

明 細 書

発明の名称：真空ポンプおよび真空ポンプ用回転翼

技術分野

[0001] 本発明は、真空ポンプおよび真空ポンプ用回転翼に関する。

背景技術

[0002] 半導体製造装置、液晶製造装置、電子顕微鏡、表面分析装置または微細加工装置等は、装置内の環境を高度の真空状態にすることが必要である。これらの装置の内部を高度の真空状態とするために、真空ポンプが用いられている。

[0003] 真空ポンプの内部に、半導体製造等で生じた反応生成物が堆積することを防ぐために、真空ポンプの下流側に設置されているドラッグポンプ機構を、反応生成物の昇華温度以上に保温する技術が考案されている。しかし、半導体の製造プロセスによっては、反応生成物の昇華温度が高く、体積を防止できない場合もある。その場合には、定期的にドラッグポンプ機構を取り外して分解洗浄することとなるため、その作業に時間と費用が消費される。

[0004] そこで、特許文献1では、回転翼の下流側の部分を耐熱性の高い材料に置き換えることで、反応生成物が堆積する部分の温度を高温で保持する技術が考案されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2007-71139号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 上述した特許文献1に記載の技術によれば、真空ポンプの下流側の部分を高温で保持できるように見えるが、実際には、下流側の高温部から上流側の低温部に多量の熱が流入し、低温部が容易に許容温度を超える可能性がある。このため、真空ポンプの下流側の部分の温度を十分に上げられず、反応生

成物が堆積しやすくなるという課題がある。

- [0007] 本発明は、上述した課題を解決するためになされたものであり、反応生成物の堆積を効果的に抑制できる真空ポンプおよび真空ポンプ用回転翼を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0008] 上記目的を達成する本発明に係る真空ポンプは、回転自在に保持された回転軸と、前記回転軸の駆動機構と、第1の材料で形成された第1の回転翼と、前記第1の材料より耐熱性が高い第2の材料で形成され、前記第1の回転翼より下流側に配設された第2の回転翼と、前記回転軸、前記第1の回転翼および前記第2の回転翼を内包するケーシングと、を有する真空ポンプであって、前記回転軸、または、前記第1の回転翼の少なくとも一方に、前記第2の回転翼が断熱部を介して配設されていることを特徴とする。

- [0009] 上記目的を達成する本発明に係る真空ポンプ用回転翼は、第1の材料で形成された第1の回転翼と、前記第1の材料より耐熱性が高い第2の材料で形成され、前記第1の回転翼より下流側に配設された第2の回転翼と、を有する真空ポンプ用回転翼であって、前記第1の回転翼に前記第2の回転翼が断熱部を介して配設されていることを特徴とする。

発明の効果

- [0010] 上記のように構成した真空ポンプおよび真空ポンプ用回転翼は、第1の回転翼よりも下流側の第2の回転翼が、断熱部を介して配設されているため、下流側の第2の回転翼を高温としても、上流側の第1の回転翼への熱の流入を低減できる。このため、上流側の第1の回転翼が過熱されることを抑制しつつ、下流側の第2の回転翼を高温にできるため、真空ポンプの内部に反応生成物が堆積することを抑制できる。なお、回転軸、または、第1の回転翼の少なくとも一方に対して断熱部を介して配設されている第2の回転翼は、断熱部のみを介して直接的に配設される場合のみならず、断熱部に加えて断熱部以外の部材や部位を介して間接的に配設される場合もあり得る。
- [0011] 前記断熱部は、前記第1の材料および前記第2の材料よりも熱伝導率が低

い第3の材料で形成されてもよい。これにより、第2の回転翼から第1の回転翼への熱の流入を、第3の材料で形成された断熱部によって効果的に抑制できる。

[0012] 前記第3の材料は、多孔質材料であってもよい。これにより、第2の回転翼から第1の回転翼への熱の流入を、熱伝導率が低い多孔質材料により形成された断熱部によって効果的に抑制できる。

[0013] 前記第3の材料は、ステンレス鋼またはチタン合金であってもよい。これにより、第2の回転翼から第1の回転翼への熱の流入を、熱伝導率が低いステンレス鋼またはチタン合金により形成された断熱部によって効果的に抑制できる。

[0014] 前記第3の材料は、セラミックスであってもよい。これにより、第2の回転翼から第1の回転翼への熱の流入を、熱伝導率が低いセラミックスによって形成された断熱部によって効果的に抑制できる。

[0015] 前記第3の材料は、樹脂材料であってもよい。これにより、第2の回転翼から第1の回転翼への熱の流入を、熱伝導率が低い樹脂材料によって形成された断熱部によって効果的に抑制できる。

[0016] 前記断熱部は、所定の長さで形成された断熱構造であってもよい。これにより、第2の回転翼から第1の回転翼への熱の流入を、所定の長さで形成された断熱構造の断熱部によって、効果的に抑制できる。

[0017] 前記第1の回転翼は、当該第1の回転翼の側面に配設された複数段の回転ブレードの翼列を有し、前記真空ポンプは、前記回転ブレードの翼列の間に配設された静止ブレードの翼列を有し、前記回転ブレードの翼列と前記静止ブレードの翼列で、ターボ分子ポンプ機構を形成してもよい。これにより、低い圧力まで効果的に排気できる。

[0018] 前記第2の回転翼は、当該第2の回転翼に配設された少なくとも1つの回転円筒部を有し、前記真空ポンプは、前記回転円筒部の外周面または内周面に対向して配設された少なくとも1つの静止円筒部を有し、前記回転円筒部と前記静止円筒部で、ホルベック型ドラッグポンプ機構を形成してもよい。

