領域内に配置される。即ち、エッジリング ER は、基板 Wのエッジを囲むように配置される。エッジリング ER は、導電性を有し得る。エッジリング ER は、例えはシリコン又は炭化ケイ素から形成されている。エッジリング ER は、石英といった誘電体から形成されていてもよい。

【 0 0 3 3 】

プラズマ処理装置 1 は、ガス供給ライン 25 を更に備え得る。ガス供給ライン 25 は、ガス供給機構からの伝熱ガス、例えは He ガスを、静電チャック 20 の上面と基板 Wの裏面（下面）との間の隙間に供給する。

【 0 0 3 4 】

プラズマ処理装置 1 は、絶縁領域 27 を更に備え得る。絶縁領域 27 は、支持部 17 上に配置されている。絶縁領域 27 は、軸線 AX に対して径方向において下部電極 18 の外側に配置されている。絶縁領域 27 は、下部電極 18 の外周面に沿って周方向に延在している。絶縁領域 27 は、石英といった絶縁体から形成されている。エッジリング ER は、絶縁領域 27 及びエッジリング載置領域上に載置される。

【 0 0 3 5 】

プラズマ処理装置 1 は、上部電極 30 を更に備えている。上部電極 30 は、基板支持器 16 の上方に設けられている。上部電極 30 は、部材 32 と共にチャンバ本体 12 の上部開口を閉じている。部材 32 は、絶縁性を有している。上部電極 30 は、この部材 32 を介してチャンバ本体 12 の上部に支持されている。

【 0 0 3 6 】

上部電極 30 は、天板 34 及び支持体 36 を含んでいる。天板 34 の下面是、内部空間 10 s を画成している。天板 34 には、複数のガス吐出孔 34 a が形成されている。複数のガス吐出孔 34 a の各々は、天板 34 を板厚方向（鉛直方向）に貫通している。この天板 34 は、限定されるものではないが、例えはシリコンから形成されている。或いは、天板 34 は、アルミニウム製の部材の表面に耐プラズマ性の膜を設けた構造を有し得る。この膜は、陽極酸化処理によって形成された膜又は酸化イットリウムから形成された膜といったセラミック製の膜であり得る。

【 0 0 3 7 】

支持体 36 は、天板 34 を着脱自在に支持している。支持体 36 は、例えはアルミニウムといった導電性材料から形成されている。支持体 36 の内部には、ガス拡散室 36 a が設けられている。ガス拡散室 36 a からは、複数のガス孔 36 b が下方に延びている。複数のガス孔 36 b は、複数のガス吐出孔 34 a にそれぞれ連通している。支持体 36 には、ガス導入ポート 36 c が形成されている。ガス導入ポート 36 c は、ガス拡散室 36 a に接続している。ガス導入ポート 36 c には、ガス供給管 38 が接続されている。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

ガス供給管 38 には、ガスソース群 40 が、バルブ群 41、流量制御器群 42、及びバルブ群 43 を介して接続されている。ガスソース群 40、バルブ群 41、流量制御器群 42、及びバルブ群 43 は、ガス供給部 GS を構成している。ガスソース群 40 は、複数のガスソースを含んでいる。バルブ群 41 及びバルブ群 43 の各々は、複数のバルブ（例えば開閉バルブ）を含んでいる。流量制御器群 42 は、複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群 42 の複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器である。ガスソース群 40 の複数のガスソースの各々は、バルブ群 41 の対応のバルブ、流量制御器群 42 の対応の流量制御器、及びバルブ群 43 の対応のバルブを介して、ガス供給管 38 に接続されている。プラズマ処理装置 1 は、ガスソース群 40 の複数のガスソースのうち選択された一以上のガスソースからのガスを、個別に調整された流量で、内部空間 10 s に供給することが可能である。

【 0 0 3 9 】

基板支持器 16 又は支持部 17 とチャンバ本体 12 の側壁との間には、バッフルプレート 48 が設けられている。バッフルプレート 48 は、例えば、アルミニウム製の部材に酸化イットリウム等のセラミックを被覆することにより構成され得る。このバッフルプレート 48 には、多数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート 48 の下方においては、排気管 52 がチャンバ本体 12 の底部に接続されている。この排気管 52 には、排気装置 50 が接続されている。排気装置 50 は、自動圧力制御弁といった圧力制御器、及び、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、内部空間 10 s の圧力を減圧することができる。

