

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-173969

(P2009-173969A)

(43) 公開日 平成21年8月6日(2009.8.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C23C 16/44 (2006.01)	C23C 16/44 J	4K030
HO1L 21/205 (2006.01)	HO1L 21/205	5F004
HO1L 21/3065 (2006.01)	HO1L 21/302 1O1H	5F045

審査請求 有 請求項の数 15 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2008-11728 (P2008-11728)
 (22) 出願日 平成20年1月22日 (2008.1.22)

(71) 出願人 000219967
 東京エレクトロン株式会社
 東京都港区赤坂五丁目3番1号
 (74) 代理人 100099944
 弁理士 高山 宏志
 (72) 発明者 田 才忠
 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
 (72) 発明者 石橋 清隆
 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
 (72) 発明者 野沢 俊久
 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

最終頁に続く

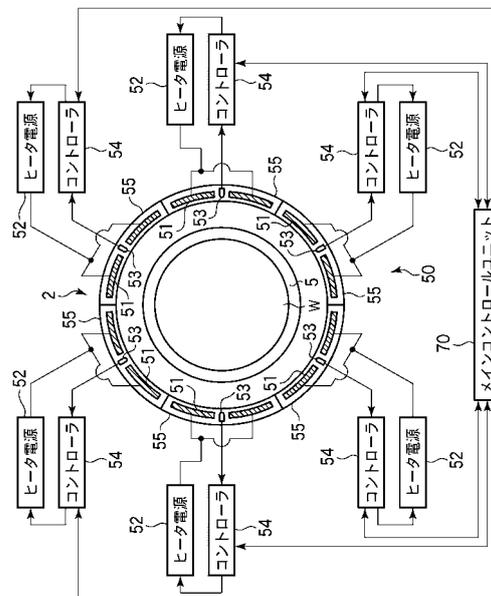
(54) 【発明の名称】 温度制御機構およびそれを用いた処理装置

(57) 【要約】

【課題】 処理装置のチャンパ壁等の温度制御を高精度で行うことができる温度制御機構およびそれを用いた処理装置を提供すること。

【解決手段】 温度制御機構50は、チャンパ1のハウジング2壁部を区画した複数の領域55をそれぞれ加熱する複数のヒータユニット51と、複数のヒータユニット51にそれぞれ給電する複数のヒータ電源52と、複数の領域55の温度をそれぞれ測定する複数の熱電対53と、各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラ54とを具備する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

処理容器内に収容した基板に対して所定の処理を行う処理装置において、処理容器の所定部分またはその中の所定部材を制御対象として温度制御を行う温度制御機構であって、前記制御対象を加熱するヒータユニットと、前記ヒータユニットに給電する給電部と、前記制御対象の温度を測定する温度センサーと、前記温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、前記制御対象が所定の目標温度になるように、前記給電部を制御するコントローラとを具備することを特徴とする温度制御機構。

10

【請求項 2】

処理容器内に基板を収容し、その中に成膜用の処理ガスを導入して基板に対して成膜処理を行う処理装置において、処理容器壁部の温度制御を行う温度制御機構であって、前記処理容器壁部を区画した複数の領域をそれぞれ加熱する複数のヒータユニットと、前記複数のヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、前記複数の領域の温度をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラとを具備することを特徴とする温度制御機構。

20

【請求項 3】

処理容器内に基板を収容し、その中に成膜用の処理ガスを導入して基板に対して成膜処理を行う処理装置において、処理容器壁部の温度制御を行う温度制御機構であって、前記処理容器壁部を区画した複数の領域に設けられ、これら領域をそれぞれ加熱する複数のメインヒータユニットと、前記処理容器の内部空間の壁部近傍位置に設けられ、前記処理容器壁部を加熱する複数のサブヒータユニットと、前記複数のメインヒータユニットおよび前記複数のサブヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、前記複数の領域の温度および前記サブヒータユニットにより加熱される前記処理容器壁部の複数の部分をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域または部分が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラとを具備することを特徴とする温度制御機構。

30

【請求項 4】

前記処理容器の複数の領域は、前記処理容器の周方向に配列されていることを特徴とする請求項 2 または請求項 3 に記載の温度制御機構。

【請求項 5】

前記コントローラは、目標温度を設定する設定器と、対応する前記温度センサーにより測定された温度が目標温度になるように制御信号を出力する I L Q 制御器とを有することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の温度制御機構。

40

【請求項 6】

前記 I L Q 制御器は、状態観測器を有することを特徴とする請求項 5 に記載の温度制御機構。

【請求項 7】

処理容器と、前記処理容器内で基板を支持する基板支持台と、前記処理容器内で基板に所定の処理を施すための機構と、処理容器の所定部分またはその中の所定部材を制御対象として温度制御を行う温度制御機構とを具備する処理装置であって、

50

前記温度制御機構は、
 前記制御対象を加熱するヒータユニットと、
 前記ヒータユニットに給電する給電部と、
 前記制御対象の温度を測定する温度センサーと、
 前記温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、前記制御対象が所定の目標温度になるように、前記給電部を制御するコントローラと
 を有することを特徴とする処理装置。

【請求項 8】

処理容器と、
 前記処理容器内で基板を支持する基板支持台と、
 前記処理容器内に成膜用の処理ガスを供給するガス供給部と、
 前記基板支持台を加熱する加熱機構と、
 処理容器壁部の温度制御を行う温度制御機構と
 を具備し、基板に対して成膜処理を行う処理装置であって、
 前記温度制御機構は、
 前記処理容器壁部を区画した複数の領域をそれぞれ加熱する複数のヒータユニットと、
 前記複数のヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、
 前記複数の領域の温度をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、
 前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラと
 を有することを特徴とする処理装置。

【請求項 9】

処理容器と、
 前記処理容器内で基板を支持する基板支持台と、
 前記処理容器内に成膜用の処理ガスを供給するガス供給部と、
 前記基板支持台を加熱する加熱機構と、
 処理容器壁部の温度制御を行う温度制御機構と
 を具備し、基板に対して成膜処理を行う処理装置であって、
 前記温度制御機構は、
 前記処理容器壁部を区画した複数の領域に設けられ、これら領域をそれぞれ加熱する複数のメインヒータユニットと、
 前記処理容器の内部空間の壁部近傍位置に設けられ、前記処理容器壁部を加熱する複数のサブヒータユニットと、
 前記複数のメインヒータユニットおよび前記複数のサブヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、
 前記複数の領域の温度および前記サブヒータユニットにより加熱される前記処理容器壁部の複数の部分をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、
 前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域または部分が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラと
 を具備することを特徴とする処理装置。