これにより、ポンプの排気口付近の圧力が、比較的高い圧力の場合にも効果的に排気できる。

[0019] 前記第2の回転翼は、当該第2の回転翼の側面に配設された少なくとも1つの回転円板部を有し、前記真空ポンプは、前記回転円板部の軸方向へ向く面に対向して配設された少なくとも1つの静止円板部を有し、前記回転円板部と前記静止円板部で、シグバーン型ドラッグポンプ機構を形成してもよい。これにより、ポンプの排気口付近の圧力が、比較的高い圧力の場合にも効果的に排気できる。

[0020] 前記第1の回転翼は、少なくとも一部が前記断熱部より下流側へ突出した構造であってもよい。これにより、第1の回転翼の表面積を増加させて、第1の回転翼から、第1の回転翼の表面に対向して配置される部材への放熱を促進できる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]真空ポンプの縦断面図である。

[図2]アンプ回路の回路図である。

[図3]電流指令値が検出値より大きい場合の制御を示すタイムチャートである。

[図4]電流指令値が検出値より小さい場合の制御を示すタイムチャートである。

[図5]第1実施形態に係る真空ポンプの縦断面図である。

[図6]第2実施形態に係る真空ポンプの縦断面図である。

[図7]第3実施形態に係る真空ポンプの縦断面図である。

[図8]第4実施形態に係る真空ポンプの縦断面図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。なお、図面の寸法は、説明の都合上、誇張されて実際の寸法とは異なる場合がある。また、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0023] <第1実施形態>

本発明の第1実施形態に係る真空ポンプは、高速回転する回転体の回転ブレードが気体分子を弾き飛ばすことによりガスを排気するターボ分子ポンプ100である。ターボ分子ポンプ100は、例えば半導体製造装置等のチャンバからガスを吸引して排気するために使用される。

[0024] このターボ分子ポンプ100の縦断面図を図1に示す。図1において、ターボ分子ポンプ100は、円筒状の外筒127の上端に吸気口101が形成されている。そして、外筒127の内方には、ガスを吸引排気するためのタービンブレードである複数の回転ブレード102（102a、102b、102c・・・）を周部に放射状かつ多段に形成した回転体103が備えられている。この回転体103の中心には回転軸113が取り付けられており、この回転軸113は、例えば5軸制御の磁気軸受により空中に浮上支持かつ位置制御されている。

[0025] 上側径方向電磁石104は、4個の電磁石がX軸とY軸とに対をなして配置されている。この上側径方向電磁石104の近接に、かつ上側径方向電磁石104のそれぞれに対応されて4個の上側径方向センサ107が備えられている。上側径方向センサ107は、例えば伝導巻線を有するインダクタンスセンサや渦電流センサなどが用いられ、回転軸113の位置に応じて変化するこの伝導巻線のインダクタンスの変化に基づいて回転軸113の位置を検出する。この上側径方向センサ107は回転軸113、すなわちそれに固定された回転体103の径方向変位を検出し、図示せぬ制御装置に送るように構成されている。

[0026] この制御装置においては、例えばPID調節機能を有する補償回路が、上側径方向センサ107によって検出された位置信号に基づいて、上側径方向電磁石104の励磁制御指令信号を生成し、図2に示すアンプ回路150（後述する）が、この励磁制御指令信号に基づいて、上側径方向電磁石104を励磁制御することで、回転軸113の上側の径方向位置が調整される。

[0027] そして、この回転軸113は、高透磁率材（鉄、ステンレスなど）などに

より形成され、上側径方向電磁石 104 の磁力により吸引されるようになっている。かかる調整は、X 軸方向と Y 軸方向とにそれぞれ独立して行われる。また、下側径方向電磁石 105 及び下側径方向センサ 108 が、上側径方向電磁石 104 及び上側径方向センサ 107 と同様に配置され、回転軸 113 の下側の径方向位置を上側の径方向位置と同様に調整している。

[0028] さらに、軸方向電磁石 106 A、106 B が、回転軸 113 の下部に備えた円板状の金属ディスク 111 を上下に挟んで配置されている。金属ディスク 111 は、鉄などの高透磁率材で構成されている。回転軸 113 の軸方向変位を検出するために軸方向センサ 109 が備えられ、その軸方向位置信号が制御装置に送られるように構成されている。

[0029] そして、制御装置において、例えば P I D 調節機能を有する補償回路が、軸方向センサ 109 によって検出された軸方向位置信号に基づいて、軸方向電磁石 106 A と軸方向電磁石 106 B のそれぞれの励磁制御指令信号を生成し、アンプ回路 150 が、これらの励磁制御指令信号に基づいて、軸方向電磁石 106 A と軸方向電磁石 106 B をそれぞれ励磁制御することで、軸方向電磁石 106 A が磁力により金属ディスク 111 を上方に吸引し、軸方向電磁石 106 B が金属ディスク 111 を下方に吸引し、回転軸 113 の軸方向位置が調整される。

[0030] このように、制御装置は、この軸方向電磁石 106 A、106 B が金属ディスク 111 に及ぼす磁力を適当に調節し、回転軸 113 を軸方向に磁気浮上させ、空間に非接触で保持するようになっている。なお、これら上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 及び軸方向電磁石 106 A、106 B を励磁制御するアンプ回路 150 については、後述する。

[0031] 一方、モータ 121 は、回転軸 113 を取り囲むように周状に配置された複数の磁極を備えている。各磁極は、回転軸 113 との間に作用する電磁力を介して回転軸 113 を回転駆動するように、制御装置によって制御されている。また、モータ 121 には図示しない例えばホール素子、レゾルバ、エンコーダなどの回転速度センサが組み込まれており、この回転速度センサの

検出信号により回転軸 113 の回転速度が検出されるようになっている。

[0032] さらに、例えば下側径方向センサ 108 近傍に、図示しない位相センサが取り付けられており、回転軸 113 の回転の位相を検出できるようになっている。制御装置では、この位相センサと回転速度センサの検出信号を共に用いて磁極の位置を検出できるようになっている。