【 0 0 4 0 】

プラズマ処理装置 1 は、高周波電源 61 を更に備えている。高周波電源 61 は、高周波電力 RF を発生する電源である。高周波電力 RF は、チャンバ 10 内のガスからプラズマを生成するために用いられる。高周波電力 RF は、第 1 の周波数を有する。第 1 の周波数は、27 ~ 100 MHz の範囲内の周波数、例えば 40 MHz 又は 60 MHz の周波数である。高周波電源 61 は、高周波電力 RF を下部電極 18 に供給するために、整合回路 63 を介して下部電極 18 に接続されている。整合回路 63 は、高周波電源 61 の出力インピーダンスと負荷側（下部電極 18 側）のインピーダンスを整合させるように構成されている。なお、高周波電源 61 は、下部電極 18 に電気的に接続されていなくてもよく、整合回路 63 を介して上部電極 30 に接続されていてもよい。

【 0 0 4 1 】

プラズマ処理装置 1 は、バイアス電源 62 を更に備えている。バイアス電源 62 は、下部電極 18 に電気的に接続されている。一実施形態において、バイアス電源 62 は、回路 64 を介して下部電極 18 に接続されている。バイアス電源 62 は、下部電極 18 に供給されるバイアス電力 BP を発生するように構成されている。バイアス電力 BP は、基板支持器 16 上に載置された基板 W にイオンを引き込むために、利用される。バイアス電力 BP は、基板支持器 16 上に載置された基板 W の電位を、第 2 の周波数で規定される各周期内で変動させるように設定される。バイアス電力 BP は、第 2 の周波数で規定される各周期内で、基板支持器 16 上に載置された基板 W の電位を正の電位と負の電位に変動させ得る。第 2 の周波数は、第 1 の周波数よりも低い周波数であり得る。第 2 の周波数は、例えば、50 kHz 以上、27 MHz 以下である。

【 0 0 4 2 】

一実施形態において、バイアス電力 BP は、高周波バイアス電力である。高周波バイアス電力は、第 2 の周波数を有する高周波電力である。バイアス電力 BP が高周波バイアス電力である場合には、回路 64 は、整合回路であり、バイアス電力 BP の出力インピーダンスと負荷側（下部電極 18 側）のインピーダンスを整合させるように構成される。

【 0 0 4 3 】

或いは、バイアス電源 62 は、負極性の直流電圧のパルス NP を第 2 の周波数で規定される周期 CY で周期的に下部電極 18 に印加するように構成されていてもよい（図 4 参照）。各周期 CY は、二つの副期間 P c 及び P d を含む。負極性の直流電圧のパルス NP は

10

20

30

40

50

、これら二つの副期間のうち一方の副期間 P d において下部電極 1 8 に印加される。これら二つの副期間のうち他方の副期間 P c においては、負極性の直流電圧のパルス N P は、下部電極 1 8 に印加されない。或いは、副期間 P c においてバイアス電源 6 2 から下部電極 1 8 に印加される直流電圧の絶対値は、副期間 P d においてバイアス電源 6 2 から下部電極 1 8 に印加される直流電圧（即ち、負極性の直流電圧のパルス N P ）の絶対値よりも小さくてもよい。バイアス電力 B P として負極性の直流電圧のパルス N P が下部電極 1 8 に印加される場合には、回路 6 4 はローパスフィルタであり得る。

【 0 0 4 4 】

プラズマ処理装置 1 は、直流電源 7 0 を更に備えている。直流電源 7 0 は、上部電極 3 0 に電気的に接続されている。直流電源 7 0 は、上部電極 3 0 に印加される直流電圧 D C S を発生するように構成されている。10

【 0 0 4 5 】

一実施形態において、プラズマ処理装置 1 は、電圧センサ 7 8 を更に備えていてもよい。電圧センサ 7 8 は、基板 W の電位を直接的に又は間接的に測定するように構成されている。図 1 に示す例では、電圧センサ 7 8 は、下部電極 1 8 の電位を測定するように構成されている。具体的には、電圧センサ 7 8 は、下部電極 1 8 とバイアス電源 6 2 との間で接続されている給電路の電位を測定する。

