

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2013-536539

(P2013-536539A)

(43) 公表日 平成25年9月19日(2013.9.19)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46	3 L04 4
H01L 21/3065 (2006.01)	H01L 21/302	4 K02 9
C23C 14/56 (2006.01)	C23C 14/56	5 F00 4
F25D 9/00 (2006.01)	F25D 9/00	Z
F28F 27/00 (2006.01)	F28F 27/00	511Z

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2013-512105 (P2013-512105)
(86) (22) 出願日	平成23年5月20日 (2011.5.20)
(85) 翻訳文提出日	平成24年10月19日 (2012.10.19)
(86) 国際出願番号	PCT/US2011/037436
(87) 国際公開番号	W02011/149790
(87) 国際公開日	平成23年12月1日 (2011.12.1)
(31) 優先権主張番号	61/349,073
(32) 優先日	平成22年5月27日 (2010.5.27)
(33) 優先権主張国	米国(US)
(31) 優先権主張番号	13/040,149
(32) 優先日	平成23年3月3日 (2011.3.3)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(71) 出願人	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド A P P L I E D M A T E R I A L S, I N C O R P O R A T E D アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 054 サンタ クララ パウアーズ ア ベニュー 3050
(74) 代理人	100101502 弁理士 安齋 嘉章
(72) 発明者	マハデスワラスワミー チェタン アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 087 サニーベールゲインズボロー ド ライブ 1233

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】クーラント流量の制御及びヒーターのデューティーサイクルの制御による部品温度制御

(57) 【要約】

広範囲の設定温度と低エネルギー消費のために、プラズマ処理チャンバ内の温度を制御するための方法及びシステム。温度制御は、プラズマ処理モジュールコントローラによって実行された制御アルゴリズムによって、クーラント液ループとヒートソースとの間で調整される。制御アルゴリズムは、実際の温度が設定温度を下回っていることを示すフィードバック信号に応答して、温度制御された部品へのクーラント液の流れを完全に停止することができる。制御アルゴリズムは更に、処理レシピの実行中に処理チャンバ内へのプラズマ電力又はプラズマ電源入力の変化から導出されたフィードフォワード制御信号に少なくとも部分的に基づいている。

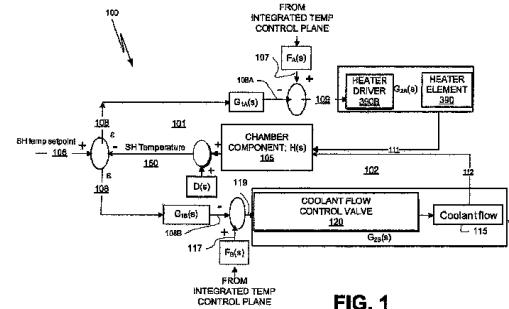


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

チャンバ部品温度が設定温度を下回っていることを示すフィードバック信号を生成する工程と、

フィードバック信号に応答して、処理チャンバと、処理チャンバの外部のヒートシンクの間のクーラント液流量を流量ゼロに低減する工程を含む、プラズマ処理チャンバ部品の温度を制御する方法。

【請求項 2】

チャンバがプラズマ処理レシピを実行するアクティブ状態にあるとき、処理チャンバへのプラズマ電源入力を決定する工程と、

入力されたプラズマ電源に基づくフィードバック制御信号によってクーラント液流量を制御する工程を更に含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

入力されたプラズマ電力に基づくフィードフォワード制御信号によって、チャンバ部品への加熱電源入力を制御する工程を更に含む請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

クーラント液流量及び加熱電源入力を制御する工程は、プラズマ処理レシピ内の実行工程の第 1 部分の間、実行中のレシピ工程に対してプラズマ入力電力と設定温度とのキー値のペアに関連するゲイン値の第 1 群を適用する工程を更に含み、ゲイン値群は、少なくともフィードフォワード制御信号のゲインと、フィードバック制御信号のゲインを含む請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】

クーラント液流量及び加熱電源入力を制御する工程は、実行しているレシピ工程の第 2 部分の間、実行している工程と次のプラズマ処理レシピ工程の間におけるプラズマ入力電力の変化と設定温度の変化とのキー値のペアに関連する過渡的なゲイン値の群を適用する工程を更に含む請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

過渡的なゲイン値の群は、チャンバ部品の温度と設定温度の変化に依存する期間に対して適用される請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

クーラント液流量及び加熱電源入力を制御する工程は、実行しているレシピ工程の第 2 部分の間、クーラント液流量デューティーサイクル又は加熱電源入力をルックアップテーブルから決定する工程を更に含む請求項 4 記載の方法。

【請求項 8】

チャンバがアイドル状態にあるときに、閾値レベルを越えた部品温度に応答して、ルックアップテーブルの値に基づいて、液体クーラント流量を設定する工程を更に含む請求項 2 記載の方法。

【請求項 9】

プラズマ電源は、ワークピースを支持するように構成されたチャックへの第 1 バイアス電源入力を含み、フィードフォワード制御信号は、バイアス電源入力とチャンバ部品温度の間の伝達関数を含む請求項 5 記載の方法。

【請求項 10】

処理チャンバ内に配置されたワークピースの処理中にプラズマを励起するために、処理チャンバに結合されたプラズマ電源と、

温度制御された部品へのクーラント液流量を完全に停止するクーラント液制御弁を含むクーラント液ループによってヒートシンクに結合された温度制御された部品を含む処理チャンバと、

ゼロの液体流量を含む範囲に亘ってクーラント液流量を変化させることによって、温度制御された部品とヒートシンク間の熱伝達を制御するためのクーラント液制御弁に結合された温度コントローラを含むプラズマ処理装置。

【請求項 1 1】

温度コントローラは、クーラント液制御弁の制御用のフィードフォワード制御ラインを含み、温度コントローラは、プラズマ電源に通信可能に結合され、フィードフォワード制御信号は、プラズマを励起するためのプラズマ電源入力に基づく請求項 1 0 記載の装置。

【請求項 1 2】

温度制御された部品は、ヒートソースに更に結合され、温度コントローラは、クーラント液流量によってヒートソースと温度制御された部品間の熱伝達の制御を調節することができる請求項 1 0 記載の装置。

【請求項 1 3】

温度コントローラに通信可能に結合された加熱コントローラを更に含み、加熱コントローラは、抵抗加熱素子ドライバとクーラント液制御弁に結合され、温度コントローラから受信した命令に応答して加熱電力及び冷却電力の両方を制御する請求項 1 2 記載の装置。

【請求項 1 4】

温度コントローラは、プラズマ電源に通信可能に結合され、フィードフォワード制御信号は、プラズマ電源から取得したプラズマ電源入力に基づいている請求項 1 0 記載の装置。

【請求項 1 5】

フィードフォワード制御信号は、温度制御された部品のプラズマ加熱を補正することができる請求項 1 4 記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0 0 0 1】

本 PCT 出願は、2010 年 5 月 27 日に出願され、「クーラント流量の制御及びヒーターのデューティーサイクルの制御による部品温度制御」と題される米国仮特許出願第 6 1 / 349,073 号、及び 2011 年 3 月 3 日に出願され、「クーラント流量の制御及びヒーターのデューティーサイクルの制御による部品温度制御」と題される米国特許出願第 13 / 040,149 号の利益を主張し、すべての目的のためにその全体を参照として本明細書内に援用する。

【背景】

【0 0 0 2】

1) 分野

本発明の実施形態は、概してプラズマ処理装置に関し、特に、プラズマ処理チャンバでワークピースの処理中に温度を制御する方法に関する。

【0 0 0 3】

2) 関連技術の説明

プラズマ処理チャンバ（例えば、プラズマエッティング又はプラズマ蒸着チャンバ）内では、チャンバ部品の温度は、しばしば処理の間に制御すべき重要なパラメータである。例えば、基板ホルダー（一般にチャック又は台座と呼ばれる）の温度は、（例えば、エッティング速度を制御するために）処理レシピの間ににおいてワークピースを様々な制御された温度に加熱／冷却するために制御することができる。同様に、シャワーヘッド／上部電極又は他の部品の温度も、処理に影響を与えるように処理レシピの間に制御することができる。従来、ヒートシンク及び／又はヒートソースは処理チャンバに結合され、チャンバ部品の温度を設定温度に制御する。通常、PID（比例 - 積分 - 微分）コントローラなどの第 1 コントローラは、温度制御された部品とヒートシンクの間の熱伝達のフィードバック制御のために使用され、一方、第 2 コントローラは、温度制御された部品とヒートソースの間の熱伝達のフィードバック制御のために使用される。第 1 及び第 2 の各コントローラは、一般的に他と分離して動作し、独自のクローズドループ制御アルゴリズムを独立して実行し、本質的に、互いに逆方向にバランスをとる 2 つの制御ループを提供する。一般的に、液体クーラントに基づく冷却制御ループは、常に冷却ループが制御された定常状態に留まるために、わずかのクーラント液流量（例えば、~1 GPM）で動作する。このように

10

20

30

40

50

、クーラントライン内のクーラント液は、クーラントループ内で停滞することはできない。

【0004】

この従来の制御構成の効果としては、プラズマを駆動するRF発生器からの廃熱エネルギーの入力などの外乱をすぐに中和するために、各制御ループの制御努力がほぼ同じである必要がある。この外乱が大きくなるように発生した場合、外乱を中和するための制御努力は、それに応答して大きくしなければならない。例えば、ヒートシンクの制御ループは、非常に低い温度で動作させる及び／又は大きな熱質量を持たせる等によって、大きなシンクを提供しなければならない。しかしながら、外乱がはるかに少ない時間帯、例えば、プラズマ処理システムがアイドル状態にあり、システムへのプラズマ電源入力がない時間帯は、クーラントループがわずかのクーラント流量を維持する上で、大きなヒートシンクの冷却効果を完全に除去することはできない。その代わりに、そのようなアイドル時間の間でさえ、設定温度を維持するために、かなりの量（例えば、3000W以上）の加熱エネルギーを第2のコントローラに印加することによって、冷却効果は能動的に打ち消される。この非効率性に加えて、従来の制御構成の別の効果としては、部品の温度の上限が、大きなヒートシンクの活動によって制限されることである。例えば、100%の加熱電力を印加しても、大型ヒートシンクの効果は、ヒートシンクの活動を更に低減させることができた場合に可能となる値よりも低い値に、最大部品温度を制限する。同様の理由により、設定温度の上昇に対する過渡応答も遅い。従来構成の最終的な結果は、処理温度範囲が制限され、過渡応答時間が増加したエネルギー効率の悪いシステムの運用となる。

10

20

30

【概要】

【0005】

プラズマ処理がプラズマ処理装置によって実行されるときに、処理又はチャンバ部品の温度を制御するための方法及びシステムが、本明細書内で説明される。特定の実施形態では、方法及びシステムは、処理チャンバと、ヒートシンク及びヒートソースの両方との間の熱伝達を調整する。特定の実施形態では、方法及びシステムは、外乱を中和するために高速制御応答を依然として達成しながら、外乱のない状態で設定温度を維持するために必要なエネルギー量を減らすために、クーラント液の流量制御及びヒーターのデューティーサイクル制御を調整する。

【0006】

特定の実施形態は、処理チャンバ内の温度を、個々のヒートシンク又はヒートソースのレベルではなく、チャンバの管理レベルで制御する方法を含む。更なる実施形態では、チャンバの管理レベルの制御は、チャンバ部品温度と設定温度との間の誤差を示すフィードバック信号に、少なくとも部分的に基づいている。部品温度が設定温度を下回ると、フィードバック信号に応答して、チャンバ部品を加熱する加熱電源入力を増加させることができ、処理チャンバと処理チャンバの外部にあるヒートシンクとの間のクーラント液流量を流量ゼロに減少させることができる。

【0007】

一実施形態では、部品温度を制御するクーラント液流量及びヒーター電力のうちの1以上が、チャンバがプラズマ処理レシピを実行しているアクティブな状態にある場合に、処理チャンバへのプラズマの電源入力に基づいてフィードフォワード制御信号によって更に決定される。特定の実施形態では、入力プラズマ電源信号の伝達関数は、電源によるプラズマ出力によって処理チャンバ部品の加熱を補正することができる。このような特定の実施形態では、クーラント液流量及び加熱電力制御は、プラズマ処理レシピ内の実行工程の第1部分の間、実行しているレシピ工程に対してプラズマ入力電力と設定温度に関連するゲイン値の第1群を適用する工程を含む。実行しているレシピ工程の第2部分の間、実行している工程と前の又は次のプラズマ処理レシピ工程の間ににおけるプラズマ入力電力の変化と設定温度の変化に関連するゲイン値の第2群を更に適用することができる。

40

【0008】

実施形態は、処理システムによって実行されるとき、処理チャンバと、ヒートシンク及

50

びヒートソースの両方との間の熱伝達の調整を処理システムに引き起こす命令を格納するコンピュータ可読媒体を含む。そのような一実施形態では、コンピュータ可読媒体は、クーラント液の流量制御及びヒーターのデューティーサイクルの制御を調整する命令を格納し、これによって依然として外乱を中和するための高速制御応答を達成しながら、外乱のない状態で設定温度を維持するのに必要なエネルギー量を低減する。特定の実施形態では、コンピュータ可読媒体は、プラズマ電源信号と部品温度の間の伝達関数を含み、プラズマ電源出力によって処理チャンバ部品の発熱を補正する命令を更に含む。

【0009】

実施形態は、ヒートシンク／ヒートソースに結合され、温度制御された部品を有するプラズマエッチング又はプラズマ蒸着システムなどのプラズマ処理チャンバを含む。温度制御された部品は、温度制御された部品へのクーラント液の流れを完全に停止するクーラント液制御弁を含むクーラント液ループによってヒートシンクに結合することができる。チャンバは、クーラント液制御弁に結合された温度コントローラを更に含み、ゼロ液体流量を含む範囲に亘るクーラント液流量を変化させることによって、温度制御された部品ヒートシンクの間の熱伝達を制御することができる。

