

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6518505号  
(P6518505)

(45) 発行日 令和1年5月22日 (2019.5.22)

(24) 登録日 平成31年4月26日 (2019.4.26)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302

I O 1 G

H O 1 L 21/683 (2006.01)

H O 1 L 21/68

R

H O 5 H 1/46 (2006.01)

H O 5 H 1/46

C

H O 5 H 1/00 (2006.01)

H O 5 H 1/46

L

H O 5 H 1/46

M

請求項の数 8 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-96998 (P2015-96998)  
 (22) 出願日 平成27年5月12日 (2015.5.12)  
 (65) 公開番号 特開2016-213358 (P2016-213358A)  
 (43) 公開日 平成28年12月15日 (2016.12.15)  
 審査請求日 平成29年11月29日 (2017.11.29)

(73) 特許権者 501387839  
 株式会社日立ハイテクノロジーズ  
 東京都港区西新橋一丁目24番14号  
 (74) 代理人 100091720  
 弁理士 岩崎 重美  
 (72) 発明者 石黒 正貴  
 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株  
 式会社 日立ハイテクノロジーズ内  
 (72) 発明者 角屋 誠浩  
 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株  
 式会社 日立ハイテクノロジーズ内  
 (72) 発明者 白米 茂  
 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株  
 式会社 日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマを用いて試料が処理されるプラズマ処理室と、  
 前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、  
 前記試料を静電吸着させるための電極を具備し前記試料が載置される試料台と、  
 前記電極に直流電圧を印加する直流電源と、  
 前記プラズマの放電中、予め設定された前記直流電圧を負の方向へ所定の値分シフトさせ、  
 前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定され  
 た直流電圧を正の方向へ前記所定の値分シフトさせる制御装置とを備え、  
前記プラズマの放電中、前記予め設定された直流電圧を負の方向へシフトさせるシフト量  
は、前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定さ  
れた直流電圧を正の方向へシフトさせた時の前記試料の電位を概ね0Vとする値であるこ  
 とを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】

請求項1に記載のプラズマ処理装置において、  
 前記電極は、前記直流電源により第一の直流電圧が印加される第一の電極と、前記直流電  
 源により前記第一の直流電圧と極性が異なる第二の直流電圧が印加される第二の電極と、  
 を具備することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】

請求項1に記載のプラズマ処理装置において、

前記プラズマの生成および前記プラズマの放電終了を検知する検知手段をさらに備え、  
前記検知手段は、前記高周波電源の出力電圧をモニタするセンサー、前記プラズマの発光  
をモニタするセンサーまたは前記プラズマからのイオン電流をモニタするセンサーを具備  
することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】

プラズマを用いて試料が処理されるプラズマ処理室と、  
前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、  
前記試料を静電吸着させるための電極を具備し前記試料が載置される試料台と、  
前記電極に直流電圧を印加する直流電源と、  
前記プラズマの放電中、予め設定された前記直流電圧を負の方向へ所定の値分シフトさせ  
、前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定され  
た直流電圧を正の方向へ前記所定の値分シフトさせる制御装置とを備え、  
前記プラズマの放電中、前記予め設定された直流電圧を負の方向へシフトさせるシフト量  
は、前記プラズマによる浮遊電位に基づいて求められた値であることを特徴とするプラズ  
マ処理装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理装置において、  
前記プラズマの放電中、前記予め設定された直流電圧を負の方向へシフトさせるシフト量  
は、15 V 以上であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】

プラズマを用いて試料が処理されるプラズマ処理室と、  
前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、  
前記試料を静電吸着させるための電極を具備し前記試料が載置される試料台と、  
前記電極に直流電圧を印加する直流電源と、  
前記プラズマの放電中、予め設定された前記直流電圧を負の方向へ所定の値分シフトさせ  
、前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定され  
た直流電圧を正の方向へ前記所定の値分シフトさせる制御装置とを備え、  
前記電極は、前記直流電源により第一の直流電圧が印加される第一の電極と、前記直流電  
源により前記第一の直流電圧と極性が異なる第二の直流電圧が印加される第二の電極と、  
を具備し、  
前記制御装置は、前記プラズマが生成される前、前記第一の電極と前記試料の間のインピー  
ダンスと、前記第二の電極と前記試料の間のインピーダンスと、の差により発生した前  
記試料の電位が概ね 0 となるように前記第一の直流電圧と前記第二の直流電圧を制御する  
ことを特徴とするプラズマ処理装置。

20

30

【請求項 7】

プラズマを用いて試料が処理されるプラズマ処理室と、前記プラズマを生成するための高  
周波電力を供給する高周波電源と、前記試料を静電吸着させるための電極を具備し前記試  
料が載置される試料台と、前記電極に直流電圧を印加する直流電源とを備えるプラズマ処  
理装置を用いたプラズマ処理方法において、  
前記プラズマの放電中、予め設定された前記直流電圧を負の方向へ所定の値分シフトさせ  
、  
前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定された  
直流電圧を正の方向へ前記所定の値分シフトさせ、  
前記プラズマの放電中、前記予め設定された直流電圧を負の方向へシフトさせるシフト量  
は、前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定さ  
れた直流電圧を正の方向へシフトさせた時の前記試料の電位を概ね 0 V とする値、または  
、前記プラズマによる浮遊電位に基づいて求められた値であることを特徴とするプラズマ  
処理方法。

40

【請求項 8】

50

プラズマを用いて試料が処理されるプラズマ処理室と、前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、前記試料を静電吸着させるための電極を具備し前記試料が載置される試料台と、前記電極に直流電圧を印加する直流電源とを備えるプラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法において、

前記プラズマの放電中、予め設定された前記直流電圧を負の方向へ所定の値分シフトさせ

、

前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定された直流電圧を正の方向へ前記所定の値分シフトさせ、

前記電極は、前記直流電源により第一の直流電圧が印加される第一の電極と、前記直流電源により前記第一の直流電圧と極性が異なる第二の直流電圧が印加される第二の電極と、を具備し、

前記プラズマが生成される前、前記第一の電極と前記試料の間のインピーダンスと、前記第二の電極と前記試料の間のインピーダンスと、の差により発生した前記試料の電位が概ね0となるように前記第一の直流電圧と前記第二の直流電圧を制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置の製造の技術に関する。特に本発明は、半導体装置の製造に好適なプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体製造におけるプラズマ処理方法の一つにプラズマエッチングがある。プラズマエッチングでは、試料基板（ウェハ）を処理室内部の試料台上に載置し、プラズマに曝露させる。この際、処理室に導入するガス種や、ウェハに印加する高周波電力など種々の処理条件を調整することで、ウェハ上の特定の積層膜を選択的に除去し、ウェハ上に微細な回路パターンを形成する。

【0003】

従って、異なる膜の処理を実施する際には、処理対象となる膜に応じて処理条件を切り替える必要がある。プラズマ処理は、プラズマの状態が安定した状況で行われることが望ましいため、処理条件の切り替えは、通常、プラズマ放電を中断して行われる。従って、プラズマエッチングにおいては、プラズマ放電と放電の中断が繰り返されるのが一般的である。

【0004】

上記の様なプラズマエッチングにおいて、処理中のウェハずれの防止やウェハ温度調整の要求などから、通常、ウェハは静電吸着電極などを用いて試料台上に固定される。静電吸着電極を用いてウェハを試料台上に固定する場合、静電吸着電極の電位に応じて、ウェハ表面に電位が現れる場合がある。ウェハ表面に電位が現れると、真空中で放電が発生しウェハ上に形成されたデバイスや配線の破壊を招く可能性があり、ウェハの表面電位は抑制されることが望ましい。静電吸着電極を用いてウェハを試料台に吸着する際に、ウェハ表面に現れる電位を抑制する方法として以下が挙げられる。

【0005】

特許文献1においては、双極型吸着電極において、各電極部の面積が非対称となってしまう場合や、仮に両電極部の面積や両電極部の幅を含むパターンルールを同じにしたとしても、各電極部からウェハまでの距離が異なる場合、これらの両電極部に対して同じ絶対値電圧を印加すると、ウェハ吸着面の表面電位は面積の大きい電極や、表面層に近い第一電極層の電位に偏る傾向があるとする。これに対し、ウェハが静電吸着されるウェハ吸着面の表面電位を小さくするために第一電極部及び第二電極部に異なる極性の電圧の組を印加して、これら両電極部の面積の非対称による表面電位のアンバランスを打ち消す技術を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】国際公開第2009/013803号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1において、プラズマ処理に伴うプラズマからの荷電粒子流入によってウェハ表面に電位が現れることについてなんら考慮が成されていない。プラズマエッチングにおいては、処理されるウェハの裏面に高抵抗の膜が存在し、ウェハが他の構造物とほぼ絶縁されているとみなしてよい場合が多々ある。また、静電吸着電極上の誘電体膜に関しても、その抵抗率が $10^{-5}$  cm程度の焼結体を用いられる場合もあり、この場合もウェハは他の構造物とは絶縁されていると見なせる。

