

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4008390号
(P4008390)

(45) 発行日 平成19年11月14日(2007.11.14)

(24) 登録日 平成19年9月7日(2007.9.7)

(51) Int. Cl.	F I	
FO4D 29/046 (2006.01)	FO4D 29/046	B
FO4B 53/00 (2006.01)	FO4B 21/00	Q
FO4B 39/00 (2006.01)	FO4B 21/00	N
FO4D 13/06 (2006.01)	FO4B 39/00	I O 3 J
F16C 33/32 (2006.01)	FO4D 13/06	C
請求項の数 7 (全 12 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2003-203539 (P2003-203539)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成15年7月30日(2003.7.30)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-48605 (P2005-48605A)		東京都港区港南二丁目16番5号
(43) 公開日	平成17年2月24日(2005.2.24)	(74) 代理人	100085501
審査請求日	平成16年3月19日(2004.3.19)		弁理士 佐野 静夫
		(72) 発明者	山本 康晴
			兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号
			三菱重工業株式会社高砂製作所内
		(72) 発明者	長田 俊幸
			兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号
			三菱重工業株式会社高砂製作所内
		(72) 発明者	吉田 孝文
			長崎市深堀町5丁目717番1号 三菱重工業株式会社長崎研究所内
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 ポンプ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

その主軸の一端に取り付けられた羽根車を該主軸と連動して回転駆動するキャンドモータと、該キャンドモータの主軸を軸支する軸受と、を備えるとともに、前記羽根車を回転駆動することで超臨界CO₂流体或いは液体CO₂を搬送するポンプにおいて、

前記軸受が、その内輪及び外輪及び玉が各々セラミック材より成る玉軸受であり、
前記主軸を中空軸として、該主軸の膨張を該主軸の中空部分に逃がすことを特徴とするポンプ。

【請求項2】

前記超臨界CO₂流体或いは液体CO₂を吸い込む吸込口と前記超臨界CO₂流体或いは液体CO₂を吐出する吐出口とが開いたマニホールドと、

前記マニホールドとの間に構成される空間を、前記吸入口と前記吐出口とをつなぐ搬送路の一部として構成する吐出・吸込側ケーシングと、

吸い込まれた前記超臨界CO₂流体或いは液体CO₂による揚液の一部を排出するパージ口を備えたパージ側ケーシングと、

前記吐出・吸込側ケーシングと前記パージ側ケーシングに挟持されるとともに、前記キャンドモータを収納する外筒と、

を備え、

前記軸受が、前記吐出・吸込側ケーシング及び前記パージ側ケーシングそれぞれに設けられたアンギュラ玉軸受であり、

10

20

前記キャンドモータが、固定子と、前記主軸に取り付けられた回転子とを備え、前記主軸が、前記吐出・吸込側ケーシング及び前記パージ側ケーシングそれぞれに設けられた前記アンギュラ玉軸受によりその両端部が回転可能に軸支されることを特徴とする請求項 1 に記載のポンプ。

【請求項 3】

前記主軸の中空部分がくり抜き穴によって構成されるとともに、前記羽根車を取り付けるボルトが、前記くり抜き穴を貫通して当該くり抜き穴に固定されることを特徴とする請求項 2 に記載のポンプ。

【請求項 4】

前記パージ側ケーシングと前記パージ側ケーシングに設けられた前記軸受との間に挟持されて前記軸受に与圧を付加する与圧バネを、備えることを特徴とする請求項 2 又は請求項 3 に記載のポンプ。

10

【請求項 5】

前記軸受が前記超臨界 CO_2 流体或いは液体 CO_2 による揚液中で使用されることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれかに記載のポンプ。

【請求項 6】

前記主軸が、オーステナイト系ステンレス鋼により成ることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれかに記載のポンプ。

【請求項 7】

半導体洗浄用循環ポンプとして用いられることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれかに記載のポンプ。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、超臨界 CO_2 流体或いは液体 CO_2 を搬送するポンプに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

超臨界 CO_2 流体或いは液体 CO_2 を搬送するポンプに一例として、半導体洗浄用の循環ポンプがある。近年の半導体デバイスの高集積化に伴い、ウェハの加工線幅も微細化が求められており、現在の主流である $0.18 \mu\text{m}$ に対して、将来は $0.10 \mu\text{m}$ 以下になると予想されている。ところが、従来の超純水等の液体を用いた半導体洗浄方式では、ウェハ乾燥時において、気体と液体の界面張力に起因する毛管力により、ウェハに形成されたレジストが倒壊するという現象（レジスト倒壊）が生じる場合がある。

