

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4838197号

(P4838197)

(45) 発行日 平成23年12月14日 (2011.12.14)

(24) 登録日 平成23年10月7日 (2011.10.7)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 L 21/3065 (2006.01)	H O 1 L 21/302 I O 1 B
H O 1 L 21/205 (2006.01)	H O 1 L 21/205
C 2 3 C 16/52 (2006.01)	C 2 3 C 16/52
C 2 3 C 16/509 (2006.01)	C 2 3 C 16/509

請求項の数 11 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2007-149585 (P2007-149585)	(73) 特許権者	000219967
(22) 出願日	平成19年6月5日 (2007.6.5)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公開番号	特開2008-305856 (P2008-305856A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公開日	平成20年12月18日 (2008.12.18)	(74) 代理人	100120075
審査請求日	平成22年4月1日 (2010.4.1)		弁理士 大山 浩明
		(72) 発明者	古屋 正男
			東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
		審査官	長谷部 智寿

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置、電極温度調整装置、電極温度調整方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理の対象となる基板が収容され、真空排気可能な処理室と、  
 前記処理室内に配置される第1電極と、  
 前記第1電極に対向して配置され、前記基板を支持する第2電極と、  
 前記第1電極に第1の高周波電力を印加する第1の高周波電力電源と、  
 前記第2電極に前記第1の高周波電力よりも周波数の低い第2の高周波電力を印加する第2の高周波電力電源と、  
 前記第1電極に直流電圧を印加する直流電源と、  
 前記処理室内に所定の処理ガスを供給する処理ガス供給手段と  
 前記第1電極に形成された循環路に、所定の温度に調整された熱媒体を循環させることにより前記第1電極の温度を調整する温度調整装置と、  
 前記基板に対する処理を行うのに先立って、少なくとも前記各電極に印加しようとする各高周波電力及び前記第1電極に印加しようとする直流電圧に基づいて、前記第1電極の温度を所定の設定温度に調整するために必要な前記熱媒体の目標温度を算出し、前記基板に対する処理を行う際に、前記目標温度に基づいて前記熱媒体の温度を調整する制御を行う制御部と、  
 を備えることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】

前記熱媒体の目標温度は、前記第1電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温

度差を求めるために予め定められた演算式に基づいて算出し、

前記演算式は、前記第 1 の高周波電力に基づく項と、前記第 2 の高周波電力に基づく項と、前記直流電圧に基づく項とを含み、

前記直流電圧に基づく項は、前記直流電圧と前記第 2 の高周波電力とを乗算した項からなることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記演算式は、前記第 1 電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を  $T$  とすると、

$$T = k (a \cdot A + b \cdot B + c \cdot HV \cdot B) \cdot D / C$$

( $k$  : 電力から温度への換算係数であり、 $A$  : 前記第 1 の高周波電力、 $B$  : 前記第 2 の高周波電力、 $HV$  : 前記直流電圧、 $C$  : 前記基板 1 枚あたりの処理時間、 $D$  : 処理時間  $C$  中の高周波電力の印加時間、 $a$  :  $A$  項の係数、 $b$  :  $B$  項の係数、 $c$  :  $HV \cdot B$  項の係数) により表されることを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記第 2 の高周波電力の大きさに応じて前記演算式に含まれる係数  $c$  を最適な値に調整することを特徴とする請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記温度調整装置は、

前記第 1 電極の内部を通過し、前記第 1 電極に対して前記熱媒体を循環させる循環路と、

前記循環路において、前記電極を通過した前記熱媒体に対して液体冷媒の顕熱により熱交換を行う第 1 の熱交換器と、

前記循環路において、前記第 1 の熱交換器を通過した前記熱媒体に対して冷媒の潜熱により熱交換を行う第 2 の熱交換器と、

前記循環路において、前記電極の内部に供給される熱媒体を加熱する加熱器と、を備えることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記第 1 電極は上部電極であり、前記第 2 電極は下部電極であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

処理室内に互いに対向する第 1 電極と第 2 電極を配置し、前記第 1 電極に第 1 の高周波電力と直流電圧を印加するとともに、前記第 2 電極に第 1 の高周波電力よりも低い周波数の第 2 の高周波電力を印加して、前記第 2 電極に載置した基板に対して所定の処理を行うプラズマ処理装置の前記第 1 電極の温度を調整する電極温度調整装置であって、

前記第 1 電極の内部を通過し、前記第 1 電極に対して前記熱媒体を循環させる循環路と、

前記熱媒体の温度を調整する熱媒体温度調整器と、

前記基板に対する処理を行うのに先立って、少なくとも前記各電極に印加しようとする高周波電力及び前記第 1 電極に印加しようとする直流電圧に基づいて、前記第 1 電極の温度を所定の設定温度に調整するために必要な前記熱媒体の目標温度を算出し、前記基板に対する処理を行う際に、前記目標温度に基づいて前記熱媒体の温度を調整する制御を行う制御部と、

を備えることを特徴とする電極温度調整装置。

【請求項 8】

前記熱媒体の目標温度は、前記第 1 電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を求めるために予め定められた演算式に基づいて算出し、

前記演算式は、前記第 1 電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を  $T$  とすると、

$$T = k (a \cdot A + b \cdot B + c \cdot HV \cdot B) \cdot D / C$$

( $k$  : 電力から温度への換算係数であり、 $A$  : 前記第 1 の高周波電力、 $B$  : 前記第 2 の高

10

20

30

40

50

周波電力，HV：前記直流電圧，C：前記基板1枚あたりの処理時間，D：処理時間C中の高周波電力の印加時間，a：A項の係数，b：B項の係数，c：HV・B項の係数）により表されることを特徴とする請求項7に記載の電極温度調整装置。

【請求項9】

処理室内に互いに対向する第1電極と第2電極を配置し，前記第1電極に第1の高周波電力と直流電圧を印加するとともに，前記第2電極に第1の高周波電力よりも低い周波数の第2の高周波電力を印加して，前記第2電極に載置した基板に対して所定の処理を行うプラズマ処理装置における前記第1電極の温度を調整する電極温度調整方法であって，

前記基板に対する処理を行うのに先立って，少なくとも前記各電極に印加しようとする各高周波電力及び前記第1電極に印加しようとする直流電圧に基づいて，前記第1電極の温度を所定の設定温度に調整するために必要な熱媒体の目標温度を算出する工程と，

前記基板に対する処理を行う際に，前記目標温度に基づいて温調した前記熱媒体を，前記第1電極の内部に形成された循環路を循環させることによって，前記第1電極を設定温度に保持する制御を行う工程と，

を有することを特徴とする電極温度調整方法。

【請求項10】

前記熱媒体の目標温度は，前記第1電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を求めるために予め定められた演算式に基づいて算出し，

前記演算式は，前記第1電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差をTとすると，

$$T = k ( a \cdot A + b \cdot B + c \cdot HV \cdot B ) \cdot D / C$$

（k：電力から温度への換算係数であり，A：前記第1の高周波電力，B：前記第2の高周波電力，HV：前記直流電圧，C：前記基板1枚あたりの処理時間，D：処理時間C中の高周波電力の印加時間，a：A項の係数，b：B項の係数，c：HV・B項の係数）により表されることを特徴とする請求項9に記載の電極温度調整方法。

【請求項11】

前記熱媒体の目標温度を算出する工程は，予め記憶媒体に記憶された処理条件から前記第1の高周波電力，前記第2の高周波電力，前記直流電圧，前記基板1枚あたりの処理時間，処理時間C中の高周波電力の印加時間，前記各項の係数を読み出して，前記演算式から

Tを算出し，このTに基づいて前記熱媒体の目標温度を求めることを特徴とする請求項10に記載の電極温度調整方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は，プラズマ処理装置，電極温度調整装置，電極温度調整方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体装置や液晶表示装置等の製造プロセスでは，所定の真空圧に減圧した処理室内にプラズマを発生させて，このプラズマを基板例えば半導体ウエハや液晶表示装置用のガラス基板等に作用させることにより，エッチング処理，成膜処理等の所定の処理を行うプラズマ処理装置が用いられている。

【0003】

プラズマ処理装置としては，種々のものが知られているが，その中でも例えば処理室内の下部に基板を載置する載置台を兼ねるサセプタ（下部電極）を設け，サセプタに対向して処理室の上部に処理ガス導入部を兼ねる上部電極を設けて構成された，所謂平行平板型のプラズマ処理装置が主流である。

