

이온펌프의 초고진공영역에서의 배기특성 개선

김정선 · 여환옥 · 박종운

성균관대학교 물리학과
(1994년 11월 28일 접수)

The Improvement in Pumping Characteristics of Sputter Ion Pumps in the Ultra High Vacuum(UHV) Region

J. S. Kim, H. W. Yeo and C. Y. Park

Department of Physics, Sung-Kyun-Kwan University, Suwon
(Received November 28, 1994)

요 약 — 초고진공영역에서 배기특성 개선을 위하여 재질 및 구조가 다른 세 가지 형태의 60(l/s)형 이온펌프를 제작하여 그 배기특성을 측정하였다. 그 결과 음극판에 Ta선을 전기용접한 펌프와 양극 cell의 구조에 변화를 준 펌프의 배기속도가 상용으로 이용되고 있는 펌프에 비해 약 50% 이상 개선되었다.

Abstract — For the improvement in pumping characteristics, we constructed the sputter ion pumps of new three types made of a different materials and structures, with 60(l/s). The pumping speed of pumps which were consisted of the Ta-welded cathode plate and the anode cells of a modified structure improved in pumping speed by ~50% more than that of the conventional sputter ion pump.

1. 서 론

Hall[1]이 이온펌프를 발명한 이래 이온펌프는 고온에서 탈기체 배기가 가능하며, 진동이 없는 등의 잇점때문에 방사광 가속기와 같이 기체 방출량이 많은 장비나 반도체 제조용 장비, 초정밀분석용 초고진공 장비의 배기용 펌프로써 크게 각광받고 있다. Hartwig [2] 등이 이온펌프의 배기특성을 결정하는 변수들을 체계적으로 정리하여 이론적인 모델을 제시한 이후 많은 연구가 있었다.

그러나 현재 상용되고 있는 이온펌프는 초고진공 영역에서 배기속도가 급격히 저하하며, 희소기체(He 또는 Ar 기체)에 대한 배기속도가 크지 않은 결점이 있다. 이를 개선하기 위한 많은 연구가 Brubaker[3], Tom *et al*[4], Barker *et al*[5] 등에 의해 수행되었으며, 지금도 계속 연구중에 있다[6].

본 연구에서는 60(l/s)형 이온펌프를 제작하여, 양극 cell 크기의 적정화와 음극판 구조 및 재질의 적정화로 초고진공영역에서 배기특성을 향상시키는 연구를 수행하였다.

2. 이온펌프의 설계 및 제작

Hartwig 등의 이론모델을 기초로하여 배기속도 60(l/s)의 2극형 이온펌프를 설계 및 제작하였다. 이온펌프는 펌프용기, pumping unit, HV power supply의 세 부분으로 구성되어 있다. 펌프용기는 시중에서 시판되고 있는 60(l/s)형 용기를 기준으로 설계하였으며, 국내 진공업체에서 제작하였다. pumping unit은 본 연구실에서 직접 설계, 제작하였다. pumping unit은 titanium으로된 음극판과 Penning 방전이 일어나는 SUS304 재질의 관 형태의 양극 cell로 되어 있으며,

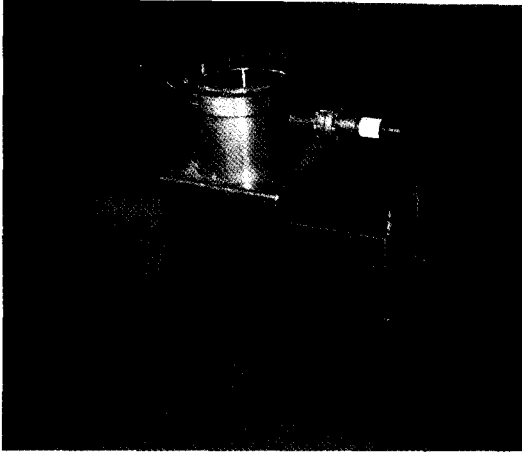


그림 1. 60 (l/s)형 Sputter Ion Pump의 외형 사진.

이들 사이의 전기적 절연은 ceramic을 이용하였다. 제작한 60(l/s)형 펌프는 cell의 수가 22개인 element 2개로 되어 있다. Penning 방전을 위하여 펌프용기의 외부로부터 자장을 걸어 주게 되어 있는데, 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 약 1000 gauss 정도의 ferrite 자석을 이용하였다. pumping unit의 양극에 고전압(+7 kV)을 공급하기 위한 power supply는 누설변압기 형태로 제작하였다.

