

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4553266号
(P4553266)

(45) 発行日 平成22年9月29日(2010.9.29)

(24) 登録日 平成22年7月23日(2010.7.23)

(51) Int.Cl.		F I	
G05B 13/02	(2006.01)	G05B 13/02	B
G05D 23/19	(2006.01)	G05D 23/19	J
H01L 21/31	(2006.01)	H01L 21/31	E
H01L 21/02	(2006.01)	H01L 21/02	Z

請求項の数 23 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2007-106247 (P2007-106247)	(73) 特許権者	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
(22) 出願日	平成19年4月13日(2007.4.13)	(74) 代理人	100091513 弁理士 井上 俊夫
(65) 公開番号	特開2008-262492 (P2008-262492A)	(72) 発明者	高橋 五郎 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
(43) 公開日	平成20年10月30日(2008.10.30)	(72) 発明者	井上 久司 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
審査請求日	平成20年2月22日(2008.2.22)	(72) 発明者	神田 庄一 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】 熱処理装置、制御定数の自動調整方法及び記憶媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被処理体を処理雰囲気位置させ、加熱手段によりPID制御による温度制御を行って被処理体を熱処理する装置において、

前記加熱手段により加熱される雰囲気の温度を検出する温度検出部と、

被処理体を処理雰囲気位置させた後、当該処理雰囲気目標温度まで昇温する昇温運転を行ったときの温度プロファイルに基づいて得られる温度特性項目について、PID定数の変更率と、当該変更率に応じてPID定数を変更したときに変更前後の温度特性項目の値の変化量の予測値である予測変化量と、を対応付けて作成されたルールテーブルと、

PID定数を設定した後、前記加熱手段により処理雰囲気目標温度まで昇温しながら前記温度検出部の温度検出値に基づいて温度プロファイルを取得し、その温度プロファイルに基づいて温度特性項目の値と温度特性項目の目標値との差分を求める第1のステップ (b1) と、その差分が許容範囲から外れていれば前記ルールテーブルを参照してその差分に応じた当該温度特性項目の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定する第2のステップ (b2) とを、前記差分が許容範囲内になるまで繰り返し実施する実行手段と、

この実行手段により前記第1のステップ (b1) と第2のステップ (b2) とを前記差分が許容範囲内になるまで繰り返し実施するループの中において、前記ルールテーブルを参照してPID定数を変更し、昇温運転を行って得られたPID定数の変更前後の温度特性項目の値の実測変化量と当該PID定数の変更による当該温度特性項目の予測変化量と

10

20

の間に差があるときには、前記実測変化量に基づいて前記ルールテーブルにおけるPID定数の変更率と当該温度特性項目の予測変化量との対応関係を更新する更新手段と、を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項2】

目標値に近づける温度特性項目は複数であり、各温度特性項目の予測変化量に対応するPID定数の変更率が相反するときに優先度の高い温度特性項目について前記差分に応じたPID定数の変更を行うために、複数の温度特性項目の間に優先度が付けられていることを特徴とする請求項1に記載の熱処理装置。

【請求項3】

前記温度特性項目は、前記温度検出部の温度検出値が目標温度を越えたときの目標温度との最大温度差であるオーバーシュート、及び温度検出値が目標温度を越えた後、目標温度を下回ったときの目標温度からの最大落ち込み量であるアンダーシュート、並びに昇温を開始した後、温度検出値が目標温度に対して予め定めた温度範囲内に収まるまでの温度安定時間の少なくとも一つであることを特徴とする請求項1または2に記載の熱処理装置。

10

【請求項4】

前記実行手段は、前記温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲から外れ、かつ許容範囲よりも大きい規定値を越えているときに前記ルールテーブルを用い、その差分に応じた当該温度特性項目の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定するステップを行い、その差分が規定値よりも小さいときには前記ルールテーブルにおける当該温度特性項目の値を変動させるためのPID定数についてルールテーブルを用いずに予め決めた割合だけ変更して再設定するステップを行うことを特徴とする請求項1ないし3のいずれか一つに記載の熱処理装置。

20

【請求項5】

目標値に近づける温度特性項目は複数であり、前記実行手段は、前記ルールテーブルを用いずにPID定数を再設定したときには、当該再設定の前後における昇温運転の間で目標値から外れた温度特性項目に変化があるかないかを判断し、変化がない場合には、目標値から外れた温度特性項目の値を変動させるためのPID定数を予め設定した変更率だけ変更して再設定することを特徴とする請求項4に記載の熱処理装置。

【請求項6】

目標値に近づける温度特性項目は複数であり、前記実行手段は、前記ルールテーブルを用いずにPID定数を再設定したときには、当該再設定の前後における昇温運転の間で目標値から外れた温度特性項目に変化があるかないかを判断し、変化がある場合には、相前後する昇温運転にて使用したPID定数の平均値をPID定数として再設定することを特徴とする請求項4に記載の熱処理装置。

30

【請求項7】

処理雰囲気を複数に分割した各分割領域ごとに加熱手段が設けられ、これら加熱手段が独立してPID制御されるように構成されている請求項1ないし6のいずれか一つに記載の熱処理装置。

【請求項8】

前記処理雰囲気は、複数の被処理体を互いに平行に保持した基板保持具を搬入する反応管により区画形成され、前記加熱手段は、前記処理雰囲気を反応管の長さ方向に分割した各分割領域ごとに設けられていることを特徴とする請求項7に記載の熱処理装置。

40

【請求項9】

前記実行手段は、各分割領域に対応する温度プロファイルに基づいて求めた温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲に入った後、各分割領域に対応する温度プロファイルが揃っているか否かを判断し、揃っていないならば予め定めた規則に基づいて複数の分割領域のうち少なくとも一つの分割領域に対応するPID定数を調整して再設定することを特徴とする請求項7または8に記載の熱処理装置。

50

【請求項 10】

前記実行手段は、各分割領域に対応する温度プロファイルが揃っていないならば、複数の分割領域のうち一つの分割領域に対応する、温度検出値が目標温度に対して予め定めた温度範囲内に収まるまでの温度安定時間に、他の分割領域の温度安定時間を揃えるように当該他の分割領域に対応するPID定数を調整して再設定することを特徴とする請求項9に記載の熱処理装置。

【請求項 11】

前記実行手段は、温度安定時間の予測変化量とPID定数の変更率とを対応付けて作成されたルールテーブルを備え、前記他の分割領域の温度安定時間と前記一の分割領域に対応する温度安定時間との時間差を求め、前記ルールテーブルを参照してその時間差に応じた温度安定時間の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定し、その後請求項1に記載の温度特性項目の値と温度特性項目の目標値との差分を求めるステップ以降を実施すると共に、当該ルールテーブルは前記更新手段により更新されることを特徴とする請求項10に記載の熱処理装置。

10

【請求項 12】

被処理体を処理雰囲気位置させ、加熱手段によりPID制御による温度制御を行って被処理体を熱処理する装置における制御定数の自動調整方法において、

前記加熱手段により加熱される雰囲気の温度を検出する工程(a)と、

PID定数を設定した後、前記加熱手段により処理雰囲気を目標温度まで昇温する昇温運転を行うことにより前記温度検出部の温度検出値に基づいて温度プロファイルを取得し、その温度プロファイルに基づいて温度特性項目の値と温度特性項目の目標値との差分を求める第1のステップ(b1)と、被処理体を処理雰囲気に位置させた後に昇温運転を行ったときの温度プロファイルに基づいて得られる温度特性項目について、PID定数の変更率と、当該変更率に応じてPID定数を変更したときに変更前後の温度特性項目の値の変化量の予測値である予測変化量と、を対応付けて作成されたルールテーブルを用い、前記第1のステップ(b1)で求められた差分が許容範囲から外れていれば前記ルールテーブルを参照してその差分に応じた当該温度特性項目の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定する第2のステップ(b2)とを、前記差分が許容範囲内になるまで繰り返し実施する工程(b)と、

20

前記第1のステップ(b1)と第2のステップ(b2)とを前記差分が許容範囲内になるまで繰り返し実施する前記工程(b)のループ中において、前記ルールテーブルを参照してPID定数を変更し、昇温運転を行って得られたPID定数の変更前後の温度特性項目の値の実測変化量と当該PID定数の変更による当該温度特性項目の予測変化量との間に差があるときには、前記実測変化量に基づいて前記ルールテーブルにおけるPID定数の変更率と当該温度特性項目の予測変化量との対応関係を更新する工程(c)と、を備えたことを特徴とする制御定数の自動調整方法。

30

【請求項 13】

目標値に近づける温度特性項目は複数であり、各温度特性項目の予測変化量に対応するPID定数の変更率が相反するときに優先度の高い温度特性項目について前記差分に応じたPID定数の変更を行うために、複数の温度特性項目の間に優先度が付けられていることを特徴とする請求項12に記載の制御定数の自動調整方法。

