

(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2017-166360
(P2017-166360A)

(43) 公開日 平成29年9月21日 (2017.9.21)

(51) Int.Cl.
F 0 4 D 19/04 (2006.01)

F 1
F O 4 D 19/04
F O 4 D 19/04

テーマコード (参考)
3 H 1 3 1
H
F

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2016-50292 (P2016-50292)	(71) 出願人	000001993
(22) 出願日	平成28年3月14日 (2016.3.14)		株式会社島津製作所
		(74) 代理人	100084412
			弁理士 永井 冬紀
		(72) 発明者	小崎 純一郎
			京都府京都市中京区西ノ京桑原町 1 番地
			株式会社島津製作所内
		Fターム(参考)	3H131 AA02 AA07 BA03 BA04 BA11 BA15 CA01 CA35

(54) 【発明の名称】 温度制御装置およびターボ分子ポンプ

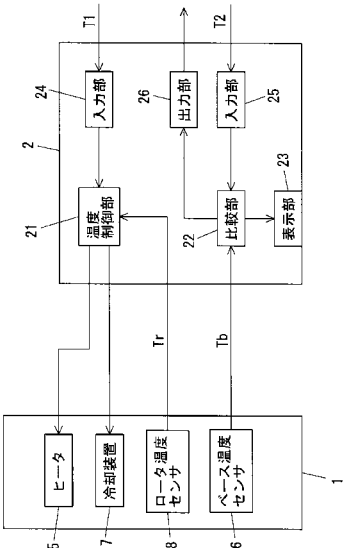
(57) 【要約】

【課題】 反応生成物堆積に関する警報を報知することで適切なメンテナンスを行うことができると共に、ロータ寿命長期化とメンテナンス期間長期化とを図ることができる温度制御装置の提供。

【解決手段】 温度制御装置 2 は、ベースに設けられたステータと、ステータに対して回転駆動されるポンプロータと、ベースを加熱するヒータ 5 と、ベース 3 の温度を検出するベース温度センサ 6 と、ポンプロータ 4 a のロータ温度 T_r を検出するロータ温度センサ 8 とを備えるターボ分子ポンプの、温度制御装置であって、ロータ温度センサ 8 の検出値に基づいてヒータ 5 によるベース 3 の加熱を制御する温度制御部 21 と、ベース温度センサ 6 の検出温度が所定温度 T_2 以下の場合に警報を報知する表示部 23 および出力部 26 と、を備える。

【選択図】 図 2

【図 2】



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ポンプベース部に設けられたステータと、
前記ステータに対して回転駆動されるロータと、
前記ポンプベース部を加熱する加熱部と、
前記ポンプベース部の温度を検出するベース温度検出部と、
前記ロータの温度に相当する物理量である温度相当量を検出するロータ温度検出部とを
備えるターボ分子ポンプの、温度制御装置であって、
前記ロータ温度検出部の検出値に基づいて前記加熱部による前記ポンプベース部の加熱
を制御する加熱制御部と、
前記ベース温度検出部の検出温度が所定閾値以下の場合に警報を報知する報知部と、を
備える温度制御装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の温度制御装置において、
前記加熱制御部は、前記ロータ温度検出部の検出値が所定目標値となるように前記加熱
部による前記ポンプベース部の加熱を制御する、温度制御装置。

【請求項 3】

ポンプベース部に設けられたステータと、
前記ステータに対して回転駆動されるロータと、
前記ポンプベース部を加熱する加熱部と、
前記ロータの温度に相当する物理量である温度相当量を検出するロータ温度検出部とを
備えるターボ分子ポンプの、温度制御装置であって、
前記ロータ温度検出部の検出値が所定目標値となるように前記加熱部による前記ポンプ
ベース部の加熱を制御する、温度制御装置。

20

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか一項に記載の温度制御装置において、
前記ロータ温度検出部は、前記ロータに設けられた強磁性体ターゲットと、前記強磁性
体ターゲットに対して対向するように配置され、前記強磁性体ターゲットの透磁率変化を
検出するセンサとを備え、前記強磁性体ターゲットのキュリー点近傍の透磁率変化に基づ
いて前記ロータの温度を検出する、温度制御装置。

30

【請求項 5】

ポンプベース部に設けられたステータと、
前記ステータに対して回転駆動されるロータと、
前記ポンプベース部を加熱する加熱部と、
前記ポンプベース部の温度を検出するベース温度検出部と、
前記ロータの温度に相当する物理量である温度相当量を検出するロータ温度検出部と、
請求項 1 から請求項 4 までのいずれか一項に記載の温度制御装置と、を備えるターボ分
子ポンプ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

40

【0001】

本発明は、温度制御装置およびターボ分子ポンプに関する。

【背景技術】**【0002】**

ターボ分子ポンプは種々の半導体製造装置の排気ポンプとして使用されるが、エッチン
グプロセス等において排気を行うと、反応生成物がポンプ内部に堆積する。特に、ポンプ
下流側のガス流路に堆積しやすく、ロータとステータとの隙間が堆積物によって埋められ
てしまうほど反応生成物が堆積すると種々の不具合が生じる。例えば、ロータがステータ
に固着してロータ回転が不可能となったり、ロータ翼がステータ側に接触して破損したり
する。そのため、ポンプベース部を加熱して反応生成物の堆積を抑制する構成のターボ分

50

子ポンプが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 3 】

特許文献 1 に記載のターボ分子ポンプは、回転翼温度検出手段で求めた回転翼の温度に基づきベース部の目標温度を設定するベース温度設定手段と、ベース温度設定手段の目標温度とベース部において実測された温度間の差を算出する温度差算出手段と、温度差算出手段の出力信号に基づきベース部の加熱若しくは冷却を制御する温度制御手段とを備えている。そして、生成物の堆積を防止するためにベース部を加熱する際に、回転翼の温度が異常になるのを防止するために、回転翼温度検出手段で求めた回転翼の温度に基づきベース部の目標温度を設定することで、回転翼の保護を図りつつ、反応生成物の堆積を防止するようにしている。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開平 1 0 - 2 6 6 9 9 1 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、回転翼の温度が異常になるのを防止するようにベース部の目標温度を設定した場合でも、反応生成物の堆積を完全に防止するには難しく、反応生成物の堆積を避けることはできない。そのため、ポンプ稼働時間の経過と共に反応生成物の堆積量が増加し、最終的には反応生成物によってロータがステータに固着するというような問題が生じる。