【請求項 10】

前記処理容器の複数の領域は、前記処理容器の周方向に配列されていることを特徴とする請求項 8 または請求項 9 に記載の処理装置。

【請求項 11】

前記処理容器内で処理ガスをプラズマ化するプラズマ生成機構をさらに具備することを特徴とする請求項 8 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の処理装置。

【請求項 12】

前記プラズマ生成機構は、前記処理容器内にマイクロ波を導入して処理ガスをプラズマ化するものであることを特徴とする請求項 11 に記載の処理装置。

【請求項 13】

10

20

30

40

50

前記コントローラは、目標温度を設定する設定器と、対応する前記温度センサーにより測定された温度が目標温度になるように制御信号を出力する I L Q 制御器とを有することを特徴とする請求項 7 から請求項 12 のいずれか 1 項に記載の処理装置。

【請求項 14】

前記 I L Q 制御器は、状態観測器を有することを特徴とする請求項 13 に記載の処理装置。

【請求項 15】

処理容器と、

前記処理容器内で基板を支持する基板支持台と、

前記処理容器内に成膜用の処理ガスを供給するガス供給部と、

前記基板支持台の温度制御を行う温度制御機構と

を具備し、基板に対して成膜処理を行う処理装置であって、

前記温度制御機構は、

前記基板支持台を区画した複数の領域をそれぞれ加熱する複数のヒータユニットと、

前記複数のヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、

前記複数の領域の温度をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、

前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q 制御により、対応する領域が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラとを有することを特徴とする処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウエハ等の被処理体にプラズマ処理等の熱をともなう処理を行う処理装置に用いる温度制御機構およびそれを用いた処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、例えば、半導体デバイスの製造工程においては、被処理体である半導体ウエハ（以下、単にウエハと記す）に対してエッチング、アッシング、成膜等の種々のプロセスが行われており、これら処理は、チャンバ内の載置台にウエハを載置し、載置台およびチャンバハウジング等を温度制御しながら行われる。特に、成膜プロセスの場合には、チャンバを構成するハウジングの壁部に対するデポ制御が問題となり、デポを生じさせないために高精度の温度制御が要求される。

【0003】

このような温度制御は、従来、P I D 制御により行われている（例えば、特許文献 1）。P I D 制御は、入力値の制御を現在値と目標値との偏差、その積分、および微分の 3 つの要素によって行うフィードバック制御であり、制御対象モデルを必要としない。

【0004】

しかしながら、P I D 制御により温度制御を行う場合には、偏差に対して感度を高くするとオーバーシュート、ハンチングの問題が生じ、目標温度への整定に時間がかかり、逆に感度を低くすると遅い応答となってやはり整定に時間がかかるため、目標温度に速やかに到達させることが困難である。また、P I D パラメータの設計に任意性があるため、パラメータの設計によって制御結果が変わってしまう。さらに、目標温度と実際の温度の偏差に基づいて制御を行うため、応答特性が悪く、ダイナミック制御誤差が問題となる。

【0005】

また、近時、ウエハの大型化にともなう処理装置の大型化により、チャンバも大型化しているため、温度制御を多チャンネル化しているが、このような多チャンネルの P I D 制御で温度制御を行う場合には、チャンネル間の温度ばらつきの問題や、チャンネル相互間に干渉が生じ、高精度の温度制御を行うことが困難である。

【特許文献 1】特開 2003 - 005802 号公報

【発明の開示】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】**【0006】**

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、処理装置のチャンバ壁等の温度制御を高精度で行うことができる温度制御機構およびそれを用いた処理装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0007】**

上記課題を解決するため、本発明の第1の観点では、処理容器内に収容した基板に対して所定の処理を行う処理装置において、処理容器の所定部分またはその中の所定部材を制御対象として温度制御を行う温度制御機構であって、前記制御対象を加熱するヒータユニットと、前記ヒータユニットに給電する給電部と、前記制御対象の温度を測定する温度センサーと、前記温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、前記制御対象が所定の目標温度になるように、前記給電部を制御するコントローラとを具備することを特徴とする温度制御機構を提供する。

10

【0008】

本発明の第2の観点では、処理容器内に基板を収容し、その中に成膜用の処理ガスを導入して基板に対して成膜処理を行う処理装置において、処理容器壁部の温度制御を行う温度制御機構であって、前記処理容器壁部を区画した複数の領域をそれぞれ加熱する複数のヒータユニットと、前記複数のヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、前記複数の領域の温度をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラとを具備することを特徴とする温度制御機構を提供する。

20

【0009】

本発明の第3の観点では、処理容器内に基板を収容し、その中に成膜用の処理ガスを導入して基板に対して成膜処理を行う処理装置において、処理容器壁部の温度制御を行う温度制御機構であって、前記処理容器壁部を区画した複数の領域に設けられ、これら領域をそれぞれ加熱する複数のメインヒータユニットと、前記処理容器の内部空間の壁部近傍位置に設けられ、前記処理容器壁部を加熱する複数のサブヒータユニットと、前記複数のメインヒータユニットおよび前記複数のサブヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、前記複数の領域の温度および前記サブヒータユニットにより加熱される前記処理容器壁部の複数の部分をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域または部分が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラとを具備することを特徴とする温度制御機構を提供する。

30

【0010】

本発明の第4の観点では、処理容器と、前記処理容器内で基板を支持する基板支持台と、前記処理容器内で基板に所定の処理を施すための機構と、処理容器の所定部分またはその中の所定部材を制御対象として温度制御を行う温度制御機構とを具備する処理装置であって、前記温度制御機構は、前記制御対象を加熱するヒータユニットと、前記ヒータユニットに給電する給電部と、前記制御対象の温度を測定する温度センサーと、前記温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、前記制御対象が所定の目標温度になるように、前記給電部を制御するコントローラとを有することを特徴とする処理装置を提供する。