40

【請求項 14】

前記温度特性項目は、前記温度検出部の温度検出値が目標温度を越えたときの目標温度との最大温度差であるオーバーシュート、及び温度検出値が目標温度を越えた後、目標温度を下回ったときの目標温度からの最大落ち込み量であるアンダーシュート、並びに昇温を開始した後、温度検出値が目標温度に対して予め定めた温度範囲内に収まるまでの温度安定時間の少なくとも一つであることを特徴とする請求項12または13に記載の制御定数の自動調整方法。

【請求項 15】

前記ステップ(b2)は、前記温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲から外れ

50

、かつ許容範囲よりも大きい規定値を越えているときに前記ルールテーブルを用い、その差分に応じた当該温度特性項目の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定するステップと、その差分が規定値よりも小さいときには前記ルールテーブルにおける当該温度特性項目の値を変動させるためのPID定数についてルールテーブルを用いずに予め決めた割合だけ変更して再設定するステップとを含むことを特徴とする請求項12ないし14のいずれか一つに記載の制御定数の自動調整方法。

【請求項16】

目標値に近づける温度特性項目は複数であり、前記ルールテーブルを用いずにPID定数を再設定するステップは、当該再設定の前後における昇温運転の間で目標値から外れた温度特性項目に変化があるかないかを判断し、変化がない場合には、目標値から外れた温度特性項目の値を変動させるためのPID定数を予め設定した変更率だけ変更して再設定するステップを含むことを特徴とする請求項15に記載の制御定数の自動調整方法。

10

【請求項17】

目標値に近づける温度特性項目は複数であり、前記ルールテーブルを用いずにPID定数を再設定するステップは、当該再設定の前後における昇温運転の間で目標値から外れた温度特性項目に変化があるかないかを判断し、変化がある場合には、相前後する昇温運転にて使用したPID定数の平均値をPID定数として再設定することを特徴とする請求項15に記載の制御定数の自動調整方法。

【請求項18】

処理雰囲気を複数に分割した各分割領域ごとに加熱手段が設けられ、これら加熱手段が独立してPID制御されることを特徴とする請求項12ないし17のいずれか一つに記載の制御定数の自動調整方法。

20

【請求項19】

前記処理雰囲気は、複数の被処理体を互いに平行に保持した基板保持具を搬入する反応管により区画形成され、前記加熱手段は、前記処理雰囲気を反応管の長さ方向に分割した各分割領域ごとに設けられていることを特徴とする請求項18に記載の制御定数の自動調整方法。

【請求項20】

前記工程(b)は、各分割領域に対応する温度プロファイルに基づいて求めた温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲に入った後、各分割領域に対応する温度プロファイルが揃っているか否かを判断し、揃っていなければ予め定めた規則に基づいて複数の分割領域のうち少なくとも一つの分割領域に対応するPID定数を調整して再設定するステップを含むことを特徴とする請求項18または19に記載の制御定数の自動調整方法。

30

【請求項21】

請求項20に記載された前記ステップは、各分割領域に対応する温度プロファイルが揃っていなければ、複数の分割領域のうち一つの分割領域に対応する、温度検出値が目標温度に対して予め定めた温度範囲内に収まるまでの温度安定時間に、他の分割領域の温度安定時間を揃えるように当該他の分割領域に対応するPID定数を調整して再設定するステップを含むことを特徴とする請求項20に記載の制御定数の自動調整方法。

【請求項22】

温度安定時間の予測変化量とPID定数の変更率とを対応付けて作成されたルールテーブルを更に用い、請求項21に記載された前記ステップは、前記他の分割領域の温度安定時間と前記一の分割領域に対応する温度安定時間との時間差を求め、当該ルールテーブルを参照してその時間差に応じた温度安定時間の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定し、その後請求項12に記載の温度特性項目の値と温度特性項目の目標値との差分を求めるステップ以降を実施すると共に、当該ルールテーブルは前記更新手段により更新されることを特徴とする請求項21に記載の制御定数の自動調整方法。

40

【請求項23】

被処理体を処理雰囲気に位置させ、加熱手段によりPID制御による温度制御を行って

50

被処理体を熱処理する装置に用いられるコンピュータプログラムを記憶する記憶媒体であって、

前記プログラムは、請求項 1 2 ないし請求項 2 2 のいずれか一つに記載の制御定数の自動調整方法を実施するようにステップが組まれていることを特徴とする記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、P（比例要素）I（積分要素）D（微分要素）制御による温度制御を行って被処理体を熱処理する装置において、PID定数を自動でチューニングする技術に関する。

10

【背景技術】

【0002】

半導体製造装置の中には、バッチ式あるいは枚葉式の熱処理装置があり、これらは処理雰囲気を複数のゾーンに分割して各ゾーンごとに温度制御を行っている。例えば縦型熱処理装置では、縦型の反応管内を上下に複数のゾーンに分割し、各ゾーンごとにヒータ及び温度コントローラが設けられ、また温度検出部としては反応管内に設けられた内部温度検出部、反応管の外に設けられた外部温度検出部、あるいは基板の近傍に配置したプロファイル用温度検出部などを用いて、所定の温度特性の合わせ込みを行っている。この場合、通常PID制御が行われるが、一方において各段のヒータ、チューニング対象（温度検出部の種別）、レシピ（昇温ステップの設定パターンなども含む意味である）に応じて様々な温度特性結果が要求され、このため要求に応じた最適なPID定数を用いることが必要である。

20

【0003】

このようなPID定数のチューニングを行う手法としては、ある大きさのパワーをヒータにステップ状に入力してそのアウトプットを例えば内部温度検出部から求め、このときの伝達関数、周波数、振幅からPID定数を計算する手法が知られており、求めたPID定数を全てのレシピに適用していた。この計算のアルゴリズムとして限界感度法、ファジー、モデル適用などがあるが、次のような問題がある。

【0004】

限界感度法またはモデル適用を複数段のヒータに適用した場合、各ヒータの間での干渉が大きいためオートチューニングを適切に行えないことがあるし、これらはカスケード制御への適用が困難であった。またファジーまたはモデル適用はハード構成やチューニングするレシピが変わった場合、それに伴ってモデルまたは評価関数の係数を変更することが必要であり、そのための開発工数が膨大となる。更にまた、従来手法ではレシピに応じた最適なPID定数を求めることができないし、温度制御ゾーン間での温度特性を調整することができない。更にまた温度を目標値まで昇温したときのオーバーシュート、アンダージュート、リカバリ時間、ゾーン間の温度差のいずれかをどのように改善するかについてユーザのニーズと異なる場合がある。加えてハード構成が変わった場合にはチューニング精度が悪くなるなど、オートチューニングの実施については多くの検討事項を抱えているのが実情である。

30

40

【0005】

なお特許文献 1 には、はじめにPID定数を粗設定し、プロセスに外乱を与えて制御性測定値を求め、この測定値に基づいてPID定数を変更し、このような操作を順次繰り返してPID定数を自動的に調整する手法が開示されている。しかしながらこの手法は、制御性が良化したり悪化したりすることに対応してPID定数を変更しているため、PIDを適切な値に収束させることが困難であり、また収束できたとしても相当の試行回数を踏まなければならない。

【0006】

【特許文献 1】特開昭 5 6 - 1 5 3 4 0 4 号公報：特許請求の範囲

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明はこのような事情の下になされたものであり、PID制御による温度制御を行って被処理体を熱処理する装置において、確実にかつ容易にPID定数のチューニングを行うことができる技術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】

【0008】

本発明は、被処理体を処理雰囲気位置させ、加熱手段によりPID制御による温度制御を行って被処理体を熱処理する装置において、

前記加熱手段により加熱される雰囲気の温度を検出する温度検出部と、

被処理体を処理雰囲気に位置させた後、当該処理雰囲気を目標温度まで昇温する昇温運転を行ったときの温度プロファイルに基づいて得られる温度特性項目について、PID定数の変更率と、当該変更率に応じてPID定数を変更したときに変更前後の温度特性項目の値の変化量の予測値である予測変化量と、を対応付けて作成されたルールテーブルと、

PID定数を設定した後、前記加熱手段により処理雰囲気を目標温度まで昇温しながら前記温度検出部の温度検出値に基づいて温度プロファイルを取得し、その温度プロファイルに基づいて温度特性項目の値と温度特性項目の目標値との差分を求める第1のステップ(b1)と、その差分が許容範囲から外れていれば前記ルールテーブルを参照してその差分に応じた当該温度特性項目の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定する第2のステップ(b2)とを、前記差分が許容範囲内になるまで繰り返し実施する実行手段と、

この実行手段により前記第1のステップ(b1)と第2のステップ(b2)とを前記差分が許容範囲内になるまで繰り返し実施するループの中において、前記ルールテーブルを参照してPID定数を変更し、昇温運転を行って得られたPID定数の変更前後の温度特性項目の値の実測変化量と当該PID定数の変更による当該温度特性項目の予測変化量との間に差があるときには、前記実測変化量に基づいて前記ルールテーブルにおけるPID定数の変更率と当該温度特性項目の予測変化量との対応関係を更新する更新手段と、を備えたことを特徴とする。PID定数とは、P、I、Dの定数のうちの少なくとも一つという意味である。