[0033] 回転ブレード 102 (102a、102b、102c・・・) とわずかの空隙を隔てて複数枚の静止ブレード 123a、123b、123c・・・が配設されている。回転ブレード 102 (102a、102b、102c・・・) は、それぞれ排気ガスの分子を衝突により下方向に移送するため、回転軸 113 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成されている。

[0034] また、静止ブレード 123 も、同様に回転軸 113 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成され、かつ外筒 127 の内方に向けて回転ブレード 102 の段と互い違いに配設されている。そして、静止ブレード 123 の外周端は、複数の段積みされた静止ブレードスペーサ 125 (125a、125b、125c・・・) の間に嵌挿された状態で支持されている。

[0035] 静止ブレードスペーサ 125 はリング状の部材であり、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。静止ブレードスペーサ 125 の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒 127 が固定されている。外筒 127 の底部にはベース部 129 が配設されている。チャンバ側から吸気口 101 に入ってベース部 129 には排気口 133 が形成され、外部に連通されている。ベース部 129 に移送されてきた排気ガスは、排気口 133 へと送られる。

[0036] さらに、ターボ分子ポンプ 100 の用途によって、静止ブレードスペーサ 125 の下部とベース部 129 の間には、ネジ付スペーサ 131 が配設される。ネジ付スペーサ 131 は、アルミニウム、銅、ステンレス、鉄、又はこれらの金属を成分とする合金などの金属によって構成された円筒状の部材であり、その内周面に螺旋状のネジ溝 131a が複数条刻設されている。ネジ溝 131a の螺旋の方向は、回転体 103 の回転方向に排気ガスの分子が移

動したときに、この分子が排気口133の方へ移送される方向である。回転体103の回転ブレード102（102a、102b、102c・・・）に続く最下部には回転円筒部102dが垂下されている。この回転円筒部102dの外周面は、円筒状で、かつネジ付スペーサ131の内周面に向かって張り出されており、このネジ付スペーサ131の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。回転ブレード102および静止ブレード123によってネジ溝131aに移送されてきた排気ガスは、ネジ溝131aに案内されつつベース部129へと送られる。

[0037] ベース部129は、ターボ分子ポンプ100の基底部を構成する円盤状の部材であり、一般には鉄、アルミニウム、ステンレスなどの金属によって構成されている。ベース部129はターボ分子ポンプ100を物理的に保持すると共に、熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄、アルミニウムや銅などの剛性があり、熱伝導率も高い金属が使用されるのが望ましい。

[0038] かかる構成において、回転ブレード102が回転軸113と共にモータ121により回転駆動されると、回転ブレード102と静止ブレード123の作用により、吸気口101を通じてチャンバから排気ガスが吸気される。吸気口101から吸気された排気ガスは、回転ブレード102と静止ブレード123の間を通り、ベース部129へ移送される。このとき、排気ガスが回転ブレード102に接触する際に生ずる摩擦熱や、モータ121で発生した熱の伝導などにより、回転ブレード102の温度は上昇するが、この熱は、輻射又は排気ガスの気体分子などによる伝導により静止ブレード123側に伝達される。

[0039] 静止ブレードスペーサ125は、外周部で互いに接合しており、静止ブレード123が回転ブレード102から受け取った熱や排気ガスが静止ブレード123に接触する際に生ずる摩擦熱などを外部へと伝達する。

[0040] なお、上記では、ネジ付スペーサ131は回転体103の回転円筒部102dの外周に配設し、ネジ付スペーサ131の内周面にネジ溝131aが刻設されているとして説明した。しかしながら、これとは逆に回転円筒部10

2 d の外周面にネジ溝が刻設され、その周囲に円筒状の内周面を有するスペーサが配置される場合もある。

[0041] また、ターボ分子ポンプ 1 0 0 の用途によっては、吸気口 1 0 1 から吸引されたガスが上側径方向電磁石 1 0 4、上側径方向センサ 1 0 7、モータ 1 2 1、下側径方向電磁石 1 0 5、下側径方向センサ 1 0 8、軸方向電磁石 1 0 6 A、1 0 6 B、軸方向センサ 1 0 9 などで構成される電装部に侵入することのないよう、電装部は周囲をステータコラム 1 2 2 で覆われ、このステータコラム 1 2 2 内はパージガスにて所定圧に保たれる場合もある。

[0042] この場合には、ベース部 1 2 9 には図示しない配管が配設され、この配管を通じてパージガスが導入される。導入されたパージガスは、保護ベアリング 1 2 0 と回転軸 1 1 3 間、モータ 1 2 1 のロータとステータ間、ステータコラム 1 2 2 と回転ブレード 1 0 2 の内周側円筒部の間の隙間を通じて排気口 1 3 3 へ送出される。

[0043] ここに、ターボ分子ポンプ 1 0 0 は、機種の特定制と、個々に調整された固有のパラメータ（例えば、機種に対応する諸特性）に基づいた制御を要する。この制御パラメータを格納するために、上記ターボ分子ポンプ 1 0 0 は、その本体内に電子回路部 1 4 1 を備えている。電子回路部 1 4 1 は、EEPROM等の半導体メモリ及びそのアクセスのための半導体素子等の電子部品、それらの実装用の基板 1 4 3 等から構成される。この電子回路部 1 4 1 は、ターボ分子ポンプ 1 0 0 の下部を構成するベース部 1 2 9 の例えば中央付近の図示しない回転速度センサの下部に收容され、気密性の底蓋 1 4 5 によって閉じられている。

