

明 細 書

発明の名称：半導体製造装置およびウエハ温度制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体製造装置およびウエハ温度制御方法に関する。

背景技術

[0002] 3次元半導体加工における等方性エッチング工程において、ガスエッチングの必要性が高まっている。特に、高温高圧環境下でのガスエッチングは、エッチング速度、すなわちエッチング所要時間の短縮化の観点において利点を持つことが知られている。ガスエッチングにおいては、ガスの圧力やウエハの温度といった物理的なパラメータが化学反応に大きく寄与するため、これらのパラメータの制御が重要となる。

[0003] ウエハの温度を制御するためにウエハを加熱する方法としては、ウエハを支持するステージを加熱する方法が一般的である。一方、この方法の場合、ステージの熱容量が大きく、ウエハの加熱に時間がかかるため、ウエハ加工のスループットが低下する傾向にある。これに対して、例えば、特許文献1には、赤外光などの電磁波をウエハに照射してウエハをより高速に加熱する方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第6488164号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、電磁波を照射してウエハを加熱する方法を、プロセス用のガスが導入された処理チャンバ内において適用した場合、本発明者らの検討結果によれば、ガスの圧力に応じてウエハの温度が変化するため、ウエハの温度制御が難しいことが判明した。ガスが導入された処理チャンバ内におけるウエハの温度制御が難しくなると、ウエハの温度を目標温度に到達させる

のに要する時間の短縮化が難しくなり、ガスを用いた半導体加工、例えばガスエッチング等において、生産性の向上を図ることができない。

[0006] 本発明の目的は、ガスが導入された処理チャンバ内において、ウエハの温度制御を容易にする技術を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一実施形態は、処理チャンバと、前記処理チャンバの外部に配置され、前記処理チャンバの内部のウエハを電磁波により加熱する加熱器と、前記処理チャンバの内部に配置され、前記ウエハの下方に位置するステージと、前記処理チャンバの内部に少なくとも一部が配置され、前記ウエハを支持し、昇降可能に構成され、前記ウエハと前記ステージとの間隔を調整可能なウエハ支持機構と、前記処理チャンバの内部でのガスの圧力を調整可能なガス給排気系と、前記加熱器の出力と、前記ガスの種類と、前記処理チャンバの内部のガスの圧力と、前記ウエハの目標温度と、前記ウエハと前記ステージとの間隔と、前記ウエハの温度が前記目標温度に到達するまでの時間との関係を表す関係情報を記憶する記憶回路と、設定された、前記ガスの種類と、前記ガスの圧力と、前記ウエハの目標温度とに基づき、前記関係情報を用いて、前記ウエハの温度が前記設定された目標温度に到達するまでの時間が、設定された時間以下となるような、前記ウエハと前記ステージとの間隔とを決定し、前記ウエハと前記ステージとの間隔が前記決定された間隔となるように前記ウエハ支持機構を制御する制御回路と、を備える、半導体製造装置である。

[0008] 本発明の一実施形態は、処理チャンバの内部に配置され、昇降可能に構成されたウエハ支持機構が、ステージの上方においてウエハを支持する工程と、ガス給排気系が、前記処理チャンバの内部でのガスの圧力を調整する工程と、記憶回路が、電磁波によるウエハの加熱器の出力と、前記ガスの種類と、前記処理チャンバの内部での前記ガスの圧力と、前記ウエハの目標温度と、前記ウエハと前記ステージとの間隔と、前記ウエハの温度が目標温度に到達するまでの時間との関係を表す関係情報を記憶する工程と、制御回路が、

設定された、前記ガスの種類と、前記ガスの圧力と、前記ウエハの目標温度とに基づき、前記関係情報を用いて、前記ウエハの温度が前記設定された目標温度に到達するまでの時間が、設定された時間以下となるような、前記ウエハと前記ステージとの間隔を決定する工程と、前記制御回路が、前記ウエハと前記ステージとの間隔が前記決定された間隔となるように前記ウエハ支持機構を制御する工程と、を備える、ウエハ温度制御方法である。

発明の効果

[0009] 本発明の一実施形態によれば、ガスが導入された処理チャンバ内において、ウエハの温度制御を容易にする技術を提供することができる。なお、上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]一定の加熱条件下におけるウエハの平均温度とウエハの周囲でのガスの圧力との関係を表すグラフの一例を示す図である。