【0004】

このような平行平板型のプラズマ処理装置は，処理室内に所定の処理ガスを導入するとともに，処理室内を真空排気することによって，処理室内を所定の真空度の処理ガス雰囲気

10

20

30

40

50

気とし、この状態でサセプタと上部電極にそれぞれ所定周波数の高周波電力を供給することによって、基板と上部電極との間に処理ガスのプラズマを発生させ、このプラズマを基板に作用させることによって、エッチング等の処理を行うようになっている。

【0005】

この種のプラズマ処理装置における上部電極は、直接プラズマに晒される位置に設けられており、またプラズマ発生用の高出力の高周波電力が印加されるので発熱量も多いので、高周波電力の印加に起因して上部電極の温度が不所望に上昇する可能性がある。しかも、上部電極は下部電極よりも熱容量が大きいため、下部電極に比して温度調整を行う場合の応答性も悪い。従って、上部電極の温度を設定温度に精度よく保持させることは容易ではない。

10

【0006】

このような上部電極温度を調整する技術としては、例えば上部電極内に所定の温度に調整された冷媒やラインなどの熱媒体を流通させるための流路を形成し、この流路内に熱媒体を流通させて上部電極を冷却するように構成されたものが知られている（例えば特許文献1、2参照）。

【0007】

【特許文献1】特開2004-342704号公報

【特許文献2】特開2006-269944号公報

【特許文献3】特開2006-270017号公報

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ところで、上述した平行平板型のプラズマ処理装置では、基板を処理する際に、上部電極に対して、高周波電力に重畳して所定の直流電圧をも印加することにより、処理室内に発生するプラズマポテンシャルやプラズマ密度の面内均一性のコントロールなどを高精度に行うものがある（例えば特許文献3参照）。

【0009】

このような上部電極に直流電圧を印加することによっても、上部電極の温度が不所望に上昇することが、本発明者らの実験等により明らかになり、基板上に形成される素子の特性（エッチングレート、デバイス形状等）に与える影響も無視できないことがわかってきた。

30

【0010】

ところが、上述した特許文献1、2のような従来の上部電極の温度制御では、上部電極に直流電圧を印加することによる上部電極への入熱を考慮していなかったため、このような温度制御を上部電極に直流電圧を印加するプラズマ処理装置にそのまま適用しても、上部電極の不所望な温度上昇を十分に抑えることができなかった。

【0011】

そこで、本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、高周波電力を印加する電極にさらに直流電圧を重畳して印加する場合に、高周波電力印加に起因する電極温度の上昇を抑えるとともに、直流電圧の印加に起因する電極温度の上昇も十分に抑えることができるプラズマ処理装置等を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、処理の対象となる基板が収容され、真空排気可能な処理室と、前記処理室内に配置される第1電極（例えば上部電極）と、前記第1電極に対向して配置され、前記基板を支持する第2電極（例えば下部電極）と、前記第1電極に第1の高周波電力を印加する第1の高周波電力電源と、前記第2電極に前記第1の高周波電力よりも周波数の低い第2の高周波電力を印加する第2の高周波電力電源と、前記第1電極に直流電圧を印加する直流電源と、前記処理室内に所定の処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、前記第1電極に形成された循環路に、所定の温度に調

50

整された熱媒体を循環させることにより前記第1電極の温度を調整する温度調整装置と、前記基板に対する処理を行うのに先立って、少なくとも前記各電極に印加しようとする各高周波電力及び前記第1電極に印加しようとする直流電圧に基づいて、前記第1電極の温度を所定の設定温度に調整するために必要な前記熱媒体の目標温度を算出し、前記基板に対する処理を行う際に、前記目標温度に基づいて前記熱媒体の温度を調整する制御を行う制御部とを備えることを特徴とするプラズマ処理装置が提供される。

#### 【0013】

本発明は、第1電極に高周波電力に重畳して直流電圧を印加する場合には、高周波電力のみならず、直流電圧についても、第1電極の温度を不所望に上昇させる要因になることが、本発明者らの実験等により明らかになったことに鑑みて、高周波電力のみならず、直流電圧をも考慮して第1電極の温度を設定温度に調整するものである。具体的には、基板に対する処理を行うのに先立って、少なくとも各電極に印加しようとする各高周波電力および第1電極に印加しようとする直流電圧に基づいて、第1電極の温度を所定の設定温度に調整するために必要な熱媒体の目標温度を算出する。これにより、高周波電力印加に起因する第1電極温度の上昇を抑えるとともに、直流電圧の印加に起因する第1電極温度の上昇についても十分に抑えることができるので、基板を処理する際に第1電極の温度を設定温度に高精度に保持することができる。

#### 【0014】

また、上記熱媒体の目標温度は、前記第1電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を求めるために予め定められた演算式に基づいて算出し、前記演算式は、前記第1の高周波電力に基づく項と、前記第2の高周波電力に基づく項と、前記直流電圧に基づく項とを含み、前記直流電圧に基づく項は、前記直流電圧と前記第2の高周波電力とを乗算した項からなることが好ましい。このような演算式に基づいて算出することにより、熱媒体の目標温度を的確に求めることができる。また、本発明者らの実験等により、直流電圧の印加による第1電極の温度上昇には、第2電極に印加する第2の高周波電力の大きさの影響もあることが判明した。例えば直流電圧が一定であっても、第2電極に印加する第2の高周波電力が大きいほど、第1電極に流れる直流電流も大きくなるので、第1電極の入熱量も大きくなり、第1電極の温度も上昇することがわかった。この点を演算式に反映させるために、直流電圧の項をその直流電圧と第2の高周波電力とを乗算する項にした。これにより、第1電極の温度が不所望に上昇することをよりの確に抑えることができる。

#### 【0015】

また、上記演算式は、例えば前記第1電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を  $T$  とすると、 $T = k(a \cdot A + b \cdot B + c \cdot HV \cdot B) \cdot D / C$  ( $k$ : 電力から温度への換算係数であり、 $A$ : 前記第1の高周波電力、 $B$ : 前記第2の高周波電力、 $HV$ : 前記直流電圧、 $C$ : 前記基板1枚あたりの処理時間、 $D$ : 処理時間  $C$  中の高周波電力の印加時間、 $a$ :  $A$  項の係数、 $b$ :  $B$  項の係数、 $c$ :  $HV \cdot B$  項の係数) により表される。このように、高周波電力の印加時間等をも考慮して熱媒体の目標温度を求めることにより、第1電極の温度制御の精度を高めることができる。

#### 【0016】

また、上記第2の高周波電力の大きさに応じて前記演算式に含まれる係数  $c$  を最適な値に調整することが好ましい。例えば複数枚の基板を連続して処理する場合に、第2の高周波電力の大きさによっては、最初の基板を処理するときの第1電極温度が2枚目以降の基板を処理するときと比べて低くなる場合があるが、このような場合でも係数  $c$  を調整することにより、最初の基板を処理するときの第1電極温度の低下を緩和することができる。これにより、最初の基板から最後の基板まで第1電極温度を高精度で設定温度に保持することができるので、各基板の処理結果にばらつきが発生することを防止できる。

#### 【0017】

また、上記温度調整装置は、例えば前記第1電極の内部を通過し、前記第1電極に対して前記熱媒体を循環させる循環路と、前記循環路において、前記電極を通過した前記熱媒

10

20

30

40

50

体に対して液体冷媒の顕熱により熱交換を行う第１の熱交換器と、前記循環路において、前記第１の熱交換器を通過した前記熱媒体に対して冷媒の潜熱により熱交換を行う第２の熱交換器と、前記循環路において、前記電極の内部に供給される熱媒体を加熱する加熱器とを備える。これによれば、第１熱交換器と第２熱交換器を用いることによって、熱媒体を目標温度まで一気に冷却することができるとともに、加熱器により熱媒体を加熱して所望の温度に調整することもできる。

#### 【００１８】

上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、処理室内に互いに対向する第１電極と第２電極を配置し、前記第１電極に第１の高周波電力と直流電圧を印加するとともに、前記第２電極に第１の高周波電力よりも低い周波数の第２の高周波電力を印加して、前記第２電極に載置した基板に対して所定の処理を行うプラズマ処理装置における前記第１電極の温度を調整する電極温度調整装置であって、前記第１電極の内部を通過し、前記第１電極に対して前記熱媒体を循環させる循環路と、前記熱媒体の温度を調整する熱媒体温度調整器と、前記基板に対する処理を行うのに先立って、少なくとも前記各電極に印加しようとする各高周波電力及び前記第１電極に印加しようとする直流電圧に基づいて、前記第１電極の温度を所定の設定温度に調整するために必要な前記熱媒体の目標温度を算出し、前記基板に対する処理を行う際に、前記目標温度に基づいて前記熱媒体の温度を調整する制御を行う制御部とを備えることを特徴とする電極温度調整装置が提供される。これによれば、高周波電力印加に起因する第１電極温度の上昇を抑えるとともに、直流電圧の印加に起因する第１電極温度の上昇についても十分に抑えることができるので、基板を処理する際に第１電極温度を設定温度に高精度に保持することができる。

