

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6253464号
(P6253464)

(45) 発行日 平成29年12月27日 (2017.12.27)

(24) 登録日 平成29年12月8日 (2017.12.8)

(51) Int. Cl. F I
F O 4 B 37/08 (2006.01) F O 4 B 37/08
F O 4 B 37/16 (2006.01) F O 4 B 37/16

請求項の数 10 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2014-54441 (P2014-54441)	(73) 特許権者	000002107
(22) 出願日	平成26年3月18日 (2014. 3. 18)		住友重機械工業株式会社
(65) 公開番号	特開2015-175342 (P2015-175342A)		東京都品川区大崎二丁目1番1号
(43) 公開日	平成27年10月5日 (2015. 10. 5)	(74) 代理人	100105924
審査請求日	平成28年9月15日 (2016. 9. 15)		弁理士 森下 賢樹
		(74) 代理人	100109047
			弁理士 村田 雄祐
		(74) 代理人	100109081
			弁理士 三木 友由
		(74) 代理人	100116274
			弁理士 富所 輝観夫
		(72) 発明者	及川 健
			東京都西東京市谷戸町二丁目1番1号 住友重機械工業株式会社田無製造所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 クライオポンプ、及びクライオポンプの再生方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

クライオパネルと、
 前記クライオパネルを収容するクライオポンプ容器と、
 前記クライオポンプ容器にパージガスを供給するために前記クライオポンプ容器に設けられているパージバルブと、
 前記クライオパネルを加熱するための、前記パージガスとは異なる熱源と、
昇温工程および排出工程を含むクライオポンプの再生を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記昇温工程において、
 前記クライオパネルを水の融点より高い第1温度帯へと加熱するために前記クライオポンプ容器にパージガスを供給するよう前記パージバルブを開放することと、クライオパネル温度が前記第1温度帯にあるときに前記クライオポンプ容器への前記パージガスの供給を中断するよう前記パージバルブを閉鎖することと、を含む第1昇温工程と、
 前記クライオパネルを前記第1温度帯からパージガス温度より高い第2温度帯へと加熱するよう前記熱源を制御することを含む第2昇温工程と、
前記第2昇温工程において昇温完了条件が満たされたか否かを判定することと、を実行し、前記昇温完了条件が満たされた場合に前記排出工程を開始するよう構成されていることを特徴とするクライオポンプ。

10

【請求項2】

前記クライオポンプ容器の粗引きをするために前記クライオポンプ容器に設けられてい

20

る粗引きバルブをさらに備え、

前記制御部は、前記第 1 温度帯から前記第 2 温度帯への前記クライオパネルの加熱中に、前記クライオポンプ容器を粗引きするよう前記粗引きバルブを開放することを特徴とする請求項 1 に記載のクライオポンプ。

【請求項 3】

前記制御部は、前記第 1 温度帯から前記第 2 温度帯への前記クライオパネルの加熱中に、前記クライオポンプ容器の粗引きと前記パージガスの供給とを交互に行う昇温ラフアンドパージを実行し、

前記制御部は、クライオパネル温度が前記第 2 温度帯にあるときに、前記クライオポンプ容器の粗引きと前記パージガスの供給とを交互に行う排出ラフアンドパージを実行することを特徴とする請求項 2 に記載のクライオポンプ。

10

【請求項 4】

クライオパネルと、
前記クライオパネルを収容するクライオポンプ容器と、
前記クライオポンプ容器にパージガスを供給するために前記クライオポンプ容器に設けられているパージバルブと、
前記クライオポンプ容器の粗引きをするために前記クライオポンプ容器に設けられている粗引きバルブと、

前記クライオパネルを加熱するための、前記パージガスとは異なる熱源と、
クライオポンプの再生を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、
前記クライオパネルを水の融点より高い第 1 温度帯へと加熱するために前記クライオポンプ容器にパージガスを供給するよう前記パージバルブを開放することと、
クライオパネル温度が前記第 1 温度帯にあるときに前記クライオポンプ容器への前記パージガスの供給を中断するよう前記パージバルブを閉鎖することと、
前記クライオパネルを前記第 1 温度帯からパージガス温度より高い第 2 温度帯へと加熱するよう前記熱源を制御することと、
前記第 1 温度帯から前記第 2 温度帯への前記クライオパネルの加熱中に、前記クライオポンプ容器を粗引きするよう前記粗引きバルブを開放することと、 を実行するよう構成され、

20

前記制御部は、前記第 1 温度帯から前記第 2 温度帯への前記クライオパネルの加熱中に、前記クライオポンプ容器の粗引きと前記パージガスの供給とを交互に行う昇温ラフアンドパージを実行し、

30

前記制御部は、クライオパネル温度が前記第 2 温度帯にあるときに、前記クライオポンプ容器の粗引きと前記パージガスの供給とを交互に行う排出ラフアンドパージを実行し、
前記昇温ラフアンドパージにおけるパージ間隔は前記排出ラフアンドパージにおけるパージ間隔より長く、及び/または、前記昇温ラフアンドパージにおけるパージ時間は前記排出ラフアンドパージにおけるパージ時間より短いことを特徴とするクライオポンプ。

【請求項 5】

クライオパネルと、
前記クライオパネルを収容するクライオポンプ容器と、
前記クライオポンプ容器にパージガスを供給するために前記クライオポンプ容器に設けられているパージバルブと、
前記クライオポンプ容器の粗引きをするために前記クライオポンプ容器に設けられている粗引きバルブと、

40

前記クライオパネルを加熱するための、前記パージガスとは異なる熱源と、
クライオポンプの再生を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、
前記クライオパネルを水の融点より高い第 1 温度帯へと加熱するために前記クライオポンプ容器にパージガスを供給するよう前記パージバルブを開放することと、
クライオパネル温度が前記第 1 温度帯にあるときに前記クライオポンプ容器への前記パージガスの供給を中断するよう前記パージバルブを閉鎖することと、

50

前記クライオパネルを前記第 1 温度帯からパージガス温度より高い第 2 温度帯へと加熱するよう前記熱源を制御することと、

前記第 1 温度帯から前記第 2 温度帯への前記クライオパネルの加熱中に、前記クライオポンプ容器を粗引きするよう前記粗引きバルブを開放することと、を執行するよう構成され、

前記制御部は、前記第 1 温度帯から前記第 2 温度帯への前記クライオパネルの加熱中に、前記クライオポンプ容器の粗引きと前記パージガスの供給とを交互に行う昇温ラフアンドパージを執行し、

前記制御部は、クライオパネル温度が前記第 2 温度帯にあるときに、前記クライオポンプ容器の粗引きと前記パージガスの供給とを交互に行う排出ラフアンドパージを執行し、

前記昇温ラフアンドパージにおける粗引き圧は、前記排出ラフアンドパージにおける粗引き圧より高いことを特徴とするクライオポンプ。

【請求項 6】

第 1 ステージと、前記第 1 ステージより低温に冷却される第 2 ステージと、を備える冷凍機と、

前記クライオパネルの温度を測定するための温度センサと、をさらに備え、

前記クライオパネルは、前記第 1 ステージにより冷却される高温クライオパネルと、前記第 2 ステージにより冷却される低温クライオパネルと、を備え、

前記高温クライオパネルは、前記低温クライオパネルを囲みシールド開口端を有する放射シールドと、前記シールド開口端に配設されている入口クライオパネルと、を備え、

前記温度センサは、前記入口クライオパネルの中心部に設けられていることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載のクライオポンプ。

【請求項 7】

前記パージガス温度は、室温であることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載のクライオポンプ。