10

【0008】

上記のようにウェハが絶縁されている場合には、プラズマから流入した荷電粒子はウェハから移動することができないため、プラズマの消失後もウェハの表面にプラズマの浮遊電位が残存するおそれがある。プラズマエッチングにおいては前記の通りプラズマの放電と放電の中断が繰り返されることになるため、プラズマ消失時にウェハ表面に電位が発生すると、その電位はプラズマ放電を中断して処理の切り替えを行っている間保持されることとなる。

20

【0009】

上述のようにプラズマ放電の中断中にウェハ表面に電位が現れると、その電位によって真空処理室内の帯電した塵埃（以下、異物と記載する）がウェハに付着し、歩留まりの悪化を招く原因となる。

【0010】

本発明は、上記プラズマ処理に関して、プラズマによって発生するウェハ表面の電位をプラズマ放電の中断中に打ち消し、ウェハへの帯電した異物の付着を低減できるプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、プラズマを用いて試料が処理されるプラズマ処理室と、前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、前記試料を静電吸着させるための電極を具備し前記試料が載置される試料台と、前記電極に直流電圧を印加する直流電源と、前記プラズマの放電中、予め設定された前記直流電圧を負の方向へ所定の値分シフトさせ、前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定された直流電圧を正の方向へ前記所定の値分シフトさせる制御装置とを備え、前記プラズマの放電中、前記予め設定された直流電圧を負の方向へシフトさせるシフト量は、前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定された直流電圧を正の方向へシフトさせた時の前記試料の電位を概ね0Vとする値であることを特徴とするプラズマ処理装置である。

30

40

【0012】

本発明は、プラズマを用いて試料が処理されるプラズマ処理室と、前記プラズマを生成するための高周波電力を供給する高周波電源と、前記試料を静電吸着させるための電極を具備し前記試料が載置される試料台と、前記電極に直流電圧を印加する直流電源とを備えるプラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法において、前記プラズマの放電中、予め設定された前記直流電圧を負の方向へ所定の値分シフトさせ、前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定された直流電圧を正の方向へ前記所定の値分シフトさせ、前記プラズマの放電中、前記予め設定された直流電圧を負の方向へシフトさせるシフト量は、前記プラズマの放電終了後、前記負の方向へ所定の値分シフトされた前記予め設定された直流電圧を正の方向へシフトさせた時の前記試料の電位を概ね

50

0 Vとする値、または、前記プラズマによる浮遊電位に基づいて求められた値であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明のうち代表的な実施の形態によれば、上記プラズマ処理に関して、プラズマによって発生するウェハ表面の電位をプラズマ放電の中断中に打ち消し、ウェハへの帯電した異物の付着を低減できる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施例1に係るプラズマ処理装置の要部断面の構成を示す図である。

10

【図2】可変直流電源、静電吸着電極、誘電体層及びウェハをモデル化した等価回路を示す図である。

【図3】従来のプラズマ処理装置における処理のタイムチャートである。

【図4】本発明に係る制御を示すフローチャートである。

【図5】実施例1における処理のタイムチャートである。

【図6】実施例1におけるウェハ電位の変化の様子を示すイメージ図である。

【図7】時刻 $t_2$ を中心とした可変直流電源出力電圧の変化の詳細を示すタイムチャートである。

【図8】放電中の負方向のシフトがない場合の処理のタイムチャートである。

【図9】ウェハ表面の電位のシフト量と $T_{\text{aft}}$ との関係を示す図である。

20

【図10】浮遊電位のマイクロ波入射電力依存性、浮遊電位の処理圧力依存性及び浮遊電位のガス種依存性を示す図である。

【図11】マイクロ波電力の遮断前にウェハ吸着を終了する場合の吸着終了処理のタイムチャートである。

【図12】異物のウェハへの到達率におけるウェハ表面電位依存性を示す図である。

【図13】 $R_{\text{in}}$ 、 $R_{\text{out}}$ かつ $C_{\text{in}}$ 、 $C_{\text{out}}$ の場合に $V_1 = -V_2$ とする処理のタイムチャートである。

【図14】実施例2の処理のタイムチャートである。

【図15】実施例3に係るプラズマ処理装置の要部断面の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0015】

本発明の実施例1ないし3について以下、順次、説明する。

【実施例1】

【0016】

図1から図12を用いて、本発明の実施の形態1のプラズマ処理装置について説明する。図1は、実施の形態1のプラズマ処理装置の要部断面の構成を示す。図1の実施の形態1のプラズマ処理装置は、電子サイクロトロン共鳴(Electron Cyclotron Resonance: ECR)型エッチング装置である。以下、電子サイクロトロン共鳴をECRと記載する。

【0017】

40

図1のECR型エッチング装置であるプラズマ処理装置は、真空処理室である処理室101の内部の、試料の載置台である試料台102上に、試料となる半導体基板であるウェハ103が載置され、処理室101の内部にプラズマを発生させる。プラズマ処理装置は、プラズマ発生後、試料台102の内部に設置された高周波電極104に、高周波電源105から電力を供給する。当該電力の供給により、ウェハ103の表面には、自己バイアスと呼ばれる負の電位が発生する。この負の電位によってイオンをウェハ103に引き込むことにより、いわゆる反応性イオンエッチングが起こり、エッチング処理が進行する。

【0018】

処理室101の内壁基材は、接地された導体が含まれている。本実施例では、上記接地された導体が含まれる内壁基材は、プラズマに暴露されていてもよい。また、当該導体内

50

壁基材は、プラズマ消失後に当該内壁表面が速やかにおおよそ 0 V となる程度の薄い誘電体の膜があってもよい。

#### 【0019】

プラズマ処理装置は、プラズマを発生させる機構として、マイクロ波電源 106、マイクロ波発振源 107 およびソレノイドコイル 108 を備える。マイクロ波電源 106 からの高周波電力によりマイクロ波発振源 107 で発生させたマイクロ波は、導波管 109 を介して処理室 101 に導入される。マイクロ波は、ソレノイドコイル 108 で発生させた磁場中で ECR によって電子にエネルギーを与える。その電子が、図示しないガス供給源から供給されたガスを電離させることによって、プラズマを発生させる。

#### 【0020】

上記プラズマ処理を行う間、ウェハ 103 の裏面には、当該ウェハ 103 の温度の調整のための冷却ガスが供給される。冷却ガスによるウェハ 103 のずれを防ぐために、ウェハ 103 は、極性が異なる電極である双極型の静電吸着電極 110、111 によって、試料台 102 上に吸着される。静電吸着電極 110、111 は、同心円状に、一方の電極である静電吸着電極 110 が内側、他方の電極である静電吸着電極 111 が外側に配置されている。

#### 【0021】

静電吸着電極 110、111 とウェハ 103 との間には、誘電体層 112 が存在している。静電吸着電極 110、111 とウェハ 103 は、有限の抵抗値と静電容量を持って電気的に接続される。静電吸着用電極 110、111 には、それぞれ、独立した電源である可変直流電源 113、114 が接続される。内側の静電吸着用電極 110 には、一方の可変直流電源 113 が接続され、外側の静電吸着用電極 111 には、他方の可変直流電源 114 が接続される。

#### 【0022】

静電吸着用電極 110、111 には、それぞれの電源により、逆極性の電位が付与される。例えば内側の静電吸着電極 110 には、可変直流電源 113 により +500 V の電位が付与され、外側の静電吸着電極 111 には、可変直流電源 114 により -500 V の電位が付与される。また、本実施例でのプラズマ処理装置は、上記可変直流電源 113、114 の出力電圧値を制御するための制御装置 116 および記憶装置 115 を備える。可変直流電源 113、114 は、制御装置 116 と接続され、制御装置 116 から出力電圧値が制御される。

#### 【0023】

まず、静電吸着用電極によるウェハの吸着に伴い発生するウェハ表面の電位について説明する。図 2 には、実施の形態 1 のプラズマ処理装置における、可変直流電源 113、114、静電吸着電極 110、111、誘電体層 112、およびウェハ 103 を簡単にモデル化した等価回路を示す。なお、この等価回路では、ウェハ 103 裏面の膜にはある程度の抵抗値が存在し、ウェハ基材の抵抗はそれに較べて無視できるほど小さいとする。

#### 【0024】

図 2 の等価回路で、 $V_1$  は可変直流電源 113 の電圧、 $V_2$  は可変直流電源 114 の電圧である。 $R_1$ 、 $R_2$  は、誘電体層 112 の抵抗であり、 $C_1$ 、 $C_2$  は、誘電体層 112 の容量である。 $R_3$ 、 $R_4$  は、ウェハ 103 裏面の膜の抵抗値であり、 $C_3$ 、 $C_4$  はウェハ 103 裏面の膜の容量である。 $R_1$ 、 $C_1$ 、 $R_3$ 、 $C_3$  は、一方の静電吸着電極 110 側の抵抗と容量であり、 $R_2$ 、 $C_2$ 、 $R_4$ 、 $C_4$  は他方の静電吸着電極 111 側の抵抗と容量である。