[図2]半導体製造装置の要部の一例を模式的に示す図である。

[図3]半導体製造装置の要部の一例を模式的に示す図である。

[図4]第1実施形態に係る半導体製造装置の構成を概略的に示す側面図である。

[図5]ウエハの目標温度到達時間に対するプッシャーピン高さの依存性についての一例を示した図である。

[図6]プッシャーピンの高さを複数通りに設定してウエハを加熱した場合の、ウエハの目標温度と目標温度到達時間との関係を模式的に示すグラフである。

[図7]ウエハの目標温度と目標温度到達時間との関係がプッシャーピンの高さによって異なることを示す図である。

[図8]ウエハの目標温度と目標温度到達時間との関係がプッシャーピンの高さによって異なることを示す図である。

[図9]第1実施形態に係る半導体製造装置における処理の流れの一例を示すフ

ローチャートである。エッチング処理中における、処理チャンバ内のガスの圧力、プッシャーピンの高さ、およびウエハ加熱器の出力の時間変化を模式的に示す図である。

[図10]本発明の第一の実施例に係る動作の一例の流れを模式的に示すタイムチャート。

[図11]第2実施形態に係る半導体製造装置の概略構成を示す断面図である。

[図12]第2実施形態に係る半導体製造装置における動作の流れの一例を示すフローチャートである。

[図13]第3実施形態に係るプッシャーピンの高さの時間変化とウエハの温度の時間変化の関係を模式的に示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0011] <本発明者らによる検討の経緯>

半導体の製造工程には、例えば、シリコン、ガリウムヒ素などで構成されるウエハに対して、パターン転写、エッチング、洗浄、平坦化などの工程が含まれる。ここでは、エッチングの工程で用いられる装置および手法に着目する。

[0012] 上述したように、電磁波を照射して加熱する方法を、プロセス用のガスが導入された処理チャンバ内のウエハに適用した場合、処理チャンバ内のガスの圧力に応じてウエハの温度が変化し、ウエハの温度の制御が容易でないことが判明した。一例として、エッチングを行う半導体製造装置において、処理チャンバ内のガスの圧力が高い高圧環境下、にあると、電磁波を利用したウエハ加熱器によるウエハの温度制御が難しくなる。なおここで、ガスは、例えば、アルゴンガス、ヘリウムガスなどである。高圧環境とは、例えば、処理チャンバの内部でのガスの圧力が、10Pa以上、大気圧以下の所定の圧力となるような環境である。また、ウエハの温度は、例えば、100℃以上、700℃以下の所定の温度である。

[0013] 図1は、一定の加熱条件下におけるウエハの平均温度とウエハの周囲でのガスの圧力との関係を表すグラフの一例を示す図である。例えば、図1に示す

ように、一定の加熱条件下においてウエハ周囲のガスの圧力を上昇させると、ウエハの平均温度が下降する。また、ウエハの周囲でのガスの圧力とウエハの平均温度との関係はリニアではなく、ウエハの周囲でのガスの圧力を徐々に上昇させていくと、ウエハの平均温度は、始め、急激に下降し、その後、緩やかに下降する。

[0014] このメカニズムについて、図を用いて説明する。

[0015] 図2および図3は、半導体製造装置の要部の一例を模式的に示す図である。図2および図3に示すように、半導体製造装置101は、電磁波によるウエハ加熱器102と、静電チャック機構を持たないステージ103と、ステージ103の上方に配置されウエハ104を支持するプロキシミティピン105とを備える。ウエハ104とステージ103との間に示した丸は、ガス分子106を模式的に表したものである。ステージ103には冷却器107が接続されており、ステージ103の冷却が可能である。なお、これら図中のプロキシミティピン105の高さは、説明の理解を容易にするため誇張して描かれている。

[0016] 図2に示すように、ガスの圧力が比較的低い低圧環境下では、ウエハ104とステージ103との間の熱交換を行う媒体であるガス分子106が少ない。そのため、ステージ103によるウエハ104の冷却効率が下がり、ウエハ加熱器102によるウエハ104の加熱が容易になる。一方、ガス圧力が比較的高い高圧環境下では、図3に示すようにウエハ104とステージ103との熱交換を行う媒体であるガス分子106が多くなる。そのため、ウエハ104とステージ103との間の熱伝達効率が上がり、ウエハ温度の低下が生じる。このため、ウエハ加熱器102の出力が不足して所望の加工プロセスを実現できない、ウエハ104の加熱に時間がかかるなどの問題があり、半導体加工における生産性の低下につながる。

[0017] 本発明者らは、このような事情に鑑み、鋭意検討の結果、ガスが導入された処理チャンバ内において、ウエハ温度の制御を容易にする技術を見出した。

[0018] 以下、本発明の実施形態について図面を用いて説明する。なお、以下の実施形態において、同一構成の要素、部材、または箇所には同一の符号が付され、必要な場合を除き、繰り返しの説明を省略する。また、以下の実施形態は一例に過ぎず、本発明の技術的範囲を何ら限定するものではない。