#### 【００１９】

また、上記熱媒体の目標温度は、前記第１電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を求めるために予め定められた演算式に基づいて算出し、前記演算式は、前記第１電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を  $T$  とすると、例えば

$$T = k (a \cdot A + b \cdot B + c \cdot HV \cdot B) \cdot D / C$$

( $k$ ：電力から温度への換算係数であり、 $A$ ：前記第１の高周波電力、 $B$ ：前記第２の高周波電力、 $HV$ ：前記直流電圧、 $C$ ：前記基板１枚あたりの処理時間、 $D$ ：処理時間  $C$  中の高周波電力の印加時間、 $a$ ： $A$  項の係数、 $b$ ： $B$  項の係数、 $c$ ： $HV \cdot B$  項の係数)により表される。

#### 【００２０】

上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、処理室内に互いに対向する第１電極と第２電極を配置し、前記第１電極に第１の高周波電力と直流電圧を印加するとともに、前記第２電極に第１の高周波電力よりも低い周波数の第２の高周波電力を印加して、前記第２電極に載置した基板に対して所定の処理を行うプラズマ処理装置における前記第１電極の温度を調整する電極温度調整方法であって、前記基板に対する処理を行うのに先立って、少なくとも前記各電極に印加しようとする各高周波電力及び前記第１電極に印加しようとする直流電圧に基づいて、前記第１電極の温度を所定の設定温度に調整するために必要な熱媒体の目標温度を算出する工程と、前記基板に対する処理を行う際に、前記目標温度に基づいて温調した前記熱媒体を、前記第１電極の内部に形成された循環路を循環させることによって、前記第１電極を設定温度に保持する制御を行う工程とを有することを特徴とする電極温度調整方法が提供される。これによれば、高周波電力印加に起因する第１電極温度の上昇を抑えるとともに、直流電圧の印加に起因する第１電極温度の上昇についても十分に抑えることができるので、基板を処理する際に第１電極温度を設定温度に高精度に保持することができる。

#### 【００２１】

また、上記熱媒体の目標温度は、前記第１電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を求めるために予め定められた演算式に基づいて算出し、前記演算式は、前記第１電極の所定の設定温度と前記熱媒体の目標温度との温度差を  $T$  とすると、例えば

$$T = k (a \cdot A + b \cdot B + c \cdot HV \cdot B) \cdot D / C$$

( $k$ ：電力から温度への換算係数であり、 $A$ ：前記第１の高周波電力、 $B$ ：前記第２の高周波電力、 $HV$ ：前記直流電圧、 $C$

：前記基板 1 枚あたりの処理時間，D：処理時間 C 中の高周波電力の印加時間，a：A 項の係数，b：B 項の係数，c：H V・B 項の係数）により表される。

【0022】

また，上記熱媒体の目標温度を算出する工程は，予め記憶媒体に記憶された処理条件から前記第 1 の高周波電力，前記第 2 の高周波電力，前記直流電圧，前記基板 1 枚あたりの処理時間，処理時間中の高周波電力の印加時間，前記各項の係数を読み出して，前記演算式から T を算出し，この T に基づいて前記熱媒体の目標温度を求めることが好ましい。予め記憶媒体に記憶された処理条件のように既にわかっている値を用いて演算式から T を算出して熱媒体の目標温度を求めることにより，基板の処理前であっても熱媒体の目標温度を求めることができる。なお，なお，本明細書中 1 m T o r r は  $(10^{-3} \times 10^{13} 25 / 760)$  P a とする。

10

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば，高周波電力を印加する電極にさらに直流電圧を重畳して印加する場合に，高周波電力印加に起因する電極温度の上昇を抑えるとともに，直流電圧の印加に起因する電極温度の上昇についても十分に抑えることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下に添付図面を参照しながら，本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお，本明細書及び図面において，実質的に同一の機能構成を有する構成要素については，同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

20

【0025】

（プラズマ処理装置）

先ず，本発明の実施形態にかかる電極温度調整装置を適用可能なプラズマ処理装置の構成例について図面を参照しながら説明する。図 1 は，本実施形態にかかるプラズマ処理装置の構成を説明するための図である。ここでは，プラズマ処理装置を平行平板型電極構造の容量結合型のプラズマエッチング装置として構成した場合を例に挙げる。

【0026】

図 1 に示すように，プラズマ処理装置 100 は，略円筒形状の処理容器により構成される処理室（チャンバ）110 を備える。処理室 110 は，例えばアルミニウム合金により形成され，その内壁面は例えばアルミナ膜又はイットリウム酸化膜により被覆されている。処理室 110 は接地されている。

30

【0027】

処理室 110 内の底部には，絶縁板 111 を介して第 2 電極としてのサセプタ 112 が設けられている。サセプタ 112 は，例えばアルミニウム合金により形成され，平行平板型電極構造の下部電極として機能する。また，サセプタ 112 は略円柱状に形成され，その上面に基板例えば半導体ウエハ（以下，単に「ウエハ」とも称する）W を載置する載置台としての機能も兼ねる。この場合，サセプタ 112 上には，例えば図示しない静電チャックが設けられ，この静電チャックによりサセプタ 112 上にウエハ W が吸着保持される。さらに，サセプタ 112 には，図示しない電熱ガス機構からの電熱ガス（例えば H e ガス）を静電チャックとウエハ W との間に供給するガス供給ラインが設けられている。

40

【0028】

サセプタ 112 の内部には，例えばリング状に形成された冷媒室 113 が設けられている。冷媒室 113 は，配管 113 a，113 b を通じて，処理室 110 の外部に設置されたチラーユニット（図示せず）に連通している。冷媒室 113 には，配管 113 a，113 b を通じて冷媒が循環供給され，この循環供給によりサセプタ 112 上のウエハ W の温度を制御できるようになっている。

【0029】

下部電極であるサセプタ 112 の上方には，サセプタ 112 と対向するように平行にプラズマ生成用の第 1 電極としての上部電極 120 が設けられている。そして，上部電極 1

50

20と下部電極であるサセプタ112との間の空間がプラズマ生成空間Sとなる。

【0030】

上部電極120は、例えば電極板121、分散板122及び天板123の3層構造になっている。例えば最上部の天板123の中央部には、処理ガスを処理室110内に導入するためのガス供給管124が接続されている。ガス供給管124は、処理ガス供給手段としての処理ガス供給源125に接続されている。ガス供給管124には、図示はしないが、例えば処理室に供給する処理ガスの流量を調整するためのマスフローコントローラ、開閉バルブなどが設けられている。処理ガス供給源125からは、エッチングのための処理ガスとして、例えば $C_4F_8$ などのフロロカーボンガス( $C_xF_y$ )が供給される。

【0031】

天板123の下層には、例えば略円筒状の分散板122が設けられ、ガス供給管124から導入された処理ガスを均等に分散させることができる。分散板122の下層には、例えばサセプタ112上のウエハWに対向する電極板121が設けられている。電極板121には、多数のガス吐出孔121aが形成されており、分散板122で分散された処理ガスを複数のガス吐出孔121aから均等に上記プラズマ生成空間Sに向けて吐出できるようになっている。この点で、上部電極120は処理ガスを供給するためのシャワーヘッドとしても機能する。

【0032】

上部電極120の例えば天板123の内部には、熱媒体(例えばブライン)が通過するリング状の流路130が形成されている。流路130は、後述する温度調整装置200の循環路210の一部を構成している。また例えば分散板122の内部には、温度制御を行う上部電極120の温度を測定する温度センサ131が設けられている。

【0033】

上部電極120には、第1の整合器としての整合器140を介して第1の高周波電源141が電氣的に接続されている。第1の高周波電源141は、例えば10MHz以上、例えば60MHzの周波数の高周波電力を出力する。整合器140は、第1の高周波電源141の内部(または出力)インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させるもので、処理室110内にプラズマが生成されている時に第1の高周波電源141の出力インピーダンスと負荷インピーダンスが見かけ上一致するように機能する。この第1の高周波電源141によって上部電極120に高周波電力を付加することにより、処理室110内のプラズマ生成空間Sに処理ガスのプラズマが生成される。

