

초고진공 Scanning Tunneling Microscope의 제작

손은숙 · 홍영규 · 박 찬

전북대학교 자연대 물리학과
(1994년 8월 12일 접수)

Construction of Ultra High Vacuum Scanning Tunneling Microscope

Eun-Sook Son, Yeong-Kyu Hong and Chan Park

Department of Physics, Jeonbuk National University
(Received August 12, 1994)

요 약 - 초고진공(UHV) Scanning Tunneling Microscopy(STM)을 제작하였다. 8인치 프란지에 부착한 STM은 초고진공에서 시료의 통전가열이 가능하며 다른 표면 측정방법의 적용과 시료처리가 용이하다. 외부로부터 초고진공을 깨지 않고 시료와 tip의 도입이 가능하며 tip을 가열할 수 있다. 완성된 장치로 Si(111)-7×7 구조의 STM상을 얻었다.

Abstract - A Ultra High Vacuum Scanning Tunneling Microscope is constructed. The STM head is mounted on an 8 inch flange. The sample can be heated by directly flowing current. The STM is designed for the convenient sample treatment and the combination of other surface techniques. The sample and tip can be transferred without breaking UHV. A clean Si(111)-7×7 structure was imaged by the constructed STM.

1. 서 론

STM(Scanning Tunneling Microscope)은 고체표면의 원자적인 구조와 전자적인 구조를 원자적인 분해능으로 실공간에서 볼 수 있게 함으로써 표면 연구에 획기적인 연구수단이 되었다[1]. 또한 시료와 금속 tip 사이에 인가된 전압에 대한 터널링 전류의 변화는 표면의 국부적인 전자구조와 직접 관련되어 있어서, 원자적인 위치에 따른 국부적인 전자상태의 분광학적 정보를 제공하므로 표면의 전자적인 topography를 원자적인 분해능을 가지고 연구할 수 있다[2]. 상용화 STM 장치가 판매되고 있으나 대기 중에서 사용하는 경우가 대부분이며, 초고진공 STM은 매우 고가여서 현재 한국의 실정에서 볼 때 쉽게 구입하기 어려운 실정이다. 또 아직도 세계적으로

많은 연구 그룹들이 실험실에서 직접 제작한 STM을 사용하고 있으며 필요에 따라 장치를 바꾸고 개선하여 새로운 연구를 할 수 있는 바탕을 가지고 있다. 본 연구에서는 금속 및 반도체 표면을 초고진공에서 다른 연구방법들(전자회절 등)과 함께 사용할 수 있는 STM을 제작하였고, 그 특성을 평가하였으며, Ge(100) 표면에 Bi의 초기흡착과정을 연구하였다[3].

2. UHV-STM의 제작

2.1 UHV-STM의 실험적 조건

초고진공 STM 장치를 표면 연구를 위해 사용하기 위해서는 다음과 같은 실험적 조건이 필요하다.

- 1) 기본진공도가 10^{-10} torr 이하의 초고진공 상태
- 2) 깨끗한 시료표면을 얻기 위해 고온(-1500K)



그림 1. 제작된 UHV-STM 장치.

에서 시료를 가열할 수 있어야 한다.

3) 시료표면의 열처리와 금속 등의 증착 그리고 다른 표면실험을 위해 시료를 STM head로 부터 분리하여 이동할 수 있어야 하고, STM 측정을 위해서는 다시 시료를 터널링 거리내로 이동하여야 한다.

4) 지속적이고 안정된 STM 장치의 동작을 위해서는 초고진공 상태를 유지한 채로 시료와 금속 tip을 외부로 부터 도입하고 교환할 수 있어야 한다.

5) 초고진공장치 전체가 외부의 기계적인 진동으로부터 고립되어야 한다.

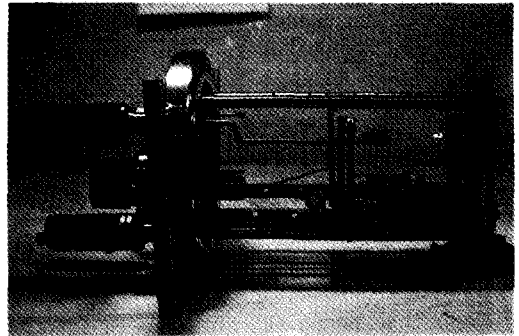
6) 초고진공내에서 tip의 고온열처리가 바람직하다.