【 0 0 4 6 】

プラズマ処理装置 1 においてプラズマ処理が行われる場合には、内部空間 1 0 s にガスが供給される。そして、高周波電力 R F が供給されることにより、内部空間 1 0 s の中でガスが励起される。その結果、内部空間 1 0 s の中でプラズマが生成される。基板支持器 1 6 によって支持された基板 W は、プラズマからのイオン及びラジカルといった化学種により処理される。例えば、基板は、プラズマからの化学種によりエッティングされる。プラズマ処理装置 1 では、バイアス電力 B P が下部電極 1 8 に供給されることにより、プラズマからの正イオンが基板 W に向けて加速される。また、プラズマ処理装置 1 では、負極性の直流電圧が上部電極 3 0 に印加されることにより、プラズマからの正イオンが上部電極 3 0 (天板 3 4) に衝突する。その結果、電子が上部電極 3 0 から放出される。上部電極 3 0 から放出された電子が基板 W に供給されると、正電荷による基板 W の帯電量が減少する。その結果、基板 W に形成された開口の底まで正イオンを到達させることが可能となる。20

【 0 0 4 7 】

プラズマ処理装置 1 は、制御部 M C を更に備える。制御部 M C は、プロセッサ、記憶装置、入力装置、表示装置等を備えるコンピュータであり、プラズマ処理装置 1 の各部を制御する。制御部 M C は、記憶装置に記憶されている制御プログラムを実行し、当該記憶装置に記憶されているレシピデータに基づいてプラズマ処理装置 1 の各部を制御する。制御部 M C による制御により、レシピデータによって指定されたプロセスがプラズマ処理装置 1 において実行される。後述するプラズマ処理方法は、制御部 M C によるプラズマ処理装置 1 の各部の制御により、プラズマ処理装置 1 において実行され得る。30

【 0 0 4 8 】

以下、図 2 ~ 図 6 を参照する。図 2 は、一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。図 3 は、図 1 に示すプラズマ処理装置におけるバイアス電力 B P のレベル、高周波電力 R F のパワーレベル、電位（基板 W 又は下部電極 1 8 の電位）、及び直流電圧 D C S の一例のタイミングチャートである。図 4 は、バイアス電力の別の例を示すタイミングチャートである。図 5 は、図 1 に示すプラズマ処理装置におけるバイアス電力 B P のレベル、高周波電力 R F のパワーレベル、電位（基板 W 又は下部電極 1 8 の電位）、及び直流電圧 D C S の別の例のタイミングチャートである。図 6 は、直流電圧 D C S の別の例のタイミングチャートである。以下、図 2 ~ 図 6 を参照しつつ、一つの例示的実施形態に係るプラズマ処理方法（以下、「方法 M T」という）について説明する。加えて、制御部 M C による高周波電源 6 1 、バイアス電源 6 2 、及び直流電源 7 0 の制御について説明する。40

【 0 0 4 9 】

10

20

30

40

50

方法 M T は、基板 W が基板支持器 1 6 上に載置されている状態で、実行される。方法 M T は、工程 S T 1、工程 S T 2 1、工程 S T 2 2、及び工程 S T 2 3 を含む。方法 M T は、工程 S T M を更に含んでいてもよい。方法 M T のこれらの工程の各々の実行中、ガス供給部 G S からのガスが、チャンバ 1 0 内に供給され得る。また、方法 M T のこれらの工程の各々の実行中、チャンバ 1 0 内のガスの圧力が、指定された圧力に設定される。方法 M T のこれらの各工程の実行のために、制御部 M C は、ガス供給部 G S 及び排気装置 5 0 を制御する。