#### 【0025】

プラズマ放電が行われていない時の定常状態におけるウェハ 103 の表面の電位である  $V_{waf}$  を式 1 に示す。式 1 で、 $R_{in}$  は上記  $R_1$  と  $R_3$  との合成抵抗値であり、 $R_{out}$  は  $R_2$  と  $R_4$  との合成抵抗値である。 $V_1$ 、 $V_2$  は、上記可変直流電源 113、114 の出力電圧値を示す。

#### 【0026】

【数 1】

$$V_{waf} = \frac{R_{in}V_2 + R_{out}V_1}{R_{in} + R_{out}} \quad \cdots \text{式1}$$

【0027】

$V_{waf}$  は、 $V_1$  および  $V_2$  の関数であるため、可変直流電源の出力電圧を変化させることでウェハの電位を変化させることが出来ることがわかる。また、式1で  $R_{in} = R_{out}$  の場合、ウェハ103の表面の電位は、両電源である可変直流電源113、114の出力電圧値である  $V_1$ 、 $V_2$  の平均値となる。ウェハ103の表面の電位が0Vになる可変直流電源113と可変直流電源114との出力電圧の比は、式1から、以下の式2となる。

10

【0028】

【数 2】

$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{R_{out}}{R_{in}} \quad \cdots \text{式2}$$

20

【0029】

従って、 $R_{in} = R_{out}$  の場合、両可変直流電源の出力電圧の絶対値が等しく、かつ、それぞれ逆の極性の場合にウェハ電位が0Vとなる。また、 $R_{in}$ 、 $R_{out}$  の極限では、ウェハ表面の電位は以下の式3となる。式3で、 $C_{in}$  は、上記  $C_1$  と  $C_3$  との合成抵抗値、 $C_{out}$  は、 $C_2$  と  $C_4$  との合成抵抗値である。

【0030】

【数 3】

$$V_{waf} = \frac{C_{in}V_1 + C_{out}V_2}{C_{in} + C_{out}} \quad \cdots \text{式3}$$

30

【0031】

式3で  $C_{in} = C_{out}$  の場合、ウェハ103の表面電位は、両電源の出力電圧の平均値となる。また、式3よりウェハ103の表面の電位が0Vになる可変直流電源113と可変直流電源114との出力電圧の比は、以下の式4となる。

【0032】

【数 4】

$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{C_{in}}{C_{out}} \quad \cdots \text{式4}$$

40

【0033】

従って、 $R_{in}$ 、 $R_{out}$  の極限において、 $C_{in} = C_{out}$  の場合、両可変直流電源の出力電圧の絶対値が等しく、かつ、それぞれ逆の極性の場合にウェハ電位が0Vとなる。

図2に示す等価回路では、まず、吸着を開始した瞬間には静電容量の式3にて決定する電位がウェハ表面に発生し、その後、回路の時定数に従ってウェハ表面の電位は抵抗の式1で記述される電位に移行する。本実施例では、 $R_{in} = R_{out}$  かつ  $C_{in} = C_{out}$  の

50

場合について記載する。

【 0 0 3 4 】

図 3 は、従来の実施の形態のプラズマ処理装置におけるプラズマ処理を含む処理の様子を示すタイムチャートである。この従来の形態のプラズマ処理装置は、処理室 1 0 1 の構成は図 1 と同様であるが、実施の形態 1 の制御装置 1 1 6 により静電吸着用電極 1 1 0 , 1 1 1 への可変直流電源 1 1 3 , 1 1 4 の出力電圧を制御する機能を持たない構成の場合である。

【 0 0 3 5 】

図 3 ( a ) は、マイクロ波入射パワーを示し、マイクロ波電源 1 0 6 からの高周波電力である。図 3 ( b ) は、高周波バイアス入射パワーを示し、高周波電源 1 0 5 からの高周波電極 1 0 4 へ供給する高周波電力である。図 3 ( c ) は、可変直流電源出力電圧を示す。

10

【 0 0 3 6 】

また、実線の 3 0 1 は、内側の静電吸着電極 1 1 0 への可変直流電源 1 1 3 の出力電圧を示し、破線の 3 0 2 は、外側の静電吸着電極 1 1 1 への可変直流電源 1 1 4 の出力電圧を示す。この従来の形態では、当該出力電圧は、可変の制御はされずに一定である。図 3 ( d ) は、ウェハ表面の電位を示す。時刻  $t_1$  から  $t_2$  の時間  $T_1$  は、プラズマ放電中の時間を示す。時刻  $t_2$  から  $t_3$  の時間  $T_2$  は、プラズマ放電中断中の時間を示す。

【 0 0 3 7 】

図 3 の従来の形態での処理の場合、放電終了直後の時刻  $t_2$  や  $t_5$  において、ウェハ表面は 3 1 1 に示す様にプラズマからの荷電粒子の流入による電位、つまり、プラズマの浮遊電位分の電位を持つ。この電位は放電中断中  $T_2$  の間その値を変えながらも保持されることになる。このような電位はウェハに異物を誘引する原因となる。

20

【 0 0 3 8 】

図 4 は、本実施例のプラズマ処理装置におけるプラズマ処理を含む処理のフローチャートであり、図 5 は、処理の様子を示すタイムチャートである。図 5 ( a ) および図 5 ( b ) は、図 3 と同様である。図 5 ( c ) は、可変直流電源出力電圧を示す。実線の 5 0 1 は、内側の静電吸着電極 1 1 0 への可変直流電源 1 1 3 の出力電圧を示し、破線の 5 0 2 は、外側の静電吸着電極 1 1 1 への可変直流電源 1 1 4 の出力電圧を示す。本実施例では、当該出力電圧は、可変に制御される。図 5 ( d ) は、ウェハ表面の電位を示す。また、図 6 には処理に伴うウェハの電位変化のイメージ図を示す。以下、図 4 , 5 及び 6 を用いて本実施例のプラズマ処理装置における処理を説明する。

30

【 0 0 3 9 】

本実施例のプラズマ処理装置においては、図 4 に示すようにまずウェハ 1 0 3 が処理室 1 0 1 内に搬入されて試料台 1 0 2 上に載置された後、制御装置 1 1 6 からの制御に基づいて、可変直流電源 1 1 3 および可変直流電源 1 1 4 は、ウェハ 1 0 3 の吸着のための電圧を出力しウェハを試料台上に吸着する。この際の出力電圧は両可変直流電源に対して同じ絶対値でそれぞれ異なる極性とする事で、式 2 および式 4 を同時に満たし、ウェハ電位の発生を抑制することができる。プラズマ処理装置は、その後、処理室 1 0 1 の内部の圧力調整等の処理の準備を行う。

40

【 0 0 4 0 】

上記準備が終了した後、プラズマ発生のためのマイクロ波電力が印加される。これによりプラズマが発生した後、高周波バイアスが印加されて、エッチング処理が行われる。所望のエッチング処理が終了すると、高周波バイアスの入射パワーが遮断され、その後、マイクロ波電力が遮断される。また、可変直流電源の出力電圧に関しては、マイクロ波入射開始から遮断までの間の適当な時刻において、制御装置 1 1 6 によって前記プラズマの浮遊電位分、負の方向に出力電圧がシフトされる。

【 0 0 4 1 】

次にマイクロ波電力遮断後、可変直流電源の出力電圧値は制御装置 1 1 6 によって前記プラズマの浮遊電位分、正の方向にシフトされる。その後、全ての処理が終了していない

50



場合には、次の処理の準備が開始される。全ての処理が終了している場合には、ウェハの吸着が解除され、ウェハは処理室から搬出される。

#### 【 0 0 4 2 】

処理中のウェハの表面電位に関しては、図 5 ( d ) に示す様にまず、時刻  $t_0$  において静電吸着電極によってウェハが試料台上に吸着されるが、この際、可変直流電源の出力電圧は式 2 および式 4 を満たすため、ウェハ表面の電位は発生しない。イメージ図を図 6 ( a ) に示す。ここで、ウェハ表面の電位は図 6 のそれぞれにおける破線で囲まれた箇所の総電荷量に対応するものとする。その後、図 5 中の時刻  $t_1$  においてマイクロ波の入射によってプラズマが生成され、ウェハ表面にはプラズマからの荷電粒子の流入が起こる。図 6 ( b ) に示すように通常、ウェハには電子の方が多く流入することになるため、ウェハには浮遊電位とよばれる負の電位が発生する。

10

#### 【 0 0 4 3 】

その後、高周波バイアスの印加でウェハ表面にはさらに大きい負の電位が発生する。放電中の時刻  $t_a$  においては可変直流電源出力電圧の負方向シフトがあるが、その際にはウェハ表面電位は変化しない。これは式 1 の  $R_{in}$  および  $R_{out}$  が十分大きい場合においてはプラズマが発生している場合はプラズマからウェハへの電荷の流入があるため、図 2 の等価回路中の静電容量  $C_1 \sim C_4$  に電荷がたまることで静電吸着用電極の電位がウェハ上では遮蔽されるためである。