2.2 장치의 구성

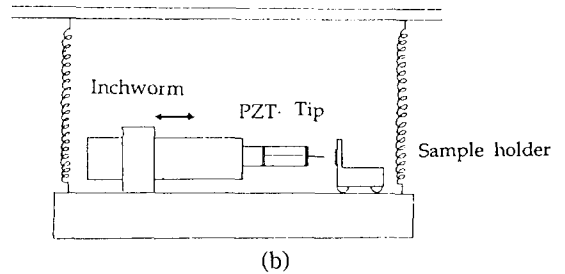
초고진공 STM을 크게 초고진공장치와 STM head 그리고 STM 피드백 전자회로와 터널링전류로 부터 데이터를 취하여 화상처리하는 컴퓨터 소프트웨어로 나눌 수 있다. 초고진공장치는 그림 1에서와 같이 직경 300 mm의 국내제작된 스텐레스 진공조에 이온펌프(Varian 450 l/s)를 주 펌프로 하고 있으며 기본진공도는 1×10^{-10} torr이다. STM head는 8인치 프란지 위에 부착하도록 제작하였고, 피드백 전자회로와 컴퓨터 소프트웨어도 자체적으로 제작하였다. 외부의 진동으로부터 STM 장치를 고립시키기 위하여 초고진공 장치 전체를 공기 스프링으로 받혀진 대리석판(75×150×20 cm) 위에 올려 놓았다.

2.3 STM head

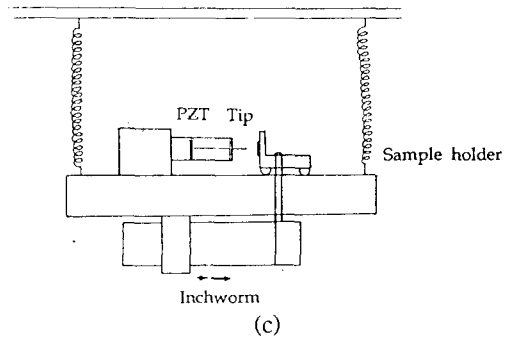
STM 장치의 심장부인 STM head는 8인치 프란지에 부착되어 있다(그림 2a). PZT Scanner와 시료 그리고 시료를 터널링 위치로 이동시키는 inchworm



(a)



(b)



(c)

그림 2. (a) 8인치 프란지에 부착된 STM head. 그림 오른쪽에 PZT와 시료가 놓인 스테이지를 볼 수 있고, inchworm모터는 스테이지 밑에 보이지 않는다. (b) (c) STM 스페이지와 시료 접근 방법의 개념도

motor(Burleigh)가 놓여 있는 지지판을 외부진동으로부터 고립하기 위하여 중간 지지판을 두고 이중으로 총 8개의 스프링을 사용하여 고정하였다. 시료와 PZT(Piezoelectric Transducer)에 고정된 tip의 터널링 간격 내로의 접근을 위해서는 두 가지 방법을 시도하였는데 그림 2b에서와 같이 PZT를 inchworm 앞에 고정하여 시료를 향해 접근하는 방법과 그림 2c와 같이 PZT와 tip이 고정되어 있고 시료가 지지대

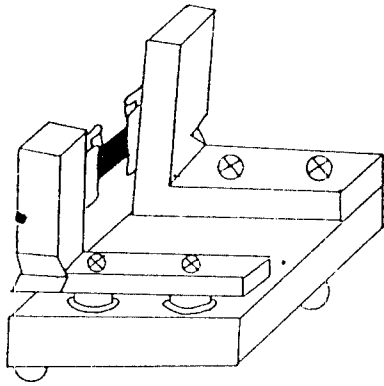


그림 3. 시료 holder의 개념도.

