

XY-axis VCM fine stage 의 진동 측정을 이용한 AFM 의 분해능 향상.

(Resolution Improvement of AFM using the mechanical vibration measurement of an XY-axis VCM fine stage)

김철수† · 김용대* · 정종규† · 염우섭† · 박기환†

Chulsoo Kim, Yongdae Kim, Jongkyu Jeong, Woosub Yum, Kyihwan Park

1. 서론

AFM 은 cantilever tip 과 sample 사이의 interaction 을 이용한 sample 의 화학적 물리적 특성을 측정하는 장치로서 sub-nanometer 의 해상도를 낼 수 있다. 따라서 AFM 은 cantilever tip 과 sample 사이의 변위에 매우 민감하기 때문에, 기계적 진동 혹은 외란이 AFM 에 작용되면, AFM 의 이미지의 왜곡을 가져온다([1][2]). 따라서 AFM 의 이미지의 분해능을 향상시키기 위해서는 이런 기계적 진동은 제거되어야만 한다.

본 연구에서는 AFM 의 기계적 진동을 높은 sensitivity 로 측정하기 위해서, capacitive sensor 혹은 optical sensor 와 같은 displacement sensor 를 사용한 기존 연구([3][4])와 다르게 진동 측정을 위한 추가적인 센서로 velocity sensor 를 사용하는 방법을 제안한다. AFM 의 기계적 진동은 100~200Hz frequency 대역에서 수십 나노미터의 범위이기 때문에, displacement sensor 로는 그 진동을 측정하기가 쉽지 않다. Laser Doppler vibrometer 로 측정된 velocity signal 은 displacement 를 얻기 위해 적분되고, AFM 의 topography information signal 에서 제거된다. Velocity signal 을 사용하면, displacement sensor 에 비해서 주파수만큼 높은 sensitivity 를 갖는 velocity signal 을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 진동 주파수가 증가될수록 더 효율적이다. Velocity signal 을 사용하는데 주의해야 할 점은 전기 회로의 offset signal 에 의한 drift signal 이 발생 될 수 있다. 따라서 관심 있는 주파수 대역에서만 적분 기능을 수행하고 그 이하의 낮은 주파수 대역에서는 일정 게인을 갖는 기능을 할 수 있는 1st order low pass filter 를 사용한다.

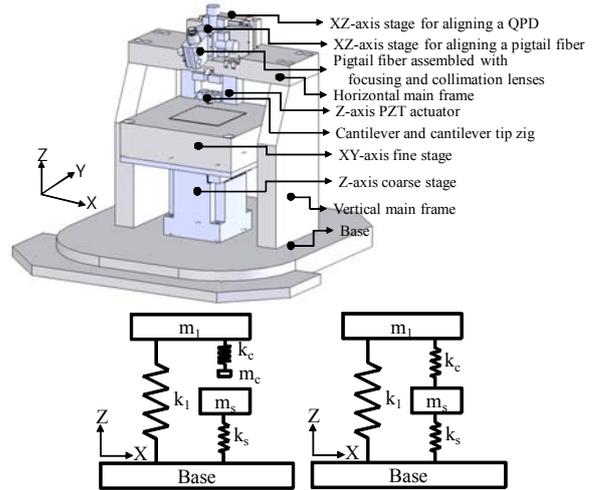
2. AFM 의 기계적 진동 해석

† 박기환; 광주과학기술원 기전공학과

E-mail : khpark@gist.ac.kr

Tel : (062) 970-2391, Fax : (062) 970-2384

* LG Electronics Co.



When the cantilever contacts to the XY-fine stage or not.

그림 1 (a)AFM 의 일반적인 configuration. (b) AFM 의 2 개의 lumped model

그림 1(a)는 AFM 의 일반적인 configuration 을 보여준다. 그림 1(b)는 AFM 의 cantilever 가 XY-fine stage 에 접촉했을 때와 그렇지 않을 때의 각각 2 개의 lumped model 를 보여준다. 여기에서 m_1 은 horizontal main frame, XZ-axis stage, Z-axis PZT actuator, cantilever 의 질량을 나타내고, k_1 은 vertical main frame 의 스프링 상수를 나타낸다. Z-axis coarse stage 가 rigid body 라고 하면, m_s 와 k_s 는 XY-axis Voice coil motor(VCM) fine stage 의 질량과 스프링 상수를 나타낸다. Cantilever 의 질량, m_c 가 무시되고 cantilever tip 이 XY-fine actuator 의 위의 sample 의 표면에 접촉한다면, m_1 과 m_s 는 스프링 상수, k_c 를 갖는 cantilever 의 스프링으로 직접 연결 될 수 있다. 그림 2 는 AFM 의 main frame 과 XY-axis fine stage 의 modal analysis 결과를 나타낸다. Main frame 의 1 차 bending mode 는 vertical main frame 에서 603Hz 에서 발생한다. XY-axis VCM fine stage 의 1 차 Y-axis 방향 deflection mode 는 77Hz 에서 발생한다. 이 해석은 100Hz 의 범위의 가진 신호에 의해서 XY-axis fine stage 가 가장 지배적으로 영향을 받지만, main frame 은 거의 영향을 받지 않는다는 것을 보여준다.