#### 【 0 0 4 4 】

イメージとしては、図 6 ( c ) に示すように電源の出力電圧の変化に応じてプラズマからの荷電粒子の流入があり、その流入によって電極とウェハ全体を含む系では電位の変化が起こらないイメージである。その後、高周波バイアスの遮断により、マイクロ波電力が遮断される時刻  $t_2$  において、ウェハ表面にはプラズマの浮遊電位分の電位が発生することになる。図 6 ( d ) のイメージ図のようにマイクロ波電力の遮断後もウェハと電極をふくむ全体の系の電位は放電の終了直前と変化無いが、この電位は、放電終了後の時刻  $t_b$  において可変直流電源出力電圧の正方向シフトを実施することで打ち消され、図 5 に示すようにウェハ表面の電位は放電中断中の  $T_2$  の時間 0 V となる。

20

#### 【 0 0 4 5 】

図 7 には放電終了時刻  $t_2$  を中心とした可変直流電源の出力電圧のタイミングチャートの詳細を示す。上述した通り、可変直流電源の出力電圧のシフトには放電中の時刻  $t_a$  に行う負方向へのシフトと放電終了後の時刻  $t_b$  に行う正方向へのシフトの二種類がある。図 7 中の  $T_{bef}$  は、負方向シフトから放電終了までの時間、 $T_{aft}$  は放電終了から正方向シフトまでの時間、 $V_{shift}$  は可変直流電源電圧の出力値のシフト量であり、本発明に係る制御の実施のためにはこれら 3 つの値を決定する必要がある。なお、本実施例においては、放電終了はマイクロ波電力の遮断に相当する。まず、 $T_{bef}$  の決定のために時刻  $t_a$  における負方向へのシフトの意義について説明する。

30

#### 【 0 0 4 6 】

図 8 には放電中の負方向へのシフトがない場合のタイムチャートを示している。図 8 ( a ) 及び図 8 ( b ) は図 3 ( a ) 及び図 ( b ) と同様である。図 8 ( c ) の可変直流電源の出力電圧に関しては、ウェハに発生した浮遊電位を打ち消すため、時刻  $t_b$  において浮遊電位分正方向にシフトされる。しかし、このシフトによって両可変直流電源の出力電圧の平均は 0 V から浮遊電位分、正側にずれることとなる。このため、ウェハ表面の電位に関しては図 8 ( d ) に示すように時刻  $t_b$  直後は 0 V になるものの、図 2 に示す等価回路の時定数に従って放電中断中に次第に電位が発生することになる。

40

#### 【 0 0 4 7 】

上記の様な電位の発生を防ぐためには、正方向にシフトをさせた結果の両可変直流電源の出力電圧の平均値が 0 V にならなければならない。そこで、静電吸着電極の電位がシフトしてもウェハ表面の電位のシフトが起こらない放電中に負方向へシフトを行うことで、正方向にシフトをさせた結果の両可変直流電源の出力電圧の平均値が 0 V になるようにすることができる。

50

【 0 0 4 8 】

以上の理由から放電中の負方向シフトは必須であるが、そのタイミングは放電中であれば任意のタイミングで構わない。従って、 $T_{bef}$  の要件は、放電時間より短ければよく、以下の式 5 となる。

【 0 0 4 9 】

【 数 5 】

$$T_{bef} < t_1 - t_0 \quad \dots \text{式5}$$

10

【 0 0 5 0 】

次に時刻  $t_b$  における放電終了後の正シフトに関する  $T_{aft}$  の決定について説明する。放電終了後の正方向へのシフトを行う時刻  $t_b$  では、プラズマの放電が完全に終了していることが求められる。これは、上述の通り、処理室内にプラズマが存在している場合、プラズマからの電荷の流入により静電吸着電極の電位シフトによるウェハ表面の電位のシフトが妨げられるためである。処理室内のプラズマは、マイクロ波電力の遮断により消失するが、マイクロ波電力の遮断後しばらくの間はアフターグロープラズマと呼ばれるプラズマが処理室内に残存することが知られている。従って、 $T_{aft}$  の決定のためにはアフターグロープラズマの影響を考慮する必要がある。

【 0 0 5 1 】

20

$T_{aft}$  の決定に関して発明者が実施した実験の結果を図 9 に示す。図 9 はウェハ表面の電位のシフト量と  $T_{aft}$  の関係である。 $T_{aft}$  が正の場合は、マイクロ波電力遮断後に可変直流電源の出力電圧の正方向へのシフトが開始されていることを示し、 $T_{aft}$  が負の場合は、マイクロ波電力遮断前に正方向へのシフトが開始されていることを示す。

【 0 0 5 2 】

$T_{aft}$  が負の場合は、明らかにウェハ表面の電位のシフトが妨げられているが、 $T_{aft}$  が正の場合はその値が 0.1 sec 程度での場合のウェハ表面の電位のシフト量と、 $T_{aft}$  が 1 sec の場合のウェハ表面の電位のシフト量はほぼ変わらない。この結果から  $T_{aft}$  は 0.1 sec 以上であればアフターグロープラズマの影響を防ぐのに十分であると言える。

30

【 0 0 5 3 】

次に  $V_{shift}$  の決定について説明する。 $V_{shift}$  は、プラズマの浮遊電位分のシフトが必要である。図 10 には浮遊電位計測の結果を示している。図 10 ( a ) は、浮遊電位のマイクロ波入射電力依存性を示し、図 10 ( b ) は、浮遊電位の処理圧力依存性を示し、図 10 ( c ) は、浮遊電位のガス種依存性を示す。浮遊電位のマイクロ波電力依存性、圧力依存性はそれほど大きくなく、ガス種の依存性についてもアルゴンガスを除いて大きな依存性は見られない。計測の結果、多くの場合、浮遊電位の絶対値は 12 V から 18 V の間に入っているため、 $V_{shift}$  に関してはマージンを考慮して 15 V ± 5 V が妥当であると考えられる。また、発明者が行った実験によれば、ウェハへの異物付着はウェハ電位が負の場合には顕著に増加するが、正の場合にはウェハ電位が 0 V の場合と大きな差がないとの結果が得られており、このような場合においては、 $V_{shift}$  は 15 V 以上であればよい。

40

【 0 0 5 4 】

上記のように求められた  $T_{bef}$ 、 $T_{aft}$  および  $V_{shift}$  の値は記憶装置 115 に記憶され、可変直流電源の出力電圧を制御する制御装置 116 による制御に使用される。上記のように求められた  $T_{bef}$ 、 $T_{aft}$ 、 $V_{shift}$  に基づいて図 7 の動作を説明する。可変直流電源の出力電圧を制御する制御装置 116 は、時刻  $t_0$  において両可変直流電源の出力電圧値  $V_a$  および  $V_b$  が式 2 中の  $V_1$  および  $V_2$  となるように可変直流電源の出力電圧を制御する。例えば、図 5 の  $V_a$  が + 500 V、 $V_b$  が - 500 V となればよい。

50

## 【 0 0 5 5 】

該制御装置 1 1 6 は、時刻  $t_1$  においてマイクロ波電源 1 0 6 から出力開始の信号を検知し、式 5 を満たす任意のタイミング  $t_a$  にて可変直流電源の出力電圧を負方向に  $V_{shift}$  分シフトさせる。例えば、 $V_{shift}$  が上記のように 1 5 V であれば、図 7 の  $V_c$  は 4 8 5 V、 $V_d$  は - 5 1 5 V となる。なお、 $T_{bef}$  の決定にあたり、この時点では式 5 中の時刻  $t_1$  は確定していないが、処理時間の予め設定された設定値から  $T_{bef}$  を決定することが可能である。

## 【 0 0 5 6 】

その後、該制御装置 1 1 6 は、時刻  $t_2$  においてマイクロ波電源 1 0 6 から出力遮断の信号を検知し、 $T_{aft}$  に対応する時刻  $t_b$  において可変直流電源の出力電圧を正方向に  $V_{shift}$  分シフトさせる。例えば、図 7 の時刻  $t_b$  は、時刻  $t_2$  の 0 . 1 s e c 後であり、 $V_e$  は + 5 0 0 V に、 $V_f$  は - 5 0 0 V になる。

## 【 0 0 5 7 】

本実施例において、可変直流電源の出力電圧のシフト量は、内側電極、外側電極ともに同じ値の電圧のシフト量とした。従って、時刻  $t_b$  における正方向のシフトでは、それぞれの電源の出力電圧が時刻  $t_a$  における負方向のシフトが実施される前の出力電圧に戻るようなシフトとなっている。しかし、内側電極および外側電極のシフト量は上述の例に限定されない。

## 【 0 0 5 8 】

例えば、内側電極および外側電極のシフト量は互いに異なる値であっても構わない。図 7 において、内側および外側の可変直流電源の出力電圧  $V_a$  と  $V_b$  の平均値が 0 V、 $V_c$  と  $V_d$  の平均値が - 1 5 V、 $V_e$  と  $V_f$  の平均値が 0 V となるように制御を行う場合、 $V_a$  が + 5 0 0 V、 $V_b$  が - 5 0 0 V、 $V_c$  が + 4 7 0 V、 $V_d$  が - 5 0 0 V、 $V_e$  が + 5 0 0 V、 $V_f$  が - 5 0 0 V となるような一連の変化をさせてもよい。ただし、上記のように両電極の出力電圧の差が変化するようなシフトをさせる場合には吸着力が変化する可能性があるため、吸着力を考慮する必要がある。

