

## 새로운 조합 펌프를 사용한 스테인레스 스틸 극고진공 시스템

전인규 · 조복래 · 정석민

포항공과대학교 물리학과  
(1997년 11월 5일 접수)

### Stainless-steel extreme high vacuum system with a new combination pump

Inkyu Chun, Boklae Cho and Sukmin Chung

Department of Physics, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Kyungbuk 790-784, Korea  
(Received November 5, 1997)

**요 약** - 이온 펌프의 중심에 네그(Non-Evaporable Getters)가 삽입된 새로운 조합 펌프를 사용하여 극고진공 시스템을 구현하였다. 진공 용기는 터보 분자 펌프만으로도 극고진공에 성공하였던, 450°C에서 잘 산화된 304 스테인레스 스틸 챔버를 사용하였다. 시스템의 압력은 Leybold사의 EXG(Extractor Gauge)로 측정하였으나, 본 실험에서의 최고 진공도는 이미 그 게이지의 측정 한계인  $1\sim 2 \times 10^{12}$  torr 범위를 훨씬 지나 게이지 지시가  $-0. \times 10^{12}$  torr를 읽고 있는 극고진공에 도달해 있었다. 이는 효과적인 네그 활성화로 수소 가스에 대한 배기 속도를 크게 향상시켜준 결과라 볼 수 있다. 또한 본 실험은 극고진공 표면 분석 장치의 실현 가능성을 시사해주는 것으로, 앞으로의 초미세 표면 과학에 있어서 새로운 장을 열어줄 것으로 기대된다.

**Abstract** - We have developed an extreme high vacuum (XHV) system using a new combination pump composed of a suitably shaped NEG(Non-Evaporable Getters) in the body of a sputter-ion pump (SIP). The stainless-steel test chamber was used which had been well oxidized at 450°C and already yielded XHV with a turbomolecular pumping system. The pressure was measured by a Leybold extractor gauge (EXG, limit:  $1\sim 2 \times 10^{12}$  torr), but in the ultimate pressure region the EXG shows an unusual sign as  $-0. \times 10^{12}$  torr which indicates much lower pressure range than its available lower limit. These results are mainly due to the high pumping speed of NEG for hydrogen. Furthermore, use of the SIP combined with the NEG as a XHV pumping system implies the potential for actualization of the surface analysis under XHV environment, and allows one to have a chance to meet a new world in nanometer science and technology.

### 1. 서 론

이온 펌프는 초고진공이나 매우 깨끗한 진공이 요구되는 곳에 줄곧 사용되어져 왔으며, 특히 진동이 없으므로 반도체 제조용 장비나 표면 분석 장비, 가속기 등의 배기용 펌프로 널리 애용되고 있다. 그러나 어느 정도의 낮은 초고진공 영역에서부터는 활성가스들에 대한 저조한 배기 능력으로 그 효율성이 떨어지는 경향이 있다. 한편, 네그(Non-Evaporable Getters)는 초고진공 환경에서 활성가스들의 배기에 중요한 역할을 제공하고 있다.

순수한 네그 표면에 입사되는 활성가스들의 화학흡착으로 배기 효과를 얻는 것이다. 여기서 순수한 표면이란 네그 물질의 제작이나 설치 또는 공기 벤팅시 등의 과정에서 생길 수 있는 어떠한 산화물(oxides)층이나 탄화물(carbides)층으로도 덮여있지 않은 표면을 의미한다. 이러한 아주 깨끗한 표면은 배기 중인 진공에서 단지 네그의 온도만 올려줌으로써 얻을 수 있게 된다. 이를 네그의 활성화과정이라고 부르며, 결국 네그 표면을 덮고 있던 불순한 층들의 벌크속으로의 확산작용을 촉진시키는 결과이다.