[0019] (第1実施形態)

本発明の第1実施形態について説明する。

[0020] <第1実施形態に係る半導体製造装置の構成例>

図4は、第1実施形態に係る半導体製造装置1の構成を概略的に示す側面図である。図4に示すように、半導体製造装置1は、例えばアルミニウム材等からなり、上部に開口が形成された概ね円筒容器形状を有する処理チャンバ2を備える。処理チャンバ2は、その内部にウエハ3を置くための、板形状を有するステージ4が設けられている。ステージ4は、支持部材5によって処理チャンバ2の底部と接続されている。ステージ4は、静電チャックの機構を持たないプロキシミティステージである。

[0021] ステージ4の内部には、水などの流体が流れる流路6が設けられており、流路6を流れる流体の温度を調整することで、ステージ4上面の温度を調整することができる。処理チャンバ2の外部には、流路6を流れる流体の温度を調整する流体温度調整回路18が設置されている。流路6と流体温度調整回路18とは、処理チャンバ2の側壁または底部を貫いて接続されている。流路6と処理チャンバ2の間はシーリングされている。なお、流体、流路6、および流体温度調整回路18は、本願における「温度調整系」の一例である。

[0022] ステージ4には、上下方向すなわち鉛直方向に貫く複数の貫通孔が形成されている。これら貫通孔に挿通されるように、複数のプッシャーピン7が設けられている。プッシャーピン7とその貫通孔との組は、例えば3組以上である。これらプッシャーピン7の上部先端には、ウエハ3が載置される。ステージ4の下方には、処理チャンバ2の底部を上下方向に貫くように駆動軸8が設けられている。これらプッシャーピン7は、駆動軸8と接続されてい

る。

- [0023] 処理チャンバ2の下方には、駆動機構9が設けられている。駆動軸8は、この駆動機構9と接続されており、昇降可能に構成されている。駆動機構9は、例えばステッピングモータ、アクチュエータ等から構成される。駆動機構9によって駆動軸8を上下方向に駆動させる、すなわち昇降させることで、プッシャーピン7の高さを調整して、プッシャーピン7に支持されているウエハ3とステージ4の上面との間隔dを制御することが可能である。
- [0024] 駆動軸8と、駆動軸8が挿通される処理チャンバ2の底部の貫通孔との間は、シーリングされており、処理チャンバ2の上部に形成された開口を塞いだ場合に、処理チャンバ2の内部の気密性が保たれる。また、駆動機構9は、ステッピングモータに限らず、より簡易的な駆動機構が用いられてもよい。
- [0025] なお、プッシャーピン7、駆動軸8、および駆動機構9は、本願における「ウエハ支持機構」の一例である。
- [0026] 処理チャンバ2の上側すなわち天井側には、天板10が設置されている。天板10は、例えば石英等から構成され、電磁波を透過させる特性を有する。天板10の上方には、例えば赤外線等の電磁波をウエハ3に向けて照射するウエハ加熱器11が設置されている。
- [0027] 処理チャンバ2の側壁には、処理チャンバ2の内部へガスを供給するための開口12が形成されている。処理チャンバ2の外部には、例えばガスポンプ等からなるガス供給源が設置されている。開口12とガス供給源13とは、マスフローコントローラ14を介して連通している。マスフローコントローラ14の動作により、ガスの流量を制御してガスを処理チャンバ2の内部に導入することができる。
- [0028] 処理チャンバ2の底部には、処理チャンバ2の内部のガスや粒子を排出するための開口15が形成されている。処理チャンバ2の外部には、ガスや粒子を吸引するためのドライポンプ17が設置されている。開口15とドライポンプ17とは、可変バルブ16を介して接続されている。ドライポンプ1

7の稼働中、可変バルブ16の動作により処理チャンバ2の内部のガスや粒子が排出されて、処理チャンバ2の内部のガス圧力を制御することができる。なお、開口12、ガス供給源13、マスフローコントローラ14、開口15、可変バルブ16、およびドライポンプ17は、処理チャンバ2の内部でのガスの圧力を調整可能な機構であり、本願における「ガス給排気系」の一例である。

[0029] 半導体製造装置1は、制御回路19、記憶回路20、および入出力回路21を備えている。記憶回路20は、処理に必要な種々の情報を記憶する回路である。記憶回路20には、半導体製造装置1におけるウエハの処理条件に関するデータベースDBが格納されている。制御回路19は、記憶回路20に格納されたデータベースDBを参照して、流体温度調整回路18、駆動機構9、ウエハ加熱器11、マスフローコントローラ14、および可変バルブ16を制御する。入出力回路21は、制御回路19と電氣的に接続されており、ユーザからの入力を受け付けて情報を制御回路19に送ったり、制御回路19から送られた情報をユーザに向けて出力したりする。

