

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4815295号
(P4815295)

(45) 発行日 平成23年11月16日(2011.11.16)

(24) 登録日 平成23年9月2日(2011.9.2)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 L 21/3065 (2006.01) HO 1 L 21/302 I O 1 G
 HO 1 L 21/205 (2006.01) HO 1 L 21/205

請求項の数 7 (全 14 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-202716 (P2006-202716) (22) 出願日 平成18年7月26日 (2006.7.26) (65) 公開番号 特開2008-34409 (P2008-34409A) (43) 公開日 平成20年2月14日 (2008.2.14) 審査請求日 平成21年5月13日 (2009.5.13)</p>	<p>(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2 4 番 1 4 号 (74) 代理人 100100310 弁理士 井上 学 (72) 発明者 丹藤 匠 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目2 8 0 番地 株式会社 日立製作 所 中央研究所内 (72) 発明者 横川 賢悦 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目2 8 0 番地 株式会社 日立製作 所 中央研究所内</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空容器内の処理室に配置された試料台上に保持された試料をこの処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理装置であって、

前記試料台内に配置され内部に供給された冷媒が蒸発しつつ通流する流路と、この試料台内の前記流路と圧縮機、凝縮機及び膨張弁がこの順に連結されて構成された冷媒経路内を前記冷媒が循環する冷凍サイクルと、前記膨張弁を通った冷媒が分岐して前記試料台内部の前記流路から前記圧縮機に戻る冷媒と合流する冷媒の迂回経路と、前記試料台内部の流路を通り冷凍サイクルを循環する冷媒の量及び前記分岐して前記迂回経路を流れる冷媒の量を調節する調節器と、前記迂回経路を通る冷媒が前記試料台内の前記流路から前記圧縮機に戻る前記冷媒と合流する合流部と前記圧縮機との間の前記冷媒経路上に配置されこの冷媒経路を流れる冷媒を加熱して気化させる加熱手段とを備えたプラズマ処理装置。

【請求項 2】

真空容器内の処理室に配置された試料台上に保持された試料をこの処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理装置であって、

前記試料台内に配置され内部に供給された冷媒が蒸発しつつ通流する流路と、この試料台内の前記流路と圧縮機、凝縮機及び膨張弁がこの順に連結されて構成された冷凍サイクルにおいて前記冷媒が内部を通流する第1の冷媒経路と、前記膨張弁を通った冷媒が前記試料台内の前記流路に流入する前に前記第1の冷媒経路から分岐して前記試料台内部の流路から出て前記圧縮機に戻る冷媒と合流する第2の冷媒経路と、前記分岐後の第1及び第

2の冷媒経路に流れる冷媒の量を調節する調節器と、前記第2の冷媒流路が前記合流する合流部と前記圧縮機との間の前記第1の冷媒経路上に配置されこの第1の冷媒流路を流れる冷媒を加熱して気化させる加熱手段とを備えたプラズマ処理装置。

【請求項3】

請求項1に記載のプラズマ処理装置において、前記調節器が前記迂回経路の前記冷媒が分岐する部分と前記試料台との間の冷媒の経路上または前記分岐した冷媒が合流するまでの前記迂回経路上に配置されたプラズマ処理装置。

【請求項4】

請求項2に記載のプラズマ処理装置において、前記調節器が前記第2の冷媒経路の前記冷媒が分岐する部分と前記試料台との間の第1の冷媒経路上または前記分岐した冷媒が合流するまでの第2の冷媒の経路上に配置されたプラズマ処理装置。

10

【請求項5】

請求項1乃至4の何れかに記載のプラズマ処理装置において、前記試料の処理中に前記試料の温度を上昇させる前に予め前記膨張弁から流出する冷媒の温度及び流量を前記変更後の試料の温度に合わせた条件に調節し、前記試料の温度の変更の際に前記分岐して流れる冷媒の流量を調節して前記予め調節された条件の前記冷媒を前記試料台に供給するプラズマ処理装置。

【請求項6】

請求項1乃至4の何れかに記載のプラズマ処理装置において、前記試料の処理中に前記試料の温度を上昇させる前に予め前記圧縮機及び膨張弁の動作を前記変更後の試料の温度に合わせた条件に調節し、前記試料の温度の変更の際に前記分岐して流れる冷媒の流量を調節して前記予め調節された条件で前記圧縮機及び膨張弁を動作させて前記冷媒を前記試料台に供給するプラズマ処理装置。

20

【請求項7】

真空容器と、この真空容器内の処理室下部に配置されてその上に試料を保持する試料台とを備え、前記試料表面上で上下に層をなす複数の膜を前記処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理装置であって、

前記試料台内に配置され内部に供給された冷媒が蒸発しつつ通流する流路と、この試料台と圧縮機、凝縮機及び膨張弁がこの順に連結されて構成され前記冷媒が前記膨張弁から前記試料台に向かう経路と前記冷媒が前記試料台から前記圧縮機に戻る経路とを有した冷凍サイクルと、前記冷媒が前記膨張弁から前記試料台に向かう経路から分岐して前記試料台内部の前記流路を迂回して前記試料台から前記圧縮機に戻る経路に合流する迂回経路と、前記試料台内部の流路を通り冷凍サイクルを循環する冷媒の量及び前記分岐して前記冷媒経路を流れる冷媒の量を調節する調節器と、前記迂回経路を通る冷媒が前記試料台内部の前記流路から前記圧縮機に戻る前記冷媒と合流する合流部と前記圧縮機との間の前記経路上に配置されこの経路を流れる冷媒を加熱して気化させる加熱手段とを備え、

30

前記複数の膜のうち上方の膜を処理中に前記下方の膜の処理の条件に合わせて圧縮機及び膨張弁を動作させて前記迂回経路に前記冷媒を通流させつつ前記試料台の前記流路に調節器により調節された冷媒を供給するプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体デバイスの製造工程において真空容器内に配置された半導体ウエハ等の基板状の試料の表面にプラズマを用いて加工を施すプラズマ処理装置に係り、特に、試料を真空容器内側の処理室内の下部において試料を保持する試料台の温度を調節しつつ処理する処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

