

RF/DC 방전을 이용한 고 진공용SUS 용기세정에 관한 연구

김정형* · 임종연 · 서인용 · 정광화

한국표준과학연구원 진공기술센터
(논문접수일 : 2001년 3월 22일)

A study on the RF/DC discharge cleaning for high vacuum SUS chamber

Jung-Hyung Kim*, Jong-Yeon Lim, In-Yong Seo, and Kwang-Hwa Chung

Center for Vacuum Technology, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon 305-600
(Received March 22, 2001)

요 약

초청정을 요구하는 진공용기의 내벽세정을 위한 RF 및 DC 방전세정장치를 제작하여 여러 가지 방전조건에 따라 세정효과를 조사하였다. Baking없이 방전세정만을 수행하였을 때는 baking만 진행했을 때와 비슷한 세정효과를 나타내었으며 세정후의 탈기체율은 반으로 줄어들었다. Baking과 방전세정을 동시에 진행하면 세정효과가 매우 증대되어 세정후의 탈기체율이 1/20으로 감소하였다. Baking과 방전세정을 동시에 수행 시 여러 방전조건에 따른 세정효과를 조사하였는데 이온이 진공용기 내벽에 부딪히며 세정을 할 때 이온에너지와 이온밀도가 중요한 역할을 하는 것으로 보였다. 진공용기를 세정함에 있어 RF방전세정이 DC 방전세정보다 효과적이라는 결과를 얻었다.

Abstract

Cleaning effect of RF/DC discharge to clean the surface of vacuum chamber was studied for various discharge conditions. Glow discharge cleaning without baking reduced the outgassing rate to 1/2, which was similar to that after the only baking treatment alone. Glow discharge cleaning treatment with baking improved the cleaning efficiency and then the outgassing rate was remarkably reduced to 1/20. It was found that the ion energy and the ion density were important factors in cleaning the surface. RF discharge cleaning was more effective than DC discharge cleaning.

1. 서 론

반도체공정 등을 비롯하여 진공공정을 사용하는 제조장비 효율의 증대는 매우 중요하다. 반도체제조 공정 및 자기핵융합 장치 등에서 고진공 및 초청정환경이 요구되고 있다. 초고진공을 얻기 위해서는 진공용기로부터의 탈기체량을 감소시켜야 하는 데 탈기체되는 입자들로는 C, O, H₂O, H₂등이 있다. 보통 H₂O의 경우 진공용기를 가열하는 baking 방법을 종종 사용하고 있으나 가열 및 냉각하는데 시간이 많이 소요

되고 진공용기를 heating 할 수 없는 경우가 많기 때문에 이 방법을 사용하는데 제한이 있다. 다른 방법의 하나는 방전세정 기술인데 이것은 탈기체량을 줄이거나 진공용기의 표면처리를 위해서 개발되고 사용되어 왔다. [1-4] 초기의 방전세정기술은 가속기와 자기핵융합장치에서 대용량의 진공용기의 표면처리를 위해서 개발되었으나 현재 방전세정기술은 이러한 분야에만 국한되지않고 초청정을 요구하는 고진공 장치 및 반도체공정장비에서 모든 크기의 용기와 진공부품의 표면처리 및 세정에 유용하게 응용되어질 수 있다.

* E-mail : jhkim86@kriss.re.kr

보통 많이 사용되는 방전세정방법은 Taylor 방전 세정 [5], 전자회전공명 방전 세정 [6], DC 방전세정 [7], RF 보조의 DC 방전세정 [8] 등이 있다. RF 보조의 DC방전세정의 유리한 점은 낮은 초기방전 압력과 낮은 방전유지 압력이다. 본 연구에서는 방전세정에 의한 탈기체량의 감소를 측정하기 위하여 스테인레스 스틸 진공용기를 제작하고 DC와 RF 따로 방전이 가능하고 또는 두 파워를 동시에 파워인가가 가능한 DC/ RF 조합의 방전세정장치를 제작하여 방전세정효과에 관하여 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 진공용기는 304스테인레스 스틸로 만들어졌으며 내경 300 mm, 높이 600 mm 인 실린더 구조로 되어 있다. 진공용기의 표면의 초기상태는 전해 연마되었다. 펌핑 장치는 200 l/sec의 펌핑 속도의 터보 분자펌프와 유희전 펌프로 구성되었다. 통과방식(throughput method)