## 【 0 0 5 9 】

また、例えば、時刻  $t_a$  における負方向シフトの値と時刻  $t_b$  における正方向シフトの値がそれぞれ異なっても構わない。前記の通り浮遊電位にはある程度のばらつきが存在する。また、ウェハ電位が正極性の場合には負極性の場合と異なりウェハ電位 0 V の場合とくらべても異物の増加が見られなかったことから、ウェハ電位が若干正極性側にシフトするように時刻  $t_b$  において可変直流電源の出力電圧値を設定することもあり得る。例えば図 7 において、内側および外側の可変直流電源の出力電圧  $V_a$  と  $V_b$  の平均値が 0 V、 $V_c$  と  $V_d$  の平均値が - 1 5 V、 $V_e$  と  $V_f$  の平均値が + 5 V となるように制御を行う場合、 $V_a$  が + 5 0 0 V、 $V_b$  が - 5 0 0 V、 $V_c$  が + 4 8 5 V、 $V_d$  が - 5 1 5 V、 $V_e$  が + 5 0 5 V、 $V_f$  が - 4 9 5 V となるような一連の変化をさせてもよい。また一度内側および外側の可変直流電源の出力電圧の平均値を 0 V からずらした後、それを元に戻すようにシフトを行ってもよい。例えば図 7 において、内側および外側の可変直流電源の出力電圧  $V_a$  と  $V_b$  の平均値が + 5 V、 $V_c$  と  $V_d$  の平均値が - 1 5 V、 $V_e$  と  $V_f$  の平均値が 0 V となるように制御を行う場合、 $V_a$  が + 5 0 5 V、 $V_b$  が - 4 9 5 V、 $V_c$  が + 4 8 5 V、 $V_d$  が - 5 1 5 V、 $V_e$  が + 5 0 0 V、 $V_f$  が - 5 0 0 V となるような一連の変化をさせてもよい。

## 【 0 0 6 0 】

また、最終の放電処理の終了後には、ウェハの残留吸着の発生を防ぐためにマイクロ波電力の遮断より前にウェハの吸着を終了するケースも存在する。上記のケースのウェハ吸着終了時の処理のタイムチャートを図 1 1 に示す。本ケースにおいては時刻  $t_5$  にてマイクロ波電力が遮断されるが、それより  $T_{bef}$  前の  $t_c$  において内側および外側の可変直流電源の出力電圧は  $V_{shift}$  分負の値に設定される。 $t_5$  においてマイクロ波電力を遮断した  $T_{aft}$  後、時刻  $t_d$  において内側および外側の可変直流電源の出力電圧は、 $V_{shift}$  分正方向にシフトされ 0 V に設定される。以上の吸着終了シーケンスを用いる

10

20

30

40

50

ことにより、ウェハの表面電位は図 1 1 ( d ) に示されるようにマイクロ波電力の遮断後、速やかに 0 V となり、その結果、異物のウェハへの誘引を防ぐことができる。

#### 【 0 0 6 1 】

以上、制御装置 1 1 6 による可変直流電源の出力電圧制御を実施することにより、プラズマによって発生したウェハ表面の電位を放電中断中に打ち消すことが可能となる。なお、プラズマ処理装置は、ユーザの操作に基づいて記憶装置 1 1 5 に上記制御の出力電圧値を自由に設定するためのユーザインタフェースを備えてもよい。

#### 【 0 0 6 2 】

例えば、プラズマ処理装置は、ディスプレイと入力装置と入力装置から入力された設定条件をディスプレイに表示し、かつ、記憶装置に設定値を読み込むソフトウェアを備えていてもよく、ユーザが入力装置およびディスプレイを用いて記憶装置 1 1 5 に本発明に係る制御のための出力電圧値を自由に設定できるような構成であってもよい。

10

#### 【 0 0 6 3 】

プラズマ放電中断中にウェハ表面の電位を 0 V にすることによる異物の付着抑制効果を計算にて見積もった。その結果を図 1 2 に示す。図 1 2 の横軸はウェハ表面の電位であり、縦軸は、処理室内壁面から処理室中に飛び出した異物のウェハへの到達率である。また、計算は以下の条件で実施した。

#### 【 0 0 6 4 】

処理室 1 0 1 の内部の圧力は 0 . 6 P a とし、チャンバ内には平均して 3 m / s の処理室上部から排気口へ向かう希薄流体の流れがあるとした。異物の粒径については、1 0 n m , 2 0 n m , 5 0 n m の三種類の粒径で計算を実施した。異物の帯電は、 $- 1 . 6 \times 1 0^{-19}$  [ C ] とした。到達率は、1 回の計算あたり 1 0 0 0 個の粒子の挙動を計算し、そのうちウェハに到達するものの数をカウントすることで算出した。これらの異物は真空処理室の内壁面の、ウェハより上部のとある区間から発生するとし、それぞれの異物の発生場所は前記区間内でランダムに決定した。また、異物が壁面から発生する際の初速度については 5 m / s 以下の値をそれぞれの異物に対してランダムにあたえることとした。

20

#### 【 0 0 6 5 】

上記の条件で計算を行った結果、5 0 n m 以上の大きな異物に関しては、浮遊電位程度の比較的小さな電位では異物のウェハへの到達率は増加しないが、2 0 n m や 1 0 n m といった小さな異物に関しては、浮遊電位程度の電位をウェハがもつことにより、帯電した異物がウェハに引き寄せられ到達しうることが分かった。特に 1 0 n m の異物に関しては、1 0 V 程度の電位でそのほとんどがウェハに到達するようになることから、本発明によりプラズマ放電の中断中にプラズマによって発生するウェハ表面の電位を打ち消すことにより微小な異物がウェハに付着することを防ぐことができると考えられる。

30

#### 【 0 0 6 6 】

本実施例では図 2 の等価回路において  $R_{in} = R_{out}$  かつ  $C_{in} = C_{out}$  の場合の例について記載した。 $R_{in} = R_{out}$  かつ  $C_{in} = C_{out}$  の場合、ウェハの電位は内側および外側の可変直流電源の出力電圧の平均値となるため、 $V_1 = - V_2$  とすれば、ウェハの電位は 0 V となる。一方、何らかの理由で静電吸着電極とウェハとの間の抵抗値および静電容量値に内外差が生じ、式 1 で  $R_{in} \neq R_{out}$  または、式 3 で  $C_{in} \neq C_{out}$  となった場合、式 1 または式 3 よりウェハ 1 0 3 の表面の電位は、内側および外側の可変直流電源の出力電圧値の平均値とならず、 $V_1 = - V_2$  場合でもウェハ 1 0 3 の表面には電位が生じることとなる。

40

#### 【 0 0 6 7 】

発明者による実験によれば、抵抗値に内外差が生じる場合としては、以下のようなことが考えられる。

#### 【 0 0 6 8 】

例えば、試料台の温度を内側と外側とで異なるように制御している場合は、その温度差から、電極上の誘電体膜の抵抗値に内外差が発生する。また、例えば、電極上の誘電体膜や、ウェハ裏面の膜の抵抗値に、流れる電流の向きの依存性がある場合は、内側と外側で

50

は電極とウェハ間を流れる電流の向きが逆向きになるため、抵抗値の内外差が発生する。静電容量値に内外差が生じる場合としては、電極の面積が内外で異なる場合や、誘電体層の厚みが内外で異なる場合などが考えられる。

#### 【 0 0 6 9 】

上記の様にウェハと静電吸着電極との間のインピーダンスに内外差がある場合はプラズマからの荷電粒子流入の影響以外にもウェハを静電吸着電極により吸着することによってウェハ表面に電位が発生してしまう。ウェハの表面に電位が発生すると帯電した異物をウェハ上に呼び寄せることとなり、異物のウェハ付着が増加するおそれがある。帯電した異物のウェハ付着を防ぐためには、ウェハと静電吸着電極との間のインピーダンスの内外差を考慮して、静電吸着電極用の可変直流電源の出力電圧を決定することが求められる。このため、 $R_{in}$   $R_{out}$  の場合の例について以下、説明する。

#### 【実施例 2】

#### 【 0 0 7 0 】

本実施例では、実施例 1 とは異なる構成の部分について説明する。図 1 3 には、 $R_{in}$   $R_{out}$  の場合に  $V_1 = -V_2$  とした処理のタイムチャートを示す。まず、時刻  $t_0$  において両可変直流電源が電圧を出力することによりウェハは試料台上に吸着されるが、その際、回路の時定数に応じた時間でウェハ表面電位は式 1 により決まる電位に移行していく。時刻  $t_1$  において、マイクロ波が処理室内に入射されてプラズマが生成されるが、このプラズマの生成に伴うウェハへの荷電粒子の流入によって、ウェハはプラズマの浮遊電位と同電位となる。