30

【0003】

このような不都合を解消するために、従来の超純水等の液体の代わりに、超臨界流体を用いた半導体洗浄装置が開発されている。超臨界流体は、液体と比較して非常に高い浸透性を有しており、どのような微細な構造にも浸透するものである。また、気体と液体との界面が存在しないので、乾燥時に毛管力が働かないという特徴を備えている。

【0004】

超臨界流体としては、主として二酸化炭素 (CO_2) が用いられる。二酸化炭素は、他の液体溶媒と比較して、比較的穏和な条件、即ち臨界温度 31.2°C 、臨界圧力 7.38MPa で、臨界密度 468kg/m^3 となる。また、常温、常圧では気体であるために、常温、常圧に戻すことによりガス化し、被洗浄物と汚染物の分離が容易にできるので、これにより、洗浄後の被洗浄物の乾燥が不要になるなど、洗浄プロセスの簡略化とコスト削減が可能となる。

40

【0005】

このような超臨界 CO_2 流体を用いた半導体洗浄装置では、その超臨界 CO_2 流体は通常約 20MPa に加圧されるので、これを循環させてウェハを洗浄するための循環ポンプとしては、高耐圧であるが故、いわゆるシールレス・キャンドモータポンプ形式のものが用いられる。また、軸受としては玉軸受が用いられ、これは半導体の洗浄剤としての揚液（超

50

臨界CO₂流体)中において使用される。

【0006】

この玉軸受にて、ロータに作用するラジアル荷重、及びスラスト荷重を受ける。また、後述する羽根車側とは反対側の、軸端側軸受に設置した軸受予圧バネにて予圧荷重をコントロールし、玉軸受のいわゆる公転滑り(横滑り)防止を図る。また、軸受予圧荷重にて玉軸受のラジアル方向の剛性(バネ定数)をコントロールし、ロータの固有振動数の調整も行う。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述したような従来よりの循環ポンプの構成においては、玉軸受は、粘性の低い超臨界CO₂流体(或いは液体CO₂)内で使用されるので、揚液による潤滑は期待できない。また、揚液には腐食性の高い洗浄薬剤が混入されており、玉軸受の腐食が懸念される。また通常、洗浄装置ループ(揚液循環系統)におけるストレナは、循環ポンプの出口側に設置されるので、洗浄で発生したパーティクルがポンプ内部に持ち込まれ、軸受部へ混入すると、軸受の摩耗、損傷の要因になる。

10

【0008】

一方、半導体の洗浄に用いられるものであるので、ポンプ内部(軸受部等)からの摩耗粉の発生は許容されない。また、揚液中(いわゆるどぶづけ状態)で使用されるので、玉及び保持器のドラッグ損失(回転抵抗)が大きく、軸受の公転滑りが発生しやすいので、これを防止するために大きな予圧荷重をかけることが必要となる場合がある。また、この動力損失(ドラッグ損失)により、循環ポンプの効率低下も懸念される。

20

【0009】

さらに、軸受の寿命を確保するためには、予圧荷重も含めた軸受荷重はできるだけ小さくする方が望ましいが、軸受を揚液中で使用するための公転滑り防止との兼ね合いを考慮してポンプの設計をしなくてはならない。本発明は、以上のような問題点に鑑み、超臨界CO₂流体或いは液体CO₂を搬送するポンプであって、軸受部を最適化することにより信頼性を確保した超臨界CO₂流体或いは液体CO₂用ポンプを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明のポンプは、その主軸の一端に取り付けられた羽根車を該主軸と連動して回転駆動するキャンدمータと、該キャンدمータの主軸を軸支する軸受と、を備えるとともに、前記羽根車を回転駆動することで超臨界CO₂流体或いは液体CO₂を搬送するポンプにおいて、前記軸受が、その内輪及び外輪及び玉が各々セラミック材より成る玉軸受であり、前記主軸を中空軸として、該主軸の膨張を該主軸の中空部分に逃がすことを特徴とする。

30

【0011】

また、上述のポンプにおいて、前記超臨界CO₂流体或いは液体CO₂を吸い込む吸込口と前記超臨界CO₂流体或いは液体CO₂を吐出する吐出口とが開いたマニホールドと、前記マニホールドとの間に構成される空間を、前記吸入口と前記吐出口とをつなぐ搬送路の一部として構成する吐出・吸込側ケーシングと、吸い込まれた前記超臨界CO₂流体或いは液体CO₂による揚液の一部を排出するパーシ口を備えたパーシ側ケーシングと、前記吐出・吸込側ケーシングと前記パーシ側ケーシングに挟持されるとともに、前記キャンدمータを収納する外筒と、を備え、前記軸受が、前記吐出・吸込側ケーシング及び前記パーシ側ケーシングそれぞれに設けられたアンギュラ玉軸受であり、前記キャンدمータが、固定子と、前記主軸に取り付けられた回転子とを備え、前記主軸が、前記吐出・吸込側ケーシング及び前記パーシ側ケーシングそれぞれに設けられた前記アンギュラ玉軸受によりその両端部が回転可能に軸支される。

