スクリー式ドライ真空ポンプ*

椎木 和明**・納谷 孝太郎**・内田 利一***

(受付1990年5月8日, 掲載決定1990年6月9日)

Screw Dry Vacuum Pump

Kazuaki SHIINOKI**, Kootaro NAYA** and Riichi UCHIDA***

** (Shimizu Works, Hitachi, Ltd. 390, Muramatsu, Shimizu-shi, Shizuoka, 424 Japan)

*** (Mechanical Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd. 502,

Kandatsu-machi, Tsuchiura-shi, Ibaraki, 300 Japan)

(Received May 8, 1990, Accepted June 9, 1990)

1. はじめに

近年, エレクトロニクス, 核融合, 宇宙, 新材料などに代表される先端技術分野に用いられる真空排気系においては, 作動室内に油を用いないドライ真空ポンプの採用が急速に進んでいる. 特に半導体分野においては, 半導体の集積度が高まるにともない, 油回転ポンプの油分子の逆拡散による製品歩留りの低下や, プロセスガスによる油の劣化, メンテナンスコストの増大が大きな問題となっている. さらに, クリーンルームの高清浄化が一段と進みつつあり, クリーンルームの環境保全という点からもドライ真空ポンプの採用が急速に進んでいる.

真空排気系のドライ化のニーズに対して, 各方面で開発, 製品化がなされており, 筆者らはスクリー式でのニーズへの対応を図り, 日本真空協会主催, 昭和62年2月研究例会にてその技術的な概要を紹介させていただいた¹⁾. 本稿では製品の概要を解説させていただく.

2. スクリー真空ポンプの作動原理

スクリー真空ポンプの作動原理を図1に示す. 凸状のねじ山を有する雄ロータと凹状のねじ溝を有する雌ロータは, それぞれ逆方向にねじれており, これらのロータは互いにかみ合って形成する歯溝とロータを囲むケーシングにより, 気体を圧縮する作動室を形成する. ロー

タが図1の矢印の方向に回転すると, 吸込側の歯溝(図の裏側)は次第にその容積を増大させ, 気体を吸込み, さらにロータが回転すると, やがて歯溝はその容積を減少させ(図の表側), 作動室の気体を圧縮吐出する. このように作動室が回転と共に順次吸込側から吐出側に移動することにより, 真空排気作用をする.

スクリー流体機械には, 作動室に潤滑油を注入し, 雄雌ロータが直接接触する油噴射式と, 作動室は無潤滑で両ロータが互いに非接触で回転するオイルフリー式(真空分野ではドライ式と呼ぶ)の二つの形式がある.

図1 スクリー流体機械の作動原理

* 平成元年6月26日日本真空協会6月研究例会にて講演

** ㈱日立製作所清水工場(清水市村松390)

*** ㈱日立製作所機械研究所(土浦市神立町502)

表 1 製品仕様

項 目	形 式	CSV-3 Z 4 C	CSV-5 Z 4 C
公 称 排 気 速 度	l/min	1000	2000
到 達 圧 力	Torr	10^{-2} オーダ	10^{-2} オーダ
最 大 吸 気 圧 力	Torr	760	760
最 大 排 気 圧 力	Torr	760	760
電 源 周 波 数	Hz	50/60	50/60
電 源 電 圧	V	三相200/200, 220	三相200/200, 220
駆 動 方 式	—	高周波インバータ	直入れ
駆 動 モ ー ト ル 出 力	kW	3.7	3.7
吸 気 口 径	—	VG50	VG50
排 気 口 径	—	NW25	NW25
軸封用N ₂ ガス(希釈兼用)	Nl/min	25	50
冷 却 水 量	l/min	3	5
初 期 潤 滑 油 量	l	2	4
騒 音	dB(A)	65	65
概 略 重 量	kg	ポンプ本体120, インバータ盤25	235
外 形 寸 法 (巾×奥行×高さ)	mm	ポンプ本体：800×390×440 インバータ盤：300×200×350	830×410×525

後者は両ロータを非接触同期回転するためのタイミングギヤを軸端に設けている。

ドライ真空ポンプではロータやケーシング間のすきまを通して高圧の作動室から低圧の作動室へ気体の逆流が生じ、この逆流量がポンプの性能を左右する最も重要な要因となっている。逆流量を少なくする方法には、ロータやケーシング間のすきまを小さくするのが最も簡単であるが、ロータやケーシングの熱変形を考慮した上に、さらにロータが回転するための最小すきまを確保しなければならず、すきまを小さくするには自ずと限界がある。しかしながら、すきまが一定の場合にもねじの巻数を増やすことで逆流量を減少させることができる。

従来の圧縮機用スクリーロータのねじ巻数は一卷以下であったが、真空ポンプ用スクリーロータでは二巻以上としたため、吐出側と吸入側に多段の作動室を有することができ、逆流量を著しく減少することができた。その結果、油回転ポンプ並の到達圧力を有するスクリー式ドライ真空ポンプを実現することが可能となった。