#### 【 0 0 7 1 】

その後、実施例 1 にて説明したように時刻  $t_a$  における内側および外側の可変直流電源の出力電圧の負方向へのシフトと時刻  $t_2$  におけるマイクロ波電力の遮断と時刻  $t_b$  における内側および外側の可変直流電源の出力電圧の正方向へのシフトが実施される。時刻  $t_b$  直後においては、ウェハの表面電位は 0 V となるが、その後、ウェハの表面電位は式 1 により決定される電位に時間をかけて移行する。上記のように、 $R_{in}$   $R_{out}$  の場合、吸着時の可変直流電源の出力電圧を  $V_1 = -V_2$  とすると、プラズマ放電が実施されていない場合にウェハ表面に電位が発生し、その電位がウェハ上に異物を引き寄せる原因となり得る。

#### 【 0 0 7 2 】

図 1 4 に本実施例に係る処理のタイムチャートを示す。本実施例においては、可変直流電源の出力電圧を制御する制御装置 1 1 6 は、時刻  $t_0$  において内側および外側の可変直流電源の出力電圧値  $V_a$ 、 $V_b$  が式 2 の  $V_1$  および  $V_2$  となるように可変直流電源の出力電圧を制御する。例えば、式 2 において  $R_{in} = 6 M$ 、 $R_{out} = 4 M$  である場合には  $V_a = +600 V$ 、 $V_b = -400 V$  とすればよい。このように式 2 を満たすように可変直流電源の出力電圧を制御して吸着を開始することで、図 1 4 ( d ) に示すようにプラズマ処理開始前のウェハ表面電位を小さくすることが出来る。

#### 【 0 0 7 3 】

制御装置 1 1 6 は、時刻  $t_1$  においてプラズマ放電の開始としてマイクロ波電源 1 0 6 から出力開始の信号を検知するが、その後、制御装置 1 1 6 は、式 5 を満たす任意のタイミング  $t_a$  にて可変直流電源の出力電圧を負方向に  $V_{shift}$  分シフトさせる。例えば、 $V_{shift}$  が 15 V であれば、図 1 4 の  $V_c$  は +585 V、 $V_d$  は -415 V となる。その後、該制御装置 1 1 6 は、時刻  $t_2$  においてマイクロ波電源 1 0 6 から出力遮断の信号を検知し、 $T_{aft}$  に対応する時刻  $t_b$  において可変直流電源の出力電圧を正方向に  $V_{shift}$  分シフトさせる。例えば、図 1 4 の時刻  $t_b$  は時刻  $t_2$  の 0.1 sec 後であり、 $V_e$  は +600 V に、 $V_f$  は -400 V になる。

#### 【 0 0 7 4 】

上述のように式 2 に従い  $V_1$   $V_2$  で吸着を行うことによって、 $R_{in}$   $R_{out}$  の場合において静電吸着電極によりウェハを吸着することにより発生するウェハ表面の電位を抑制できる。なお、各時刻における可変直流電源の出力電圧の決定方法は上述の方法に限

定されず，図 2 に示す等価回路中のインピーダンスの値に応じて様々に変化させてよい。例えば，回路の時定数が数十秒に及ぶほど長く， $C_{in}$  と  $C_{out}$  とに大きな差がある場合は時刻  $t_0$  から  $t_1$  の間において抵抗値の内外差による効果よりも静電容量値の内外差による効果のほうが大きくなる場合がある。上記のような場合には，静電容量による内外差の影響を打ち消すために，時刻  $t_0$  において制御装置 116 は，内側および外側の可変直流電源の出力電圧値が式 4 の  $V_1$  および  $V_2$  を満たすように制御を行い，時刻  $t_1$  以降に図 14 に記載のタイムチャートに沿った制御を行ってもよい。

#### 【0075】

また，例えば，回路の時定数が正確に把握できている場合には，時刻  $t_0$  において制御装置 116 は，内側および外側の可変直流電源の出力電圧を式 4 の  $V_1$  および  $V_2$  を満たすように制御し，その後，ウェハ表面電位の式 3 にて表記される電位への移行を抑制するように，時刻  $t_0$  から  $t_1$  の間において，ゆるやかに内側および外側の可変直流電源の出力電圧を変化させる制御を行ってもよい。

#### 【0076】

以上の例に限らず，可変直流電源の出力電圧の変化の量およびタイミングは本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々に変更可能である。また，本実施例によりプラズマによって発生するウェハ表面の電位をプラズマ放電の中断中に打ち消し，ウェハへの帯電した異物の付着を低減できる。

#### 【0077】

次に実施例 1 および 2 と異なる他の実施形態について以下，説明する。

#### 【実施例 3】

#### 【0078】

図 15 を用いて本実施例に係るプラズマ処理装置について説明する。また，本実施例では，実施例 1 および 2 と異なる構成の部分について説明する。図 15 は，本実施例にかかるプラズマ処理装置の要部断面の構成を示す。図 15 のプラズマ処理装置も ECR 型エッチング装置であるが，ECR 型エッチング装置に限らず他のプラズマ源のエッチング装置にも本実施例は，適用可能である。

#### 【0079】

本実施例に係るプラズマ処理装置は，実施例 1 および 2 の構成要素に加え，プラズマによる発光検出手段 1501 とイオン電流計測手段 1502 と浮遊電位計測手段 1503 と可変直流電源の出力電圧の制御を行う制御装置 1504 とを備える。プラズマによる発光検出手段 1501 は，例えば，ファイバーおよび光電子増倍管などのセンサーの組み合わせであり，発光を検出することでプラズマの生成および消失（終了）を検知することが出来る。

#### 【0080】

また，イオン電流計測手段 1502 は，例えば，十分負極性の電位が印加された導体探針および電流計の組み合わせであり，プラズマからのイオンの流入による電流を検出することにより真空処理室内に存在する荷電粒子の存在を検知することが出来る。さらに浮遊電位計測手段 1503 は，例えば，プラズマの浮遊電位を計測するための導体探針と高抵抗素子の組み合わせであり，プラズマの浮遊電位を計測することで， $V_{shift}$  の量を決定することが可能となる。

#### 【0081】

制御装置 1504 は，制御装置 116 の代わりに設けられ，発光検出手段 1501 またはイオン電流検出手段 1502 にて検出されたプラズマの生成およびプラズマの消失を以って時刻  $t_1$ ， $t_2$  を決定し，浮遊電位計測手段によって計測されたプラズマの浮遊電位を  $V_{shift}$  として可変直流電源の出力電圧の制御を行う制御装置である。プラズマの発光検出手段 1501 またはイオン電流計測手段 1502 を用いてプラズマ放電の開始，終了を検知することによりマイクロ波の電源出力を用いた制御とは異なって確実にプラズマの生成および消失を把握することが出来る。

#### 【0082】

そのため、本実施例においては、プラズマの発光検出手段 1 5 0 1 またはイオン電流計測手段 1 5 0 2 にて検知された放電終了から可変直流電源の出力電圧の正方向へのシフトを開始するまでの時間である  $T_{a f t}$  は 0 s e c でよい。また、浮遊電位計測手段 1 5 0 3 を用いて  $V_{s h i f t}$  の値を決定することによりプラズマ条件の違いによるわずかな浮遊電位の変化分に対してもウェハ表面の電位の補正を行うことが可能となり、放電中断中のウェハ表面電位をより確実に 0 V に近づけることができる。従って、本実施例によりプラズマによって発生するウェハ表面の電位をプラズマ放電の中断中に打ち消し、ウェハへの帯電した異物の付着を低減できる。

#### 【 0 0 8 3 】

以上、本発明を実施の形態に基づいて具体的に説明したが、本発明は前記各実施の形態に限定されず、その要旨を逸脱しない範囲で種々に変更可能である。例えば、マイクロ波電源 1 0 6 の出力値をモニタし、記憶装置 1 1 5 に記録した値を用いて制御装置 1 1 6 にて可変直流電源の出力電圧を制御するという一連の装置およびその動作を担う役割を図示していない装置全体を制御する主制御装置（ホストコンピュータ等）へソフトウェアとして組み込むことも可能である。

10

#### 【 0 0 8 4 】

また、例えば、マイクロ波電源 1 0 6 の出力値をモニタし、記憶装置 1 1 5 に記録した値を用いて制御装置 1 1 6 にて可変直流電源の出力電圧を制御するという一連の装置およびその動作を既存のプラズマ処理装置における処理条件の一つとして設定を行い、プラズマ処理方法としての運用を行うことも可能である。

20

#### 【 0 0 8 5 】

また、本発明は、E C R 型プラズマエッチング装置に適用した例で説明したが、本発明は、誘導性結合型プラズマエッチング装置、容量性結合型プラズマエッチング装置等の他のプラズマ源のプラズマ処理装置にも適用可能である。

