

분자 드래그 회전자 형상에 따른 복합분자펌프의 배기성능에 관한 실험적 연구

황영규* , 권명근**

*성균관대학교 기계공학부, **성균관대학교 대학원 기계설계학과

초록

Recently, high vacuum pumps are widely used in the semi-conduction and liquid-crystal display (LCD) process. The composite-type high vacuum pumps are widely used in the various processes. In this study, the pumping performance of composite-type molecular pumps has been investigated experimentally. The experimented pumps are a compound molecular pump (CMP) and hybrid molecular pump (HMP). The CMP consists with helical-type drag pump, at lower part, and with turbomolecular pump (TMP), at upper part. The HMP consists with disk-type drag pump, at lower part, and with TMP, at upper part. The experiments are performed in the outlet pressure of 0.2 ~ 533 Pa. We have measured the ultimate pressure, compression ratio, and pumping speed

1. 서론

반도체산업 및 LCD (liquid crystal display) 산업 분야에서 웨이퍼(wafer)와 글라스(glass)의 크기가 커져 가고 있는 추세이다. 이들 산업분야에서는 고청정의 진공 공간이 요구되고 있는데, 이를 위하여 대(大)유량이 요구되는 CVD (chemical vapor deposition), 이온 주입 (ion implantation), 에칭 (etching), 스퍼터링(sputtering)등의 작업공정에 터보형 진공펌프가 많이 이용되고 있다. 이 터보형 진공펌프는 세계적인 반도체 웨이퍼 크기의 증대와 국내 반도체 제조업의 성장에 따라 엄청난 양의 수요 증가가 발생하고 있는 상황이다. 국내의 대(大)유량 터보형 진공펌프 시장의 경우 전량 수입에 의존하고 있으며 국산화는 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다. 하지만 터보형 진공펌프에 있어서는 아직은 세계 시장의 상황도 개발단계에 있으며, 현재 국내의 기술수준으로도 충분한 경쟁력이 있다고 판단 되므로 본 연구의 의의가 있다고 하겠다.

터보형 진공펌프 중에는 고속으로 회전하는 날개에 의하여 기체분자들이 매우 큰 운동량을 전달받아 연속적으로 진공공간으로부터 출구측으로 압축.배기시키는 터보형 드래그펌프가 있다.⁽¹⁾ 이러한 터보형 드래그펌프는 크게 Holweck 형태인 원통에 나선형 홈이 있는 헬리컬 드래그펌프(helical-type drag pump; HTDP)와 Siegbahn 형태인 원판에 홈이 있는 원판형 드래그펌프(disk-type drag pump; DTDP)로 구분된다.^(2,3) 터보형 드래그펌프는 대(大)유량에 적합할 뿐만 아니라 약 10^{-9} Pa 정도의 고진공으로부터 대기압까지 한 대의 펌프로도 기체를 압축.배기 할 수 있는 성능을 가지고 있다. HTDP 와 DTDP 에 대하여 Hwang 과 Heo^(4,5)는 이론적 및

실험적으로 성능특성을 파악하였었다. 그리고, 또한 그들은 DSMC (direct simulation Monte Carlo)법을 이용하여 분자천이영역에서 성능 해석을 수치해석 및 실험적으로 수행하였다.^(4,5)

터보분자펌프(turbomolecular pump; TMP)는 익렬 형상과 펌프의 배기성능에 대한 상세한 연구는 1960 년대 초부터 시작되었으며 아직도 계속되고 있다. 가스 분자 한 개와 움직이고 있는 면사이의 상호작용(충돌)에 의해, 분자가 분자 운동방향과 회전하고 있는 면의 회전 방향 벡터와의 합 방향으로 속도를 얻게 되어 일정방향으로 분자들의 이동이 일어나게 된다. 이러한 과정에 의해 기체가 전체적으로 흡기구에서 배기구방향으로 이동하게 된다. 본 연구는 복합형 분자펌프 중에서 상단부는 TMP 회전익과 고정익이, 하단부는 HTDP 로 결합된 복합분자펌프 (compound molecular pump; CMP)와 하단부에 3 단의 회전자로 구성된 DTDP 로 결합된 복합분자펌프(Hybrid molecular pump; HMP)의 성능실험을 통하여 성능차이를 파악하고자 하였다. 상단부에는 6 단의 TMP 회전익과 5 단의 TMP 고정익으로 구성되어 있으며, 하단부에 HTDP 회전자 하나로 구성되어 있다. 펌프의 성능실험은 펌프 출구압력(P_2) 변화에 따른 입구압력(P_1) 변화를 측정하여 펌프의 성능을 파악하였으며, 질소기체를 유입시켜주었을 때 펌프 입구압력 변화를 측정하여 성능을 평가하여 보았다. 압력측정범위는 유입유량이 없을 때 P_2 범위가 0.2 ~ 533 Pa 일 때 P_1 값의 변화를 측정하였다. 본 실험적 사용된 복합분자펌프에 대한 최대도달진공도(ultimate pressure), 최대압축비(maximum compression ratio), 그리고 배기속도(pumping speed)를 측정하였다.