40

【0011】

本発明の第5の観点では、処理容器と、前記処理容器内で基板を支持する基板支持台と、前記処理容器内に成膜用の処理ガスを供給するガス供給部と、前記基板支持台を加熱する加熱機構と、処理容器壁部の温度制御を行う温度制御機構とを具備し、基板に対して成膜処理を行う処理装置であって、前記温度制御機構は、前記処理容器壁部を区画した複数の領域をそれぞれ加熱する複数のヒータユニットと、前記複数のヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、前記複数の領域の温度をそれぞれ測定する複数の温度センサ

50

ーと、前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラとを有することを特徴とする処理装置を提供する。

【0012】

本発明の第6の観点では、処理容器と、前記処理容器内で基板を支持する基板支持台と、前記処理容器内に成膜用の処理ガスを供給するガス供給部と、前記基板支持台を加熱する加熱機構と、処理容器壁部の温度制御を行う温度制御機構とを具備し、基板に対して成膜処理を行う処理装置であって、前記温度制御機構は、前記処理容器壁部を区画した複数の領域に設けられ、これら領域をそれぞれ加熱する複数のメインヒータユニットと、前記処理容器の内部空間の壁部近傍位置に設けられ、前記処理容器壁部を加熱する複数のサブヒータユニットと、前記複数のメインヒータユニットおよび前記複数のサブヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、前記複数の領域の温度および前記サブヒータユニットにより加熱される前記処理容器壁部の複数の部分をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域または部分が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラとを具備することを特徴とする処理装置を提供する。

10

【0013】

上記第2、第3、第5、第6の観点において、前記処理容器の複数の領域は、前記処理容器の周方向に配列されるように構成することができる。

【0014】

上記第5、第6の観点において、前記処理装置が、前記処理容器内で処理ガスをプラズマ化するプラズマ生成機構をさらに具備するものであってもよく、この場合に前記プラズマ生成機構としては、前記処理容器内にマイクロ波を導入して処理ガスをプラズマ化するものを用いることができる。

20

【0015】

上記第1～第6の観点において、前記コントローラは、目標温度を設定する設定器と、対応する前記温度センサーにより測定された温度が目標温度になるように制御信号を出力するI L Q制御器とを有する構成とすることができ、この場合に、前記I L Q制御器は、状態観測器を有することが好ましい。

【0016】

本発明の第7の観点では、処理容器と、前記処理容器内で基板を支持する基板支持台と、前記処理容器内に成膜用の処理ガスを供給するガス供給部と、前記基板支持台の温度制御を行う温度制御機構とを具備し、基板に対して成膜処理を行う処理装置であって、前記温度制御機構は、前記基板支持台を区画した複数の領域をそれぞれ加熱する複数のヒータユニットと、前記複数のヒータユニットにそれぞれ給電する複数の給電部と、前記複数の領域の温度をそれぞれ測定する複数の温度センサーと、前記各温度センサーの信号に基づいて、I L Q制御により、対応する領域が所定の目標温度になるように、対応する給電部を制御する複数のコントローラとを有することを特徴とする処理装置を提供する。

30

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、I L Q制御方式により制御対象および外乱要因をモデル化して制御対象の温度制御を行うので、最適レギュレータの逆問題を利用して、最適なパラメータを一意的に決定することができ、誤差および入力を最小にすることができ、応答も指定することができる。このため、目標値に対する追従性が良く、ダイナミック誤差も最小にすることができる。また、PID制御のようにオーバーシュートがなく、電源容量を考慮した最適な制御量とすることができるので、PID制御よりもエネルギー効率が低い。さらに、I L Q制御はロバスト性が良好であり、制御対象モデルが一定範囲変動しても制御性能が保証される。

40

【0018】

また、処理容器壁部を複数の領域に区画して、これらの領域毎に多チャンネルでI L Q

50

制御により温度制御することにより、各チャンネル間で制御を非干渉化することができ、隣接するチャンネルからの影響を受けずに高精度の制御を行うことができ、各チャンネル間の温度の均一性も高くすることができる。

【0019】

さらに、このような処理容器壁部の温度制御において、処理容器内の空間に処理容器に近接して多チャンネルのサブヒータを設けることにより、一層高精度の温度制御をすることができる。従来のPID制御では、このようにヒータを他のヒータに近接して設けて独立して制御を行うことが困難であったが、ILQ制御により隣接するチャンネル間の制御を非干渉化することができるので、このようなサブヒータの効果を有効に発揮してより高精度の制御を行うことができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

ここでは、本発明の温度制御機構をマイクロ波プラズマ処理装置のチャンバ壁（ハウジング部）に適用した例について示す。

図1は、本発明の一実施形態に係る温度制御機構が適用されたマイクロ波プラズマ処理装置を示す概略断面図である。このマイクロ波プラズマ処理装置100は、複数のスロットを有する平面アンテナ、例えばRLSA（Radial Line Slot Antenna；ラジアルラインスロットアンテナ）にて処理室内にマイクロ波などのマイクロ波を導入することにより、高密度かつ低電子温度のマイクロ波プラズマを発生させ、これにより成膜処理を行うプラズマ成膜装置として構成されている。

20

【0021】

プラズマ処理装置100は、気密に構成され、ウエハWが搬入される接地された略円筒状のチャンバ（処理容器）1を有している。このチャンバ1は、アルミニウムまたはステンレス鋼等の金属材料からなり、その下部を構成するハウジング部2と、その上に配置されたチャンバウォール3とで構成されている。また、チャンバ1の上部には、処理空間にマイクロ波を導入するためのマイクロ波導入部30が開閉可能に設けられている。

【0022】

ハウジング部2の底壁2aの略中央部には円形の開口部10が形成されており、底壁2aにはこの開口部10と連通し、下方に向けて突出してチャンバ1内部を均一に排気するための排気室11が連設されている。