【請求項 8】

昇温工程および排出工程を含むクライオポンプの再生方法であって、

水の融点より高い第 1 温度帯へとクライオパネルを加熱するためにクライオポンプにパージガスを供給することと、クライオパネル温度が前記第 1 温度帯にあるときにクライオポンプへのパージガスの供給を中断することと、を含む第 1 昇温工程と、

前記第 1 温度帯からパージガス温度より高い第 2 温度帯へと前記クライオパネルを加熱することを含む第 2 昇温工程と、

前記第 2 昇温工程において昇温完了条件が満たされたか否かを判定し、前記昇温完了条件が満たされた場合に前記排出工程を開始することと、を備えることを特徴とする方法。

【請求項 9】

前記第 1 温度帯から前記第 2 温度帯への前記クライオパネルの加熱中に、前記クライオポンプを粗引きすることをさらに備えることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

クライオパネル温度が前記第 2 温度帯にあるときに前記クライオポンプから水を排出することをさらに備えることを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、クライオポンプ、及びクライオポンプの再生方法に関する。

【背景技術】

【0002】

クライオポンプは、極低温に冷却されたクライオパネルに気体分子を凝縮または吸着により捕捉して排気する真空ポンプである。クライオポンプは半導体回路製造プロセス等に要求される清浄な真空環境を実現するために一般に利用される。クライオポンプはいわゆる気体溜め込み式の真空ポンプであるから、捕捉した気体を外部に定期的に排出する再生

10

20

30

40

50

を要する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2001-123951号公報

【特許文献2】特開平2-252982号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明のある態様の例示的な目的のひとつは、クライオポンプの再生においてクライオポンプを効率的に昇温することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明のある態様によると、クライオパネルと、前記クライオパネルを収容するクライオポンプ容器と、前記クライオポンプ容器にパージガスを供給するために前記クライオポンプ容器に設けられているパージバルブと、前記クライオパネルを加熱するための、前記パージガスとは異なる熱源と、クライオポンプの再生を制御する制御部と、を備えるクライオポンプが提供される。前記制御部は、前記クライオパネルを水の融点より高い第1温度帯へと加熱するために前記クライオポンプ容器にパージガスを供給するよう前記パージバルブを開放することと、クライオパネル温度が前記第1温度帯にあるときに前記クライオポンプ容器への前記パージガスの供給を中断するよう前記パージバルブを閉鎖することと、前記クライオパネルを前記第1温度帯からパージガス温度より高い第2温度帯へと加熱するよう前記熱源を制御することと、を実行するよう構成されている。

20

【0006】

本発明のある態様によると、クライオポンプの再生方法が提供される。本方法は、水の融点より高い第1温度帯へとクライオパネルを加熱するためにクライオポンプにパージガスを供給することと、クライオパネル温度が前記第1温度帯にあるときにクライオポンプへのパージガスの供給を中断することと、前記第1温度帯からパージガス温度より高い第2温度帯へと前記クライオパネルを加熱することと、を備える。

【発明の効果】

30

【0007】

本発明によれば、クライオポンプの再生においてクライオポンプを効率的に昇温することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明のある実施形態に係るクライオポンプを概略的に示す図である。

【図2】本発明のある実施形態に係る再生方法を説明するためのフローチャートである。

【図3】本発明のある実施形態に係るクライオポンプを概略的に示す図である。

【図4】本発明のある実施形態に係る再生シーケンスを示す図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0009】

以下、図面を参照しながら、本発明を実施するための形態について詳細に説明する。なお、説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を適宜省略する。また、以下に述べる構成は例示であり、本発明の範囲を何ら限定するものではない。

【0010】

図1は、本発明のある実施形態に係るクライオポンプ10を概略的に示す図である。クライオポンプ10は、例えばイオン注入装置やスパッタリング装置等の真空チャンバに取り付けられて、真空チャンバ内部の真空度を所望のプロセスに要求されるレベルまで高めるために使用される。

【0011】

50

クライオポンプ 10 は、気体を受け入れるための吸気口 12 を有する。吸気口 12 はクライオポンプ 10 の内部空間 14 への入口である。クライオポンプ 10 が取り付けられた真空チャンバから吸気口 12 を通じて、排気されるべき気体がクライオポンプ 10 の内部空間 14 に進入する。

【0012】

なお以下では、クライオポンプ 10 の構成要素の位置関係をわかりやすく表すために、「軸方向」、「径方向」との用語を使用することがある。軸方向は吸気口 12 を通る方向を表し、径方向は吸気口 12 に沿う方向を表す。便宜上、軸方向に関して吸気口 12 に相対的に近いことを「上」、相対的に遠いことを「下」と呼ぶことがある。つまり、クライオポンプ 10 の底部から相対的に遠いことを「上」、相対的に近いことを「下」と呼ぶことがある。径方向に関しては、吸気口 12 の中心に近いことを「内」、吸気口 12 の周縁に近いことを「外」と呼ぶことがある。なお、こうした表現はクライオポンプ 10 が真空チャンバに取り付けられたときの配置とは関係しない。例えば、クライオポンプ 10 は鉛直方向に吸気口 12 を下向きにして真空チャンバに取り付けられてもよい。

10

【0013】

クライオポンプ 10 は、低温クライオパネル 18 と、高温クライオパネル 19 と、を備える。また、クライオポンプ 10 は、高温クライオパネル 19 及び低温クライオパネル 18 を冷却する冷却システムを備える。この冷却システムは、冷凍機 16 と、圧縮機 36 と、を備える。

【0014】

20

冷凍機 16 は、例えばギフォード・マクマホン式冷凍機（いわゆる GM 冷凍機）などの極低温冷凍機である。冷凍機 16 は、第 1 ステージ 20、第 2 ステージ 21、第 1 シリンダ 22、第 2 シリンダ 23、第 1 ディスプレーサ 24、及び第 2 ディスプレーサ 25 を備える二段式の冷凍機である。よって、冷凍機 16 の高温段は、第 1 ステージ 20、第 1 シリンダ 22、及び第 1 ディスプレーサ 24 を備える。冷凍機 16 の低温段は、第 2 ステージ 21、第 2 シリンダ 23、及び第 2 ディスプレーサ 25 を備える。

【0015】

第 1 シリンダ 22 と第 2 シリンダ 23 は直列に接続されている。第 1 ステージ 20 は、第 1 シリンダ 22 と第 2 シリンダ 23 との結合部に設置されている。第 2 シリンダ 23 は第 1 ステージ 20 と第 2 ステージ 21 とを連結する。第 2 ステージ 21 は、第 2 シリンダ 23 の末端に設置されている。第 1 シリンダ 22 及び第 2 シリンダ 23 それぞれの内部には第 1 ディスプレーサ 24 及び第 2 ディスプレーサ 25 が冷凍機 16 の長手方向（図 1 において左右方向）に移動可能に配設されている。第 1 ディスプレーサ 24 と第 2 ディスプレーサ 25 とは一体に移動可能に連結されている。第 1 ディスプレーサ 24 及び第 2 ディスプレーサ 25 にはそれぞれ第 1 蓄冷器及び第 2 蓄冷器（図示せず）が組み込まれている。

30

【0016】

冷凍機 16 は、第 1 シリンダ 22 の高温端に設けられている駆動機構 17 を備える。駆動機構 17 は、第 1 ディスプレーサ 24 及び第 2 ディスプレーサ 25 がそれぞれ第 1 シリンダ 22 及び第 2 シリンダ 23 の内部を往復動可能であるように第 1 ディスプレーサ 24 及び第 2 ディスプレーサ 25 に接続されている。また駆動機構 17 は、作動気体の供給と排出を周期的に繰り返すよう作動気体の流路を切り替える流路切替機構を含む。流路切替機構は例えばバルブ部とバルブ部を駆動する駆動部とを含む。バルブ部は例えばロータリーバルブを含み、駆動部はロータリーバルブを回転させるためのモータを含む。モータは、例えば AC モータまたは DC モータであってもよい。また流路切替機構はリニアモータにより駆動される直動式の機構であってもよい。