10

【0010】

プラズマ電源を処理チャンバに結合し、これによって処理チャンバ内に配置されたワークピースの処理中にプラズマを励起することができる。温度コントローラは、温度制御された部品と、ヒートシンク及びヒートソースとの間の熱伝達の制御を、チャンバへのプラズマ電源入力に基づくフィードバック制御信号及び／又はフィードフォワード制御信号によって調整し、これによって温度制御された部品のプラズマ加熱を補正することができる。そのような一実施形態では、温度制御された部品は、プラズマ処理中に処理ガスを供給するように構成された処理ガスシャワーヘッドを含む。

20

【図面の簡単な説明】

【0011】

本発明の実施形態は、詳細に指摘され、明細書の結論部分において、特許請求の範囲を明確に定めている。しかしながら、機構及び操作方法の両方に関する本発明の実施形態、更にそれらの目的、構成、及び利点は、添付図面と共に読むとき、以下の詳細な説明を参照することによって、最も理解することができる。

30

【図1】本発明の実施形態に係る、フィードフォワード及びフィードバック制御要素の両方を含み、加熱及び冷却の両方に応答して調整制御努力を提供する温度制御システムを示すプロック図である。

【図2A】本発明の一実施形態に係る、温度コントローラを含むプラズマエッチングシステムの概略を示す。

【図2B】本発明の一実施形態に係る、温度制御チェーン内の部品のプロック図を示す。

【図3A】本発明の一実施形態に係る、プラズマ処理チャンバ内のアイドル状態とアクティブな状態の制御ループ構成を示す状態図である。

【図3B】本発明の一実施形態に係る、アイドル状態の前後のアクティブ状態の間に実行されるプラズマ処理レシピ内の特定のセグメントを示すプロック図である。

40

【図3C】本発明の一実施形態に係る、図1に記載される制御システムをオンラインにするための方法における操作を説明するフロー図である。

【図4A】本発明の一実施形態に係る、アイドル状態の間に図1に示した制御システムによって部品の温度を制御するためのイベント駆動型制御アルゴリズムを示す。

【図4B】本発明の一実施形態に係る、アクティブ状態の間に図1に示した制御システムによって部品の温度を制御するための方法における操作を説明するフロー図である。

【図4C】本発明の一実施形態に係る、ゲイン群のルックアップテーブルを示す。

【図4D】本発明の一実施形態に係る、プラズマ処理レシピ内の2つの工程間の設定温度の変化に対処するための制御アルゴリズムを示す。

【図4E】本発明の一実施形態に係る、図4Dの制御アルゴリズムで採用されるゲイン群用ルックアップテーブルを示す。

50

【図5】本発明の一実施形態に係る、図3に示すプラズマエッティングシステムに組み込まれている典型的なコンピュータシステムのブロック図を示す。

【詳細な説明】

【0012】

以下の詳細な説明において、多数の具体的な詳細が、本発明の実施形態の完全な理解を提供するために記載されている。しかしながら、他の実施形態がこれらの特定な詳細なしに実施できることを当業者は理解しているだろう。他の例では、周知の方法、手順、部品及び回路は、本発明を不明瞭にしないように詳細に説明されていない。以下の詳細な説明の一部は、コンピュータメモリ内でのデータビット又はバイナリデジタル信号の操作のアルゴリズム及び記号表記に関して示されている。これらのアルゴリズムの説明と表現は、データ処理分野の当業者が、彼らの作業の本質を他の当業者に伝えるために使用される技法であるかもしれない。

10

【0013】

ここで、アルゴリズム又は方法は、概して、所望の結果をもたらすための行為又は操作の手順であると考えられる。これらは、物理量の物理的な操作を含む。通常これらの量は、格納、伝達、結合、比較、及びその他の操作が可能な電気的又は磁気的信号の形態を取るが、必ずしもそうであるとは限らない。これらの信号をビット、値、要素、記号、文字、用語、レベル、数値等として参照することは、主に一般的な用法上の理由から、いつでも便利であることが証明されている。しかしながら、これら及び類似の用語のすべては、適切な物理量と関連付けることができ、これらの量に適用された単なる便宜的なラベルに過ぎないことを理解すべきである。

20

【0014】

特にそうでないことが述べられていない限り、以下の議論から明らかなように、明細書全体を通して、例えば、「処理」、「コンピューティング」、「計算」、「決定」などの用語を用いた議論は、コンピューティングシステムのレジスタ及び/又はメモリ内の物理量（電子的な量など）として表されるデータを、コンピューティングシステムのメモリ、レジスタ、又は他のそのような情報の記憶、伝達、又は表示装置内の物理量として同様に表される他のデータに操作及び/又は変換するコンピュータ又はコンピューティングシステム、又は同様の電子コンピューティングデバイスの動作及び/又は処理を指すことが理解される。

30

【0015】

本発明の実施形態は、本明細書内の操作を実行するための装置を含むことができる。装置は、所望の目的のために特別に作ることができ、又はデバイス内に格納されたプログラムによって選択的に起動又は再構成される汎用コンピューティングデバイスを含むことができる。そのようなプログラムは、フロッピー（商標名）ディスク、光ディスク、コンパクトディスクドライブオンリーメモリ（CD-ROM）、光磁気ディスク、リードオンリーメモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、電気的プログラマブルリードオンリーメモリ（E PROM）、電気的に消去可能なプログラマブルリードオンリーメモリ（EEPROM）、磁気又は光カード、又は電子命令の格納に適しており、コンピューティングデバイス用のシステムバスに結合可能な任意の他の形態のメディアを含む何らかの形態のディスクなどのストレージメディア内に格納することができるが、これらに限定されない。

40

【0016】

「結合された」と及び「接続された」といった用語及びこれらの派生語は、本明細書内では、部品間の構造的関係を記述するために用いることができる。これらの用語は互いに同義語として意図されていないことを理解すべきである。むしろ、特定の実施形態において、「接続された」は、2以上の要素が互いに直接物理的に又は電気的に接触していることを示すために用いることができる。「結合された」は、2以上の要素が互いに直接的又は（間に他の介在要素を有して）間接的に、物理的に又は電気的に接觸していること、及び/又は2以上の要素が（例えば、因果関係のように）互いに協働又は相互作用することを

50

示すために用いることができる。

【0017】

本明細書内に記載される処理又はチャンバ部品温度を制御するための方法及びシステムの実施形態は、クーラント液流量制御及びヒーター制御が、依然として外乱を中和するための高速制御応答を達成しながら、外乱がない場合に設定温度を維持するのに必要なエネルギー量を減らすように調整される冷却制御ループと加熱制御ループの両方を含む温度制御努力を提供する。一般的に、プラズマ処理チャンバ（モジュール）コントローラは、従来の独立したヒートシンク／ヒートソースコントローラを超えた温度制御レベルを提供する。チャンバレベルコントローラは、温度制御アルゴリズムを実行し、クーラント液流量制御及びヒーターのデューティーサイクルの制御に影響するように、フィードバック及び／又はフィードフォワードゲイン値などの制御パラメータを1以上のヒートシンク／ヒートソースコントローラに通信する。

10

【0018】

フィードバック及び／又はフィードフォワード伝達関数の制御演算を、自律温度制御ブレーン（例えば、ヒートシンク又はヒートソースの個別のPIDコントローラ）から離れて、フィードバックとフィードフォワードの制御努力の両方を演算可能なプラズマ処理システムの統合化制御ソフトウェアブレーン上に移動させることによって、別々の加熱及び冷却ループの個別の温度コントローラを連係してより効率的に使用することができる。1以上の個別の温度コントローラは、図1に示される温度制御システム100を動作させる命令を実行する統合化プラズマチャンバ制御ソフトウェアブレーンの指示の下で動作する制御アクチュエータ（例えば、弁、抵抗要素等）の単なるドライバとしてマニュアルモードで操作することができる。しかしながら、代替の実施形態では、少なくとも1つの個別の温度コントローラは、自動クローズドループで動作し、統合化制御ソフトウェアブレーンからオフロードされた関連する制御演算によって、本明細書内で記載されているフィードバック及びフィードフォワード制御の一方又は両方を提供するように構成される。1つの個別の温度コントローラ（例えば、ヒートソースを提供するもの）が自動モードにある実施形態では、統合化温度制御ソフトウェアブレーンは、手動モードで動作している第2の個別の温度コントローラ（例えば、ヒートシンクを提供するもの）に指示を与えることができる。いずれの実施形態においても、統合化温度制御ソフトウェアブレーンによって提供されるより高レベルの温度制御によって、温度の外乱がないとき（例えば、アイドルタイムの間）、例えば冷却電力を大幅に低減することができる。また、例えばアクティブなレシピの実行時又はアイドルタイムの間、設定温度の変化に対する遷移応答時間を短縮することができる。この効果は、ある実施形態では、温度制御された部品へのクーラント液流量を完全に停止することによって達成され、これによって冷却電力を大幅に低減し、部品温度が設定温度を下回ることをフィードバック信号が示すとき、部品温度の誤差を中和するための加熱電力量を相対的により少なくすることができる。チャンバ部品へのクーラント液流量を状況に応答して停止することができる機能を提供する統合化制御ソフトウェアブレーンによって、ある加熱電力に対して、より高い部品設定温度を達成することもできる。

20

【0019】

図1は、加熱及び冷却の両方の外乱に応答して加熱及び冷却制御努力111、112を調整するフィードフォワード及びフィードバック制御要素の両方を含む、本発明の一実施形態に係る温度制御システム100を示すブロック図である。図示されるように、システム100は、部品105の温度に影響を与えるヒートソース制御ループ101とヒートシンク制御ループ102を含む。ヒートソース制御ループ101は、フィードバック制御信号108Aに基づいて制御可能なヒーター390を含む。部分的にプラズマ電源入力に基づいてプラズマ処理チャンバ内への制御努力を計算する例示的実施形態では、商業的に購入可能な温度コントローラは外乱補正用のフィードフォワード入力を欠いている（例えばその代わりに、測定された制御温度150と設定温度106を含むフィードバック制御用の入力のみを備えている）ので、制御システム100は、統合化制御ソフトウェアブレー

30

40

50

ンを介してフィードフォワード制御信号 107 を更に提供する。したがって、ヒータードライバ 390B に送信される制御信号 109 は、それぞれ信号 108 及び 107 に誤差ゲイン及び電力ゲインを適用したフィードバック制御信号 108A 及びフィードフォワード制御信号 107 の両方の関数（例えば、合計）であることができる。

【0020】

同様に、ヒートシンク制御ループ 102 は、フィードバック制御信号 108B に基づいて制御可能なクーラント液流量 115 を含む。プラズマ電源入力に部分的に基づいてプラズマ処理チャンバ内への制御努力を計算する例示的実施形態では、制御システム 100 は、統合化制御ソフトウェアプレーンを介してフィードフォワード制御信号 117 を更に提供する。したがって、クーラント液制御弁 120 へ送信される制御信号 119 は、それぞれ信号 108B 及び 117 に誤差ゲイン及び電力ゲインを適用したフィードバック制御信号 108B 及びフィードフォワード制御信号 117 の両方の関数（例えば、合計）であることができる。

10

【0021】

温度制御システム 100 は、ワークピースの処理中にプラズマ処理チャンバ内に導入されたプラズマ電力を入力とする少なくとも 1 つのフィードフォワード伝達関数 $F_A(s)$ 及び / 又は $F_B(s)$ を含む。そのような一実施形態では、プラズマ電力は、処理チャンバへの多数の電源入力の重み付けされた合計である。例えば、一実施形態では、プラズマ電力の重み付けされた合計は、 $c_1 * P_1 + c_2 * P_2 + c_3 * P_3$ に等しく、ここで P_1 、 P_2 、 P_3 はバイアス及び / 又はソース電力である。重み c_1 、 c_2 、 c_3 は、任意の実数であることができ、通常正であるが、特定の実施形態では、ソース電力の重みは負であり、実際部品加熱はソース電力の増加に伴い減少する。

20

【0022】

フィードフォワードライン内へのプラズマ電源入力は、温度制御されたシステム部品にかなりの熱負荷を掛けるプラズマ電源（例えば、RF 発生器、マグнетロン等）による任意の出力に基づくことができる。フィードフォワード伝達関数 $F_A(s)$ 及び / 又は $F_B(s)$ は、外乱伝達関数 $D(s)$ と逆符号の制御努力を提供し、プラズマ電源熱負荷に起因する外乱によって発生する制御温度 150 の増加を補正する。外乱伝達関数 $D(s)$ は、特定の熱時定数 を有するプラズマ処理チャンバ部品の制御温度 150 の上昇にプラズマ電力の熱負荷を結びつける。例えば、時刻 t で 0W から 1000W までのプラズマ電力における工程（ステップ）関数の増加は、全時間に亘る部品温度上昇に対して外乱伝達関数 $D(s)$ によってマッピングすることができる。フィードフォワード制御信号 107、117 は、制御温度 150 と設定温度 106 の間の偏差に対応する誤差信号 の補正のためにフィードバック制御信号 108 を提供するフィードバック伝達関数 $G_{1A}(s)$ 及び / 又は $G_{1B}(s)$ と結合される。