2. 실험 방법

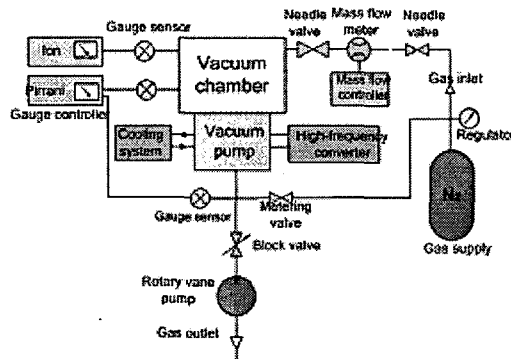
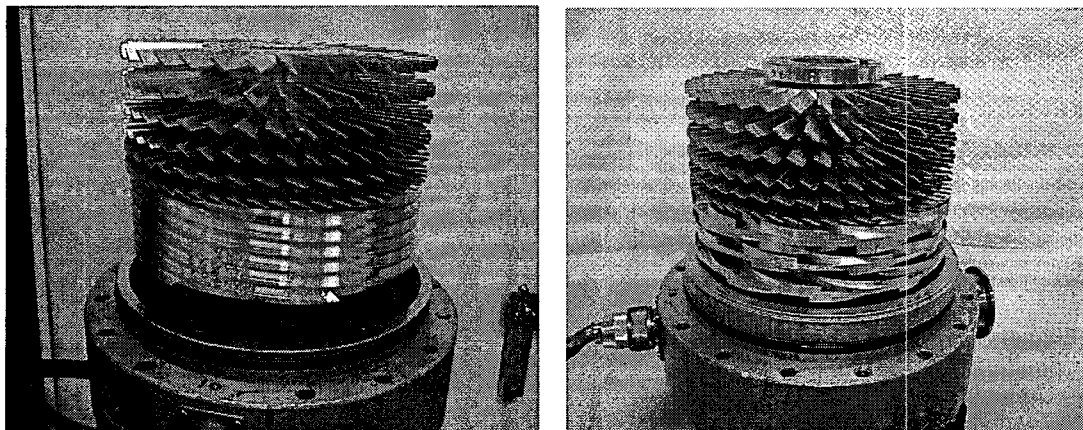


Fig. 1 The layout of the experimental apparatus.

테스트펌프 입구부와 출구부에는 각각 피라니 게이지를 설치하였으며, 펌프 입구부(챔버)의 압력이 고진공인 경우에는 이온게이지를 이용하여 압력을 측정하였다. 후단 펌프로는 970 l/s 의 성능을 갖는 우성진공(주)의 2 단 로터리펌프(rotary vane pump)를 사용하였다. 그리고, P_2 의 조절을 위하여 테스트펌프의 출구부에 Fig. 1 에서 보는 것과 같이 미터링 밸브(metering valve)를 조절하여 배기속도(pumping speed)를 측정하여 펌프의 성능에 대한 기초 자료를 얻을 수 있었다. 본 연구에 사용된 실험장치 구성은 테스트펌프와 진공압력 측정용 진공게이지, 후단펌프, 가스(N_2)유량 측정을 위한 유량계(MFC), 펌프부로 구성하였다. 실험에 사용된 기체인 질소는 가스탱크로부터 미터링 밸브쪽으로 유입시켜 P_2 를 조절하도록 하였다. 그리고 테스트 펌프는 로터리 펌프의 안정적인 작동을 위해서는 펌프 모터부의 지나친 과열과 냉각을 막는 적절한 냉각 시스템이 필요하며, 실험에서는 물을 이용한 수냉식 냉각방법을 채택하였다.

실험에 사용된 CMP 와 HMP 형상을 Figs. 2(a)와 (b)에 나타내었다.



(a)

(b)

Fig. 2 Composite-type molecular pumps: (a) CMP, (b) HMP.

3. 실험결과 및 고찰

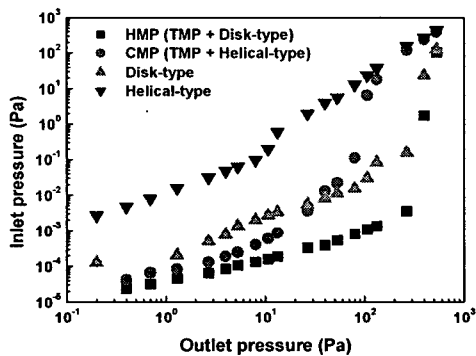


Fig. 3 Comparison of P_1 for vacuum pumps at zero throughput.

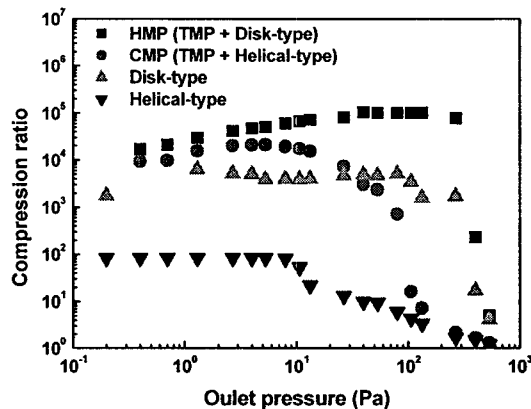


Fig. 4 Comparison of compression ratio for Vacuum pumps at zero throughput.

