

| 진공기술의 현재와 미래 |

표면과학장비에서 네그펌프를 활용한 진공도 개선

Paolo Manini, Enrico Maccallini, and Andrea Cadoppi
박종도 역

표면과학에서는 분석하는 동안 시료 표면의 오염을 방지하기 위하여 초고진공, 때로는 극고진공상태를 필요로 한다. 여기서 말하는 표면과학장비는 일반적으로 x선 또는 전자를 사용하는 전자현미경으로서 시료 준비 용기, 시료 이송 용기 등이 붙어있는 다소 복잡하고 밀집된 구조의 장치이다. 따라서 진공배기용 펌프를 장착하기 위한 공간이 매우 제한적이지만 동시에 요구되는 진공도를 맞추기 위해서 큰 배기속도가 필요하다. NEG(non-evaporable getter)펌프는 이러한 좁은 공간과 무게 등의 제약이 따르는 데에 큰 배기속도를 제공하는 좋은 해결책이 된다. 네그펌프는 실제로 가볍고 작은 크기이지만 초고진공의 주요 잔류 기체인 수소와 수증기에 대한 큰 배기속도를 제공한다. 이 해설에서는 네그펌프의 일반적인 특징과 몇 가지 응용에 대하여 다루며 특히 표면분석장비와 초고진공 시료 이송장치를 다루고자 한다.

서론

XPS(X선광전자현미경), STM(주사터널링현미경), AES(오제전자현미경) 등과 같은 표면분석장비는 고체 시료의 최 외층 표면(~몇 단분자층)에 민감한 분석 장치로 표면의 화학적인 성분과 물리 화학적 특성을 탐구하는 장치로 잘 알려졌다. 시료가 장착되는 진공용기 내에 존재하는 잔류 기체와 시료 표면 간의 화학반응에 인한 시료 표면의 오염을 방지하기 위해서는 매우 좋은 진공상태가 필수적이며 통상적으로 10^{-9} mbar이하의 진공도가 필요하지만, 때에 따라서는 10^{-11} mbar대의 진공도도 요구된다. 진공도가 더 좋으면 좋을수록 표면분석에서 오염의 영향을 더 줄일 수 있기 때문이고 표면분석 시간을 좀 더 길게 가져갈 수 있기 때문에 데이터 수집과 신호의 질을 더 높일 수 있을 것이다.

터보분자펌프, 티타늄승화펌프, 이온펌프, 크라이오펌프 등과 같은 초고진공펌프가 표면분석장비에서 초고

진공을 얻고 유지하는 데에 일반적으로 활용되어 오고 있다. 이러한 펌프들이 많이 쓰이고 있고, 또 효과적이라 할지라도 몇 가지 제약점이 있기 마련이다. 예를 들면 큰 부피와 무게, 초고진공의 주된 잔류기체인 수소에 대한 낮은 배기속도 문제가 있으며 특히 터보분자펌프와 크라이오펌프는 미세 진동문제가 있다.

네그펌프(NEG, 비증발성 게터펌프)는 작은 크기로 비교적 손쉽게 진공장비에 추가할 수가 있고 큰 배기속도를 제공해주기 때문에 진공 상태를 크게 개선할 수 있다. 네그펌프는 진동을 만들지 않으며 특별한 유지보수가 필요하지 않으므로 사용하기가 편리하다. 정상 작동 중에는 전원공급이 필요하지 않고 때에 따라서는 전원을 공급하지 않고도 좋은 진공도를 유지할 수가 있다. 이러한 특성 때문에 화학적으로 민감한 시료를 한곳에서 다른 곳으로 이송하는 데에 쓰이는 진공이송장치의 진공도 유지에 곧잘 쓰이고 있다. 네그펌프 카트리지는 작은 용량의 이온펌프와 함께 조합하여 사용할 때 작고



<저자 약력>

Paolo Manini 박사는 SAES Getters, SpA(Italy)에 근무하고 있으며 게터펌프 관련 24편의 특허를 가지고 있다. 2008년부터 2012년까지 이탈리아 진공학회(Italian Vacuum Association, www.aiv.it)의 학회장을 역임하였으며 현재는 IUVSTA의 이탈리아진공학회 평의원으로 활동하고 있다. (paolo_manini@saes-group.com)

가벼운 형태로 큰 진공성능을 제공할 수 있다. 하나의 혁신적인 조합펌프의 예로 NEX Torr[®]를 들 수 있다.