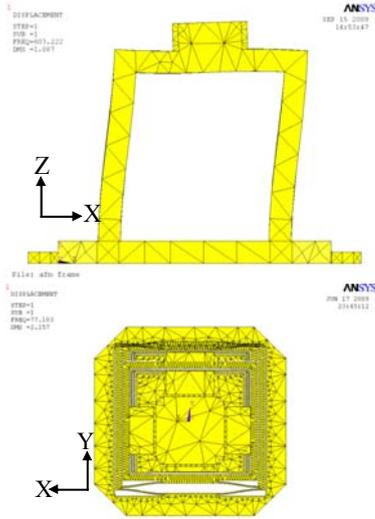


그림 2 main frame 과 XY-axis fine stage 의 model analysis

3. XY-axis VCM fine stage 의 진동 측정과 제거

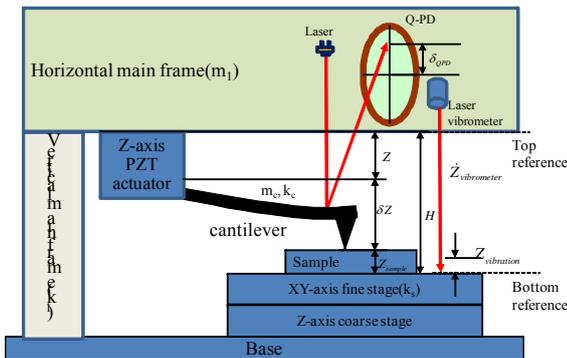


그림 3 XY-axis fine stage 의 진동을 측정하기 위한 configuration

그림 3 은 XY-axis VCM fine stage 의 진동을 측정하기 위한 configuration 을 보여준다. horizontal main frame 은 vertical main frame 에 의해 base 에 연결되고, quadrant photodiode(QPD)와 laser 는 horizontal main frame 에 부착된다. 여기에서 Z_{sample} 은 bottom reference 를 기준으로 한 측정할 sample 의 수직 displacement 이고, 즉 topography information 이다. Z 는 Z-axis PZT actuator 의 displacement 이고, cantilever deflection, δZ 는 QPD 를 이용하여 측정되는 δ_{QPD} 에 기계적으로 증폭된다. H 는 top reference 와 bottom reference 사이의 height 이다. 외부 가진에 의해서 XY-axis VCM fine stage 가 진동, $Z_{vibration}$ 을 갖게 되면, Z_{sample} 은 다음의 관계식을 갖는다.

$$H + Z_{vibration} = Z + \delta Z + Z_{sample} \quad (1)$$

$Z_{vibration}$ 을 측정하기 위해서 QPD 와 같이 horizontal main frame 에 부착되는 laser Doppler vibrometer 를 사용한다. Laser Doppler vibrometer 로부터 획득된 velocity signal 은 적분되어 displacement signal 을 얻게 되고, 다음의 topography information 관계식에서 직접 제거된다.

$$Z_{sample} = H - (Z + \delta Z + Z_{vibration}) \quad (2)$$

Velocity sensor 를 사용하게 되면, displacement sensor 에 비해서 진동의 주파수만큼의 높은 sensitivity 의 신호를 얻을 수 있는 장점이 있다. 진동 주파수가 증가될수록 더 효율적이다. Velocity signal 을 사용하는데 주의해야 할 점은 전기 회로의 offset signal 에 의한 drift signal 이 발생 될 수 있다. 따라서 관심 있는 주파수 대역에서만 적분 기능을 수행하고 그 이하의 낮은 주파수 대역에서는 일정 게인을 갖는 기능을 할 수 있는 1st order low pass filter 를 사용한다.

그림 4 는 XY-axis fine stage 의 진동의 영향이 고려된 AFM 의 force control block diagram 을 나타낸다. F_d 와 F_c 는 각각 cantilever tip 과 측정 sample 사이의 input force 와 output force 를 나타낸다. Z_{sample} 과 $Z_{vibration}$ 은 외란으로 고려되고, Laser Doppler vibrometer 로 측정된 $\dot{Z}_{vibration}$ 는 displacement, $Z_{vibration}$ 를 얻기 위해 1st order Low pass filter 로 적분되고, 식 (2)의 topography information 관계식에서 직접 제거된다.

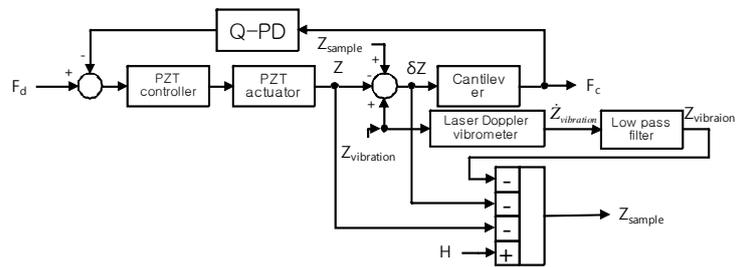


그림 4 XY-axis fine stage 의 진동의 영향이 고려된 AFM 의 force control block diagram

Acknowledge

본 연구는 생체나노기초기술 연구센터의 보조를 받아 수행된 결과임.

Reference

- [1] J. B. Thomson, and etc., "Assesing the quality fo scanning probe microscope design", Nanotechnology 12, pp 394-397, 2001.
- [2] Yongdae Kim, "Design parameter analysis of Atomic Force Microscope in the consideration of vibration", Doctor's thesis, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju, 2009.
- [3] G. Schitter and A. Stemmer, "Eliminating mechanical perturbation in scanning probe microscopy", Nanotechnology 13, pp 663-665, 2002.
- [4] A. W. Sparks and S. R. Manalis, "Atomic force microscopy with inherent disturbance suppression for nanostructure imaging", Nanotechnology 17, pp 1574-1579, 2006.