에 의한 탈기체율을 측정하기 위하여 버퍼진공용기가 주진공용기와 터보 분자펌프사이에 위치해있다. 버퍼진공용기와 주진공 용기사이에 있는 게이트 밸브는 방전모드에서 탈기체를 측정모드로 변환할 때 사용된다. 탈기체율을 측정할 때는 게이트 밸브를 닫고 지름 1 mm인 오리피스를 포함한 바이패스 펌핑 라인을 사용한다. 탈기체 되는 입자와 압력을 측정하기위한 4중극 질량 분석기, 이온게이지, 컨벡트론 게이지 등은 주진공 용기의 포트(port)에 장착되어 있다. 탈기체율을 측정하기 위하여 주진공 용기에 장착된 이온게이지와 똑 같은 이온게이지가 버퍼진공용기에도 장착되어 있다. 초고순도(99.9999%)의 헬륨 가스는 질량흐름제어기(mass flow controller)를 통하여 주진공용기로 주입된다. RF방전의 안테나는 304 스테인레스 스틸 튜브로 만들어졌으며 주진공 용기내부에 장착되었고 수냉되고 있다.

2.2 실험절차

헬륨방전세정효과를 관찰하기 위하여 진공용기의 표면은 펌핑 하기 전에 1시간동안 대기에 노출시킴

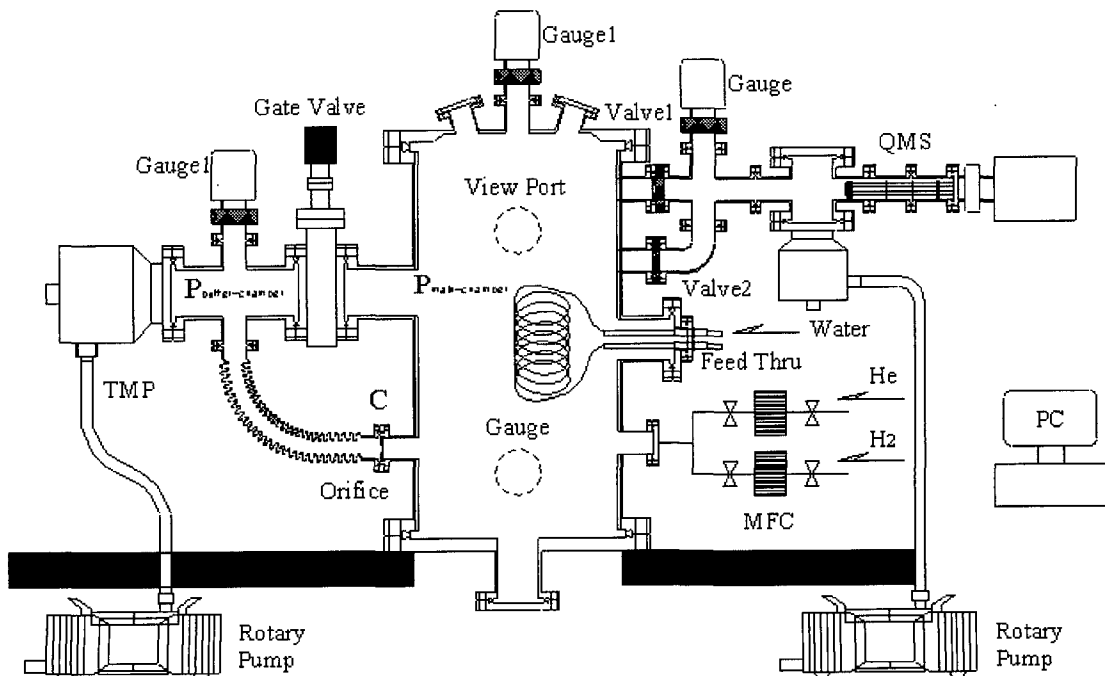


그림 1 실험장치의 개략도.