40

【0017】

冷凍機 16 は高圧導管 34 及び低圧導管 35 を介して圧縮機 36 に接続される。冷凍機 16 は、圧縮機 36 から供給される高圧の作動気体（例えばヘリウム）を内部で膨張させて第 1 ステージ 20 及び第 2 ステージ 21 に寒冷を発生させる。圧縮機 36 は、冷凍機 1

50

6で膨張した作動気体を回収し再び加圧して冷凍機16に供給する。

【0018】

具体的には、まず駆動機構17が高圧導管34と冷凍機16の内部空間とを連通させる。圧縮機36から高圧導管34を通じて冷凍機16に高圧の作動気体が供給される。冷凍機16の内部空間が高圧の作動気体で満たされると、駆動機構17は冷凍機16の内部空間を低圧導管35に連通させるよう流路を切り替える。これにより作動気体は膨張する。膨張した作動気体は圧縮機36へと回収される。こうした作動気体の給排に同期して、第1ディスプレイサ24及び第2ディスプレイサ25がそれぞれ第1シリンダ22及び第2シリンダ23の内部を往復動する。このような熱サイクルを繰り返すことで冷凍機16は第1ステージ20及び第2ステージ21に寒冷を発生させる。

10

【0019】

冷凍機16は、第1ステージ20を第1温度レベルに冷却し、第2ステージ21を第2温度レベルに冷却するよう構成されている。第2温度レベルは第1温度レベルよりも低温である。例えば、第1ステージ20は65K~120K程度、好ましくは80K~100Kに冷却され、第2ステージ21は10K~20K程度に冷却される。

【0020】

図1は、クライオポンプ10の内部空間14の中心軸と、冷凍機16の中心軸とを含む断面を示す。図1に示されるクライオポンプ10は、いわゆる横型のクライオポンプである。横型のクライオポンプとは一般に、冷凍機16がクライオポンプ10の内部空間14の中心軸に交差する(通常は直交する)よう配設されているクライオポンプである。本発明はいわゆる縦型のクライオポンプにも同様に適用することができる。縦型のクライオポンプとは、冷凍機がクライオポンプの軸方向に沿って配設されているクライオポンプである。

20

【0021】

低温クライオパネル18は、クライオポンプ10の内部空間14の中心部に設けられている。低温クライオパネル18は例えば、複数のパネル部材26を含む。パネル部材26は例えば、それぞれが円すい台の側面の形状、いわば傘状の形状を有する。各パネル部材26には通常活性炭等の吸着剤27が設けられている。吸着剤27は例えばパネル部材26の裏面に接着されている。このようにして、低温クライオパネル18は、気体分子を吸着するための吸着領域を備える。

30

【0022】

パネル部材26はパネル取付部材28に取り付けられている。パネル取付部材28は第2ステージ21に取り付けられている。このようにして、低温クライオパネル18は、第2ステージ21に熱的に接続されている。よって、低温クライオパネル18は第2温度レベルに冷却される。

【0023】

高温クライオパネル19は、放射シールド30と入口クライオパネル32とを備える。高温クライオパネル19は、低温クライオパネル18を包囲するよう低温クライオパネル18の外側に設けられている。高温クライオパネル19は第1ステージ20に熱的に接続されており、高温クライオパネル19は第1温度レベルに冷却される。

40

【0024】

放射シールド30は主として、クライオポンプ10のハウジング38からの輻射熱から低温クライオパネル18を保護するために設けられている。放射シールド30は、ハウジング38と低温クライオパネル18との間にあり、低温クライオパネル18を囲む。放射シールド30は、吸気口12に向けて軸方向上端が開放されている。放射シールド30は、軸方向下端が閉塞された筒形(例えば円筒)の形状を有し、カップ状に形成されている。放射シールド30の側面には冷凍機16の取付のための孔があり、そこから第2ステージ21が放射シールド30の中に挿入されている。その取付孔の外周部にて放射シールド30の外面に第1ステージ20が固定されている。こうして放射シールド30は第1ステージ20に熱的に接続されている。

50

【 0 0 2 5 】

入口クライオパネル 3 2 は、吸気口 1 2 において径方向に沿って配置されている。入口クライオパネル 3 2 は、シールド開口端 3 1 に配設されている。入口クライオパネル 3 2 はその外周部がシールド開口端 3 1 に固定されて、放射シールド 3 0 に熱的に接続されている。入口クライオパネル 3 2 は、低温クライオパネル 1 8 から軸方向上方に離れて設けられている。入口クライオパネル 3 2 は、例えば、ルーバ構造やシェブロン構造に形成される。入口クライオパネル 3 2 は、放射シールド 3 0 の中心軸を中心とする同心円状に形成されていてもよいし、あるいは格子状等他の形状に形成されていてもよい。

【 0 0 2 6 】

入口クライオパネル 3 2 は、吸気口 1 2 に入る気体を排気するために設けられている。入口クライオパネル 3 2 の温度で凝縮する気体（例えば水分）がその表面に捕捉される。また、入口クライオパネル 3 2 は、クライオポンプ 1 0 の外部の熱源（例えば、クライオポンプ 1 0 が取り付けられる真空チャンバ内の熱源）からの輻射熱から低温クライオパネル 1 8 を保護するために設けられている。輻射熱だけではなく気体分子の進入も制限される。入口クライオパネル 3 2 は、吸気口 1 2 を通じた内部空間 1 4 への気体流入を所望量に制限するように吸気口 1 2 の開口面積の一部を占有する。

10

【 0 0 2 7 】

クライオポンプ 1 0 は、ハウジング 3 8 を備える。ハウジング 3 8 は、クライオポンプ 1 0 の内部と外部とを隔てるための真空容器である。ハウジング 3 8 は、クライオポンプ 1 0 の内部空間 1 4 を気密に保持するように構成されている。ハウジング 3 8 は、高温クライオパネル 1 9 の外側に設けられており、高温クライオパネル 1 9 を囲む。また、ハウジング 3 8 は冷凍機 1 6 を収容する。つまり、ハウジング 3 8 は、高温クライオパネル 1 9 及び低温クライオパネル 1 8 を収容するクライオポンプ容器である。

20

【 0 0 2 8 】

ハウジング 3 8 は、高温クライオパネル 1 9 及び冷凍機 1 6 の低温部に非接触であるように、外部環境温度の部位（例えば冷凍機 1 6 の高温部）に固定されている。ハウジング 3 8 の外面は外部環境にさらされており、冷却されている高温クライオパネル 1 9 よりも温度が高い（例えば室温程度）。

【 0 0 2 9 】

また、ハウジング 3 8 はその開口端から径方向外側に向けて延びる吸気口フランジ 5 6 を備える。吸気口フランジ 5 6 は、クライオポンプ 1 0 を真空チャンバに取り付けるためのフランジである。真空チャンバの開口にはゲートバルブが設けられており（図示せず）、吸気口フランジ 5 6 はそのゲートバルブに取り付けられる。そのようにして入口クライオパネル 3 2 の軸方向上方にゲートバルブが位置する。例えばクライオポンプ 1 0 を再生するときにゲートバルブは閉とされ、クライオポンプ 1 0 が真空チャンバを排気するときに開とされる。