【 0 0 5 0 】

工程 S T 1 は、第 1 の期間 P 1 において実行される。工程 S T 2 1、工程 S T 2 2 及び工程 S T 2 3 は、第 1 の期間 P 1 の後の第 2 の期間 P 2 において実行される。工程 S T 1 の実行により、第 1 の期間 P 1 においては、図 3 及び図 5 に示すように、高周波電源 6 1 から高周波電力 R F が供給される。図 3 及び図 5 では、第 1 の期間 P 1 内の高周波電力 R F のパワーレベルは、「H」レベル、即ち高いレベルとして示されている。第 1 の期間 P 1 においては、高周波電力 R F の連続波が供給されてもよい。或いは、第 1 の期間 P 1 において、高周波電力 R F のパルスが周期的に供給されてもよい。工程 S T 1 の実行のために、制御部 M C は、第 1 の期間 P 1 において高周波電力 R F を供給するよう、高周波電源 6 1 を制御する。工程 S T 1 の実行により、チャンバ 1 0 内でガスからプラズマが生成される。

10

【 0 0 5 1 】

バイアス電力 B P が高周波バイアス電力である場合には、第 1 の期間 P 1 において、高周波バイアス電力は、下部電極 1 8 に供給されない。或いは、バイアス電力 B P が高周波バイアス電力である場合には、第 1 の期間 P 1 において、高周波バイアス電力のパワーレベルは、第 2 の期間 P 2 における高周波バイアス電力のパワーレベル（「H」レベル）よりも低いパワーレベルに設定される。なお、図 3 及び図 5 では、第 1 の期間 P 1 における高周波バイアス電力のパワーレベルは、「L」レベルとして示されている。

20

【 0 0 5 2 】

バイアス電力 B P は、上述したように、周期 C Y で周期的に下部電極 1 8 に印加される負極性の直流電圧のパルス N P（図 4 参照）であってもよい。バイアス電力 B P として負極性の直流電圧のパルス N P が用いられる場合には、第 1 の期間 P 1 において、負極性の直流電圧のパルス N P は、下部電極 1 8 に印加されない。或いは、第 1 の期間 P 1 における負極性の直流電圧のパルス N P のレベルは、第 2 の期間 P 2 における負極性の直流電圧のパルス N P の絶対値（「H」レベル）よりも小さい絶対値に設定される。なお、図 4 では、第 1 の期間 P 1 における負極性の直流電圧のパルス N P の絶対値は、「L」レベルとして示されている。

30

【 0 0 5 3 】

上述したように、バイアス電力 B P は、基板 W 又は下部電極 1 8 の電位を各周期 C Y 内において変動させる。図 3 及び図 4 に示すように、第 1 の期間 P 1 において、バイアス電力 B P が下部電極 1 8 に供給されない場合には、基板 W 又は下部電極 1 8 の電位は、ゼロであり得る。

【 0 0 5 4 】

第 1 の期間 P 1 において、負極性の直流電圧 D C S は、直流電源 7 0 から上部電極 3 0 に印加されなくてもよい。或いは、第 1 の期間 P 1 において、負極性の直流電圧 D C S が直流電源 7 0 から上部電極 3 0 に印加されてもよい。第 1 の期間 P 1 において上部電極 3 0 に印加される直流電圧 D C S は、第 2 の期間 P 2 における各周期 C Y 内の第 1 の副期間 P a において上部電極 3 0 に印加される負極性の直流電圧 D C S の最小の絶対値よりも小さい絶対値を有する。図 3 及び図 5 では、第 1 の期間 P 1 において上部電極 3 0 に印加される直流電圧 D C S のレベルは、「V 1」レベルとして示されている。また、第 1 の副期間 P a において上部電極 3 0 に印加される負極性の直流電圧 D C S のレベルは、「V H」レベルとして示されている。なお、各周期 C Y は、第 1 の副期間 P a と第 2 の副期間 P b を含む。第 2 の副期間 P b は、第 1 の副期間 P a と異なる期間である。

40

50

【 0 0 5 5 】

第1の期間P1において、制御部MCは、上述したように高周波電力RFのパワーレベル、バイアス電力BPのレベル、及び負極性の直流電圧DCSの絶対値を設定するよう、高周波電源61、バイアス電源62、及び直流電源70を制御する。