40

【0012】

また、上述のポンプにおいて、前記軸受における玉を保持する保持器は、外輪の内周面で案内される外輪案内としても構わないし、或いは内輪の外周面で案内される内輪案内と

50

しても構わないし、また、外輪或いは内輪との案内面を軸方向の片側面としても構わない。更に、前記軸受の内輪の溝半径率を52%以上としても構わない。

【0013】

公知の内輪軌道溝の曲率半径は、例えばJIS規格で規定されているように、52%程度とされている。超臨界CO₂流体雰囲気中で使用される転がり軸受では、特に高速回転領域において、摩耗が発生しやすく、この摩耗にはスピンすべりの寄与が大きいと考えられる。斜接(アンギュラ)玉軸受の玉は、普通は内輪か外輪のどちらかの軌道面では殆どすべりなしで転がり、他方の軌道面でスピンの発生する。

【0014】

また、斜接玉軸受では、内輪の軌道溝の曲率半径の方が外輪のそれよりも小さく、また、荷重が加わったときの接触楕円の長径が長い。そのため、内輪では玉のスピン運動は妨げられ(内輪案内)、外輪軌道で完全なスピン運動が出現する。しかしながら、高速回転(且つ荷重が小)になると、遠心力の効果が大きくなり、外輪案内となりやすい。

10

【0015】

本発明では、摩耗への寄与が大きいスピンすべりと内輪の軌道溝の曲率半径に着目して、スピンすべりによるPV値(軸受面圧Pとすべり速度Vの積)を小さくすることにより、摩耗の低減を可能とするもので、より具体的には、内輪の軌道溝の曲率半径を標準値より大きくして、玉と軌道溝との接触領域を小さくすることにより、PV値を小さくするものである。

【0016】

本発明における超臨界CO₂ポンプ用転がり軸受によると、玉、内輪及び外輪がセラミックスで形成されているので、耐摩耗性が向上し、しかも、内輪軌道溝の曲率半径が玉径の52%以上、更には特に54%より大きくされているので、内輪側の接触領域が小さくなり、この結果、PV値も小さくなり、より一層の摩耗の低減が可能となる。従って、転がり軸受の耐久性の低下が防止され、この転がり軸受を使用する超臨界CO₂ポンプは、振動が大きくなって継続使用ができないという問題を生じない。

20

【0017】

なお、内輪軌道溝の曲率半径の上限は、特に限定されるものではないが、他の性能を考慮して玉径の60%程度とされる。また、外輪の軌道溝の曲率半径についても、特に限定されるものではなく、通常、玉径の50.5%以上で且つ60%以下程度とされる。

30

【0018】

また、前記玉を保持する保持器は、回転輪案内とされていることを特徴とする。或いは、前記玉を保持する保持器は、固定輪案内とされ、案内面が玉の中心より軸方向片側のみに形成されていることを特徴とする。

【0019】

固定輪の案内面が軸方向片側にのみ形成されているようにするには、固定輪が外輪の場合には、外輪の軸方向片側の内径を大きくして、外輪の大径部の内周面と保持器の外周面とが接触しないようにしても良く、また、保持器の軸方向片側の外径を小さくして、保持器の小径部の外周面と外輪の内周面とが接触しないようにしても良い。また、固定輪が内輪の場合には、内輪の軸方向片側の外径を小さくして、内輪の小径部の外周面と保持器の内周面とが接触しないようにしても良く、また、保持器の軸方向片側の内径を大きくして、保持器の大径部の内周面と内輪の外周面とが接触しないようにしても良い。

40

【0020】

超臨界CO₂流体雰囲気中で使用される転がり軸受では、主に流体抵抗により、特に高速回転領域において転動体(玉)の公転(保持器の回転)に遅れが生じ、転がり接触をすべき軌道輪と転動体との間にすべりが生じる(公転すべり)。公転すべりが生じると、軌道輪や転動体が短期間で損傷し継続使用が不可能になることがある。本発明では、この公転すべりに着目して、公転すべりを抑えることにより、転がり軸受の継続使用を可能とするものである。