20

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

本発明の好ましい実施形態による温度制御装置は、ポンプベース部に設けられたステータと、前記ステータに対して回転駆動されるロータと、前記ポンプベース部を加熱する加熱部と、前記ポンプベース部の温度を検出するベース温度検出部と、前記ロータの温度に相当する物理量である温度相当量を検出するロータ温度検出部とを備えるターボ分子ポンプの、温度制御装置であって、前記ロータ温度検出部の検出値に基づいて前記加熱部による前記ポンプベース部の加熱を制御する加熱制御部と、前記ベース温度検出部の検出温度が所定閾値以下の場合に警報を報知する報知部と、を備える。

30

さらに好ましい実施形態では、前記加熱制御部は、前記ロータ温度検出部の検出値が所定目標値となるように前記加熱部による前記ポンプベース部の加熱を制御する。

本発明の好ましい実施形態による温度制御装置は、ポンプベース部に設けられたステータと、前記ステータに対して回転駆動されるロータと、前記ポンプベース部を加熱する加熱部と、前記ロータの温度に相当する物理量である温度相当量を検出するロータ温度検出部とを備えるターボ分子ポンプの、温度制御装置であって、前記ロータ温度検出部の検出値が所定目標値となるように前記加熱部による前記ポンプベース部の加熱を制御する。

さらに好ましい実施形態では、前記ロータ温度検出部は、前記ロータに設けられた強磁性体ターゲットと、前記強磁性体ターゲットに対して対向するように配置され、前記強磁性体ターゲットの透磁率変化を検出するセンサとを備え、前記強磁性体ターゲットのキュリー点近傍の透磁率変化に基づいて前記ロータの温度を検出する。

40

本発明の好ましい実施形態によるターボ分子ポンプは、ポンプベース部に設けられたステータと、前記ステータに対して回転駆動されるロータと、前記ポンプベース部を加熱する加熱部と、前記ポンプベース部の温度を検出するベース温度検出部と、前記ロータの温度に相当する物理量である温度相当量を検出するロータ温度検出部と、前記温度制御装置のいずれかと、を備える。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 7 】

本発明によれば、反応生成物堆積に関する警報を報知することで適切なメンテナンスを

50

行うことができると共に、ロータ寿命長期化とメンテナンス期間長期化とを図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、ターボ分子ポンプのポンプ本体の概略構成を示す断面図である。

【図2】図2は、温度制御装置2を示すブロック図である。

【図3】図3は、ロータ温度 T_r が所定温度 T_1 となるように制御した場合のロータ温度 T_r およびベース温度 T_b の推移の一例を示す図である。

【図4】図4は、ロータ温度 T_r およびベース温度 T_b の長時間における推移の一例を示す図である。

10

【図5】図5は、ロータ温度センサの温度検出原理を説明する図である。

【図6】図6は、キュリー温度 T_c における透磁率変化およびインダクタンス変化の一例を示す図である。

【図7】図7は、温度 T_U 、 T_L の設定方法を説明する図である。

【図8】図8は、2つのターゲットを用いた場合の温度 T_U 、 T_L の設定方法を説明する図である。

【図9】図9、一つの温度閾値によるオンオフ制御を説明する図である。

【図10】図10は、温度制御装置を内蔵するターボ分子ポンプの一例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0009】

以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。図1は本発明の一実施の形態を示す図であり、ターボ分子ポンプのポンプ本体1の概略構成を示す断面図である。ポンプ本体1は不図示のコントロールユニットによって制御される。

【0010】

ポンプ本体1は、回転翼41と固定翼31とで構成されるターボポンプ段と、円筒部42とステータ32とで構成されるネジ溝ポンプ段とを有している。ネジ溝ポンプ段においては、ステータ32または円筒部42にネジ溝が形成されている。回転翼41および円筒部42はポンプロータ4aに形成されている。ポンプロータ4aはシャフト4bに締結されている。ポンプロータ4aとシャフト4bとによって回転体ユニット4が構成される。

30

【0011】

軸方向に配置された複数段の回転翼41に対して、複数段の固定翼31が交互に配置されている。各固定翼31は、スペーシング33を介してベース3上に載置される。ポンプケーシング30をベース3にボルト固定すると、積層されたスペーシング33がベース3とポンプケーシング30の係止部30aとの間に挟持され、固定翼31が位置決めされる。

【0012】

シャフト4bは、ベース3に設けられた磁気軸受34、35、36によって非接触支持される。詳細な図示は省略したが、各磁気軸受34～36は電磁石と変位センサとを備えている。変位センサによりシャフト4bの浮上位置が検出される。シャフト4b、すなわち回転体ユニット4の回転数（1秒当たりの回転数）は、回転センサ43によって検出される。

40

【0013】

シャフト4bはモータ10により回転駆動される。モータ10は、ベース3に設けられたモータステータ10aと、シャフト4bに設けられたモータロータ10bとから成る。磁気軸受が作動していない時には、シャフト4bは非常用のメカニカルベアリング37a、37bによって支持される。回転体ユニット4がモータ10により高速回転されると、ポンプ吸気口側のガスは、ターボポンプ段（回転翼41、固定翼31）およびネジ溝ポンプ段（円筒部42、ステータ32）により順に排気され、排気ポート38から排出される。

50

【 0 0 1 4 】

ベース 3 には、ステータ 3 2 を温度調整するためのヒータ 5 および冷却装置 7 が設けられている。図 1 に示す例では、冷却装置 7 として、冷媒が流通する流路が形成された冷却ブロックが設けられている。図示していないが、冷却装置 7 の冷媒流路には冷媒流入のオンオフを制御する電磁弁が設けられている。ベース 3 にはベース温度センサ 6 が設けられている。なお、図 1 に示す例では、ベース温度センサ 6 をベース 3 に設けているがステータ 3 2 に設けるようにしても良い。

【 0 0 1 5 】

また、ポンプロータ 4 a の温度はロータ温度センサ 8 によって検出される。上述したようにポンプロータ 4 a は磁気浮上されて高速回転するので、ロータ温度センサ 8 には非接触式の温度センサが用いられる。本実施の形態では、ロータ温度センサ 8 はインダクタンス式センサであって、ポンプロータ 4 a に設けられたターゲット 9 の透磁率の変化をインダクタンスの変化として検出する。ターゲット 9 は強磁性体で形成されている。