また上記熱処理装置は、目標値に近づける温度特性項目は複数であり、各温度特性項目の予測変化量に対応するPID定数の変更率が相反するときのために、複数の温度特性項目の間に優先度が付けられるようにしてもよい。また前記温度特性項目は、前記温度検出部の温度検出値が目標温度を越えたときの目標温度との最大温度差であるオーバーシュート、及び温度検出値が目標温度を越えた後、目標温度を下回ったときの目標温度からの最大落ち込み量であるアンダーシュート、並びに昇温を開始した後、温度検出値が目標温度に対して予め定めた温度範囲内に収まるまでの温度安定時間の少なくとも一つである。

さらに上記熱処理装置において、前記実行手段は前記温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲から外れかつ規定値よりも大きいときに前記ルールテーブルを用い、その差分が規定値よりも小さいときには前記ルールテーブルを用いずにPID定数を変更するようにしてもよい。この場合、目標値に近づける温度特性項目は複数であり、前記実行手段は、前記ルールテーブルを用いずにPID定数を変更するときに相前後するサイクルの間で目標値から外れた温度特性項目に変化がない場合には、その温度特性項目に影響を与えるPID定数を予め設定した変更率だけ変更するようにしてもよいし、目標値に近づける温度特性項目は複数であり、前記実行手段は、前記ルールテーブルを用いずにPID定数を変更するときに相前後するサイクルの間で目標値から外れた温度特性項目に変化がある場合には、相前後するサイクルの間で使用したPID定数の平均値を使用するようにしてもよい。

【0009】

また上記熱処理装置において、処理雰囲気を複数に分割した各分割領域ごとに加熱手段が設けられ、これら加熱手段が独立してPID制御されるように構成してもよい。具体的

10

20

30

40

50

には、前記処理雰囲気は複数の被処理体を互いに平行に保持した基板保持具を搬入する反応管により区画形成され、前記加熱手段は、前記処理雰囲気を反応管の長さ方向に分割した各分割領域ごとに設ける。この構成において、前記実行手段は各分割領域に対応する温度プロファイルに基づいて求めた温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲に入った後、各分割領域に対応する温度プロファイルが揃っているか否かを判断し、揃っていなければ予め定めた規則に基づいて複数の分割領域のうちの少なくとも一つの分割領域に対応するPID定数を調整する。より具体的には各分割領域に対応する温度プロファイルが揃っていなければ、複数の分割領域のうちの一つの分割領域に対応する、温度検出値が目標温度に対して予め定めた温度範囲内に収まるまでの温度安定時間に、他の分割領域の温度安定時間を揃えるように当該他の分割領域に対応するPID定数を調整する。また前記実行手段は、温度安定時間の予測変化量とPID定数の変更率とを対応付けて作成されたルールテーブルを備え、前記他の分割領域の温度安定時間と前記一の分割領域に対応する温度安定時間との時間差を求め、前記ルールテーブルを参照してその時間差に応じた温度安定時間の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定し、その後上述したように記載の温度特性項目の値と目標値との差分を求めるステップ以降を実施すると共に、当該ルールテーブルは前記更新手段により更新されるようにしてもよい。

また本発明に係る制御定数の自動調整方法は、被処理体を処理雰囲気に位置させ、加熱手段によりPID制御による温度制御を行って被処理体を熱処理する装置における制御定数の自動調整方法において、

前記加熱手段により加熱される雰囲気の温度を検出する工程(a)と、

PID定数を設定した後、前記加熱手段により処理雰囲気を目標温度まで昇温する昇温運転を行うことにより前記温度検出部の温度検出値に基づいて温度プロファイルを取得し、その温度プロファイルに基づいて温度特性項目の値と温度特性項目の目標値との差分を求める第1のステップ(b1)と、被処理体を処理雰囲気に位置させた後に昇温運転を行ったときの温度プロファイルに基づいて得られる温度特性項目について、PID定数の変更率と、当該変更率に応じてPID定数を変更したときに変更前後の温度特性項目の値の変化量の予測値である予測変化量と、を対応付けて作成されたルールテーブルを用い、前記第1のステップ(b1)で求められた差分が許容範囲から外れていれば前記ルールテーブルを参照してその差分に応じた当該温度特性項目の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定する第2のステップ(b2)とを、前記差分が許容範囲内になるまで繰り返し実施する工程(b)と、

前記第1のステップ(b1)と第2のステップ(b2)とを前記差分が許容範囲内になるまで繰り返し実施する前記工程(b)のループの中において、前記ルールテーブルを参照してPID定数を変更し、昇温運転を行って得られたPID定数の変更前後の温度特性項目の値の実測変化量と当該PID定数の変更による当該温度特性項目の予測変化量との間に差があるときには、前記実測変化量に基づいて前記ルールテーブルにおけるPID定数の変更率と当該温度特性項目の予測変化量との対応関係を更新する工程(c)と、を備えたことを特徴とする。なお、制御定数の自動調整方法においては主発明のみを述べている。

また本発明は、被処理体を処理雰囲気に位置させ、加熱手段によりPID制御による温度制御を行って被処理体を熱処理する装置に用いられるコンピュータプログラムを記憶する記憶媒体であって、前記プログラムは、上述した制御定数の自動調整方法を実施するようにステップが組まれていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、PID制御による温度制御を行って被処理体を熱処理する装置において、PID定数を設定した後、処理雰囲気を昇温させて温度プロファイルを取得し、温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲から外れていればルールテーブルを参照してその

10

20

30

40

50

差分に応じた当該温度特性項目の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定し、その後、前記差分が許容範囲内になるまで同様のステップを繰り返すと共に、前記ルールテーブルを使用した後の温度特性項目の実測変化量に基づいてルールテーブルにおけるPID定数と当該温度特性項目の予測変化量との対応関係を更新するようにしてルールテーブルに学習機能を持たせているので、確実にかつ容易にPID定数を適切な値に自動設定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

図1は本発明を縦型熱処理装置に適用した実施の形態の全体構成図である。先ずこの縦型熱処理装置の全体構成について簡単に述べておくと、図1中2は例えば石英により縦型の円筒状に形成された反応容器であり、この反応容器2の下端は、搬入出口（炉口）として開口され、その開口部21の周縁部にはフランジ22が一体に形成されている。前記反応容器2の下方には、フランジ22の下面に当接して開口部21を気密に閉塞する石英製の蓋体23が設けられている。前記蓋体23の中央部には回転軸24が貫通して設けられ、その上端部には、基板保持具であるウエハポート25が搭載されている。このウエハポート25は、多数の基板であるウエハWを棚状に保持できるように構成されている。前記回転軸24の下部には、当該回転軸24を回転させる駆動部をなすモータMが設けられており、蓋体23の上には前記回転軸24を囲むように保温ユニット27が設けられている。

10

【0012】

前記反応容器2の下部のフランジ22には、反応容器2内のウエハWにガスを供給するためのL字型のインジェクタ28が挿入して設けられており、インジェクタ28を介して反応容器2の中に成膜に必要なガスを供給できるようになっている。また反応容器2の上方には、反応容器2内を排気するための排気口が形成されており、この排気口には、反応容器2内を所望の真空度に減圧排気可能な真空排気手段をなす真空ポンプ29を備えた排気管30が接続されている。

20

【0013】

前記反応容器2の周囲には筒状の断熱層31がベース体32に固定して設けられており、この断熱層31の内側には加熱手段をなす抵抗発熱体からなるヒータが例えば上下に複数分割して設けられている。この例では分割数は例えば4段とされ、分割されたヒータには1段目から順に41～44の符号を割り当てるものとする。そしてウエハの加熱処理雰囲気は加熱制御をする上で上下方向に4つのゾーン（上段、中上段、中下段、下段）に分けられており、これらヒータ41～44は、4つのゾーン（分割領域）の加熱を受け持つように構成されている。

30

【0014】

また反応容器2内には、各ヒータ41～44に対応した高さ位置に夫々内部温度検出部に相当する例えば熱電対からなる内部温度センサーTC1～TC4が設けられている。これら内部温度センサーTC1～TC4は、例えば蓋体23に取り付けられたロッド4に設けられている。また各ヒータ41～44に対応して電源部（電力供給部）51～54が設けられている。

40

【0015】

この縦型熱処理装置は、前記4つのゾーンの温度制御を行うために各段のヒータの電源部51～54に対応して設けられた4つの温度コントローラ61～64と、各温度コントローラ61～64の温度設定値やPID設定などの後述の制御動作を行うための制御部7と、を備えている。前記温度コントローラ61～64は、各ヒータ41～44が受け持つゾーンの温度設定値と、内部温度センサーTC1～TC4の温度検出値との偏差分を後述するPID演算部61aにより夫々演算して各ヒータ41～44の電力指令値を夫々電源部51～54に与えるものである。