【0021】

50

具体的には、一つには保持器を回転輪案内とすることで、回転輪との接触によるトラクション力及び案内内部にある流体のトラクション力で保持器の公転遅れを減少させる（保持器を公転方向に駆動する）ことにより、その公転すべりが抑制されている。もう一つには、保持器を固定輪案内とし、案内面が転動体の中心より軸方向片側のみ形成されている構成とすることで、回転する保持器が固定輪から受ける抵抗（接触による摩擦及び流体の粘性抵抗）を減らすことにより、その公転すべりが抑制されている。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る半導体洗浄装置用循環ポンプの構成を示す断面図である。循環ポンプ1は、吐出・吸込側ケーシング2とパージ側ケーシング3、及びこれらに挟持された外筒4を有している。また、吸込・吐出側ケーシング2の外側には、揚液の吸込及び吐出を行うマニホールド5が設けられている。

10

【0023】

外筒4内には循環ポンプ1を駆動するキャンドモータ6が配置されており、これは外側の固定子6aと、この固定子6a内に収容されている回転子6bとを備えている。回転子6bは、主軸7に取り付けられており、主軸7は、吐出・吸込側ケーシング2に設けられたアンギュラ玉軸受8、及びパージ側ケーシング3に設けられたアンギュラ玉軸受9により、両端で回転可能に支持即ち軸支されている。

【0024】

吐出・吸込側ケーシング2とマニホールド5の間には、羽根車10が配置されており、これは主軸7の一端に取り付けられ、主軸7と連動して回転可能となっている。マニホールド5には、主軸7の一端よりの延長軸線上に、揚液の吸込口5aが開けられており、また、羽根車10の周囲にはスパイラルケーシング5bが設けられている。さらに、経路5bの周縁部一箇所より吐出口5cが半径方向にマニホールド5の外周面に開口している。

20

【0025】

一方、パージ側ケーシング3には、主軸7の他端よりの延長軸線上に、吸い込んだ揚液の一部を吐出するパージ口3aが開けられている。その他、パージ側ケーシング3とアンギュラ玉軸受9の間には、予圧バネ11が挟持されている。これは、主軸7の他端周辺に位置するリング状の波板バネであり、定圧バネ方式としてアンギュラ玉軸受9に軸方向の予圧を付加するものである。なお、アンギュラ玉軸受8を羽根車側軸受と呼び、アンギュラ玉軸受9を軸端側軸受と呼ぶ。

30

【0026】

以上説明した循環ポンプ1において、キャンドモータ6の回転子6b及び主軸7が回転し、これに連動して羽根車10が回転すると、矢印Aで示すように吸込口5aより揚液が吸い込まれ、羽根車10の遠心力により経路5bへ導かれて、最後に矢印Bで示すように吐出口5cより吐出される。また、吸込口5aより吸い込まれた揚液の一部は、アンギュラ玉軸受8、9及びキャンドモータ6内を通過して、これらを冷却しつつ、矢印Cで示すようにパージ流れとしてパージ口3aより吐出される。

【0027】

さて、本発明では、耐摩耗性、耐食性の向上、及び高速回転時の遠心荷重を低減する目的で、アンギュラ玉軸受の内外輪、及び玉にセラミック材料（例えば窒化珪素 Si_3N_4 、アルミナ Al_2O_3 、炭化珪素 SiO_2 等）を採用している。このように、軸受材料を総セラミックとすることで、外部から持ち込まれるパーティクルに対する耐摩耗性も向上する。

40

【0028】

また、ドラッグ損失（回転抵抗）が小さくなるように保持器の設計を行っている。これにより、公転滑り防止、及び与圧荷重（スラスト軸受荷重）の低減が可能であり、軸受の長寿命化を図ることができる。保持器の材料としては、洗浄剤に対する耐食性、耐摩耗性、及び高速回転に対する強度確保の観点より、PEEK材（ポリエーテル・エーテル・ケトン）を使用している。これについては、例えば30%ガラス繊維入りPEEK材を用いる

50

ことにより、更に強度の高いものとなる。加えて、高速、高荷重条件下での耐摩耗性、耐剥離性能を向上させる目的で、玉径と内外輪の軌道溝の半径との比率の最適化を図っている。

【0029】

図2は、本実施形態に係る軸受を模式的に示す主要部断面図である。なお、同図はアンギュラ玉軸受8の場合を示しているが、アンギュラ玉軸受9は同図を左右反転させたような形となるのみであり、基本的な構造は同じである。同図に示すように、本実施形態におけるアンギュラ玉軸受8は、内輪8a、外輪8b、及びこれらに挟持された玉8c、並びに玉8cを保持する保持器8dより成る。