【 0 0 5 6 】

一実施形態では、工程ST1と工程ST2の間で、工程STMが実行されてもよい。工程STMは、第1の期間P1と第2の期間P2との間の期間PMにおいて実行される。工程STMの実行により、期間PMにおいて、高周波電力RFの供給及びバイアス電力BPの供給が停止される。工程STMの実行のために、制御部MCは、期間PMにおいて高周波電力RFの供給を停止するよう、高周波電源61を制御する。また、工程STMの実行のために、制御部MCは、期間PMにおいてバイアス電力の供給を停止するよう、バイアス電源62を制御する。方法MTで実行されるプラズマ処理がプラズマエッティングである場合には、基板W上の堆積物の量が期間PMにおいて増加し得る。或いは又は加えて、基板Wに形成された開口内からの反応生成物の排出が、期間PMにおいて促進される。

10

【 0 0 5 7 】

期間PMにおいて、負極性の直流電圧DCSは、直流電源70から上部電極30に印加されなくてもよい。或いは、期間PMにおいて、負極性の直流電圧DCSが、直流電源70から上部電極30に印加されてもよい。期間PMにおいて上部電極30に印加される直流電圧DCSは、第1の副期間Paにおいて上部電極30に印加される負極性の直流電圧DCSの最小の絶対値よりも小さい絶対値を有する。なお、図3及び図5では、期間PMにおいて上部電極30に印加される直流電圧DCSのレベルは、「VM」レベルとして示されている。期間PMにおいて、制御部MCは、上述したように直流電圧DCSのレベルを設定するよう、直流電源70を制御する。かかる絶対値を有する負極性の直流電圧DCSが期間PMにおいて上部電極に印加されると、比較的少量の電子が上部電極30からチャンバー10内に放出される。その結果、プラズマは、期間PMにおいて確実に維持され得る。

20

【 0 0 5 8 】

上述したように、工程ST21、工程ST22及び工程ST23は、第1の期間P1の後の第2の期間P2において実行される。工程ST21の実行により、第2の期間P2においては、高周波電力RFのパワーレベルが、第1の期間P1における高周波電力RFのパワーレベルから減少されたパワーレベルに設定される。第2の期間P2における高周波電力RFのパワーレベルは、ゼロであってもよい。即ち、第2の期間P2における高周波電力RFの供給は停止されてもよい。工程ST21の実行のために、制御部MCは、第2の期間P2における高周波電力RFのパワーレベルをかかるパワーレベルに設定するよう、高周波電源61を制御する。

30

【 0 0 5 9 】

工程ST22は、工程ST21の実行中に実行される。工程ST22の実行により、第2の期間P2においては、バイアス電力BPがバイアス電源62から下部電極18に供給される。バイアス電力BPは、上述したように、基板支持器16上に載置された基板Wの電位を、第2の周波数で規定される各周期CY内で、正の電位と負の電位に変動させるよう設定される。バイアス電力BPは、上述したように、高周波バイアス電力であり得る。或いは、バイアス電力BPは、上述したように、第2の周波数で規定される周期CYで周期的に下部電極18に印加される負極性の直流電圧のパルスNPを含み得る。工程ST22の実行のために、制御部MCは、第2の期間P2においてバイアス電力BPを下部電極18に与えるよう、バイアス電源62を制御する。

40

【 0 0 6 0 】

工程ST23は、工程ST21及び工程ST22の実行中に実行される。工程ST23の実行により、第2の期間P2においては、直流電圧DCSが直流電源70から上部電極30に印加される。第2の期間P2における直流電圧DCSは、各周期CY内の第1の副期間Paにおけるその極性が負であり、第1の副期間Paにおけるその絶対値が、第2の

50

副期間 P b におけるその絶対値よりも大きくなるように設定される。図 3 及び図 5においては、第 1 の副期間 P a における直流電圧 D C S のレベルは、「V H」レベルとして示されている。第 2 の副期間 P b においては、直流電圧 D C S は、上部電極 3 0 に印加されなくてよい。或いは、第 2 の副期間 P b において上部電極 3 0 に印加される直流電圧 D C S は、その極性が負であり、且つ、その絶対値が第 1 の副期間 P a におけるその絶対値よりも小さくなるように設定されてもよい。図 3 及び図 5においては、第 2 の副期間 P b における直流電圧 D C S のレベルは、「V L」レベルとして示されている。工程 S T 2 3 の実行のために、制御部 M C は、第 2 の期間 P 2 において直流電圧 D C S を上部電極 3 0 に印加するよう、直流電源 7 0 を制御する。