30

【0023】

ハウジング部2内には被処理体であるウエハWを水平に支持するためのサセプタ5が、排気室11の底部中央から上方に延びる円筒状の支持部材4により支持された状態で設けられている。サセプタ5および支持部材4はALN等のセラミックスで構成されている。サセプタ5の外縁部にはウエハWをガイドするためのガイドリング8が設けられている。また、サセプタ5には、抵抗加熱型のヒータ12が埋め込まれており、ヒータ電源6から給電されることによりサセプタ5を加熱して、その熱で被処理体であるウエハWを加熱する。サセプタ5の温度は、サセプタ5に挿入された熱電対13によって測定され、熱電対13からの信号に基づいて温度コントローラ14がヒータ電源6を制御し、例えば室温から1000までの範囲で温度制御可能となっている。

40

【0024】

また、サセプタ5には、ウエハWを支持して昇降させるためのウエハ支持ピン（図示せず）がサセプタ5の表面に対して突没可能に設けられている。サセプタ5の外周側には、チャンバ1内を均一に排気するためのパッフルプレート7が環状に設けられ、このパッフルプレート7は、複数の支柱7aにより支持されている。

【0025】

上記排気室11の側面には排気管16が接続されており、この排気管16には高速真空ポンプを含む排気装置17が接続されている。そしてこの排気装置17を作動させることによりチャンバ1内のガスが、排気室11の空間11a内へ均一に排出され、排気管16

50

を介して排気される。これによりチャンバ 1 内は所定の真空度まで高速に減圧することが可能となっている。

【 0 0 2 6 】

ハウジング部 2 の側壁には、ウエハ W の搬入出を行うための搬入出口と、この搬入出口を開閉するゲートバルブとが設けられている（いずれも図示せず）。

【 0 0 2 7 】

チャンバ 1 の側壁上部には、チャンバ 1 内に処理ガスを導入するためのガス導入ノズル 1 8 が設けられており、このガス導入ノズル 1 8 には、配管 1 9 を介して成膜用の処理ガスを供給する処理ガス供給部 2 0 が接続されている。そして、処理ガス供給部 2 0 から所定の処理ガスが配管 1 9 およびガス導入ノズル 1 8 を介してチャンバ 1 の上部に導入される。

10

【 0 0 2 8 】

チャンバ 1 内の上部には、多数のガス通過孔 2 1 a を有するシャワープレート 2 1 が水平に設けられており、ガス導入ノズル 1 8 からチャンバ 1 内に導入され、マイクロ波により励起された処理ガスが、シャワープレート 2 1 のガス通過孔 2 1 a を通過してシャワー状にウエハ W に供給されるようになっている。

【 0 0 2 9 】

チャンバ 1 の上部は開口部となっており、この開口部を塞ぐようにマイクロ波導入部 3 0 が気密に配置可能となっている。このマイクロ波導入部 3 0 は、図示しない開閉機構により開閉可能となっている。

20

【 0 0 3 0 】

マイクロ波導入部 3 0 は、サセプタ 5 の側から順に、透過板 2 8、平面アンテナ 3 1、遅波材 3 3 を有している。これらは、シールド部材 3 4 によって覆われ、支持部材 3 6 を介して断面視 L 字形をした環状の押えリング 3 5 により O リングを介してアッププレート 2 7 の支持部材に固定されている。マイクロ波導入部 3 0 が閉じられた状態においては、チャンバ 1 の上端とアッププレート 2 7 とがシールド部材（図示せず）によりシールドされた状態となるとともに、マイクロ波導入部 3 0 が後述するように透過板 2 8 を介してアッププレート 2 7 に支持された状態となっている。

【 0 0 3 1 】

透過板 2 8 は、石英やセラミックス等の誘電体からなり、マイクロ波を透過しチャンバ 1 内の処理空間に導入するマイクロ波導入窓として機能する。この透過板 2 8 は、マイクロ波導入部 3 0 の外周下方に環状に配備されたアッププレート 2 7 の内周面の突部 2 7 a により、シールド部材 2 9 を介して気密状態で支持されている。したがって、マイクロ波導入部 3 0 が閉じられた状態でチャンバ 1 内を気密に保持することが可能となる。

30

【 0 0 3 2 】

透過板 2 8 の上方には、サセプタ 5 と対向するように、円板状の平面アンテナ 3 1 が設けられている。この平面アンテナ 3 1 はチャンバ 1 の側壁上端に係止されている。平面アンテナ 3 1 は、導体、例えば表面が金メッキされた銅板またはアルミニウム板からなり、多数のマイクロ波放射孔（スロット）3 2 が所定のパターンで貫通して形成された構成となっている。すなわち、平面アンテナ 3 1 は R L S A アンテナを構成している。このマイクロ波放射孔 3 2 は、例えば図 2 に示すように長溝状をなし、隣接するマイクロ波放射孔 3 2 同士が交差するように、典型的には図示のように直交するように（「T」字状に）配置され、これら複数のマイクロ波放射孔 3 2 が同心円状に配置されている。マイクロ波放射孔 3 2 の長さや配列間隔は、マイクロ波の波長等に応じて決定される。なお、図 2 において、同心円状に形成された隣接するマイクロ波放射孔 3 2 同士の間隔 r （中心から一番内側のマイクロ波放射孔 3 2 までの間隔も同じ）を後述する遅波板 3 3 中におけるマイクロ波の波長とし、平面アンテナ 3 1 の中心から最内周のマイクロ波放射孔 3 2 までの長さも r とすると、ここから強い電界が放射されることとなり好ましく、図示例では 4 ターンのマイクロ波放射孔が配置されている。また、マイクロ波放射孔 3 2 は、円形状、円弧状等の他の形状であってもよい。また、マイクロ波放射孔 3 2 の配置形態は特に限定さ

40

50

れず同心円状の他、例えば、螺旋状、放射状に配置することもできる。

【0033】

この平面アンテナ31の上面には、真空よりも大きい誘電率を有する誘電体からなる遅波板33が設けられている。この遅波板33は、真空中におけるマイクロ波の波長よりも遅波板中におけるマイクロ波の波長を短くする機能を有している。

【0034】

チャンバ1の上面には、これら平面アンテナ31および遅波板33を覆うように、例えばアルミニウムやステンレス鋼等の金属材料からなるシールド蓋体34が設けられている。

【0035】

シールド蓋体34には、冷却水流路34aが形成されており、そこに冷却水を通流させることにより、平面アンテナ31、マイクロ波透過板28、遅波板33、シールド蓋体34を冷却するようになっている。なお、シールド蓋体34は接地されている。また、シールド蓋体34には、温度制御用のヒータ(図示せず)も設けられている。