上記のようなプラズマ処理装置において、試料である半導体ウエハの表面に施す加工の精度を向上するためには、加工中のウエハ表面の温度の変動を抑えてより均一に保つこと

50

が重要となる。更には、加工対象となる半導体ウエハ表面に上下に積層されて形成された複数の膜の各々を処理する各処理ステップに応じて、ウエハ表面の温度を適正に調節することにより、加工精度、選択比やスループットの向上が可能となる。

【0003】

しかしながら、近年の半導体ウエハの大口径化、大面積化に伴い、このようなプラズマ処理装置において処理中に半導体ウエハに印加される電力は増加傾向にあり、特に、絶縁膜のエッチングにおいてはエッチングレートを向上させるためにキロワットオーダの大電力が印加されている。このような大きな電力の印加によって、処理中に半導体ウエハ表面へ誘引されるイオンの半導体ウエハとの衝撃エネルギーと、この結果、半導体ウエハが受ける熱量が増加している。このため、上記のような大きなウエハへの入熱に対しても安定して高速で高精度なウエハの温度の調節を行う技術が求められている。

10

【0004】

従来より、プラズマ処理装置において、半導体ウエハ等の試料の表面温度を制御するために、試料が載せられてこれを保持する試料台の試料裏面と接する表面温度を調節することが行われてきた。すなわち、試料台内部の温度に配置された温度の調節手段により試料台内部および表面の温度を調節する技術が採用されてきた。

【0005】

例えば、試料台内部に冷媒の流路を形成し、この流路内に冷媒を通流させることにより、冷媒と試料台内の部材とが熱交換することで試料台表面の温度を所定の範囲となるようにしている。このような冷媒は、冷媒供給装置（例えば、チラーユニット等）と試料台内の流路との間で所定の経路を介して連結されて循環され、冷媒供給装置内の冷却装置又は加熱装置により所定の温度に調節されて試料台内の流路内に供給され熱交換した後、再度冷媒供給装置に戻される。

20

【0006】

このような冷媒供給装置では、一旦この冷媒を貯留するタンクに溜めてその温度を調節した後冷媒を試料台側に供給する構成である。このような技術では、試料への熱量の増減に対して冷媒自体の熱容量が大きくできるため、多少の上記入熱の増減が生じても試料の表面温度を一定に保つ上で有効である一方で、冷媒の温度が試料台ひいては試料の温度に大きく影響することから、冷媒の温度が変化する割合が試料の温度変化の割合に大きく左右する。つまり、熱容量の大きく温度変化の割合の小さな冷媒では試料の高速な温度変化、調節が困難となる問題があった。また、熱効率が低いため入熱の増大に対応するには冷媒の量を多くする必要があり、冷媒供給装置を大型化しなければならず、プラズマ処理装置の製造、設置のコストを増大させていた。

30

【0007】

このような従来技術に対して、冷媒が循環する経路上に冷媒の圧縮機、凝縮器、膨張とを備えて冷媒の循環経路を冷凍サイクルとして、試料台内の冷媒の流路において冷媒を蒸発させて試料台を冷却し、試料台を冷凍サイクルの蒸発器として作用させる、いわば、直接膨張式（直膨式）の冷媒供給装置により試料台の温度を調節する技術が提案されている。このような技術の例としては、特開平6-346256号公報（特許文献1）や特開2005-83864号公報（特許文献2）に開示されたものが知られている。

40

【0008】

【特許文献1】特開平6-346256号公報

【特許文献2】特開2005-89864号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献1、2共に、冷媒の温度調節方法が圧縮機と膨張弁を用いた方式であり、冷媒を0以下の低温域に調節することや、温度を一定に維持する上では好都合である。しかし、これらの従来技術では、冷媒の圧力と供給する流量とを連動させて調節する構成であるために、冷媒の温度と熱伝達率とを独立に調節することが困難であり、調節可能な試料

50

の温度の範囲が小さいという問題があった。さらに、試料の温度を変更する場合には、圧縮機の回転数を増大させて冷媒の供給量、或いは冷媒の圧力を増大させることが必要となるが、この圧縮機の回転数が大きくなるまでの時間、所謂、立ち上がり時間が大きいと、処理のステップ間で温度を変更する等の短時間で温度を所定の値に変更する場合に対応できず、処理に必要な時間が大きくなって効率を損なってしまうという問題点があった。

【0010】

本発明の目的は、試料の処理中の温度を高速に変更し、また変動を抑制できるプラズマ処理装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的は、真空容器内の処理室に配置された試料台上に保持された試料をこの処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理装置であって、前記試料台内に配置され内部に供給された冷媒が蒸発しつつ通流する流路と、この試料台内の前記流路と圧縮機、凝縮機及び膨張弁がこの順に連結されて構成された冷媒経路内を前記冷媒が循環する冷凍サイクルと、前記膨張弁を通った冷媒が分岐して前記試料台内部の前記流路から前記圧縮機に戻る冷媒と合流する冷媒の迂回経路と、前記試料台内部の流路を通り冷凍サイクルを循環する冷媒の量及び前記分岐して前記迂回経路を流れる冷媒の量を調節する調節器と、前記迂回経路を通る冷媒が前記試料台内部の前記流路から前記圧縮機に戻る前記冷媒と合流する合流部と前記圧縮機との間の前記冷媒経路上に配置されこの冷媒経路を流れる冷媒を加熱して気化させる加熱手段とを備えたプラズマ処理装置により達成される。

【0012】

また、真空容器内の処理室に配置された試料台上に保持された試料をこの処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理装置であって、前記試料台内に配置され内部に供給された冷媒が蒸発しつつ通流する流路と、この試料台内の前記流路と圧縮機、凝縮機及び膨張弁がこの順に連結されて構成された冷凍サイクルにおいて前記冷媒が内部を通流する第1の冷媒経路と、前記膨張弁を通った冷媒が前記試料台内部の前記流路に流入する前に前記第1の冷媒経路から分岐して前記試料台内部の流路から出て前記圧縮機に戻る冷媒と合流する第2の冷媒経路と、前記分岐後の第1及び第2の冷媒経路に流れる冷媒の量を調節する調節器と、前記第2の冷媒流路が前記合流する合流部と前記圧縮機との間の前記第1の冷媒経路上に配置されこの第1の冷媒流路を流れる冷媒を加熱して気化させる加熱手段とを備えたプラズマ処理装置により達成される。