30

【0023】

設定温度 106 と共にフィードフォワード制御信号 107、117 は、アクチュエータの伝達関数 $G_{1A}(s)$ 、 $G_{1B}(s)$ 及び熱質量伝達関数 $H(s)$ に入力され、出力制御温度 150 上で外乱伝達関数 $D(s)$ の効果を補正する。熱質量伝達関数 $H(s)$ は、ヒートシンク / ソース及び温度制御された部品等の熱容量の関数を含む。アクチュエータ伝達関数 $G_{2B}(s)$ は、温度制御された部品 105 とヒートシンク（例えば、冷却装置）の間の熱伝達を制御するアクチュエータの関数及びクーラントの流れの関数を含む。例示的実施形態は、温度制御された部品 105 とヒートソース（例えば、発熱体（ヒーター要素）390 及びヒータードライバ 390B）の間の熱伝達を制御するアクチュエータの関数（ $G_{2A}(s)$ ）を更に含む。フィードフォワード伝達関数 $F_A(s)$ は（又は $F_B(s)$ ）は、クーラント液ループなどの独立したクローズドループ制御システムにすでに取り付けられている可能性のある従来のフィードバック制御システムと同じアクチュエータで実行することができる。アクチュエータは、当技術分野で一般的に用いられる任意の方法で実行することができる。典型的なクーラント液ループの実施形態では、アクチュエータは、温度制御された部品 105 とヒートシンク（例えば、冷却装置 377）との間に

40

50

結合されたクーラント液流量 115 を制御する 1 以上の弁 120 を含む。更なる実施形態では、別のアクチュエータは、温度制御された部品 105 に結合された 1 以上の抵抗加熱素子駆動電源スイッチ (390B) を含む。

【0024】

図 2A は、本発明の一実施形態に係る、温度コントローラを含むプラズマエッティングシステムの概略図を示す。プラズマエッティングシステム 300 は、当該分野で公知の高性能エッティングチャンバの任意のタイプが可能であり、例えば、米国カリフォルニア州のアプライドマテリアルズ社製の Enabler (商標名)、MXP (商標名)、MXP+ (商標名)、Super-E (商標名)、DPS II Advantage (商標名) G3、又は E-MAX (商標名) チャンバが可能であるが、これらに限定されない。他の市販のエッティングチャンバは、同様に制御することができる。例示的な実施形態は、プラズマエッティングシステム 300 の文脈で説明されているが、本明細書内で説明される温度制御システムのアーキテクチャは、温度制御された部品に熱負荷が存在する他のプラズマ処理システム (例えば、プラズマ蒸着システムなど) にも適応可能であることに更に留意すべきである。

10

【0025】

プラズマエッティングシステム 300 は、接地されたチャンバ 305 を含む。基板 310 は、開口部 315 を通してロードされ、チャック 320 にクランプされる。基板 310 は、プラズマ処理技術分野で従来から使用される任意のワークピースが可能であり、本発明はこの点において限定されない。プラズマエッティングシステム 300 は、温度制御された処理ガスシャワー ヘッド 335 を含む。図示の例示的な実施形態では、処理ガスシャワー ヘッド 335 は、各ゾーンを設定温度 106 に独立して制御可能な複数のゾーン 364 (中央) と 365 (端部) を含む (図 1)。他の実施形態は、1 つのゾーン又は 2 より多いゾーンのいずれかを有する。複数のゾーンを有する実施形態では、n 個のヒーターゾーンと m 個のクーラントゾーンがあり、n が m に等しい必要はない。例えば、図示の実施形態では、単一の冷却ループ (m = 1) が、2 つのヒーターゾーン (n = 2) を通過する。処理ガスは、ガス供給源 345 から、マスフローコントローラ 349 を通って、シャワー ヘッド 335 を通って、チャンバ 305 の内部に供給される。チャンバ 305 は、大容量真空ポンプスタック 355 に接続された排気弁 351 を通して排気される。

20

【0026】

プラズマ電源がチャンバ 305 に印加されると、プラズマが基板 310 の上方の処理領域内に形成される。プラズマバイアス電源 325 は、チャック 320 (例えば、カソード) に結合され、プラズマを励起する。プラズマバイアス電源 325 は、通常、約 2 MHz ~ 60 MHz の低周波数を有し、特定の実施形態では、13.56 MHz 帯である。例示的な実施形態では、プラズマエッティングシステム 300 は、プラズマバイアス電源 325 と同じ RF 整合器 327 に接続される約 2 MHz 帯で動作する第 2 プラズマバイアス電源 326 を含む。プラズマ電源 330 は、整合器 331 を介してプラズマ生成要素に結合され、高周波電源を供給し、プラズマを誘導的に又は容量的に励起する。プラズマ電源 330 は、典型的には、プラズマバイアス電源 325 より高い周波数 (例えば、100 ~ 180 MHz) を有し、特定の実施形態では、162 MHz 帯である。特に、制御システム 100 によって温度制御されるシステム部品は、シャワー ヘッド 335 又はチャック 320 に限定されず、温度制御される部品は、処理チャンバ内にプラズマ電源を直接結合する必要もない。例えば、チャンバライナーは、本明細書内で説明される方法で温度制御可能であり、温度制御されたシャワー ヘッドは、RF 電極として機能してもよく、しなくてもよい。

30

【0027】

例示的な実施形態では、システムコントローラ 370 の統合化温度制御ソフトウェアフレーンとしての温度コントローラ 375 は、本明細内で説明される温度制御アルゴリズムの少なくとも一部を実行することができる。このように、温度コントローラ 375 は、ソフトウェア又はハードウェア又はソフトウェアとハードウェア両方の組み合わせのいずれ

40

50

であってもよい。温度コントローラ 375 は、シャワー ヘッド 335 と、ヒートソース及び / 又はプラズマチャンバ 305 の外部のヒートシンクとの間の熱伝達率に影響を与える制御信号を出力することができる。例示的な実施形態では、温度コントローラ 375 は、冷却装置 377 と発熱体 390 に、直接的又は間接的に結合されている。冷却装置 377 の温度と設定温度 106 との間の差異を、プラズマ電力と共にフィードフォワード制御ラインに入力することができる。

【0028】

冷却装置 377 は、シャワー ヘッド 335 を冷却装置 377 に熱的に結合するクーラントループ 376 を介してシャワー ヘッド 335 に冷却力を提供することができる。例示的な実施形態では、シャワー ヘッド 335 の内側ゾーン 364 及び外側ゾーン 365 の両方に埋設されたクーラントチャンネルを介して冷たい液体（例えば、設定温度 -15 の 50 % のエチレングリコール）を通過させる（例えば、第 1 ゾーンに近接して入力し、他のゾーンに近接して出力する）1 つのクーラントループ 376 が採用される。このような低いクーラント設定温度を有する機能は、プラズマ電力の低い / 無い条件下での流体の停滞を避けるために、最小クーラント流量（例えば、0.8 GPM）を維持しなければならない従来のシステムに対して本明細書に記載のパルス冷却制御システムの利点である。ヒートソースがプラズマ電力の低い / 無い条件下で供給できないのと同様に熱が抽出されないことを確かめるために、最低クーラント設定温度は、このゼロでない最小流量によって制限される。しかしながら、パルス冷却制御システムでは、クーラントのデューティーサイクルを非常に低い割合に設定することができ、アイドル状態の制御下では 0 % さえ設定できるので、クーラントシンクはシンク容量の増加に対してより低い設定値で動作することができる。

10

20

30

【0029】

温度コントローラ 375 は、クーラント液パルス幅変調（PWM）ドライバ 380 に結合されている。クーラント液 PWM ドライバ 380 は、一般的に入手可能であり、弁がデジタルである（つまり、完全に開いているか、完全に閉じているかのバイナリ状態を有する）実施形態において、温度コントローラ 375 によって送信される制御信号に応じたデューティーサイクルで弁 120 を動作させるように設定可能な任意のタイプのものが可能である。例えば、PWM 信号は、コンピュータ（例えば、コントローラ 370）のデジタル出力ポートによって生成することができ、その信号はオン / オフの位置に弁を制御するリレーを駆動するために使用することができる。あるいはまた、図 2B で更に図示されるように、PWM 機能をサポートし、デューティーサイクルの外部命令駆動を提供するヒーターコントローラ 391 は、これによって、クーラント液 PWM ドライバ 380 の機能の少なくとも一部も提供し、2 つの別々の PWM インターフェイスの必要性を無くす。更に別の実施形態では、0 から最大流量まで無限な可変流量を提供するアナログ弁は、温度コントローラ 375 によって弁の開位置を制御することによって利用される。

【0030】

図 2A に示された例示的実施形態では、図 1 に示される発熱体 390 は、第 1 及び第 2 の電気抵抗発熱体 378、379 を含む。発熱体 378、379 は、1 つ以上の温度センサ 366 と 367（例えば、内側及び外側ゾーン 364、365 のそれぞれの光プローブ）に基づいて独立して駆動することができる。ヒータードライバ 390B は、例えば、ソリッドステートリレー又は半導体制御整流子（SCR）が可能である。ヒーターコントローラ 391 は、クーラント液 PWM ドライバ 380 と類似した、又はこれに代わる PWM 機能を提供し、発熱体 378、379 とクーラントループ 376 のいずれか又は両方と、温度コントローラ 375 を結びつける。例えば、米国のワトローエレクトリックマニュファクチャリングカンパニー又は日本のアズビル / 山武から市販されているユニットは、ヒーターコントローラ 391 及び / 又はクーラント液 PWM ドライバ 380 として用いることができる。

40

【0031】

図 2B を参照すると、手動モードでは、デューティーサイクル制御命令は、温度コント

50

ローラ375によってヒーターコントローラ391に（例えば、連続して）送信される。ヒーターコントローラ391は、PWMドライバ393を介してヒータードライバ390Bに、所定のデューティーサイクルで方形波を出力する。「手動モード」への参照は、ヒーター電力の自動制御用のヒーターコントローラ391に制御命令を送信する温度コントローラ375によるオープンループのヒーターコントローラ391に関する。アナログの実施形態では、適切なAC相（例えば、ゼロ交差）で、発熱体をオン／オフするヒータードライバ390Bに、アナログ信号を送信することができる。2つのヒーターゾーンを備えた例示的な実施形態では、ヒーターコントローラ391の2つのチャンネルは、発熱体378、379用ヒータードライバ390Bに出力される。ヒーターコントローラ391が液体クーラントPWMドライバ380の機能も提供する更に別の実施形態では、ヒーターコントローラ391からの1以上のチャンネル（例えば、第3チャンネル）は、クーラント弁120を動作させる（例えば、電子空気圧変換器を介して弁120をオン／オフする）ように出力される。このように、冷却が必要な場合は、弁120を開く（例えば、デューティーサイクルを増加させる）ことができ、加熱が必要な場合は、弁120を閉じて（例えば、デューティーサイクルを減少させて）、抵抗発熱体378及び／又は379を駆動させることができる。本明細書内の他の箇所に記載されているように、この「手動モード」は、処理レシピの制御レベルでアクティブなレシピ工程の間に、温度コントローラ375を介して部品の温度を制御するために利用することができる。

10

【0032】

自動制御モードでは、ヒーターコントローラ391は、（例えば、温度センサ366、367を介して）直接受信した温度情報、（例えば、レシピファイルからの）設定温度に基づいて、更に温度コントローラ375から受信したゲイン値に基づいて、PID392を介してヒーターを動作させる独立したクローズドループPIDコントローラの機能を提供する。一実施形態では、本明細書内の他の箇所に記載されているように、自動制御は、アイドルモード時にヒーター390を動作させる。しかしながら、ヒーターコントローラ391が温度コントローラ375をクーラントループ弁120と更に結合する実施形態では、ヒーターコントローラ391が自動制御モードであろうとも、手動制御モードであろうとも、クーラントデューティーサイクルは、ヒーターコントローラ391ではなく、温度コントローラ375によって決定されるのが好ましい。

20

【0033】

特に、温度コントローラ375は、システムコントローラ370の統合化処理チャンバ制御ソフトウェアプレーン内に含まれる、又は統合化処理チャンバ制御ソフトウェアプレーンによって提供される必要はない。具体的には、温度コントローラ375の機能は、その代わりに離散システムとして提供可能である。例えば、ワトローエレクトリックマニュファクチャリングカンパニー又は山武（株）のアズビルから市販されているものなどを挙げられるがそれらに限定されないPIDコントローラは、プラズマ電源などの追加のフィードフォワード入力を含むように設計されている場合がある。離散システムは、更に、フィードフォワード入力に基づいてフィードフォワード制御努力を決定する能力を有するプロセッサを含むように製造される場合がある。このように、温度制御用に本明細書内に記載されるすべての実施形態は、統合化処理チャンバ制御ソフトウェアプレーンのファセットとして、又は、PWMドライバ380及び／又はヒーターコントローラ391の部品のいずれかとして、温度コントローラ375によって提供することができる。

30

【0034】

一実施形態では、システムのアイドル時間（すなわち、処理チャンバ305内でプラズマ処理が行われていない場合）の冷却力を低減するためには、温度コントローラ375は、アイドル状態（例えば、チャンバによって基板処理が実行されていない状態）と、アクティブ状態（例えば、基板処理が実行されている状態）の両方の間、冷却ループ101の制御を維持する。図3Aは、本発明の一実施形態に係るプラズマ処理チャンバのアイドル状態311及びアクティブ状態321に対する制御ループ構成を示す状態図300である。図示されるように、アイドル状態311にある間、インターロック340がインターロ

40

50

ックテーブルで定義されているイベントが発生したときにトリガー可能なイベント駆動型モードで、システムは動作する。一実施形態では、クーラント液流量は、図4Aに示されるインターロックテーブルで定義された部品105（例えば、シャワーHEAD335）の対応する温度閾値に基づいて決定される。