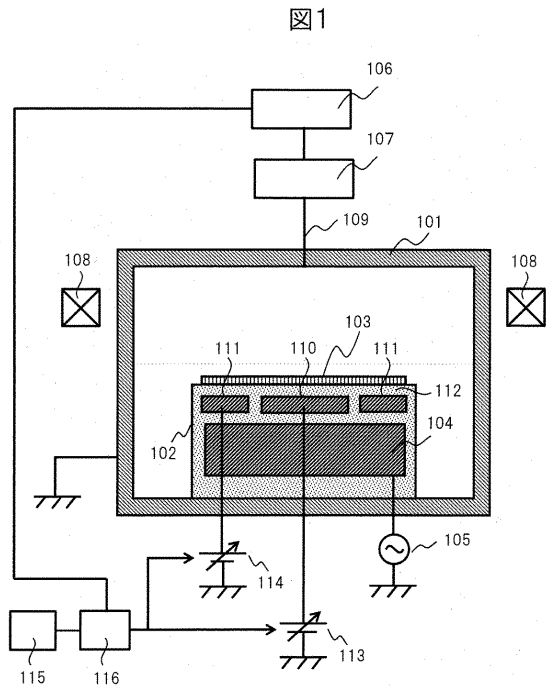
#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 8 6 】

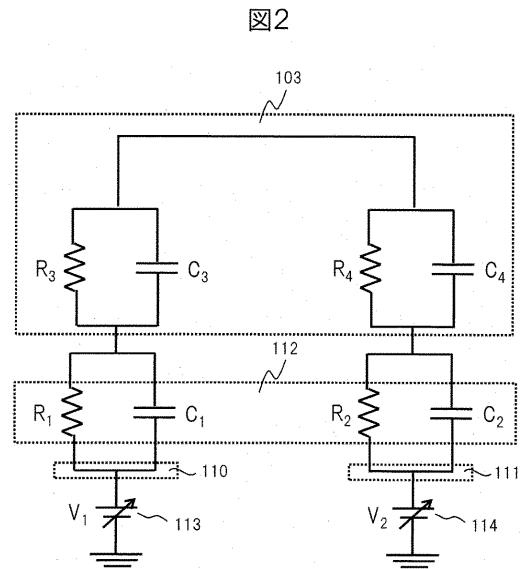
1 0 1 ... 処理室, 1 0 2 ... 試料台, 1 0 3 ... ウェハ, 1 0 4 ... 高周波電極, 1 0 5 ... 高周波電源, 1 0 6 ... マイクロ波電源, 1 0 7 ... マイクロ波発振源, 1 0 8 ... ソレノイドコイル, 1 0 9 ... 導波管, 1 1 0 ... 内側の静電吸着電極, 1 1 1 ... 外側の静電吸着電極, 1 1 2 ... 誘電体層, 1 1 3 ... 内側の可変直流電源, 1 1 4 ... 外側の可変直流電源, 1 1 5 ... 記憶装置, 1 1 6 ... 制御装置, 1 5 0 4 ... 制御装置, 1 5 0 1 ... 発光検出手段, 1 5 0 2 ... イオン電流計測手段, 1 5 0 3 ... 浮遊電位計測手段