次に制御部7に関して図2を参照しながら詳述する。図2において80はバスであり、このバス80にチューニング条件設定部81、レシピ実行プログラム82、チューニングブ

50

プログラム 83、ルールテーブル 84、CPU 85 などからなり、コンピュータを構成する制御部 7 が接続されている。図 2 ではこれらを機能的に表現しブロック化して表している。レシピ実行プログラム 82 やチューニングプログラム 83 は、例えばハードディスク、コンパクトディスク、マグネットオプティカルディスク、メモリーカード等の記憶媒体に格納され、そこからコンピュータにインストールされる。

【0016】

レシピ実行プログラム 82 は、予め用意された複数種類のレシピの中から選択されたレシピを実行するためのものである。レシピは時間ごとに処理パラメータ(温度、圧力、ガスの種類、ガス流量)をどのようにするかという情報を記載したものであり、プログラムがこの内容を読み出して順次制御機器を制御する。

10

【0017】

チューニング条件設定部 81 は、例えばソフトスイッチを介して、各種のチューニング条件の設定を当該縦型熱処理装置の制御システム管理者等より受け付ける機能を果たす。このチューニング条件設定部 81 では、チューニング対象、チューニング制御モード、各種温度特性項目の目標値及びこれら温度特性項目間の優先度等の条件が設定される。

【0018】

チューニング対象は、既述の 4 つのゾーンに分割された各段のヒータ 41 ~ 44 に夫々対応して反応容器 2 内に設けられた 4 つの内部温度センサー TC1 ~ TC4 であり、夫々の内部温度センサー TC1 ~ TC4 に対応する温度コントローラ 61 ~ 64 に対して、PID 定数のチューニングを行うか否かを選択することができる。

20

【0019】

ところで熱処理装置の種類によっては、反応管の外に各ゾーンのヒータ 41 ~ 44 に対応する外部温度検出器を設け、この外部温度検出器に基づいて温度プロファイルを調整する場合があります。また背景技術の項目にて記載したようにメンテナンス時などにウエハの近傍にて各ゾーンごとにプロファイル用の温度検出器を設ける場合がある。このためチューニング対象はこの実施の形態のように内部温度センサー TC1 ~ TC4 とすることに限定されず、チューニング条件設定部 81 は、いずれの種別の温度検出部を用いるかを設定することができる。

【0020】

チューニング制御モードとしては、カスケード方式やレシオミックス制御方式などが挙げられる。

30

【0021】

次に、このチューニング条件設定部 81 にて設定される各種温度特性項目について図 3 を参照しながら説明する。図 3 は、実施の形態に係る温度コントローラ 61 ~ 64 を用いてヒータ 41 ~ 44 の温度制御を行った結果、内部温度センサー TC1 ~ TC4 により検出される反応容器 2 内の温度プロファイル(温度推移データ)をモデル的に示している。例えば当該反応容器 2 内の温度(プロセス温度)を予熱温度から予め決めた目標値まで昇温する温度制御(PID 制御)を行うと、反応器内温度は温度制御開始直後に上昇して目標値を一旦超えた後、目標値を下回ったり超えたりしながら次第に目標温度へと収束する挙動を示す。

40

【0022】

このような典型的な温度プロファイルに対して、本実施の形態においては(1)目標値を超えた反応器内温度と目標値との最大差(絶対値)を示す「オーバーシュート」(図中の温度差「a」に相当する)、(2)一旦目標値を超えた後、目標値を下回った反応器内温度と目標値との最大差(絶対値)を示す「アンダーシュート」(図中の温度差「b」に相当する)、(3)反応器内温度の温度変化が目標温度範囲(目標値を中心値とする予め設定した、例えば中心値プラスマイナス 1 の温度範囲)内に収束するまでの時間を示す「リカバリ時間」(図中の時間「c」に相当する)及び(4)4 つに分割されたゾーン間の最大温度差を示す「ゾーン間温度差」の 4 種類の温度特性項目について目標値を設定し、設定された目標値に基づいて各温度コントローラ 61 ~ 64 の PID 定数をオートチュ

50

ーニングできるようになっている。

【 0 0 2 3 】

また、これらの夫々の温度特性項目に対して目標値を設定し、その目標値に基づいて P I D 定数をチューニングすると、最適なチューニング結果が温度特性項目に応じて異なる場合も生じるので、即ち温度特性項目の予測変化量に対応する P I D 定数の変更率が相反する場合も生じるので、こうした場合にいずれの温度特性項目を優先してチューニングするかを決定する温度特性項目間の優先度もチューニング条件設定部 8 1 にて設定できる。

【 0 0 2 4 】

図 2 の制御部 7 の説明に戻ると、チューニングプログラム 8 3 は、P I D 定数の各値を決めて昇温運転 (R U N) を行った後、当該昇温運転における内部温度センサー T C 1 ~ T C 4 からの温度検出値に基づいて温度プロファイル (温度推移データ) を作成し、この温度プロファイルを解析した結果及び後述するルールテーブル 8 4 を参照して P I D 定数の各値を調整する一連の処理を行うように構成されている。

10

【 0 0 2 5 】

ルールテーブル 8 4 は、図 4 (a) ~ 図 4 (c) に示すように各温度特性項目の値の変動量の予測値と P I D 定数の変更率とを対応付けたテーブルである。ルールテーブル 8 4 は、温度特性項目ごとに設けられ、これら夫々の温度特性項目について、プロセス温度の目標値を例えば 1 0 0 単位で区切ったプロセス温度帯ごとにルールテーブル 8 4 が設けられている。ここで図 4 (a) は、オーバーシュートの温度特性項目に関するルールテーブル 8 4 a であり、図 4 (b)、図 4 (c) は夫々アンダーシュート、リカバリ時間に関するルールテーブル 8 4 b、8 4 c である。

20

【 0 0 2 6 】

例えば温度特性項目の一つ、オーバーシュート (プロセス温度帯 4 0 0) のルールテーブル 8 4 a について、図 4 (a) を参照しながら具体例を説明する。ルールテーブル 8 4 a は、一番左側の列を第 1 列とすると、第 1 列に当該ルールテーブル 8 4 a の適用されるプロセス温度帯、第 2 列にオーバーシュートの変動量の予測値、第 3 列 ~ 第 5 列に、第 2 列の予測値に対応した P I D 定数の変更率が記載されている。

【 0 0 2 7 】

例えば、このルールテーブル 8 4 a の 3 行目に着目すると、I の変更率を 0 . 5 5 としたとき、オーバーシュートの変動量の予測値は 3 であり、オーバーシュートを 3 小

30

【 0 0 2 8 】

更にチューニングプログラム 8 3 は、ルールテーブル 8 4 を用いて R U N を行った結果に基づいて、ルールテーブル 8 4 をより適切なものに修正する学習機能を実施するプログラムを備えている。この学習機能を簡単に説明すると、既存のルールテーブル 8 4 a にてオーバーシュートが 3 小さくなるであろうと予測して R U N を行ったところ、実際には 2 小さくなった場合には、実際の R U N の結果に基づいてルールテーブル 8 4 a の 3

40

【 0 0 2 9 】

実際の R U N 結果は、図 4 (a) に示した予測値の間の値となる場合が多く、このような場合には、得られた R U N 結果に基づいて変更する予測値を補間したり、予め決められた規則により修正したりすることとなるが、これらについては全体のフローの説明の箇所にて詳述することとする。またチューニングプログラム 8 3 は、この他、R U N により得られた温度プロファイルに基づいて P I D 定数の調整作業の内容を種々に場合分けして実行する機能を備えている。

なお特許請求の範囲における実行手段は、レシピ実行プログラム 8 2 及びチューニングプログラム 8 3 の一部に相当し、更新手段は、チューニングプログラム 8 3 の一部に相当

50

する。

【 0 0 3 0 】

以下、図 5 に示したフローチャートに基づいて、前述のチューニングプログラム 8 3 によって実行されるオートチューニング動作の内容について説明する。

【 0 0 3 1 】

P I D 定数のオートチューニングは、例えば装置の立ち上げ時やメンテナンス等の後、縦型熱処理装置の稼働を開始する際等に行われ、先ず既述のチューニング条件設定部 8 1 を介してチューニング条件が設定される（ステップ S 1）。

【 0 0 3 2 】

チューニング条件の設定においては、今回チューニング対象となる内部温度センサー T C 1 ~ T C 4 を選択する。そして、夫々の内部温度センサー T C 1 ~ T C 4（以下、系統ともいう）について、オーバーシュート、アンダーシュート、リカバリ時間及びゾーン間温度差の例えば 4 つの温度特性項目全てについての目標値を設定し、更にこれら温度特性項目間の優先度を設定する。ここで目標値の設定にあたっては、許容範囲の設定も行うようになっており、以下、温度特性項目が目標値を中心とする許容範囲内にあることを「目標値以内にある」と表現する。