【0013】

さらには、前記調節器が前記冷媒が分岐する部分と前記試料台との間の冷媒の経路上または前記分岐した冷媒が合流するまでの冷媒の経路上に配置されたこと、または、前記調節器が前記冷媒が分岐する部分と前記試料台との間の第1の冷媒経路上または前記分岐した冷媒が合流するまでの第2の冷媒の経路上に配置されたことにより達成される。

【0014】

さらにまた、前記試料の処理中に前記試料の温度を上昇させる前に予め前記膨張弁から流出する冷媒の温度及び流量を前記変更後の試料の温度に合わせた条件に調節し、前記試料の温度の変更の際に前記分岐して流れる冷媒の流量を調節して前記予め調節された条件の前記冷媒を前記試料台に供給することにより達成される。

【0015】

また、真空容器と、この真空容器内の処理室下部に配置されてその上に試料を保持する試料台とを備え、前記試料表面上で上下に層をなす複数の膜を前記処理室内に形成したプラズマを用いて処理するプラズマ処理装置であって、前記試料台内に配置され内部に供給された冷媒が蒸発しつつ通流する流路と、この試料台と圧縮機、凝縮機及び膨張弁がこの順に連結されて構成され前記冷媒が前記膨張弁から前記試料台に向かう経路と前記冷媒が前記試料台から前記圧縮機に戻る経路とを有した冷凍サイクルと、前記冷媒が前記膨張弁から前記試料台に向かう経路から分岐して前記試料台内部の前記流路を迂回して前記試料台から前記圧縮機に戻る経路に合流する迂回経路と、前記試料台内部の流路を通り冷凍サ

10

20

30

40

50

イクルを循環する冷媒の量及び前記分岐して前記冷媒経路を流れる冷媒の量を調節する調節器と、前記迂回経路を通る冷媒が前記試料台内の前記流路から前記圧縮機に戻る前記冷媒と合流する合流部と前記圧縮機との間の前記経路上に配置されこの経路を流れる冷媒を加熱して気化させる加熱手段とを備え、前記複数の膜のうち上方の膜を処理中に前記下方の膜の処理の条件に合わせて圧縮機及び膨張弁を動作させて前記迂回経路に前記冷媒を通流させつつ前記試料台の前記流路に調節器により調節された冷媒を供給することにより達成される。

【発明の効果】

【0017】

本発明により、エッチング処理時の半導体ウエハの温度を任意に設定でき、かつ各プロセスステップにおいても温度を一定に保つことが可能な静電吸着電極用の温調ユニットを提供することが可能となる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

本発明を実施の形態を以下、図面を用いて説明する。

【実施例1】

【0019】

本発明の実施例に係るプラズマ処理装置について、図1乃至図8を用いて説明する。図1は、本発明の実施例に係るプラズマ処理装置の構成の概略を示す模式図である。

【0020】

20

本実施例は、図1に示すように、大きくわけて、真空容器内部に配置された処理室100およびこの内部の下部に配置された試料台1と、この試料台1を構成要素として有して試料台1の温度を調節するための冷媒を試料台1に供給する冷凍サイクル101およびこれらの動作の制御装置により構成されている。より詳細には、試料台1の金属等の高い熱伝導性及び導電性を有する基材内には冷媒が内部を通流する流路2が形成され、その上方に配置され内部にヒータ3が配置され半導体ウエハ等の基板状の試料が載せられて静電吸着される誘電体膜3が配置されている。この誘電体膜3の上面は試料4をその上に保持する試料載置面となっている。さらに、流路2を含む試料台1、圧縮機5、凝縮器6、膨張弁7は、冷媒が内部を流れて循環する管路により連結されて試料台1を蒸発器とする冷凍サイクル101を構成する。なお、凝縮器6は、冷却水路105から供給される冷却水との間で熱交換して冷媒を冷却する構成である。

30

【0021】

また、この冷凍サイクル101と処理室100側、本実施例では試料台1とは分離可能に構成されており、冷媒が圧縮機5から試料台1に向かう冷媒経路102及び試料台1から圧縮機5に向かう冷媒経路103上のコネクタ8により脱着可能な構成となっている。

【0022】

図2、図3を用いて、本実施例の冷凍サイクルにおける冷媒の特性を示すグラフである。本実施例では、試料台1内の冷媒の流路2内において冷媒が蒸発する際の潜熱(気化熱)により冷媒と接している試料台1の冷却が行われる構成である。この冷媒の熱交換(蒸発)が生じている流路2内では冷媒が気液二相の状態であり、図2に示すように、この状態で冷媒の圧力が一定である限り冷媒の温度は理論的に一定である。一方、図3に示すように、冷媒の温度は基本的に圧力が増大するにつれて大きくなる。そこで本発明では、冷媒の圧力を調節してその温度を調節するとともに、冷媒が流路2の入口から出口の間で完全に蒸発しない(流路2内で冷媒が完全に気体状態とならない)だけの流量に冷媒の流量を調節する。このことにより、試料台1内において冷媒は気液二相の状態が保たれて所定の温度にされ、冷媒の蒸発によるより高速かつ広範囲の熱の交換を実現するとともに試料台1内の温度の均一性を向上させる。例えば、本実施例において冷媒としてR-410を使用する場合には、 $-50 \sim +100$ の範囲で温度調節が可能となる。

40

【0023】

特許文献1、2共に、冷媒の温度調節方法が圧縮機と膨張弁を用いた方式であり、冷媒

50

を0以下の低温域に調節することや、温度を一定に維持する上では好都合である。しかし、これらの従来技術では、冷媒の圧力と供給する流量とを連動させて調節する構成であるために、冷媒の温度と熱伝達率とを独立に調節することが困難であり、調節可能な試料の温度の範囲が小さいという問題があった。さらに、試料の温度を変更する場合には、圧縮機の回転数を増大させて冷媒の供給量、或いは冷媒の圧力を増大させることが必要となるが、この圧縮機の回転数が大きくなるまでの時間、所謂、立ち上がり時間が大きいと、処理のステップ間で温度を変更する等の短時間で温度を所定の値に変更する場合に対応できず、処理に必要な時間が大きくなって効率を損なってしまうという問題点があった。