【0035】

図4Aは、アイドル状態の間に、部品温度を制御するためのイベント駆動型制御アルゴリズムを示している。図示されるように、チャンバ部品温度が設定温度401（ T_{SP} ）を下回っていることを示すフィードバック信号に応答して、温度制御された部品（例えば、シャワーHEAD335）へのクーラント液流量は、第1デューティーサイクル（IDLE DC0）に設定される。特定の実施形態では、この第1デューティーサイクルIDLE DC0は、温度が閾値402を下回る（ $T_{SP} + T1$ ）の場合、クーラント液流量をゼロに低減して、部品への流れを完全に停止する。閾値402、403及び404を横切ると、デューティーサイクルは、温度の上昇又は下降に応じて、IDLE DC1、DC2、DC3などに変更される。このように、設定温度がアイドル状態311の間に上昇した場合（例えば、別の処理の準備のために）、クーラントの流れは停止され、（例えば、自動モードで動作する）ヒーター電力はより速い効果を有し、より高い設定温度を達成することができる。

【0036】

図3Aに図示される特定の実施形態では、システムがアクティブ状態321からアイドル状態311を移行すると、ヒーター390は、自動クローズドループモード314に入れられる。このような実施形態では、温度コントローラ375がフィードバック信号によってヒートシンク制御ループ102を閉じるように、弁120用の制御命令をPWMドライバ393へ送信しながら、必要に応じて、ヒーターコントローラ（例えば、図2BのPID 392）は、発熱体を駆動することによって、設定温度106を達成しようする。更に図3に示されるように、システムがアイドル状態311からアクティブ状態321に移行すると、ヒーター390は手動モードに入れられる。このような実施形態では、ヒーター電源と弁120の両方のデューティーサイクルが、フィードバック及びノーフィードフォワード信号によって、ヒートシンク制御ループ102及びヒートソース制御ループ101の両方を閉じるように、温度コントローラ375によって決定される。しかしながら、特に、アクティブ又はアイドル状態のいずれかにおいて、コントローラ375は液体クーラントのデューティーサイクルを決定するのが好ましい。

【0037】

図3Aに戻って、システムのアクティブ状態321において、レシピ制御アルゴリズムからのクーラント及びヒーターパラメータが時間又はプロセッササイクル毎に実行可能なレシピ駆動モードでシステムは動作する。図3Bは、本発明の一実施形態に係る、アイドル状態311の前後のアクティブ状態321A及び321Bの間に実行されるプラズマ処理レシピ内の特定のセグメントを示すブロック図である。アクティブ状態321Aでは、実行中のプラズマ処理レシピは、レシピ工程N（301）とその後のレシピ工程N+1（302）を有し、これらは例えば、プラズマ電源がプラズマチャンバに入力される連続的なプラズマ処理レシピの最後の2つのプラズマエッティングレシピ工程であることが可能である。例えば、図4Aに示されるフィードバック制御アルゴリズムを用いるアイドル状態311とは異なり、レシピ工程N（301）の実行中、クーラント及びヒーター制御パラメータは、フィードフォワード信号を利用した制御アルゴリズム（例えば、図4Bに図示されるもの）によって、少なくとも部分的に決定される。レシピ工程N+1（302）が続いてプラズマ処理システムによって実行されると、クーラント及びヒーター制御パラメータは、同様にフィードフォワード制御アルゴリズム（例えば、図4B）によって決定される。図示の例示的な実施形態では、レシピ工程N（301）は、複数の独立した温度制御パラメータ（例えば、クローズドループ動作用の制御ゲイン群又はオープンループ動作用のデューティーサイクル値）を許容する第1部分301A及び第2部分301Bを単一のレシピ工程N（301）内に含む。第2部分301Bは、後続のレシピ工程N+1（302）

02)に備えてレシピ工程N(301)の期間が終了する前に実行される温度制御パラメータのオープンループセットを許容する「先読み」部分と考えることができる。したがって、レシピ工程N(301)に入ると、第1部分301A用のクローズドループゲイン群と、第2部分301B用のオープンループヒーター及び/又はクーラント流量デューティーサイクル値が、データベース又はルックアップテーブル等から決定されることができる。このようなルックアップテーブルは、特定のプラズマ入力電力に関連するデューティーサイクル値を提供可能である。

【0038】

更に図3Bに示されるように、アクティブ状態321は、プラズマ電源が処理チャンバにもはや入力されない(すなわち、プラズマ処理が完了した)後、クローズド又はオープンループ制御を継続するレシピ後工程303を含むことができる。レシピ後工程303は、クローズドループ又はオープンループ制御のいずれかを延長時間の間継続し、ワーカピースが処理チャンバからアンロードされる前に設定温度の変更を可能にする。レシピ後工程303の間、次のレシピが開始されるまでの基板搬送時に、最小クーラント流体流量閾値は維持される。同様に、アクティブ状態321は、プラズマ電源が処理レシピ内に初めて導入される第1レシピ工程308を実行する前に、レシピ前工程307を含むことができる。レシピ前工程307は、ワーカピースが処理チャンバ内で処理される前に、設定温度の変更を可能にする延長時間の間、クローズド又はオープンループ制御を可能にする。

【0039】

アクティブ状態321の間に、最小クーラント流体流量閾値は、後続のレシピ工程で必要となる場合があるので、高速温度制御応答のためにクーラント流量が十分高いことを確認するために定めることができる。最小クーラント流体流量閾値を超えるようにクーラント流体流量を維持することによって、もしそうでなければクーラント流体の停滞を引き起こす可能性のある応答遅延を回避できる。例えば、90の設定値に対して、最小デューティーサイクルは15~20%が可能である。一実施形態では、最小クーラント流体流量閾値は、より高い温度設定値に対してより高い閾値をもつ設定温度106の関数である。

【0040】

アイドル状態の温度制御モード(例えば、図4A)に入る前に、アクティブ状態321とアイドル状態311との間の遷移を画定するのは、遅延時間309である。この遅延時間309が0秒である場合、システムはレシピを終えた直後にアイドル制御モードに入る。それ以外の場合は、アクチュエータ命令(例えば、クーラント流量及び/又はヒーター電力のデューティーサイクル)は、レシピ後工程303の間に適用されたものと同じままである。ある特定の実施形態では、アイドル状態311にありながら、クーラント流量を完全に遮断し(すなわち、0%のデューティーサイクルとし)、更にヒーターの電力要件を低減し、ヒーターコントローラ391が、クローズドループ部品温度制御の間に周囲のヒートシンキング(放熱)のみをオフセットできるようにする。

【0041】

更に、図3Cに示されるように、ヒーター390の電源を切る際に、温度制御は、方法350を介して自動的にオフラインにすることができる。例えば、チャンバが修理のためにオフラインにされている場合、温度コントローラ375は、操作355で自動的にクーラント流体流量を所定の「遮断」値に設定し、これによって部品温度の制御された下降を確実にする。制御されたランプレート(下降速度)は、部品に基づいて予め決定することができ、例えば、積層構造を有するシャワーヘッドは、反り及び応力に起因する剥離を避けるために特定の速度が必要な場合がある。操作355では、部品(例えば、内側又は外側のシャワーヘッドゾーン)の温度が、閾値温度に達するまで、又はクーラント流体温度と部品温度の間の閾値の差に達するまで、クーラント流体流量を停止させる遮断弁を冷却液は流れる。例えば、クーラント流体温度が20で、クーラント流体温度とシャワーヘッド温度の間の閾値の差が10に設定され、クーラント流体遮断デューティーサイクルが15%である場合、クーラントは、(内側又は外側の)シャワーヘッドの温度が30(20+10)を下回るまで、15%のデューティーサイクルでシャワーヘッドを通って

10

20

30

40

50

流れる。シャワー ヘッドが 30 を下回ると、クーラント流体の流れは停止される。

【0042】

図 3 A に戻って参考すると、実施形態では、少なくともフィードフォワード制御信号のゲインとフィードバック制御信号のゲインを含むゲイン値の群は、現在のレシピ工程におけるチャンバ 305 内へのプラズマ電源入力に少なくとも基づいて、温度コントローラ 375 によって決定される。そのような一実施形態では、プラズマ入力電力と設定温度とのキー値のペアに関するゲイン値の第 1 群は、実行中のレシピ工程 301 の第 1 部分 301 A において決定される。図 4 C は、本発明の一実施形態に係る、ゲイン群のルックアップテーブルを示している。図示されるように、設定温度 486 が第 1 キー値であり、プラズマ電源入力 485 が第 2 キー値である。群 1、2、3 を得るために、システム 100 内の各種制御信号に対するゲイン値を含むゲイン群 1、2、3 等は、温度 486、プラズマ電源入力 485、又は実行中のレシピ工程の条件に対応する二つのペアから決定することができる。そのため、図 4 B を参照して本明細書内の別の箇所で更に記載されているように、ゲイン群を適用することが可能である。

10

【0043】

後続のレシピ工程 N + 1 (302) へのより高速な遷移を提供するために、実行中のレシピ工程の第 2 部分 301 B 用のデューティーサイクル値は、レシピ工程 N (301) を開始する際のクーラント制御弁 120 とヒーター 390 のうちのいずれか一方又は両方に對して決定することができる。このように、ヒートソース制御ループ 101 とヒートシンク制御ループ 102 のいずれか一方又は両方は、レシピ工程 N (301) の第 2 部分 301 B の間にオープンループの制御モードに入れられることができる。第 2 部分 301 B の継続時間は、一定の時間であることができるが、更なる一実施形態では、第 2 部分 301 B の継続時間は、設定温度の変化及び / 又は現在実行中のレシピ工程 N (301) と続いて実行されるレシピ工程 N + 1 (302) との間で起こり得るプラズマ電力の変化に依存している。

20

【0044】

部品 105 の温度が、(例えば、制御ポリマーの堆積を助長するために) 実行中のレシピの工程間で変更される一実施形態では、過渡的(一時的)な特定の制御パラメータが決定可能であり、温度コントローラ 375 によって通信される。図 4 D は、本発明の一実施形態に係る、プラズマ処理レシピ内の 2 つの工程間の設定値温度の変化に対処するための過渡制御期間 494 を示している。レシピ工程 N (301) とレシピ工程 N + 1 (302) は、x 軸に沿ってレシピ工程 492 及び y 軸に沿って設定温度 491 で図示されている。図示の例では、1000W のプラズマ入力電力が、レシピ工程 N (301) の間に印加され、設定温度は 30 である。レシピ工程 N + 1 (302) では、500W のプラズマ電力が、50 の設定温度と共に印加される。過渡制御期間 494 の継続時間が設定温度の変化及び / 又はプラズマ電力の変化に依存している一実施形態では、(例えば、高ゲインの値を定義する) 過渡応答のゲイン群が、設定温度の変化の割合を達成するのに必要な時間量適用される。例えば、図 4 D では、過渡制御期間 494 は、工程 N (301) と工程 N + 1 (302) の間の 20 の温度上昇の 90% に対して、又は温度が閾値 493 (48) に達するまで起こる。このように、このゲイン値の過渡的な群は、設定温度により大きな変化があるときに、より長い期間適用される。類似のアルゴリズム(例えば、工程間のプラズマ電力のより大きな変化によって過渡制御期間 494 の継続時間を増加させるアルゴリズム)を、プラズマ電力の変化の大きさに基づいて適用してもよい。あるいはまた、過渡制御パラメータは、単に一定の時間に適用してもよい。

30

【0045】

一実施形態では、過渡応答のゲイン群は、プラズマ入力電力の変化又は設定温度の変化のうちの少なくとも 1 つに関連しており、プラズマ入力電力の変化を設定温度の変化とペアにするキー値に更に関連している。例えば、図 4 E は、図 4 D の過渡制御周期 494 の制御によって使用される過渡ゲイン群用のルックアップテーブルを示している。図 4 E に示されるように、ゲイン群は、プラズマ入力電力 496 の変化と設定温度 495 の変化に

40

50

関連している。

【0046】

更なる実施形態では、ヒーターのゲイン群がアイドル状態311用に決定され、アイドル状態311で利用される場合もある。例えば、ヒーターコントローラ391が自動モードにあるとき（例えば、第1レシピ工程の部分301Aの間）のアクティブ状態321に對して説明したように、アイドル状態311の間、図4Cに示されるルックアップテーブルからゲイン群を決定することができる。アイドル状態311の間にゼロになるプラズマ電力は設定温度とペアになっており、あるアイドル状態311用のゲイン群を決定する。

【0047】

図4Bは、本発明の一実施形態に係る、アクティブ状態の間に、図1で示された制御システムによって、部品温度を制御するための方法における操作を示すフロー図である。方法450は、ゲイン群の決定と共に、任意の「先読み」の詳細（301Bの継続時間、クーラント液流量弁120用のデューティーサイクル値、内側及び外側の抵抗発熱体378、379のいずれか一方又は両方のデューティーサイクル）の決定を行う操作451で始まる。操作455でのサンプル時間 $T_{c_{a1c}}$ の経過とともに、現在の制御温度150（図1）が取得され、設定温度106が取得され、操作460でプラズマ入力電力が取得される。ヒートシンクの設定温度も取得できる。図2に示される例示的な実施形態では、温度コントローラ375は、内側及び外側ゾーン364、365用のシャワーヘッドセンサーから制御温度入力信号を受信する。温度コントローラ375は、例えば、メモリ373に格納されている処理レシピファイルから設定温度を取得し、温度コントローラ375は、本明細書内の他の箇所に記載されているように、設定又は測定されたプラズマ電力を取得する。