네그펌프의 일반적인 특징

네그펌프는 흡착형 진공펌프로 게터(getter) 표면에 입사하는 기체 분자를 화학적인 반응을 통하여 진공 공간으로부터 제거하는 펌프이다. 이 펌프는 표면 활성도가 매우 큰 금속합금으로 구성되며 큰 표면적을 가지고 있으며 주로 지르코늄과 티타늄 화합물로 이루어져 있다. 네그펌프의 배기속도와 배기용량은 금속합금의 조성, 기하학적 또는 물리적 구성과 작동 온도에 따라 결정된다. 네그펌프는 통상적으로 이온펌프, 터보분자펌프 또는 크라이오펌프와 조합하여 사용함으로써 최고도달 진공도를 높이며 배기시간을 단축하거나 진공장치의 베이크아웃 효율성을 높인다.

네그펌프는 10^{-5} mbar에서 10^{-13} mbar 진공영역에서 주로 사용되며 다음과 같은 특징을 가진다.

- 수소에 대한 큰 배기속도(수소는 초고진공—극고진공 장치에서 주된 잔류기체임)
 - O_2 , CO , CO_2 , H_2O , N_2 와 같은 대부분의 활성기체에 대하여 비가역적인 흡착성
 - H_2 에 대하여 가역적(즉, 배기된 수소를 재방출할 수 있음)
 - 초고진공—극고진공영역에서 일정한 배기속도
 - 전력소모가 매우 작음
 - 기름사용이 없고, 진동이 없음
 - 전자기장 간섭이 작음
 - 작고 가벼워서 진공장치 내부에 직접 장착할 수 있음
- 그러나 네그펌프는 헬륨, 아르곤, 메탄 등과 같은 불활성 기체는 배기할 수 없다. 따라서 이온펌프와 같은 보조펌프가 반드시 필요하다. 메탄(CH_4)은 상온에서 상대적으로 안정한 상태이기 때문에 해리되지 않지만 300에서 $500^{\circ}C$ 의 고온에서는 배기할 수 있다. 상대적으로 덩치가 크고 안정적이지 못한 탄화수소 계열의 분자와 유기물(예를 들면 톨루엔, 데칸, 메틸 메타아크릴레이트)은 상온에서도 배기할 수 있다.

네그펌프의 운전

네그펌프의 배기작용을 가능하게 하기 위해서는 소위



[Fig. 1] Non-evaporable getter pumps. On the right, Capacitor[®] and SORB AC[®] models on the right with pumping speed from 50 to 400 l/s(H_2). Two NEX Torr[®] models are shown at the left(the cartridge is mounted on the top of an ion pump(red box)).

“활성화(activation)”라고 하는 선작업이 필요하다. 활성화는 진공상태(또는 불활성 기체 분위기)에서 게터를 350에서 $500^{\circ}C$ 내에서 일정 시간(보통 한 시간 ~수 시간) 동안 가열하는 것을 말한다. 이렇게 하면 게터 표면을 덮고 있는 금속산화물, 탄화물이 해리되어 게터 재료 내부로 확산하기 때문에 게터표면은 깨끗하고 활성도가 큰 금속 표면을 이룬다. 따라서 활성화 즉시 네그펌프 표면에 입사하는 기체분자와 화학작용에 의한 배기가 가능해진다.

배기를 계속하면 네그펌프 표면이 화학결합을 이룬 물질로 포화되기 때문에 펌프의 배기속도가 감소하기 마련이다. 응용분야에 따라 다르지만, 배기속도가 일정한 수준 이하로 떨어지면 네그펌프를 재활성화(re-activation)하여야 한다. 네그펌프는 대략 100회 이상 재활성화 가능하므로 전체적인 수명이 길고 따라서 적은 비용으로 진공장치를 유지할 수가 있다.

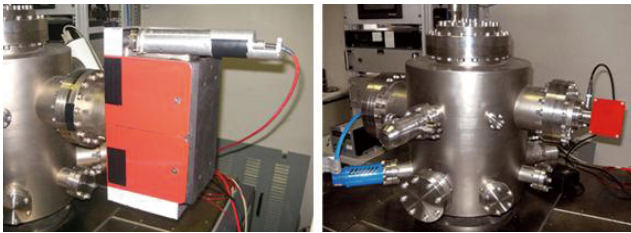
게터의 크기와 입구 플랜지의 크기에 따라서 네그펌프는 20에서 4,000 l/s(H_2 기준)의 배기속도를 낼 수 있다. 수요자 요구에 따라서 10,000 l/s 급의 네그펌프 제작도 가능하다. 그림 1에 흔히 쓰이는 몇 종류의 네그펌프를 나타내었다.