【0024】

例えば、出力1000Wの圧縮機(4kW級冷凍サイクルに使用)では、通常、圧縮機の最大出力に対して、毎秒2%以下の回転数変化であり、最大出力に到達するまでには50秒以上の時間を要すると考えられる。

【0025】

また、特許文献2の冷媒迂回路は、ある一定のコンダクタンスを有する冷媒のバイパス路を設けた場合には、通常の冷凍サイクルの冷媒の流路の流量が過多となって流路内で圧力が上昇した際に、オーバーフロー分を回収して過冷却を防ぐことはできる一方で、所望の試料台1の温度へ変化する時間が長くなってしまいか、短時間で変化させることのできる温度の範囲が小さくなってしまい、実現できる試料台1の温度の範囲が小さいという問題があった。また、各々の冷媒流路に弁を設置して冷媒流路への冷媒流量を制御する場合には、冷媒迂回路に冷媒を通した際に、冷媒の蒸発不足により圧縮機の破損や冷凍サイクルの出力低下が生じる虞があった。

【0026】

これに対して、本発明では、図1に示す通り、圧縮機5から試料台1に向かう冷媒経路102と試料台1から排出されて圧縮機5に向かう冷媒経路103とを連結する冷媒迂回路11とを備え、これら冷媒経路102および冷媒迂回路11上に流量弁10,30を配置している。冷媒迂回路11と冷媒経路102,103との連結位置は、膨張弁7の冷媒の出口と試料台1の冷媒の流路2の入口との間および流路2の出口と圧縮機5の冷媒の入口との間に配置されている。

【0027】

この構成により、圧縮機5から供給される冷媒は膨張弁7を通過後、分岐して一部は試料台1を通り残る一部は冷媒迂回路11を通流した後合流して圧縮機5へ戻る。流量弁10,30は、分岐して蒸発器において熱交換する冷媒と蒸発器を通らずに流れる冷媒の各々の量を調節する調節器である。

【0028】

さらに、本実施例では、冷媒迂回路11と冷媒経路102との連結位置と試料台1の流路2の入口との間及び冷媒迂回路11上の各々に冷媒の単位時間当たりの流量を調節する弁である流量弁10,30とを備えている。また、冷媒経路103と冷媒迂回路11との連結位置と圧縮機5の冷媒入口との間には冷媒を加熱して気化するための気化器12が配置される。なお、上記コネクタ8は、冷媒迂回路11と冷媒経路102との連結位置と膨張弁7との間、及び冷媒迂回路11と冷媒経路103との連結位置と気化器12との間に配置されて、これらは何れも処理室100を含む真空容器の外部に位置している。

【0029】

また、ヒータ3および誘電体膜3内に配置されその温度を検知する温度センサ9,流量弁10,30及び冷凍サイクル101を構成する圧縮機5,凝縮器6,膨張弁7は、内部に演算器を含む制御装置104と信号を通信手段を介して授受可能に接続されて、その動作が制御装置104からの動作指令に応じて調節される。制御装置104は、後述するフィードフォワード制御やフィードバック制御により試料4または試料台1の温度を使用者の所望の値に調節するために、温度センサ9からの出力や通信可能に配置された図示しない記憶装置に収納されたデータ,演算器による演算結果等に基づいて検出した動作指令の信号を上記各箇所に発信する。

10

20

30

40

50

【0030】

このような本実施例の構成において、本実施例のプラズマ処理装置を構成する制御装置104は、特定の処理、例えば、処理対象の試料上の一層の膜に施す処理について、その処理前に予め記憶装置から当該処理の条件を得て、その結果に応じて当該処理の開始前に圧縮機5及び膨張弁7に対して、圧縮機5の出力及び膨張弁7の開度を所定の値となるように調節する指令を発信する。この指令に基づいた圧縮機5の回転数及び膨張弁7の開度を増減する動作により、圧縮機5から試料台1内の流路2に向けて冷媒経路102に供給される冷媒の温度（または圧力）と流量とが調節される。この際に調節されて設定される冷媒の流量は、上記対応する処理中に流路2に供給される冷媒の最大の流量を決める量となる。

10

【0031】

このようにして調節された温度及び流量の冷媒は、冷媒経路102を通流して、冷媒迂回路11との連結箇所において一部は試料台1方向に、残る一部は冷媒迂回路11内を冷媒経路103との連結箇所の方向に分岐して通流する。冷媒迂回路11との連結箇所から2つに分岐して流れる各々の冷媒の流量は、制御装置104からの指令信号に応じた流量弁10,30の動作により調節される。

【0032】

その後、当該処理の開始に合わせて前記予め設定した温度および流量の冷媒を試料台1に供給する。この処理中、制御装置104は、温度センサ9等処理室100に設置した検知手段から受信した出力信号に応じて、試料4への入熱の変化に対応してヒータ3による加熱または流量弁10,30の流量調節の動作を調節する。

20

【0033】

本実施例において、冷媒経路102または冷媒迂回路11を流れる各々の冷媒の量を調節する流量弁10,30は、三方弁を使用することにより、冷媒の最大流量に対して、毎秒10%以上の流量変化が可能にされている。この三方弁（又は複数の流量弁）を使用することにより、冷媒経路102の流量を0~100%の範囲で制御できる。これに対し、流量弁10または30が冷媒経路102又は冷媒迂回路11のいずれか一方の場合（例えば、冷媒経路102への設置の場合）では、各流路のコンダクタンスが同等とすると、冷媒経路102への流量は0~50%の制御範囲となる。また、冷媒経路102と冷媒迂回路11とに冷媒の流れを瞬時に切り換えたい場合には、流量弁10または30に電磁弁を使用してもよい。