【0048】

好ましい一実施形態では、現時点（例えば、 $T_{c_{a1c}}$ の経過後）において、処理チャンバ305内にプラズマを励起させる測定された順方向バイアス電力328が、プラズマの熱負荷（例えば、ワット）として、フィードフォワード制御ラインに入力される。（例えば、メモリ373に格納された処理レシピファイルからの）プラズマ電力設定値を、フィードフォワード制御ラインへの入力として利用することもできる。前もって定義されているこのような電力設定値によって、フィードフォワード伝達関数 $F_A(s)$ 及び/又は $F_B(s)$ は、システム内へのプラズマ電力の印加又はプラズマ電力の印加の変更に先立って、電力設定値に対して評価可能となり、予測制御努力を生成可能となる。しかしながら、温度制御システム100は十分に迅速に反応することができる（仮定すると）、プラズマ電源入力は、現時点で印加されているプラズマ電力よりも高い精度の測定出力信号に結合されていることが好ましい。更にこの実施形態では、将来の時間（例えば、レシピ工程N+1（302））に対する制御努力の決定は、レシピベースのままである。

【0049】

一実施形態では、プラズマ電源入力は、チャンバ305への第1バイアス電源入力を含む。例えば、プラズマ電源入力は、プラズマバイアス電源325（図2A）と等しく設定可能である。プラズマ処理システムがチャンバに複数のバイアス電源入力を印加する実施形態では、複数のバイアス電源の合計が、温度制御システム100に入力される。例えば、図2Aに示される例示的な実施形態では、プラズマバイアス電源325と326の加重和が入力される。プラズマ電源入力として第1及び/又は第2等のプラズマバイアス電源を用いることによって、フィードフォワード伝達関数 $F_A(s)$ 、及び/又は $F_B(s)$ は、（例えば、RF整合器327から出力された順方向バイアス電力328として測定された）バイアス電源入力を、外乱伝達関数 $D(s)$ を補正するための冷却努力を定義するフィードフォワード制御信号 u へと結びつける。

【0050】

例示的な実施形態では、プラズマ電源入力 $P(s)$ はバイアス電力の合計であるが、フィードフォワード制御信号 u の決定は、1以上のプラズマ電源を除外することができることに留意すべきである。例えば、図2Aを参照して、シャワーヘッド335（又はチャッ

10

20

30

40

50

ク320)に配置される熱負荷は比較的小ないので、高周波プラズマ電源330を除外することができる。しかしながら、制御される温度が処理チャンバ内への全プラズマ電源入力にかなり依存している代替実施形態では、フィードフォワード伝達関数 $F_A(s)$ 及び / 又は $F_B(s)$ から出力されるフィードフォワード制御信号 u は、更にプラズマ電源330に基づく場合がある。例えば、本明細書内の他の箇所に記載されているように、 $c_1 * P_1 + c_2 * P_2 + c_3 * P_3$ などの電力重み関数を適用することができる。

【0051】

図4Bに戻って、操作465では、フィードフォワード制御信号 u 、温度誤差信号 $(T - T_{SP})$ 、フィードバック制御信号 v 、及び先読みのデューティーサイクルが、(例えば、メモリ373に格納されている温度コントローラ375のインスタンスとして方法450を実行しているCPU372によって) T_{calc} 毎に計算される。内側及び外側のシャワー・ヘッドゾーン364、365の両方を有する図2Aに示される例示的な実施形態では、フィードフォワード制御信号 u 、温度誤差信号 v 、フィードバック制御信号 v 、及び先読みのデューティーサイクルのそれぞれは、各ゾーンに対して計算される。

10

【0052】

ラプラス領域では、

【数1】

$$u(s) = F(s) p(s),$$

ただし、 u はフィードフォワード信号、 F はフィードフォワード伝達関数、 p はプラズマ電力である。図2Aに示される実施形態では、フィードフォワード制御信号 u は離散時間領域で次のように実装可能である。

20

【数2】

$$u(t) = \beta_0 P(t) + \beta_1 P(t-T_{PWM}) + \beta_2 P(t-2T_{PWM}) + \dots \alpha_1 u(t-T_{PWM}) + \alpha_2 u(t-2T_{PWM}) + \alpha_3 u(t-3T_{PWM}) + \dots$$

ただし、 $P(t)$ は現在の T_{calc} におけるプラズマ電源入力、 T_{PWM} は PWM ドライバ380、393の時間増分である。特定の実施形態では、フィードフォワード制御信号 u は、単に現在の時刻(例えば、 T_{calc})でのプラズマ電源入力に基づいている $P(t)$ として計算される。

30

【0053】

更なる一実施形態では、将来の時間期間内で要求されるプラズマ電力は、(例えば、処理レシピファイルから) 決定できるので、フィードフォワードの式には、制御温度でのクーラントの流れの効果の中で遅れを補正するように、 $\alpha_1 P(t+T_{PWM}) + \alpha_2 P(t+2T_{PWM})$ の項が更に含まれる。別の一実施形態では、制御温度150を達成するために必要な熱伝達は、ヒートシンク(例えば、冷却装置377)の設定温度及び / 又はヒートソース(例えば、熱交換器378)の設定温度に依存しているので、追加のクーラント温度依存項 $c(T_{SP} - T_{heat sink}) + h(T_{SP} - T_{heat source})$ がフィードフォワード制御信号 u に追加され、ここで T_{SP} は制御温度150である。 c と h のそれぞれは、設定値とヒートシンク / ヒートソースとの間の温度差の多項式関数として定義することができる。例えば、一実施形態では、 $c = a_0 + a_1 (T_{SP} - T_{heat sink}) + a_2 (T_{SP} - T_{heat sink})^2 + a_3 (T_{SP} - T_{heat sink})^3$ 、 h も同様の形式である。全体のフィードフォワード式は、温度依存係数 h_{hot} 及び h_{cold} を有することもでき、最終的なフィードフォワード制御信号 u は以下のようになる。

40

【数3】

$$u(t) = \Omega_{hot}(T_{SP} - T_{heat source})\Omega_{cold}(T_{SP} - T_{heat sink})\{\beta_0 P(t) + \beta_1 P(t-T_{PWM}) + \beta_2 P(t-2T_{PWM}) + \dots \alpha_1 u(t-T_{PWM}) + \alpha_2 u(t-2T_{PWM}) + \alpha_3 u(t-3T_{PWM}) + \dots \theta_1 P(t+T_{PWM}) + \theta_2 P(t+2T_{PWM}) + \delta_c(T_{SP} - T_{heat sink}) + \delta_h(T_{SP} - T_{heat source})\}.$$

50

【0054】

同様に、フィードバック制御信号 v は、ラプラス領域で、 $v(t) = G(s) (s)$ であり、離散時間領域では次のように実装可能である。

【数4】

$$v(t) = \lambda_0 e(t) + \lambda_1 e(t-T_{PWM}) + \lambda_2 e(t-2T_{PWM}) + \dots + \eta_1 v(t-T_{PWM}) + \eta_2 v(t-2T_{PWM}) + \eta_3 v(t-3T_{PWM}) + \dots$$

ただし、 (t) は、 $T_{c_{a1c}}$ での温度誤差信号（制御温度 150 と設定温度 106 との間の差）である。特定の実施形態では、フィードバック制御信号 v は、単に $e(t)$ として計算される。操作 465 が、 $T_{c_{a1c}}$ 毎に実行される間に、制御計算は、時刻 t 、 $t - T_{PWM}$ 等に対応する、ある低い周波数で入力される入力温度及びプラズマ電力値を使用することができる。 u 、 v 、プラズマ電力 (P)、制御温度 150、及び設定温度 106 のパラメータの値は、データ配列に格納することができ、 t 、 $t - T_{PWM}$ の離散時間に対応するこれらの保存された値は、その後、後続の制御計算で利用することができる。

10

【0055】

先読みオーブンループ制御を提供するために第 2 部分 301B を採用したレシピ工程では、本明細書内の他の箇所に記載されているように、先読みデューティーサイクルが、ルックアップテーブル、データベース等から決定される。操作 470 では、制御アクチュエータ出力信号 p （例えば、デューティーサイクル）が、ヒーター 390 及びクーラント液流量弁 120 の各々に対して決定され、その後、操作 475 で、アクチュエータに出力される。

20

【0056】

一実施形態では、定数ゲイン K_v （例えば、図 4C のゲイン群を構成するゲインのいずれか）がフィードフォワード制御信号 u に適用され、定数ゲイン K_u がフィードバック制御信号 v に適用され、これによって制御アクチュエータ出力信号 p は、 $p(t) = K_v v - K_u u$ として計算される。 K_v 、 K_u を含むゲイン群は、ヒートソース制御ループ 101 及びヒートシンク制御ループ 102 のそれぞれに対して 2 つの単純な係数によって結合されたフィードフォワード・フィードバック制御ラインにアクセスするための単純なインターフェイスをシステムオペレータに提供する。制御アクチュエータ出力信号 p の値に応じて、ヒートシンクとヒートソースのうちの 1 以上の間の熱伝達が調節される。したがって、図 2A の例示的な実施形態では、制御アクチュエータ出力信号 p が第 1 符号（例えば、 < 0 ）である場合には、ヒーター 390 が抵抗発熱体 378 及び / 又は 379 のデューティーサイクルを低減させながら、弁 120 のデューティーサイクルを増加させ、冷却装置 377 とシャワーヘッド 335 との間の熱伝達を増加させるように、PWM ドライバ 380 又は 393 によって実行可能な形で、温度コントローラ 375 によって提供された命令を介して制御温度 150 を低減可能である。このような状況は、プラズマ電源がオンになっているか、設定温度が低減されたレシピ工程において典型的であろう。

30

【0057】

制御アクチュエータ出力信号 p が第 2 符号（例えば、 > 0 ）である場合には、抵抗発熱体 378 及び / 又は 379 のデューティーサイクルを増加させながら、弁 120 のデューティーサイクルを減少させ、冷却装置 377 とシャワーヘッド 335 との間の熱伝達を減少させるように、PWM ドライバ 380 又は PWM ドライバ 393 によって実行可能な形で、温度コントローラ 375 によって提供された命令を介して制御温度 150 を増加可能である。例えば、プラズマ電力が以前のレベルから低減される（例えば、オフにする）レシピ工程、又は総プラズマ電力を一定にしながら設定温度を低下させるレシピ工程では、 p は負のより大きな数から負のより小さな数まで変化し、その後、冷却装置 377 からクーラントの流れが、弁 120 のデューティーサイクルを減少させることによって低減される。特定の実施形態では、チャンバ部品を加熱する加熱電源入力が増加している間、処理チャンバと処理チャンバの外部のヒートシンクとの間のクーラント液流量は、フィード

40

50

バック信号 v に応答してゼロ流量まで低減される。このように、特定の実施形態では、温度制御された部品（例えば、シャワー・ヘッド 335）へのクーラント流体の完全な停止が、アイドル状態 311 又はアクティブ状態 321 のいずれかの間に、設定温度を下回っている部品温度に応答して発生する可能性がある。アクティブ状態 321 の間、この機能はより高速過渡応答時間及びより高い可能動作温度を可能し、一方、アイドル状態 311 では、浪費されるヒーター電力をより少なくすることができる。他の実施形態では、温度制御された部品（例えば、シャワー・ヘッド 335）へのクーラント流体の完全な停止は、本明細書内の他の箇所に記載されているように、最小クーラント流体流量閾値がクーラント流体をゼロ以外の値に制限しているアイドル状態 311 でのみ、部品温度が設定温度を下回ったのに応答して起こる。

10

【0058】

図 2A に示される例示的な実施形態では、内側及び外側ゾーン 364 及び 365 の存在は、共通の單一クーラントループ 376 を有する 2 つのゾーンによって複雑になっている。特定の実施形態では、すべてのヒーターゾーンに対して独立して計算された制御アクチュエータ制御信号 によって、制御アクチュエータ命令の決定は、第 1 ゾーン（例えば、内側ゾーン 364）の計算が、第 2 ゾーン（例えば、外側ゾーン 365）に対して計算されたものとは異なるクーラント流体のデューティーサイクルを決定する条件を処理するロジックを含むことができる。例えば、閾値は、クーラント液流量及びヒーター電力及び／又はブーリアン OR として結合された別々のゾーンに対する条件の各々に対して決定されたデューティーサイクルの差に対して定めることができ、これによって、たとえ 1 つのゾーンが加熱を必要としても、クーラント流量デューティーサイクルはゼロではない流量値をデフォルトに設定する。図 2A に示された例示的な実施形態では、 $inner > 0$ 及び $outer > 0$ ならば、クーラントデューティーサイクルはゼロではなく、ヒーターデューティーサイクルはゼロである。 $inner > 0$ 及び $outer < 0$ ならば、内側を冷却し、外側を加熱する（内側ゾーン 364 と外側ゾーン 365 の間で共用される共通の冷却ループを備えた例示的実施形態の両方のゾーンをクーラントは通って流れるだろう。） $inner < 0$ 及び $outer > 0$ ならば、内側ゾーン 364 を加熱し、外側ゾーン 365 を冷却する（内側ゾーン 364 と外側ゾーン 365 の間で共用される共通の冷却ループを備えた例示的実施形態の両方のゾーンをクーラントは通って流れるだろう。） $inner < 0$ 及び $outer < 0$ ならば、内側ゾーン 364 及び外側ゾーン 365 は、加熱される（クーラント流体流量デューティーサイクル = 0）。

20

【0059】

特定の一実施形態では、すべてのヒーターゾーンに対して独立して計算された制御アクチュエータ制御信号 によって、すべてのヒーターゾーン（例えば、内側ゾーン 364 及び外側ゾーン 365）を通過するクーラント液のデューティーサイクルは、ヒーターゾーン間の最大デューティーサイクルと、ヒーターゾーン間の最小デューティーサイクルと、内側ゾーン 364 のデューティーサイクルと、外側ゾーン 365 のデューティーサイクルの関数として決定される。例えば、クーラント液デューティーサイクルは、 $Coolant Gain * abs(duty cycle_{inner} * inner + duty cycle_{outer} * outer + duty cycle_{max} * max(inner, outer) + duty cycle_{min} * min(inner, outer))$ 、ただし、Coolant Gain は、を增幅又は減衰させるための因子であり、 $duty cycle_{inner}$ と、 $duty cycle_{outer}$ と、 $duty cycle_{max}$ と、 $duty cycle_{min}$ は、特定のゾーンのヒーター電力に基づくクーラントデューティーサイクル用の補正係数として決めることができる。