NEX Torr[®] 펌프

네그펌프는 불활성 기체(헬륨, 아르곤 등)를 배기할



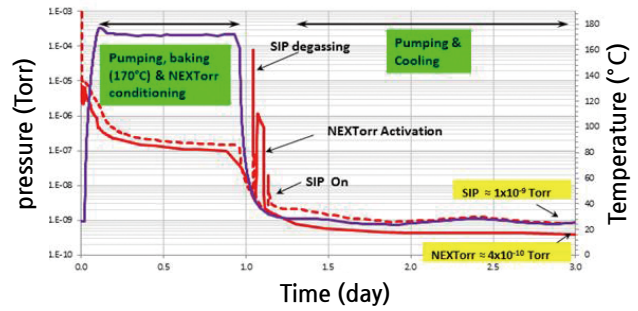
[Fig. 2] NEX Torr® D100-5, featuring 100 l/s H₂ and 5 l/s N₂ with its power supply.



[Fig. 3] Test bench mounting a 70 l/s standard ion pump(left) and the NEX Torr D100-5®(right).

수 없다는 본질적인 문제가 있다. 이 때문에 최근에 작은 크기의 이온펌프 내부에 게터 카트리지를 조합하여 해결하는 멋진 제품이 개발되었다. 이때 네그펌프는 주 펌프로써 배기를 담당하는 한편 이온펌프는 불활성 기체와 메탄의 배기를 담당한다. 네그펌프 카트리지의 배기속도는 100에서 2,000 l/s(H₂) 정도의 배기속도를 가지며 이온펌프는 5에서 10 l/s(N₂)의 배기속도를 가진다. 이러한 개념으로 시판되고 있는 상품으로 NEX Torr®가 있으며 아주 콤팩트한 크기로 초고진공-극고진공 장치에 필요한 배기속도를 제공해준다(그림 2).

그림 3에 시험용 진공용기에 70 l/s 이온펌프를 장착했을 때와 NEX Torr D100®을 장착했을 때 비교한 사진을 나타내었다. 이 시험용 장치 각각의 진공 성능을 170°C 베이아웃 등 동일 조건으로 배기곡선 측정하여 비교하여 보았다. 이 결과를 그림 4에 나타내었으며 아주 작은 크기로 진공장치에 쉽게 장착할 수 있는 NEX Torr D100®을 사용하였을 때 훨씬 더 낮은 압력을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



[Fig. 4] Pump down curves. Comparison between the vacuum achieved with the NEX Torr D100-5® and the SIP 60 l/s. Baking condition is 170°C for 19 h.

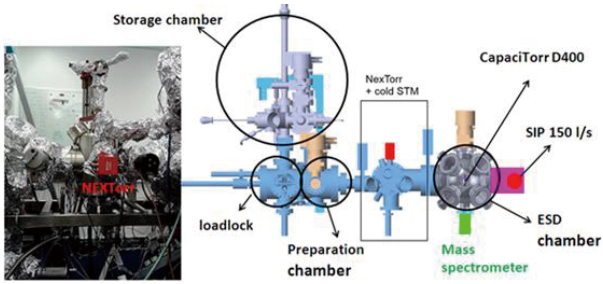
표면과학장비에서 네그펌프의 응용

네그펌프는 아주 낮은 압력을 요구하는 대부분의 초고진공 표면 분석장비에 사용할 수 있다. 때에 따라서, 최대 배기속도를 원한다면 게터 카트리지를 진공용기 내부에 돌출형으로 직접 부착하여야 한다. 만일, 구조적인 문제로 또는 공간상의 제약으로 이러한 상황이 가능하지 않다면 네그펌프를 니플을 사용하여 진공장치에 장착할 수가 있다. 이때 연결도관과 입구 플랜지의 컨덕턴스 때문에 유효 배기속도가 감소할 수밖에 없을 것이다.

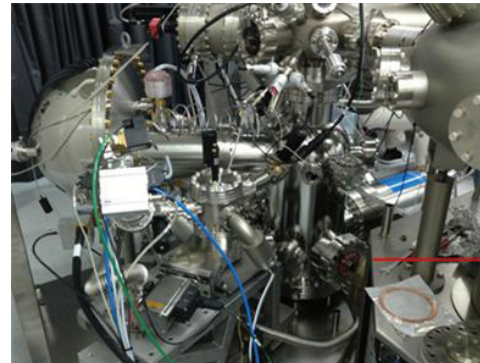
네그펌프는 연속하여 100회 이상 재활성화하여 사용할 수 있기 때문에, 만일 진공시스템을 연간 수 회 벤팅(이른테면 ~5회/년) 한다면 반영구적으로 네그펌프를 사용할 수가 있을 것이다. 따라서 네그펌프와 진공시스템 사이에 진공 밸브와 같은 분리용 부가 장치가 필요하지 않다. 한 주에 한 번 정도 벤팅(venting)한다면 분리 차단용 진공 밸브가 필요할 것이다.