30

【0034】

なお、流量弁10,30は試料台1のできるだけ近傍に設置して、冷媒の流路2内の冷媒量の応答性を高めることが望ましい。更に、流路2の出口側にも流量の調節を行う手段を追加し、流路2の出口からの流量を減少させるように制御することにより、流路2内での冷媒の圧力（温度）を高圧（高温）にすることも出来る。このような冷媒の流量を調節する装置の構成により、圧縮機5の立ち上がり時間を低減して、試料4の温度の調節の精度、応答性を向上することができる。

【0035】

また、本実施例では、圧縮機5の冷媒の入口とコネクタ8との間の冷媒経路103上に気化器12を配置している。この気化器12は、冷媒経路102,冷媒迂回路11,冷媒経路103を流れて気化が不十分であった冷媒を圧縮機5へ流入前に気化させる。これにより、液状態の冷媒による圧縮機5の破損と冷凍サイクルの出力低下を防ぐようにした。気化器12の例としてはヒータ付のサクシオンタンクなどが考えられる。更に、本実施例では流路2入口前の冷媒経路102上に冷媒内の水分や異物を除去するフィルタ機能を備えたタンク13を備えた。このタンク13内に冷媒は一旦貯留され、タンク13内の冷媒の一部が試料台1の流路2に供給される。この構成によって、試料台1に供給される高周波電力による電食の発生を抑制できる。

40

【0036】

上記温度センサ9は、試料4の裏面又は試料4近傍の試料台1内部（誘電体膜3）の温

50

度を直接又は間接的に検知する。温度センサ9としては熱電対、蛍光温度計又は放射温度計を用いることができる。本実施例において、試料台1に内蔵されるヒータ3は、温度の制御性を考慮して熱容量の小さなヒータであることが望ましい。例えば、誘電体膜3内に薄膜状のタングステンヒータ(出力100W以上)を配置することで、試料載置面である誘電体膜3表面の温度を1 /sex以上で上昇させることも可能である。また、試料台1の基材の表面にシースヒータを内蔵し、加熱してもよい。

【0037】

制御装置104が行うヒータ3の出力を調節する手順の例としては、試料4の温度を調節する目標の処理の前に、予め当該処理に適正な試料台1の温度の値に対し若干過度に低い温度(-5以内)まで温度を調節しておき、当該処理の開始に合わせてヒータ3により加熱を行い試料台1の温度を目標の温度近傍(±1以内)まで上昇させることにより、高速にかつ精度良く試料4の温度の調節が可能となる。なお、特許文献2に示す熱付加ユニットでは、冷媒の特性上、冷媒の温度ではなく乾き度を調節することになる。その為、静電吸着電極の加熱側の温度調節は困難である。

【0038】

図1の温調ユニットを用いて、複数の冷媒流路を試料台内で多重に配置した場合の構成を図4に示す。図4は、図1に示す実施例に係る試料台1及び冷凍サイクル101の構成の概略を模式的に示す図である。なお、以下の図面においては、先に説明した構成の要素であって、同様の構成または作用を奏するものである場合は、図上符号が引用されていても説明を省略する。

【0039】

この図4において、試料台1に供給される冷媒は、冷媒経路102、103及び試料台1との間に配置された複数の経路401、402、403、404を通流し、これらの上に配置された流量弁10a、10b、10c、10d及び逆流防止弁14a、14b、14c、14dの組み合わせにより、その流れが調節されている。本実施例では、試料台1内には冷媒の流路2は独立して冷媒が内部を流れる2つの流路を備えており、このような流路2に対応して、冷媒を供給する供給路が多元的に構成されている。

【0040】

すなわち、図4の矢印に示されるように、冷凍装置106から供給された冷媒は、冷媒経路102から分岐した2つの冷媒の経路401、402の各々から試料台1内に供給され、各々経路404、405を通り冷媒経路103に合流して冷凍装置106に戻り循環する。なお、冷凍装置106は、試料台1以外の圧縮機5、凝縮器6、膨張弁7を含む冷凍サイクル101を構成する装置である。この冷凍装置は、一纏まりの装置として真空容器の外部に配置され、本発明のプラズマ処理装置が設置されるクリーンルームの床下等に配置されることで、設置面積が低減され、メンテナンス性を向上することができる。

【0041】

この実施例では、試料台1内に複数設置した温度センサ9の出力信号に応じて制御装置104が各々の流路における冷媒の流量を流量弁10a、10bに指令を発信してこれらの動作を調節することにより、試料台1内の冷媒の経路での冷媒の熱交換の量を調節する。この際、流量弁10c、10dを冷媒の経路に配置してこれらの動作を調節することで、より精密に冷媒の流量、ひいては、試料台1、試料4の温度を調節することが可能となる。

【0042】

図4に示す試料台1内の流路2は、真空容器の処理室100内壁面との間に処理室100内のガスが下方に流れる略円筒形上の試料台1の中心軸について略同心の中心側と外周側の2つのリング状経路を備えている。この構成において、中心側の流路と外周側の流路とに異なる温度と流量の冷媒を供給することで、試料台1の試料載置面または試料4の面内方向について温度の分布を形成することができる。特に、試料台1の中心から外周側に向かう半径方向の所望の温度の分布、勾配を実現でき、試料4面内方向の処理の均一性または精度を向上できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

図 5 に、上記 2 つの冷媒の流路を備えた試料台の構成を示す。図 5 は、図 4 に示す例に係る試料台内部の冷媒の流路の構成の概略を示す横断面図である。この図に示すように、試料台 1 内部には試料台 1 の中心について同心に配置されたリング状の 2 つの流路 2 a , 2 b が配置されている。

【 0 0 4 4 】

流路 2 a は、試料台 1 の図上試料台 1 の左右端部において試料台 1 中心について対称の位置に配置された冷媒入口 5 0 1 及び冷媒出口 5 0 3 と連通している。冷媒経路 4 0 1 から冷媒入口 5 0 1 を通過し流路 2 a 内に供給された冷媒は、流路 2 a の中心側に位置する試料台 1 の基材の中心部分 5 0 5 の両側を分岐して流れた後合流する。リング状の流路 2 a に供給された冷媒はリング状部分の内部で試料台 1 内の基材と所定の温度または圧力を維持しつつ熱交換して蒸発する。蒸発して気化した気体および液の混合状態の冷媒は、冷媒入口 5 0 1 と反対側の冷媒出口 5 0 3 を通過して冷媒経路 4 0 3 に流出する。