【0034】

さらに、上部電極120には、上述した第1の高周波電源141の他に、可変直流電源142が電氣的に接続されている。可変直流電源142はバイポーラ電源であってもよい。具体的には、この可変直流電源142は、整合器140を介して上部電極120に接続されており、この可変直流電源142と整合器140との間に設けたスイッチ143により直流電圧の給電のオン・オフができるようになっている。なお、可変直流電源142の極性および電流・電圧ならびにスイッチ143のオン・オフは、装置制御部170により制御される。

【0035】

整合器140は、例えば図2に示すように、第1の高周波電源141の給電ライン160から分岐して設けられた第1の可変コンデンサ162と、給電ライン160のその分岐点の下流側に設けられた第2の可変コンデンサ164を有しており、これらにより上述した整合器140の機能を発揮する。さらに、整合器140には、上記可変直流電源142からの直流電圧電流(以下、単に「直流電圧」ともいう)が上部電極120に有効に供給可能なように、第1の高周波電源141からの高周波(例えば60MHz)および後述する第2の高周波電源151からの高周波(例えば2MHz)をトラップするフィルタ165が設けられている。すなわち、可変直流電源142からの直流電圧電流がフィルタ165を介して給電ライン160に接続される。このフィルタ165は例えば図2に示すようにコイル166とコンデンサ168とで構成されており、これらにより第1の高周波電源

10

20

30

40

50

141からの高周波および後述する第2の高周波電源151からの高周波がトラップされる。このような直流電圧としては、例えば-2000~10000Vの範囲で所望の大きさの電圧を印加することができる。例えば直流電圧の絶対値が100V以上、好ましくは500V以上になるような直流電圧を印加する。

#### 【0036】

下部電極であるサセプタ112には、第2の整合器としての整合器150を介して第2の高周波電源151が電氣的に接続されている。第2の高周波電源151は、例えば2MHz~20MHzの範囲内の周波数、例えば2MHzの高周波電力を出力する。この第2の高周波電源151により、サセプタ112に高周波電力を印加し、処理室110内の荷電粒子をウエハW側に引き込むことができる。整合器150は第2の高周波電源151の内部(または出力)インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させるためのもので、処理室110内にプラズマが生成されている時に第2の高周波電源151の内部インピーダンスと負荷インピーダンスが見かけ上一致するように機能する。

#### 【0037】

処理室110の底部には、図示しない排気装置に連通する排気管102が接続されている。排気装置は例えばターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、処理室110内を所望の真空度まで減圧可能となっている。また、処理室110の側壁にはウエハWの搬入出口104が設けられており、この搬入出口104はゲートバルブ106により開閉可能となっている。所定枚数(例えば25枚)のウエハに対して連続してエッチング処理を施すロット処理を行う場合には、先ず図示しない搬送アームによって搬入出口104から処理室110内に最初のウエハWを搬入してエッチング処理を行う。エッチング処理が終了すると搬入出口104からウエハWを搬出し、次のウエハWを搬入する。

#### 【0038】

プラズマ処理装置100には、例えば処理ガス供給源125、第1の高周波電源141及び第2の高周波電源151などのエッチング処理を実行するための各部の動作を制御する装置制御部170が設けられている。また、温度センサ131による測定結果は、装置制御部170に出力されるようになっている。

#### 【0039】

このように構成されるプラズマ処理装置100においてプラズマエッチング処理を行う際には、ウエハWが図示しない搬送アームなどにより搬入されて、サセプタ112上に載置され、サセプタ112上に吸着保持されると、例えば排気管102からの排気により、処理室110内が所定の圧力に減圧される。そして、上部電極120から処理室110内に処理ガスが供給され、第1の高周波電源141により、上部電極120に高周波電力が印加されると、処理室110内のプラズマ生成空間Sに処理ガスのプラズマが生成される。また、第2の高周波電源151により、サセプタ112に高周波電力が印加されることにより、プラズマ中の荷電粒子がウエハW側に誘導される。これらのプラズマの作用により、ウエハW上の膜がエッチングされる。エッチングが終了したウエハWは、処理室110内から図示しない搬送アームなどにより搬出され、次のウエハWが処理室内110に搬入される。

#### 【0040】

##### (温度調整装置)

次に、プラズマ処理装置100の上部電極120の温度を調整する電極温度調整装置としての温度調整装置200について図1を参照しながら説明する。温度調整装置200は、上部電極120の内部を通過するようにブラインを循環させる循環路210と、循環路210において上部電極120から流出したブラインを液体冷媒としての水の顕熱により熱交換する第1の熱交換器211と、循環路210においてブラインを潜熱により熱交換する第2の熱交換器212と、ブラインを加温する加熱器としての電気ヒータ213と、上部電極120に供給する前にブラインを貯留するタンク214を有している。なお、上記ブラインは、例えばシリコンオイル、フッ素系液体、エチレングリコールなどの液体状の絶縁性熱交換媒体である。

## 【 0 0 4 1 】

循環路 2 1 0 において、第 1 の熱交換器 2 1 1、第 2 の熱交換器 2 1 2、電気ヒータ 2 1 3 及びタンク 2 1 4 は直列的に接続されており、上部電極 1 2 0、第 1 の熱交換器 2 1 1、第 2 の熱交換器 2 1 2、電気ヒータ 2 1 3、タンク 2 1 4、上部電極 1 2 0 の順にブラインを循環させることができる（図 1 に示す循環 E 1 参照）。

## 【 0 0 4 2 】

第 1 の熱交換器 2 1 1 には、例えば二次冷媒である水を第 1 の熱交換器 2 1 1 の内部に導入し排出する二次冷媒側の管路 2 2 0 が接続されている。この管路 2 2 0 の上流側は、例えば図示しない水供給装置に接続されている。管路 2 2 0 に水を流すことにより、第 1 の熱交換器 2 1 1 において水の顕熱により循環路 2 1 0 のブラインを冷却できる。管路 2 2 0 には、開閉バルブ 2 2 1 が設けられている。この開閉バルブ 2 2 1 の開閉を切り替えることにより、第 1 の熱交換器 2 1 1 の水によるブラインの冷却をオン・オフできる。

10

## 【 0 0 4 3 】

第 2 の熱交換器 2 1 2 は蒸発器であり、例えば二次冷媒としての代替フロン（例えばハイドロフルオロカーボン（HFC））の潜熱により循環路 2 1 0 のブラインを冷却できる。第 2 の熱交換器 2 1 2 には、冷凍機を構成する循環回路 2 3 0 が接続されている。循環回路 2 3 0 には、圧縮機 2 3 1、凝縮器 2 3 2 及び膨張弁 2 3 3 が設けられている。凝縮器 2 3 2 には、例えば三次冷媒となる冷却水の供給管路 2 3 4 が接続されている。供給管路 2 3 4 には、例えば流量調整バルブ 2 3 5 が設けられている。例えばこの流量調整バルブ 2 3 5 によって凝縮器 2 3 2 への冷却水の供給量を調整することにより、第 2 の熱交換器 2 1 2 における冷却能力を調整できる。

20

## 【 0 0 4 4 】

電気ヒータ 2 1 3 は、例えばヒータ電源 2 4 0 による給電により発熱して循環路 2 1 0 のブラインを加温できる。タンク 2 1 4 には、例えばポンプ 2 5 0 が配置されており、タンク 2 1 4 内に貯留しているブラインを上部電極 1 2 0 側に圧送できる。

## 【 0 0 4 5 】

また、タンク 2 1 4 と上部電極 1 2 0 との間の循環路 2 1 0 には、例えばタンク 2 1 4 から圧送されたブラインを上部電極 1 2 0 を迂回して第 1 の熱交換器 2 1 1 側に流すバイパス路 2 6 0 が形成されている。このバイパス路 2 6 0 により、バイパス路 2 6 0、第 1 の熱交換器 2 1 1、第 2 の熱交換器 2 1 2、電気ヒータ 2 1 3、タンク 2 1 4、バイパス路 2 6 0 の順にブラインを循環させることができる（図 1 に示す循環 E 2 参照）。バイパス路 2 6 0 の分岐点には、三方弁 2 6 1 が設けられている。この三方弁 2 6 1 により、上部電極 1 2 0 を通らずにバイパス路 2 6 0 を通る循環 E 2 と、上部電極 1 2 0 を通る循環 E 1 を切り替えることができる。

