

XY-axis VCM fine stage의 진동 측정을 이용한 AFM의 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

AFM은 cantilever tip과 sample 사이의 interaction을 이용한 sample의 화학적 물리적 특성을 측정하는 장치로서 sub-nanometer의 해상도를 낼 수 있다. 따라서 AFM은 cantilever tip과 sample 사이의 변위에 매우 민감하기 때문에, 기계적 진동 혹은 외란이 AFM에 작용되면, AFM의 이미지의 왜곡을 가져온다([1][2]). 따라서 AFM의 이미지의 분해능을 향상시키기 위해서는 이런 기계적 진동은 제거되어야만 한다.

본 연구에서는 AFM의 기계적 진동을 높은 sensitivity로 측정하기 위해서, capacitive sensor 혹은 optical sensor와 같은 displacement sensor를 사용한 기존 연구([3][4])와 다르게 진동 측정을 위한 추가적인 센서로 velocity sensor를 사용하는 방법을 제안한다. AFM의 기계적 진동은 100~200Hz frequency 대역에서 수십 나노미터의 범위이기 때문에, displacement sensor로는 그 진동을 측정하기가 쉽지 않다. Laser Doppler vibrometer로 측정된 velocity signal은 displacement를 얻기 위해 적분되고, AFM의 topography information signal에서 제거된다. Velocity signal을 사용하면, displacement sensor에 비해서 주파수만큼 높은 sensitivity를 갖는 velocity signal을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 진동 주파수가 증가될수록 더 효율적이다. Velocity signal을 사용하는데 주의해야 할 점은 전기 회로의 offset signal에 의한 drift signal이 발생될 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 filter를 사용한다.

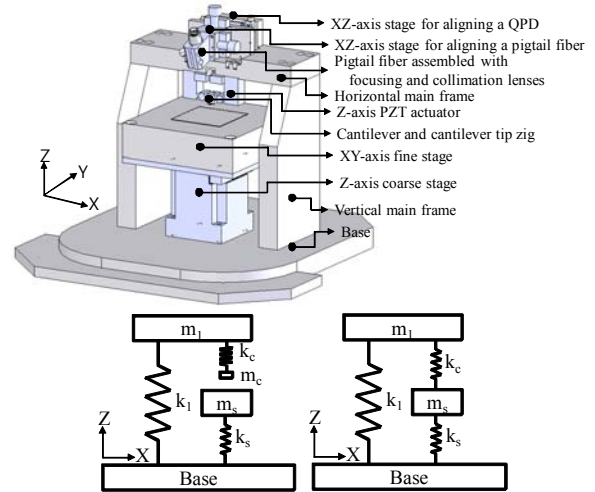
2. AFM의 기계적 진동 해석

† 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) AFM의 일반적인 configuration. (b) AFM의 2개의 lumped model

그림 1(a)는 AFM의 일반적인 configuration을 보여준다. 그림 1(b)는 AFM의 cantilever가 XY-fine stage에 접촉했을 때와 그렇지 않을 때의 각각 2개의 lumped model를 보여준다. 여기에서 m_1 은 horizontal main frame, XZ-axis stage, Z-axis PZT actuator, cantilever의 질량을 나타내고, k_1 은 vertical main frame의 스프링 상수를 나타낸다. Z-axis coarse stage가 rigid body라고 하면, m_s 와 k_s 는 XY-axis Voice coil motor(VCM) fine stage의 질량과 스프링 상수를 나타낸다. Cantilever의 질량, m_c 가 무시되고 cantilever tip이 XY-fine actuator의 위의 sample의 표면에 접촉한다면, m_1 과 m_s 는 스프링 상수, k_c 를 갖는 cantilever의 스프링으로 직접 연결될 수 있다. 그림 2는 AFM의 main frame과 XY-axis fine stage의 modal analysis 결과를 나타낸다. Main frame의 1차 bending mode는 vertical main frame에서 603Hz에서 발생한다. XY-axis VCM fine stage의 1차 Y-axis 방향 deflection mode는 77Hz에서 발생한다. 이 해석은 100Hz의 범위의 가진 신호에 의해서 XY-axis fine stage가 가장 지배적으로 영향을 받지만, main frame은 거의 영향을 받지 않는다는 것을 보여준다.

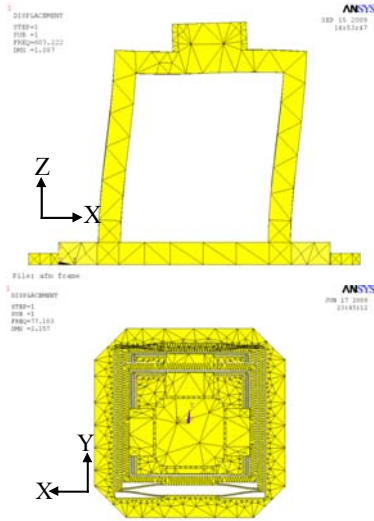


그림 2 main frame 과 XY-axis fine stage 의 model analysis

3. XY-axis VCM fine stage 의 진동 측정과 제거

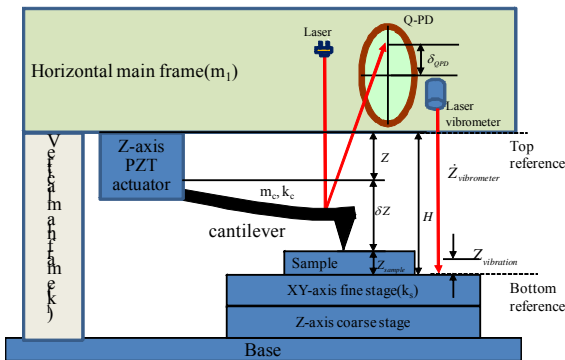


그림 3 XY-axis fine stage 의 진동을 측정하기 위한 configuration

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.

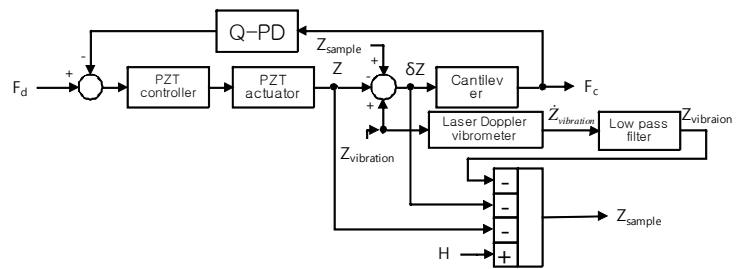


그림 4 XY-axis fine stage 의 진동의 영향이 고려된 AFM 의 force control block diagram

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.