10

【 0 0 4 5 】

同様に、流路 2 b は、試料台 1 の図上試料台 1 の上下端部において試料台 1 中心について対称の位置に配置された冷媒入口 5 0 2 及び冷媒出口 5 0 4 と連通している。冷媒経路 4 0 2 から冷媒入口 5 0 2 を通過し流路 2 b 内に供給された冷媒は、流路 2 b の中心側に位置してさらに中心側に配置された流路 2 a と区画するリング状の仕切部材 5 0 6 の両側を分岐して流れた後合流する。

【 0 0 4 6 】

リング状の流路 2 b に供給された冷媒はリング状部分の内部で試料台 1 内の基材との間で流路 2 a 内の冷媒と異なる温度または圧力を維持しつつ熱交換して蒸発する。蒸発して気化した気体および液の混合状態の冷媒は、冷媒入口 5 0 2 と反対側の冷媒出口 5 0 4 を通過して冷媒経路 4 0 4 に流出する。リング状の仕切部材 5 0 6 は、試料台 1 の基材で構成しても良いが、流路 2 a , 2 b 内の冷媒同士あるいは基材同士の間の熱交換を抑制するために内部に（図示していない）熱伝達を抑制する構成を備えている。例えば、内部が真空または熱伝達性の低いガスや部材で充填されたスリットを備えている。また、仕切部材 5 0 6 自体が基材より熱伝達率の低い部材で構成されていても良い。

20

【 0 0 4 7 】

図 1 に示すプラズマ処理装置を用いて、例えば、試料 4 上に形成された薄膜のエッチングを行う場合のプラズマ処理装置の例を図 6 に示す。図 6 は、図 1 に示す実施例に係るプラズマ処理装置の処理室を中心とした構成の概略を示す模式図である。また、図 6 に示す実施例に係るプラズマ処理装置が行う処理の動作の流れを図 7 , 図 8 に示す。図 7 は、図 6 に係るプラズマ処理装置の動作の流れを示すタイムチャートである。図 8 は、図 7 に示す動作の流れに伴う試料の温度の変化を示すグラフである。

30

【 0 0 4 8 】

この実施例において、試料 4 は図示しない試料の搬送装置から処理室 1 0 0 内に搬入され、試料台 1 上面の誘電体膜 3 上に載置された後、静電吸着されて保持される。この状態で、試料 4 のエッチングに必要な処理用ガスが、図示しないガス供給ラインを介して処理室 1 0 0 の試料台 1 上方に配置されて試料 4 に対向して面した図示しないシャワープレートに配置された複数の貫通孔から処理室内に供給される。また、処理室 1 0 0 の試料台 1 下方で処理室内と連通されて配置された真空ポンプ等の真空排気装置 2 0 の駆動によって、処理室 1 0 0 内のガスや粒子は、試料台 1 の外周側の空間を通過して処理室 1 0 0 外部に排出される。処理用ガスの供給の量と真空排気装置 2 0 の排気量とのバランスによって、処理室 1 0 0 内側は所定の圧力に調節される。

40

【 0 0 4 9 】

試料 4 が試料台 1 上に搬送され誘電体膜 3 上に保持された直後から、プラズマが点火されて試料 4 にプラズマからの熱が供給されるまでの所定の時間は、試料 4 の温度が温度センサ 9 で検知され、その出力を受信した制御装置 1 0 4 によって出力に応じた動作の指令が冷凍装置 1 0 6 あるいはヒータ 3 等に発信されて調節される。この温調時間において

50

、処理室100内にプラズマが着火される前に試料4の温度を所定の値に設定される。本実施例では、温調時間中は冷媒迂回路11上の流量弁30の開度は全開状態にされ、気化器12の出力も最大出力にされている。

【0050】

次に、アンテナ電源21からのUHFまたはVHF帯の電力が処理室100内に配置された円板状の導電体製のアンテナ23及びバイアス電源22からの高周波電力に基づくバイアス電圧値V1が試料台1の導電体製の基材に供給され、図示されない処理室100外周側の磁場形成手段の作用により処理室100内にプラズマが生成され(プラズマON)、試料4の上方の膜のエッチング処理(ステップ1)が開始される。なお、試料台1上に試料が載置されると、熱伝達ガス源24からのHe等の熱伝達性ガスがバルブ25により10
圧力あるいは流量を調節されつつ、基材の中心部分505に配置された供給管路を通して誘電体膜3上の開口から試料4と誘電体膜3との間の空間に供給され、試料台1と試料4との間の熱伝達を促進し、試料4からの熱の試料台への移動の効率を向上させる。

【0051】

この際、所定の指令信号が制御装置104から発信され、冷凍装置106を構成する圧縮機5及び膨張弁7、或いはヒータ3、流量弁10、30や気化器12に対してステップ1の処理条件に適合した動作となるように調節され上記条件が維持される。すなわち、ステップ1において、圧縮機5の回転数R1、膨張弁7の開度A1、ヒータ3の出力X1、流量弁10の開度B1、流量弁30の開度C1、気化器12の出力Y1にされ、これらの動作条件は、制御装置104からの指令に応じて変動され、ステップ1中の試料4
20の温度T1が適正に維持される。

【0052】

試料4表面の上下に配置された複数の膜層を処理する場合であって、各膜毎にプロセスガスや各種供給電力などの処理条件が変化する場合には、試料4への入熱量もそれに伴い変化する。本実施例では、下方の膜を処理する場合の試料4の温度が上昇する場合、すなわち、下方の膜の処理条件である試料4の温度が上方の膜の処理条件の試料4の温度より高い場合を示している。