【0030】

外輪8bの内周は、玉8cが転がる軌道溝8baと、その軸方向両側の内周面8bbとより構成されている。また、内輪8aの外周は、玉8cが転がる軌道溝8aaと、その軸方向片側の最外周面8ab、及び他の片側で軌道溝8aaから連続している外周面8acとより構成されている。また、保持器8dは内輪8aと外輪8bとの間に配置されたリング状の部材であり、その全周に渡る所定の箇所に、玉8cが填り込むポケット8daが軸心から見て等角度ピッチで開けられている。なお、図中のθは接触角である。

【0031】

従来CO₂ポンプにおける玉軸受は、全てステンレス鋼か、或いは玉のみセラミックで内外輪はステンレス鋼であったが、本実施形態では、上述したように、玉及び内外輪共セラミックとした総セラミック軸受としている。また、従来の軸受の保持器は、外輪の軸方向両側の内周面で案内される外輪両側案内であったが、本実施形態では内輪案内としており、更に詳しくは、内輪の軸方向片側の外周面で案内される内輪片側案内としている。

【0032】

具体的には、同図において、内輪8aの最外周面8abにより、これに対向する保持器8dの内周面8dbが案内される構成となっている。これにより、内輪8aの回転と共に保持器8dも回転しやすくなるので、保持器8dの回転抵抗(ドラッグ損失)を減らすことができ、軸受の公転滑りの防止を図ることが可能となる。その他、保持器を無くした総玉軸受を採用することで、ドラッグ損失を減らす手段も考えられる。

【0033】

また、玉軸受の焼き付き性と長寿命化とは相反する関係にあり、本実施形態では、玉径と内外輪の軌道溝の半径との比率(溝半径率)を調整することで、その両立を図った設計を実施している。溝半径率の範囲は、溝半径/玉径×100=52%以上を対象としている。さらには52~56%の範囲内であること、或いは特に54%より大きいことが望ましい。

【0034】

本実施形態に係る軸受を改めて詳細に説明する。本実施形態の軸受は、図3に示すように、斜接(アンギュラ)玉軸受であり、外輪112、内輪113、これらの間に配置された複数の転動体としての玉114、及び玉114を保持する保持器115を有している。外輪112、内輪113及び玉114は、すべて窒化ケイ素製とされており、保持器115は、スーパーエンジニアリングプラスチックのPEEK(polyether ether keton)製とされている。

【0035】

保持器115は、固定輪である外輪112に案内されて円滑に回転するように、その外径が外輪112の内径より若干小さく形成(0.15mm程度)されている。そして、外輪112は、保持器115の外径より若干大きい(0.15mm程度)内径を有する左半部の小径部112aと、保持器115の外径よりも十分に大きい内径を有する右半部の大径部112bとから構成され、外輪112の軌道溝は、小径部112a及び大径部112bの両方に渡って形成されている。

【0036】

これにより、保持器115を案内する案内面が外輪112の軸方向片側(玉の中心より左

10

20

30

40

50

側)にのみ形成されている。なお、上記の「十分に大きい内径」とは、外輪112と保持器115の相対回転時に、左半部における両者の対向面間に殆どトラクションが作用しない程にその対向面間距離が大きいことを言う。

【0037】

図4に示す転がり軸受111は、図3のものと比較して保持器だけが異なっており、この保持器116は、回転輪である内輪113に案内されて円滑に回転するように、その内径が内輪113の外径より若干大きくなされている。

【0038】

図5は、上記転がり軸受111の評価装置を示している。この評価装置121は、転がり軸受111の公転すべりを評価するもので、円筒状のハウジング122と、これに相対回転可能に収容される回転軸123とを備え、ハウジング122と回転軸123との間の軸方向に離れた2カ所に、回転軸123を回転支持する左側及び右側の転がり軸受111、111を配置することができる。

10

【0039】

回転軸123は、その左端部において、エアタービンの駆動部(図示略)に接続される。2つの転がり軸受111間の外輪側には、これらにアキシャル荷重を負荷する円筒状コイルばね124が介在されており、同内輪側には、円筒状スペーサ125が介在されている。そして、右側の転がり軸受111の右端面を臨むように、非接触変位計126が配置されている。

【0040】

右側の転がり軸受111の保持器115の右面の周方向の所定箇所には、アルミニウムのコーティングが施され、これにより、変位計126は、保持器115のアルミニウムコーティング部の通過周波数を検知し、この周波数から保持器115の回転数従って玉114の公転回転数を求めることができる。

20

【0041】

上記評価装置121を用いて、転がり軸受111の玉114の公転回転数 n_c を実測し、これと理論的に求められる玉の公転回転数 n_T とから公転すべり率(%) = $(n_T - n_c) / n_T \times 100$ を求めることにより、異なる仕様の転がり軸受について、その公転すべりを評価することができる。なお、 n_T は、 α : 接触角として、 $n_T =$ 内輪の回転数 $\times (1 - \text{玉径} \times \cos \alpha / \text{玉のピッチ径}) / 2$ で求められる。こうし