【 0 0 1 6 】

図 2 は、温度制御装置 2 を示すブロック図である。ポンプ本体 1 には、上述したように温度調整用のヒータ 5、冷却装置 7 およびベース温度センサ 6 と、ポンプロータ 4 a の温度を検出するためのロータ温度センサ 8 が設けられている。これらは、温度制御装置 2 に接続されている。

【 0 0 1 7 】

温度制御装置 2 は、温度制御部 2 1、比較部 2 2、表示部 2 3、入力部 2 4、2 5 および出力部 2 6 を備えている。温度制御部 2 1 は、ロータ温度センサ 8 により検出されたロータ温度 T_r と、入力部 2 4 に入力された所定温度 T_1 とに基づいて、ヒータ 5 による加熱および冷却装置 7 による冷却を制御する。具体的には、ヒータ 5 のオンオフ制御、および冷却装置 7 の冷媒流入のオンオフ制御が行われる。なお、本実施の形態ではヒータ 5 と冷却装置 7 とを用いて温調を行うようにしたが、ヒータ 5 のオンオフのみで温調を行っても良い。

【 0 0 1 8 】

比較部 2 2 は、ベース温度センサ 6 により検出されたベース温度 T_b と、入力部 2 5 に入力された所定温度 T_2 とに基づいて、反応生成物の堆積に関する警報表示を表示部 2 3 に表示させる。入力部 2 4、2 5 への所定温度 T_1 、 T_2 の入力方法としては、例えば、オペレータが入力部 2 4、2 5 に設けられた操作部を操作して手動で入力する構成とされる。また、上位のコントローラからの指令によって所定温度 T_1 、 T_2 を設定する構成であっても良い。なお、特に外部より設定されない場合は、 T_1 、 T_2 として予め記憶している標準的な値を適用する。

【 0 0 1 9 】

(温調動作および警報動作の説明)

次に、温度制御装置 2 による温調動作および警報動作について詳しく説明する。前述したように、エッチングプロセス等において排気を行うと、反応生成物がポンプ内部に堆積する。特に、ポンプ下流側のステータ 3 2、円筒部 4 2 やベース 3 のガス流路に堆積しやすく、ステータ 3 2 および円筒部 4 2 への堆積が増大するとステータ 3 2 と円筒部 4 2 との隙間が堆積物によって狭まり、ステータ 3 2 と円筒部 4 2 とが接触したり固着したりすることがある。そのため、ヒータ 5 および冷却装置 7 を設けてベース部分の温度を制御し、ステータ 3 2、円筒部 4 2 やベース 3 のガス流路への反応生成物の堆積を抑制するようにしている。この温度調整動作については後述する。

【 0 0 2 0 】

ターボ分子ポンプのポンプロータ 4 a には一般的にアルミ材が用いられるので、ポンプロータ 4 a の温度 (ロータ温度 T_r) には、クリープ歪みに関するアルミ材特有の許容温度がある。ターボ分子ポンプにおいてはポンプロータ 4 a が高速回転されるので、高速回転状態においてはポンプロータ 4 a に高い遠心力が作用して高引張応力状態となる。そのような高引張応力状態においてポンプロータ 4 a の温度が許容温度 (例えば、120)

10

20

30

40

50

以上になると、永久歪みが増加するクリープ変形の速度が無視できなくなる。

【0021】

許容温度以上で運転し続けると、ポンプロータ4aのクリープ歪みが増加してポンプロータ4aの各部の径寸法が増大し、円筒部42とステータ32との隙間や回転翼41と固定翼31との隙間が狭まり、それらが接触する可能性がある。このように、ポンプロータ4aのクリープ歪みを考慮すると、許容温度以下で運転するのが好ましい。一方で、反応生成物の堆積を抑えて堆積物除去のメンテナンス間隔をより長期化するためには、温調によってベース温度 T_b をより高く保持するのが好ましい。

【0022】

詳細は後述するが、本実施の形態では、ロータ温度センサ8で検出されたロータ温度 T_r が所定温度または所定温度範囲となるようにヒータ5および冷却装置7を制御することで、クリープ歪みによるポンプロータ4aの寿命の長寿命化を優先した適正温度に保ちつつ、反応生成物堆積に対するメンテナンス時間の長期化を図るようにした。

【0023】

図3は、ロータ温度 T_r が所定温度 T_1 となるようにベース部の加熱および冷却（すなわち温調）を行った場合の、ロータ温度 T_r およびベース温度 T_b の短時間における推移の一例を示す図である。ここで短時間とは、数分から数時間の時間範囲を言う。

【0024】

図3(a)はロータ温度 T_r の推移を示す図である。上述したように、所定温度 T_1 は、ベース部の温調を行う際のロータ温度 T_r の制御目標値である。図3(b)の曲線L21, L22, L23はベース温度 T_b の推移を示している。曲線L21, L22, L23は排気するガス種が異なる。符号1, 2, 3はガスの熱伝導率を表しており、 $1 > 2 > 3$ の大小関係にある。

【0025】

ポンプロータ4aはガス中を高速回転して排気するためガスとの摩擦で発熱する。一方で、ポンプロータ4aから固定翼、ステータへ放熱される熱量はガスの熱伝導率に依存し、ガスの熱伝導率が高いほど放熱量も大きくなる。その結果、ガスの熱伝導率が小さい場合の方がポンプロータ4aからの放熱量が小さく、ロータ温度 T_r は高くなる。すなわち、同一のガス流量、同一のベース温度 T_b に対して、ガスの熱伝導率が小さい場合ほどロータ温度 T_r が高くなる。

【0026】

本実施の形態では、ロータ温度 T_r が所定温度 T_1 となるようにベース部の加熱および冷却を制御しているので、ガスの熱伝導率が小さい場合ほどベース温度 T_b が低くなる。図3(b)に示す例では $1 > 2 > 3$ なので、ベース温度 T_b は熱伝導率3の曲線L23が最も低く、曲線L22、L21の順にロータ温度 T_r が高くなる。