30

【 0 0 3 0 】

ハウジング 3 8 には、ベントバルブ 7 0、粗引きバルブ 7 2、及びパージバルブ 7 4 が取り付けられている。

【 0 0 3 1 】

ベントバルブ 7 0 は、クライオポンプ 1 0 の内部から外部環境へと流体を排出するための排出ライン 8 0 の例えば末端に設けられている。ベントバルブ 7 0 を開くことにより排出ライン 8 0 の流れが許容され、ベントバルブ 7 0 を閉じることにより排出ライン 8 0 の流れが遮断される。排出される流体は基本的にはガスであるが、液体または気液の混合物であってもよい。例えばクライオポンプ 1 0 に凝縮されたガスの液化物が排出流体に混在していてもよい。ベントバルブ 7 0 が開弁されることにより、ハウジング 3 8 の内部に生じた陽圧を外部に解放することができる。

40

【 0 0 3 2 】

粗引きバルブ 7 2 は、粗引きポンプ 7 3 に接続される。粗引きバルブ 7 2 の開閉により、粗引きポンプ 7 3 とクライオポンプ 1 0 とが連通または遮断される。粗引きバルブ 7 2

50

を開くことにより粗引きポンプ73とハウジング38とが連通され、粗引きバルブ72を閉じることにより粗引きポンプ73とハウジング38とが遮断される。粗引きバルブ72を開きかつ粗引きポンプ73を動作させることにより、クライオポンプ10の内部を減圧することができる。

【0033】

粗引きポンプ73は、クライオポンプ10の真空引きをするための真空ポンプである。粗引きポンプ73は、クライオポンプ10の動作圧力範囲の低真空領域、言い替えればクライオポンプ10の動作開始圧力であるベース圧レベルをクライオポンプ10に提供するための真空ポンプである。粗引きポンプ73は、大気圧からベース圧レベルまでハウジング38を減圧することができる。ベース圧レベルは、粗引きポンプ73の高真空領域にあたり、粗引きポンプ73とクライオポンプ10の動作圧力範囲の重なり部分に含まれる。ベース圧レベルは、例えば1Pa以上50Pa以下(例えば10Pa程度)の範囲である。

10

【0034】

粗引きポンプ73は典型的にはクライオポンプ10とは別の真空装置として設けられ、例えばクライオポンプ10が接続される真空チャンバを含む真空システムの一部を構成する。クライオポンプ10は真空チャンバのための主ポンプであり、粗引きポンプ73は補助ポンプである。

【0035】

パージバルブ74はパージガス源75を含むパージガス供給装置に接続される。パージバルブ74の開閉によりパージガス源75とクライオポンプ10とが連通または遮断され、パージガスのクライオポンプ10への供給が制御される。パージバルブ74を開くことにより、パージガス源75からハウジング38へのパージガス流れが許容される。パージバルブ74を閉じることにより、パージガス源75からハウジング38へのパージガス流れが遮断される。パージバルブ74を開きパージガス源75からパージガスをハウジング38に導入することにより、クライオポンプ10の内部を昇圧することができる。供給されたパージガスは、ベントバルブ70または粗引きバルブ72を通じてクライオポンプ10から排出される。

20

【0036】

パージガスの温度は、本実施形態では室温に調整されているが、ある実施形態においてはパージガスは、室温より高温に加熱されたガス、または、室温よりいくらか低温のガスであってもよい。本書において室温は、10～30の範囲または15～25の範囲から選択される温度であり、例えば約20である。パージガスは例えば窒素ガスである。パージガスは、乾燥したガスであってもよい。

30

【0037】

クライオポンプ10は、第1ステージ20の温度を測定するための第1温度センサ90と、第2ステージ21の温度を測定するための第2温度センサ92と、を備える。第1温度センサ90は、第1ステージ20に取り付けられている。第2温度センサ92は、第2ステージ21に取り付けられている。第1温度センサ90は、第1ステージ20の温度を定期的に測定し、測定温度を示す信号を制御部100に出力する。第1温度センサ90はその出力を通信可能に制御部100に接続されている。第2温度センサ92についても同様に構成されている。第1温度センサ90及び第2温度センサ92の測定温度がそれぞれ高温クライオパネル19及び低温クライオパネル18の温度として制御部100において用いられてもよい。

40

【0038】

また、ハウジング38の内部に圧力センサ94が設けられている。圧力センサ94は例えば、高温クライオパネル19の外側で冷凍機16の近傍に設けられている。圧力センサ94は、ハウジング38の圧力を定期的に測定し、測定圧力を示す信号を制御部100に出力する。圧力センサ94はその出力を通信可能に制御部100に接続されている。

【0039】

50

また、クライオポンプ 10 は、クライオポンプ 10 を制御するための制御部 100 を備える。制御部 100 はクライオポンプ 10 に一体に設けられていてもよいし、クライオポンプ 10 とは別体の制御装置として構成されていてもよい。

【0040】

制御部 100 は、クライオポンプ 10 の真空排気運転及び再生運転のために冷凍機 16 を制御するよう構成されている。制御部 100 には、第 1 温度センサ 90、第 2 温度センサ 92、及び圧力センサ 94 を含む各種センサの測定結果を受信するよう構成されている。制御部 100 は、そうした測定結果に基づいて、冷凍機 16 及び各種バルブに与える制御指令を演算する。

【0041】

例えば、真空排気運転においては、制御部 100 は、ステージ温度（例えば第 1 ステージ温度）が目標の冷却温度に追従するように冷凍機 16 を制御する。第 1 ステージ 20 の目標温度は通常、一定値に設定される。第 1 ステージ 20 の目標温度は例えば、クライオポンプ 10 が取り付けられる真空チャンバで行われるプロセスに応じて仕様として定められる。また、制御部 100 は、クライオポンプ 10 の再生のためにハウジング 38 からの排気とハウジング 38 へのパージガスの供給とを制御するよう構成されている。制御部 100 は、ベントバルブ 70、粗引きバルブ 72、及びパージバルブ 74 の開閉を再生中に制御する。

【0042】

上記の構成のクライオポンプ 10 による動作を以下に説明する。クライオポンプ 10 の作動に際しては、まずその作動前に粗引きバルブ 72 を通じて粗引きポンプ 73 でクライオポンプ 10 の内部を動作開始圧力（例えば 1 Pa ないし 10 Pa 程度）まで粗引きする。その後クライオポンプ 10 を作動させる。制御部 100 による制御のもとで、冷凍機 16 の駆動により第 1 ステージ 20 及び第 2 ステージ 21 が冷却され、これらに熱的に接続されている高温クライオパネル 19、低温クライオパネル 18 も冷却される。

【0043】

入口クライオパネル 32 は、真空チャンバからクライオポンプ 10 内部へ向かって飛来する気体分子を冷却し、その冷却温度で蒸気圧が十分に低くなる気体（例えば水分など）を表面に凝縮させて排気する。入口クライオパネル 32 の冷却温度では蒸気圧が十分に低くならない気体は入口クライオパネル 32 を通過して放射シールド 30 内部へと進入する。進入した気体分子のうち低温クライオパネル 18 の冷却温度で蒸気圧が十分に低くなる気体は、その表面に凝縮されて排気される。その冷却温度でも蒸気圧が十分に低くならない気体（例えば水素など）は、低温クライオパネル 18 の表面に接着され冷却されている吸着剤 27 により吸着されて排気される。このようにしてクライオポンプ 10 が取り付けられている真空チャンバの真空度を所望のレベルに到達させることができる。

【0044】

排気運転が継続されることによりクライオポンプ 10 には気体が蓄積されていく。蓄積した気体を外部に排出するために、クライオポンプ 10 の再生が行われる。再生処理は、昇温工程、排出工程、及びクールダウン工程を含む。