30

【0042】

図6のグラフにおいて、白い三角印(及び折線a)は、アキシャル荷重が6.5kgf時の外輪片側案内の転がり軸受111(図3のもの)で、白い四角印(及び折線b)は、同じ軸受111でアキシャル荷重を23kgfとしたものであり、黒い三角印(及び折線c)は、アキシャル荷重が6.5kgf時の外輪両側案内の転がり軸受(比較例)で、黒い四角印(及び折線d)は、同じ軸受でアキシャル荷重が23kgfとしたものの公転すべり率をそれぞれ示している。このグラフから分かるように、図3に示した転がり軸受111は、案内面が軸方向両側に形成されている転がり軸受に比べて、公転すべり率が小さくなっており、転がり軸受111の摩耗性を悪化させる公転すべりが改善されている。

40

【0043】

図7のグラフにおいて、白い三角印(及び折線a)は、アキシャル荷重が6.5kgf時の内輪片側案内の転がり軸受111(図4のもの)で、白い四角印(及び折線b)は、同じ軸受111でアキシャル荷重を23kgfとしたものであり、黒い三角印(及び折線c)は、アキシャル荷重が6.5kgf時の外輪両側案内の転がり軸受(比較例)で、黒い四角印(及び折線d)は、同じ軸受でアキシャル荷重が23kgfとしたものの公転すべり率をそれぞれ示している。このグラフから分かるように、図4に示した転がり軸受111は、外輪案内で且つ案内面が軸方向両側に形成されている転がり軸受に比べて、公転すべり率が大幅に小さくなっており、転がり軸受111の摩耗性を悪化させる公転すべりが顕著に改善されている。

50

【0044】

図6, 図7は水を用いた試験結果ではあるが、超臨界CO₂雰囲気中では、水に比べ比重、粘度が小さくなり、確実にその効果が期待される。従って、上記図3及び図4に示した転がり軸受111によると、超臨界CO₂雰囲気中という軸受にとって厳しい条件下であっても、その耐久性の低下が防止され、この転がり軸受を使用する超臨界CO₂ポンプの長期間の連続使用を可能にする。

【0045】

以下に、本実施形態で使用される玉軸受の特性を解析した結果を示す。ここでは内輪113の軌道溝の曲率半径を玉径の54%より大きくしたことによる効果について、具体例として、内径が10の斜接玉軸受で計算した結果を以下に示す。

10

【0046】

即ち、内輪軌道溝の曲率半径を玉径の52%から56%にすると、アキシャル荷重が50Nの場合には、PV値が747(MPa・m/s)から553(MPa・m/s)まで減少し、アキシャル荷重が100Nの場合には、PV値が935(MPa・m/s)から708(MPa・m/s)まで減少し、平均では約3/4に減少する。こうして、PV値を小さくすることができ、これにより、摩耗を低減できることが分かる。

【0047】

上記効果は、内輪113側での接触面積を小さくし、内輪113側ですべりが生じた場合でも、そのPV値が小さくなるようにすることにより得られるもので、この観点からのより詳しい解析によると、PV値を効果的に小さくするには、内輪軌道溝の曲率半径を玉径の54%より大きくすることが好ましいことが分かる。内輪軌道溝の曲率半径の上限は、他性能との関係から玉径の60%程度とされる。外輪軌道溝の曲率半径は、特に限定されず、玉径の50.5%以上で且つ60%以下であれば良い。

20

【0048】

ところで、半導体洗浄揚液は、通常、35~100の範囲で使用される。一方、モータの主軸材とそれを支持する軸受内輪とでは、線膨張係数に差がある。つまり、主軸材は通常、耐食性を考慮してオーステナイト系ステンレス鋼が採用されるので、線膨張係数が大きく、軸受内輪は上述したようにセラミック製であるので、線膨張係数が小さい。

【0049】

そのため、温度上昇時に主軸が膨張して軸受内輪が破損することが懸念される。そこで、図8に示すように、主軸7の軸心に羽根車取付けボルト用とを兼用したくり抜き穴7aを設けて中空軸とすることにより、主軸7の膨張を内側に逃がすようにして、アンギュラ玉軸受8の内輪8aにおいて発生する応力の緩和を図っている。なお、同図では羽根車側の構成を示しているが、軸端側はボルトは無いが、同様である。

30

【0050】

また、本発明で使用される軸受の転動体としては玉を採用し、玉軸受としているが、これに限定されるものではなく、円柱状や円錐台状のころを採用したころ軸受としても良い。

【0051】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、超臨界CO₂流体或いは液体CO₂を搬送するポンプであって、軸受部を最適化することにより信頼性を確保した超臨界CO₂流体或いは液体CO₂用ポンプを提供することができる。