본 연구에서는 세 종류(A, B, C형)의 pumping unit을 제작하였다. A형 pumping unit은 양극 cell의 크기($\phi=25$ mm)의 최적화를 통하여 초고진공영역에서 배기속도를 개선한 형이고, B형 pumping unit은 음극판 구조 및 재질의 최적화를 위하여 A형 pumping unit의 음극인 titanium판에 일정한 간격(약 5 mm)으로 tantalum선을 전기용접하여 희소기체에 대한 배기특성개선을 기한 펌프이다. 마지막 C형 pumping unit은 B형과 동일하며, 배기단면적 증대를 위하여 cell에 주름을 잡은 것으로 배기특성의 최적화를 기한 형으로, 특별히 Tomni형이라 명명하였다. 그림 1은 제작한 60(l/s)형 펌프의 사진이다.

3. 제작된 펌프의 배기특성 조사

배기특성을 비교하기 위하여 제작한 pumping units (A, B, C형)과 상용으로 사용되고 있는 pumping unit (D형)을 동일한 펌프용기에 장착하여 배기특성을 측

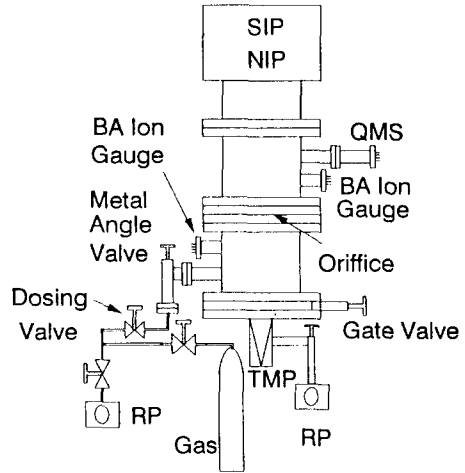


그림 2. Test dome의 개략도.

정하였다.

그림 2는 배기특성 조사를 위한 test dome의 개략도이다. test dome은 콘덕턴스가 300 K의 질소에 대해 2.29(l/s)인 orifice(직경: 5 mm)에 의해 동일한 부피로 분리된 용기로 구성되어 있다. 배기는 터보분자펌프(TMP) 시스템과 테스트용 이온펌프에 의해 이루어지게 되어 있으며, 외부로부터 기체를 주입할 수 있는 dosing valve와 dosing line으로 구성되어 있다. 그림에서 SIP 또는 NIP로 표시한 것은 sputter ion pump 또는 noble ion pump를 나타내며, QMS (quadrupole mass spectroscopy)는 잔류기체 검출 및 기체 누출을 조사하기 위한 것이다.

배기특성을 비교하기 위하여 최고도달진공도 그리고 N_2 와 Ar 기체에 대한 배기속도를 차동배기법에 의해 측정하였다. 이 방법은 그림 2와 같이 콘덕턴스 C인 orifice에 의해 분리된 두 용기에서 기체를 주입하는 쪽 압력(P_1)과 이온펌프로 직접 배기되는 쪽의 압력(P_2)에 의해 배기속도(S)를 측정하는 방법이다(식 1).

$$S = C \times \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) \quad (\text{식 1})$$

이 방법은 orifice 구조와 두 측정용 이온게이지의 정밀도에 상당히 의존한다. 따라서 본 측정에서는 두께 0.5 mm의 tungsten(W)판을 가공, 식각하여 직경 5 mm의 orifice를 만들었으며, 게이지 보정은 배기속

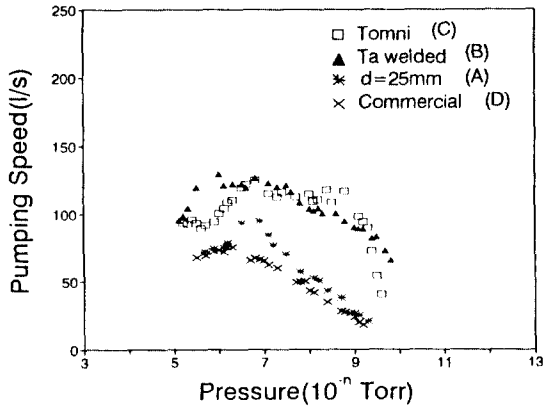


그림 3. 각 펌프의 N₂ 기체에 대한 포화배기속도. A형(d=25 mm), B형(Ta welded), C형(Tomni형), D형(Commercial)

도 측정 후, 두 게이지(같은 회사 제품)를 이온펌프로 부터 같은 위치에 장착하여 자체보정을 하였다. 그리고 측정에 사용한 게이지가 동일한 것이므로 개별 기체에 대한 감도 보정은 하지 않았다. 배기속도를 측정하기 위하여 배기시스템(test dome)과 이온펌프를 250°C에서 48시간 bake-out한 후, 약 48시간 동안 터보펌프와 측정용 이온펌프로 배기하여 최고도달진공도에 도달한 후 측정하였다.