[0030] 制御回路19は、例えば、CPU (Central Processing Unit)、MCU (Micro Controller Unit) 等の半導体集積回路等により構成される。記憶回路20は、例えば、RAM (Random Accesses Memory)、ROM (Read Only Memory)、SSD (Solid State Drive)、HDD (Hard Disk Drive) 等により構成される。入出力回路21は、例えば、キーボード、マウス、およびモニタディスプレイ、あるいは液晶タッチパネル等により構成される。

[0031] <データベースの作成例>

続いて、データベースDBの作成例について説明する。なお、データベースDBは、本願における「関係情報」の一例である。

[0032] 図5は、ウエハの目標温度到達時間に対するプッシャーピン高さの依存性についての一例を示した図である。ここで、目標温度到達時間とは、ウエハの温度が目標温度に到達するのに要する時間のことを意味する。図5に示す例は、次の条件で実験した際に得られた結果を表している。

[0033] ウエハの温度を熱電対によって測定して、測定されたウエハの温度の情報を用いてPID制御によってウエハ加熱器である赤外線ランプの出力を調整し、ウエハの温度が300℃となるようにした。処理チャンバ内にはアルゴンガスを導入し、可変バルブの開度を制御することで、処理チャンバ内の圧力、すなわちウエハの周辺でのガスの圧力は、1000Paの圧力に保たれている。ステージ上面の温度は、20℃に調整されている。この状況において、プッシャーピンの高さ、すなわちステージの上面とウエハの裏面との間隔が1mmの場合に、ウエハの目標温度到達時間が最も短くなっていることが分かる。本例では、PID制御を行っているが、ガスの圧力、ウエハの温度に応じて、ウエハの目標温度到達時間が短くなるようなプッシャーピンの高さが存在することが分かる。

[0034] 図6は、プッシャーピンの高さを複数通りに設定してウエハを加熱した場合の、ウエハの目標温度と目標温度到達時間との関係を模式的に示すグラフである。図6のグラフは、プッシャーピンの高さをP1, P2, P3の三通りに設定した場合の例である。プッシャーピンの高さP1, P2, P3の関係は、 $P1 > P2 > P3$ であり、P1が最も高く、P3が最も低い。図6に示すグラフから、各プッシャーピン高さにおいて、目標温度到達時間が最も短くなるようなウエハの温度があり、目標温度到達時間は、ウエハの目標温度をパラメータとして極小値を持った関数で表すことができることが分かる。

[0035] ここで、目標温度到達時間の基準として時間t1を設定すると、各々のプッシャーピン高さP1, P2, P3において目標温度到達時間が、設定された時間t1以下になるようなウエハ温度範囲 $\Delta T1$, $\Delta T2$, $\Delta T3$ を決定することができる。このウエハの目標温度到達時間が時間t1以下になるようなウエハの温度範囲がプッシャーピンの高さ毎に異なるため、目標温度到達時間が時間t1以下になることを許容基準とすると、所望のウエハの目標温度に基づいて、許容基準を満たすような相対的に適したプッシャーピンの高さを決定することができる。

- [0036] 図7および図8は、ウエハの目標温度と目標温度到達時間との関係がプッシャーピンの高さによって異なることを示す図である。図7、図8では、プッシャーピンの高さをP4、P5に設定してウエハを加熱した場合における、ウエハの目標温度と目標温度到達時間との関係を模式的に示している。また、図7は、処理チャンバ内のガスの圧力が相対的に低圧力の場合の図であり、図8は、処理チャンバ内のガスの圧力が相対的に高圧力の場合の図である。ここで、プッシャーピンの高さP4、P5の関係は、 $P4 > P5$ であり、P4の方がP5より高い。
- [0037] 図2、図3に示したように、ガスの圧力が変化すると、ウエハとステージとの間の熱伝達効率が変化し、同じプッシャーピンの高さでもウエハの温度とウエハの目標温度到達時間との関係が変化する。プッシャーピンの高さを段階的に変化させて、ウエハの目標温度と目標温度到達時間との関係を調査し、これを様々なガスの種類、ガスの圧力、加熱器の出力などの条件下で行うようにする。そうすることにより、様々な条件下でのウエハの目標温度と目標温度到達時間との関係をデータベース化することができる。そして、そのデータベースを参照することで、所望のガスの種類、所望の処理チャンバ内のガスの圧力、所望のウエハの目標温度に対して、目標温度到達時間が最も短くなるような最適なプッシャーピン高さ及び加熱器の出力条件を選択することが可能となる。
- [0038] このようにして作成されたデータベースDBは、事前に記憶回路20に格納される。なお、データベースDBは、例えば、ガスの種類、ガスの圧力、およびウエハの目標温度の任意の組合せに対して、適正なプッシャーピンの高さおよびウエハ加熱器の出力が対応付けられたテーブルなどであってもよい。また、データベースDBは、ガスの種類、ガスの圧力、およびウエハの目標温度を入力とし、適正なプッシャーピンの高さおよびウエハ加熱器の出力を出力とする関数もしくはアルゴリズムであってもよい。あるいは、データベースDBは、ガスの種類、ガスの圧力、ウエハの目標温度、プッシャーピンの高さ、およびウエハ加熱器の出力といった各パラメータ同士の関係そ