30

## 【 0 0 4 6 】

温度調整装置 2 0 0 には、例えば第 1 の熱交換器 2 1 1 の開閉バルブ 2 2 1、第 2 の熱交換器 2 1 2 の流量調整バルブ 2 3 5、電気ヒータ 2 1 3 のヒータ電源 2 4 0、タンク 2 1 4 のポンプ 2 5 0 及び三方弁 2 6 1 などの各部の動作を制御して、上部電極 1 2 0 の温度調整を実行するためのコントローラ 2 7 0 が設けられている。コントローラ 2 7 0 は、プラズマ処理装置 1 0 0 の装置制御部 1 7 0 との間で通信可能であり、装置制御部 1 7 0 からの情報に基づいて各部の動作を制御できる。

40

## 【 0 0 4 7 】

なお、第 1 の熱交換器 2 1 1 の液体冷媒は、水を使い捨てで使用してもよいし、循環させて温度を一定に保つように温調してもよい。温調して循環使用する場合は、液体冷媒としてブラインを使用してもよい。また第 2 の熱交換器 2 1 2 の冷媒は、代替フロンの HFC 以外に、アンモニア、空気、二酸化炭素、炭化水素系ガスなどを使用してもよい。

## 【 0 0 4 8 】

（プラズマ処理装置の動作）

次に、このように構成されるプラズマ処理装置 1 0 0 においてエッチング処理を行う際には、まず、ゲートバルブ 1 0 6 を開状態とし、搬入出口 1 0 4 を介してエッチング対象

50

であるウエハWを処理室110内に搬入し、サセプタ112上に載置し、吸着保持する。そして、処理ガス供給源125からエッチングのための処理ガスを所定の流量で上部電極120に供給し、ガス吐出孔121aを介して処理室110内へ供給しつつ、図示しない排気装置によって排気管102より処理室110内を排気することによって、処理室110内の圧力を所定の圧力に減圧する。ここで、処理ガスとしては、種々のものを採用することができる。処理ガスとしては、例えば $C_4F_8$ ガスのようなフッ素カーボンガス( $C_xF_y$ )に代表されるハロゲン元素を含有するガスが挙げられる。さらに、処理ガスには、Arガスや $O_2$ ガス等の他のガスが含まれていてもよい。

【0049】

このように処理室110内に処理ガスを導入した状態で、第1の高周波電源141からプラズマ生成用の第1の高周波電力を所定のパワーで上部電極120に印加するとともに、第2の高周波電源151よりイオン引き込み用の第2の高周波電力を所定のパワーで下部電極であるサセプタ112に印加する。そして、可変直流電源142から所定の直流電圧を上部電極120に印加する。

【0050】

上部電極120の電極板121に形成されたガス吐出孔121aから吐出された処理ガスは、高周波電力により生じた上部電極120と下部電極であるサセプタ112間のグロー放電中でプラズマ化し、このプラズマで生成されるラジカルやイオンによってウエハWの被処理面がエッチングされる。また、このように上部電極120にプラズマ形成用の第1の高周波電力を供給し、下部電極であるサセプタ112にイオン引き込み用の第2の高周波電力を供給するので、プラズマの制御マージンを広くすることができる。

【0051】

こうしてプラズマが形成される際に、上部電極120に高い周波数領域(例えば10MHz以上)の高周波電力を供給することにより、プラズマを好ましい状態で高密度化することができる、より低圧の条件下でも高密度プラズマを形成することができる。

【0052】

さらに、本実施形態では、プラズマが形成される際に、上部電極120に可変直流電源142から所定の極性および大きさの直流電圧が印加される。この可変直流電源142からの印加電圧を制御することにより、上部電極120へのポリマーの付着を防止したり、プラズマポテンシャルやプラズマ密度の面内均一性を制御したりすることができる。

【0053】

例えば上部電極120の電極板121表面の自己バイアス電圧 $V_{dc}$ が深くなるように、つまり上部電極120表面での $V_{dc}$ の絶対値が大きくなるように、可変直流電源142からの印加電圧を制御することができる。このため、例えば第1の高周波電源141から印加される高周波のパワーが低い場合などのように上部電極120にポリマーが付着し易くなる場合であっても、可変直流電源142からの印加電圧を適切な値に制御することによって、上部電極120に付着したポリマーをスパッタして上部電極120の表面を清浄化することができる。この場合、ウエハW上に最適な量のポリマーを供給させることができるので、ウエハW上のフォトリジスト膜の表面荒れも解消できる。なお、可変直流電源142からの印加電圧を制御する代わりに、印加電流または印加電力を制御するようにしてもよい。

【0054】

このようなプラズマエッチング処理を行う際には、上部電極120及びサセプタ112はそれぞれ予め設定された温度に調整される。この場合、サセプタ112の温度は図示しないチラーユニットから冷媒室113に供給される冷媒によって温度が調整される。また、上部電極120は、上述した温度調整装置200によって温度が調整される。上部電極120は、プラズマ生成空間Sに露出しており、プラズマ発生用の高出力の高周波電力が印加されるので発熱量も多く、またサセプタ112に比して大きな熱容量を有している。このため、サセプタ112に比してエッチング処理時における発熱量が多く、温度調整媒体に対する応答性も悪いので、本実施形態では上部電極120の温度をサセプタ112の

温度とは別個に調整している。

【0055】

このように、上部電極120の温度を温度調整装置200によって調整する場合には、エッチング処理を開始するときに、熱媒体例えばブラインの温度を上部電極120の設定温度よりも低い値に設定しておく必要がある。これは、例えばエッチング処理開始により高周波電力が印加されると、上部電極120の温度が上昇し始めるので、その温度上昇を抑えて上部電極120を設定温度に保持させるためである。具体的には、ブラインの目標温度と上部電極120の設定温度との温度差を  $T$  とすれば、エッチング処理に先立って予め適切な  $T$  の値を予想して算出しておくことによって、エッチング処理を開始する際にブラインを目標温度に制御することで、上部電極120をエッチング処理の当初から設定温度に保持することができる。

10

【0056】

例えば所定枚数のウエハWを連続して処理するロット処理を行う場合には、ロット処理を開始する前に、予め  $T$  を算出してブラインの目標温度を設定しておき、最初のウエハWをエッチング処理する際に、上部電極120に高周波電力を印加するタイミングまたはその直前のタイミングでブラインの温度を目標温度に調整して上部電極120に供給する。これにより、上部電極120の温度は最初のウエハWの処理から温度上昇が抑えられて設定温度に保持される。

【0057】

なお、実際のウエハWの処理では、各ウエハWの処理ごと（高周波電力の異なる複数のステップを有する処理では各ステップごと）に高周波電力のオン・オフが繰り返されるので、上部電極120の温度も微妙に変化する。このため、ウエハWの処理中には温度センサ131により上部電極120の温度を監視し、検出された温度に基づいて上部電極120の温度が設定温度になるように、ブラインの温度を微調整するようにしてもよい。これにより、ロット処理における最初のウエハWから最後のウエハWまで上部電極120の温度を設定温度に保持することができる。

20

【0058】

（温度差  $T$ ）

ここで、ブラインの目標温度と上部電極120の設定温度との温度差  $T$  について説明する。上述したように高周波電力印加等による上部電極120の温度上昇を抑えるため、ブラインの目標温度は上部電極120の設定温度よりも低い値に設定される。従って、温度差  $T$  を算出するに当たり、上部電極120の温度上昇を招く要素を考慮する必要がある。このような要素としては、例えば上部電極120に印加される第1の高周波電力、サセプタ112に印加される第2の高周波電力、ウエハW一枚あたりの処理時間、処理時間中の高周波電力の印加時間が挙げられる。

30

【0059】

ところが、図1に示すプラズマ処理装置100のように、上部電極120に第1の高周波電力のみならず、可変直流電源142からの直流電圧も重畳して印加する場合には、この直流電圧についても上部電極120の温度上昇の要因の1つとなることが、本発明者らの実験等により判明した。

40

【0060】

ここで、上部電極120に第1の高周波電力と重畳して印加する可変直流電源142の直流電圧を変えて、それぞれ上部電極120の温度を検出した実験結果を図3に示す。図3は、ブラインの温度  $B_T$  を一定に保持して、可変直流電源142の直流電圧を変化させた場合の上部電極120の温度を温度センサ131により検出してグラフにしたものである。

【0061】

図3における上部電極120の温度のグラフ  $CT_1$ 、 $CT_2$ 、 $CT_3$ 、 $CT_4$  は、それぞれ可変直流電源142の直流電圧を0V、800V、1200V、1500Vとした場合である。なお、その他の処理条件は共通であり、具体的には上部電極120の高周波電

50

力を2000W, サセプタ112の高周波電力を4500W, 処理室内圧力を25mTとした。また, 処理ガスとしては, 酸化膜エッチングに使用される一般的なガスの組合せによる混合ガス, 例えばCF系ガス(例えばC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>などのC<sub>x</sub>F<sub>y</sub>系ガス)と希ガス(例えばArガスなどの不活性ガス)と酸素ガス(O<sub>2</sub>ガス)との混合ガスを用いた。