40

【0052】

具体的には、総セラミック軸受を採用することで、洗浄剤に対する耐食性の向上を図ることができる。また、高速回転による遠心力の低減、耐摩耗性の向上、及び外部からのパーティクルによる損傷の防止も図ることができる。

【0053】

また、保持器のドラッグ損失を低減することで、軸受の公転滑りによる損傷の防止を図ることができる。また、公転滑り特性向上により、予圧荷重の低減が可能であり、これによりスラスト荷重が低下するので、軸受の長寿命化を図ることができる。さらに、ドラッグ

50

損失低減により、ポンプ効率の向上を図ることができる。

【0054】

その他、玉径と軌道溝半径との比率（溝半径率）を最適化することで、焼き付き性の改善と長寿命化との両立、最適化を図ることができる。また、保持器の材料をPEEK材とすることで、保持器の耐食性を向上させるとともに、保持器の強度を向上させることができる。

【0055】

また、総セラミック軸受を採用した場合、温度上昇時に発生する主軸と軸受内輪との熱膨張差により、軸受内輪の焼き嵌め応力過大による損傷の懸念があるが、主軸を中空軸とすることで、これを回避することができる。

10

【0056】

なお、転がり軸受の保持器を回転輪案内とすることで、回転輪及び案内内部の流体から公転方向に駆動する力を転動体に作用させ、公転すべりを抑えることができる。従って、転がり軸受の耐久性の低下が防止され、この転がり軸受を使用する超臨界CO₂ポンプは、振動が大きくなって継続使用ができないという問題を生じない。

【0057】

或いは、保持器を固定輪案内とし、案内面が転動体の中心より軸方向片側のみに形成されている構成とすることで、転動体の公転方向への移動を妨げる力を低減させ、公転すべりを抑えることができる。従って、転がり軸受の耐久性の低下が防止され、この転がり軸受を使用する超臨界CO₂ポンプは、振動が大きくなって継続使用ができないという問題を

20

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る半導体洗浄装置用循環ポンプの構成を示す断面図。

【図2】本実施形態に係る軸受を模式的に示す主要部断面図。

【図3】本実施形態に係る転がり軸受を示す縦断面図。

【図4】本実施形態に係る転がり軸受を示す縦断面図。

【図5】本実施形態に係る転がり軸受の評価装置を示す縦断面図。

【図6】転がり軸受の評価結果を示すグラフ。

【図7】転がり軸受の評価結果を示すグラフ。

【図8】主軸を中空軸とした様子を模式的に示す断面図。

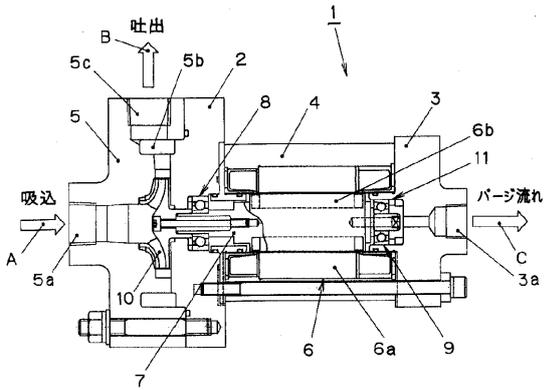
30

【符号の説明】

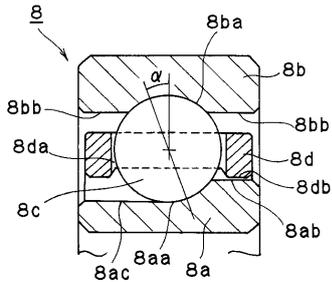
- 1 循環ポンプ
- 2 吐出・吸込側ケーシング
- 3 パージ側ケーシング
- 4 外筒
- 5 マニホールド
- 6 キャンドモータ
- 7 主軸
- 8, 9 アンギュラ玉軸受
- 10 羽根車
- 11 予圧バネ