【0045】

クライオポンプ 10 の再生処理は、制御部 100 により制御される。制御部 100 は、所定の再生開始条件が満たされたか否かを判定し、当該条件が満たされた場合には再生を開始する。当該条件が満たされていない場合には、制御部 100 は再生を開始せず、真空排気運転を継続する。再生開始条件は例えば、排気運転が開始されてから所定時間が経過したことを含んでもよい。

【0046】

図 2 は、本発明のある実施形態に係る再生方法を説明するためのフローチャートである。再生処理は、排気運転中のクライオパネル温度よりも高温である再生温度にクライオポンプ 10 を昇温する昇温工程を含む（S10）。図 2 に示す再生処理は、いわゆるフル再生である。フル再生は、高温クライオパネル 19 及び低温クライオパネル 18 を含むすべ

10

20

30

40

50

てのクライオパネルを再生する。クライオパネル 18、19 は真空排気運転のための冷却温度から再生温度まで加熱される。再生温度は例えば室温またはそれよりいくらか高い温度である。

【0047】

昇温工程においては、クライオパネル 18、19 を加熱するための第 1 の熱源として、パージガスが使用される。制御部 100 は、パージ開始条件が満たされたか否かを判定する。制御部 100 は、パージ開始条件が満たされた場合には、ハウジング 38 にパージガスを供給するようパージバルブ 74 を開放する。パージ開始条件は例えば再生開始条件であってもよい。つまり再生開始とともにパージガスの供給が開始される。また、制御部 100 は、パージ中断条件が満たされたか否かを判定する。制御部 100 は、パージ中断条件が満たされた場合には、ハウジング 38 へのパージガスの供給を停止するようパージバルブ 74 を閉鎖する。

10

【0048】

クライオパネル 18、19 を加熱するために、パージガスとは異なる第 2 の熱源が使用されてもよい。例えば、冷凍機 16 の昇温運転（いわゆる逆転昇温）が行われてもよい。冷凍機 16 は、駆動機構 17 が冷却運転とは逆方向に動作するとき作動気体に断熱圧縮が生じるよう構成されている。こうして得られる圧縮熱で冷凍機 16 は第 1 ステージ 20 及び第 2 ステージ 21 を加熱する。高温クライオパネル 19 及び低温クライオパネル 18 はそれぞれ第 1 ステージ 20 及び第 2 ステージ 21 を熱源として加熱される。あるいは、冷凍機 16 に設置されたヒータが熱源として使用されてもよい。この場合、制御部 100 は、冷凍機 16 の運転から独立してヒータを制御することができる。

20

【0049】

昇温工程において、第 1 及び第 2 の熱源の一方が単独で使用され、または両方が同時に使用されてもよい。排出工程においても同様に、第 1 及び第 2 の熱源の一方が単独で使用され、または両方が同時に使用されてもよい。制御部 100 は、第 1 の熱源と第 2 の熱源とを切り替えて、または、第 1 の熱源と第 2 の熱源とを併用して、クライオパネル 18、19 の温度を制御する。

【0050】

図 2 に示されるように、昇温工程は、第 1 昇温工程（S11）と、第 2 昇温工程（S12）と、を含む。制御部 100 は、クライオパネル 18、19 を真空排気のための冷却温度から室温より高い加熱目標温度へと加熱するために、第 1 昇温工程と第 2 昇温工程とを順次実行するよう構成されている。加熱目標温度は、例えば、30 ~ 60 の範囲または 40 ~ 50 の範囲から選択される温度である。

30

【0051】

クライオパネル 18、19 は、まず第 1 昇温工程において第 1 温度帯に加熱される。次に、クライオパネル 18、19 は、第 2 昇温工程において、第 1 温度帯より高い第 2 温度帯に加熱される。

【0052】

第 1 温度帯は、パージガス温度（上述のように例えば室温）を含む温度範囲である。第 1 温度帯は、クライオパネル 18、19 に堆積した氷が水へと溶けうる温度である。第 1 温度帯の下限は例えば水の融点（すなわち約 0）であり、上限は例えばパージガス温度である。第 1 温度帯は、例えば、10 ~ 30 の範囲または 15 ~ 25 の範囲である。

40

【0053】

第 2 温度帯は、加熱目標温度を含む温度範囲である。第 1 温度帯の下限は例えばパージガス温度であり、上限は例えば加熱目標温度である。第 2 温度帯は、例えば、30 ~ 60 の範囲または 40 ~ 50 の範囲である。第 2 温度帯は、熱源（例えば、冷凍機 16 の昇温運転における第 1 ステージ 20 または第 2 ステージ 21）の温度より低い。

【0054】

第 1 昇温工程は、クライオパネル 18、19 を真空排気運転のための冷却温度から第 1

50

温度帯へと加熱するためにクライオポンプにパージガスを供給することを含む。また、第1昇温工程は、冷凍機16による逆転昇温を含む。このように、第1昇温工程においては、クライオパネル18、19を高速に昇温するために、熱源としてパージガスと冷凍機16とが併用される。クライオパネル18、19は、第1ステージ20及び第2ステージ21からの熱伝導と、パージガスの対流による熱伝達により温められる。

【0055】

制御部100は、第1昇温工程において定期的に、パージ中断条件が満たされたか否かを判定する。制御部100は、パージ中断条件が満たされていない場合には、第1昇温工程を継続する。制御部100は、パージ中断条件が満たされた場合には、第1昇温工程を終了し、第2昇温工程を開始する。

10

【0056】

第1昇温工程におけるパージ中断条件は例えば、クライオパネル温度（例えば、第1温度センサ90及び/または第2温度センサ92の測定温度）が第1温度帯にあることである。この場合、制御部100は、クライオパネル温度が第1温度帯にあるか否かを判定し、クライオパネル温度が第1温度帯にある場合には、パージバルブ74を閉じてハウジング38へのパージガス供給を中断するとともに、第1昇温工程から第2昇温工程に移行する。

【0057】

制御部100は、第1温度センサ90及び/または第2温度センサ92の測定温度が第1温度帯にあると判定されたとき、パージガスの供給を所定時間継続してもよい（いわゆる延長パージ）。このようにして、クライオパネル18、19の表面温度分布が第1温度帯にて均一化されたときに、ハウジング38へのパージガスの供給が停止されてもよい。

20

【0058】

そこで、第1昇温工程におけるパージ中断条件は、第1昇温工程の開始から所定時間が経過したことであってもよい。所定時間は、クライオパネル18、19が第1温度帯に加熱されるのに必要と見込まれる時間であり、予め実験的または経験的に適宜設定されてもよい。

【0059】

なお、第1昇温工程は、パージガスの供給を停止することを含んでもよい。極低温から第1温度帯へのクライオパネル18、19の加熱中に、一時的にパージガスが供給されない期間があってもよい。例えば、クライオパネル18、19に氷結した気体の再気化によってハウジング38の内圧が著しく高まったときに、安全のためにパージガスの供給が一時的に停止されてもよい。

30

【0060】

第2昇温工程は、パージガスとは異なる熱源によって、第1温度帯から第2温度帯へとクライオパネル18、19を加熱することを含む。例えば、第2昇温工程は、冷凍機16による逆転昇温を第1昇温工程から継続することを含む。このように、第2昇温工程においては、クライオパネル18、19は、第1ステージ20及び第2ステージ21からの熱伝導により温められる。

