

AFM 용 수정진동자 진동폭의 직접 측정 기술

김정희*, 한해욱**
포항공과대학교 전자전기공학과

Direct measurement technique of the oscillation amplitude of a quartz tuning fork in atomic force microscopy

Jeonghoi Kim* and Haewook Han**
Department of Electronics and Electrical Engineering
Pohang University of Science and Technology
E-mail : *hanulkjh@postech.ac.kr, **hhan@postech.ac.kr

Abstract

The oscillation amplitude of a probe tip is an important parameter to determine the resolution of atomic force microscopy (AFM) techniques. In this work, we introduce a new method for the measurement of the oscillation amplitude of a quartz tuning fork tip sub-nanometer resolution.

I. 서론

SPM (Scanning probe microscopy) 기술 중 하나인 AFM (Atomic force microscopy)이 1980년대 중반에 Binnig에 의해 개발된 이후로, SPM 관련 기술이 수많은 과학 분야에 적용되고 있다[1]. 이러한 기술의 핵심은 시료와 탐침 사이의 거리를 나노미터 단위로 정밀하게 제어하는 기술이다. 정밀한 거리 제어를 위해서는 진동하는 탐침의 진동폭을 정확하게 측정할 수 있어야 한다. 현재까지 개발되어 사용되는 탐침의 진동폭을 측정하는 기술로는 광섬유 간섭계와 미분 간섭계를 이용하는 방법[2-3], 원통 탐침에서 반사된 빔을 직접 검출하는 방법[4] 등이 있다. 이러한 기술들은 직접 탐침에 레이저 빔을 조사하기 때문에, 시료로부터 측정되는 신호에 잡음으로 작용할 수 있는 단점이 있다. 본 논문에서는 기

존 기술의 단점을 보완하는 방법으로 탐침과 칼날 모양 와이어가 부착된 수정진동자를 이용하여 탐침의 진동폭을 측정하는 새로운 기술을 소개한다.

II. 본론

자체 제작한 약 1 mm 길이의 탐침과 칼날 모양 와이어를 32,768 Hz의 공진주파수를 갖는 수정진동자의 두 다리에 각각 부착한다(그림 1-(a) 참조). 진동자가 인가되는 전압에 해당하는 진동폭으로 진동하면, 진동자의 두 다리에 부착된 탐침과 칼날 모양 와이어 또한 동일한 진동폭으로 진동하게 된다. 그림 1-(a)와 같이 칼날 끝이 진동하면서 Gaussian 분포를 갖는 레이저 빔 경로를 가로질러 지나가고, 칼날 끝을 통과하는 빔은 광검출기에 의해 측정된다. 측정된 광신호는 광검출기에 의해 전기신호로 변환되고, 변환된 전기신호는 lock-in 증폭기에 의해 공진주파수로 변조된 신호만 측정된다. 변조된 측정 신호의 분포 또한 Gaussian 형태를 갖는다. 그림 1-(b)에 보인 것과 같이, 실험에 사용된 He-Ne 레이저 빔은 기저모드 Gaussian 분포를 가지며 수정진동자의 진동폭이 a 라고 가정하면, a 의 크기와 Gaussian 빔에 대한 칼날 끝의 위치에 의해 변조된 측정신호의 크기가 결정된다. 이와 같은 방법을 적용하여 측정되는

신호를 이론적으로 계산하면, 광검출기에서 측정되는 신호는 칼날의 진동폭과 레이저의 입사 출력 및 칼날 끝 위치에서의 레이저 빔 크기에 의해 결정된다. 여기서 칼날의 진동폭은 최종적으로 구하고자 하는 값이고, 레이저의 입사 출력은 power meter 에 의해 측정되며, 레이저 빔의 크기는 변조된 신호와 함께 측정된다. 결과적으로 실험으로부터 탐침의 진동폭을 구할 수 있다.

III. 구현

탐침과 칼날 모양 와이어의 재질로는 고순도 텅스텐을 사용하였고, 탐침의 제작은 전기화학적 습식식각 방법을 적용하였으며, 칼날 모양 와이어는 정밀한 와이어 절단기를 이용해 제작되었다. 탐침과 칼날 모양 와이어는 micro-stage 와 접착제를 이용하여 수정진동자의 두 다리에 부착된다. 탐침 등이 부착된 수정진동자는 공진주파수가 약 5 % 정도 감소하게 된다.