【 0 0 3 3 】

これらの設定を終えたら、ウエハポート 2 5 にダミーウエハを載置して、例えば不活性ガスを流しながら反応容器 2 内の温度を例えば 2 0 0 から目標値 4 0 0 まで昇温するレシピを実行し、当該昇温動作における温度プロファイルを取得する（ステップ S 2）。実際の熱処理ではウエハを反応管 2 内に搬入した後、反応管 2 内の温度が安定するまで待機し、その後プロセス温度（目標温度）に向けて昇温するようにしていることから、オートチューニングの段階においても昇温開始の状態は、反応管 2 内の温度が安定している状態である。そしてこのとき各ゾーンの温度は、夫々の内部温度センサー T C 1 ~ T C 4 に接続された温度コントローラ 6 1 ~ 6 4 によって P I D 制御され、その P I D 演算は P I D 定数として既述の標準値（例えば図 4 に示したルールテーブル 8 4 a では、 $P = 1 0 0 0$ 、 $I = 1 0 0 0$ 、 $D = 1 0 0 0$ に設定されている）を使用して行われる。

【 0 0 3 4 】

このようにして各ゾーンの温度プロファイルを取得したら、取得した温度プロファイルに基づいて各種温度特性項目の解析を行う（ステップ S 3）。即ち、4 系統夫々についての温度プロファイルから、オーバーシュート、アンダーシュート、リカバリ時間を求め、ゾーン間温度差については、例えば上記レシピの実行中に、一定間隔ごとにサンプリングした 4 系統の温度を互いに比較して、その最高温度と最低温度との温度差を求める演算を行い、こうして得られた温度差プロファイルの最大値をゾーン間温度差としている。

【 0 0 3 5 】

以上の温度特性項目の解析を終えたら、4 系統夫々のオーバーシュート、アンダーシュート、リカバリ時間（以下、オーバーシュート等という）が目標値以内となったか否かを確認する（ステップ S 4）。全系統についてこれらオーバーシュート等の値が目標値以内であった場合には（ステップ S 4 ; Y）、更にゾーン間温度差も目標値以内となったか否かを確認し（ステップ S 6）、その結果が目標値以内であった場合には（ステップ S 6 ; Y）チューニングの必要がないので、P I D 定数の標準値を変更せずにオートチューニング動作を終了する（エンド）。

【 0 0 3 6 】

一方、オーバーシュート等のいずれかの温度特性項目について、1 系統でも目標値以内とならないものがあつた場合には（ステップ S 4 ; N）、目標値以内とならなかった温度特性項目に対応する P I D 定数の再設定値を算出し（ステップ S 5）、目標値を外れた温度コントローラ 6 1 ~ 6 4 に対して、その再設定の結果を反映する（ステップ S 6）。

【 0 0 3 7 】

こうして温度コントローラ 6 1 ~ 6 4 への P I D 定数の再設定を終えたら、レシピの実行と温度プロファイルの取得（ステップ S 2）、温度特性項目の解析（ステップ S 3）、

10

20

30

40

50

オーバーシュート等の値を目標値と対比する動作（ステップ S 4）を全系統の温度特性項目の値が目標値以内（ステップ S 4； Y）となるまで繰り返す。

【 0 0 3 8 】

一方、オーバーシュート等の値が目標値以内となったにも拘わらず（ステップ S 4； Y）、ゾーン間温度差のみが目標値以内とならなかった場合には（ステップ S 6； N）、当該温度ゾーン間温度差に対応する P I D 定数の再設定値を算出し（ステップ S 7）、目標値を外れた温度コントローラ 6 1 ~ 6 4 にその結果を反映して（ステップ S 8）、オーバーシュート等の値が外れた場合と同様に、温度プロファイルの再取得、温度特性項目の解析（ステップ S 2 ~ S 4； Y、 S 6）を当該ゾーン間温度差が目標値以内（ステップ S 6； Y）となるまで繰り返す。

10

【 0 0 3 9 】

このように、本実施の形態に係るチューニングプログラム 8 3 は、温度特性項目の値が目標値以内となるまで、温度コントローラ 6 1 ~ 6 4 に対して P I D 定数の再設定を繰り返す。以下、この再設定を行う際に用いる P I D 定数の算出法について、（ア）オーバーシュート等に対応する P I D 定数の算出法と、（イ）ゾーン間温度差に対応する P I D 定数の算出法とに分けて説明する。

【 0 0 4 0 】

（ア）オーバーシュート等に対応する P I D 定数の算出法

図 6 は、オーバーシュート等に対応する P I D 定数を算出する動作のフローを示している（図 5 のステップ S 5 に対応する）。既述のように、図 5 のステップ S 4 にてオーバーシュート等の温度特性項目の値が目標値を外れた系統があった場、つまり温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲から外れた系統があった場合には（ステップ S 4； N）、外れた温度特性項目の値と目標値との差が予め定めておいた規定値以下となっているか否かを判断する（ステップ S 5 0 1）。

20

【 0 0 4 1 】

ここで規定値とは、後述する 3 種類の P I D 定数の算出法のうち、いずれの手法を用いるかの判断を行う基準の一つであり、目標値に対する既述の許容範囲よりも大きな値に設定されている。そして、上述の温度特性項目の値と目標値との差が規定値よりも大きくなった場合には（ステップ S 5 0 1； N）、その温度プロファイルを取得する際に用いた P I D 定数を大幅に変更する必要があるため、先述のルールテーブル 8 4 を利用して P I D 定数を算出する（ステップ S 5 0 2 ~ S 5 0 4）。一方、この差が規定値以下であった場合には（ステップ S 5 0 1； Y） P I D 定数を大幅に変更する必要はないため、 P I D 定数の変化が比較的小さな算出法を用いる（ステップ S 5 0 5 ~ S 5 0 8）。以下、これら P I D 定数の算出法について図 6 のフローチャート及び図 7 ~ 図 1 0 の説明図を参照しながら順番に説明する。

30

【 0 0 4 2 】

初めに、ルールテーブル 8 4 を利用する場合について説明すると、温度特性項目の値と目標値との差が規定値よりも大きい場合には（ステップ S 5 0 1； N）、現在の R U N が 1 回目であるか否かを確認する（ステップ S 5 0 2）。当該 R U N がルールテーブル 8 4 を用いて P I D 定数を修正する 1 回目の R U N であれば（ステップ S 5 0 2； Y）、そのままルールテーブル 8 4 を参照して P I D 定数を算出するステップへと進む（ステップ S 5 0 4）。一方で、当該 R U N がルールテーブル 8 4 を用いて P I D 定数を修正する 2 回目以降の R U N である場合には（ステップ S 5 0 2； N）、これら複数の R U N で得られた温度プロファイルを利用して、ルールテーブル 8 4 をより適切なものに更新する学習機能を実施した後（ステップ S 5 0 3）、更新されたルールテーブル 8 4 に基づいて P I D 定数の算出を行う（ステップ S 5 0 4）。

40

【 0 0 4 3 】

ルールテーブル 8 4 に基づく P I D 定数の算出（ステップ S 5 0 4）においては、図 4（ a ）にてオーバーシュートの例を用いて既に説明したように、目標値以内とならなかった温度特性項目について、これを目標値と一致させるのに必要な変動量を特定し、その変

50

動量に対応する変更率をPID定数の標準値に掛け算して得られた値を修正後のPID定数とする。

【0044】

図7には、図4(a)に示したルールテーブル84aを再記してある。このルールテーブル84aによれば、必要な変化量が1.5、3であった場合には各行に記載されている変更率を採用してPID定数を算出すればよい。一方で、必要な変化量がこれらの値と一致しなかった場合には、図7に示すように、ルールテーブル84aに記載された3点のデータに基づいて例えば最小自乗法等により近似式を作成し、この近似式に上記の変化量を代入することにより変更率を得る。

【0045】

例えば図7に示した例においては、温度帯400のオーバーシュートのルールテーブル84aに基づいて得られる近似式は、 $y = 0.0556x^2 - 0.3167x + 1$ となっている。ここで「x」はオーバーシュートの変化量であり、「y」は、I値の変更率である。

【0046】

このとき、あるRUNを行って取得した温度プロファイルから、オーバーシュートを目標値と一致させるのに必要な変化量が2であったとする。2という変化量は、1.5、3のいずれとも一致しないので、前述の近似式に「 $x = 2$ 」を代入する計算を行い、得られた値「 $y = 0.59$ 」をIの変更率としてPID定数の修正に反映することになる。