【0027】

所定温度 T_1 が図2の入力部24に入力されると、入力部24から温度制御部21に所定温度 T_1 が入力される。温度制御部21は、所定温度 T_1 が入力されると、ヒータ5および冷却装置7のオンオフ制御を行うための目標上限温度 $T_U (= T_1 + \Delta T)$ および目標下限温度 $T_L (= T_1 - \Delta T)$ を、所定温度 T_1 の上下に設定する。そして、入力された所定温度 T_1 およびロータ温度 T_r に基づいて、ロータ温度 T_r が所定温度 T_1 となるようにヒータ5および冷却装置7のオンオフを制御する。

【0028】

図3(a)の時刻 t_1 においてロータ温度 T_r が目標下限温度 T_L を上向きに越えたならば、温度制御部21はオン状態であったヒータ5をオフして加熱を停止する。ヒータ5によるベース部分の加熱を停止すると、ベース部（ステータ32）からポンプロータ4aへの熱移動量が小さくなって、ロータ温度 T_r の上昇率が小さくなる。その後、時刻 t_2 においてロータ温度 T_r が目標上限温度 T_U を上向きに越えたならば、温度制御部21は冷却装置7をオンしてベース部の冷却を開始する。冷却によりステータ32の温度が低下すると、ポンプロータ4aからステータ32へ熱が移動し、冷却開始からしばらくすると

10

20

30

40

50

ロータ温度 T_r が低下し始める。

【0029】

ロータ温度 T_r が低下し、時刻 t_3 においてロータ温度 T_r が目標上限温度 T_U を下向きに越えたならば、温度制御部 21 は冷却装置 7 をオフする。その結果、円筒部 42 からステータ 32 への熱移動が減少し、ロータ温度 T_r の低下率が徐々に小さくなる。その後、時刻 t_4 においてロータ温度 T_r が目標下限温度 T_L を下向きに越えたならば、温度制御部 21 はヒータ 5 をオンしてベース部の加熱を再開する。ヒータ加熱によりステータ 32 の温度が上昇するとステータ 32 から円筒部 42 へ熱が移動し、ロータ温度 T_r が上昇し始める。このように、ベース部の加熱、冷却によりベース 3 およびステータ 32 の温度が上昇、低下すると、それにつれてポンプロータ 4a の温度（ロータ温度 T_r ）も上昇、低下する。

10

【0030】

図 4 は、ロータ温度 T_r が所定温度 T_1 となるようにベース部の加熱および冷却を行った場合のロータ温度 T_r およびベース温度 T_b の長時間における推移の一例を示す図である。ここでの長時間とは、数か月から数年の期間を指す。ヒータ 5 および冷却装置 7 によりベース部の温調を行うことで反応生成物の堆積は抑制されるが、それでも徐々に堆積が進む。

【0031】

ポンプ内に反応生成物が堆積してガス流路が狭くなるにつれて、タービン翼部の圧力が上昇してくる。タービン翼部の圧力が上昇すると、ロータ回転数を定格回転数に維持するのに必要なモータ電流が増加するとともに、ガス排気に伴う発熱が増加する。その結果、ロータ温度が上昇傾向となる。反応生成物堆積によりロータ温度 T_r が上昇傾向になると、ロータ温度 T_r が所定温度 T_1 となるように温調を行っているのでベース部の加熱量が減少する。すなわち、反応生成物の堆積の増加に伴ってベース温度 T_b が低下する。

20

【0032】

図 4 に示す例では、時刻 t_{11} にポンプを使用開始してからしばらくの間は、反応生成物の堆積量がロータ温度 T_r に影響を及ぼすほどの量でないため、ベース温度 T_b はほぼ一定に保たれている。しかし、堆積量がある程度増加した時刻 t_{12} 以後は、ロータ温度 T_r の上昇を抑えるためにベース加熱量が減少し、ベース温度が低下し始める。そして、図 2 の比較部 22 によってベース温度 T_b が所定温度 T_2 以下となったことが検出されると、比較部 22 はメンテナンスを求める警報信号を表示部 23 に出力すると共に、出力部 26 を介して警報信号を外部に出力する。警報信号が表示部 23 に入力されると、表示部 23 は警報表示を表示する。

30

【0033】

さらに、ベース温度 T_b が運転可能下限温度 T_{min} に達したことが比較部 22 によって検出されると、比較部 22 は警告信号を表示部 23 に出力すると共に、ポンプ停止信号を出力部 26 から外部（例えば、ターボ分子ポンプのコントロールユニット）に出力する。表示部 23 は、警告信号が入力されるとポンプ停止を示す警告表示を表示する。また、ポンプ停止信号がターボ分子ポンプのコントロールユニットに入力されると、ターボ分子ポンプはポンプ停止動作を開始する。

40

【0034】

図 3、4 において、温度 T_{max} はターボ分子ポンプの運転可能上限温度であって、ロータ温度 T_r が運転可能上限温度 T_{max} を越えるとポンプロータ 4a のクリープ歪みが無視できなくなり寿命低下への影響が大きくなる。そのため、所定温度 T_1 は、ロータ温度 T_r が運転可能上限温度 T_{max} を越えないように $T_U < T_{max}$ のように設定される。ロータ温度 T_r が運転可能上限温度 T_{max} 以下であれば、クリープ歪みの影響が小さく、ポンプロータ 4a のクリープ寿命を所定値以上に保持することができる。

【0035】

しかしながら、所定温度 T_1 を過度に低く設定すると、温調時のベース温度 T_b が所定温度 T_2 以下となってしまう、反応生成物の堆積量が増加してメンテナンス間隔が短くな

50

ってしまう。そのため、所定温度 T_1 は、図 4 (b) に示すように初期状態においてベース温度 T_b の曲線 L_{21} , L_{22} , L_{23} が所定温度 T_2 よりも高温位置となるように設定するのが好ましい。

【0036】

図 3 , 4 に示す例では、所定温度 T_1 を設定する際の下限值である温度 T_a は、曲線 L_{23} のガスまでを想定した場合の値を示した。温度 T_a は、排気の可能性がある複数のガス種の内、熱伝導率が最も低いガス種のガス流量を定めて、ロータ温度 T_r が温度 T_a となったときの曲線 L_{23} (ベース温度 T_b) の位置が所定温度 T_2 よりも若干高温側となるように設定されている。このように、温度 T_a は、ベース温度 T_b が所定温度 T_2 を下回らないようにするためのロータ温度 T_r の下限値である。