【0062】

図3によれば, 可変直流電源142の直流電圧を印加しない場合(CT1)と, 可変直流電源142の直流電圧を印加した場合(CT2~CT4)とでは, 上部電極120の温度が異なる。しかも, 可変直流電源142の直流電圧を大きくするほど, 上部電極120の温度も大きくなる。従って, 可変直流電源142の直流電圧は, 上部電極120の温度上昇の要因になることがわかる。

10

【0063】

このように, 上部電極120に印加した直流電圧により上部電極120の温度が上昇する理由としては, 例えば次のことが考えられる。すなわち, 上部電極120から放たれた電子(マイナス)は, ウエハW上のマイナスVdcで跳ね返され, また上部電極120の電極板121の表面でも可変直流電源142によるマイナスの直流電圧により跳ね返される。これにより, 電子(マイナス)は, ウエハW上と上部電極120との間で往復し, 電子がプラズマ生成空間Sに, 直流電圧を印加しない場合よりも長い時間滞在することにより, プラズマ密度が上昇するため, 荷電粒子も増えて, 上部電極120に流れる直流電流も増えるので, 上部電極120への入熱も増えるからであると考えられる。

【0064】

20

ここで, 可変直流電源142による直流電圧を変えたときの上部電極120に流れる直流電流と上部電極120の温度との関係を図4に示す。図4は, 可変直流電源142の直流電圧を0V, 800V, 1500Vとしてそれぞれ実験を行って, 上部電極120の温度と上部電極120に流れる直流電流を検出してこれらをプロットしグラフにしたものである。なお, その他の処理条件は共通であり, 具体的には上部電極120の高周波電力を1500W, サセプタ112の高周波電力を4500W, 処理室内圧力を25mTとした。また, 処理ガスとしては, 酸化膜エッチングに使用される一般的なガスの組合せ, 例えばCF系ガス(例えばC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>などのC<sub>x</sub>F<sub>y</sub>系ガス)と希ガス(例えばArガスなどの不活性ガス)と酸素ガス(O<sub>2</sub>ガス)との混合ガスを用いた。

【0065】

30

図4によれば, 可変直流電源142による直流電圧が大きくなるほど, 上部電極120に流れる直流電流も増え, 上部電極120の温度も高くなっていることがわかる。このように, 上部電極120に流れる直流電流は, 上部電極120の温度に影響を与える。

【0066】

さらに, この上部電極120に流れる直流電流は, 下部電極であるサセプタ112に印加される高周波電力の大きさに応じて変化することにも, 本発明者らの実験等により明らかになった。

【0067】

ここで, 上部電極120に流れる直流電流とサセプタ112に印加される高周波電力の大きさとの関係を図5に示す。図5は, サセプタ112の高周波電力(Btm)を0W, 200W, 500W, 2500W, 4500Wとし, これらについてそれぞれ可変直流電源142の直流電圧を300V~1500Vの範囲で可変させて実験を行って, 上部電極120に流れる直流電流を検出してこれらをプロットしグラフにしたものである。なお, その他の処理条件は共通であり, 具体的には上部電極120の高周波電力を1800W, 処理室内圧力を25mTとした。また, 処理ガスとしては, 図4の場合と同様に酸化膜エッチングに使用される一般的なガスの組合せによる混合ガス(CF系ガスと希ガスと酸素ガス)を用いた。

40

【0068】

図5によれば, 例えば可変直流電源142による直流電圧が同じ1500Vの場合でも, サセプタ112へ印加する高周波電力が0W, 200W, 500W, 2500W, 45

50

00Wと大きくなるに連れて、上部電極120に流れる直流電流も大きくなっている。これによれば、例えば可変直流電源142による直流電圧が一定であっても、サセプタ112に印加される高周波電力が大きいほど、上部電極120に流れる直流電流も大きくなるので、上部電極120の温度もより上昇してしまうことがわかる。

【0069】

以上の実験結果等を踏まえれば、上部電極120に高周波電力と直流電流とを印加する場合、ブラインの目標温度を算出するための上部電極設定温度との温度差  $T$  の演算式は下記(1)式のようにすることが好ましいと考えられる。

【0070】

$$T = k(a \cdot A + b \cdot B + c \cdot HV \cdot B) \cdot D / C \quad \dots (1)$$

10

【0071】

上記(1)式において、 $k$ は電力から温度への換算係数である。上記(1)式の括弧内における $a \cdot A$ の項は上部電極120に印加する高周波電力が与える影響を考慮したものである。具体的には、 $A$ は上部電極120の高周波電力そのものである。 $a$ は係数であり、上部電極120の高周波電力の項が上部電極120の温度に及ぼす影響の度合いを示す。

【0072】

$b \cdot B$ の項はサセプタ112に印加する高周波電力が与える影響を考慮したものである。具体的には、 $B$ はサセプタ112に印加する高周波電力そのものである。 $b$ は係数であり、サセプタ112の高周波電力の項が上部電極120の温度に及ぼす影響の度合いを示す。

20

【0073】

$c \cdot HV \cdot B$ の項は上部電極120に印加する直流電圧が与える影響を考慮したものである。具体的には、 $HV$ は、上部電極120に印加する可変直流電源142の直流電圧そのものであり、 $B$ は上述したようにサセプタ112に印加する高周波電力である。ここで、 $HV$ と $B$ とを乗算するのは、例えば図5に示すように可変直流電源142の直流電圧が一定でもサセプタ112に印加する高周波電力が大きいほど、上部電極120の温度が大きくなる傾向にあることを考慮したものである。これらは例えばエッチング処理条件として予め設定された値を用いることができる。 $c$ は係数であり、直流電圧の項が上部電極120の温度に及ぼす影響の度合いを示す。

30

【0074】

なお、 $D / C$ 項の $C$ はウエハW一枚あたりの処理時間であり、 $D$ は処理時間 $C$ 中の高周波電力の印加時間である。なお、ここでの処理時間 $C$ は、例えば高周波電力が印加されている時間とウエハWの入れ替え時間を含めた、ウエハW一枚あたりにかかる時間である。このような温度差  $T$  の算出と目標温度 $T$ の設定は、例えばコントローラ270により行われる。

【0075】

各項の $A$ 、 $B$ 、 $HV$ 、 $C$ 、 $D$ はそれぞれ、例えばエッチング処理条件として予め設定された値を用いることができる。また各係数 $k$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ は、実際のエッチング処理に応じて最適な値にすることができる。また、各係数 $k$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ は、それぞれ複数の係数で構成してもよい。例えば係数 $c$ を2つの係数で構成し、一方の係数は固定にして、他方の係数で大きさを調整するようにしてもよい。

40

【0076】

このように、可変直流電源142の直流電圧についての項を、ブラインの目標温度を設定するための温度差  $T$  の演算式(上記(1)式)に取り入れることで、可変直流電源142の直流電圧による上部電極120の温度上昇の影響を抑えることができる。

【0077】

(上部電極の温度制御)

次に、上部電極120の温度制御を行う場合の温度調整装置200の動作について説明する。ここでは、所定枚数のウエハWに対してエッチング処理を連続して実行するロット

50

処理を行った場合について説明する。

【0078】

先ず、ウエハWのロット処理を開始する前（例えばアイドル状態のとき）に、予め循環路210内の循環E1においてラインの温度を調整し、上部電極120の温度を設定温度Hに調整しておく。具体的には、ロット処理が開始される前の温度調整では、先ず図1に示す上部電極120の温度センサ131による温度測定結果が装置制御部170に出力され、装置制御部170からコントローラ270に出力される。コントローラ270は、この温度測定結果に基づいて、第2の熱交換器212の流量調整バルブ235と電気ヒータ213のヒータ電源240を調整して、上部電極120の温度が設定温度Hになるように循環路210内のラインの温度を調整する。このとき、第1の熱交換器211の開閉バルブ221は閉鎖されており、第2の熱交換器212と電気ヒータ213によってラインの温度が調整される。つまりラインの冷却については、第2の熱交換器212の代替フロンの潜熱によって行われる。このアイドル状態時の循環路210内のラインの温度は、放熱などの影響により結果的に設定温度Hよりも僅かに高い温度に調整される。

10

【0079】

そして、プラズマ処理装置100において、アイドル状態が終わり、ウエハWのロット処理が開始されるときに、図1に示す循環路210におけるラインの目標温度Tが設定される。例えば装置制御部170の処理開始情報がコントローラ270に入力されると、ラインの目標温度Tが設定される。