【0047】

以上に説明した手法に基づいてPID定数の再設定値を算出すると(ステップS504)、この再設定値を温度コントローラ61~64に反映し、再度の温度プロファイル取得が行われる(図5、ステップS8~S3)。そして、2回目以降のRUNにおいても同じ温度特性項目の値が目標値以内とならず(図5のステップS4;N)、更にその温度特性項目の値と目標値との差が規定値を超えている場合には(図6のステップS501;N、S502;N)、当該RUNにより得られた温度プロファイルを用いて学習機能を実施する(ステップS503)。

【0048】

この学習機能について、図4(a)に示したルールテーブル84aを変更する手順を図8、図9を参照しながら説明する。図8はルールテーブル84aの変化量のみを修正するケースの手順であり、図9は変化量とこれに対応する変更率の双方の修正が必要なケースの手順である。なお、以下に示すオーバーシュート等の値は、ルールテーブル84aの変更手順を説明するために便宜的に示したものであり、例えば図6のフローチャートに示した動作を実行する際に得られる値を厳密に示したものではない。

【0049】

初めに図8のケースについて説明すると、まず既述のように、PID定数を標準値として1回目のRUNを行ったところ、オーバーシュートが3であったとする。この場合には、オーバーシュートを目標値と一致させるのに必要な変化量は3であるから、図8(a)の表の3行目の変更率0.55が選択される。

【0050】

この変更率に基づき温度コントローラ61~64のI値を再設定し2回目のRUNを行ったところ、依然として1のオーバーシュートがあった場合には、I値に0.55の変更率を掛け算して得られる変化量は、実際には2であったことがわかる。そこで、ルールテーブル84aをより適切なものに修正するため、図8(b)に示すように変更率0.55に対応する変化量を2に修正する。変化量のみを修正を行う場合には、学習機能はこのような手順にて実施される(ステップS503)。そして、修正されたルールテーブル84aに基づいて新たな近似式を作成し、前記した2回目のRUNのオーバーシュート1を次の変化量としてこの近似式に入力し、こうして得られた変更率に基づいて3回目のRUNを実行するにあたってのPID定数を算出する(ステップS504)。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

次に、図 9 のケースについて説明を行う。図 9 (a) において、1 回目の R U N を行った結果、オーバーシュートが 3 であった場合に、I 値の変更率として 0 . 5 5 を選択する点は図 8 (a) と同様である。この変更率に 2 回目の R U N を行ったところ、依然として 2 のオーバーシュートがあった場合には、I 値に 0 . 5 5 の変更率を掛け算して得られる変化量は、実際には 1 であったことになる。

【 0 0 5 2 】

この場合には、図 9 (a) のルールテーブル 8 4 a のうちいずれの行を修正することが適当であるか判断を行う。ルールテーブル 8 4 a に記載された 0 、 1 . 5 、 3 の 3 点のうち、R U N 2 で実際に得られた変化量に最も近い値は 2 行目の 1 . 5 であるので、この 2 行目の変化量を修正することになる。更に、2 行目に設定されている I 値の変更率は 0 . 6 5 であるため、この値も 0 . 5 5 に修正しなければならない。この結果、図 9 (b) に示すように変化量、変更率の 2 つの値が実際に得られた値に修正される。

【 0 0 5 3 】

このような修正を行ったところ、図 9 (b) では 2 行目と 3 行目において I 値の変更率が同値となってしまっている。このままでは変化量の予測値と I 値の変更率との間に 1 対 1 の対応関係が成り立たなくなってしまうので、更に 3 行目の修正を行う。ここで本実施の形態では、例えば図 9 (a) の 2 行目と 3 行目との間に成り立っていた変化量の変化に対する I 値の変化の傾きが、修正後にも変化しないと仮定し、この関係が保たれるように 3 行目の I 値を修正する (図 9 (c)) 。変化量とこれに対応する変更率の双方を修正する場合には、学習機能はこのような手順にて実施される (ステップ S 5 0 3) 。以下、修正されたルールテーブル 8 4 a に基づいて P I D 定数の再設定を行うステップ S 5 0 4 の手順については図 8 (a) のケースと同様なので説明を省略する。

【 0 0 5 4 】

以上、温度特性項目と目標値との差が規定値よりも大きかった場合 (ステップ S 5 0 1 ; N) の P I D 定数の算出法について、ルールテーブル 8 4 a を用いる手法を説明した。次に、上述の差が規定値以下である場合 (ステップ S 5 0 1 ; Y) の P I D 定数の算出法について図 6 のフローチャート及び図 1 0 を参照しながら説明する。

【 0 0 5 5 】

この場合には、前記の判断 (ステップ S 5 0 1 ; Y) に続いて、現在の R U N が 1 回目であるか否かを確認する (ステップ S 5 0 5) 。当該 R U N が P I D 定数を微調整する 1 回目の R U N であれば (ステップ S 5 0 5 ; Y) 、対応する P I D 定数を微小量、例えば I の標準値 1 0 0 0 を 2 ~ 3 % 程度小さくし (ステップ S 5 0 7) 、この再設定値に基づいて 2 回目の R U N を実行する。

【 0 0 5 6 】

一方で、当該 R U N が P I D 定数を微調整する 2 回目以降の R U N である場合には (ステップ S 5 0 5 ; N) 、前回の R U N と今回の R U N との間で目標値を外れた温度特性項目が変化したか否かの判断を行う (ステップ S 5 0 6) 。温度特性項目が変化しない場合には (ステップ S 5 0 6 ; N) 、1 回目と同様に前回の変更に加えて更に P I D 定数を 2 ~ 3 % 小さくして次の R U N を行う (ステップ S 5 0 7) 。

【 0 0 5 7 】

ここで目標値の外れた温度特性項目に変化が無かったということは、図 1 0 (a) に示すように、前回 (n - 1 回目) の R U N にて取得された温度プロファイルに対して、今回 (n 回目) の R U N にて取得された温度プロファイルの温度特性項目 (例えば図 1 0 (a) においてはオーバーシュート) が徐々に改善されていることを意味している。そして、次回 (n + 1 回目) の R U N もこの微調整を継続することにより、P I D 定数を大きく変更しすぎてチューニング結果を発散させてしまう危険を回避しながら温度プロファイルを改善することができる。

【 0 0 5 8 】

これに対して前回の R U N と今回の R U N との間で目標値から外れた温度特性項目が変

10

20

30

40

50

化したときには（ステップ S 5 0 6 ; Y）、前回、今回の各 R U N で使用した P I D 定数の平均値を再設定値として次の R U N を行う（ステップ S 5 0 8）。

【 0 0 5 9 】

目標値の外れた温度特性項目が変化したということは、図 1 0 (b) に示すように、前回 (n - 1 回目) の R U N にて取得された温度プロファイルに対して、今回 (n 回目) の R U N にて取得された温度プロファイルの温度特性項目が大きく変化した可能性が大きい (図 1 0 (b) においてはオーバーシュートが無くなった代わりにリカバリ時間が長くなっている) 。そこで、次回 (n + 1 回目) の R U N は、 n 回目、 n + 1 回目の R U N にて用いた P I D 定数の平均値を再設定値とすることにより、オーバーシュート、リカバリ時間共に程よい値となる温度プロファイルを得ることができる可能性が高い。

10

【 0 0 6 0 】

このように、前記温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲から外れかつ規定値よりも大きいときには前記ルールテーブル 8 4 を用い、その差分が規定値よりも小さいときには前記ルールテーブル 8 4 を用いずに P I D 定数を例えば上述のように変更するようになれば、P I D 定数の変更率が大きくなりすぎて発散するといった現象を防止できる。なお P I D 定数を微調整する手法は既述の例に限られるものではない。

【 0 0 6 1 】

(イ) ゾーン間温度差に対応する P I D 定数の算出

図 1 1 は、ゾーン間温度差に対応する P I D 定数を算出する動作のフローを示している (図 5 のステップ S 7 に対応する) 。既述のようにオーバーシュート等の温度特性項目の値が目標値以内となったにも拘わらず (ステップ S 4 ; Y) 、ゾーン間温度差のみが目標値以内でなかった場合には (ステップ S 6 ; N) 、4 つのゾーンの温度プロファイル同士を比較し、リカバリ時間が最も遅かったゾーン (以下、最遅ゾーンという) の温度プロファイルについて、オーバーシュートと目標値との差が第 2 の規定値以下となっているか否かの確認をする (ステップ S 6 0 1) 。

20

【 0 0 6 2 】

先行する動作によってオーバーシュート等の温度特性項目は既に目標値以内 (即ち、図 6 のフローチャートにて用いた規定値よりも小さい値) となっているので、第 2 の規定値は例えば許容誤差よりも小さな値に設定される。そして、オーバーシュートとその目標値との差が規定値以下となっている場合には (ステップ S 6 0 1 ; Y) 、最遅ゾーン以外の 3 つのゾーンのリカバリ時間を最遅ゾーンに合わせるように P I D 定数の再設定値を算出する (ステップ S 6 0 2) 。具体的には、例えば図 4 (c) に例示したリカバリ時間に関するルールテーブル 8 4 c がゾーンごとに設けられていて、これらのルールテーブル 8 4 c を用いてリカバリ時間を遅くする P 値が算出される。リカバリ時間の算出は、例えば図 7 にて説明したオーバーシュートに関する P I D 定数の再設定値の算出と同様の手順によりおこなうとよい。