のものを表す情報であってもよい。

[0039] <第1実施形態に係る半導体製造装置における処理の流れ>

次に、上記構成の半導体製造装置1における処理の流れについて説明する。

[0040] 図9は、第1実施形態に係る半導体製造装置1における処理の流れの一例を示すフローチャートである。

[0041] 図9に示すように、まず、ステップS101では、ウエハのステージ上への設置が行われる。具体的には、ロボット等が、ウエハ3をロードロック室から処理チャンバ2に搬送して、ウエハ3をステージ4上に設置する。なお、制御回路19は、流体温度調整回路を制御して、ステージ4の温度を設定された温度、例えば20℃に保持している。

[0042] 次に、ステップS102では、設定された、ガスの種類、処理チャンバ2内のガスの圧力、ウエハの目標温度に基づく、ウエハ加熱器の出力とプッシャーピンの高さの決定が行われる。具体的には、制御回路19が、設定された、ガスの種類、ガスの圧力、およびウエハの目標温度に対して、上記データベースDBを参照し、目標温度到達時間が、設定された許容時間以下になるようなウエハ加熱器11の出力とプッシャーピン7の高さを決定する。

[0043] 次いで、ステップS103では、プッシャーピンをS102で決定された高さに調整する制御が行われる。具体的には、制御回路19が、駆動機構9を制御することにより、プッシャーピンの高さがステップS102で決定された高さとなるように調整する。

[0044] 次いで、ステップS104では、処理チャンバ内の圧力を、設定された圧力に調整する制御が行われる。具体的には、制御回路19が、ガス供給源13に接続されたマスフローコントローラ14のガス流量と、稼働中のドライポンプ17に接続された可変バルブ16のバルブ開度とを制御し、処理チャンバ2内にガスを導入し、内部のガスの圧力が、設定された圧力となるように調整する。

[0045] 次いで、ステップS105では、ウエハ加熱器の出力をS102で決定さ

れた出力に調整する制御が行われる。具体的には、制御回路19が、ウエハ加熱器11を制御して、ウエハ加熱器11の出力を、ステップS102で決定された出力に調整し、ウエハ3を加熱する。

[0046] ウエハの加熱が終了したら、ステップS106にて、プッシャーピンを下降させてウエハをステージで冷却する処理が行われる。具体的には、制御回路19が、駆動機構9および流体温度調整回路18を制御することにより、ウエハ3がステージ上に載るまでプッシャーピン7を下降させ、ステージ4の温度を調整し、ウエハ3をステージ4上で冷却する。

[0047] 次いで、ステップS107では、再度の処理が必要か否かの判定が行われる。具体的には、制御回路19が、設定されたシーケンスあるいはエラー信号の発信の有無などに基づき、必要に応じて処理を繰り返すか否かを判定する。処理を繰り返すと判定された場合（S107：Yes）には、処理ステップは、ステップS102に移行し、処理を繰り返さないと判定された場合（S107：No）には、ウエハ3のエッチング処理を終了する。

[0048] なお、ウエハ3のエッチング処理が終了すると、制御回路19が、各部を制御して、処理チャンバ2内へのガスの供給、ウエハ加熱器11の出力等を停止させ、ロボットが、ウエハ3を処理チャンバ2から搬出させる。

[0049] <ガスの圧力、プッシャーピンの高さ、ウエハ加熱器の出力の時間変化>
エッチング処理中のガスの圧力、プッシャーピンの高さ、ウエハ加熱器の出力の時間変化について説明する。

[0050] 図10は、エッチング処理中における、処理チャンバ内のガスの圧力、プッシャーピンの高さ、およびウエハ加熱器の出力の時間変化を模式的に示す図である。上部のステップ番号は、図9に示すフローチャート内のその番号が付されたステップの時間帯と対応している。

[0051] 図10に示すように、S103に対応した時間帯においては、プッシャーピン7が上昇して、S102で決定された高さに調整される。ステップS104に対応する時間帯においては、処理チャンバ2内にガスが導入され、処理チャンバ2内のガスの圧力が、設定された圧力に調整される。また、プッ