[0044] ところで、半導体の製造工程では、チャンバに導入されるプロセスガスの中には、その圧力が所定値よりも高くなり、或いは、その温度が所定値よりも低くなると、固体となる性質を有するものがある。ターボ分子ポンプ 1 0 0 内部では、排気ガスの圧力は、吸気口 1 0 1 で最も低く排気口 1 3 3 で最も高い。プロセスガスが吸気口 1 0 1 から排気口 1 3 3 へ移送される途中で、その圧力が所定値よりも高くなったり、その温度が所定値よりも低くなっ

たりすると、プロセスガスは、固体状となり、ターボ分子ポンプ100内部に付着して堆積する。

[0045] 例えば、Alエッチング装置にプロセスガスとしてSiCl₄が使用された場合、低真空（760 [torr] ~ 10⁻² [torr]）かつ、低温（約20 [°C]）のとき、固体生成物（例えばAlCl₃）が析出し、ターボ分子ポンプ100内部に付着堆積することが蒸気圧曲線からわかる。これにより、ターボ分子ポンプ100内部にプロセスガスの析出物が堆積すると、この堆積物がポンプ流路を狭め、ターボ分子ポンプ100の性能を低下させる原因となる。そして、前述した生成物は、排気口付近やネジ付スペーサ131付近の圧力が高い部分で凝固、付着し易い状況にあった。

[0046] そのため、この問題を解決するために、従来はベース部129等の外周に図示しないヒータや環状の水冷管149を巻着させ、かつ例えばベース部129に図示しない温度センサ（例えばサーミスタ）を埋め込み、この温度センサの信号に基づいてベース部129の温度を一定の高い温度（設定温度）に保つようにヒータの加熱や水冷管149による冷却の制御（以下TMSという。TMS; Temperature Management System）が行われている。

[0047] 次に、このように構成されるターボ分子ポンプ100に関して、その上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105及び軸方向電磁石106A、106Bを励磁制御するアンプ回路150について説明する。このアンプ回路150の回路図を図2に示す。

[0048] 図2において、上側径方向電磁石104等を構成する電磁石巻線151は、その一端がトランジスタ161を介して電源171の正極171aに接続されており、また、その他端が電流検出回路181及びトランジスタ162を介して電源171の負極171bに接続されている。そして、トランジスタ161、162は、いわゆるパワーMOSFETとなっており、そのソースドレイン間にダイオードが接続された構造を有している。

[0049] このとき、トランジスタ161は、そのダイオードのカソード端子161

aが正極171aに接続されるとともに、アノード端子161bが電磁石巻線151の一端と接続されるようになっている。また、トランジスタ162は、そのダイオードのカソード端子162aが電流検出回路181に接続されるとともに、アノード端子162bが負極171bと接続されるようになっている。

[0050] 一方、電流回生用のダイオード165は、そのカソード端子165aが電磁石巻線151の一端に接続されるとともに、そのアノード端子165bが負極171bに接続されるようになっている。また、これと同様に、電流回生用のダイオード166は、そのカソード端子166aが正極171aに接続されるとともに、そのアノード端子166bが電流検出回路181を介して電磁石巻線151の他端に接続されるようになっている。そして、電流検出回路181は、例えばホールセンサ式電流センサや電気抵抗素子で構成されている。

[0051] 以上のように構成されるアンプ回路150は、一つの電磁石に対応されるものである。そのため、磁気軸受が5軸制御で、電磁石104、105、106A、106Bが合計10個ある場合には、電磁石のそれぞれについて同様のアンプ回路150が構成され、電源171に対して10個のアンプ回路150が並列に接続されるようになっている。

[0052] さらに、アンプ制御回路191は、例えば、制御装置の図示しないデジタル・シグナル・プロセッサ部（以下、DSP部という）によって構成され、このアンプ制御回路191は、トランジスタ161、162のon/offを切り替えるようになっている。

[0053] アンプ制御回路191は、電流検出回路181が検出した電流値（この電流値を反映した信号を電流検出信号191cという）と所定の電流指令値とを比較するようになっている。そして、この比較結果に基づき、PWM制御による1周期である制御サイクル T_s 内に発生させるパルス幅の大きさ（パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} ）を決めるようになっている。その結果、このパルス幅を有するゲート駆動信号191a、191bを、アンプ制御回路19

1 からトランジスタ 161、162 のゲート端子に出力するようになっている。

[0054] なお、回転体 103 の回転速度の加速運転中に共振点を通過する際や定速運転中に外乱が発生した際等に、高速かつ強い力での回転体 103 の位置制御をする必要がある。そのため、電磁石巻線 151 に流れる電流の急激な増加（あるいは減少）ができるように、電源 171 としては、例えば 50 V 程度の高電圧が使用されるようになっている。また、電源 171 の正極 171a と負極 171b との間には、電源 171 の安定化のために、通常コンデンサが接続されている（図示略）。

[0055] かかる構成において、トランジスタ 161、162 の両方を on にすると、電磁石巻線 151 に流れる電流（以下、電磁石電流 i_L という）が増加し、両方を off にすると、電磁石電流 i_L が減少する。

[0056] また、トランジスタ 161、162 の一方を on にし他方を off にすると、いわゆるフライホイール電流が保持される。そして、このようにアンプ回路 150 にフライホイール電流を流すことで、アンプ回路 150 におけるヒステリシス損を減少させ、回路全体としての消費電力を低く抑えることができる。また、このようにトランジスタ 161、162 を制御することにより、ターボ分子ポンプ 100 に生じる高調波等の高周波ノイズを低減することができる。さらに、このフライホイール電流を電流検出回路 181 で測定することで電磁石巻線 151 を流れる電磁石電流 i_L が検出可能となる。