30

【 0 0 6 3 】

この結果、図 1 2 (a) に模式的に示すように、オーバーシュートについて良好にチューニングされている再遅ゾーンの P I D 定数を変更することなくゾーン間の温度プロファイルのパラツキを小さくすることができる。なお、図 1 2 においては図示の便宜上、ゾーン間の温度プロファイルを 3 本だけ示してある。

40

【 0 0 6 4 】

一方でルールテーブル 8 4 c を用いて P I D 定数を再設定してもゾーン間の温度差が目標値以内とならなかった場合には、図 8、図 9 を用いて説明したオーバーシュートの場合と同様に、学習機能によってルールテーブル 8 4 c をより適切なものに修正する。かかる後、修正されたルールテーブル 8 4 c を用いて P I D 定数を再設定し、次の R U N を実行してゾーン間温度差が目標値以内となるまでこの動作を繰り返す。

【 0 0 6 5 】

これに対して最遅ゾーンの温度プロファイルにおけるオーバーシュートと目標値との差が第 2 の規定値以下となっていない場合には (ステップ S 6 0 1 ; N) 、ステップ S 6 0

50

3とは反対に、最速ゾーン以外の3つのゾーンのリカバリ時間を最速ゾーンに合わせるようなPID定数を算出する(ステップS603)。この場合もPID定数の算出にあたってルールテーブル84cを使用するとよいが、変化量の調整方向がマイナス方向となっているので、ルールテーブル84cの近似式をリカバリ時間のマイナス方向まで外挿することによりリカバリ時間を早める変更率を特定できる。

【0066】

この結果、最遅ゾーンのオーバーシュートが第2の規定値以下となっていない場合には、図12(b)に示すようにリカバリ時間をかけて制御してもオーバーシュートのチューニング結果はこれ以上改善されないので、温度プロファイルの収束を優先させ、且つゾーン間の温度プロファイルのバラツキを小さくするチューニングが行われる。またこの動作において、ルールテーブル84cを用いてPID定数を再設定してもゾーン間温度差が目標値以内とならなかった場合には、ルールテーブル84cをより適切なものに修正する学習機能の実施と、PID定数の再設定とを、ゾーン間温度差が目標値以内となるまで繰り返すようになっている。

10

【0067】

このように各ゾーンに対応する温度プロファイルが揃っていない場合に、複数のゾーンのうちの一つのゾーン(最速ゾーンあるいは最遅ゾーンなど)に対応するリカバリ時間に、他のゾーンのリカバリ時間を揃えるように当該他のゾーンに対応するPID定数を調整することにより、ゾーン間の温度プロファイルを揃えることができる。

上述の実施の形態によれば、PID定数を設定した後、処理雰囲気升温させて温度プロファイルを取得し、温度特性項目の値と目標値との差分が許容範囲から外れていればルールテーブル84を参照してその差分に応じた当該温度特性項目の予測変化量に対応する変更率によりPID定数を変更して再設定し、その後、前記差分が許容範囲内になるまで同様のステップを繰り返している。そして前記ルールテーブル84を使用した後の温度特性項目の実測変化量に基づいてルールテーブル84におけるPID定数と当該温度特性項目の予測変化量との対応関係を更新するようにしてルールテーブルに学習機能を持たせているので、確実にかつ容易にPID定数を適切な値に自動設定することができる。またゾーン間温度差を小さくする機能を備えているため、基板間の処理のばらつきを抑えることができ、歩留まりの向上に寄与する。更にまた、オートチューニングを行うレシピ、や温度検出器の種類などに応じてチューニングができるため、ユーザのニーズに応じたチューニングを行うことができる。

20

30

【実施例】

【0068】

次に本発明の効果を確認するために行った実験について述べる。

(実施例1)

上述した縦型熱処理装置を用い、ヒータの設定温度を300にして、ダミーウエハを保持したウエハポート25を搬入した。反応容器2内にウエハポート25を搬入した後、6分程待機させて反応容器2内の温度を安定にさせた。しかる後、ヒータの設定温度を800まで上昇させた。このとき反応容器2内は不活性ガスの減圧雰囲気としてある。図13(a)は1回目のRUNにおいて各内部温度センサーTC1~TC4より得られた温度プロファイルである。図13(b)は図5に示したフローチャートに基づいて、3回目のRUNまでオートチューニングを実行して得られた温度プロファイルである。図13(a)、図13(b)を比較すると、RUN回数が増えることによって例えば上段の内部温度センサーTC1のオーバーシュートが小さくなり、また各温度センサーTC1~TC4の温度プロファイルのバラツキを小さくすることができており、良好なオートチューニングが実行された。従って、反応容器2内の処理領域において温度勾配が解消され、処理領域の温度が均一になることが分かる。

40

(実施例2)

反応容器2内にウエハポート25を搬入する際はヒータの設定温度を400にし、反応容器2内の温度を安定にさせた後はヒータの設定温度を600にした他は、実施例1

50

と同様の設定条件で1回目のRUNを行った。図14(a)は1回目のRUNにおける内部温度センサーTC1~TC4より得られた温度プロファイルであり、図14(b)は4回目のRUNを実行した結果である。図14(a)と図14(b)とを比較すると、1回目のRUNで見られた上段の内部温度センサーTC1のオーバーシュート量が小さくなり、各ゾーンでの温度プロファイルのバラツキも小さくなっている。

(実施例3)

反応容器2内にウエハポート25を搬入する際はヒータの設定温度を400にし、反応容器2内の温度を安定にさせた後はヒータの設定温度を760に設定し、実施の形態のようにしてオートチューニングを行い、オーバーシュート、アンダーシュート及びリカバリ時間が目標値に収まったが、ゾーン間の温度差が規定値内に収まっていない場合の温度プロファイルの一例を15(a)に示す。そして更に図11に示すチューニングを行ったところ、ゾーン間の温度差が規定値内に収まった状態の温度プロファイルを15(b)に示す。この結果からも