최근에 SAES Getters에서 새로이 개발된 St707 네그 물질은 Zr=70%, V=24.6%, 그리고 Fe=5.4%의 성분으로 이루어진 합금이다[1]. 이는 앞서 사용되던 물질인 Zr-Al 합금이 700°C 이상의 높은 온도에서만 활성화가 가능했던 것에 비해, 상대적으로 낮은 온도인 450°C 이하에서도 완전한 활성화 효과를 이룬다는 것에 큰 장점을 가지고 있다. 일단 활성화가 이루어진 네그는 3년계의 흡착과정, 즉 배기과정을 거치게 된다. 첫째가 네그 물질의 표면에서 일어나는 가스 분자들의 해리(dissociation), 둘째로 어떠한 종류의 활성가스에서도 일어나게 되는 표면 흡착(surface adsorption), 마지막인 셋째 단계로 벌크속으로의 확산(diffusion)이 있다. 마지막 확산작용은 특정 온도나 가스의 종류에 따라 일어나지 않을 수도 있다. 이럴 때, 가스 분자들의 흡착은 점차적으로 줄어들다가 네그 물질의 표면이 흡착 가스들로 포화상태에 이르면 결국 흡착 능력이 마비되는 사태를 초래하게 된다. 이를 복구하여 다시 원래 수준의 흡착 능력을 가지게 하기 위해, 마찬가지로 가열에 의한 재활성화과정이 필요한 것이다.

네그 물질은 자체적인 강한 흡착력으로 시스템에 대한 놀라운 배기 효과를 주므로, 표면적을 극대화한 모양의 얇은 금속 리본에 네그 입자들을 골고루 입혀 네그 펌프로 사용된다. 이 네그 펌프는 모든 활성가스들에 대한 높은 배기 능력을 지니며, 초고진공 영역에서도 거의 일정한 배기 속도를 나타낸다. 또한 일반적인 펌프가 그 자체적인 압력의 한계를 지니는 반면, 이 네그 펌프는  $10^{-13}$  torr 이하까지도 그 자체적인 압력의 한계를 나타내지 않는다. 그리고 일단 활성화가 되고 나면 실내온도에서 어떠한 전력도 필요 없이 배기할 수 있을 뿐만 아니라, 당연히 기름에 의한 오염이나 미소한 진동도 일으키지 않게 된다. 특히 아주 가벼우며 강한 자기장 속에서도 배기가 가능하기 때문에, 이온 펌프의 몸체에 삽입하여 새로운 조합펌프로 사용하는 것이 이미 개발되어 있다[2,3]. 그 결과는 물론 매우 성공적이며, 무엇보다도 컨덕턴스의 제한이 더 이상 주요한 요인이 되지 않게 되었다. 이 조합 펌프는 결국 높은 배기 속도를 얻어내어 가능한 한계압력을 최저화하려는 목적으로, 초고진공의 응용이 가장 요구되는 곳에 적절한 새로운 배기 시스템으로 자리잡고 있다.

그러나, 초고진공에서 한 차원 더 낮은 영역인 극고진공으로의 진전에 있어서, 배기 속도의 향상과 더불어 중요한 관문을 차지하는 것이 바로 챔버 자체의 가스 방

출률을 억제시키는 것이다. 현재 널리 사용되고 있는 진공 용기의 하나로 스테인레스 스틸 챔버가 각광을 받고 있으며, 아울러 그 자체에서의 가스 방출률을 낮추려는 노력이 여러 방면으로 이루어지고 있는 실정이다. 그중 고온에서의 산화 과정으로 보다 낮은 가스 방출률을 얻는 데 성공하여, 터보 분자 펌프만으로도 극고진공에 도달한 결과가 이미 발표되었다[4]. 그렇지만, 터보 분자 펌프는 자체 진동에 의한 영향으로 표면 분석 장비를 비롯한 민감한 진공 시스템에의 응용에 있어서는 크게 제한을 받고 있다.

본 논문에서는 이미 고온에서 잘 산화된 스테인레스 스틸 챔버에, 이온 펌프와 네그가 결합된 새로운 조합 펌프를 적용한 새로운 극고진공 시스템을 소개하고, 그 실현 과정 및 네그의 활성화 등에 대하여 구체적으로 논의 하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

시험 챔버 및 배기 시스템에 대한 간략도가 그림 1에 잘 나타나 있다. 본 실험 장치는 앞선 극고진공 실현과 그 배기 특성에 대한 논문에서 각각 잘 기술되어 있다[4,5]. 시험 챔버는 304 스테인레스 스틸로 만들어진 것으로 이미 450°C의 고온에서 산화되었으며, 터보 분자 펌프만으로도 낮은  $10^{-12}$  torr의 극고진공 실현에 성공함으로써 낮은 가스 방출률을 보임이 이미 확인되었다[4].