[0057] すなわち、検出した電流値が電流指令値より小さい場合には、図 3 に示すように制御サイクル T_s （例えば $100 \mu s$ ）中で 1 回だけ、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけトランジスタ 161、162 の両方を on にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、正極 171a から負極 171b へ、トランジスタ 161、162 を介して流し得る電流値 i_{Lmax} （図示せず）に向かって増加する。

[0058] 一方、検出した電流値が電流指令値より大きい場合には、図 4 に示すように制御サイクル T_s 中で 1 回だけパルス幅時間 T_{p2} に相当する時間分だけ

トランジスタ161、162の両方をoffにする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、負極171bから正極171aへ、ダイオード165、166を介して回生し得る電流値 i_{Lmin} （図示せず）に向かって減少する。

[0059] そして、いずれの場合にも、パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} の経過後は、トランジスタ161、162のどちらか1個をonにする。そのため、この期間中は、アンプ回路150にフライホイール電流が保持される。

[0060] 第1実施形態に係る真空ポンプは、図5に示すように、回転体103に、複数の回転ブレード102（102a、102b、102c・・・）を備える第1の回転翼201と、回転円筒部102dを備える第2の回転翼202と、第1の回転翼201および第2の回転翼202の間に配設される断熱部203と、を備える真空ポンプ用回転翼200を有している。

[0061] 断熱部203は、高温となる第2の回転翼202から、第1の回転翼201への熱の流入を抑制する部材である。断熱部203は、リング状または円筒状のスペーサである。断熱部203の内周面は、第1の回転翼201の下流側の部位の外周面に連結され、断熱部203の外周面は、第2の回転翼202の上流側の部位の内周面に連結される。断熱部203は、第1の回転翼201の最も下流側の回転ブレード102よりもさらに下流側の部位の外周面に連結される。断熱部203が設けられることで、第2の回転翼202は、第1の回転翼201に対して直接連結されずに、断熱部203を介して間接的に連結されて配設される。なお、第1の回転翼201と第2の回転翼202が直接的に連結されなければ、第1の回転翼201が断熱部203に連結される部位は特に限定されず、かつ第2の回転翼202が断熱部203に連結される部位は特に限定されない。

[0062] 第1の回転翼201は、断熱部203に連結される部位よりも下流側へ突出する円筒状の突出部204を有している。突出部204を含む第1の回転翼201の内周面は、ステータコラム122の外周面に対向する。このため、突出部204は、ステータコラム122と熱交換して、ステータコラム1

22へ放熱できる。

[0063] 第2の回転翼202は、回転円筒部102dを備えて円筒状であり、上流側の部位の内周面に、断熱部203の外周面が連結されている。

[0064] 第1の回転翼201を形成する第1の部材は、特に限定されないが、真空ポンプの回転性能を向上させるために比較的軽量であることが好ましく、例えばアルミ合金である。第2の回転翼202を形成する第2の部材は、特に限定されないが、高い耐熱性を有することが好ましく、例えばステンレス鋼である。第1の部材は、第2の部材よりも軽量であり、第2の部材は、第1の部材よりも高い耐熱性を有する。

[0065] 断熱部203を形成する第3の部材は、第1の材料および第2の材料よりも熱伝導率が低い低熱伝導率材料である。このため、断熱部203は、下流側に配置される高温部である第2の回転翼202から、下流側に配置されて高温部ほど高温とならない低温部である第1の回転翼201への熱の流入を抑制できる。第3の部材は、特に限定されないが、例えば二酸化ジルコニウム等のセラミックス、ポリアミドイミド等の樹脂材料、または細かい孔が多数空いている多孔質材料である。多孔質材料は、例えばステンレス鋼やチタン合金等の金属材料、セラミックスまたは樹脂材料等によって形成される。多孔質材料の製造方法は、特に限定されず、例えば3Dプリンタにより素材を積層して形成し、または粉末を焼結して形成することができる。

[0066] 外筒127およびベース部129は、ケーシング204を構成する。ケーシング204は、回転軸113、第1の回転翼201および第2の回転翼202を回転可能に内包する。

[0067] 次に、上述した真空ポンプの作用を説明する。真空ポンプの回転軸113が駆動機構であるモータ121により駆動されると、回転体103が回転する。これにより、回転ブレード102と静止ブレード123の作用により、吸気口101を通じてチャンバからの排気ガスが吸気される。

[0068] 吸気口101から吸気された排気ガスは、第1の回転翼201の回転ブレード102と静止ブレード123によって形成されるターボ分子ポンプ機構に

よって、下流側へ移送される。下流側へ移送されてきた排気ガスは、第2の回転翼202の回転円筒部102dおよび静止円筒部であるネジ付スペーサ131により形成されるホルベック型ドラッグポンプ機構へ案内された後、排気口133へ移送される。なお、本実施形態では、ネジ付きスペーサ131は第2の回転翼202の外周に配置され、ネジ付きスペーサ131の内周面にネジ溝131aが形成されている。しかしながら、これとは逆に、第2の回転翼202の外周面にネジ溝が形成され、その周囲に円筒状の内周面を有するスペーサが配置されてもよい。

[0069] 以上のように、第1実施形態に係る真空ポンプは、回転自在に保持された回転軸113と、回転軸113の駆動機構（モータ121）と、第1の材料で形成された第1の回転翼201と、第1の材料より耐熱性が高い第2の材料で形成され、第1の回転翼201より下流側に配設された第2の回転翼202と、回転軸113、第1の回転翼201および第2の回転翼202を内包するケーシング204と、を有する真空ポンプであって、第1の回転翼201に、第2の回転翼202が断熱部203を介して配設されている。

[0070] また、真空ポンプ用回転翼200は、第1の材料で形成された第1の回転翼201と、第1の材料より耐熱性が高い第2の材料で形成され、第1の回転翼201より下流側に配設された第2の回転翼202と、を有する真空ポンプ用回転翼200であって、第1の回転翼201に第2の回転翼202が断熱部203を介して配設されている。