【0061】

10

一実施形態においては、図 6 に示すように、第 1 の副期間 P a において直流電源 7 0 によって上部電極 3 0 に印加される直流電圧 D C S のレベルは、上部電極 3 0 と下部電極 1 8 との間の電位差を一定に維持するように変化してもよい。この実施形態によれば、上部電極 3 0 から放出されて基板 W に供給される電子のエネルギーの分布を狭くすることが可能となる。

【0062】

20

一実施形態においては、図 3 に示すように、直流電圧 D C S は、基板 W 又は下部電極 1 8 が正の電位を有するときに、その絶対値が、基板 W 又は下部電極 1 8 が負の電位を有するときのその絶対値よりも大きくなるように、設定されてもよい。例えば、直流電圧 D C S は、バイアス電力 B P が正の電位を有するときに、その絶対値が、バイアス電力 B P が負の電位を有するときのその絶対値よりも大きくなるように、設定されてもよい。この実施形態において、第 1 の副期間 P a は、基板 W 又は下部電極 1 8 が正の電位を有する期間と重複するように設定される。また、第 2 の副期間 P b は、基板 W 又は下部電極 1 8 が負の電位を有する期間と重複するように設定される。第 1 の副期間 P a 及び第 2 の副期間 P b は、予め決定されたデータとして制御部 M C の記憶装置に記憶されていてもよく、このデータを用いて制御部 M C により指定されてもよい。或いは、第 1 の副期間 P a 及び第 2 の副期間 P b は、電圧センサ 7 8 によって測定される電位に応じて、制御部 M C により指定されてもよい。この実施形態では、基板 W の電位が正の電位であるときに、上部電極 3 0 にその絶対値が大きい直流電圧 D C S が印加される。したがって、上部電極 3 0 から放出されて基板 W に供給される電子の量が多くなる。

30

【0063】

一実施形態においては、図 5 に示すように、直流電圧 D C S は、基板 W 又は下部電極 1 8 が負の電位を有するときに、その絶対値が、基板 W 又は下部電極 1 8 が正の電位を有するときのその絶対値よりも大きくなるように、設定されてもよい。例えば、直流電圧 D C S は、バイアス電力 B P が負の電位を有するときに、その絶対値が、バイアス電力 B P が正の電位を有するときのその絶対値よりも大きくなるように、設定されてもよい。この実施形態において、第 1 の副期間 P a は、基板 W 又は下部電極 1 8 が負の電位を有する期間と重複するように設定される。また、第 2 の副期間 P b は、基板 W 又は下部電極 1 8 が正の電位を有する期間と重複するように設定される。第 1 の副期間 P a 及び第 2 の副期間 P b は、予め決定されたデータとして制御部 M C の記憶装置に記憶されていてもよく、このデータを用いて制御部 M C により指定されてもよい。或いは、第 1 の副期間 P a 及び第 2 の副期間 P b は、電圧センサ 7 8 によって測定される電位に応じて、制御部 M C により指定されてもよい。この実施形態では、基板 W の電位が負の電位であるときに、上部電極 3 0 にその絶対値が大きい直流電圧 D C S が印加される。したがって、上部電極 3 0 から放出されて基板 W に供給される電子の量は少なくなる。この実施形態では、上部電極 3 0 から放出された電子は、チャンバ 1 0 内のガスの解離度を増加させる。

40

【0064】

図 2 に示すように、一実施形態においては、工程 S T 1、工程 S T 2 1、工程 S T 2 2、及び工程 S T 2 3 を含むサイクルが繰り返されてもよい。このサイクルは、工程 S T M を更に含んでいてもよい。この場合には、工程 S T J において、停止条件が満たされるか

50

否かが判定される。停止条件は、サイクルの実行回数が所定回数に達している場合に満たされる。工程 S T J において停止条件が満たされないと判定されると、サイクルが繰り返される。工程 S T J において停止条件が満たされていると判定されると、方法 M T は終了する。