10

【0036】

シールド蓋体34の上壁の中央には開口部42が形成されており、この開口部には導波管37が接続されている。この導波管37の端部には、マッチング回路38を介してマイクロ波発生装置39が接続されている。これにより、マイクロ波発生装置39で発生した例えば周波数2.45GHzのマイクロ波が導波管37を介して上記平面アンテナ31へ伝搬されるようになっている。なお、マイクロ波の周波数としては、8.35GHz、1.98GHz等を用いることもできる。

20

【0037】

導波管37は、上記シールド蓋体34の開口部42から上方へ延出する断面円形状の同軸導波管37aと、この同軸導波管37aの上端部に接続された水平方向に延びる断面矩形形状の矩形導波管37bとを有している。矩形導波管37bの同軸導波管37aとの接続部側の端部にはモード変換器40が設けられている。同軸導波管37aの中心には内導体41が延在しており、この内導体41の下端部は平面アンテナ31の中心に接続固定されている。

【0038】

チャンバ1のハウジング部2は、その壁部の温度が、本実施形態の温度制御機構50によって制御されるようになっている。本実施形態のようなプラズマ成膜装置においては、極力チャンバ壁にデポが付着しないようにすることが望まれるため、チャンバ1の主要部を構成するハウジング部2の壁部の温度をデポが生じ難い温度、例えば150程度の温度に制御する。この制御機構50は、ハウジング部2の壁部を複数ゾーンに分け、複数ゾーン毎に温度制御するようになっており、各ゾーン毎に設けられた複数のヒータユニット51と、これら複数のヒータユニット51にそれぞれ給電する、複数のヒータ電源52(図1では1つのみ図示)と、各ゾーンの温度を計測する複数の(図1では1個のみ図示)温度センサーとしての熱電対53と、熱電対53の測定信号が送られ、それに基づいてハウジング部2の各ゾーンの温度を制御する複数(図1では1つのみ図示)のコントローラ54とを有している。

30

【0039】

図3に示すように、ハウジング部2の壁部は、ハウジング部2の周方向に沿って複数例えば6つのゾーン(領域)55に分かれており、これら各ゾーン55毎に、ヒータユニット51、ヒータ電源52、熱電対53、コントローラ54が備えられている。

40

【0040】

コントローラ54は、図4に示すように、目標温度を設定する設定器61と、目標温度と熱電対からの信号に基づいて制御信号をヒータ電源52に送るILQ制御器62とを有している。

【0041】

ILQ制御器62は、現代制御理論に基づくILQ(Inverse Linear Quadratic)制御方式を採用した制御器である。このILQ制御方式は、制御対象、外乱要因をモデル化(

50

状態空間モデル)し、ILQ設計法により、これらのモデルに対する最適なフィードバック法則を一意的に決定する。ここで、ILQ設計法とは、最適レギュレータの逆問題を利用したサーボ設計法である。なおILQ制御に基づく制御系の設計については、藤井、下村：ILQ最適サーボ系の設計法の一般化、システム制御情報学会論文誌、Vol. 1、No 6、pp. 194 - 203 (1988)を参考文献として挙げるができる。

【0042】

この際の制御系のブロック線図は図5に示すようになる。ここでobは状態観測器(オブザーバ)でありKはフィードバックマトリックスである。また、uは制御入力であり、xはモデルの状態量である。

【0043】

最適レギュレータ問題は、制御対象モデルに対して以下の(1)式に示す2次評価関数(目標関数)Jを最小にする入力u(t)を求める問題であり、その解は、 $u(t) = Kx(t)$ として得られる。

【数1】

$$J = \int_0^{\infty} (e^T Q e + u^T R u) dt \quad \dots(1)$$

上記(1)式において、eは温度誤差、Q、Rは重み行列である。

【0044】

ここで、制御対象のモデルとしては、線形化した数学的モデルである部分空間モデルを用いた以下の(2)、(3)式を適用する。

【数2】

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad \dots(2)$$

$$y = Cx \quad \dots(3)$$

ただし、A、B、Cは行列である。

【0045】

最適レギュレータ問題(順問題)では、まず2次評価関数の重み行列を選定し、次にリカッチ方程式を数値的に解いて状態フィードバックゲインを計算するが、重み行列の選定が過渡応答のオーバーシュートや整定時間などの工学的仕様と明確に結びついておらず、望ましい制御器を得るまでに多くの施行錯誤や反復作業が必要となるが、ILQ設計法は、上述したように、最適レギュレータの逆問題を利用するものであり、状態フィードバックが最適制御であるための必要十分条件は、ゲインKに対して適当な正則行列Vとおよび適当な実行列が存在して、ゲインKがこれらを用いた所定の式が成立することであり、この式から最適なゲインを比較的容易にかつ工学的仕様を満たしやすい形で求めることができる。

【0046】

なお、チャンパウォール3の壁部についても、図示してはいないが同様の温度制御機構により温度制御されるようになっている。また、これも図示はしていないが、シャワープレート21は空冷されるようになっており、同様の温度制御機構により所定温度の空気の流速を制御することにより温度制御されるようになっている。シールド蓋体34については、上述したように冷却水流路34aを流れる冷却水の流速と図示しないヒータの出力を同様の制御機構により制御することにより温度制御されるようになっている。制御温度については、チャンパウォール3の壁部およびシャワープレート21は、例えば200程度に制御されるようになっており、シールド蓋体34は100程度に制御されるようになっている。

【0047】

サセプタ5の温度制御についても、複数チャンネル、例えば3チャンネルの制御を行うようになっており、ハウジング部2と同様のILQ制御を採用することができる。サセプ

10

20

30

40

50

タ5の温度は、成膜する膜に応じて
例えば300～400 程度の間で最適な温度が採用される

【0048】

プラズマ処理装置100の各構成部は、メインコントロールユニット70により制御されるようになっている。このメインコントロールユニット70は、所定の制御を実施するための制御プログラムや処理レシピ等を格納するプログラム格納部、制御プログラムに基づいて実際に各構成部を制御するプロセスコントローラ、およびキーボードやディスプレイ等からなるユーザーインターフェースを有している。