밑에 부착된 inchworm에 의해 움직이는 방법을 사용하였다. PZT는 실린더형(PZT 5H, 직경 6 mm)을 위 부분은 4분할하여 XY Scanner로 사용하였고 밑의 부분을 Z-PZT로 사용하였다.

2.4 시료 holder와 Manipulator

시료 holder는 반도체나 금속 시료를 직접 전류를 흘려 가열할 수 있는 형태로 구성하였다. 그림 3a의 개략도에 보는 것 같이 Ta판을 사용하여 시료가 두 개의 지지봉에 고정되는데 지지봉은 서로 전기적으로 절연되어 있어서, 두 지지봉에 전류를 흘려 시료를 직접 가열하도록 하였다. 또 두개의 지지봉은 기계적인 안정성을 위하여 사각형 받침대(20×17×4 mm)에 고정하였고 받침대 바닥에 새겨진 금속봉을 박아 넣어 STM head 위에 삼접점의 기계적 접촉을 하도록 함으로써 외부진동에 대한 방진효과를 높였다. 또 받침대의 바닥에 위치한 내리 구멍은 inchworm에 부착된 금속봉을 끼워넣어 시료 holder를 전기적으로 절연하고 표면이 연마된 스텐판 위를 시료가 접근하고 이동할 수 있도록 했고 시료에 바이어스 전압을 가하도록 하였다. 시료 manipulator는 Z-축 이동이 특별히 긴(250 mm) 것을 사용하여 STM 외에 다른 표면 실험방법의 사용을 용이하게 하였다. X Y Z θ 외에 또 하나의 동축운동을 이용하여, 그림 4와 같은 집게 형태의 장치를 구동하도록 하여 시료를 잡고 이동할 뿐 아니라 양쪽 집게발에 직접 전류를 흘려 시료를 가열할 수 있도록 하였다.

2.5 시료와 tip의 교환

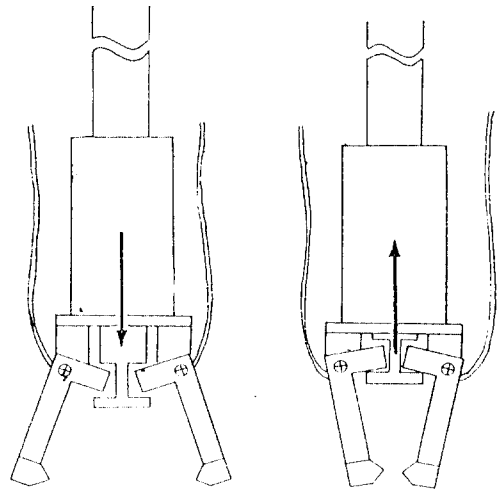


그림 4. 시료 manipulator의 집게발 구동 장치 개념도.

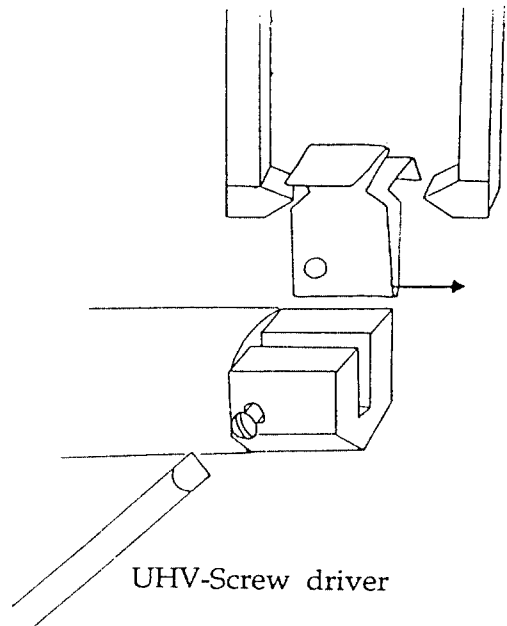


그림 5. 초고진공 스크류드라이버와 tip 교환장치 개념.