수정진동자의 진동폭은 진동자에 인가되는 전압의 크기에 따라 변하게 된다. 이를 검증하기 위해서 진동자에 인가되는 전압에 따른 진동폭의 변화를 측정한 결과를 그림 2 에 보였다. 기저모드(사각)는 인가 전압에 비례하는 특성을 나타내었고, 비례상수는 약 3.9 nm/mV 이다. 반면, 2 차모드(원)의 경우, 비선형 특성을 보였으며 30 mV 이하의 낮은 인가전압에서는 기저모드에 비해 그 크기가 10% 이하 인 것을 알 수 있다. 따라서 낮은 인가전압을 사용할수록 고차모드에 의한 진동폭 측정값에 대한 오차를 줄일 수 있다. 또한 1 mV 이하의 인가전압이 가해지는 경우, 진동폭을 나노미터 이하의 단위로 정밀하게 측정할 수 있다.

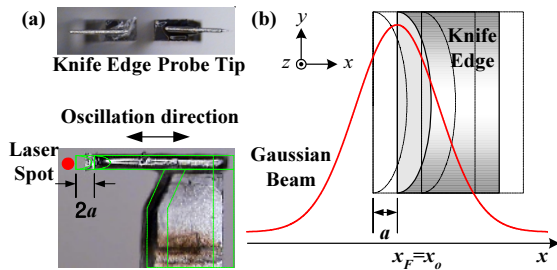


그림 1 (a) 진동자에 부착된 탐침과 칼날 모양 와이어 (b) Gaussian 빔의 중심에서 진동폭 a 로 진동하는 칼날 모양 와이어.

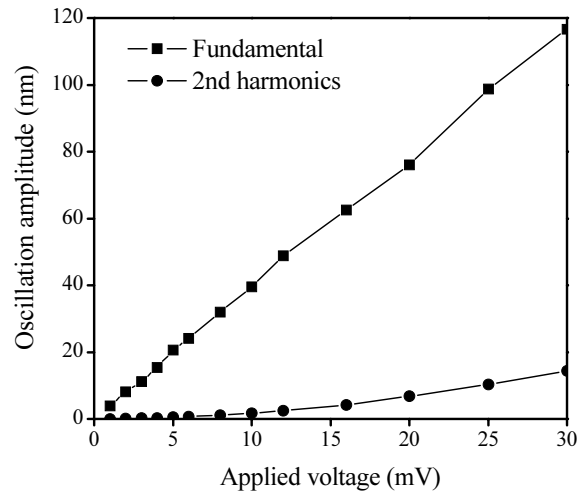


그림 2 진동자에 인가되는 전압에 따라 측정된 기저모드(사각)와 2 차모드(원)에서의 진동폭

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 수정진동자에 부착된 칼날 모양의 와이어를 이용하여 나노 탐침의 진동폭을 측정하는 새로운 기술을 개발하였으며 인가되는 전압에 따라 나노미터 이하의 정밀도로 진동폭을 측정할 수 있다. 이러한 측정 기술은 AFM 뿐만 아니라 진동자를 이용하는 SPM 기술에 접목시켜 보다 많은 활용이 가능할 것이다.

참고문헌

[1] G. Binnig et al, "Atomic force microscope," *Phys. Rev. Lett.*, 56(9), 930, 1986.
 [2] K. Karrai et al, "Piezoelectric tip-sample distance control for near field optical microscopes," *Appl. Phys. Lett.*, 66(14), 1842, 1995.
 [3] P. G. Gucciardi et al, "Interferometric measurement of the tip oscillation amplitude in apertureless near-field optical microscopy," *Rev. Sci. Instrum.*, 76(3), 036105, 2005.
 [4] C. C. Wei et al, "Direct measurements of the true vibration amplitudes in shear force microscopy," *Appl. Phys. Lett.*, 67(26), 3835, 1995.