표 1 실험 절차

Seq.	Operation	측정	시간
0	대기노출		1
1	Pumping	압력	4
2	측정	B.P. & O.R.	1
3	Baking	QMS	1
4	Baking+GDC	QMS	4
5	Pumping	QMS	4
6	측정	B.P. & O.R.	4
Total			18

으로써 초기화하였다. 초기 펌핑은 4시간동안 행하여졌으며 초기 펌핑 후에 4시간동안 방전세정을 행하였다. 방전조건이 세정에 미치는 효과를 보기 위하여 방전의 여러 조건을 변화시키며 실험을 진행하였다. 탈기 펌핑을 방전 후에 5시간동안 행한 후 탈기체율을 측정하기 위하여 탈기체율 측정모드로 변환 후 5시간 펌핑 하였다. 즉, 방전세정효과를 분석하기 위하여 방전세정 후에 주진공 용기에서 방출되는 총 탈기체율을 측정하였다. 이 절차를 표 1에 나타내었다. 이러한 절차를 각각의 방전조건마다 반복하였다.

3. 실험 결과 및 분석

탈기체율(Q)은 통과방식(throughput method)으로 측정되었다. 지름 1 mm 인 오리피스가 주진공용기와 버퍼진공용기사이 에 있으며 이때 탈기체율(Q)은 다음식과 같다.

$$Q=C(P_m-P_b)/A \text{ (Torr}\cdot\text{l/cm}^2 \text{ s)}$$

여기서 C는 오리피스의 컨덕턴스(l/s), A는 주진공용기의 내부표면적(cm²), P_m은 주진공 용기의 압력(Torr), P_b는 버퍼진공용기의 압력(Torr)이다. 온도 20°C (C의 공기입자에 대하여 컨덕턴스C는 0.0916 l/s으로 계산되고 주진공 용기 내부 표면적은 8950 cm²이다. 터보 분자 펌프의 극한압력은 10⁻⁹ Torr이므로 현재 장치를 이용하여 측정 가능한 가장 낮은 탈기체율은 10⁻¹³ Torr · l/cm²s이다.

그림 2는 열처리 및 방전세정처리전의 펌핑 양상과 탈기체율을 나타낸다. 펌핑 시작 후 46시간까지 펌

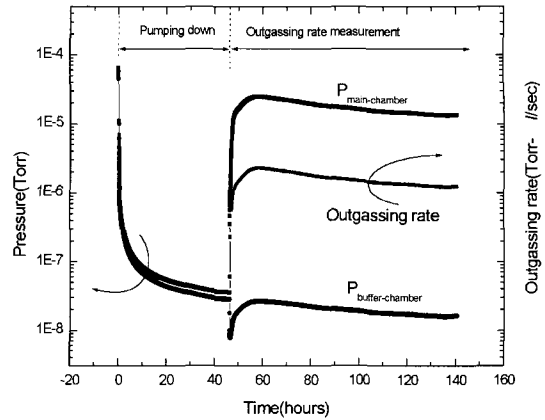


그림 2 열처리 및 방전세정처리전의 펌핑 양상과 탈기체율.

핑을 계속한 다음 그 이후부터 주진공용기와 버퍼진공용기사이의 게이트 밸브를 닫고 1 mm 의 오리피스를 통하여 탈기체율을 측정하는 것이다. 탈기체율은 게이트 밸브 닫은 후 6시간정도 후에 안정모드로 진입하여 계속하여 감소하고 있으나 그 변화량은 매우 미미하다. 즉 80시간 경과하면서 2.2×10⁶ Torr · l/s에서 1.2×10⁶ Torr · l/s로 감소하였다. 이후 실험 절차는 위에서 언급했듯이 펌핑, 열처리, 열처리 및 방전세정, 펌핑, 탈기체율 측정 순으로 진행하였다.

