

압저항형 마이크로 캔틸레버를 이용한 원자현미경 시스템 제작 및 특성평가

Fabrication and Characterization of the Atomic Force Microscope system with piezoresistor micro cantilever

*박창신¹, #이동원²

*C. S. Park¹, #D. W. Lee(mems@jnu.ac.kr)²

^{1,2}전남대학교 기계공학과

Key words : Piezoresistor, SPM, AFM, micro cantilever

1. 서론

원자현미경(Scanning Probe Microscope, 이하 SPM)은 진공상태나 대기 중 뿐 아니라 액체 내에서도 작동해 살아있는 세포내의 구조나 세포분열 등을 관찰할 수 있으며, 전자현미경(SEM)이 진공 상태에서만 가능하다는 것을 감안하면 SPM은 응용 범위가 넓다. 광학현미경의 배율이 최고 수천 배, SEM의 배율이 최고 수십만 배인데 비해 SPM의 배율은 최고 수천만 배로써 개개의 원자를 관찰할 수 있는 분해능을 가지고 있으며, 나노 단위에서 온도 분포, 표면 전계 및 자계 형상 등을 3차원적으로 분석할 수 있기 때문이다. 이에 반해 투과식 전자현미경인 TEM은 수평방향의 분해능이 SPM과 유사하나 수직방향의 분해능이 훨씬 떨어지는 단점이 있다. SPM의 수직방향 분해능은 수평방향보다 더욱 좋아서 원자 지름의 수십 분의 일(0.01nm)까지도 측정해 낼 수 있는 것으로 알려져 있으며[1], 주사 터널링 현미경(Scanning Tunneling Microscope: STM)과 원자 힘 현미경(Atomic Force Microscope: AFM)등의 SPM 종류로만 가능하다.

SPM은 높은 분해능을 얻기 위하여 몇 가지 중요한 기술을 필요로 한다. 매우 날카로운 탐침을 갖는 마이크로 캔틸레버(Micro cantilever) 제작 기술, 진동차단 및 감쇄 기술, 3차원 주사장치의 교정, 그리고 전자제어회로 기술 등이 매우 중요하다. 이러한 SPM의 중요기술들은 현재 많은 연구와 개발에 의하여 원자수준의 정밀측정이 가능하지만 고가의 장비들과 부가적인 복잡한 기기들로 구성이 되어 있어 보편성이 떨어지며, 전문가가 아니면 활용이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 기존의 SPM과 유사한 분해능을

갖지만 부가적인 장비들과 복잡한 구성을 간소화한 새로운 AFM 시스템에 관하여 제안하고자 한다. 기존의 AFM에 사용되는 마이크로 캔틸레버 및 광학식 변위 측정 방식 대신에 압저항(piezoresistor) 센서가 집적화된 마이크로 캔틸레버와 디지털 측정 방법을 이용함으로써 가능하다.

2. 원자현미경 시스템 제작 및 특성평가

그림 1(a)는 제안된 AFM 시스템을 간략하게 나타낸 구성도이다. 마이크로 탐침의 정밀한 3차원 구동/제어를 위한 스캐너(PZT), 대변위의 Z축 구동을 위한 액츄에이터, 진동 차단을 위한 Damper 등으로 구성되어 있으며, 그림 1(b)는 본 연구진이 설계/제작한 AFM을 나타낸다. 그림 1(c)는 압저항 센서가 집적화된 마이크로 캔틸레버의 SEM 이미지이며, 저항체는 $600\Omega \pm 50\Omega$ 로 설계되었다. 고감도 센서가 집적화된 캔틸레버를 사용하여 전체적인 AFM 시스템을 간소화하였으며, 집적화된 센서는 외부응력에 따라 저항값이 변화하는 압저항 원리를 이용하였다. 그림 2는 제작된 AFM을 기존의 측정 방식과 본 연구에 사용된 측정 방식에 대한 개념도를 나타낸다. 일반적인 AFM은 마이크로 캔틸레버의 변위 검출을 위하여 광학식 변위 측정 방법으로 포토다이오드를 이용한다. 마이크로 캔틸레버 끝단에 레이저를 고정하여 캔틸레버의 변위를 전기적 신호로 변환하여 측정하며, 이 전기적 신호를 아날로그 방식인 전기적 회로를 이용하여 증폭과 노이즈 차단과 같은 후처리 과정을 거친다. 하지만 본 연구에서는 후처리 과정을 레이저 변위계(Laser vibrometer)를 이용하여 AFM이 사용되는 장소와 시스템 내의 진동을 분석 하였다. 그리고