만일 네그펌프를 기체주입공정이나 기타 작업으로 10⁻⁷ mbar 이상의 높은 압력에 노출한다면 분리용 진공밸브 사용을 고려해 보아야 할 것이다. 그러나 이러한 높은 압력에 수 초에서 수 분 동안 네그펌프를 노출한다 하더라도 네그펌프의 배기용량과 배기속도에 큰 영향을 미치지 않으므로 차단용 밸브 없이 사용할 수 있다.

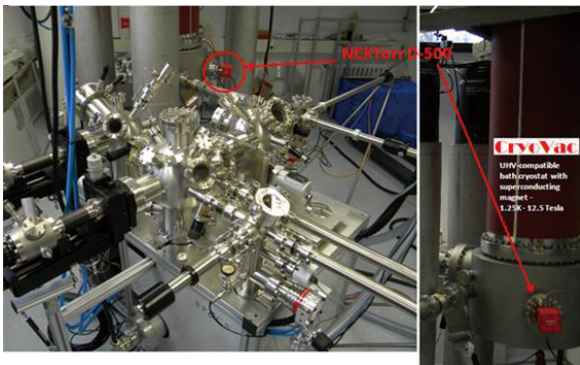
그림 5에서 7까지 여러 종류의 표면분석 장비에 장착된 네그펌프와 NEX Torr® 펌프를 나타내었다. 도달진공도 향상, 급속 배기, 작업 압력의 빠른 회복 등의 큰 장점은 이미 여러 사용자로부터 보고되고 있다. 마찬가지로 도달진공도의 향상으로 실험 오류를 크게 줄여주고 표면 분석의 질적 향상을 가져다주고 있음이 보고되



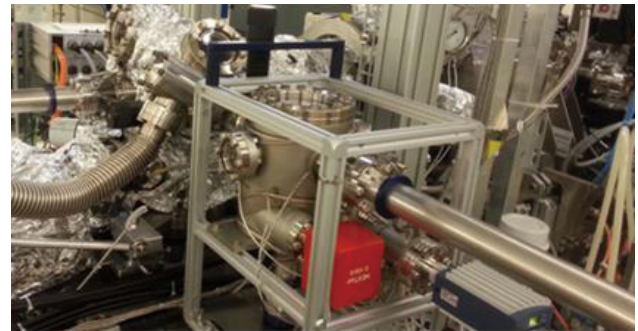
[Fig. 5] The NEX Torr D200-5[®] is the only pump present in the STM chamber, keeping the pressure in the 10-11mbar range [Courtesy of University of Hamburg (Dr. Bazarnik, group of Prof. Wiesendanger)]



[Fig. 7] ARPES system in the 10⁻¹¹ mbar range. CapaciTorr D 2000[®] mounted in a XPS system. [Courtesy of PREVAC]



[Fig. 6] The pressure level in this STM chamber is around 5x10⁻¹¹ mbar. [Courtesy of University of Wurzburg (Dr. Sessi, group of Prof. Bode)]



[Fig. 8] UHV transportation suitcase pumped with a NEX Torr D 100-5[®] (courtesy Ferrovac)

고 있다.

네그펌프는 또한 표면분석용 시료를 진공상태를 유지한 채로 한 곳에서 다른 곳으로 이송시키는 데에 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 진공이송용 장치에서 네그펌프는 오랜 시간 동안 안정된 진공도를 보장해주고 있으며 가볍고 전원이 필요하지 않은 장치로 사용자로부터 호평을 받고 있다. 그림 8에 진공이송 장치의 한 예를 나타내었다.

요약

네그펌프는 표면과학장비에서 진공성능을 향상하는

데 유용한 펌프로 자리매김하고 있다. 이 펌프는 아주 작은 크기로 가벼워서 큰 펌프를 설치할 수 없는 복잡한 진공장비에 쉽게 장착하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 이 펌프는 수증기와 수소에 대한 배기속도가 상당히 크기 때문에 표면과학장비에서 최고 도달진공도를 훨씬 더 향상한다. 카트리지 형태의 네그펌프와 작은 이온펌프의 조합으로 꾸며진 NEX Torr와 같은 고성능 펌프가 최근 개발되어 적용됨으로써 작은 크기뿐만 아니라 획기적인 배기성능을 제공하고 있다. 또한, 네그펌프는 표면분석용 시료를 한 곳에서 다른 곳으로 진공상태를 유지하면서 이송시키는 데에 곧잘 사용되고 있다.

CapaciTorr[®], NEX Torr[®], SORB AC[®] 는 SAES Getters의 상품명이다.