방전진행동안과 방전 전후의 방출되는 입자의 질량분석데이터를 그림 3에 나타내었다. 방전전후 및 방전동안의 방출가스를 비교하기 위하여 그림 1의 실험장치에서 주진공용기와 질량분석기사이의 밸브가 2개 있는데 그 중 오리피스가 있는 밸브1만 열어 주진공용기내의 방출가스를 측정하였다. 이는 QMS가 10⁵ Torr 이하에서만 작동가능하기 때문에 방전시 압력이 1 mTorr이상이므로 압력차를 주기 위함이다. 그림 3에서 1×10⁻¹⁰ 이하의 신호는 noise level 이므로 무시해도 된다. 방전전의 수소신호는 헬륨가스 내에 섞여있는 수소가 나타나는 것이다. 방전이 시작되면서 H₂, CO, H₂O등이 진공용기 벽으로부터 방출되는 것을 볼 수 있으며 대부분의 방출 가스량이 곧바로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 그림 3의 실험 결과는 baking은 하지않고 방전세정만 진행한 것이기 때문에 baking과 방전세정을 동시에 진행하는 것과는 차이가 있다. 보통 진공용기에서 많은 부분의 탈기체는 H₂O인데 이것은 주로 baking을 통하여 제거된다.

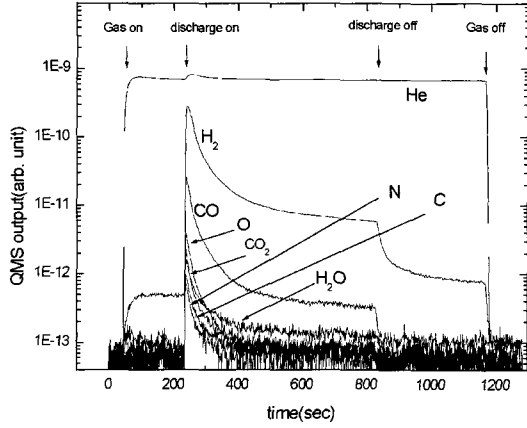


그림 3 방전 진행동안과 방전 전후의 방출되는 입자의 질량분석 데이터; 여기서 baking없이 방전압력은 20 mTorr, RF power는 100W, 가스는 헬륨을 사용하였다.

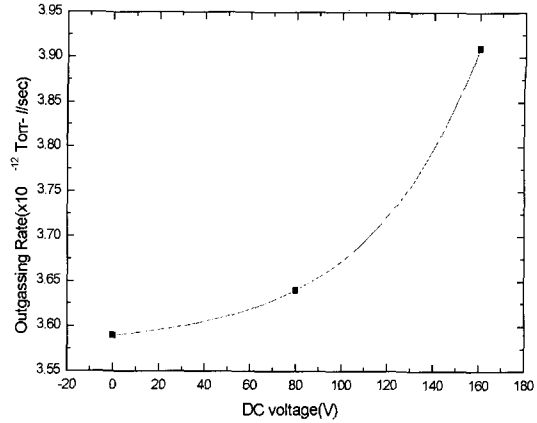


그림 4 RF/DC방전세정에서 직류전압의 크기에 따른 탈기체율; RF power=100 W, p_{He}=10 mTorr.