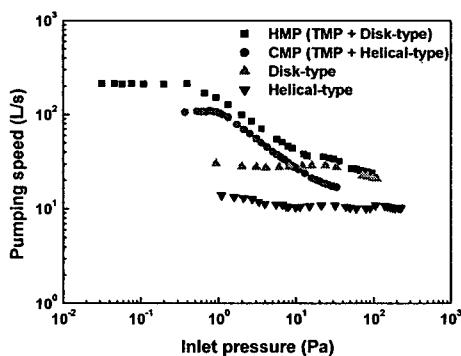


Fig. 5 Pumping speed vs. inlet pressure for vacuum pumps.

본 연구에서는 두 가지 형상의 복합분자펌프 CMP 와 HMP 에 대한 배기성능을 실험적으로 연구하였다. 본 연구에서는 CMP 와 HMP 뿐만 아니라, 하단부에 결합된 DTDP 와 HTDP 의 두 가지 분자드래그펌프에 대해서도 최대압축비, 최대도달진공도와 배기속도를 측정하였으며, 배기성능 비교를 통한 배기특성의 장단점을 살펴보았다.

각각의 펌프에 대한 최대도달진공도는 Fig. 3 에 나타내고 있다. HMP 는 $P_2 = 0.4 \text{ Pa}$ 일 때 $2.5 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 이었으며, CMP 는 $P_2 = 0.4 \text{ Pa}$ 일 때 $4.3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 이었다. 분자드래그펌프의 경우 DTDP 는 $P_2 = 0.2 \text{ Pa}$ 일 때 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 이었고, HTDP 는 $P_2 = 0.2 \text{ Pa}$ 일 때 $2.7 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 이었다. HMP 가 높은 지공압력을 보여주었다.

각각의 펌프에 대한 최대압축비는 Fig. 4 에 나타내고 있다. HMP 는 $P_2 = 133 \text{ Pa}$ 일 때 약 10^5 정도였으며, CMP 는 $P_2 = 10 \text{ Pa}$ 일 때 약 2×10^4 이었다. 분자드래그펌프의 경우 DTDP 는 $P_2 = 80 \text{ Pa}$ 일 때 약 5×10^3 정도였고, HTDP 는 $P_2 = 8 \text{ Pa}$ 일 때 83 이었다. HMP 의 최대압축비는 다른 펌프들보다 최소 5 배에서 최대 1000 배 가까이 높았으며, 이것은 펌프내부의 유로구조가 분자기체들의 역류를 최대로 억제할 수 있는 긴 유로구조이기 때문인 것으로 판단된다.

배기속도에 대한 실험결과는 Fig. 5 에서 보여주고 있다. HMP 는 최대 210 L/s 로 가장 높았으며, CMP, DTDP 그리고 HTDP 는 각각 102, 30, 그리고 10 L/s 로 나타내었다. HMP 와 CMP 의 경우 입구압력이 분자천이영역을 지나 자유분자유동영역으로 갈수록 높은 배기속도를 보여주고 있는데 이것은 터보분자펌프의 특징도 갖고 있음을 보여주는 것이다.

4. 결론

HMP 와 CMP 의 성능을 실험적으로 파악하였다. 최대도달진공도는 HMP 가 CMP 보다는 더 낮았다. 최대압축비는 HMP 가 CMP 보다 5 배 정도 높은 압축성능을 보여주었다. 배기속도는 HMP 와 CMP 모두 분자천이영역을 지나 자유분자유동영역으로 갈수록 높은 배기속도를 보여주고 있었으며, 이것은 전형적인 TMP 의 특성을 보여주고 있는 것이다. 두 가지 형상의 복합분자펌프의 경우 하단부에 부착된 분자드래그펌프의 형상에 따라 성능 차이가 있음을 본 연구를 통하여 확인 할 수 있었다.

후기

이 논문은 2005 년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2005-202-D00074)이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Hablanian, M. H., In *Vacuum Science and Technology: Pioneers of 20th Century*, edited by P. A. Redhead(AIP, New York), pp. 126-132 , 1994.
- [2] Hablanian, M. H., *High Vacuum Technology (A Practical Guide)*, Marcel dekker, Inc, 1990.
- [3] Shi, L., Wang, X. Z., Zhu, Y. and Pang, S. J., "Design of Disk Molecular Pumps for Hybrid Molecular Pumps," *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 11, No. 2, pp. 426-431, 1993.
- [4] Heo, J. S. and Hwang, Y. K., "Molecular Transition and Slip Flows in the Pumping Channels of Drag Pumps", *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 18, No. 3., pp. 1025-1034, 2000.
- [5] Heo, J. S. and Hwang, Y. K., "Spiral Channel Flows in a Disk-type Drag Pump", *J. Vac. Sci. Technol. A* , Vol. 19, No. 2, pp. 656-661, 2001.