3. 製品概要

現在製品化している製品の仕様、構造、特長等について述べる^{2,3)}。

3.1 仕様及び性能

表 1 に製品仕様を示す。排気速度1000 l/min, 2000 l/

min, 到達圧力 10^{-2} Torr オーダの領域を 2 機種 (CSV-3Z4C, CSV-5Z4C) でカバーしている。図 2 に排気速度特性を示すが、いずれも粗引き用ドライ真空ポンプとして十分な性能を有している。図 3 は本真空ポンプの残留ガス分析結果を示すもので、質量数が44を超えるピークは見られずクリーンな真空を実現している。

3.2 構造

図 4 にスクリー式ドライ真空ポンプの構造図を示す。雄ロータ、雌ロータは吸気側軸受と排気側軸受により支持され、非接触同期回転させるためのタイミングギヤを軸端に設けている。ロータはモートル軸に設けられた増速ギヤを介して駆動される。吸気側軸受はスリングによるはねかけ給油、排気側軸受は外置給油ポンプによる強制給油により潤滑が行われている。排気側の軸封部には N₂ ガスを供給し、排気側軸受部の圧力よりも軸封部の圧力を高くし、常に軸封部より軸受部へ N₂ ガスの流れを作り、潤滑油が作動室へ流れ込まないようにしている。この N₂ ガス是一部作動室排気側へも流入し、プロセスガスの分圧を下げるとともに作動室内で圧縮され、排気温度を上昇させている。スクリー真空ポンプの吐出温度は300℃近い高温になるため、反応生成物を気化した状態で排気することができ、作動室内に反応生成物が付着するのを防止している。また吸入側軸封部は排気側と同一構造であるが、吸入側であるため N₂ ガス

図2 排気速度特性

図3 残留ガス分析結果 (CSV-5Z4C)

図4 スクリュー式ドライ真空ポンプ構造図

を強制的に供給できないので、吸込側軸受の潤滑油室と作動室の圧力がバランスするように工夫してある。

3.3 特長

上述したスクリー式ドライ真空ポンプの主な特長は下記の通りである。

- (1) 半導体製造装置組込や油回転ポンプのリプレースに最適
単段で高性能を発揮する横形コンパクト設計のため、装置組込や油回転ポンプのリプレースに最適である。
- (2) クリーンな排気系を実現
軸封部 N_2 ガスバージ機構、軸封要素の最適化などにより作動室内に油分のないクリーンな排気系を実現している。
- (3) 長時間の省メンテナンス運転が可能
運転時の排気温度が 300°C 近い高温になるため、反応生成物を気化した状態で排気できる。そのため反応生成物の付着を防止でき、長時間の省メンテナ

ンス運転が可能である。

- (4) 低振動、低騒音
スクリーロータ、タイミングギヤ、増速ギヤなどの高精度なバランス設計とパッケージ化及び吐出側にサイレンサーを装着することにより低振動、低騒音を実現している。
- (5) 単段で大気圧より 10^{-2} Torr オーダの到達圧力を実現
真空ポンプ用スクリーロータの開発により、単段で大気圧から 10^{-2} Torr レベルのワイドレンジで作動する粗引き用単段スクリー式ドライ真空ポンプを実現している。
- (6) 特殊耐食コーティングの採用により腐食性ガスに対応

腐食性ガス対策として、ロータ表面・ケーシング内面の接ガス部に特殊耐食コーティングを標準施工し、腐食を防止している。

表2 適用プロセス

装 置	プ ロ セ ス	プロセスガス	実績稼働時間
低 圧 CVD	ポリシリコン膜生成	SiH ₄	1年以上
	窒 化 膜 生 成	SiH ₂ Cl ₂ /NH ₃	1年以上
	酸 化 膜 生 成	SiH ₄ /N ₂ O	1年以上
		TEOS	1年以上
	プラズマナイトライド	SiH ₄ /NH ₃	1年以上
エッチング	Al 膜 エ ッ チ ン グ	SiCl ₄ /CCl ₄ /BCl ₃	1年以上

4. 使用実績

半導体製造装置用真空ポンプが具備すべき能力は、

- (1) 必要な真空性能(到達圧力、排気速度)を有する。
- (2) 活性なプロセスガスや半導体製造に伴い生成する物質に耐えて運転可能である。

の2点が挙げられる。

これらの点に関しては、実際にユーザで長期間試用していただき、評価を得る必要がある。現在までに実績のある主なプロセスを表2に示す。

上記に示すように、半導体製造の基本プロセスに対していずれも1年以上の連続稼働実績があり、ほとんどの製造プロセスの油回転ポンプを本ポンプで置き換え可能である。

5. む す び

半導体分野の真空排気系クリーン化のニーズに対応し

て、本ポンプの開発を開始して以来、仕様、大きさ、使い勝手等、試行錯誤を重ね、粗引き用ドライ真空ポンプの基本的なコンセプトを形成することができたと判断している。

しかし、何分にも粗引き用ドライ真空ポンプが市場に登場してから約6年しか経過していないため、今後ともユーザ各位のご指導、ご協力を得ながらよりよいポンプの改良、改善を続ける必要があると考えている。

〔文 献〕

- 1) 松原，他3名：オイルフリースクリュー真空ポンプ，日本真空協会昭和62年2月研究例会予稿集 p37～p43（昭62-2）。
- 2) (株)日立製作所カタログ：日立オイルフリースクリュー形真空ポンプ。
- 3) (株)日立製作所カタログ：日立スクリー式ドライ真空ポンプ。