【0049】

具体的には、このメインコントロールユニット70は、マイクロ波発生装置39、マッチング回路38、マイクロ波導入部30、ガスの供給および排気、ゲートバルブ、昇降ピン等の駆動系、温度コントローラ等の制御を行う。

【0050】

次に、このように構成されたプラズマ処理装置100の動作について説明する。

まず、ウエハWをチャンバ1内に搬入し、サセプタ5上に載置する。そして、処理ガス供給部20から、成膜用の処理ガスをチャンバ1の上部に導入する。

【0051】

次に、マイクロ波発生装置39からのマイクロ波を、マッチング回路38を経て導波管37に導き、矩形導波管37b、モード変換器40、および同軸導波管37aを順次通過させて内導体41を介して平面アンテナ31に供給し、平面アンテナ31のスロットから透過板28を介してチャンバ1内に放射させる。

【0052】

マイクロ波は、矩形導波管37b内ではTEモードで伝搬し、このTEモードのマイクロ波はモード変換器40でTEMモードに変換されて、同軸導波管37a内を平面アンテナ31に向けて伝搬されていく。平面アンテナ31から透過板28を経てチャンバ1に放射されたマイクロ波によりチャンバ1内で電磁界が形成され、処理ガスがプラズマ化する。そして、処理ガスのプラズマは、シャワープレート21を通過して、均一にサセプタ5上のウエハWに供給される。

【0053】

このプラズマは、マイクロ波が平面アンテナ31の多数のスロット孔32から放射されることにより、略 $1 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ の高密度で、かつウエハW近傍では、略1.5 eV以下の低電子温度プラズマとなる。したがって、このプラズマをウエハWに対して作用させることにより、プラズマダメージを抑制した処理が可能になる。

【0054】

このようにしてプラズマ化された成膜用の処理ガスにより、ウエハW上に所定の膜を成膜するが、その際に、サセプタ5は成膜に適した温度にコントロールされる。一方、チャンバ1の壁部、特にハウジング部2の壁部は、デポが生じ難い温度、例えば150 程度の温度に制御されるが、ハウジング部2の壁部は非常に大型なものであり、その温度を高精度で制御するために、例えば、図3に示したように、6チャンネルの温度制御を行う。

【0055】

この種の制御に従来から多用されているPID制御により温度制御を行う場合には、目標温度に速やかに到達させることができず、ダイナミック制御誤差が問題となる他、このように多チャンネルの温度制御を行うと、チャンネル間の温度ばらつきの問題や、チャンネル相互間に干渉が生じ、高精度の温度制御が困難となる。

【0056】

これに対して、本実施形態では、ILQ設計法に基づくILQ制御器62を用い、制御対象および外乱要因をモデル化して制御を行うので、極めて高精度の制御を行うことができる。すなわち、ILQ制御では、最適レギュレータの逆問題を利用することにより、最適なパラメータを一意的に決定することができ、誤差および入力を最小にすることができ、応答も指定することができる。このため、目標値に対する追従性が良く、ダイナミック

10

20

30

40

50

誤差も最小にすることができる。そして、本実施形態のような多チャンネル制御の場合でも、各チャンネル間で制御を非干渉化することができ、隣接するチャンネルからの影響を受けずに高精度の制御を行うことができ、各チャンネル間の温度の均一性も高くすることができる。また、PID制御のようにオーバーシュートがなく、電源容量を考慮した最適な制御量とすることができるので、PID制御よりも20%程度エネルギーをカットすることができる。さらに、ILQ制御はロバスト性が良好である。すなわち、制御対象モデルが一定範囲変動しても制御性能が保証される。

【0057】

実際にハウジング部2の壁部を6チャンネルのゾーンに分けて本実施形態の温度制御と従来のPID制御とを比較した。その結果、従来のPID制御においては壁部全面に渡り±15の均熱性であったが、本実施形態のILQ制御によれば、非干渉化制御をしつつ、±5の均熱性を達成することができた。

10

【0058】

次に、本発明の他の実施形態に係る温度制御機構について説明する。

図6は、本発明の他の実施形態に係る温度制御機構が適用されたマイクロ波プラズマ処理装置を示す概略断面図である。本実施形態では、チャンバ1のハウジング部2の温度制御のために、上記6チャンネルのヒータユニット51の他に4チャンネル(図6では2チャンネルのみ図示)のサブヒータユニット81を含む温度制御機構90を設けている。他の構成は図1と同じであるから図1と同じものには同じ符号を付して説明を省略する。

20

【0059】

従前の実施形態のようにチャンバ1のハウジング部2の壁部を複数ゾーンに分け、複数ゾーン毎に制御した場合であっても、ハウジング部2の温度制御の均一性が十分でない場合が生じる。本発明者の検討結果によれば、このような場合に、チャンバ1の空間内にハウジング部2の内壁に沿ってサブヒータユニット81を設けることが有効であることが判明した。すなわち、ハウジング部2の内壁表面をサブヒータユニット81で加熱することにより、ハウジング部2の壁部の温度をより均一にすることができる。

【0060】

本実施形態における温度制御機構90は、図7に示すように、従前の実施形態における6チャンネルのヒータユニット51と、これらにそれぞれ給電する6チャンネルのヒータ電源52と、各ゾーンの温度を計測する熱電対53と、各ゾーンの温度を制御する6チャンネルのコントローラ54の他、4チャンネルのサブヒータユニット81と、これらにそれぞれ給電する4チャンネルのヒータ電源82と、ハウジング部2壁部内面のこれらサブヒータユニット81に対応する位置にそれぞれ設けられた4チャンネルの熱電対83と、ハウジング部2壁部内面の温度を制御する4チャンネルのコントローラ84とを有している。すなわち、温度制御機構90は、合計で10チャンネル分の温度制御を行うようになっている。

30

なお、図7は、ヒータユニット51、ヒータ電源52、熱電対53、コントローラ54およびメインコントロールユニット70の図示を省略している。

【0061】

このようにハウジング部2の壁部のヒータユニット51の他に、チャンバ1内にさらにサブヒータユニット81を近接して設けることは、従来のPID制御の場合には相互干渉の問題により実質的に温度制御が困難であった。