30

【0060】

したがって、加熱電力とクーラント流体流量の両方がゼロでないことは、特定の状況下で起こり得る（例えば、ゾーン 364 と 365 が、異なる外乱を受けている又は大きく異なる設定温度 106 を有している場合）。例えば、内側ゾーン 364（第 1 ゾーン）がより高い設定温度に達するために加熱を必要とし、同時に外側ゾーン 365（第 2 ゾーン）

40

50

がより低い設定温度に達するために冷却を必要とする場合、クーラント流量は冷却を必要とする外側ゾーン365に基づき、第1ゾーンを流れるクーラントに打ち克つために内側ゾーン364には余分な加熱を印加するだろう。このように、内側及び外側ゾーンのヒーターデューティーサイクルは、次のように決定することができる。

【数5】

$$\begin{aligned} \text{HeaterDutyCycle}_{\text{inner}} &= \text{HeaterGain}_{\text{inner}} * \text{abs}(\rho_{\text{inner}}); \text{ and} \\ \text{HeaterDutyCycle}_{\text{outer}} &= \text{HeaterGain}_{\text{outer}} * \text{abs}(\rho_{\text{outer}}) * \text{correction2}_{\text{outer}} * \rho_{\text{inner}}^2 + \\ &\text{correction1}_{\text{outer}} * \rho_{\text{inner}} + \text{correction0}_{\text{outer}} \end{aligned}$$

ただし、HeaterGainは、特定のヒーターゾーンの を増幅又は減衰させる因子である。 10

【0061】

図5は、本明細書に記載の温度制御操作を実行するために利用可能なコンピュータシステム500の例示的形態におけるマシンの図式表現を示している。一実施形態では、コンピュータシステム500は、プラズマエッキングシステム300内のコントローラ370として設定することができる。代替の実施形態では、マシンは、ローカルエリアネットワーク(LAN)、インターネット、エクストラネット、又はインターネット上の他のマシンに接続(例えば、ネットワーク接続)することができる。マシンは、クライアントサーバネットワーク環境でのサーバ又はクライアントマシンの機能で動作する、又はピアツーピア(又は分散)ネットワーク環境におけるピアマシンとして動作可能である。マシンは、パーソナルコンピュータ(PC)、タブレットPC、セットトップボックス(STB)、パーソナルデジタルアシスタント(PDA)、携帯電話、ウェブアプライアンス、サーバ、ネットワークルータ、スイッチ又はブリッジ、又はそのマシンで実行するアクションを特定する(シーケンシャル又は他の)命令セットを実行することができる任意のマシンが可能である。更に、単一のマシンが図示されているが、用語「マシン」は、本明細書内で説明された任意の1以上の方法論を実行するための1つの(又は複数の)命令セットを個別又は共同で実行するマシン(例えば、コンピュータ)の任意の集合体をも含むものとしてとらえるべきである。 20

【0062】

例示的なコンピュータシステム500は、プロセッサ502、メインメモリ504(例えば、リードオンリーメモリ(ROM)、フラッシュメモリ、ダイナミックランダムアクセスメモリ(DRAM)(例えば、シンクロナスDRAM(SDRAM)又はラムバスDRAM(RDRAM)等)、スタティックメモリ506(例えば、フラッシュメモリ、スタティックランダムアクセスメモリ(SRAM)等)、及びバス530を介して互いに通信する二次メモリ518(例えば、データ記憶装置)を含む。 30

【0063】

プロセッサ502は、1以上の汎用処理装置(例えば、マイクロプロセッサ又は中央演算処理装置等)を表す。より具体的には、プロセッサ502は、複合命令セットコンピューティング(CISC)マイクロプロセッサ、縮小命令セットコンピューティング(RISC)マイクロプロセッサ、超長命令語(VLTw)マイクロプロセッサ、他の命令セットを実装するプロセッサ、又は命令セットの組み合わせを実装するプロセッサが可能である。プロセッサ502はまた、1以上の特殊目的用処理装置(例えば、特定用途向け集積回路ASIC)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)、ネットワークプロセッサ等)であってもよい。プロセッサ502は、本明細書内の他の箇所で説明された温度制御操作を実行するための処理ロジック526を実行するように構成される。 40

【0064】

コンピュータシステム500は、ネットワークインターフェイス機器508を更に含むことができる。コンピュータシステム500はまた、ビデオディスプレイユニット510(例えば、液晶ディスプレイ(LCD)又はブラウン管(CRT))、英数字入力装置5 50

12(例えば、キーボード)、カーソル制御装置514(例えば、マウス)、及び信号発生装置516(例えば、スピーカー)を含むこともできる。

【0065】

10
二次メモリ518は、本明細書に記載の温度制御アルゴリズムのうちの任意の1以上を具現化する1以上の命令セット(例えば、ソフトウェア522)が格納されている、マシンにアクセス可能な記憶媒体(又はより具体的には、持続性コンピュータ可読記憶媒体)531を含むことができる。ソフトウェア522は、コンピュータシステム500によって実行される間、メインメモリ504内及び/又はプロセッサ502内に完全に又は少なくとも部分的に常駐させることもでき、メインメモリ504及び/又はプロセッサ502もまた、マシン可読記憶媒体を構成する。ソフトウェア522は更に、ネットワークインターフェイスデバイス508を介してネットワーク520経由で送信又は受信することができる。

【0066】

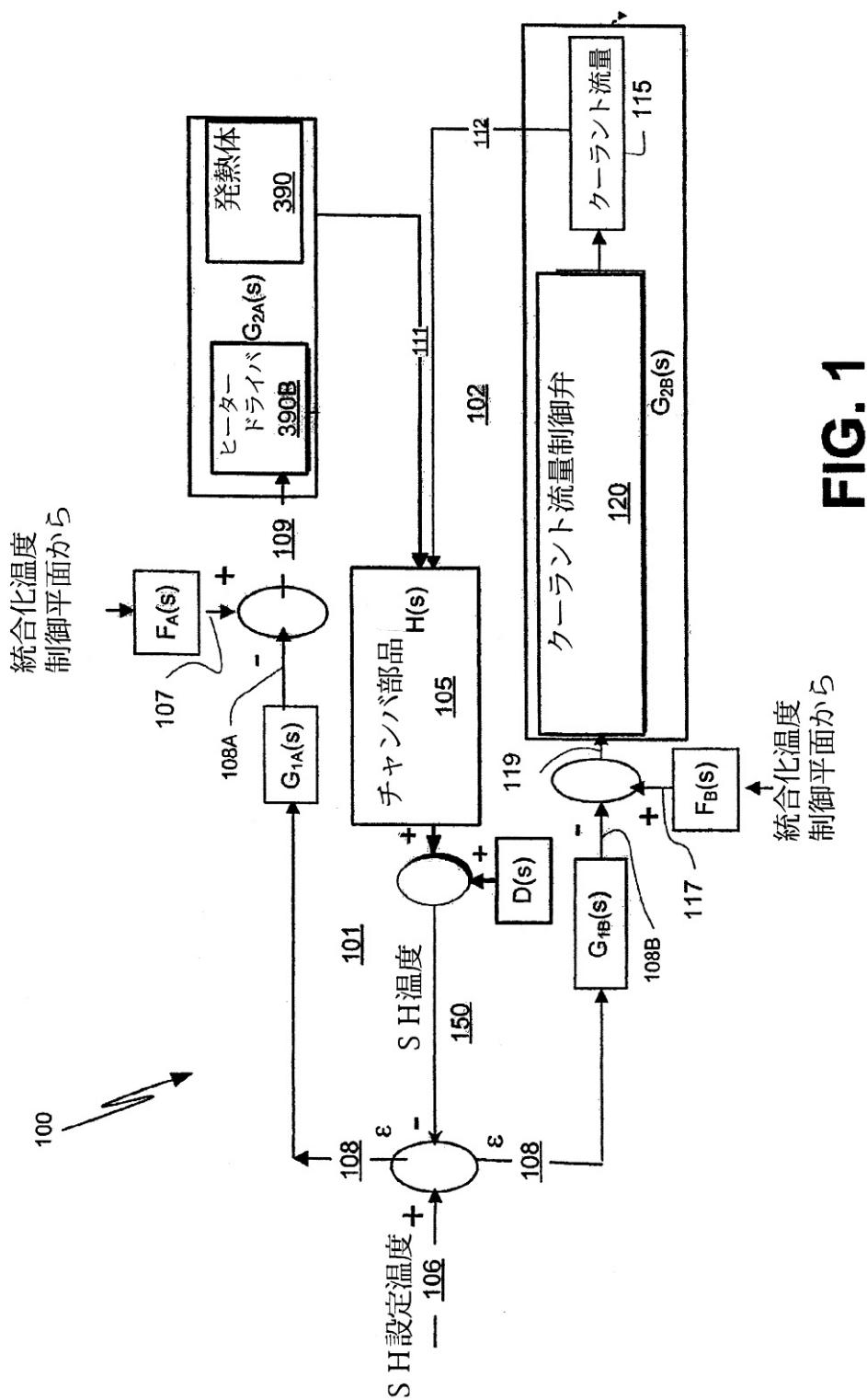
マシンにアクセス可能な記憶媒体531は、処理システムによって実行され、本明細書に記載の温度制御アルゴリズムのいずれか1以上をシステムに実行させる命令セットを格納するために更に使用することができる。本発明の実施形態は、本明細書内の他の箇所に記載されているように、本発明に係るプラズマ処理チャンバの温度を制御するコンピュータシステム(又は他の電子デバイス)をプログラムするために使用可能な命令を内部に格納するマシン可読媒体を含むことができるコンピュータプログラム製品又はソフトウェアとして更に提供することができる。マシン可読媒体は、マシン(例えば、コンピュータ)によって読み取り可能な形式で情報を格納又は伝送するための任意の機構を含む。例えば、マシン可読(例えば、コンピュータ可読)媒体は、マシン(例えば、コンピュータ)可読記憶媒体(例えば、リードオンリーメモリ(「ROM」)、ランダムアクセスメモリ(「RAM」)、磁気ディスク記憶媒体、光記憶媒体、フラッシュメモリデバイスなど)を含む。

【0067】

上記の説明は、限定的なものではなく、例示的であることを意図していることを理解すべきである。上記の説明を読んで理解すれば、他の多くの実施形態が当業者には明らかであろう。本発明は、特定の例示的な実施形態を参照して説明されているが、本発明は上記実施形態に限定されず、添付の特許請求の範囲の趣旨及び範囲内における修正及び変更とともに実施することができることが理解されるであろう。したがって、明細書及び図面は、限定的な意味ではなく、例示的の意味であると見なすべきである。したがって、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲を参照し、そのような特許請求の範囲に与えられた権利に相当するものの全範囲とともに決定されるべきである。