シャーピン 7 の高さは維持される。ステップ S 1 0 5 に対応した時間帯において、ウエハ加熱器 1 1 の出力が、S 1 0 2 で決定された出力に調整される。また、処理チャンバ 2 内のガスの圧力、およびプッシャーピン 7 の高さは維持される。ステップ S 1 0 6 に対応した時間帯において、処理チャンバ 2 内のガスは排出され、ガスの圧力は下降する。プッシャーピン 7 は下降され、ウエハ 3 を支持する先端部が、ステージ 4 の上面より下に位置する。ウエハ加熱器 1 1 の出力は、ゼロに落とされる。

[0052] なお、ステップ S 1 0 6 でのウエハの冷却において、高圧環境下においてプッシャーピン 7 の上下動すなわち昇降を行うと、ウエハ 3 の裏面とステージ 4 の上面との間に存在するガス分子の影響で、ウエハ 3 とステージ 4 との間にずれが生じる可能性がある。そのウエハずれを低減するために、ステップ S 1 0 5 とステップ S 1 0 6 との間に、処理チャンバ 2 内のガスの圧力を下げる工程であるステップ S 1 0 8 を入れてもよい。

[0053] このような第 1 実施形態によれば、ガスが導入された処理チャンバ内において、ウエハの温度制御を容易にする技術を提供することができる。より詳しくは、第 1 実施形態によれば、設定された、ガスの種類、処理チャンバ 2 内部でのガスの圧力、ウエハ 3 の目標温度を基に、上記データベースを参照して、ウエハ 3 の温度を目標温度に到達させ安定化させるのに要する目標温度到達時間が短くなるようなプッシャーピン 7 の高さ及びウエハ加熱器 1 1 の出力を、事前に決定することができる。そのため、幅広いガス圧力領域・ウエハ温度領域において、ウエハ 3 の温度を迅速に目標温度に到達させることが可能となり、半導体加工の生産性を高めることができる。その結果、半導体加工のスループットの改善やエッチングの制御性向上が期待できる。

[0054] なお、第 1 実施形態による効果は、ウエハの温度制御が難しい高温環境下もしくは高圧環境下で特に有効である。例えば、ウエハの温度が 1 0 0℃以上、7 0 0℃以下の所定の温度である場合、あるいは、ガスの圧力が、1 0 P a 以上、大気圧以下の所定の圧力である場合に、特に有効である。

[0055] (第 2 実施形態)

＜第2実施形態に係る半導体製造装置の構成例＞

図11は、第2実施形態に係る半導体製造装置の概略構成を示す断面図である。図11に示す半導体製造装置22において、処理チャンバ2、支持部材5、天板10、ガス給排気系などは省略してあり、省略した部分の形態、機能等は、半導体製造装置1において対応する部分と同様である。

[0056] 半導体製造装置22では、上下方向に延在するシリンダ23、およびシリンダ23内に格納されたプッシャーピン24が、ステージ4を上下方向に貫通する貫通孔を通るように配置されている。プッシャーピン24及びシリンダ23は複数、例えば4本以上、配置されている。各プッシャーピン24の内部には、熱電対などの温度センサ25が設けられている。複数のプッシャーピン24でウエハ3を支持した場合に、複数の温度センサ25がウエハ3の裏面に接触するようになっている。シリンダ23の内部の底部側には、例えば、ばねや圧縮空気を内包する部材のような緩衝材26が封入されている。複数のプッシャーピン24でウエハ3を支持した場合に、ウエハ3の重みで緩衝材26がたわみ、ウエハ3と各温度センサ25との接触性が向上するようになっている。

[0057] プッシャーピン24と緩衝材26とを内部に格納したシリンダ23は、支持機構27と接続されており、支持機構27は、駆動軸28と接続されている。駆動軸28は、処理チャンバの下方に設けられた駆動機構9に接続されている。駆動機構9が、駆動軸28を上下方向に昇降させることにより、プッシャーピン24の高さを調整して、プッシャーピン24に支持されているウエハ3の裏面とステージ4の上面との間隔を制御することが可能である。

[0058] 半導体製造装置22の天井側には、例えば赤外線ランプ等の電磁波を利用したウエハ加熱器29が設置されている。本実施形態では、ウエハ加熱器29は、複数のランプを備えている。より詳しくは、ウエハ加熱器29は、複数の環形状、すなわちリング形状の赤外線ランプ30が同心円状に配置された構成を備えている。

