

췘기를 이용한 AFM용 수정진동자 진동폭의 직접 측정 기술

Direct Measurement Technique of the Vibration Amplitude of Quartz Tuning Fork Using a Wedged-wire in Atomic Force Microscopy

김정희, 한해욱
 포항공과대학교 전자전기공학과
 hanulkjh@postech.ac.kr

SPM(Scanning probe microscopy) 기술 중 하나인 AFM(Atomic force microscopy)이 1986년 Binnig에 의해 처음으로 개발된 이후로, SPM 관련 기술이 수많은 과학 분야에 적용되고 있다.⁽¹⁾ 이러한 SPM 기술의 핵심은 시료와 탐침 사이의 거리를 나노미터 단위 이하로 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 주사하기 때문에, 시료로부터 측정되는 신호에 잡음으로 작용할 수 있는 단점이 있다. 본 연구에서는 기존 기술의 단점을 보완하는 방법으로 탐침과 췘기 모양 와이어가 부착된 수정진동자를 이용하여 탐침의 진동폭을 측정하는 새로운 기술을 소개한다.

공진주파수가 32,786 Hz인 실린더 형의 수정진동자가 사용되었고, 약 1 mm 길이의 탐침과 췘기 와이어가 수정진동자의 두 다리에 각각 부착한다. 탐침과 췘기 와이어의 재질로는 고순도 텅스텐을 사용하였고, 탐침의 제작은 전기화학적인 습식식각 방법을 적용하였으며, 췘기 와이어는 정밀한 와이어 절단기를 이용해 제작되었다. 제작된 탐침과 췘기 와이어는 micro-stage 와 접착제를 이용하여 수정진동자의 두 다리에 부착된다. 췘기 등이 부착된 수정진동자는 유효 질량의 변화로 인해서 공진주파수가 약 5 % 정도 감소하게 된다.

진동자가 인가되는 전압에 해당하는 진동폭으로 진동하면, 진동자의 두 다리에 부착된 탐침과 췘기 와이어 또한 동일한 진동폭으로 진동하게 된다. 진동하는 췘기 끝이 Gaussian 분포를 갖는 레이저 빔 경로를 가로질러 지나가고, 췘기 끝을 통과하는 빔은 광검출기에 의해 측정된다. 측정된 광신호는 광검출기에 의해 전기신호로 변환되고, 변환된 전기신호에서 Lock-In 증폭기에 의해 공진주파수로 변조된 신호만 검출된다. 그림 1(a)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 췘기 끝의 위치에 의해 변조된 측정신호의 크기가 결정된다. 변조된 측정 신호의 분포 또한 Gaussian 형태를 갖는다(그림 1(b) 참조). 이와 같은 방법을 적용하여 측정되는 신호를 이론적으로 계산하면, 광검출기에서 측정되는 신호는 췘기의 진동폭과 레이저의 입사출력 및 췘기 끝 위치에서의 레이저 빔 크기에 의해 결정된다. 여기서 췘기의 진동폭은 최종적으로 구하고자 하는 값이고, 레이저의 입사 출력은 power meter에 의해 측정되며, 레이저 빔의 크기는 변조된 신호와 함께 측정된다. 결과적으로 실험으로부터 탐침의 진동폭을 구할 수 있다.

수정진동자의 진동폭은 진동자에 인가되는 전압의 크기에 따라 변하게 된다. 이를 검증하기 위해서 진동

자에 인가되는 전압에 따른 진동폭의 변화를 측정한 결과를 그림 2에 보였다. 기저모드(사각)는 인가전압에 비례하는 특성을 나타내었고, 비례 상수는 약 3.9 nm/mV 이다. 반면, 2차모드(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.

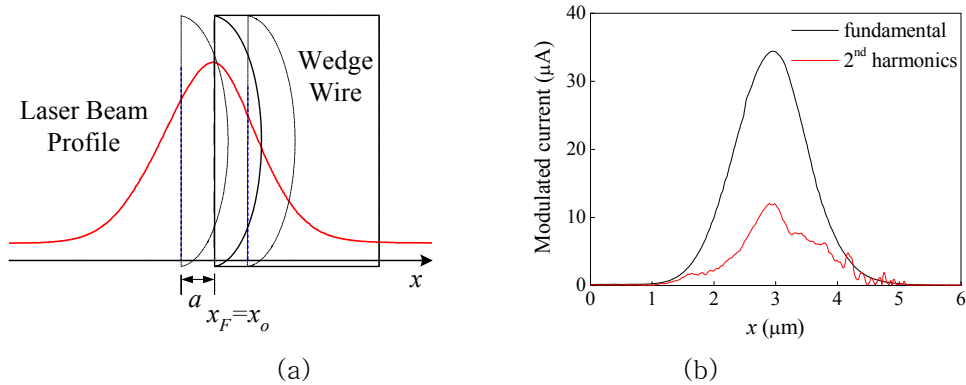


그림 1. (a) Gaussian 빔 중심에서 진동폭 a 로 진동하는 켄기 와이어와 (b) 측정된 전류신호

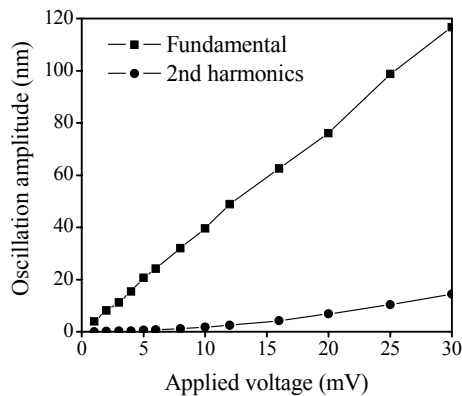


그림 2. 진동자에 인가되는 전압에 따라 측정된 기저모드(사각)와 2차모드(원)에서의 진동폭

1. G. Binnig, C. F. Quate, and Ch. Gerber, "Atomic force microscope", Physics Review Letters 56, 930-933 (1986).
2. K. Karrai and R. D. Grober, "Piezoelectric tip-sample distance control for near field microscopes", Applied Physics Letters 66, 1842-1844 (1995).
3. P. G. Gucciardi, G. Bachelier, A. Mlayah, and M. Allegrini, "Interferometric measurement of the tip oscillation amplitude in apertureless near-field optical microscopy", Review of Scientific Instruments 76, 0361051-0361053 (2005).
4. C. C. Wei, P. K. Wei, and W. Fann, "Direct measurements of the true vibrational amplitudes in shear force microscopy", Applied Physics Letters 67, 3835-3837 (1995).