20

【0080】

目標温度Tは、上部電極120の設定温度Hよりも低い温度であり、設定温度Hと目標温度Tとの温度差  $T$  は、上記(1)式により求められる。温度差  $T$  が算出され、目標温度Tが設定されると、第1の熱交換器211の開閉バルブ221が開放され、第1の熱交換器211における水の顕熱と、第2の熱交換器212における代替フロンの潜熱によって、循環路210内のラインが急速冷却され、目標温度Tで安定する。ウエハWのロット処理が開始されプラズマ生成用の高周波電力が上部電極120に印加されて発生する分の熱が、冷却されたラインにより排熱され、上部電極120の温度上昇が抑えられる。

【0081】

ここで、上部電極120に高周波電力に直流電圧を重畳して印加して所定枚数のウエハWのロット処理を行う場合に、 $T$ を算出して上部電極120の温度制御を行った場合の実験結果を図6、図7に示す。図6は直流電圧を考慮せずに $T$ を算出して温度制御を行った場合であり、図7は直流電圧を考慮して $T$ を算出して温度制御を行った場合である。具体的には、図6は、上記(1)式の係数cを0にして直流電圧の項( $c \cdot HV \cdot B$ )を0にして $T$ を算出し、図7は、上記(1)式の直流電圧の項( $c \cdot HV \cdot B$ )に適切な値を代入して $T$ を算出した。

30

【0082】

なお、図6、図7はともに、異なる高周波電力を印加する2つのステップ（第1ステップ及びこれに連続して行われる第2ステップ）からなるエッチング処理を行った場合の実験結果である。ここでは、上述したようにウエハWのロット処理を開始する前（例えばアイドル状態のとき）に予め上部電極120の温度CTを設定温度H（図6、図7に示す点線）に調整しておくとともに、それぞれ算出した $T$ に基づいて得られたラインの目標温度を設定し、最初のウエハWの処理で上部電極120に高周波電力を印加するタイミングで、第1の熱交換器211と第2の熱交換器212によりラインを急冷し始めた。その後は、例えば温度センサ131により上部電極120の温度CTを監視し、上部電極120の温度が常に設定温度Hになるように、ラインの温度BTを微調整する。

40

【0083】

なお、図6、図7における処理条件としては、第1ステップでは、上部電極120の高周波電力を2000W、サセプタ112の高周波電力を1000W、可変直流電源142の直流電圧を700V、処理室内圧力を25mTとし、第2ステップでは、上部電極12

50

0の高周波電力を1000W, サセプタ112の高周波電力を3000W, 可変直流電源142の直流電圧を1500V, 処理室内圧力を25mTとした。なお, 第1, 第2ステップにおける処理ガスとしては, 図4, 図5の場合と同様に酸化膜エッチングに使用される一般的なガスの組合せによる混合ガス(CF系ガスと希ガスと酸素ガス)を用いた。

【0084】

図6と図7の実験結果を比較すると, 上部電極120に印加する直流電圧を考慮してTを算出した場合(図7)は, 直流電圧を考慮せずにTを算出した場合(図6)に比して, 上部電極120の温度CTの最大値レベルを示す一点鎖線(設定温度Hの上側の一点鎖線)がより設定温度Hに近くなっていることから, 上部電極120の温度CTの上昇が抑えられていることがわかり, さらに上部電極120の温度CTの全体のばらつきも小さくなっていることがわかる。

10

【0085】

特に, 2枚目以降のウエハWを処理する際の上部電極120の温度CTのばらつき(上部電極120の温度CTについて一点鎖線で示す2枚目以降の最大値レベルと最小値レベルの差)は, 図6の場合には20程度の範囲であったのに対して, 図7の場合には6程度の範囲内に抑えられ, 温度調整の精度が向上したことがわかる。

【0086】

なお, 上部電極120に印加する直流電圧を考慮してTを算出する場合, 例えば図7の二点鎖線で示すように, 最初の1枚目のウエハWを処理する際には2枚目以降のウエハWを処理する場合よりも, 上部電極120の温度CTがアンダーシュート(過冷却)する傾向にある。このアンダーシュートの傾向は, 例えばTを算出するための上記(1)式における直流電圧項( $c \cdot HV \cdot B$ )の係数cの値を小さくするように調整することにより, 緩和することができる。

20

【0087】

また, 下部電極であるサセプタ112に印加する高周波電力の値Bが大きくなるほど, Tを算出するための上記(1)式における直流電圧項( $c \cdot HV \cdot B$ )も大きくなるので, 上述したように, 最初のウエハWを処理する際に, 2枚目以降のウエハWを処理する場合よりも, 上部電極120の温度CTのアンダーシュート(過冷却)が大きくなる傾向がある。この場合のアンダーシュートについても, 上記と同様に例えばTを算出するための上記(1)式における直流電圧項( $c \cdot HV \cdot B$ )の係数cの値を小さくするように調整することにより, 緩和することができる。従って, 例えばサセプタ112に印加する高周波電力の値Bに応じて直流電圧項( $c \cdot HV \cdot B$ )の係数cの値を変えるようにしてもよい。これによって, 最初のウエハWを処理する際においても, 2枚目以降のウエハWを処理する場合と同様の高い精度で上部電極120の温度CTを制御することができる。

30

【0088】

以上詳述したように, 上部電極120に高周波電力と直流電圧も重畳して印加する場合には, その直流電圧をも考慮してTを算出してブラインの目標温度を設定することにより, 上部電極120への直流電圧印加による温度上昇を抑えることができる。これによって, ロット処理を行う際に最初のウエハWから最後のウエハWの処理まで, 上部電極120の温度をより高精度で保持することができるので, 上部電極120への直流電圧印加による温度上昇に起因するロット内のウエハWについての処理特性(例えばエッチングレート, ウエハW上に形成される素子の形状など)のばらつきをなくすることができる。

40

【0089】

なお, 上記(1)式は, 上部電極120に高周波電力に重畳して直流電圧を印加する場合のみならず, 上部電極120に直流電圧を印加せず高周波電力のみを印加する場合にも同様の式を適用可能である。すなわち, 上記(1)式における $c \cdot HV \cdot B$ 項は, 直流電圧を印加する場合に必要な項であるものの, 上部電極120に直流電圧を印加しない場合には, 直流電圧HVを0とすることにより, 上記(1)式は $c \cdot HV \cdot B$ 項がない場合と同様になるからである。

【0090】

50

また、ロット処理終了後は、三方弁 261 のバイパス路 260 側の流路を開放し、上部電極 120 を迂回するようにブラインを循環するようにしてもよい（循環 E2）。このとき、例えば第 1 の熱交換器 211 による冷却と、第 2 の熱交換器 212 による冷却が停止され、電気ヒータ 213 により、ブラインが加温される。その後、三方弁 261 が上部電極 120 側の流路に切り替えられ、温められたブラインが上部電極 120 内を通るように循環される（循環 E1）。この三方弁 261 の切り替えが断続的に行われ、上部電極 120 を通るブラインの循環 E1 と上部電極 120 を迂回するショートカットの循環 E2 が交互に切り替えられる。これにより、ブラインの温度がアイドル状態時の温度に短時間で戻すことができ、またウエハ W の処理の終了時に一時的に低下する上部電極 120 の温度を短時間で設定温度 H に回復させることができる。

10

#### 【0091】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は係る例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。例えば電極温度調整装置の構成は、図 1 に示すものに限られるものではなく、ブラインなどの熱媒体を温度調整して上部電極内を循環させて温度を調整するものであれば、どのような構成のものを適用してもよい。

#### 【0092】

また、上記実施形態では、エッチングを行うプラズマ処理装置の上部電極の温度制御について説明したが、必ずしもこれに限定されるものではなく、エッチング処理以外のプラズマ処理、例えば成膜処理を行うプラズマ処理装置における上部電極の温度制御に本発明を適用してもよい。

20

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0093】

本発明は、プラズマ処理装置、電極温度調整装置、電極温度調整方法に適用可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0094】