10

【0037】

所定温度 T_1 の下限値は、ベース温度 T_b が所定温度 T_2 を下回らない下限温度であり、図 3 (a) は所定温度 T_1 を下限値に設定した場合を示す。一方、図 3 (a) の曲線 $L_{1'}$ は、所定温度 T_1 を上限値に設定した場合を示す。この場合、ロータ温度 T_r は運転可能上限温度 T_{max} 以下に制御される。すなわち、所定温度 T_1 は図 3 (a) の符号 A で示す範囲に設定される。曲線 L_1 の温度変化幅を $2 \times T_1$ とした場合、温度範囲 A は $T_a + T_1 - T_1 - T_{max} - T_1$ となる。図 3 (b) に示すように 3 種類の曲線 L_{21} , L_{22} , L_{23} の全てが所定温度 T_2 を上回るようにするためには、下限値 T_a を $T_a = T_1 - T_1$ のように設定すれば良い。

【0038】

20

なお、予め想定したガス種よりも熱伝導率が低いガス種が排気される場合、あるいは、ガス種に関係なく標準的な所定温度 T_1 に設定したとしても、結果的に初期状態からベース部温度が所定温度 T_2 を下回ることがあり得るが、そのような場合には、改めて所定温度 T_1 の値を下げる設定変更を行えば良い。

【0039】

所定値 T_1 の設定方法としては、例えば、ロータ寿命を最優先とする値 $T_1 = T_a + T_1$ が所定値 T_1 の初期値として予め設定されていて、 $T_a + T_1 - T_1 - T_{max} - T_1$ の範囲の所望の値をユーザが入力部 24 から入力できる構成としても良い。ユーザは、ロータ寿命とメンテナンス期間とのどちらにどの程度のウェイトを付与するかに応じて所定温度 T_1 を設定することができる。つまり、ロータ寿命とメンテナンス期間に対して適切なトレードオフをかけることができる。また、所定温度 T_2 についても予め初期値が設定されていて、ユーザが所望の値を入力部 25 から入力できるような構成とする。この場合の所定温度 T_2 の初期値としては、例えば、従来のベース温度に対して目標温度を設定して温調を行う場合の目標温度と同程度の温度が設定される。

30

【0040】

また、所定温度 T_2 として、反応生成物の昇華温度またはその近傍温度を用いても良い。ベース温度 T_b が昇華温度である所定温度 T_2 を下回ると、反応生成物の堆積速度が急速に速まるので、メンテナンスを促す警報表示を行う。

【0041】

運転可能下限温度 T_{min} としては、一例として、反応生成物の堆積が著しくなって円筒部 42 とステータ 32 との接触等の可能性が高くなるベース温度があるが、このベース温度を厳密に決定するのは難しく、プロセスの状況やポンプ状況によって大きく影響される。そのため、目安として、所定温度 T_2 に対して、温度幅 B が 10 程度以下となるように設定される。もちろん、実際のプロセス条件で実験やシミュレーションを行って温度 T_{min} を決定しても構わない。

40

【0042】

(ロータ温度センサ 8 の説明)

ロータ温度センサ 8 は、ポンプロータ 4a の温度を非接触で検出する。そのような非接触センサとしては種々のものがあるが、本実施の形態のロータ温度センサ 8 では、ポンプロータ 4a に設けられた強磁性体のターゲット 9 の透磁率の変化をインダクタンスの変化

50

として検出する。

【 0 0 4 3 】

図 5 はロータ温度センサ 8 の温度検出原理を説明する図であり、ロータ温度センサ 8 とターゲット 9 の作る磁気回路の模式図である。ロータ温度センサ 8 の構造は、珪素鋼板などの透磁率の大きなコアの周囲にコイルを巻いたものである。ロータ温度センサ 8 のコイルには搬送波として一定周波数・一定電圧の高周波電圧が印加され、ロータ温度センサ 8 からターゲット 9 に向けて高周波磁界が形成される。

【 0 0 4 4 】

ターゲット 9 には、キュリー温度 T_c がポンプロータ 4 a の運転可能上限温度 T_{max} とほぼ同一か、または、それに近い温度を有する磁性体材料を用いる。例えば、アルミの場合の運転可能上限温度 T_{max} は 1 1 0 ~ 1 3 0 程度であり、キュリー温度 T_c が 1 2 0 程度の磁性体材料としては、ニッケル・亜鉛フェライトやマンガン・亜鉛フェライト等がある。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、キュリー温度 T_c における透磁率変化およびインダクタンス変化の一例を示す図である。ロータ温度上昇によりターゲット 9 の温度が上昇してキュリー温度 T_c を越えると、図 6 (a) の実線で示すように、ターゲット 9 の透磁率が真空の透磁率程度まで急激に低下する。図 6 (a) は典型的な磁性体であるフェライトの場合の透磁率変化を示したものであり、常温における透磁率はキュリー温度付近の透磁率よりも低く、温度上昇とともに上昇してキュリー温度 T_c を越えると急激に低下する。ロータ温度センサ 8 が形成する磁界中でターゲット 9 の透磁率が変化すると、ロータ温度センサ 8 のインダクタンスが変化することになる。その結果、搬送波は振幅変調され、ロータ温度センサ 8 から出力される振幅変調された搬送波を検波・整流することにより、透磁率の変化に相当する信号変化を検出することができる。

【 0 0 4 6 】

ロータ温度センサ 8 のコア材料はフェライト等の磁性体がいられるが、この透磁率がエアギャップの透磁率に比べてそれを無視できる程度に大きく、また、漏れ磁束が無視できる場合には、インダクタンス L と寸法 d , d_1 との関係は近似的に次式 (1) のように表される。なお、 N はコイルの巻き数、 S はターゲット 9 と対向するセンサコアの断面積、 d はエアギャップ、 d_1 はターゲット 9 の厚さ、 μ_1 はターゲット 9 の透磁率であり、エアギャップの透磁率は真空の透磁率 μ_0 に等しいとする。

$$L = N^2 / \{ d_1 / (\mu_1 \cdot S) + d / (\mu_0 \cdot S) \} \quad \dots (1)$$

【 0 0 4 7 】

ロータ温度 T_r がキュリー温度 T_c よりも低い温度のときには、ターゲット 9 の透磁率は真空の透磁率に比べて十分に大きい。そのため、 $d_1 / (\mu_1 \cdot S)$ は $d / (\mu_0 \cdot S)$ に比べて無視できるほどに小さくなり、式 (1) は次式 (2) のように近似できる。