40

【0062】

これに対して、コントローラ54、84に上述したILQ制御器62を用いることにより、非干渉化を実現することができ、サブヒータユニット81を用いて、より高精度の制御を行うことができる。

【0063】

また、このようにチャンバ1の空間内にヒータを設けることにより、イオン分布やプラズマの流れを制御してマイクロ波プラズマを調整する機能も発揮することができる。

50

【 0 0 6 4 】

次に、I L Q制御を用いてサセプタ上のウエハを昇温する実験を行った結果について説明する。ここでは3チャンネルのコントローラを用い、各コントローラについて上述のようなI L Q制御器を用いて300 から600 までサセプタ(ウエハ)を昇温した。A 1 N製サセプタのヒータは同心状に3ゾーンに分割されており、その際の温度応答およびヒータへのパワー入力を図8および図9にそれぞれ示す。図8に示すように、3チャンネルについて均一にかつ速やかに昇温し、しかもオーバーシュートが生じずに目標温度に到達していることが確認された。また、図9に示すように、パワーについても大きなパワーを入力している時間がわずかであり、エネルギー効率が高いことが確認され、しかも電源容量(図9においては100%にて2kW)を考慮した最適な制御量で制御されるため、電源などのハードの故障も減少させることができる。さらに熱電対等のセンサーの1つが故障したとしても、系全体ではフィードバック制御が可能であり、このようにI L Q制御を用いることにより、単に制御することのみに留まらず、システム全体の信頼性を向上させることができる。

10

【 0 0 6 5 】

なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく、種々の変形が可能である。例えば、上記実施形態では、マイクロ波プラズマ処理装置として構成される成膜装置に本発明を適用した場合について示したが、これに限るものではなく、温度制御が必要な処理装置であれば適用可能である。また、チャンバのハウジング部壁部の温度制御を行う場合について主に示したが、これに限らず、チャンバ壁部の他の部分や、チャンバ内外の他の部材の温度制御に適用可能である。例えば既述のシールド蓋体34の温度制御において、チャンバ内にプラズマが発生していないときにはシールド蓋体をヒータで暖めておき、チャンバ内にプラズマが発生しているときにはシールド蓋体を冷却水にて冷却して、蓋体を一定の温度に制御したい要求がある。このようなときに、従来のP I D制御においては、制御系が発振してしまい、加熱、冷却制御を両立することができない。このような場合にI L Q制御を適用すれば、制御系は発振することなく好適な加熱、冷却制御をすることができる。

20

【 0 0 6 6 】

さらに、上記実施形態ではチャンバのハウジング壁部について6チャンネルの制御を行った場合について説明したが、これに限るものではなく、任意のチャンネル数の制御を行うことができる。また、サブヒータユニットを4チャンネル設けて制御するようにしたが、サブヒータユニットのチャンネル数もこれに限るものではない。

30

【 0 0 6 7 】

さらに、複数のヒータユニットおよびサブヒータユニット毎に給電のための電源を設けたが、複数の給電部を有する電源を用いて各給電部からヒータユニットまたはサブヒータユニットに給電するようにしてもよい。

【 0 0 6 8 】

さらにまた、被処理基板として半導体ウエハを用いた場合について示したが、これに限らず、F P D用ガラス基板などの他の基板を被処理基板として用いるものであってもよい。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 9 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態に係る温度制御機構が適用されたマイクロ波プラズマ処理装置を示す概略断面図。