[0071] 上記のように構成した真空ポンプおよび真空ポンプ用回転翼200は、第1の回転翼201よりも下流側の第2の回転翼202が、断熱部203を介して配設されているため、下流側の第2の回転翼202を高温としても、上流側の第1の回転翼201への熱の流入を低減できる。このため、上流側の第1の回転翼201が過熱されることを抑制しつつ、下流側の第2の回転翼202を高温に保持できるため、真空ポンプの内部に反応生成物が堆積することを抑制できる。このため、真空ポンプの分解洗浄が不要となり、または分解洗浄の回数が減少し、作業時間および作業費用を削減できる。また、上

流側の部分の過熱を抑制できるために、連続排気するガスの流量を制限する必要がなくなるため、ガスの流量を適切に維持することができる。

[0072] なお、第1の回転翼201に対して断熱部203を介して配設されている第2の回転翼202は、断熱部203のみを介して直接的に配設されている場合のみならず、断熱部203および断熱部203以外の部位や部材を介して間接的に配設されている場合もあり得る。

[0073] また、断熱部203は、第1の材料および第2の材料よりも熱伝導率が低い第3の材料で形成されてもよい。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を、第3の材料で形成された断熱部203によって効果的に抑制できる。

[0074] また、第3の材料は、多孔質材料であってもよい。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を、熱伝導率が低い多孔質材料により形成された断熱部203によって効果的に抑制できる。

[0075] また、第3の材料は、ステンレス鋼またはチタン合金であってもよい。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を、熱伝導率が低いステンレス鋼またはチタン合金により形成された断熱部203によって効果的に抑制できる。

[0076] また、第3の材料は、セラミックスであってもよい。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を、熱伝導率が低いセラミックスによって形成された断熱部203によって効果的に抑制できる。

[0077] また、第3の材料は、樹脂材料であってもよい。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を、熱伝導率が低い樹脂材料によって形成された断熱部203によって効果的に抑制できる。

[0078] また、第1の回転翼201は、当該第1の回転翼201の側面に配設された複数段の回転ブレード102の翼列を有し、真空ポンプは、回転ブレード102の翼列の間に配設された静止ブレード123の翼列を有し、回転ブレード102の翼列と静止ブレード123の翼列で、ターボ分子ポンプ機構が形成される。これにより、低い圧力まで効果的に排気できる。また、第1の

回転翼 201 を含むターボ分子ポンプ機構への熱の流入を、断熱部 203 によって効果的に抑制できる。

[0079] また、第 2 の回転翼 202 は、当該第 2 の回転翼 202 に配設された少なくとも 1 つの回転円筒部 102 d を有し、真空ポンプは、回転円筒部 102 d の外周面に対向して配設された少なくとも 1 つの静止円筒部（ネジ付きスペーサ 131）を有し、回転円筒部 102 d と静止円筒部で、ホルベック型ドラッグポンプ機構が形成される。これにより、ポンプの排気口 133 付近の圧力が、比較的高い圧力の場合にも効果的に排気できる。また、第 2 の回転翼 202 から第 1 の回転翼 201 への熱の流入を断熱部 203 により低減させて、第 2 の回転翼 202 を含むホルベック型ドラッグポンプ機構を高温に保持して、ドラッグポンプ機構の内部の反応生成物の堆積を効果的に抑制できる。

[0080] また、第 1 の回転翼 201 は、少なくとも一部が断熱部 203 より下流側へ突出した構造である。これにより、第 1 の回転翼 201 の表面積（内周面の面積）を増加させて、第 1 の回転翼 201 から、第 1 の回転翼 201 の内側に配置される部材（ステータコラム 122）への放熱を促進できる。

[0081] <第 2 実施形態>

第 2 実施形態に係る真空ポンプは、図 6 に示すように、断熱部 302 の構造が、第 1 実施形態と異なる。

[0082] 第 2 実施形態に係る真空ポンプの真空ポンプ用回転翼 300 は、第 1 の回転翼 201 と、第 1 の回転翼 201 の下流側の端部に連結されたリング状の第 1 連結部 301 と、第 1 連結部 301 から上流側へ延在する円筒状の断熱部 302 と、断熱部 302 の上流側の端部に連結されたリング状の第 2 連結部 303 と、第 2 連結部 303 から下流側へ延在する円筒状の第 2 の回転翼 202 とを備えている。第 1 連結部 301、断熱部 302、第 2 連結部 303 および第 2 の回転翼 202 は、同一の材料（例えばステンレス鋼）によって一体的に形成されている。

[0083] 第 1 連結部 301 は、第 1 の回転翼 201 の下流側の端部と、断熱部 30

2の下流側の端部とを連結している。第1連結部301は、第1の回転翼201の下流側の端部の外周面から径方向外側へ突出している。

[0084] 第2連結部303は、第2の回転翼202の上流側の端部と、断熱部302の上流側の端部とを連結している。第2連結部303は、第2の回転翼202の上流側の端部の内周面から径方向内側へ突出している。

[0085] 断熱部302は、第1の回転翼201の外周面と第2の回転翼202の内周面の間に、第1の回転翼201の外周面および第2の回転翼202の内周面から離れて配設されている。断熱部302は、径方向へ所定の厚みW1と、軸方向へ所定の長さL1を有する断熱構造である。軸方向とは、回転体103の回転の中心軸に沿う方向である。径方向とは、回転体103の回転の中心軸と直交する断面において、中心軸に対して離間または接近する方向である。厚みW1は、特に限定されないが、好ましくは1～10mm、より好ましくは2～5mmであり、例えば3mmである。長さL1は、特に限定されないが、好ましくは10～50mm、より好ましくは20～40mmであり、例えば30mmである。厚みW1が薄く、かつ長さL1が長いほど、断熱部302の伝熱量が低下し、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を低減できる。厚みW1は、例えば、第1の回転翼201の最も下流側の回転ブレード102よりも下流側の部位の径方向の厚みよりも小さく、かつ第2の回転翼202の上流側の部位の径方向の厚みよりも小さい。これにより、断熱部302の伝熱量が低下し、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を低減できる。