배기속도는 N₂ (Ar)기체를 주입하면서 진공도에 대한 함수로써 측정하였다. 그림 3은 N₂ 기체에 대한 포화배기속도 측정결과이다. 상용으로 사용되고 있는 3극형 pumping unit(D형)을 장착한 펌프의 배기속도에 비해, 자체 제작한 pumping units(A, B, C형)을 장착한 펌프의 배기속도가 초고진공영역에서 향상되었으며, 특히 tantalum(Ta)선을 음극의 titanium(Ti)판에 전기용접한 펌프의 배기속도가 상당히 증가되었음을 보여주고있다. 이것은 질량이 큰 Ta이 기체 분자를 Ti판과 cell의 벽에 잘 포집하여 재방출을 줄이는 효과를 주기 때문으로 생각된다[8]. 10⁻¹⁰ Torr 영역에서의 급격한 감소는 펌프의 배기량과 배기시스템 내벽으로부터의 기체방출에 의한 영향으로 예상할 수 있다. 최적화를 기한 Tomni형의 경우 B형에 비해 뚜렷한 배기속도의 개선은 보이지 않았으나, 최고도달진공도에서 큰 개선을 보이고 있다(표 1. 참조). 이는 Tomni형의 경우 실효반경이 줄어들기 때문이라 생각된다. 즉 cell의 반경이 작을때는 압력이 높은 곳에서 배기속도가 커지고 압력이 낮아지면 배기속

표 1. 최고도달진공도 및 1.0×10⁻⁸ Torr에서의 배기속도 (괄호 안의 값은 최대배기속도임)

Model	배기속도 (l/s)		최고도달진공도 (Torr)
	N ₂	Ar	
D형(시판되는 3극형)	40(70)	20	3×10 ⁻¹⁰
A형(d=25 mm)	50(80)	25	3×10 ⁻¹⁰
B형(Ta welded)	100(120)	55	8×10 ⁻¹¹
C형(Tomni)	110(120)	50	4.5×10 ⁻¹¹

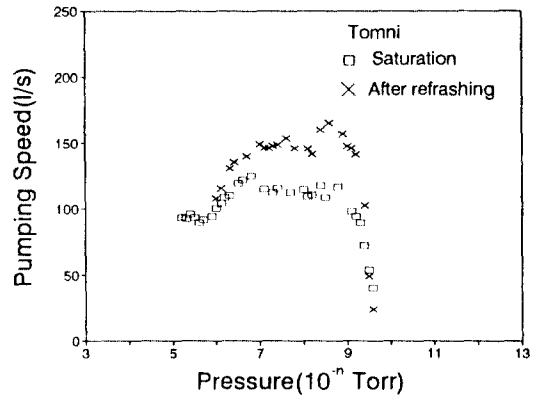


그림 4. Tomni형 펌프의 활성화 작업 전·후의 N₂ 기체에 대한 배기속도.

도가 급격히 줄어드는 현상이 생기는 것으로 알려져 있다.

그림 4는 Tomni형의 경우 N₂ 기체에 대하여 활성화 작업 직후의 배기속도와 포화배기속도를 측정한 결과를 비교한 것이다. 활성화 작업 직후의 배기속도가 상당히 증가함을 알 수 있다. 이것은 1×10⁻⁶ Torr되게 Ar을 주입하여 약 30분간 Ar을 배기함으로써 Ti표면이 Ar 이온에 의해 sputtering되 깨끗한 표면으로 바뀌면서 배기속도가 증가하는 것으로 생각된다. 이어서 N₂ 기체 또는 공기를 배기하면 Ti 질화물 또는 산화물 등이 표면에 형성되면서 배기속도가 떨어져 어떤 일정한 값을 유지한다고 생각된다. 이 값이 일반적으로 공칭하는 배기속도인 포화배기속도이다.

그림 5는 Ar 기체에 대한 정상배기속도이다. 여기서 정상배기속도는 Ar기체를 여러차례 배기한 후 측정된 결과이다. Ar 기체의 경우도 역시 자체 제작한 pumping units(A, B, C형)을 장착한 펌프의 배기속도가 초고진공영역에서 개선되었음을 보이며, Tomni형 펌프의 경우 10⁻⁹ Torr 영역에서 급격히 감소하는 불안정 특성을 나타냈는데, N₂ 기체의 경우와 같이