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot S / d \quad \dots (2)$$

【 0 0 4 8 】

一方、ロータ温度 T_r がキュリー温度 T_c よりも上昇すると、近似的に $\mu_1 = \mu_0$ となる。そのため、この場合には式 (1) は次式 (3) のように表される。

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot S / (d + d_1) \quad \dots (3)$$

【 0 0 4 9 】

すなわち、エアギャップが d から $(d + d_1)$ に変化したことに相当し、それに応じてロータ温度センサ 8 のインダクタンスが変化することになる。このインダクタンス変化を検出することにより、ロータ温度がキュリー温度 T_c 以上となったか否かをモニタすることができる。

【 0 0 5 0 】

図 6 (a) に示した透磁率の変化は、ロータ温度センサ 8 のコイルによってインダクタンスの変化に変換されるが、インダクタンスは図 6 (b) の実線のように変化する。インダクタンスも透磁率の変化と同様の変化をするが、変化の割合が透磁率に比べて若干小さ

くなり、上下に圧縮されたような変化となる。

【0051】

図6(a), (b)の二点差線は、強磁性体のターゲット9とは別の純鉄のターゲットの透磁率変化およびインダクタンス変化を示したものである。純鉄ターゲットのキュリー温度 T_c はターゲット9のキュリー温度 T_c に比して十分に高いので、図6(a), (b)に示す温度範囲では、透磁率およびインダクタンスは温度上昇とともに単純に増加している。このような純鉄ターゲットをポンプロータ4aに設けておき、ターゲット9のインダクタンス信号と純鉄ターゲットのインダクタンス信号との差分信号を取ると、図7に示すような差分信号となる。

【0052】

図7は、温度 T_U , T_L の設定方法を説明する図である。図7のような差分信号に対して2つの閾値 V_a , V_b を設定すると、ロータ温度 T_r が T_L 以上のときに差分信号は閾値 V_a 以下となり、ロータ温度 T_r が T_U 以上のときに差分信号は閾値 V_b 以下となる。

【0053】

なお、キュリー温度 T_c 付近における透磁率変化が急激すぎて図7のように2つの温度閾値(T_L , T_U)を取得することが困難な場合には、例えば、図8のようにキュリー温度 T_{c1} , T_{c2} の異なる2つのターゲットを用いても良い。キュリー温度 T_{c1} ($< T_{c2}$)のターゲットにより温度閾値 T_L を取得し、キュリー温度 T_{c2} のターゲットにより温度閾値 T_U を取得する。

【0054】

また、図3に示す例では、所定温度 T_1 を挟んで2つの温度閾値(T_U , T_L)を設けてヒータ5および冷却装置7のオンオフ制御を行うようにしたが、図9に示すように一つの温度閾値を設けてオンオフ制御を行うようにしても良い。この場合には、所定温度 T_1 は下限値 T_a に等しく設定される。時刻 t_1 においてロータ温度 T_r が所定温度 T_1 を上向きに越えたならば、ヒータ5をオフして冷却装置7をオンする。その結果、ベース温度 T_b が低下してロータ温度 T_r も低下する。その後、時刻 t_2 においてロータ温度 T_r が所定温度 T_1 を下向きに越えたならば、ヒータ5をオンし、冷却装置7をオフする。その結果、ベース温度 T_b が上昇してロータ温度 T_r も上昇する。

【0055】

上述した実施の形態では、ロータ温度 T_r が所定温度 T_1 となるようにヒータ5および冷却装置7のオンオフ制御を行うようにした。しかし、ロータ温度 T_r が所定の温度範囲内に制御されるようにヒータ5および冷却装置7のオンオフ制御を行うようにしても良い。

【0056】

例えば、図8の場合と同様に、キュリー温度の異なる2つの強磁性体ターゲットを用いてロータ温度 T_r が温度 T_U , T_L となるタイミングを検出する。そして、ロータ温度 T_r が温度 T_U を越える場合にはポンプベース部の加熱量を低下させ、ロータ温度 T_r が温度 T_L を下回る場合にはポンプベース部の加熱量を増加させることで、ロータ温度 T_r を T_L 以上 T_U 以下の温度範囲に収める。温度 T_U は運転可能上限温度 T_{max} 以下に設定し、温度 T_L は図3の温度 T_a よりも高く設定される。それにより、ロータ温度 T_r が運転可能上限温度 T_{max} 以下となりロータ寿命の長期化が図れ、かつ、ベース温度 T_b が所定温度 T_2 よりも高く保持されて反応生成物の堆積が抑えられる。

【0057】

ポンプ稼働時間が長期に及ぶと反応生成物の堆積量が増加し、図4(a)の場合と同様にベース温度 T_b が低下する。そして、ベース温度 T_b が所定温度 T_2 以下となったならば、メンテナンスの警報を発生する。さらに、ベース温度 T_b が運転可能下限温度 T_{min} に達すると、警告信号を表示部23に出力すると共に、ポンプ停止信号を出力部26から出力する。

【0058】

(1) 上述のように、本実施の形態の温度制御装置2は、ポンプベース部であるベース3

10

20

30

40

50

に設けられたステータ 3 2 と、ステータ 3 2 に対して回転駆動されるポンプロータ 4 a と、ベース 3 を加熱するヒータ 5 と、ベース 3 の温度を検出するベース温度センサ 6 と、ポンプロータ 4 a の温度に相当する物理量である温度相当量を検出するロータ温度センサ 8 とを備えるターボ分子ポンプの、温度制御装置であって、ロータ温度センサ 8 の検出値に基づいてヒータ 5 によるベース 3 の加熱を制御する温度制御部 2 1 と、ベース温度センサ 6 の検出温度が所定閾値（例えば、所定温度 T_2 ）以下の場合に警報を報知する報知部としての表示部 2 3 および出力部 2 6 と、を備える。