【0061】

40

典型的なクライオポンプの再生方法においては、クライオパネルが加熱目標温度に昇温されるまでパージガスの供給が継続される。ここで注目すべきことは、本実施形態では、加熱目標温度がパージガス温度より高いということである。そのため、パージガスの対流による熱伝達は、加熱目標温度においてクライオパネルから熱を奪う効果をもつ。つまり、クライオパネルが第2の熱源によりパージガス温度より高い温度へと加熱されるとき、クライオポンプはパージガスによって冷やされることになる。よって、目標温度への加熱に要する時間が長くなる。最悪の場合には、目標温度まで加熱することができない。

【0062】

本実施形態に係る第2昇温工程においては、パージガスの供給が中断される。そのため、本実施形態によると、上述の典型的な方法に比べて、パージガスの供給による冷却効果

50

は緩和される。したがって、クライオポンプ10を短時間で目標温度に加熱することができる。

【0063】

好ましくは、クライオポンプ10の粗引きが、第1温度帯から第2温度帯へのクライオパネル18、19の加熱中に行われてもよい。制御部100は、第2昇温工程においてハウジング38を粗引きするよう粗引きバルブ72を少なくとも一時的に開放してもよい。このようにすれば、パージガスがクライオポンプ10から排出され、パージガスの対流による熱伝達が妨げられる。よって、より効率的にクライオパネル18、19を昇温することができる。

【0064】

昇温工程における粗引きの目的の1つは、パージガスの対流による熱伝達を妨げることにある。よって、この粗引きは、ハウジング38にある程度の負圧を得られれば充分である。つまり、昇温工程における粗引きは、それほど高い真空度を必要としない。したがって、昇温工程における粗引き圧は、排出工程における粗引き圧よりも高くてもよい。ここで、粗引き圧とは、粗引きを終了する圧力をいう。同様の理由により、昇温工程における粗引きバルブ72の開放時間は、排出工程における粗引きバルブ72の開放時間より短くてもよい。

【0065】

クライオポンプ10には、真空排気運転によって、水及びその他の気体が捕捉されている。クライオポンプ10の一般的な用途において、水は最も高い融点をもつ気体であり、従って最も排出しにくい気体である。水以外の氷結した気体は、水に比べて顕著に低い融点をもつので、クライオポンプ10から容易に排出される。また、真空グリースやレジストなどに由来するクライオパネル18、19への付着物は、高温低圧環境で気化される。

【0066】

したがって、昇温工程における粗引きによって、水以外のあらゆる気体を実質的にクライオポンプ10から排出することも可能である。この場合、クライオポンプ10内の清浄度を高めるために、第2昇温工程においてパージガスの供給が再開されてもよい。そこで、制御部は、第1温度帯から第2温度帯へのクライオパネル18、19の加熱中に、いわゆるラフアンドパージを実行してもよい。昇温工程におけるラフアンドパージを、本書では「昇温ラフアンドパージ」と呼ぶことがある。

【0067】

ラフアンドパージとは、粗引きバルブ72によるハウジング38の粗引きとパージガスの供給とを交互に行う処理である。ラフアンドパージにおいては、粗引きとパージとの組み合わせが1回または複数回実行される。通例、ラフアンドパージにおいて制御部100は、粗引きとパージとを選択的に実行する。すなわち、粗引き（またはパージ）が行われているときパージ（または粗引き）は停止されている。粗引き及びパージの開始及び終了は、ハウジング38の圧力に基づき行われてもよいし、あるいは経過時間に基づいてもよい。

【0068】

なお、ラフアンドパージにおいて、粗引き及びパージの一方が連続して行われる間に粗引き及びパージの他方が間欠的に行われてもよい。これも、粗引きとパージガスの供給とが交互に行われているとみなされる。また、ラフアンドパージは、粗引きもパージも行われていない期間を含んでもよい。

【0069】

制御部100は、第2昇温工程において定期的に、昇温完了条件が満たされたか否かを判定する。制御部100は、昇温完了条件が満たされていない場合には、第2昇温工程を継続する。制御部100は、昇温完了条件が満たされた場合には、第2昇温工程を終了し、排出工程を開始する。

【0070】

昇温完了条件は例えば、クライオパネル温度（例えば、第1温度センサ90及び/また

10

20

30

40

50

は第2温度センサ92の測定温度)が第2温度帯にあることである。この場合、制御部100は、クライオパネル温度が第2温度帯にあるか否かを判定し、クライオパネル温度が第2温度帯にある場合には、昇温工程から排出工程に移行する。また、制御部100は、クライオパネル温度が加熱目標温度を超えたか否かを判定し、クライオパネル温度が加熱目標温度を超えた場合に昇温工程から排出工程に移行してもよい。

【0071】

あるいは、昇温完了条件は、第1昇温工程または第2昇温工程の開始から所定時間が経過したことであってもよい。所定時間は、クライオパネル18、19が第2温度帯(例えば、加熱目標温度)に加熱されるのに必要と見込まれる時間であり、予め実験的または経験的に適宜設定されてもよい。

【0072】

昇温完了条件は、ハウジング38の圧力に基づいてもよい。例えば、制御部100は、昇温ラフアンドパーズにおける粗引き中の圧力低下率がしきい値を超えるか否かを判定してもよい。制御部100は、圧力低下率がしきい値を超える場合に昇温工程から排出工程に移行し、圧力低下率がしきい値に満たない場合に昇温ラフアンドパーズを継続してもよい。

【0073】

昇温工程が完了すると、制御部100は、排出工程(S13)を開始する。排出工程においては、クライオパネル表面から再気化した気体がクライオポンプ10の外部へ排出される。再気化した気体は例えば排出ライン80を通じて、または粗引きポンプ73を使用して排出される。再気化した気体は、必要に応じて導入されるパーズガスとともにクライオポンプ10から排出される。例えば、クライオパネル18、19から水が蒸発し、ハウジング38から水が排出される。

【0074】

制御部100は、排出工程においてクライオパネル温度を第2温度帯に維持するように冷凍機16の昇温運転またはその他の熱源を制御してもよい。この場合、制御部100は、過剰な加熱を避けるために、少なくとも一時的に熱源を停止してもよい。

【0075】

排出工程においては、いわゆるラフアンドパーズが行われてもよい。排出工程におけるラフアンドパーズを、本書では「排出ラフアンドパーズ」と呼ぶことがある。制御部100は、クライオパネル温度が第2温度帯にあるときに、ハウジング38の粗引きとパーズガスの供給とを交互に行う排出ラフアンドパーズを実行してもよい。よって、制御部100は、図4に示されるように、昇温完了条件が満たされた場合に、昇温ラフアンドパーズから排出ラフアンドパーズに移行してもよい。

【0076】

排出ラフアンドパーズにおける粗引き圧は、ベース圧レベルよりも高圧であり、例えば50Pa乃至500Pa、好ましくは100Pa乃至200Paの範囲から選択される。この圧力領域を以下では準ベース圧レベルと呼ぶことがある。排出ラフアンドパーズにおける粗引き圧は、例えば、排出工程を通じて一定である。しかし、ある実施形態においては、排出ラフアンドパーズにおける粗引き圧が段階的に低減されてもよい。

【0077】

排出ラフアンドパーズはクライオポンプ10から効率的に水を排出するために行われるのに対し、昇温ラフアンドパーズの主目的は上述のように、クライオポンプ10の効率的な昇温と水以外の気体の排出とにある。効率的な昇温のためには、パーズガスの供給を制限することが望ましい。そこで、昇温ラフアンドパーズにおけるパーズ間隔は、排出ラフアンドパーズにおけるパーズ間隔より長いことが好ましい。同様の理由から、昇温ラフアンドパーズにおけるパーズ時間は、排出ラフアンドパーズにおけるパーズ時間より短いことが好ましい。ここで、パーズ間隔は、前回のパーズ終了から今回のパーズ開始までの時間である。パーズ時間は、今回のパーズの継続時間である。