20
30

【 図 1 】



1
FIG.

【図 2A】

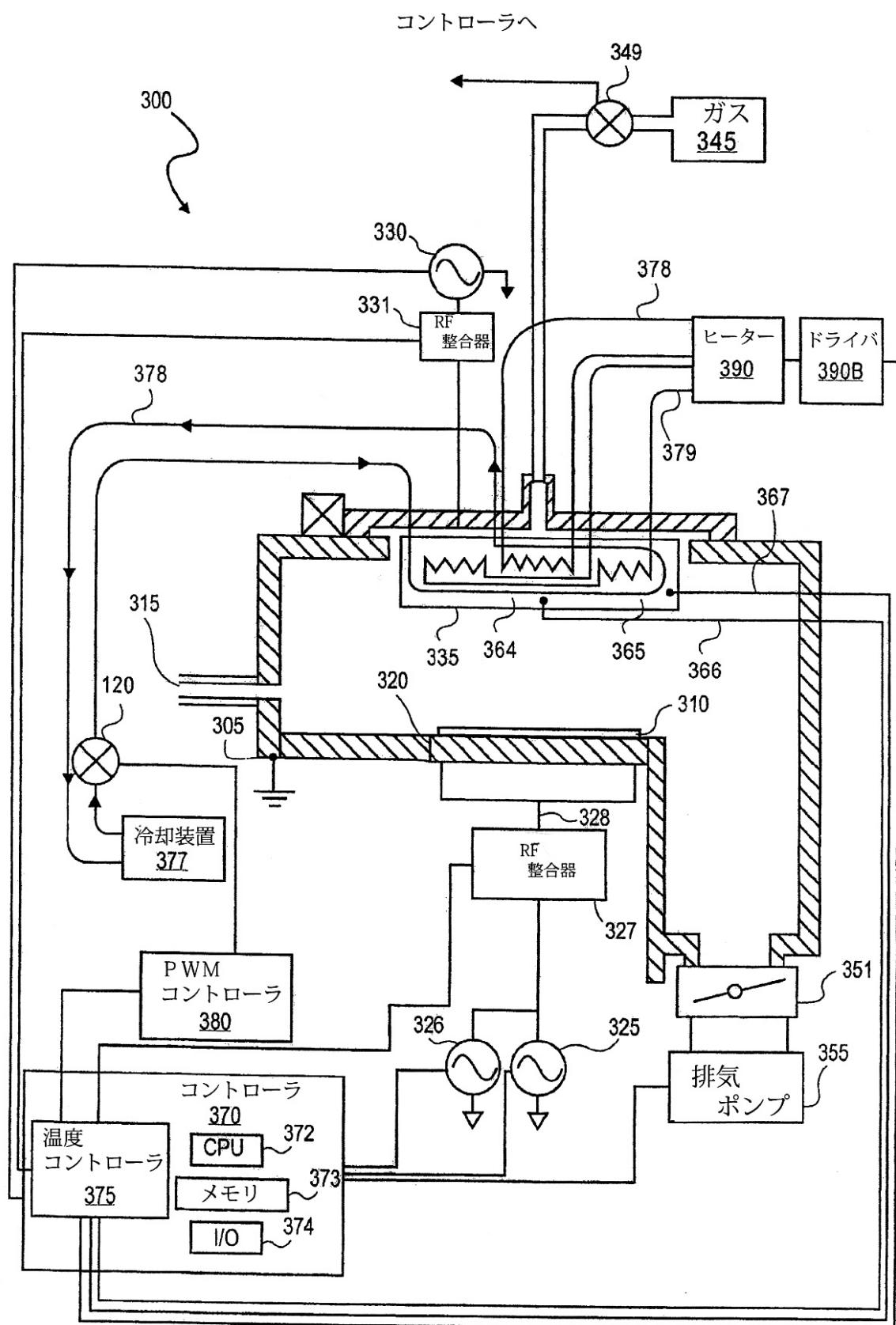


FIG. 2A

【図2B】

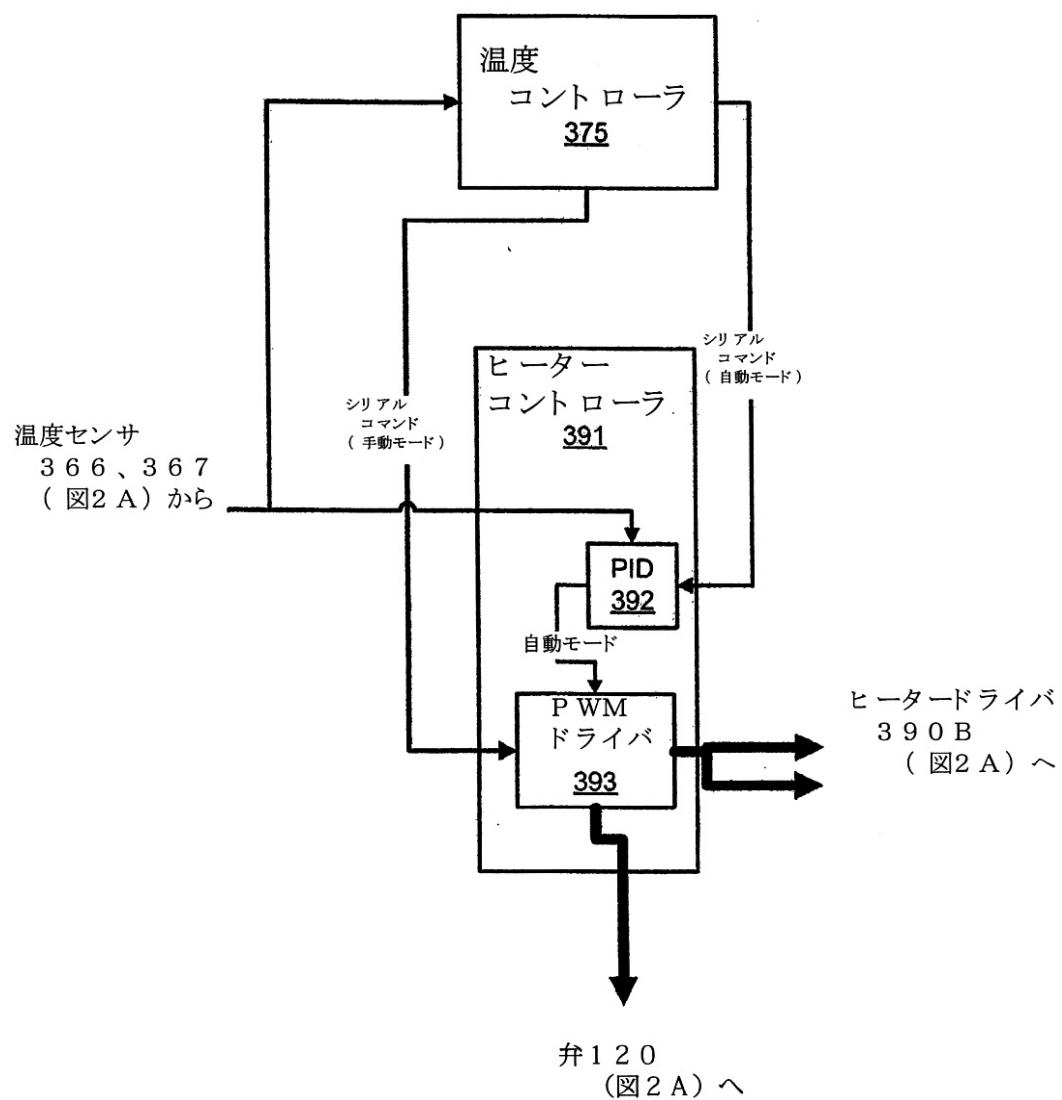


FIG. 2B

【図 3 A】

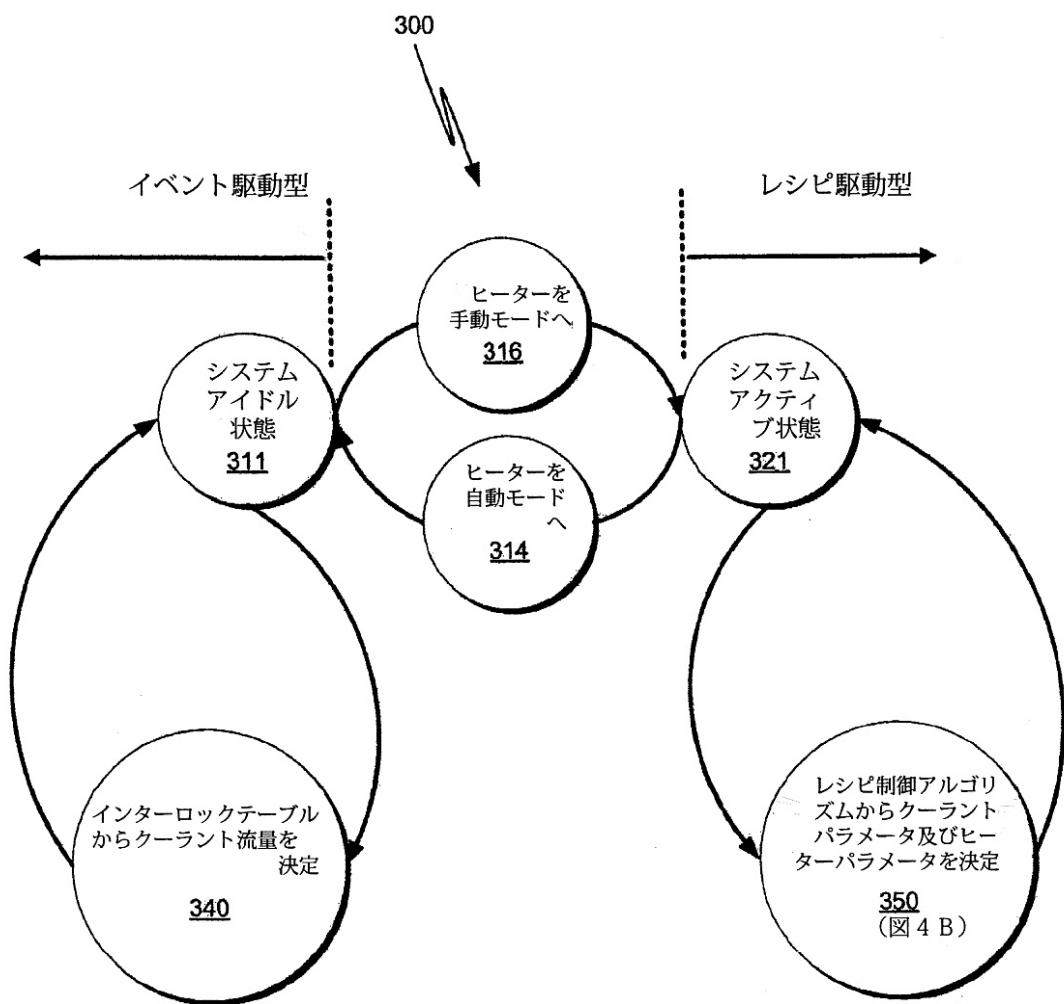


FIG. 3A

【図 3B】

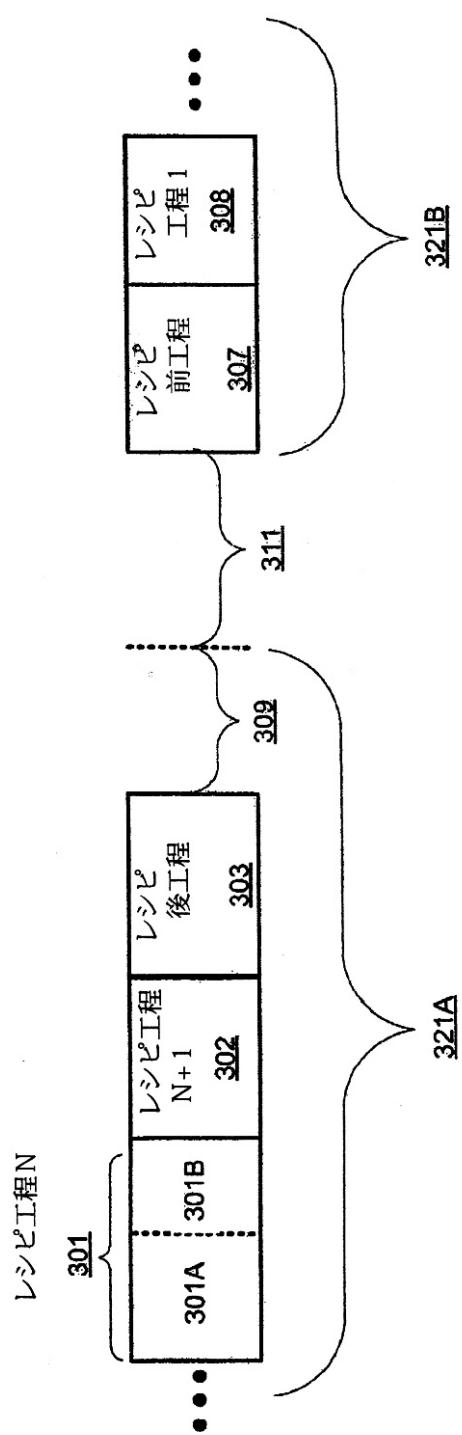
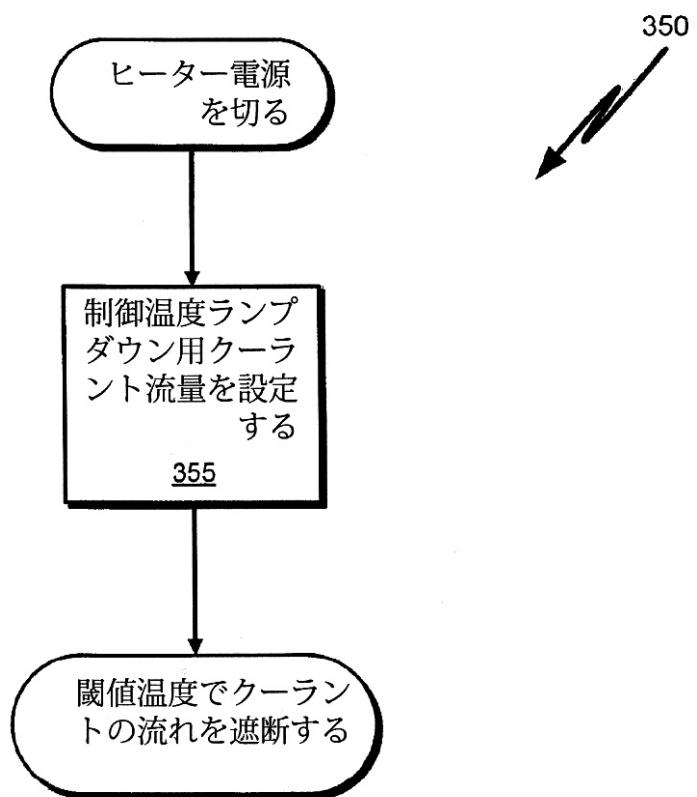