일반적인 아날로그 전기회로와 같은 후처리 과정으로 프로그램 내에서 디지털화하여 FFT 방식의 노이즈 분석과 차단을 빠르게 처리하였으며, 표 1에 스캐너의 속도에 따른 진동결과를 나타내었다. 스캔속도가 낮을수록 진동에 대한 노이즈는 안정적이며, 제안된 AFM 시스템은 최소 67Hz 정도의 진동 노이즈가 있음을 확인하였다. 또한 진동에 대한 분석 결과와 전기적 노이즈를 Low & High cut-off 방식으로 67 Hz 범위 내에서 제어하여 3차원적인 샘플의 이미지를 측정하였다. 그림 3(a)는 디지털 방식으로 사용된 FFT 진동분석 결과를 나타내며, 그림 3(b)는 사용된 200nm 두께의 금속이 코팅된 실리콘 기반 샘플의 SEM 이미지이다. 스캐닝된 부분은 금속의 두께가 포함된 10 μm^2 의 영역이다. 그림 3(c)와 (d)는 디지털 노이즈 차단 전과 후의 3차원 이미지를 나타낸다. 실제 샘플의 형상과 디지털 노이즈 필터링을 이용한 형상과는 $\pm 6\text{nm}$ 오차율 내에서 깨끗한 3차원 이미지화(10kS/s)를 성공하였으며, 사용된 마이크로 캔틸레버의 감도는 약 $4.2 \times 10^{-6} \Delta R/R/\text{nm}$ 이다.

3. 결론

본 연구에서는 기존 AFM의 복잡한 시스템 구성을 압저항형 마이크로 캔틸레버를 이용하여 간소화하고, 진동 및 전기적 노이즈를 분석하여 디지털 방식으로 3차원 이미지를 볼 수 있는 AFM 시스템 제작 및 특성평가를 수행하였다.

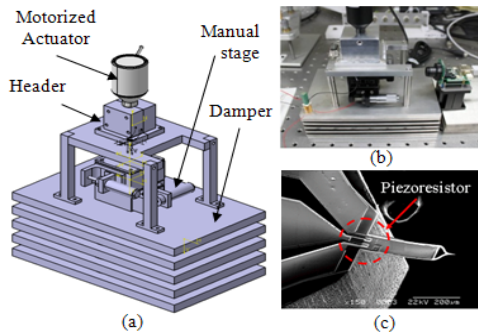


Fig. 1 (a) Schematic and (b) optical images of home-made AFM system, (c) SEM image of a micro cantilever with integrated piezoresistor

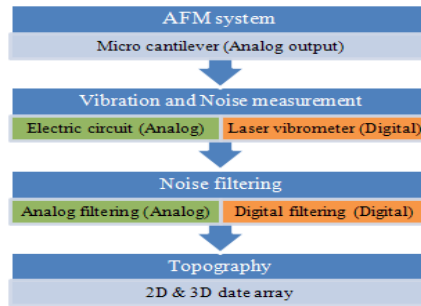


Fig. 2 Analog and digital measurement method of mechanical vibration and electric noise

Table 1. Result of FFT analysis according to scan speed

Scan speed (nm/S)	FFT(Hz)	Scan area/(μm^2)
500	200	10
100	100	
50	70	
10	67	

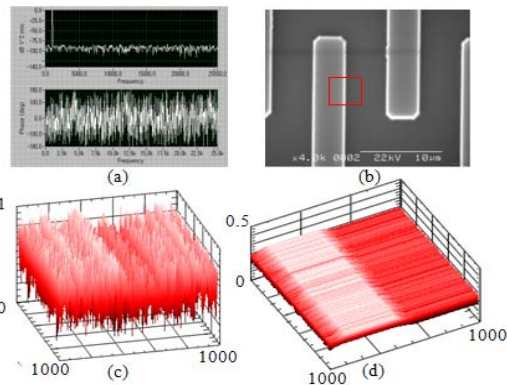


Fig. 3 (a) Digital noise filter, (b) SEM image of sample, (c) Before and (d) after digital filtering of scanning image

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation (NRF) (No.2007-0056959) and the WCU (R32-200871) program funded by the Korea government (MEST).

참고문헌

1. L. Howald, and H. J. Guntherodt, "Atomic-force microscopy on the Si(111) 7 X 7 surface", Physical review B, 15, 5485- 5487, 1995.