【 図 2 】 図 1 のプラズマ処理装置に用いられる平面アンテナの構造を示す図。

【 図 3 】 図 1 のプラズマ処理装置の温度制御機構を示す水平断面図。

【 図 4 】 図 1 のプラズマ処理装置の温度制御機構に用いられるコントローラを示すブロック図。

【 図 5 】 図 4 のコントローラのブロック線図。

【 図 6 】 本発明の他の実施形態の温度制御機構が適用されたマイクロ波プラズマ処理装置

50

を示す概略断面図。

【図7】図2のプラズマ処理装置の温度制御機構を示す水平断面図。

【図8】本発明の温度制御機構を用いた場合の温度応答の一例を示すグラフ。

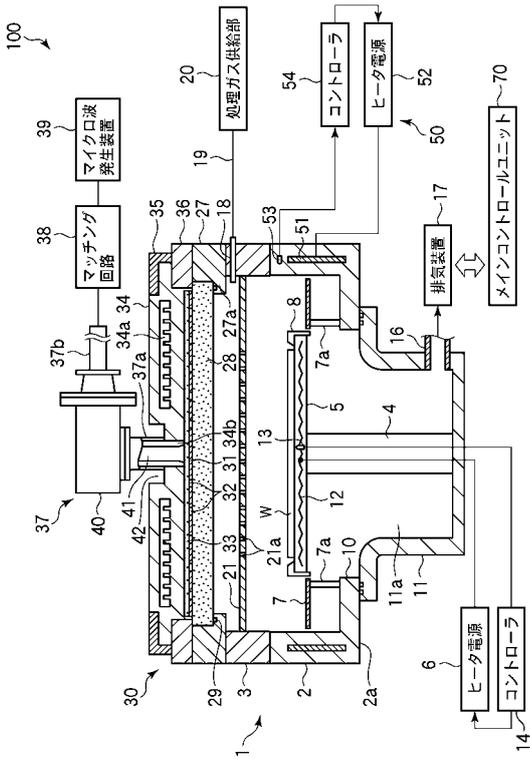
【図9】本発明の温度制御機構を用いた場合のヒータへのパワー入力を示すグラフ。

【符号の説明】

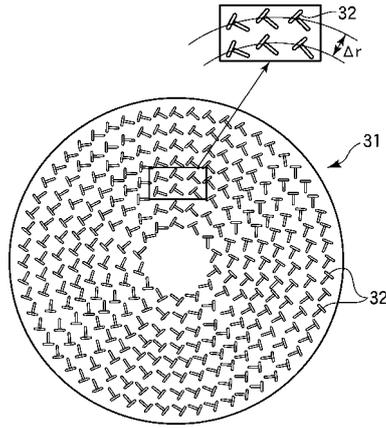
【0070】

- | | |
|-----------------------|----|
| 1 ; チャンバ | |
| 2 ; ハウジング部 | |
| 3 ; チャンバウォール | |
| 4 ; 支持部材 | 10 |
| 5 ; サセプタ | |
| 20 ; 処理ガス供給部 | |
| 21 ; シャワープレート | |
| 24 ; 排気装置 | |
| 27 ; アッププレート (支持部材) | |
| 28 ; 透過板 | |
| 30 ; マイクロ波導入部 | |
| 31 ; 平面アンテナ | |
| 32 ; スロット孔 | |
| 33 ; 遅波材 | 20 |
| 37 ; 導波管 | |
| 39 ; マイクロ波発生装置 | |
| 40 ; モード変換器 | |
| 50 , 90 ; 温度制御機構 | |
| 51 ; ヒータユニット | |
| 53 , 83 ; 熱電対 | |
| 54 , 84 ; コントローラ | |
| 55 ; ゾーン (領域) | |
| 62 ; I L Q 制御器 | |
| 70 ; メインコントロールユニット | 30 |
| 81 ; サブヒータユニット | |
| 100 ; プラズマ処理装置 | |
| W... 半導体ウエハ (基板) | |

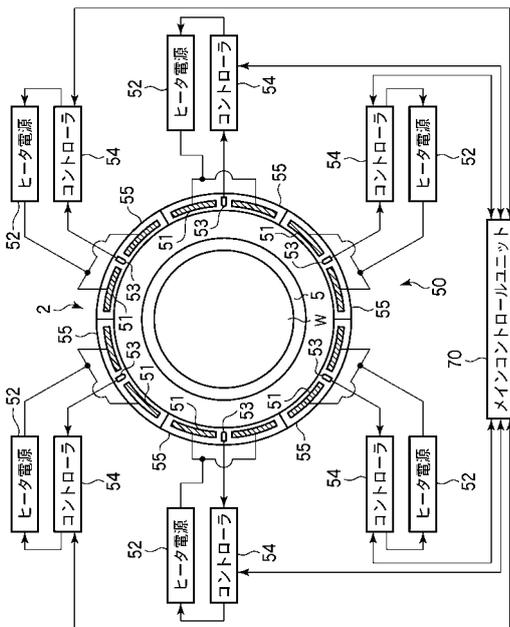
【図1】



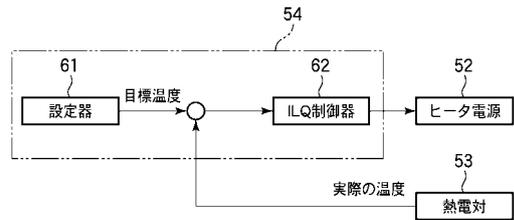
【図2】



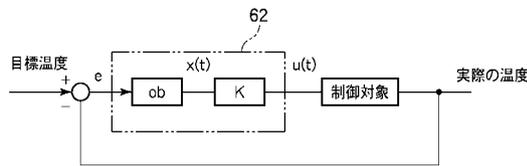
【図3】



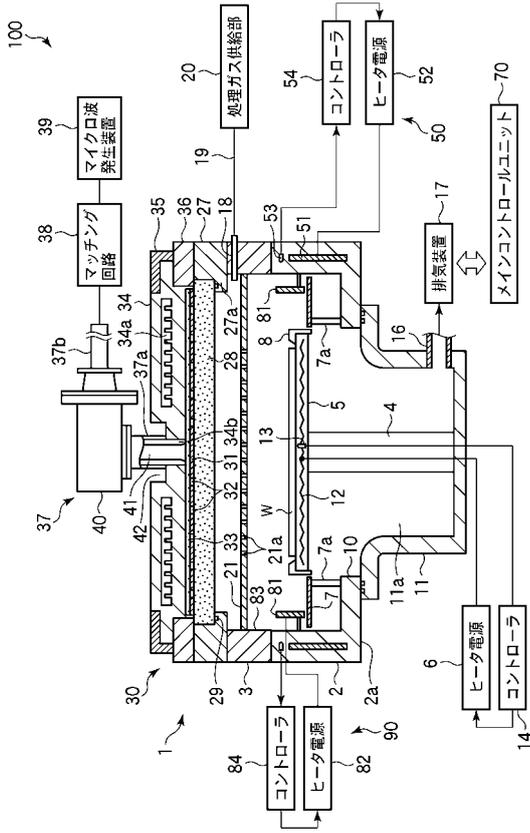
【図4】



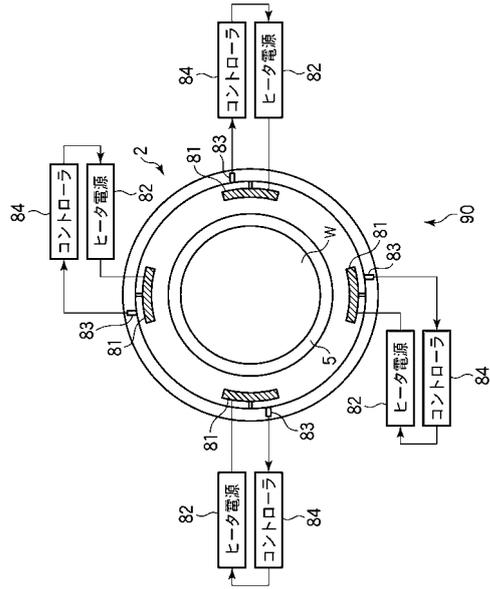
【図5】



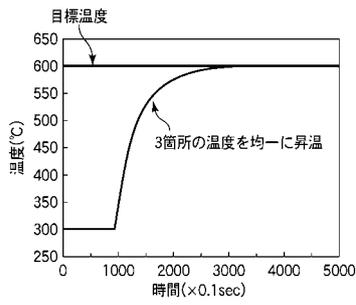
【 図 6 】



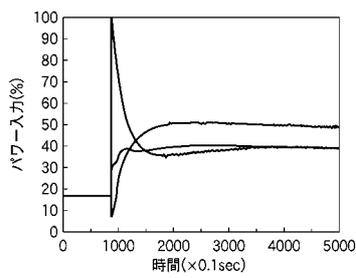
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4K030 CA04 CA12 FA01 FA10 KA09 KA22 LA15
5F004 AA15 BA20 BB18 BB26 BD01 BD04
5F045 BB14 DQ10 EB06 EH02 EK06 EK07