図11のステップが有効であることを本発明者は把握している。

【図面の簡単な説明】

【0069】

【図1】本発明の実施の形態である縦型熱処理装置を示す縦断側面図である。

【図2】本発明の実施の形態で用いられる制御部を示すブロック図である。

【図3】温度特性解析項目を示す説明図である。

【図4】オーバーシュート、アンダーシュート及びリカバリのルールテーブルを示す説明図である。

【図5】本発明の実施の形態に係るPIDの運用フローを示すフローチャートである。

【図6】本発明の実施の形態に係るPIDの運用フローを示すフローチャートである。

【図7】温度特性と目標値との差分が規定数値以上の場合にPID定数を計算する手法を示す説明図である。

【図8】オーバーシュートのルールテーブルの更新例を示す説明図である。

【図9】オーバーシュートのルールテーブルの更新例を示す第2の説明図である。

【図10】温度特性と目標値との差分が規定数値より小さい場合にPID定数を計算する手法を示す説明図である。

【図11】本発明の実施の形態に係るPIDの運用フローを示すフローチャートである。

【図12】最遅ゾーン以外のゾーンを最遅ゾーンに合わせる様子及び最速ゾーン以外のゾーンを最速ゾーンに合わせる様子を示す説明図である

【図13】本発明によるチューニングの前後における温度プロファイルを示す説明図である。

【図14】本発明によるチューニングの前後における温度プロファイルを示す説明図である。

【図15】本発明によるチューニングの前後における温度プロファイルを示す説明図である。

【符号の説明】

【0070】

W ウエハ

TC1~TC4 内部温度センサー

2 反応容器

25 ウエハポート

31 断熱層

41~44 ヒータ

51~54 電源部

61~64 温度コントローラ

7 制御部

81 チューニング条件設定部

10

20

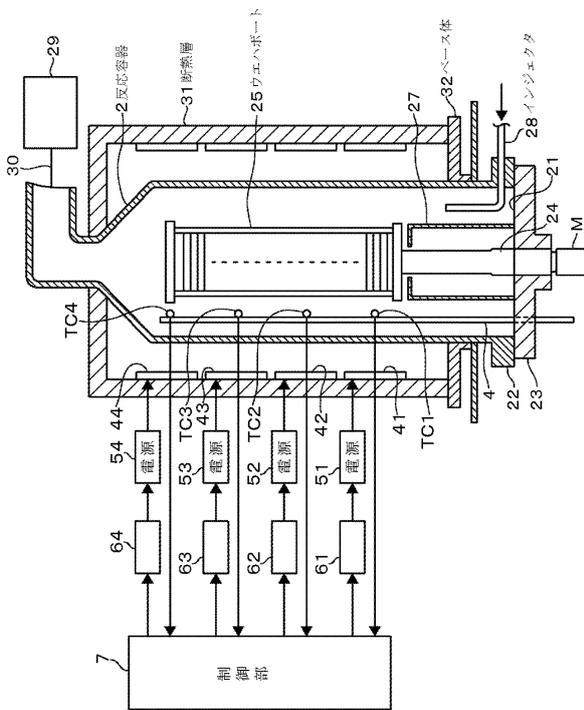
30

40

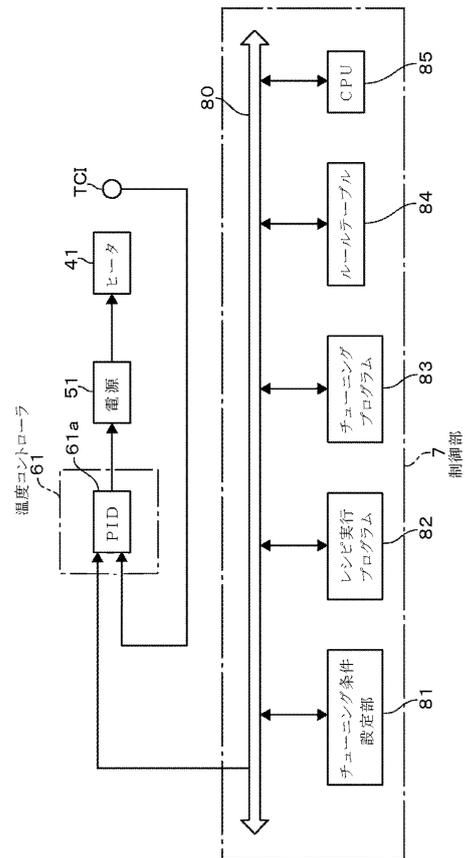
50

- 8 2 レシピ実行プログラム
- 8 3 チューニングプログラム
- 8 4 ルールテーブル
- 8 5 CPU

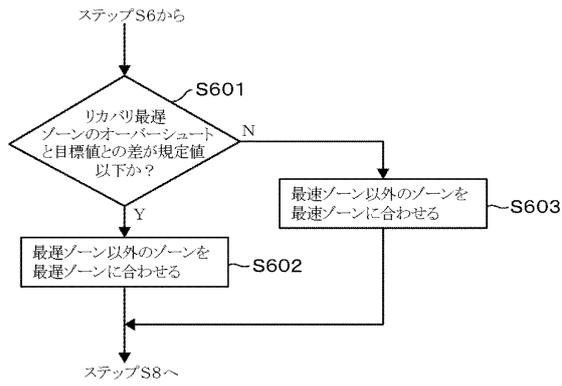
【図1】



【図2】



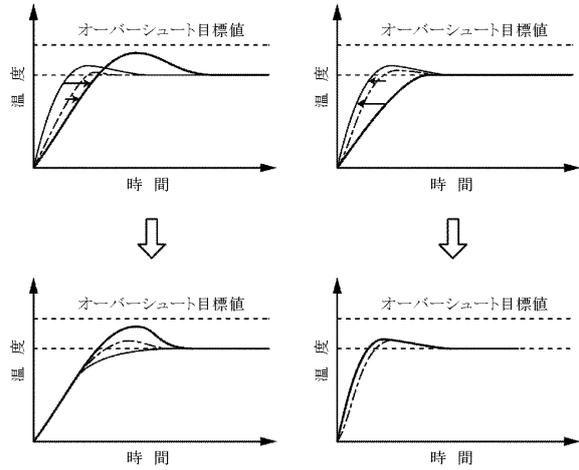
【図11】



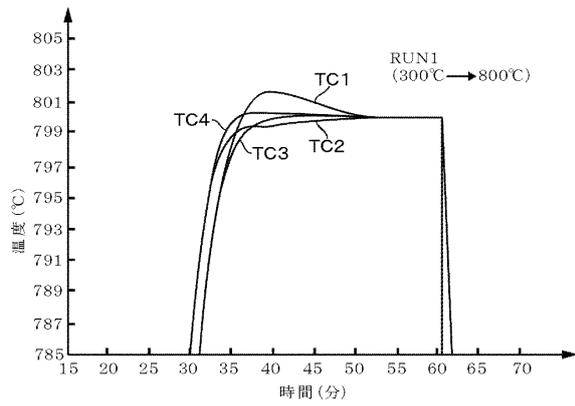
【図12】

(a) 最遅ゾーン以外のゾーンを最遅ゾーンに合わせる

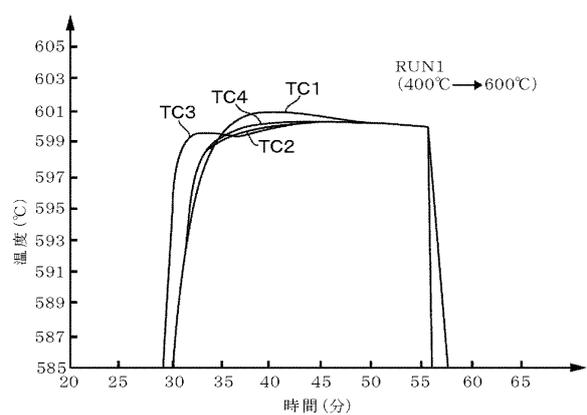
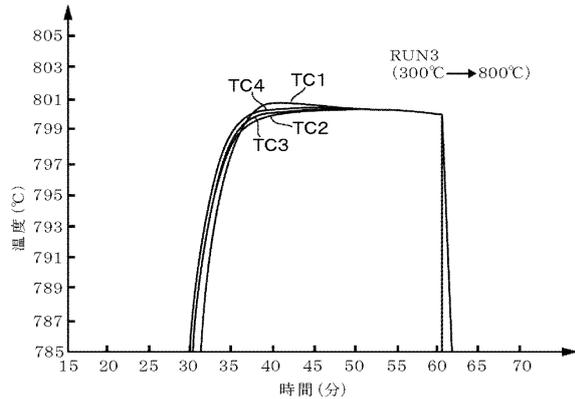
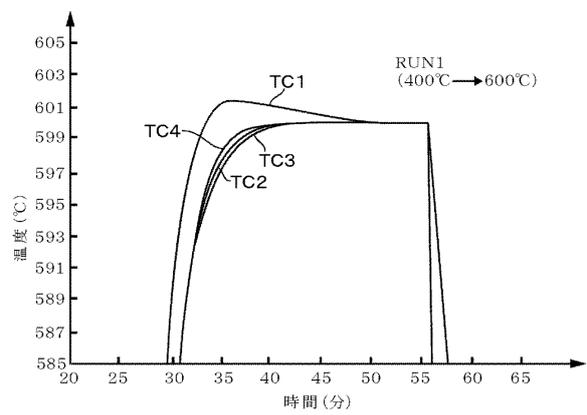
(b) 最遅ゾーン以外のゾーンを最遅ゾーンに合わせる



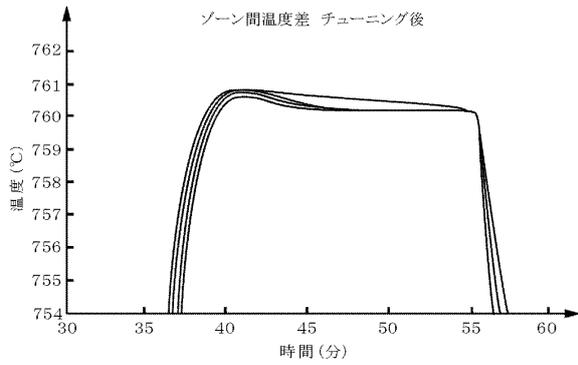
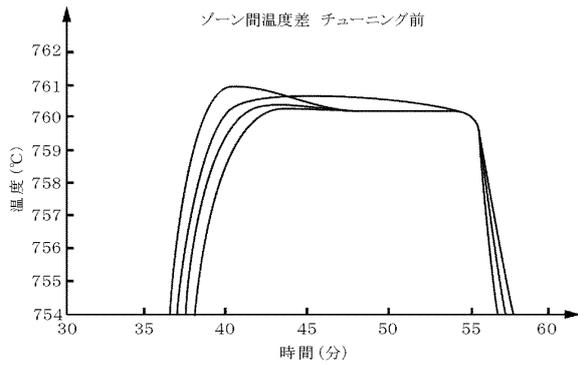
【図13】



【図14】



【 図 15 】



フロントページの続き

(72)発明者 王 文凌

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 星名 真幸

(56)参考文献 特開2000-183072(JP,A)

特開平05-143113(JP,A)

特開昭62-143103(JP,A)

特開平11-065611(JP,A)

特開2004-126733(JP,A)

特開2003-005802(JP,A)

特開2001-210585(JP,A)

特開平01-265305(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 13/02

G05D 23/19

H01L 21/02

H01L 21/31

H01L 21/22

H01L 21/205

G05B 11/36

H05B 3/00