[0059] 温度センサ25で検知したウエハ3の裏面の各位置に対応する温度信号は

、PLC回路31を介して制御回路19に伝送される。制御回路19は、受信した温度信号に基づいて、複数の赤外線ランプ30のそれぞれの出力を独立して調整し、ウエハ3の温度を設定された目標温度に近づける。この調整は、いわゆるフィードバック制御によって行われてもよい。赤外線ランプ30は、それぞれ、ウエハ3の面内で温度測定が行われる各位置と対応するような位置に配置されている。制御回路19は、受信した温度信号から、ウエハ3の面内の温度分布を特定し、特定した温度分布に基づいて、それぞれの赤外線ランプ30の出力を独立して制御することにより、ウエハ3の面内の温度分布を調整することが可能である。

[0060] <第2実施形態に係る半導体製造装置における処理の流れ>

次に、上記構成の半導体製造装置22における処理の流れについて説明する。

[0061] 図12は、第2実施形態に係る半導体製造装置22における動作の流れの一例を示すフローチャートである。

[0062] 図12に示す第2実施形態に係るフローチャートでのステップS101～S105、S106～S107は、図9に示す第1実施形態に係るフローチャートでのステップS101～S107と同様の処理である。第2実施形態に係る半導体製造装置22では、ステップS109～S110の処理に特徴がある。

[0063] ステップS109では、ウエハ裏面温度測定によるウエハ温度分布のモニタリングが行われる。具体的には、制御回路19が、ウエハ加熱器29によるウエハ3の加熱中に、ウエハ3の裏面に接するプッシャーピン24内に設けられた温度センサ25からの温度情報を、PLC回路31を介して受信する。制御回路19は、受信した温度情報に基づいて、ウエハ3の面内の温度分布を測定し、モニタする。

[0064] ステップS110では、制御回路19が、モニタしたウエハ3の面内の温度分布の情報に基づいて、ウエハ3の温度が設定された目標温度に近づくように、すなわち、ウエハ3が所望の温度分布を有するように、複数の赤外線

ランプ30のそれぞれの出力を独立して制御する。

[0065] このような第2実施形態によれば、目標温度到達時間が短くなるようなプッシャーピン24の高さ及びウエハ加熱器29の出力を事前に決定できることに加えて、加熱中にウエハ面上の温度分布も制御することが可能になるため、第1実施形態による効果に加えて、ウエハ面内温度分布の均一性向上や、面内任意箇所の加工寸法補正が可能になるなど、半導体製造の生産性を向上させることが可能である。

[0066] (第3実施形態)

第3実施形態に係る半導体製造装置は、第2実施形態に係る半導体製造装置と同様の構成を有している。ただし、第3実施形態に係るウエハ加熱器は、第1実施形態に係るウエハ加熱器11と同様であってもよい。第3実施形態に係る半導体製造装置では、ウエハ加熱器29の出力を一定にして、プッシャーピン24の高さを高速に制御することにより、ウエハ3の温度を制御する。

[0067] 図13は、第3実施形態に係るプッシャーピンの高さの時間変化とウエハの温度の時間変化の関係を模式的に示すグラフである。図13に示すように、プッシャーピン24の高さが高くなると、ウエハ3とウエハ加熱器29との距離が短くなってウエハ加熱器29からの加熱効果は高まり、ウエハ3とステージ4との距離が長くなってステージ4からの冷却効果は低くなるため、ウエハ3の温度は上昇する。一方、プッシャーピン24の高さが低くなると、ウエハ3とウエハ加熱器29との距離が長くなってウエハ加熱器29からの加熱効果は低くなり、ウエハ3とステージ4との距離が短くなってステージ4からの冷却効果は高くなるため、ウエハ3の温度は下降する。

[0068] 駆動軸28を高速で駆動させることが可能な駆動機構9を採用することで、プッシャーピン24の高さを高速に制御することが可能となる。ウエハ加熱器29の出力を一定とし、プッシャーピン24の高さを高速に制御してウエハ3の温度を調節することで、ウエハ加熱器29の出力を制御してウエハ3の温度を調節するよりも高速にウエハ3の温度を制御することが可能とな

る。

[0069] このような第3実施形態によれば、ウエハ3の加熱と冷却を高速に行うことが可能となるため、加工時間のさらなる短縮化を図ることができ、半導体製造のスループットをさらに向上させることができる。

[0070] 以上、本発明の各種実施形態について説明したが、本発明は上記した実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。また、上記した実施形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。これらは全て本発明の範疇に属するものである。さらに文中や図中に含まれる数値等もあくまで一例であり、異なるものを用いても本発明の効果を損なうものではない。