【 0 0 6 5 】

以上説明したように、プラズマ処理装置 1 では、その絶対値が大きい負極性の直流電圧 D C S が上部電極 3 0 に印加されるときの、基板 W の電位の極性を設定することができる。基板 W の電位が正の電位であるときにその絶対値が大きい負極性の直流電圧 D C S が上部電極 3 0 に印加されている状態では、基板 W には比較的多量の電子が供給される。一方、基板 W の電位が負の電位であるときにその絶対値が大きい負極性の直流電圧 D C S が上部電極 3 0 に印加されている状態では、基板 W に供給される電子の量は少ない。したがって、上部電極 3 0 から基板 W に調整された量の電子を供給することが可能となる。また、基板 W の電位が正の電位であるときにその絶対値が大きい負極性の直流電圧 D C S が上部電極 3 0 に印加されている状態では、チャンバ 1 0 内のガスの解離度は低くなる。一方、基板 W の電位が負の電位であるときにその絶対値が大きい負極性の直流電圧 D C S が上部電極 3 0 に印加されている状態では、チャンバ 1 0 内のガスの解離度は高くなる。したがって、第 2 の期間 P 2 においてチャンバ 1 0 内のガスの解離度を調整された解離度に設定することが可能となる。

【 0 0 6 6 】

以上、種々の例示的実施形態について説明してきたが、上述した例示的実施形態に限定されることなく、様々な追加、省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせて他の実施形態を形成することが可能である。

【 0 0 6 7 】

以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 8 】

1 ... プラズマ処理装置、1 0 ... チャンバ、1 6 ... 基板支持器、1 8 ... 下部電極、3 0 ... 上部電極、6 1 ... 高周波電源、6 2 ... バイアス電源、7 0 ... 直流電源、M C ... 制御部。