안정된 STM 측정을 위해서는 초고진공을 깨지 않고 시료와 tip을 교체하는 것이 중요하며 tip의 교체는 종종 까다로운 문제이다. 이를 위하여 초고진공조에 turbo 펌프(60l/s)가 장착된 load lock 장치를 부착하였고 load lock bar의 끝에 시료와 tip을 운반하는 장치를 설치하였다. tip은 Ta foil로 만든 tip

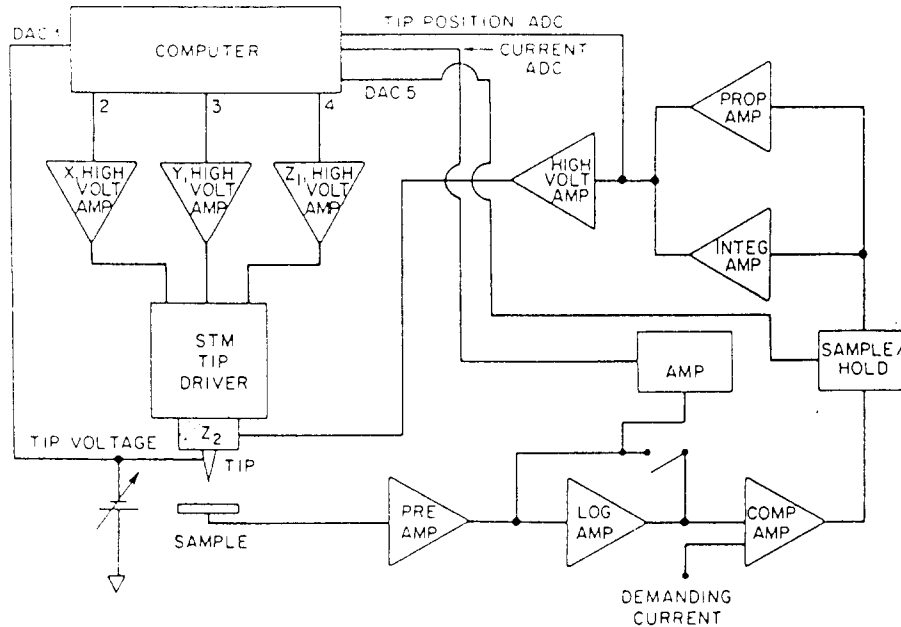


그림 6. 피드백 전자회로와 데이터 획득 회로의 개념도 (참고문헌 4 인용)

holder에 고정되고 다시 carrier에 실려 초고진공내로 이동된다. tip holder는 다시 manipulator의 집게발에 의해 PZT 앞에 tip 고정대로 이동하고, 그림 5에서와 같이 다른 load-lock bar에 붙어 있는 UHV screw driver에 의해 tip 고정대에 나사로 고정하도록 하여 매우 손쉽게 tip을 교환할 수 있다. 또 필요한 경우에는 tip을 manipulator로 이동하여 다른 위치에 설치된 소형 텅스텐 필라멘트를 이용하여 전자빔에 의

해 tip을 가열하여 tip의 안정된 동작을 할 수 있도록 하였다. 시료 또한 같은 방법으로 외부로부터 도입할 수 있도록 하였고 초고진공내부에 한 개의 시료와 두개의 tip을 보관할 수 있도록 하였다.