【0078】

10

20

30

40

50

また、水以外の気体は比較的容易に排出されるから、昇温ラフアンドパーズにおける粗引き時間は排出ラフアンドパーズにおける粗引き時間より短くてもよい。また、昇温ラフアンドパーズにおける粗引き間隔は、排出ラフアンドパーズにおける粗引き間隔より長くてもよい。粗引き間隔は、前回の粗引き終了から今回の粗引き開始までの時間である。粗引き時間は、今回の粗引きの継続時間である。

【 0 0 7 9 】

制御部 1 0 0 は、排出工程において、例えば圧力センサ 9 4 の測定値に基づいて、気体（つまり水蒸気）の排出が完了したか否かを判定する。例えば、制御部 1 0 0 は、クライオポンプ 1 0 内の圧力が所定のしきい値を超えている間は排出工程を継続し、圧力がそのしきい値を下回った場合に排気工程を終了しクールダウン工程を開始する。

10

【 0 0 8 0 】

制御部 1 0 0 は、いわゆるビルドアップ判定を行ってもよい。クライオポンプ再生におけるビルドアップ判定は、判定開始時点の圧力からの圧力上昇勾配が判定しきい値を超えない場合に、クライオポンプ 1 0 から気体が十分に排出されたと判定する処理である。

【 0 0 8 1 】

クールダウン工程（S 1 4）は、真空排気運転を再開するためにクライオパネル 1 8、1 9 を再冷却する処理である。冷凍機 1 6 の冷却運転が開始される。この冷却工程の少なくとも一部において粗引きが行われてもよく、例えば冷却開始から粗引き終了圧力または粗引き終了温度に達するまで粗引きが継続されてもよい。制御部 1 0 0 は、クライオパネルが真空排気運転のための冷却温度に冷却されたか否かを判定する。制御部 1 0 0 は、目標冷却温度に到達するまでクールダウン工程を継続し、目標温度に冷却されたときクールダウン工程を終了する。こうして再生処理は完了する。クライオポンプ 1 0 の真空排気運転が再開される。

20

【 0 0 8 2 】

図 3 は、本発明のある実施形態に係るクライオポンプ 1 0 を概略的に示す図である。ある実施形態においては、クライオパネルの温度を直接測定するために、クライオパネルに温度センサが設けられていてもよい。例えば、図 3 に示されるように、パネル温度センサ 9 6 が、入口クライオパネル 3 2 の中心部に設けられていてもよい。パネル温度センサ 9 6 は、入口クライオパネル 3 2 の温度を定期的に測定し、測定温度を示す信号を制御部 1 0 0 に出力する。パネル温度センサ 9 6 はその出力を通信可能に制御部 1 0 0 に接続されている。

30

【 0 0 8 3 】

入口クライオパネル 3 2 の中心部は、再生においてクライオポンプ 1 0 を加熱するための熱源から最も遠いクライオパネルの部分である。そのため、入口クライオパネル 3 2 の中心部は、他の部分に比べて昇温に時間がかかる。言い換えれば、入口クライオパネル 3 2 の中心部が目標温度まで加熱されたとき、クライオパネルの他の部分は既に十分に昇温されている。よって、再生の昇温工程においては、入口クライオパネル 3 2 の中心部の温度によってクライオパネル全体の温度を代表することができる。

【 0 0 8 4 】

パネル温度センサ 9 6 は、低温クライオパネル 1 8 または高温クライオパネル 1 9 において伝熱経路の末端部に設けられていてもよい。ここで、伝熱経路の末端部とは、クライオパネルの昇温中に熱源から遠い場所をいう。例えば、熱源からパネル上のある点までの伝熱経路の長さによって、熱源に近い（伝熱経路が短い）領域と熱源から遠い（伝熱経路が長い）領域とに高温クライオパネル 1 9 を区分することができる。あるいは、同様に、熱源に近い領域、中間の領域、遠い領域の 3 つに高温クライオパネル 1 9 を区分することができる。低温クライオパネル 1 8 についても同様である。このとき、熱源から遠い領域を、伝熱経路の末端部とみなしてもよい。

40

【 0 0 8 5 】

よって、パネル温度センサ 9 6 は、シールド開口端 3 1 または放射シールド 3 0 の閉塞端に設けられてもよい。あるいは、パネル温度センサ 9 6 は、低温クライオパネル 1 8 に

50

において第2ステージ21から最も遠いパネル部材26の端部に設けられていてもよい。

【0086】

パネル温度センサ96は、再生中のクライオパネル温度の監視のために使用される。パネル温度センサ96は、昇温工程における加熱目標温度を含む測定可能温度域を有する。本実施形態においてはパネル温度センサ96は真空排気中は使用されないため、パネル温度センサ96は測定可能温度域に極低温を含まなくてもよい。要するに、パネル温度センサ96は室温レベル(例えば0 ~ 60)を測定可能であればよい。よって、パネル温度センサ96として例えば安価な熱電対を使用することができる。

【0087】

図4は、本発明のある実施形態に係る再生シーケンスを示す図である。この再生シーケンスは上述のように制御部100によって制御される。図4は、クライオポンプ10における再生中の温度及び圧力の時間変化の一例を概略的に示す。図4に示される温度は第1温度センサ90及びパネル温度センサ96の測定温度であり、圧力は圧力センサ94の測定圧力である。

10

【0088】

図4に示される再生シーケンスは、その開始から終了までの全期間が期間aないし期間dの4期間に区分される。上述の第1昇温工程は期間aにあたり、第2昇温工程は期間bにあたり、排出工程は期間cにあたり、クールダウン工程は期間dにあたる。

【0089】

期間aにおいては、パージバルブ74が開放され、冷凍機16の逆転昇温が行われる。冷凍機16の逆転昇温と窒素パージとによりクライオポンプ10が第1温度帯T1に加熱される。窒素ガスの温度は約20である。第1昇温工程の前半ではステージ温度Ts及びクライオパネル温度Tcは同様の勾配で上昇する。第1昇温工程の後半では、ステージ温度Tsに比べてクライオパネル温度Tcの勾配が緩やかになっている。ここで、ステージ温度Tsは第1ステージ20の温度であり、クライオパネル温度Tcは入口クライオパネル32の中心部の温度である。

20

【0090】

窒素パージによりクライオポンプ内の圧力は速やかに大気圧Paに達する。水以外の大抵のガスは、昇温中にクライオパネル18、19からハウジング38内に放出される。この例においては、ステージ温度Tsが目標値に達したとき、第1昇温工程が終了され第2昇温工程が開始される。

30

【0091】

期間bの開始時点においてパージバルブ74は閉鎖され窒素パージは中断されるが、冷凍機16の逆転昇温はステージ温度Tsが目標値に維持されるよう継続されている。それにより、クライオパネル温度Tcが第1温度帯T1から第2温度帯T2へと加熱される。

【0092】

期間bの開始時点におけるパージバルブ74の閉鎖と同時に、粗引きバルブ72が一時的に開放される。それにより、窒素ガス及びクライオパネル18、19から放出されたガスが排出される。粗引きバルブ72は粗引き時間Trが経過したとき閉鎖される。クライオポンプ10の内圧は粗引き圧Pbまで減圧される。これにより、クライオパネル18、19の昇温が促進される。比較のために、期間bにおいて窒素パージが継続されたときのクライオパネル温度Tc'を図4に破線で示す。窒素ガスによる冷却作用によって、クライオパネル温度Tc'はあまり上昇しない。