[0086] 以上のように、第2実施形態に係る真空ポンプの断熱部302は、所定の長さL1と厚みW1で形成された断熱構造である。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を、所定の長さL1と厚みW1を有する断熱構造の断熱部302によって、効果的に抑制できる。

[0087] また、第1連結部301は、第2連結部303よりも下流側に配置されるため、第1の回転翼201を軸方向へ長く形成できる。このため、第1の回転翼201がステータコラム122に対向する面積を広く確保でき、第1の

回転翼 201 からステータコラム 122 への放熱を促進できる。

[0088] <第3実施形態>

第3実施形態に係る真空ポンプは、図7に示すように、回転軸 113 および第1の回転翼 201 の両方に、第2の回転翼 202 が断熱部 402 を介して配設されている点で、第1～第2実施形態と異なる。

[0089] 第3実施形態に係る真空ポンプの真空ポンプ用回転翼 400 は、第1の回転翼 201 と、回転軸 113 および第1の回転翼 201 の上流側の部位に連結される略リング状の第1

連結部 401 と、第1連結部 401 から下流側へ延在する円筒状の断熱部 402 と、断熱部 402 の下流側の端部に連結されるリング状の第2連結部 403 と、第2連結部 403 から下流側へ延在する円筒状の第2の回転翼 202 とを備えている。第1連結部 401、断熱部 402、第2連結部 403 および第2の回転翼 202 は、同一の材料（例えばステンレス鋼）によって一体的に形成されている。

[0090] 第1連結部 401 は、回転軸 113 の外周面に連結され、かつ軸方向において回転軸 113 と第1の回転翼 201 の間に挟まれて連結されている。第1連結部 401 は、回転軸 113 の外周面から径方向外側へ広がり、さらに下流側へ突出している。

[0091] 第2連結部 403 は、第2の回転翼 202 の上流側の端部と、断熱部 402 の下流側の端部とを連結している。第2連結部 403 は、第2の回転翼 202 の上流側の端部の内周面から径方向内側へ突出している。

[0092] 断熱部 402 は、ステータコラム 122 の外周面と第1の回転翼 201 の内周面の間に、ステータコラム 122 の外周面および第1の回転翼 201 の内周面から離れて配設されている。断熱部 402 は、径方向へ所定の厚み W_2 と、軸方向へ所定の長さ L_2 を有する断熱構造である。厚み W_2 は、特に限定されないが、好ましくは $1 \sim 15 \text{ mm}$ 、より好ましくは $2 \sim 8 \text{ mm}$ であり、例えば 5 mm である。長さ L_2 は、特に限定されないが、好ましくは $20 \sim 160 \text{ mm}$ 、より好ましくは $50 \sim 120 \text{ mm}$ であり、例えば 80 mm

である。厚みW2が薄く、長さL2が長いほど、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を低減できる。厚みW2は、例えば、第2の回転翼202の上流側の部位の径方向の厚みよりも小さい。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入をさらに低減できる。

[0093] 以上のように、第3実施形態に係る真空ポンプは、回転軸113および第1の回転翼201の両方に、第2の回転翼202が断熱部402を介して配設されている。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を、断熱部402によって、効果的に抑制できる。なお、第2の回転翼202は、回転軸113および第1の回転翼201に断熱部402のみを介して直接的に配設されてもよいが、断熱部402および断熱部402以外の部位や部材を介して間接的に配設されてもよい。また、第2の回転翼202は、第1の回転翼201ではなく回転軸113のみに対して、断熱部402を介して直接的にまたは間接的に配設されてもよい。

[0094] また、第3実施形態に係る真空ポンプの断熱部402は、所定の長さL2と厚みW2で形成された断熱構造である。これにより、第2の回転翼202から第1の回転翼201への熱の流入を、所定の長さL2と厚みW2を有する断熱構造の断熱部402によって、効果的に抑制できる。

[0095] <第4実施形態>

第4実施形態に係る真空ポンプは、図8に示すように、断熱部503および第2の回転翼501の構造が、第1～第3実施形態と異なる。

[0096] 第4実施形態に係る真空ポンプの真空ポンプ用回転翼500は、第1の回転翼201と、第1の回転翼201の下流側の端部と第2の回転翼501の上流側の端部に連結される断熱部503と、軸方向に並ぶ2つの回転円板部502を備える第2の回転翼501と、を備えている。

[0097] 真空ポンプは、さらに、2つの回転円板部502の間に、2つの回転円板部502の軸方向へ向く面に対向して配設された静止円板部504を備えている。静止円板部504の軸方向へ向く両面（下流側の面および上流側の面

）には、渦巻状の溝５０５が複数条刻設されている。溝５０５の渦巻の方向は、回転体１０３の回転方向に排気ガスの分子が移動したときに、この分子が排気口１３３の方へ移送される方向である。

[0098] 第４実施形態では、回転円板部５０２は２つ、静止円板部５０４は１つ設けられるが、回転円板部５０２および静止円板部５０４の数は特に限定されない。したがって、例えば回転円板部５０２および静止円板部５０４は１つつ設けられても、回転円板部５０２および静止円板部５０４の各々が２つ以上設けられてもよい。