符号の説明

[0071] 1…半導体製造装置、2…処理チャンバ、3…ウエハ、4…ステージ、5…支持部材、6…流路、7…プッシャーピン、8…駆動軸、9…駆動機構、10…天板、11…ウエハ加熱器、12…開口、13…ガス供給源、14…マスフローコントローラ、15…開口、16…可変バルブ、17…ドライポンプ、18…流体温度調整回路、19…制御回路、20…記憶回路、21…入出力回路、22…半導体製造装置、23…シリンダ、24…プッシャーピン、25…温度センサ、26…緩衝材、27…支持機構、30…赤外線ランプ、31…PLC回路

請求の範囲

[請求項1]

処理チャンバと、

前記処理チャンバの外部に配置され、前記処理チャンバの内部のウエハを電磁波により加熱する加熱器と、

前記処理チャンバの内部に配置され、前記ウエハの下方に位置するステージと、

前記処理チャンバの内部に少なくとも一部が配置され、前記ウエハを支持し、昇降可能に構成され、前記ウエハと前記ステージとの間隔を調整可能なウエハ支持機構と、

前記処理チャンバの内部でのガスの圧力を調整可能なガス給排気系と、

前記加熱器の出力と、前記ガスの種類と、前記処理チャンバの内部のガスの圧力と、前記ウエハの目標温度と、前記ウエハと前記ステージとの間隔と、前記ウエハの温度が前記目標温度に到達するまでの時間との関係を表す関係情報を記憶する記憶回路と、

設定された、前記ガスの種類と、前記ガスの圧力と、前記ウエハの目標温度とに基づき、前記関係情報を用いて、前記ウエハの温度が前記設定された目標温度に到達するまでの時間が、設定された時間以下となるような、前記ウエハと前記ステージとの間隔とを決定し、前記ウエハと前記ステージとの間隔が前記決定された間隔となるように前記ウエハ支持機構を制御する制御回路と、を備える、

半導体製造装置。

[請求項2]

請求項1に記載の半導体製造装置において、

前記ウエハ支持機構は、

前記ウエハを支持する複数のプッシャーピンと、

前記複数のプッシャーピンの各々に少なくとも一つずつ配置される複数の温度センサと、を有し、

前記制御回路は、前記複数の温度センサにより測定された前記ウエ

ハの裏面温度に基づいて、前記ウエハの温度が前記設定された目標温度に近づくように、前記加熱器の出力を制御する、
半導体製造装置。

[請求項3] 請求項2に記載の半導体製造装置において、
前記加熱器は、複数のランプを含み、
前記制御回路は、前記複数の温度センサにより測定された前記ウエハの裏面の温度分布に基づいて、前記複数のランプの各々の出力を独立に制御する、
半導体製造装置。

[請求項4] 請求項3に記載の半導体製造装置において、
前記複数のランプは、それぞれが環形状を有し、同心円状に配置される、
半導体製造装置。

[請求項5] 請求項1に記載の半導体製造装置において、
前記ステージは、前記ステージの温度を調整可能な温度調整系と接続され、
前記制御回路は、前記ステージが設定された温度を保持するように前記温度調整系を制御する、
半導体製造装置。

[請求項6] 請求項1に記載の半導体製造装置において、
前記ウエハ支持機構は、
前記ウエハを支持する複数のプッシャーピンと、
前記複数のプッシャーピンの各々に少なくとも一つずつ配置される複数の温度センサと、を有し、
前記制御回路は、前記複数の温度センサにより測定された前記ウエハの裏面温度に基づいて、前記ウエハの温度が前記設定された目標温度に近づくように、前記ウエハ支持機構の前記プッシャーピンの高さを制御する、

半導体製造装置。

[請求項7]

請求項1に記載の半導体製造装置において、

前記設定されたガスの圧力は、10Pa以上、大気圧以下である、
半導体製造装置。

[請求項8]

処理チャンバの内部に配置され、昇降可能に構成されたウエハ支持機構が、ステージの上方においてウエハを支持する工程と、

ガス給排気系が、前記処理チャンバの内部でのガスの圧力を調整する工程と、

記憶回路が、電磁波によるウエハの加熱器の出力と、前記ガスの種類と、前記処理チャンバの内部での前記ガスの圧力と、前記ウエハの目標温度と、前記ウエハと前記ステージとの間隔と、前記ウエハの温度が目標温度に到達するまでの時間との関係を表す関係情報を記憶する工程と、

制御回路が、設定された、前記ガスの種類と、前記ガスの圧力と、前記ウエハの目標温度とに基づき、前記関係情報を用いて、前記ウエハの温度が前記設定された目標温度に到達するまでの時間が、設定された時間以下となるような、前記ウエハと前記ステージとの間隔を決定する工程と、

前記制御回路が、前記ウエハと前記ステージとの間隔が前記決定された間隔となるように前記ウエハ支持機構を制御する工程と、を備える、

ウエハ温度制御方法。