【0059】

温度制御部 2 1 は、ロータ温度センサ 8 の検出値に基づいてヒータ 5 によるベース 3 の加熱を制御するので、ポンプロータ 4 a のロータ温度 T_r が運転可能上限温度 T_{max} を越えないようにヒータ加熱を行うことが可能となる。反応生成物の堆積によりロータ温度 T_r が上昇傾向となった場合、上述のような加熱制御を行うとロータ温度上昇が抑えられてベース温度 T_b が徐々に低下する傾向となる。その結果、反応生成物の堆積量の増加をベース温度 T_b の低下として検出することができ、ベース温度 T_r が所定温度 T_2 以下となったときに、反応生成物除去のメンテナンスタイミングを報知する。それにより、反応生成物堆積による不都合の発生、例えば、ポンプロータ 4 a とステータ 3 2 との固着や、回転中のポンプロータ 4 a のステータ 3 2 への接触を予防することができる。

【0060】

(2) さらに、ロータ温度センサ 8 の検出値が所定目標値である所定温度 T_1 となるようにヒータ 5 によるベース 3 の加熱を制御するのが好ましい。このような制御を行うことにより、ロータ温度 T_r を運転可能上限温度 T_{max} に近づけることが可能となり、ベース温度 T_b を可能な限り高温とすることができる。その結果、反応生成物除去のメンテナンス間隔を可能な限り長期化することができる。

【0061】

(3) また、上述した実施形態では、温度制御装置 2 は、ポンプベース部であるベース 3 に設けられたステータと、ステータに対して回転駆動されるポンプロータ 4 a と、ベース 3 を加熱するヒータ 5 と、ポンプロータ 4 a の温度に相当する物理量である温度相当量を検出するロータ温度センサ 8 とを備えるターボ分子ポンプの、温度制御装置であって、ロータ温度センサ 8 の検出値が所定目標値（例えば、所定温度 T_1 ）となるようにベース 3 の加熱を制御する構成となっている。

【0062】

このようにロータ温度 T_r が所定目標値となるようにベース 3 の加熱を制御する構成では、ロータ温度 T_r を運転可能上限温度 T_{max} に可能な限り近づけることで、ベース温度 T_b をより高く保持することができる。そのため、ロータ寿命を管理しつつ反応生成物の堆積を可能な限り低減することができ、ターボ分子ポンプにおける、ロータ寿命の長寿命化と反応生成物除去のメンテナンス期間の長期化との間のトレードオフを最適化することができる。

【0063】

なお、上述した特開平 10 - 266991 号公報に記載の発明では、ロータ温度に基づく推定演算によりベース温度目標値を設定し、そのベース温度目標値となるようにベース加熱を制御している。このようにロータ温度からベース温度目標値を推定する構成では、推定演算が複雑となる。さらに、ベース温度をベース温度目標値に制御することでロータ温度が高温となるのを防止しているので、本実施の形態に比べてロータ温度制御精度の点で劣っている。

【0064】

(4) ロータ温度検出部は、ポンプロータ 4 a に設けられた強磁性体のターゲット 9 と、ターゲット 9 に対して対向するように配置され、ターゲット 9 の透磁率変化を検出するロータ温度センサ 8 とを備え、ターゲット 9 のキュリー点近傍の透磁率変化に基づいてポンプロータ 4 a の温度を検出する。ロータ温度検出部をこのような構成とすることで、排気するガスの種類に依存することなくロータ温度 T_r を検出することができる。

【 0 0 6 5 】

なお、ロータ温度 T_r を非接触で検出する方法としては、上述したように強磁性体のキュリー点における透磁率の変化を利用するものに限らず種々のものがある。例えば、特開平 10 - 266991 号公報に記載されているように、回転翼の浮上方向の長さの熱膨張前後の変化量と、回転翼の主軸の浮上方向長さの熱膨張前後の変化量とに基づいて、回転翼の温度を演算により推定しても良い。

【 0 0 6 6 】

ところで、特開平 10 - 266991 号公報には、吸気口におけるガスの温度と排気口におけるガスの温度との温度差に基づいて回転翼の温度を推定する構成が記載されているが、この場合には、排気しているガスの種類すなわちガスの熱伝導率を特定する必要があり、ガス種が不明であると温度推定に誤差が生じてしまう。

10

【 0 0 6 7 】

一方、上述した強磁性体のキュリー点における透磁率変化を利用する温度検出方法の場合、ガス種に依存せずにロータ温度を検出することができるので、ロータ寿命を適切に管理することができる。

【 0 0 6 8 】

(5) また、図 2 に示す構成では、温度制御装置 2 をターボ分子ポンプとは別に設け、ポンプ側からロータ温度 T_r に相当する物理量である温度相当量と、ベース 3 のベース温度 T_b とを取得し、温度制御装置 2 の温度制御部 21 によりヒータ 5 および冷却装置 7 のオンオフを制御するようにした。しかし、図 10 に示すようにターボ分子ポンプのコントローラユニット 100 に温度制御装置 2 の機能を内蔵するようにしても良い。コントローラユニット 100 には、ポンプ本体 1 のモータ 10 を駆動制御するモータ制御部 101 と、磁気軸受 34, 35 および 36 に電磁石電流を供給する軸受制御部 102 が設けられている。

20

【 0 0 6 9 】

上記では、種々の実施の形態および変形例を説明したが、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 0 】

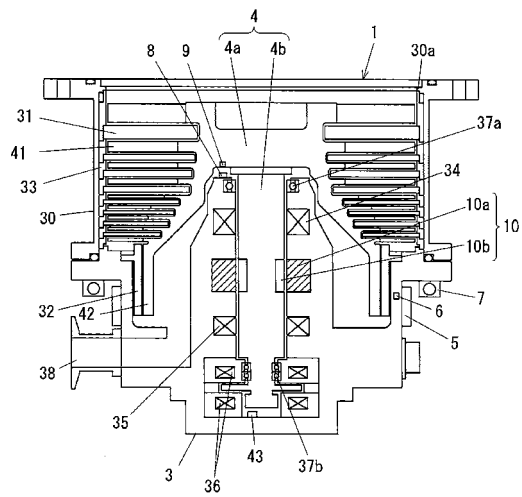
1 ... ポンプ本体、2 ... 温度制御装置、3 ... ベース、4 ... 回転体ユニット、4a ... ポンプロータ、4b ... シャフト、5 ... ヒータ、6 ... ベース温度センサ、7 ... 冷却装置、8 ... ロータ温度センサ、9 ... ターゲット、10 ... モータ、21 ... 温度制御部、22 ... 比較部、23 ... 表示部、24, 25 ... 入力部、26 ... 出力部、31 ... 固定翼、32 ... ステータ、34, 35, 36 ... 磁気軸受、41 ... 回転翼、42 ... 円筒部、 T_1 , T_2 ... 所定温度