[0099] 断熱部５０３を形成する第３の部材は、第１の材料および第２の材料よりも熱伝導率が低い低熱伝導率材料である。このため、断熱部５０３は、高温部である第２の回転翼５０１から、低温部である第１の回転翼２０１への熱の流入を抑制できる。

[0100] 第４実施形態において、第２の回転翼５０１は、当該第２の回転翼５０１の側面に配設された少なくとも１つの回転円板部５０２を有し、真空ポンプは、回転円板部５０２の軸方向へ向く面に対向して配設された少なくとも１つの静止円板部５０４を有し、回転円板部５０２と静止円板部５０４で、シグバーン型ドラッグポンプ機構を形成される。これにより、ポンプの排気口１３３付近の圧力が、比較的高い圧力の場合にも効果的に排気できる。また、第２の回転翼５０１から第１の回転翼２０１への熱の流入を断熱部５０３により低減させて、第２の回転翼５０１を含むシグバーン型ドラッグポンプ機構を高温で保持し、ドラッグポンプ機構の内部の反応生成物の堆積を効果的に抑制できる。

[0101] なお、本発明は、上述した実施形態のみに限定されるものではなく、本発明の技術的思想内において当業者により種々変更が可能である。例えば、真空ポンプの下流側の高温部は、シグバーン型ドラッグポンプ機構と、ホルベック型ドラッグポンプ機構とを組み合わせ形成されてもよい。例えば、上流側にシグバーン型ドラッグポンプ機構が配置され、下流側にホルベック型ドラッグポンプ機構が配置されてもよく、または逆に配置されてもよい。ま

た、上述の第1～第3実施形態において、ホルベック型ドラッグポンプ機構は、回転円筒部102dの外周面と静止円筒部（ネジ付スペーサ131）の内周面によって形成されるが、回転円筒部の内周面と静止円筒部の外周面によって形成されてもよい。

符号の説明

[0102]	100	ターボ分子ポンプ	
	101	吸気口	
	102	回転ブレード	
	102d	回転円筒部	
	103	回転体	
	113	回転軸	
	121	モータ（駆動機構）	
	122	ステータコラム	
	123	静止ブレード	
	131	ネジ付スペーサ（静止円筒部）	
	133	排気口	
	200、300、400、500	真空ポンプ用回転翼	
	201	第1の回転翼	
	202、501	第2の回転翼	
	203、302、402、503	断熱部	
	204	ケーシング	
	502	回転円板部	
	504	静止円板部	
	L1、L2	断熱部の長さ	
	W1、W2	断熱部の幅	

請求の範囲

- [請求項1] 回転自在に保持された回転軸と、
前記回転軸の駆動機構と、
第1の材料で形成された第1の回転翼と、
前記第1の材料より耐熱性が高い第2の材料で形成され、前記第1の回転翼より下流側に配設された第2の回転翼と、
前記回転軸、前記第1の回転翼および前記第2の回転翼を内包するケーシングと、を有する真空ポンプであって、
前記回転軸、または、前記第1の回転翼の少なくとも一方に、前記第2の回転翼が断熱部を介して配設されていることを特徴とする真空ポンプ。
- [請求項2] 前記断熱部は、前記第1の材料および前記第2の材料よりも熱伝導率が低い第3の材料で形成されていることを特徴とする請求項1に記載の真空ポンプ。
- [請求項3] 前記第3の材料は、多孔質材料であることを特徴とする請求項2に記載の真空ポンプ。
- [請求項4] 前記第3の材料は、ステンレス鋼またはチタン合金であることを特徴とする請求項2または請求項3に記載の真空ポンプ。
- [請求項5] 前記第3の材料は、セラミックスであることを特徴とする請求項2または3に記載の真空ポンプ。
- [請求項6] 前記第3の材料は、樹脂材料であることを特徴とする請求項2または3に記載の真空ポンプ。
- [請求項7] 前記断熱部は、所定の長さで形成された断熱構造であることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の真空ポンプ。
- [請求項8] 前記第1の回転翼は、当該第1の回転翼の側面に配設された複数段の回転ブレードの翼列を有し、
前記真空ポンプは、前記回転ブレードの翼列の間に配設された静止ブレードの翼列を有し、

前記回転ブレードの翼列と前記静止ブレードの翼列で、ターボ分子ポンプ機構を形成したことを特徴とする請求項 1～7 のいずれか 1 項に記載の真空ポンプ。

[請求項9] 前記第 2 の回転翼は、当該第 2 の回転翼に配設された少なくとも 1 つの回転円筒部を有し、

前記真空ポンプは、前記回転円筒部の外周面または内周面に対向して配設された少なくとも 1 つの静止円筒部を有し、

前記回転円筒部と前記静止円筒部で、ホルベック型ドラッグポンプ機構を形成したことを特徴とする請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の真空ポンプ。

[請求項10] 前記第 2 の回転翼は、当該第 2 の回転翼の側面に配設された少なくとも 1 つの回転円板部を有し、

前記真空ポンプは、前記回転円板部の軸方向へ向く面に対向して配設された少なくとも 1 つの静止円板部を有し、

前記回転円板部と前記静止円板部で、シグバーン型ドラッグポンプ機構を形成したことを特徴とする請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の真空ポンプ。

[請求項11] 前記第 1 の回転翼は、少なくとも一部が前記断熱部より下流側へ突出した構造であることを特徴とする請求項 1～10 のいずれか 1 項に記載の真空ポンプ。

[請求項12] 第 1 の材料で形成された第 1 の回転翼と、

前記第 1 の材料より耐熱性が高い第 2 の材料で形成され、前記第 1 の回転翼より下流側に配設された第 2 の回転翼と、を有する真空ポンプ用回転翼であって、

前記第 1 の回転翼に前記第 2 の回転翼が断熱部を介して配設されていることを特徴とする真空ポンプ用回転翼。