FIG. 3B

【図 3C】

**FIG. 3C**

【図 4 A】

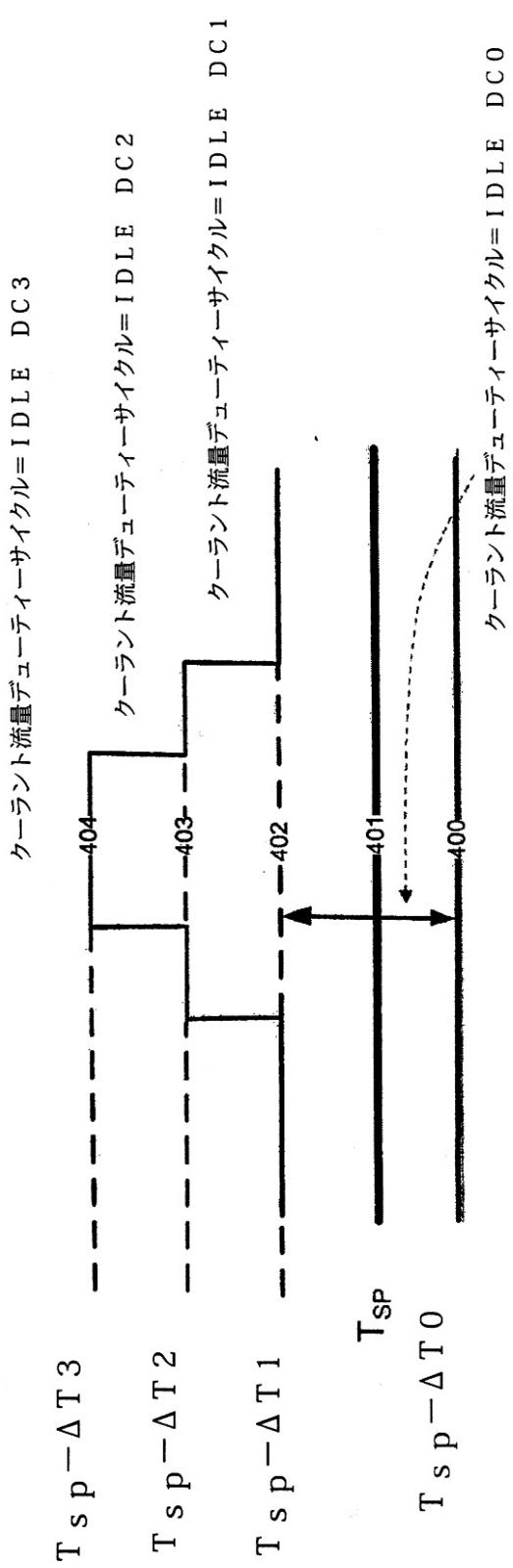


FIG. 4A

【図 4 B】

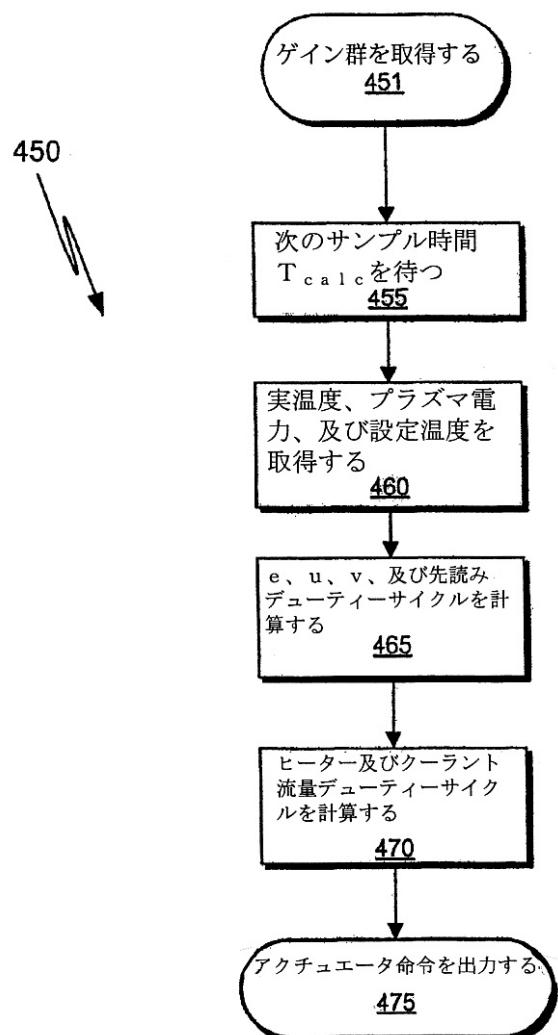


FIG. 4B

【図 4 C】

電力設定値 (アイドル条件)	T _{SP} = 60C	T _{SP} = 70C	T _{SP} = 80C	T _{SP} = 90C
0W	デイン群 1	デイン群 2	...	
<= 1000 W	デイン群 N	...		
<= 2000 W	...			
.....				
<= 7000 W				
> 7000 W				
予備				

FIG. 4C

【図 4 D】

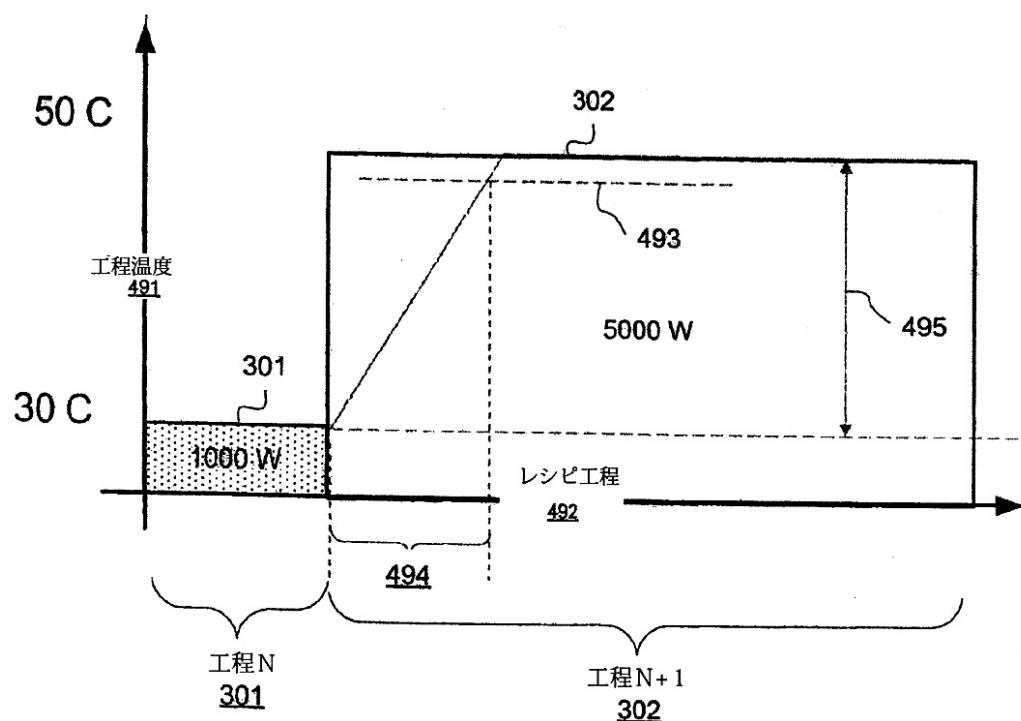


FIG. 4D

【図 4 E】

496

電力/温度	<-55K	-45K to 54K	-35K to 44K	-25K to 34K	-15K to -24K	5K to -165K	45K to -145K	60K to -145K	100K to -145K	250K to -145K	350K to -145K	450K to -145K	550K to -145K	450K to 540K
<-45C	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-36C to -45C	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-28C to -35C	1	1	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-16C to -25C	1	1	1	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-8C to -15C	1	1	1	1	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-5C to 5C	1	1	1	1	1	N	1	1	1	1	1	1	1	1
6C to 15C	1	1	1	1	1	1	N	1	1	1	1	1	1	1
16C to 25C	1	1	1	1	1	1	1	N	1	1	1	1	1	1
26C to 35C	1	1	1	1	1	1	1	1	N	1	1	1	1	1
36C to 45C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	N	N	N	N	N
>45C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

495

FIG. 4E

【図5】

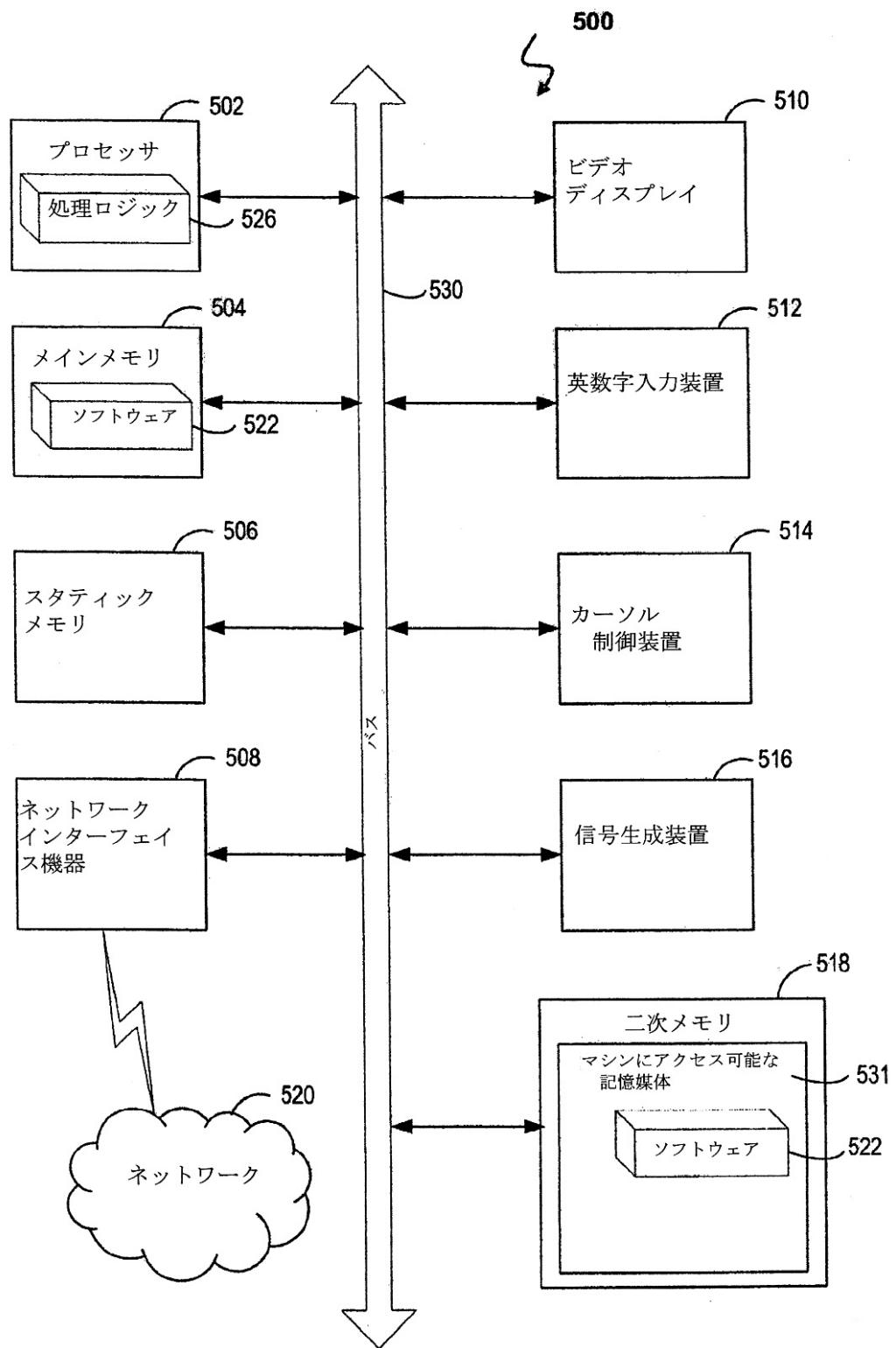


FIG. 5

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2011/037436
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H05H 1/24(2006.01)i, H01L 21/3065(2006.01)i, H01L 21/205(2006.01)i</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H05H 1/24; H01L 21/306; G01N 21/73; H01T 23/00; H01J 37/32; G01L 21/30		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: plasma, chamber, control, coolant, flow		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2007-316039 A (SHIMADZU CORP) 06 December 2007 See abstract; Figs 1-2; [0015]-[0022]	1,10 2-9,11-15
A	EP 1770753 A2 (AXCELIS TECHNOLOGIES, INC.) 04 April 2007 See abstract; Fig 1; [0013]-[0024]	1-15
A	US 2007-0091538 A1 (DOUGLAS BUCHBERGER et al.) 26 April 2007 See abstract; Fig 7; [0061]-[0063]	1-15
A	US 2006-0027324 A1 (AKITAKA MAKINO et al.) 09 February 2006 See abstract; Fig 1; [0026]-[0045]	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
<p>* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 28 NOVEMBER 2011 (28.11.2011)		Date of mailing of the international search report 28 NOVEMBER 2011 (28.11.2011)
Name and mailing address of the ISA/KR  Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon, 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon 302-701, Republic of Korea Facsimile No. 82-42-472-7140		Authorized officer KIM, Ki Wan Telephone No. 82-42-481-5682 

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2011/037436

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2007-316039 A	06.12.2007	None	
EP 1770753 A2	04.04.2007	EP 1150330 A2 EP 1150330 A3 EP 1150330 B1 EP 1770753 A3 EP 1770753 B1 JP 04-793528 B2 JP 2002-033311 A KR 10-0587628 B1 TW 490705 A US 2003-0205328 A1 US 6635117 B1 US 6782843 B2	31.10.2001 29.12.2004 05.12.2007 20.02.2008 22.12.2010 05.08.2011 31.01.2002 08.06.2006 11.06.2002 06.11.2003 21.10.2003 31.08.2004
US 2007-0091538 A1	26.04.2007	None	
US 2006-0027324 A1	09.02.2006	JP 04-522783 B2 JP 2006-049497 A JP 4522783 B2 US 2009-0001052 A1	04.06.2010 16.02.2006 11.08.2010 01.01.2009

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,R,S,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PE,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 ラマスワミー カルティク

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95124 サンノゼ タウニーゲート ウェイ 164
6

(72)発明者 リヤオ ブライアン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95070 サラトガ ロドニー コート 12792

(72)発明者 ショージ セルジオ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95123 サンノゼ カルバート ドライブ 6254

(72)発明者 ヌグエン デュイ ディー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95035 ミルピタス ビクスピー ドライブ 459

(72)発明者 ヌーバクシュ ハミド

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95439 フリモント キャニオン ハイツ ドライブ
40327

(72)発明者 パラガシュビリ デービッド

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94040 マウンテン ビュー シャワーズ ドライブ
ケー 431 49

F ターム(参考) 3L044 AA01 BA09 CA17 DB02 FA08 FA10 JA01 KA01 KA02 KA03
KA04 KA05

4K029 AA24 CA01 DA08 DB17 EA06 EA08 EA09

5F004 AA16 BA04 BA06 BA09 BB11 BB13 BB28 CA04 CA08 CB12