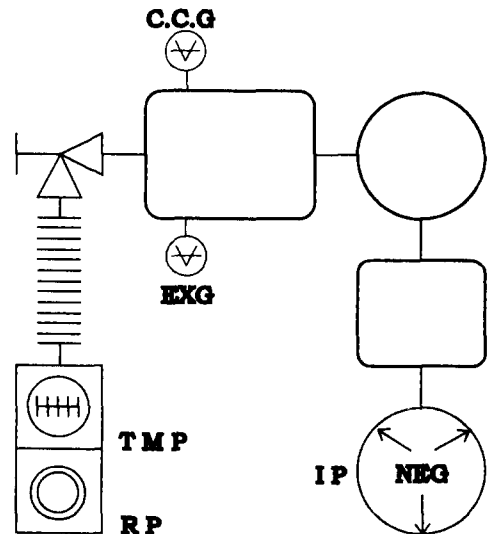


그림 1. 시험 챔버 및 배기 시스템에 대한 간략도.

배기 시스템은 160 l/s 용량의 이온 펌프와 상대적으로 낮은 온도에서도 활성화가 가능하게 만들어진 Si707 네그가 결합된 새로운 조합 펌프를 사용하였다. 펌프를 제외한 진공 영역의 표면적은 7500 cm<sup>2</sup>이고, 부피로는 대략 32 l 정도에 해당된다. 시스템의 압력은 통상적으로 가장 낮은 압력까지의 측정이 가능한 Leybold사의 EXG (extractor gauge, limit: 1~2×10<sup>-12</sup> torr)로 측정하였다. 마지막으로, 2.75 인치형 일체 금속 밸브(all metal valve)와 함께 연결된 애벌 배기 라인은 50 l/s 용량의 터보 분자 펌프로 배기하게 하였으며, 이 라인은 시험 챔버의 압력이 1×10<sup>-8</sup> torr 이상일 때만 밸브를 열어 배기를 돕게 하였다. 그 압력 이하의 영역에서는 오히려 역류할 수 있는 가스들을 차단시키기 위해 밸브를 닫아 두었으며, 사실상 진공 시스템을 고립시킨 상태에서, 새로운 조합 펌프만 배기가 가능하도록 하였다.

### 3. 극고진공의 구현

네그의 배기 속도를 극대화하기 위해서는 초기 상태를 잘 형성시켜 주어야 하는데, 이를 네그의 활성화 작업이라 할 수 있다. 이 활성화 과정은 네그의 온도를 고온으로 올려줌으로써 이루어지는데, 본 실험에 사용된 조합 펌프는 네그에 전류를 흘려 보내 그 저항에 의한 직접적인 가열을 유도하게 되어 있다. 여기서 주의해야 할 것은 네그의 온도가 올라감에 따라 바깥 표면에 흡착되었던 많은 가스들이 일시에 빠져나가게 되어 갑작스러운 시스템 압력의 상승을 초래할 수 있다는 것이다. 만약, 시스템의 압력이 10<sup>-3</sup> torr 이상이 되면 네그 물질 자체가 산화되어 그 배기 능력이 완전히 망가져 버리게 된다. 또한 네그는 그 활성화가 끝나는 대로 다시 배기 상태로 들어가므로, 당시의 주위 진공도가 좋지 않으면 그 만큼 초기에 흡수되는 가스들이 많아 원하는 단계에서 원하는 만큼의 배기 속도를 기대할 수 없게 된다. 그러므로 높은 압력에서의 신속한 배기를 위한 애벌 배기 라인의 중요성이 더욱 커지게 되는 것이다.