40

【0093】

第2昇温工程においては昇温ラフアンドパージが行われる。窒素パージのために、パージバルブ74が一時的に開放される。パージバルブ74はパージ時間Tpが経過したとき閉鎖される。圧力は大気圧Paに戻る。パージバルブ74の閉鎖と同時に粗引きバルブ72が開放され、粗引き圧Pbまで再び減圧される。粗引き中に圧力低下率が判定される。図示されるように、この例では3回の窒素パージと粗引きとが交互に行われ、3回目の窒素パージ直後の粗引きにおいて圧力低下率がしきい値を超え、昇温ラフアンドパージから

50

排出ラフアンドページに移行する。

【0094】

期間cにおいては、排出ラフアンドページによって水がクライオポンプ10から排出される。排出ラフアンドページの間、クライオパネル温度Tcは第2温度帯T2において僅かであるが徐々に上昇する。

【0095】

排出ラフアンドページにおけるページ時間Tp'及び粗引き時間Tr'はそれぞれ昇温ラフアンドページにおけるページ時間Tp及び粗引き時間Trより長い。排出ラフアンドページにおける粗引き圧Pcはベース圧レベル又は準ベース圧レベルにあり、昇温ラフアンドページにおける粗引き圧Pbより低い。この例では、排出ラフアンドページの前半における粗引き圧Pcは準ベース圧レベルにあり、排出ラフアンドページの後半における粗引き圧はベース圧レベルにある。

10

【0096】

排出ラフアンドページの少なくとも後半において、粗引き後にビルドアップ判定が行われる。判定中は粗引きは停止される。ビルドアップ判定に合格したとき(すなわち、圧力上昇勾配がしきい値より小さくなったとき)、排出工程は終了する。

【0097】

期間dにおいては、冷凍機16の冷却運転が開始される。このとき粗引きも行われる。目標の冷却温度に達したとき、粗引きは終了される。このようにして再生は完了し、真空排気運転が開始される。

20

【0098】

以上説明したように、本実施形態によると、クライオポンプ再生の昇温工程においてクライオポンプ温度が室温付近に達したとき、窒素ページが停止されクライオポンプ内部が真空引きされる。これにより、クライオパネルを効率的に昇温することができる。また、より高い温度までクライオパネルを昇温することができる。こうして、クライオポンプの再生時間を短縮することができる。

【0099】

以上、本発明を実施例にもとづいて説明した。本発明は上記実施形態に限定されず、種々の設計変更が可能であり、様々な変形例が可能であること、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは、当業者に理解されるところである。

30

【0100】

例えば、上述の実施形態においては、排出工程においてラフアンドページが行われるが、本発明はこれに限られない。ある実施形態においては、排出工程においてページガスが供給されなくてもよい。この場合、制御部100は、昇温工程の完了後に、クライオポンプ10を所定の粗引き圧(例えば、ベース圧レベル)まで粗引きするよう粗引きバルブ72及び粗引きポンプ73を制御してもよい。次に、制御部100は、例えば圧力センサ94の測定値に基づいて、気体の排出が完了したか否かを判定してもよい(例えば、ビルドアップ判定)。

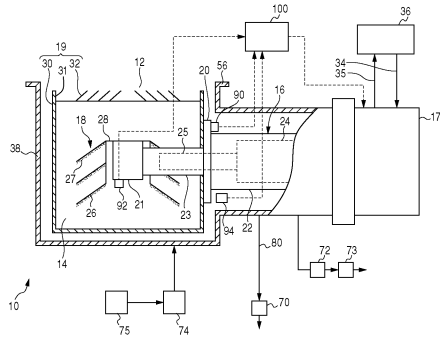
【符号の説明】

【0101】

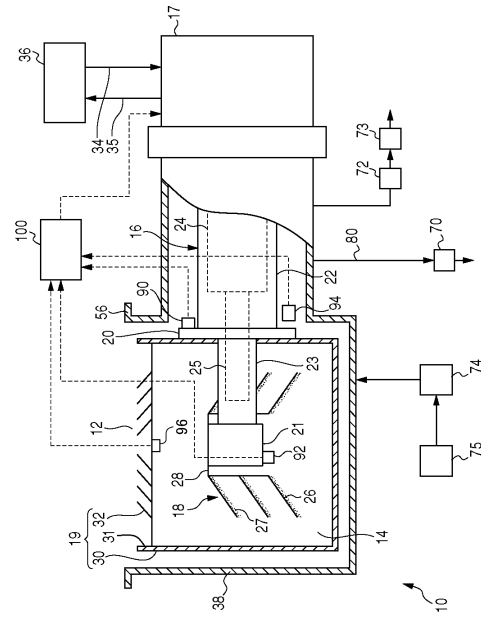
10 クライオポンプ、 16 冷凍機、 18 低温クライオパネル、 19 高温クライオパネル、 20 第1ステージ、 21 第2ステージ、 30 放射シールド、 31 シールド開口端、 32 入口クライオパネル、 38 ハウジング、 72 粗引きバルブ、 74 ページバルブ、 90 第1温度センサ、 92 第2温度センサ、 94 圧力センサ、 96 パネル温度センサ、 100 制御部。

40

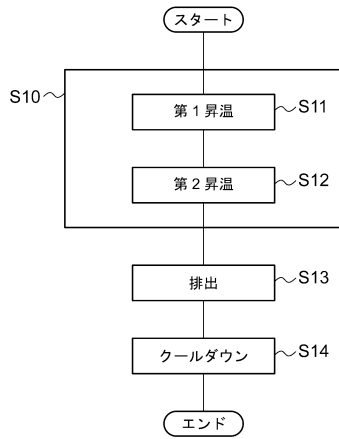
【図1】



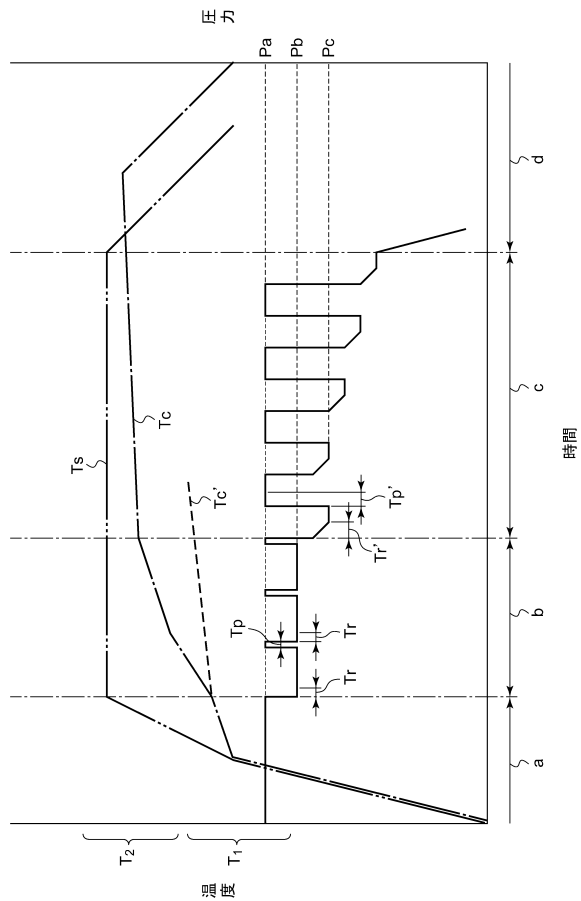
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

審査官 新井 浩士

(56)参考文献 特表2000-512703(JP,A)
特開2013-170568(JP,A)
米国特許第05517823(US,A)
特開平11-156176(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F04B 37/08
F04B 37/16