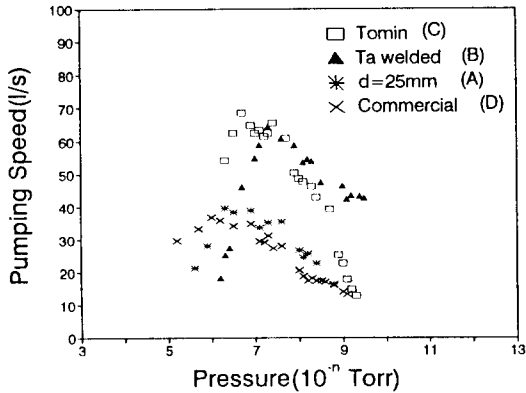


그림 5. 각 펌프의 Ar 기체에 대한 정상배기속도. A형(d=25 mm), B형(Ta welded), C형(Tomni형), D형(Commercial)

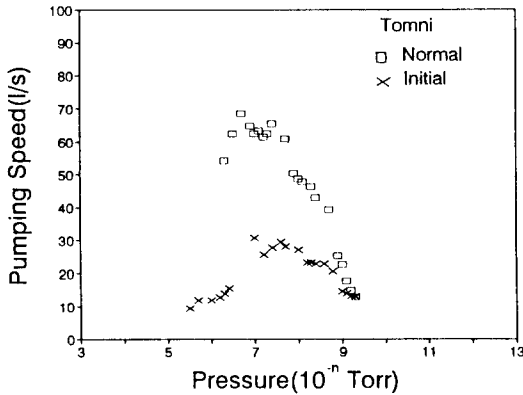


그림 6. Tomni형 펌프의 Ar 기체에 대한 초기 및 정상 배기속도.

cell의 반경이 작은 경우의 특성과 같은 것으로 미루어 실효반경이 작아지면서 나타나는 현상으로 생각된다.

그림 6은 Ar 기체에 대한 정상배기속도와 처음으로 Ar 기체를 배기하면서 측정된 초기배기속도 측정결과의 비교이다. Ar 기체에 의한 활성화 작업의 효과를 보여주고 있다. 표 1에 나타난 것은 각 펌프의 N₂와 Ar 기체에 대한 최대배기속도와 1×10⁻⁸ Torr에서의 배기속도 그리고 최고도달진공도의 비교이다. Ta선을 전기용접한 B와 C형 펌프의 배기속도가 약 50% 이상 개선되었고, 최고도달진공도가 10⁻¹¹ Torr 영역에 도달하였다.

배기특성 측정결과, 제작한 2극형 펌프(A, B, C형)의 경우에 많은 개선을 보였으며, 특히 Ta선을 용접한

B와 C형 펌프의 배기속도가 상용으로 사용되고 있는 3극형 펌프인 D형에 비하여 초고진공영역에서 약 50% 이상의 증가를 보였다. Tomni형 펌프의 경우 10⁻⁹ Torr 이상의 영역에서 배기속도가 급격히 감소하는 것은 실효 cell반경의 감소에 의한 효과로 생각된다. 일반적으로 압력이 낮아지면서 배기속도가 급격히 감소하는 것에는 초고진공용기의 내벽으로 부터의 기체방출에 의한 효과가 있는 것으로 생각된다.

4. 결 론

다양한 형태의 60(l/s)형의 pumping units(A, B, C형)을 제작하여 N₂와 Ar 기체에 대한 배기특성을 조사하였다. 제작한 세 가지 형태의 펌프의 배기특성이 초고진공영역에서 N₂와 희소기체인 Ar에 대하여 상용화된 펌프에 비하여 상당히 개선되었으며, Ta선을 전기용접한 펌프의 경우 최고도달진공도가 10⁻¹¹ Torr 영역에 도달하였다. 초(극)고진공 영역에서 이온펌프의 성능향상을 위해서 초고순도 Ar기체를 도입하여 초(극)고진공영역에서 재활성화를 주기적으로 시도하면 초(극)고진공에서의 배기특성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 상공자원부에서 시행한 공업기반기술 개발사업의 일환으로 이루어졌다.

참고문헌

1. L. D. Hall, *Rev. Sci. Instrum.*, **29**, 367 (1958).
2. H. Hartwig and J. S. Koupsidis, *J. Vac. Sci. Technol.*, **11**, 1154 (1974).
3. W. M. Brubaker, *AVS 6th National Symp. Trans.*, p.302 (1959).
4. T. Tom and B. D. James, *AVS 13th National Symp. Trans.*, p.21 (1966).
5. P. N. Barker and L. Laurenson, *J. Vac. Sci. Technol.*, **9**, 375 (1972).
6. K. Ohara et al, *J. Vac. Soc. Jap.* **35**, 567 (1992).
7. 박종윤, 이순보, 부진효, 신익조, 성균관대학교 논문집, 기초 **41**(1), 103 (1990).
8. Lawrence T. Lamont, Jr. *J. Vac. Sci. Technol.*, **6**, 1154 (1968).