2.6 전자회로와 Data의 처리

그림 6은 일정한 터널링 전류를 유지하는 피드백 회로와 X-Y PZT를 위한 Scanning 회로 데이터를

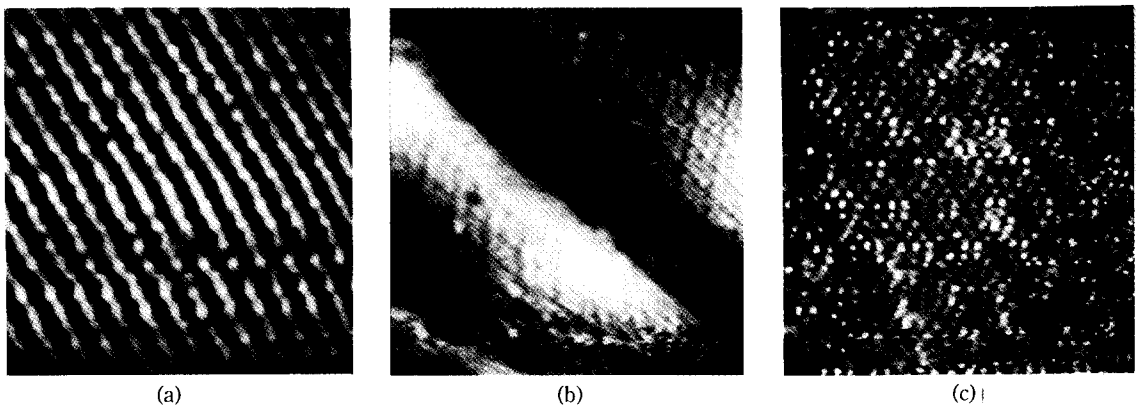


그림 7. (a) HOPG의 STM상, 주사영역, $30\text{\AA} \times 15\text{\AA}$ 시료 바이어스 전압 +20 mV, 전류 1 nA (b) Si(111)-7x7 STM상, 주사영역 $300\text{\AA} \times 300\text{\AA}$ 시료 바이어스 전압 -1.9V, 1 nA (c) Si(111)-7x7 STM상, 주사영역 $190\text{\AA} \times 190\text{\AA}$ 시료 바이어스 전압 -1.6V, 1 nA

취하는 회로의 개념도를 보이고 있다[4]. 터널링 전류를 Log 앰프를 사용하여 선형화한 후 설정전류와 비교하여 적당한 시정수를 가지고 사용하여 증폭되어 일정한 터널링 전류가 흐르도록 PZT에 피이드백 되어간다. 컴퓨터(486 pc)에 4개의 D/A channel과 2개의 A/D channel을 가진 인터페이스 카드를 장착하여 X-Y Scanning sample/hold 시료와 tip의 접근을 위한 자동접근을 컴퓨터로 조정하였고 12 bit A/D converter를 써서 256×256 화소의 STM 상을 구하였다. STM image 처리와 분석을 위한 소프트웨어로는 background subtraction, 화면의 지정된 두 점 사이의 line plot, X와 Y축의 비대칭 수정, Zoom 기능, contrast, histogram, FFT 등을 자체 제작하였다.

3. 장치의 테스트와 결과

제작된 초고진공 STM은 두개의 잘 알려진 표면 구조를 가지고 테스트 하였다. 첫째 시료로는 대기 중에서 cleave하여 쉽게 깨끗한 표면을 얻을 수 있고 화학적으로 안정한 HOPG(highly oriented pyrolytic graphite) 표면을 사용하였다. 두번째로는 Si(111) 표면으로 초고진공내에서 1200°C로 열처리하여 깨끗한(7×7) 재배열 구조를 얻어 STM으로 관찰하였다. 그림 7은 HOPG의 STM 상이다. 주사영역은

30Å×15Å이며 시료 바이어스 전압은 -20 mV이고 터널링 전류는 1 nA이다. graphite 표면의 열지어진 단위 구조의 원자적인 분해능을 보이고 있다. 그림 8a는 Si(111)-7×7 구조의 STM 상으로 7×7 구조와 두개의 테라스가 두 원자 스텝에 의해 구분되어 있는 것을 볼 수 있다. 주사영역은 300Å×300Å이며 시료 bias 전압은 -1.6V였으며 터널링 전류는 1 nA이다. 그림 8b는 주사영역이 190Å×190Å인 STM 상으로 bias 전압이 -1.6V이며, 7×7 구조의 adatom의 위치가 밝게 보이고 있어 장치의 원자적인 분해능을 보이고 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 일반목적기초과제(311-0206-007-2) 연구비 지원에 의해 이루어졌음을 밝힌다.

참고문헌

1. G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber and E. Weibel, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 120 (1983).
2. W. D. Lang, *Phys. Rev.* **B34**, 5947 (1986).
3. 손은숙, 석사학위논문, 전북대학교 1994.2
4. Y. Kuk and P. J. Silverman, *Rev. Sci. Instrum.* **60**, 65 (1989).