【図 1】本発明の実施形態にかかる電極温度調整装置とこれを適用可能なプラズマ処理装置の概略構成を説明するための図である。

30

【図 2】図 1 に示すプラズマ処理装置の第 1 の高周波電源に接続される整合器の具体的構成例を示す図である。

【図 3】ブライン温度を一定にし、上部電極に高周波電力と重畳して印加する直流電圧を変えて上部電極に印加したときの上部電極の温度変化を示す図である。

【図 4】直流電圧を変えたときの上部電極に流れる直流電流と上部電極温度との関係を示す図である。

【図 5】上部電極に流れる直流電流と下部電極であるサセプタに印加される高周波電力の大きさとの関係を示す図である。

【図 6】直流電圧を考慮せずに温度差  $T$  を算出して上部電極の温度制御を行った場合の実験結果を示す図である。

40

【図 7】直流電圧を考慮して温度差  $T$  を算出して上部電極の温度制御を行った場合の実験結果を示す図である。

#### 【符号の説明】

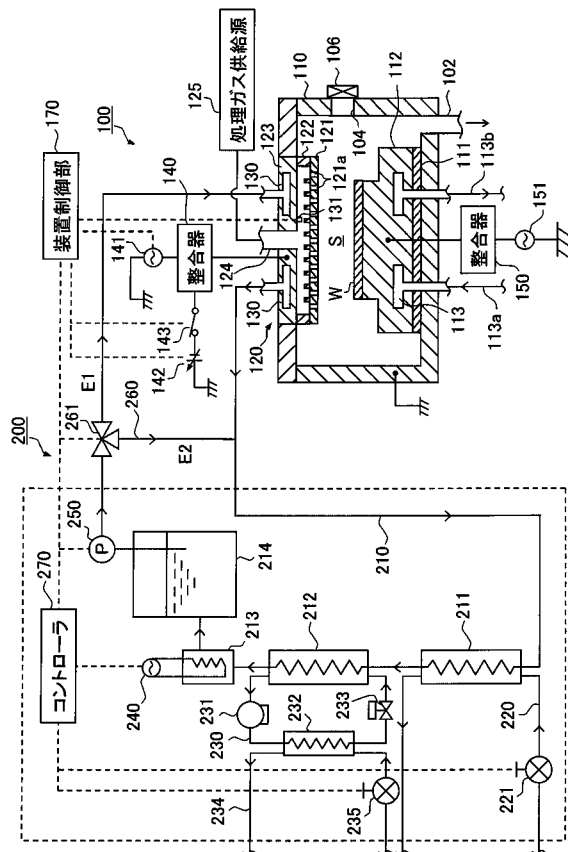
#### 【0095】

100	プラズマ処理装置
102	排気管
104	搬入出口
106	ゲートバルブ
110	処理室

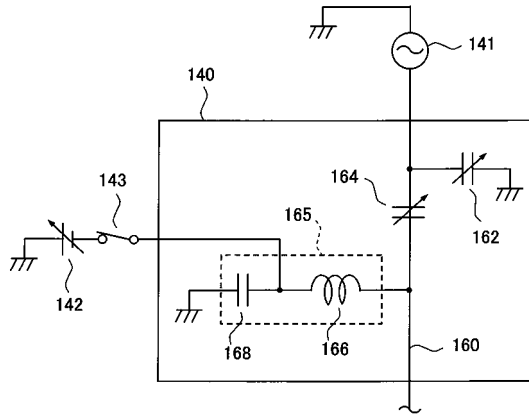
50

1 1 1	絶縁板	
1 1 2	サセプタ	
1 1 3	冷媒室	
1 1 3 a , 1 1 3 b	配管	
1 2 0	上部電極	
1 2 1	電極板	
1 2 1 a	ガス吐出孔	
1 2 2	分散板	
1 2 3	天板	
1 2 4	ガス供給管	10
1 2 5	処理ガス供給源	
1 3 0	流路	
1 3 1	温度センサ	
1 4 0	整合器	
1 4 1	高周波電源	
1 4 2	可変直流電源	
1 4 3	スイッチ	
1 5 0	整合器	
1 5 1	高周波電源	
1 6 0	給電ライン	20
1 6 2	可変コンデンサ	
1 6 4	可変コンデンサ	
1 6 5	フィルタ	
1 6 6	コイル	
1 6 8	コンデンサ	
1 7 0	装置制御部	
2 0 0	温度調整装置	
2 1 0	循環路	
2 1 1	熱交換器	
2 1 2	熱交換器	30
2 1 3	電気ヒータ	
2 1 4	タンク	
2 2 0	管路	
2 2 1	開閉バルブ	
2 3 0	循環回路	
2 3 1	圧縮機	
2 3 3	膨張弁	
2 3 2	凝縮器	
2 3 4	供給管路	
2 3 5	流量調整バルブ	40
2 4 0	ヒータ電源	
2 5 0	ポンプ	
2 6 0	バイパス路	
2 6 1	三方弁	
2 7 0	コントローラ	
W	ウエハ	

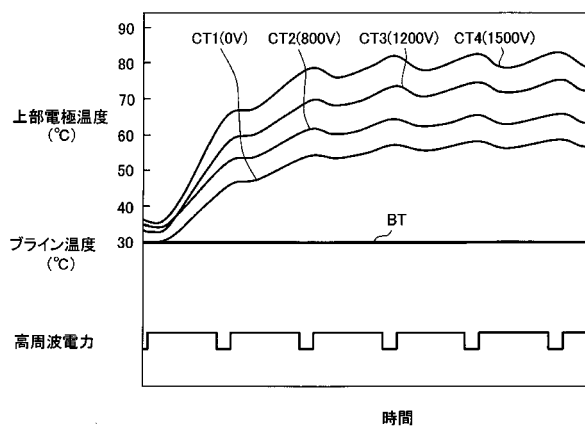
【図 1】



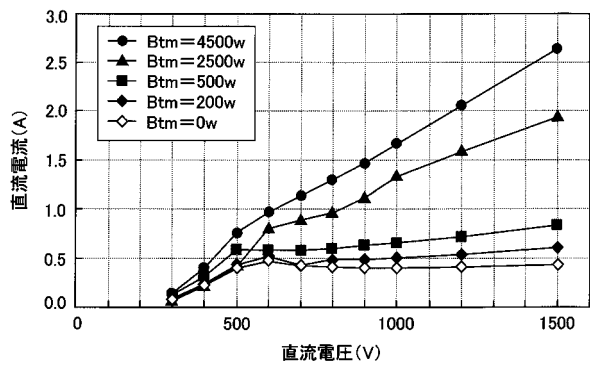
【図 2】



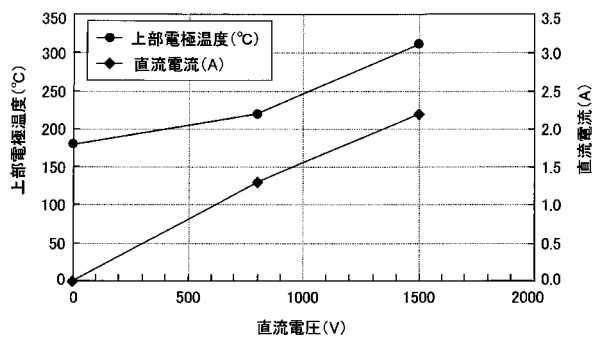
【図 3】



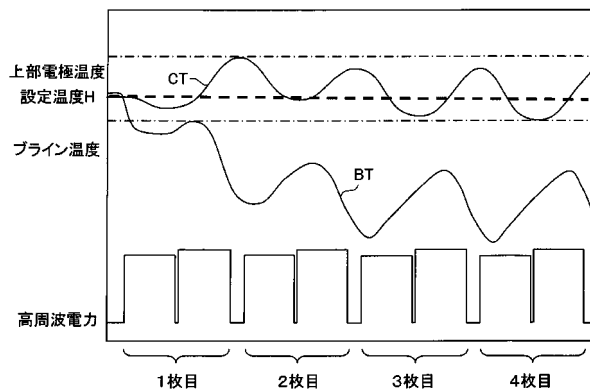
【図 5】



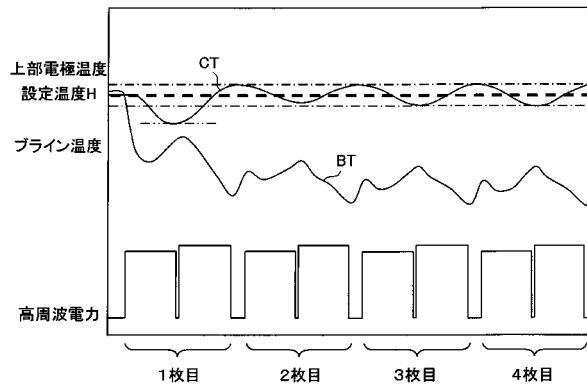
【図 4】



【図 6】



【図 7】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-269944(JP,A)  
特開2001-267295(JP,A)  
特開2006-270017(JP,A)  
特開平03-134187(JP,A)  
特開2003-282532(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L	21/3065
C23C	16/509
C23C	16/52
H01L	21/205