40

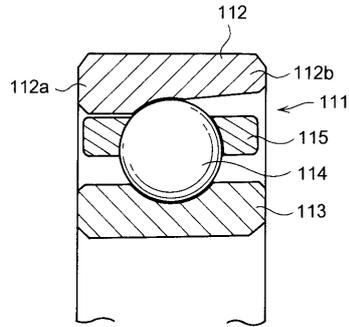
【図1】



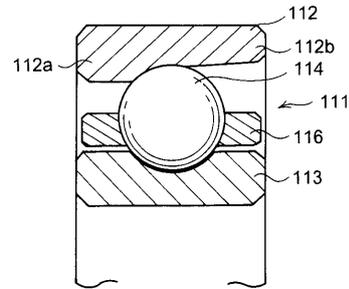
【図2】



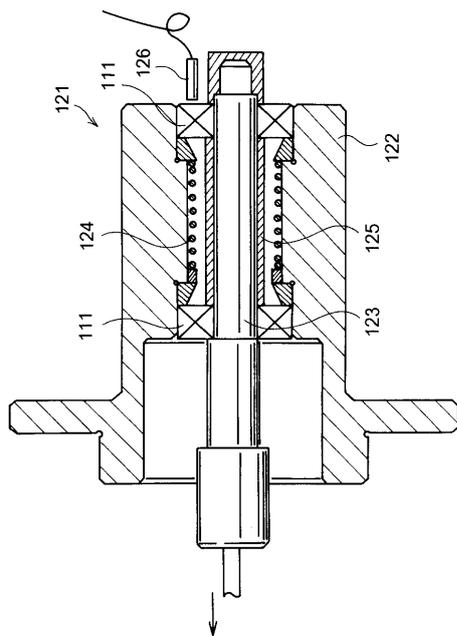
【図3】



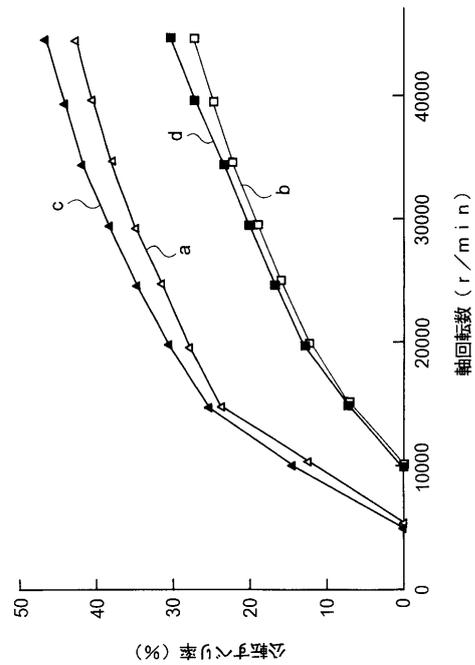
【図4】



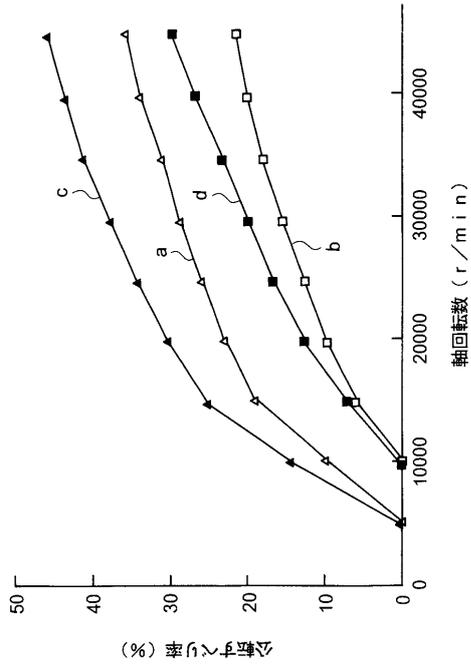
【図5】



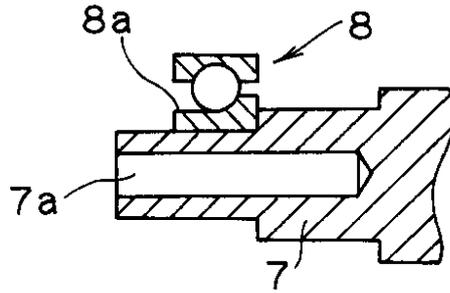
【図6】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
F 1 6 C 33/38 (2006.01) F 1 6 C 33/32
F 1 6 C 33/44 (2006.01) F 1 6 C 33/38
F 1 6 C 33/62 (2006.01) F 1 6 C 33/44
F 1 6 C 33/62

(72)発明者 貝漕 高明

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号 三菱重工業株式会社高砂研究所内

(72)発明者 南 正晴

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目8番19号 高菱エンジニアリング株式会社内

審査官 上田 真誠

(56)参考文献 特開2000-352377(JP,A)
特開2002-349582(JP,A)
特開2000-130441(JP,A)
特開平01-315692(JP,A)
特開平11-156311(JP,A)
特開平09-177792(JP,A)
特開2003-065341(JP,A)
特開2002-357226(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F04D 29/04-29/063
F04D 13/06
F04B 53/00
F04B 39/00
F16C 33/00-33/64