RF/DC방전세정에서 직류전압의 크기에 따른 탈기체율을 그림 4에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 직류전압이 증가할수록 탈기체율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 이온에 의한 표면세정에 있어서 이온에너지가 필요하다는 개념과 다른 결과를 나타낸다. 따라서 이온에너지 즉, 직류전압에 따른 탈기체를 질량분석기를 이용하여 분석하였다. 스테인레스 스틸의 주성분은 Fe, Ni, Cr이고 진공용기표면에서 방출되는 기체는 H₂O, H₂등이므로 이것들을 중심으로 분석하였다. 방전 시 직류전압에 따라 스테인레스 스틸에서 방출되는 입자의 부분압을 그림 5에 나타내었다. 여기서 He 가스를 사용하였기 때문에 직류전압크기에 상관없이 일정하게 나오는 것을 볼 수 있으며 특히 스테인레스 스틸의 주성분인 Fe, Ni, Cr 등은 직류전압이 증가할수록 나오는 양도 많아지는 것을 볼 수 있다. 즉, 직류전압이 증가할수록 스퍼터 효과가 증가하여 SUS의 주성분이 스퍼터 되는 것으로 보인다. 직류 방전 시에는 이온이 음극인 진공 용기 벽에 부딪힐 때에 항상 인가한 직류 전압의 50 % 이상으로 가속되어 입사하기 때문에 직류방전세정에서는 항상 스퍼터링이 일어나게 되고 실제로 직류방전을 하고 나서 진공용기를 열어보면 직류전극에 코팅이 되어 있는 것을 볼 수 있었다. 따라서 본 연구 결과에 의하면 직류방전세정효과는 RF방전세정보다 낮으며 따라서 탈기체

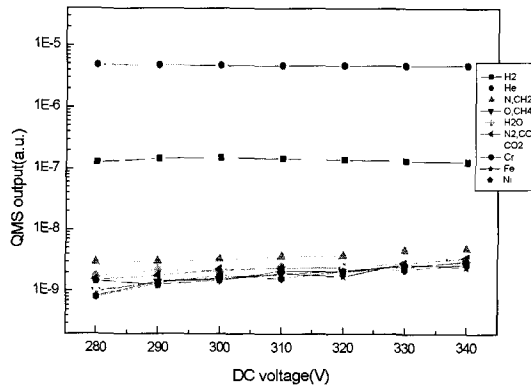


그림 5 RF/DC방전 시 직류전압에 따라 스테인레스 스틸에서 방출되는 입자의 부분압; RF power =100 W, p_{He}=10 mTorr.

량도 RF에 비하여 많이 나오게 된다.

세정효과를 증대 시키는 요소를 찾기 위하여 RF power를 변화시켜가며 탈기체율을 측정하였다. 그림 6은 RF 방전에서 RF power에 따른 탈기체율을 나타낸다. RF power가 증가할수록 탈기체율이 감소하여 세정효과가 높아지는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 RF power를 증가시키면 플라즈마 밀도가 증가하는데 이는 이온 밀도가 증가함을 의미한다. 그리고 직류전압을 인가하지않고 RF power만 인가하면 이온은 약 20 eV의 에너지를 가지고 진공 용기 벽에 입사하게 된다. 즉, 이온이 많아져서 세정효과가 높아지는 것으로 생각할 수 있으며 이때 이온의 에너지는 약20 eV 내외가 적절한 것으로 보인다.

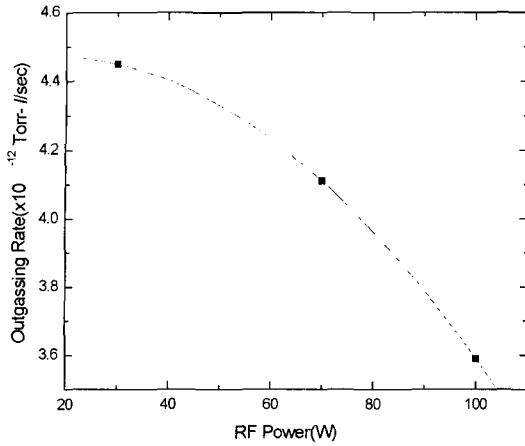


그림 6 RF 방전세정에서 RF power에 따른 탈기체율; p_{He}=10 mTorr.