그림 2에서 시스템의 부분별 베이크 아웃 및 네그의 활성화 과정을 포함한 극고진공의 실현 과정을 해당 압력과 함께 그래프로 나타내었다. 우선 이온 펌프에 흡착되어 있는 가스들을 충분히 제거시키기 위하여 고온에서의 장시간 베이크 아웃을 계획하게 되었다. 여기서 이온 펌프의 온도가 350°C를 넘을 경우는, 그 자체 포함된 영구 자석의 비가역적 탈자화 현상이 생기게 되므로 베

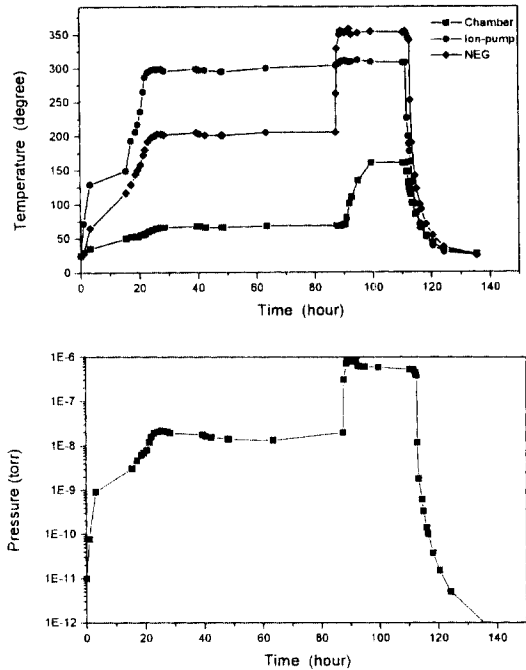


그림 2. 극고진공 형성과정에 따른 각 부분별 베이크 아웃(상) 및 해당 압력(하) 그래프.

이크 아웃의 최고 온도를 300°C 정도로 한정하였다. 또한 시스템의 크기에 반해 애벌 배기 라인쪽 컨덕턴스가 기대 수준만큼 그리 좋지가 못하므로 장시간의 베이크 아웃이 유리하리라 판단되었다. 이 과정에서 이온 펌프의 복사열에 의한 간접적인 네그의 가열효과가 차후 활성화 과정에 있어서의 급작스러운 압력 증가를 완화시켜 효과적인 초기화 형성에 큰 도움이 되었던 것으로 판명되었다. 이온 펌프의 베이크 아웃 후반부에 이루어진 네그의 활성화 과정에서도 통상적인 450°C에서 45분 유지시키는 고온-단시간 방법보다 350°C에서 24시간 정도의 다소 긴 시간도 애벌 배기 라인쪽의 컨덕턴스를 고려해서 선택되었다. 이때 네그 활성화를 위해 흘려보낸 전류는 대략 24A에 해당된다. 마찬가지로, 네그의 활성화 중반부터 챔버의 베이크 아웃이 160°C까지 12시간만 실행되었는데, 이는 챔버의 고온 산화 과정에서 표면에 잘 형성되어진 크롬산화물이 가스 흡착에 대한 월등한 저항력을 지니고 있음이 이미 확인 발표[6]되었기 때문이다. 즉 베이크 아웃 과정에서 챔버 표면에 달라붙을 수 있는 가스들을 크게 고려하지 않아도 된다고 생각하였다. 마지막으로 게이지의 탈가스(degassing)는 모

든 베이크 아웃 및 네그의 활성화 작업을 마치고 챔버의 온도가 120°C로 내려왔을 때 3분 실시하였으며, 이때의 네그 자체 온도는 300°C 이었고 이온 펌프의 온도는 175°C에 도달해 있었다. 시스템의 압력은 계속 하강하였으며 앞서 말한 대로  $1 \times 10^{-8}$  torr를 지날 때 애벌 배기 라인과 연결된 밸브를 닫아 두어, 시험 챔버 안으로 역류할 가능성이 있는 가스들을 차단시킨 상태에서, 새로운 조합 펌프로만 배기하도록 하였다. 시스템의 온도가 실내 온도인 26°C로 내려왔을 때, 이미 게이지의 한계에 도달한  $1 \times 10^{-12}$  torr에 이르렀으며, 하루가 지나자 게이지의 지시가  $0. \times 10^{-12}$  torr 상태를 지나  $-0. \times 10^{-12}$  torr를 읽고 있는 기이한 현상이 일어나기까지도 하였다. 이는 시스템의 압력이 EXG 측정 범위의 한계를 충분히 내려서고 있음을 말해주며, 그 한계 압력에서 게이지의 비선형성까지 고려하면 완벽한 극고진공의 세계임을 확신할 수 있게 된다.