30

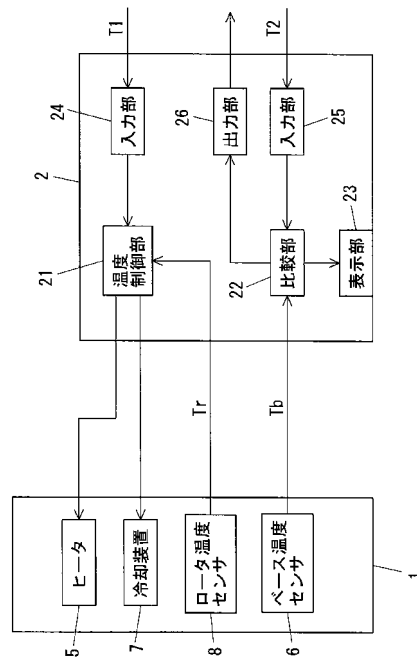
【圖 1】

【 図 2 】

【图 1】

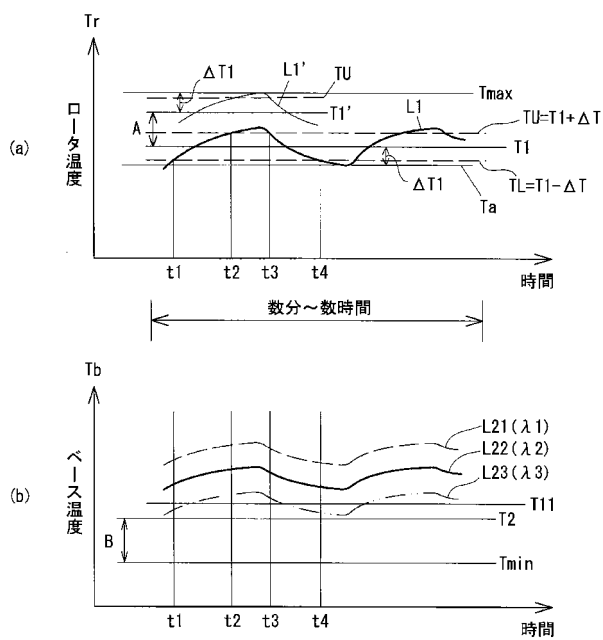


【例2】



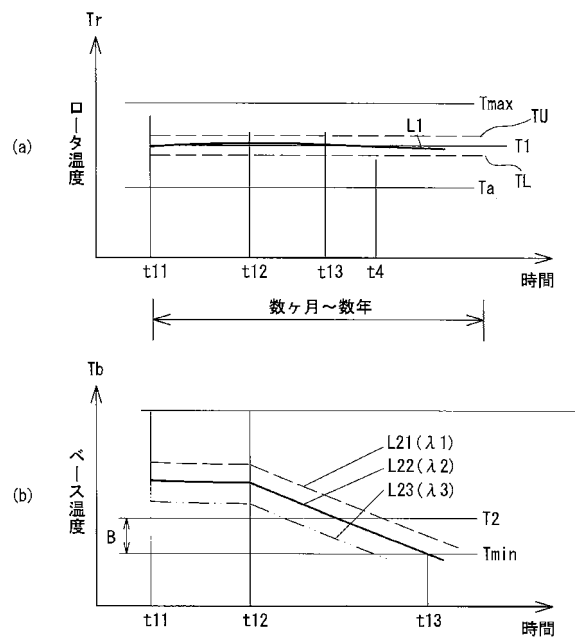
【 図 3 】

【圖 3】

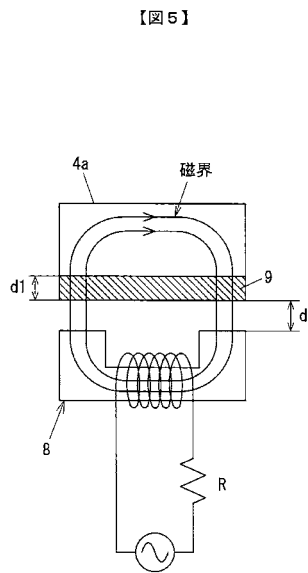


【 図 4 】

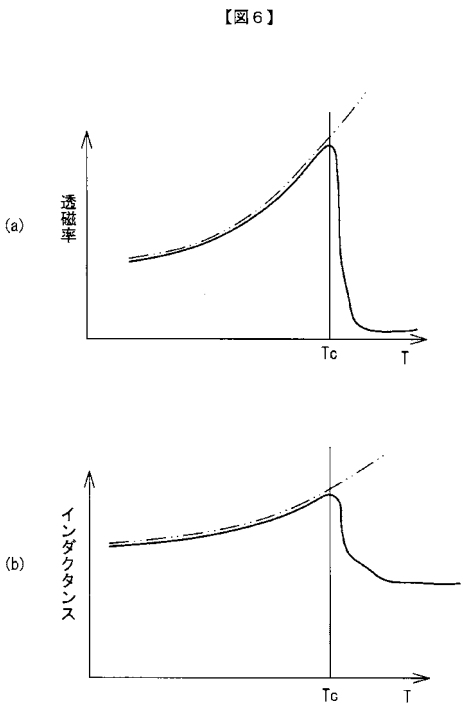
【圖 4】



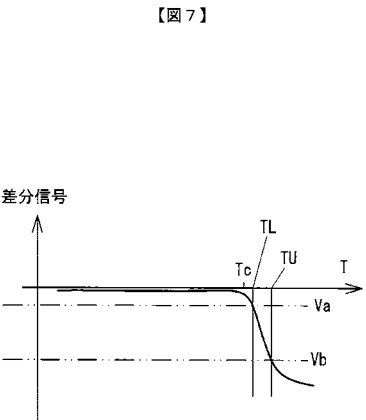
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