【0053】

本実施例では、制御装置104は、バイアス電源22から供給される高周波電力の量を検知し、処理対象の膜層が変わり試料台1に供給するべき所定の高周波電力の量を含む異なる処理のステップ(ステップ2)に適合した処理条件に変化させる前に、予め冷却装置106内の圧縮機5の回転数(圧力)および膨張弁7の開度を変化させておき、冷媒の流量と温度(圧力)とを調節しておく。すなわち、図7に示すように、ステップ2開始前に予め、圧縮機5及び膨張弁7に対して当該処理条件に適合した回転数R2、開度A2となるように指令を発信してこれら動作を調節しておく。このようにして温度、流量が調節された冷媒は、冷凍装置106から流量弁10、30及び気化器12の動作により冷媒迂回路11を通り冷凍装置106に戻り循環する。

【0054】

その後、制御装置104は、上方の膜の処理が終了し処理対象の膜が変わったことを検出すると、新しい処理対象の膜に適した処理の条件となるように、真空排気装置20、アンテナ電源21、バイアス電源22、処理ガス供給ライン等に指令するとともに、冷凍装置106または流量弁10、30、気化器12に指令して、予め設定された流量、温度の冷媒を試料台1の流路2に供給し冷媒経路102、103上を循環させ、下方の膜の処理を開始する。その後、温度センサ9からの出力に基づいて、試料4への入熱の変動に応じて流量弁10、30の動作又はヒータ3の出力を調節することにより、試料4の温度を当該処理の条件に適合する値T2に維持して処理を行う(ステップ2)。

【0055】

すなわち、動作条件としてバイアス電圧値をV2、流量弁10の開度B2、流量弁30の開度C2、気化器12の出力をY2に調節され、試料4の温度T2が維持されるように制御装置104からの指令に応じてこれらの動作の条件が調節される。そして、エッチン
50

グの終了に伴い、電力、磁場及びプロセスガスの供給が停止されてエッチングが終了する。

【0056】

なお、プラズマの生成手段が、試料4の対面に配置された電極に試料4に印加されるのとは別の高周波電力を印加する方式、誘導結合方式、磁場と高周波電力の相互作用方式、静電吸着電極に高周波電力を印加する方式のいずれの方式であっても、上記のシステムが有効であることは言うまでもない。又、本発明は試料4に 3 W/cm^2 以上の高周波電力を印加するような大入熱が生じる条件にも対応しており、アスペクト比が15以上となる高アスペクトの深孔加工を行う際にも有効である。プラズマ処理を行う薄膜は、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 SiOC 、 SiOCH 、 SiC のいずれか1種類を主成分とする単一の膜、または2種類以上の膜種にて構成される多層膜などが想定される。

10

【0057】

冷却装置106では、凝縮器6用の冷却水路105では、クリーンルームに配置された用水路を使用することができる。また、冷媒経路102、103等に用いられる配管は小径（例えば、冷却出力4kW時では1/4又は3/8インチ）、かつ金属配管（例えば銅管）を使用できるため、冷媒経路を処理用ガス供給ラインと並べて配管することも可能である。更に、チラーユニット等を用いた従来の技術に比べて、液体冷媒タンク分の装置容積が低減でき、装置が小型化できるため、これまで処理室100と離して設置していた冷凍装置106を一体化（例えば処理室100の下方近傍に冷凍装置106を配置することにより、プラズマ処理装置の設置面積を低減してコストを低減しメンテナンス作業を短縮

20

【産業上の利用可能性】

【0058】

本発明が提案するプラズマ処理装置における温調ユニットは、上記の実施例のみに限定されず、アッシング装置、スパッタ装置、イオン注入装置、レジスト塗布装置、プラズマCVD装置などの高速かつ高精度な温度制御を必要とする装置にも転用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0059】

【図1】本発明の実施例に係るプラズマ処理装置の構成の概略を示す模式図である。

【図2】図1に示す本実施例の冷凍サイクルにおける冷媒の特性を示すグラフである。

30

【図3】本実施例の冷凍サイクルにおける冷媒の特性を示すグラフである。

【図4】図1に示す実施例に係る試料台1及び冷凍サイクル101の構成の概略を模式的に示す図である。

【図5】図4に示す例に係る試料台内部の冷媒の流路の構成の概略を示す横断面図である。

【図6】図1に示す実施例に係るプラズマ処理装置の処理室を中心とした構成の概略を示す模式図である。

【図7】図6に係るプラズマ処理装置の動作の流れを示すタイムチャートである。

【図8】図7に示す動作の流れに伴う試料の温度の変化を示すグラフである。

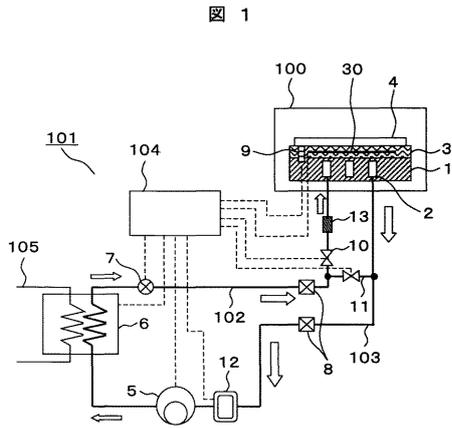
40

【符号の説明】

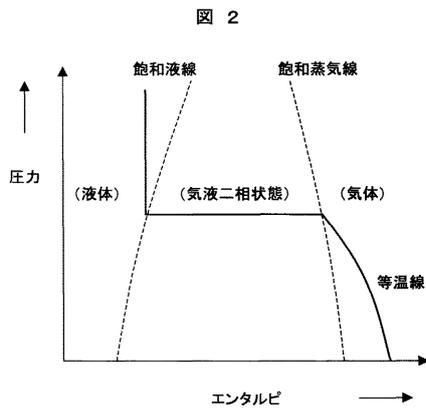
【0060】

1...試料台、2...流路、3...誘電体膜、4...試料、5...圧縮機、6...凝縮器、7...膨張弁、8...コネクタ、9...温度センサ、10、30...流量弁、11...冷媒迂回路、12...気化器、13...タンク、14a、14b、14c、14d...逆流防止弁、20...真空排気装置、21...アンテナ電源、22...バイアス電源、23...アンテナ、24...熱伝達ガス源、25...バルブ、100...処理室、101...冷凍サイクル、102、103...冷媒経路、104...制御装置、105...冷却水路。