부가적으로, 여기에 나타내지는 않았지만  $10^{-8}$  torr 정도까지의 갑작스러운 대기 노출로 인한 극고진공 복원 과정을 알아보면, 앞선 결과들의 주원인을 더 잘 이해할 수 있게 된다. 이 과정은 애벌 배기 라인에서의 터보 분자 펌프가 전원 이상으로 인해 정지되자, 자동적인 공기 벤팅이 이루어지면서 야기되었다. 이때 시스템의 압력이  $10^{-8}$  torr 영역까지 올라가는 것을 볼 수 있었는데, 이것은 시험 챔버에 연결된 금속 밸브에서의 누출의 결과로 쉽게 짐작할 수 있게 된다. 다시 터보 분자 펌프를 작동시키면서 역시 시스템의 압력도 내려가기 시작했지만 그 한계 압력이  $1.9 \times 10^{-11}$  torr 이하로는 내려가지 않게 되었다. 이는 이온 펌프에 흡착된 가스들의 영향이라 판단하여, 여기서는 별도의 챔버 베이크 아웃이나 네그의 활성화 과정 없이, 이온 펌프만 180°C까지 16시간 정도 베이크 아웃 하였다. 그 결과 앞선 극고진공 구현에서와 같이 EXG가  $-0. \times 10^{-12}$  torr의 지시를 나타낼 때까지인 완전한 원상복구가 가능해 졌다. 이 과정을 잘 들여다보면 네그의 초기화 형성이 아주 잘 되어 있었음을 알 수 있는데, 이는 앞선 실험의 초기에 이루어진 이온 펌프의 고온 장시간 베이크 아웃이 간접적으로 네그의 온도를 200°C까지 지속시켜주면서, 나중의 초기화 형성에도 절대적인 성공을 이끌어 낼 수 있게 하였다고 판단된다.

물론 시험 챔버의 가스 흡착에 대한 저항력도 확신할 수 있는 좋은 계기가 되었다.

## 4. 결 론

결론적으로 이번 실험에서는 이온 펌프의 고온 장시간 베이크 아웃이 펌프 자체에 흡착되어진 가스들의 최소화 뿐만 아니라, 그 복사열에 의한 지속적인 네그의 가열효과로 보다 효율적인 초기화 형성에 큰 도움을 주게 되었다고 볼 수 있다. 그러므로 새로운 조합 펌프의 배기 속도를 극대화시키게 되어, 이미 발표되었던 터보 분자 펌프 시스템에서보다 더욱 안정적이고 확실한 극고진공 실현을 가능하게 할 수 있었던 것이다. 더 나아가서 이번 극고진공의 구현은 첨단 산업 현장에서나 초미세 표면 과학에의 그 응용성이 높아, 극고진공 표면 분석 장치 등의 실현을 사실상 가능하게 해주고 있다는 데 큰 기대가 되고 있다.

## 감사의 글

본 연구는 교육부 기초과학 연구소 프로그램 BSRI-96-2440과 한국과학재단 특정기초연구비(95-07-02-02-01-3)와 초미세표면과학연구센터(ASSRC) 및 특별기초연구비(포항공대)의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. C. Benvenuti and P. Chiggitto, *J. Vac. Sci. Technol.* **A14**, 3278 (1996).
2. J.G.M. Römer, *Vacuum*, **43**, 551 (1992).
3. M. Audi, L. Dolcino, F. Doni and B. Ferrario, *J. Vac. Sci. Technol.* **A5**, 2587 (1987).
4. B.L. Cho, S.T. Lee and S.M. Chung, *J. Vac. Sci. Technol.* **A13**, 2228 (1995).
5. I.K. Chun, B.L. Cho and S.M. Chung, *J. Vac. Sci. Technol.* **A14**, 2636 (1996).
6. I.K. Chun, B.L. Cho and S.M. Chung, *J. Vac. Sci. Technol.* **A15**, 2518 (1997).