여러 가지 방전조건의 조합과 그에 따른 탈기체율을 표 2에 나타내었다. 굽기 또는 방전세정만을 수행한 후의 탈기체율은 약 반으로 줄어들며, 굽기와 방전세정을 함께 병행하면 1/20 이하로 줄어드는 것을 알 수 있다. 즉 굽기와 방전세정을 동시에 병행할 때 세정효과가 크게 나타났다. 그리고 방전 조건에 따라 미세하게 세정효과 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 표 2의 마지막조건은 RF power만 인가하고 굽기를 진행함과 동시에 가스를 He으로 1시간 방전 후에 H₂로 4시간 방전한 것인데 위의 조건보다 가장 높은 세정효과를 나타내었다.

표 2 여러 가지 방전조건의 조합과 그에 따른 탈기체율

RF GDC Power(W)	DC GDC Volt(V)	Outgassing Rate (Torr · l/sec · cm ²)	Gas Source
0	0	9.83 × 10 ⁻¹¹	No treatment
0	0	5.26 × 10 ⁻¹¹	Baking only
100	0	5.72 × 10 ⁻¹¹	He, No bake
100	0	3.59 × 10 ⁻¹²	He+Bake
100	80	3.64 × 10 ⁻¹²	"
100	160	3.91 × 10 ⁻¹²	"
30	250	4.69 × 10 ⁻¹²	"
30	0	4.45 × 10 ⁻¹²	"
70	0	4.11 × 10 ⁻¹²	"
100	0	4.06 × 10 ⁻¹²	"
30	0	3.98 × 10 ⁻¹²	H ₂ +Bake
100	0	3.49 × 10 ⁻¹²	He(1h)→H ₂ (4h)

4. 결 론

스테인레스 스틸 진공용기내벽 청정화를 위한 RF 및 DC 방전세정장치를 제작하여 여러 가지 방전조건에 따라 세정효과를 조사하였다. Baking없이 방전세정만을 수행하였을 때는 baking만 진행했을 때와 비슷한 세정효과를 나타내어 세정후의 탈기체율이 반으로 줄어들었다. Baking과 방전세정을 동시에 진행하면 세정효과가 매우 증대되어 세정후의 탈기체율이 1/20으로 감소하였다. Baking과 방전세정을 동시에 수행 시 여러 방전조건에 따라 세정효과를 조사하였다. RF power를 고정한 후 직류전압을 증가시키면 탈기체율이 증가하였는데 이것은 직류전압이 증가함에 따라 스퍼터 효과가 증대되어 스퍼터링이 세정에 안 좋은 효과를 주는 것으로 보인다. 직류전압 없이 RF power를 증가시키면 탈기체율이 감소하는데 이것은 이온밀도가 높을수록 세정효과가 높다는 것을 의미한다. 결론적으로, 진공용기를 세정함에 있어 DC 방전세정보다는 RF방전세정이 스퍼터링 없이 효과적으로 세정할 수 있다는 결과를 얻었다. 향후 방전 세정 방법을 반도체 공정장비 세정등에 응용가능성이 있는지에 대하여 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Li and H. F. Dylla, *J. Vac. Sci. Technol. A* **13**, 571 (1995).
- [2] J. Engler, D. Moucka, and J. Wochele, *Nucl. Instr. And Meth. in Phys. Res. B* **100**, 183 (1995).
- [3] A. Itoh and Y. Ishikawa, and T. Kawabe, *J. Vac. Sci. Technol. A* **6**, 2421 (1988).
- [4] J. R. Chen, G. Y. Hsiung, Y. C. Liu, W. H. Lee, and C. C. Nee, *J. Vac. Sci. Technol. A* **13**, 562 (1995).
- [5] Y. Matsuzaki, N. Suzuki, and T. Hirayama, *J. Appl. Phys.* **25**, 253 (1986).
- [6] Y. Sakamoto, Y. Ishibe, S. Ishii, K. Ozazaki, and H. Oyama, *J. Nucl. Mater.* **111/112**, 485 (1985).
- [7] H. F. Dylla, *J. Vac. Sci. Technol. A* **6**, 1276 (1988)
- [8] F. Waelbroeck, J. Winter, and P. Wienhold, *J. Vac. Sci. Technol. A* **2**, 1521 (1984).