30

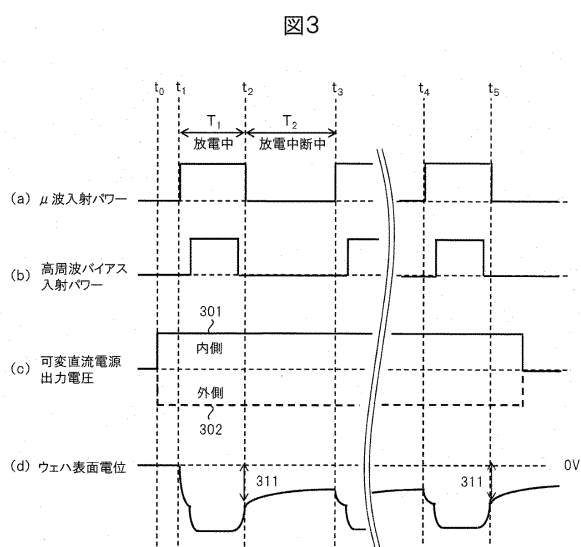
【 図 1 】



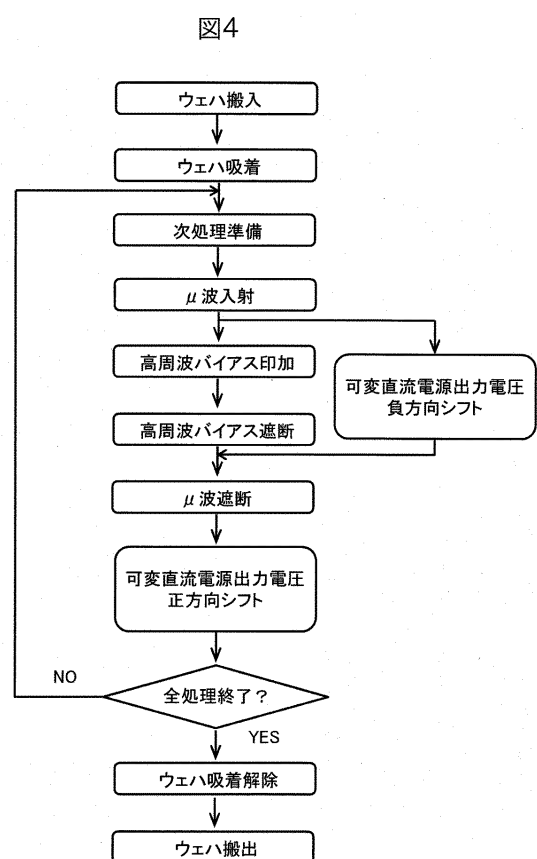
【 図 2 】



【圖 3】

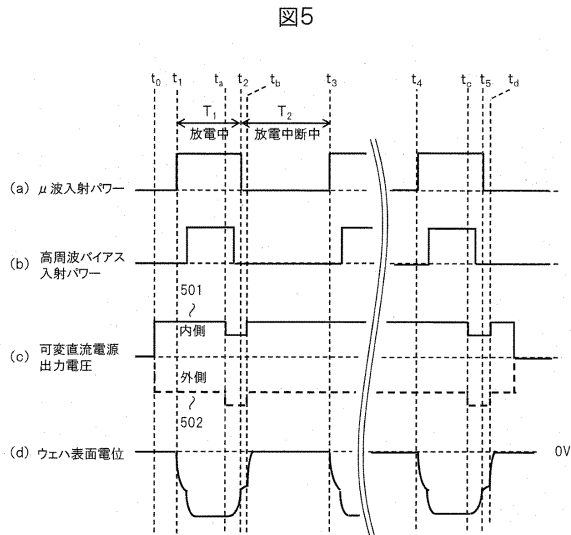


【圖 4】

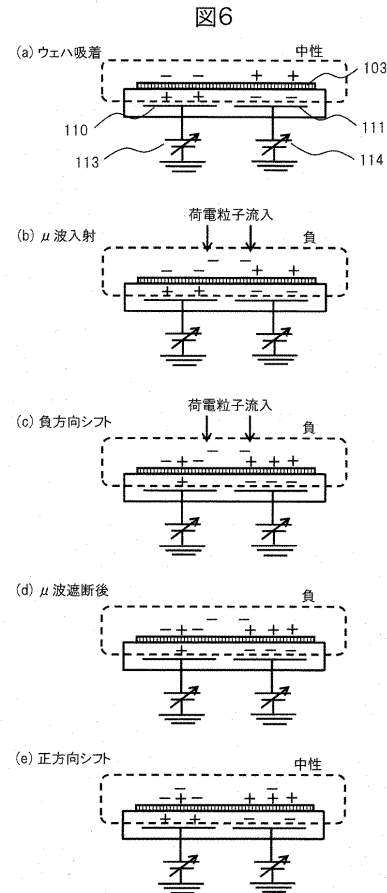




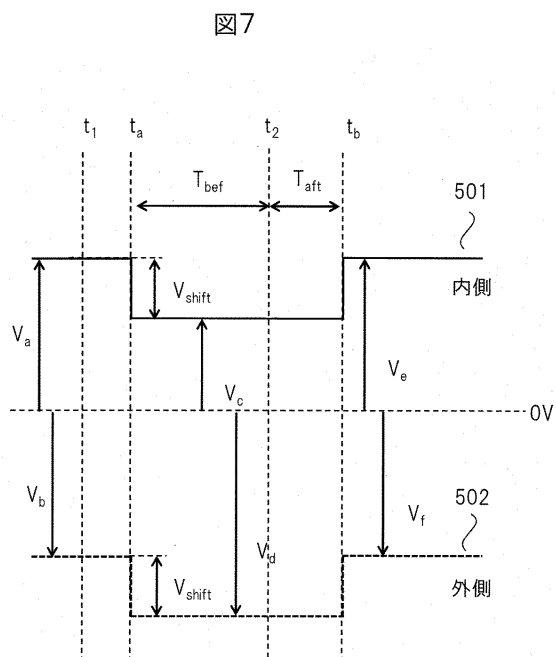
【図 5】



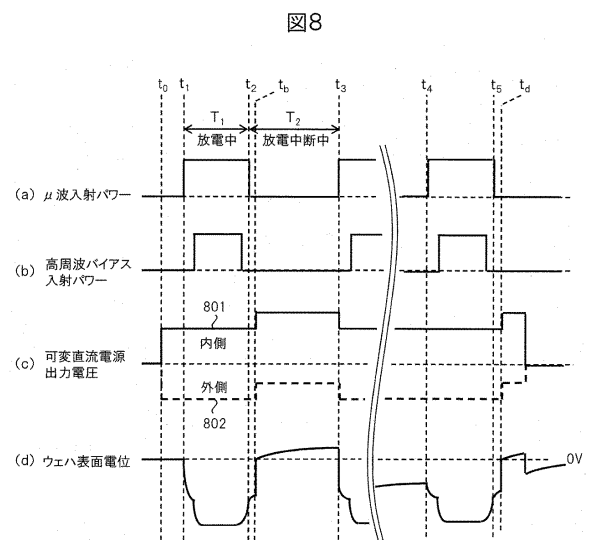
【図 6】



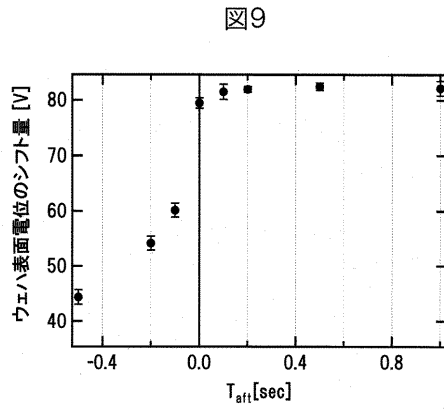
【図 7】



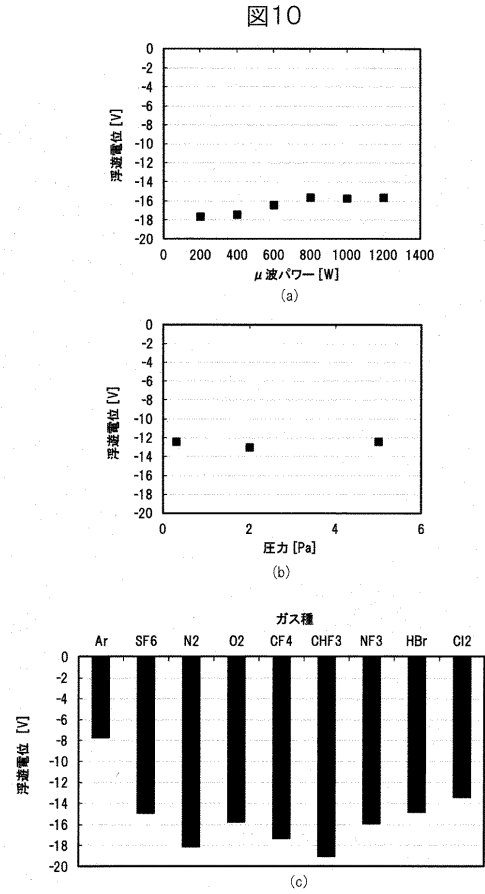
【図 8】



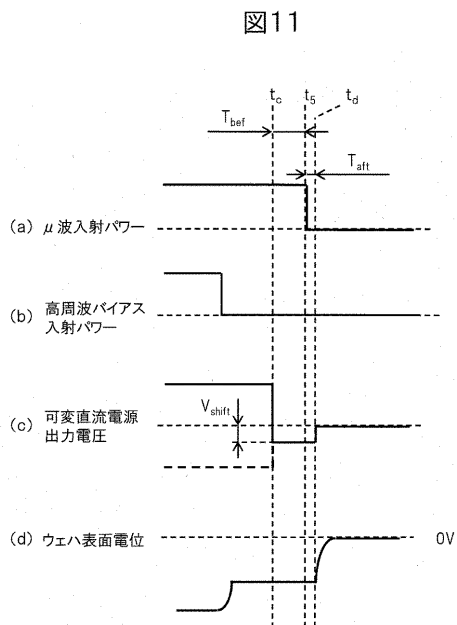
【図 9】



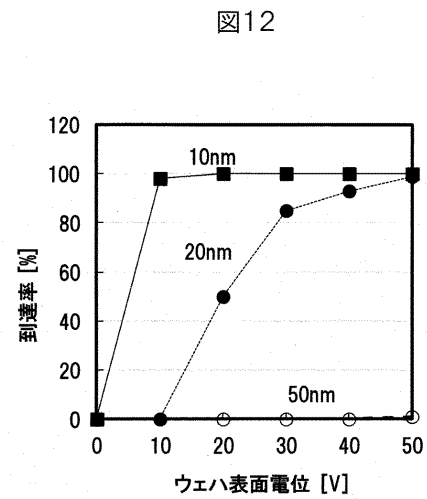
【図 10】



【図 11】

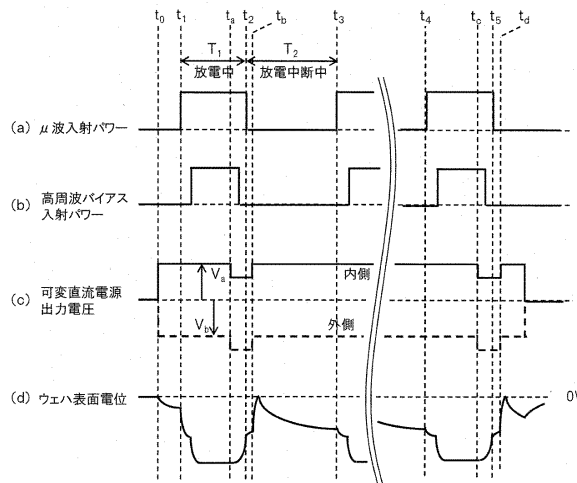


【図 12】



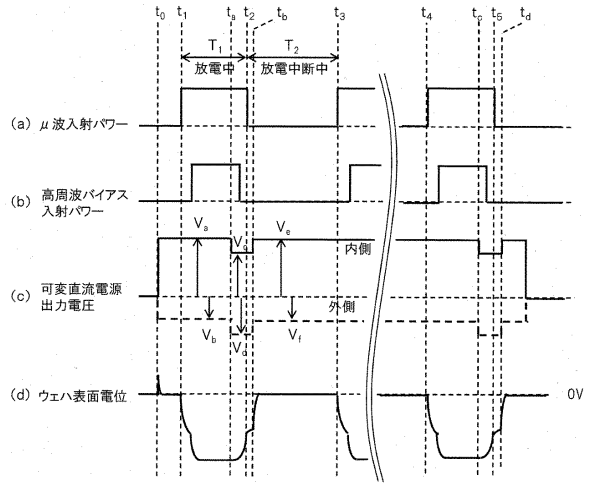
【図 13】

図13



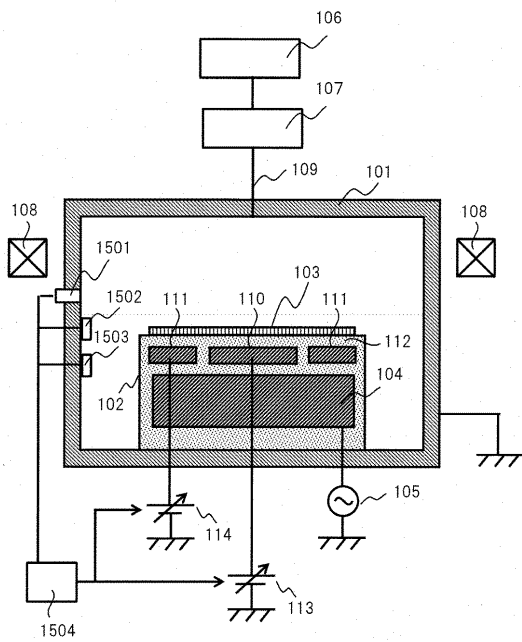
【図 14】

図14



【図 15】

図15



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 5 H 1/00 A

(72)発明者 池永 和幸  
東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社 日立ハイテクノロジーズ内  
(72)発明者 田村 智行  
東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社 日立ハイテクノロジーズ内

審査官 鈴木 聡一郎

(56)参考文献 特開平07-022499(JP,A)  
特開2007-115765(JP,A)  
特開2004-062897(JP,A)  
特開平06-349594(JP,A)  
特開2014-070275(JP,A)  
特開平06-204177(JP,A)  
特表2013-535074(JP,A)  
特開2002-100573(JP,A)  
特開2011-060984(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 3 C 1 6 / 0 0 - 1 6 / 5 6  
H 0 1 L 2 1 / 2 0 5  
H 0 1 L 2 1 / 3 0 2  
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5  
H 0 1 L 2 1 / 3 1  
H 0 1 L 2 1 / 3 6 5  
H 0 1 L 2 1 / 4 6 1  
H 0 1 L 2 1 / 4 6 9  
H 0 1 L 2 1 / 6 7 - 2 1 / 6 8 3  
H 0 1 L 2 1 / 8 6  
H 0 5 H 1 / 0 0 - 1 / 5 4