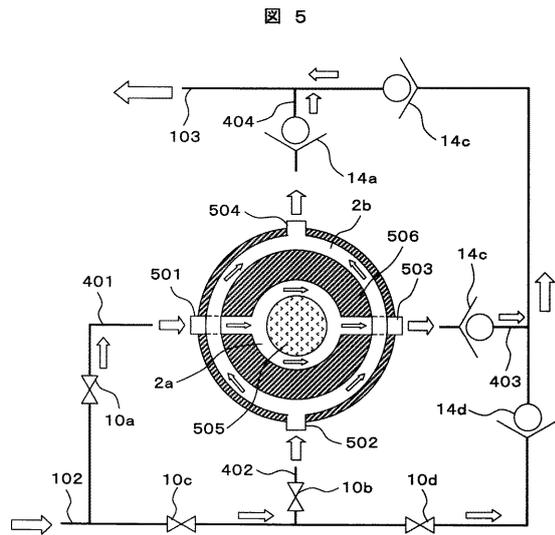
【図1】



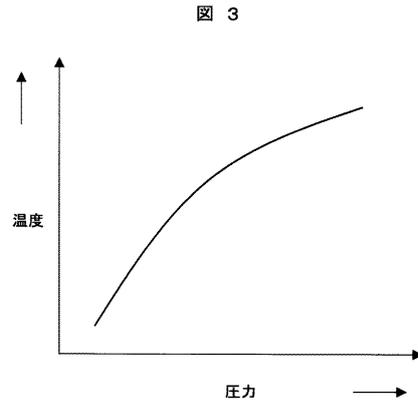
【図2】



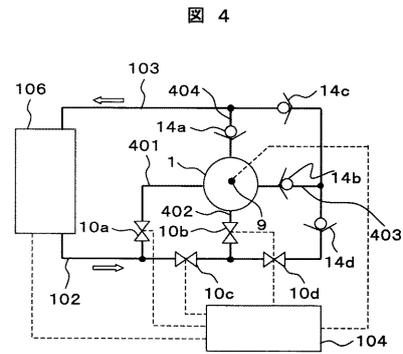
【図5】



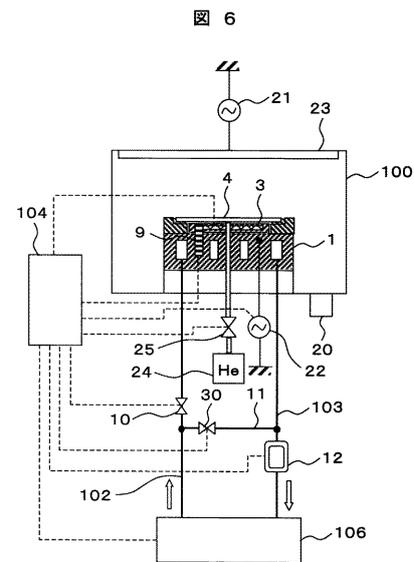
【図3】



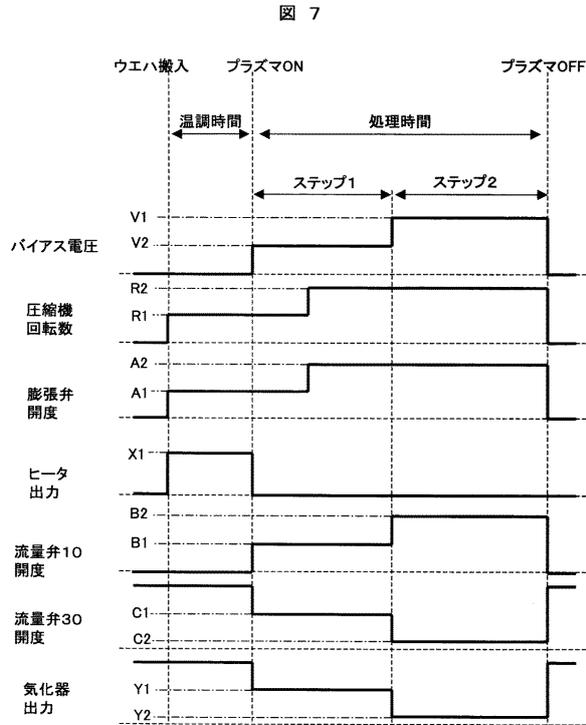
【図4】



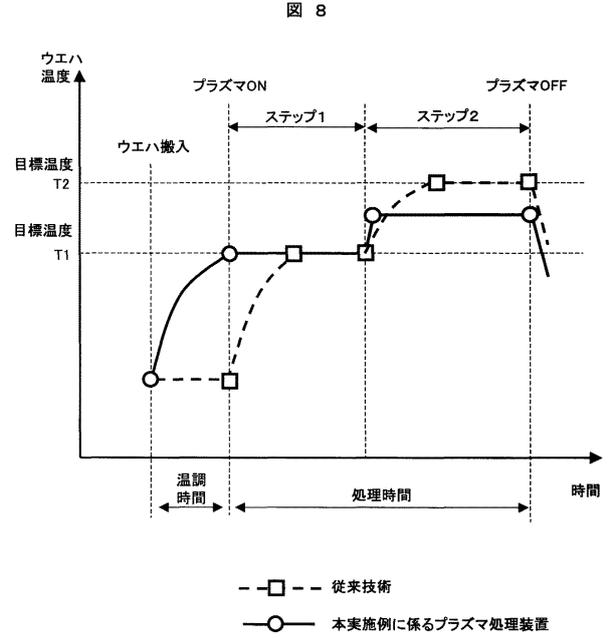
【図6】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 菅野 誠一郎
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
所内 株式会社 日立製作所 中央研究
- (72)発明者 伊澤 勝
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
所内 株式会社 日立製作所 中央研究

審査官 今井 淳一

- (56)参考文献 特開平05-163096(JP,A)
特開平10-209125(JP,A)
特開2005-089864(JP,A)
特開2002-141287(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065

H01L 21/205