10

20

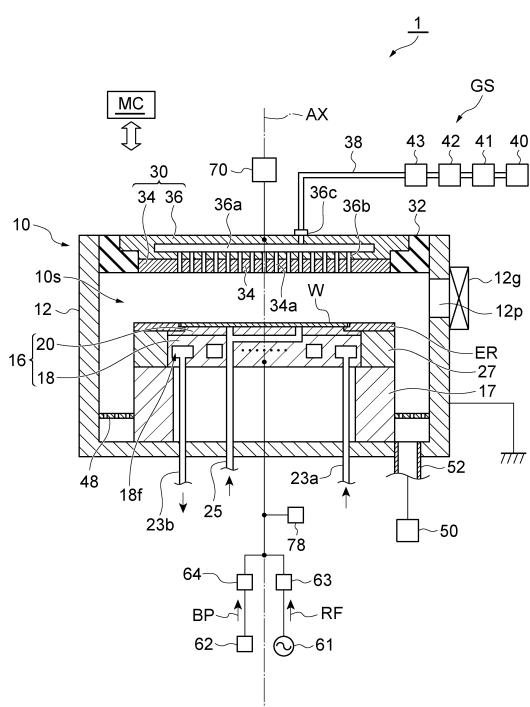
30

40

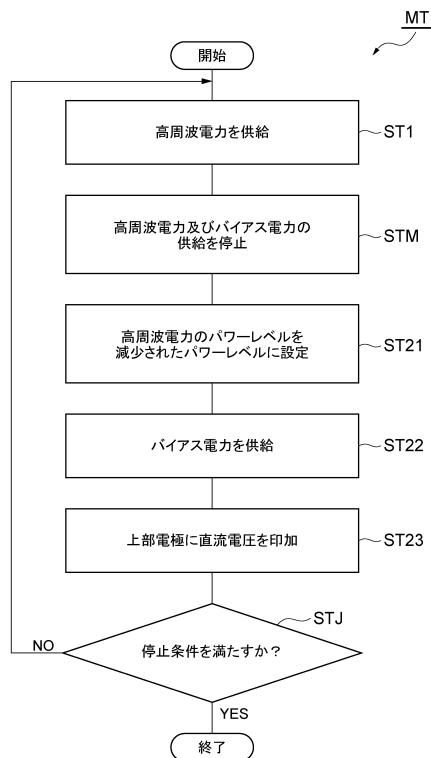
50

【図面】

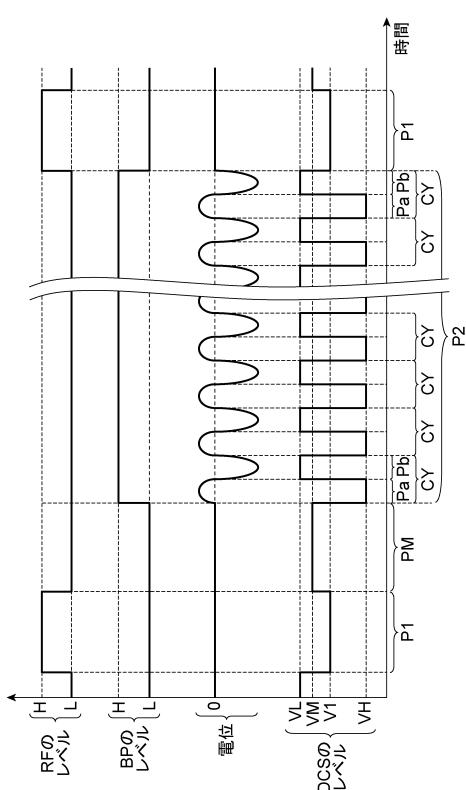
【図 1】



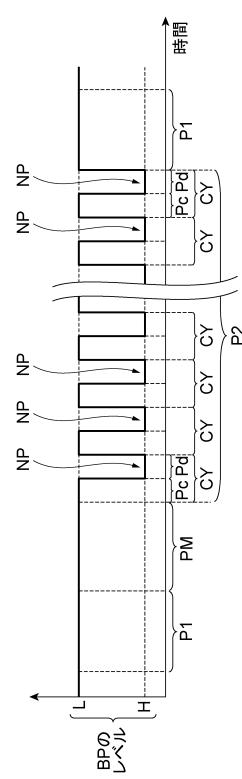
【図 2】



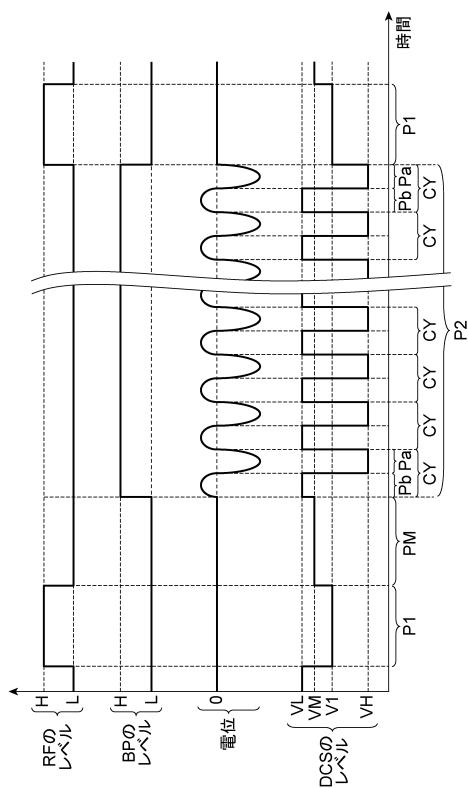
【図 3】



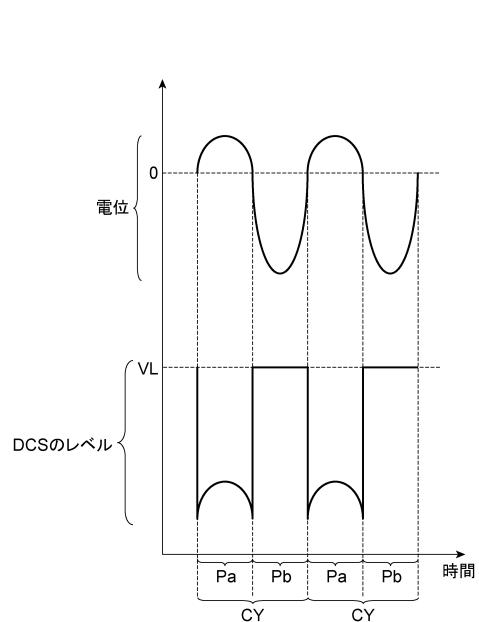
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 韓国公開特許第10 - 2010 - 0001552 (KR, A)
特開2016 - 157735 (JP, A)
特開2016 - 066593 (JP, A)
米国特許出願公開第2017 / 0229312 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21 / 3065
H01L 21 / 302
H01L 21 / 461
H05H 1 / 00 - 1 / 54