

# VCM(voice coil motor)를 이용한 3차원 나노 형상 측정 시스템

정종규<sup>†</sup> · 염우섭\* · 박기환\*\*

## 3-D Nano Topology Measurement using VCM

Jongkyu Jung, Woosub Youm and Kiyhwan Park

**Key Words:** Atomic Force Microscopy (원자현미경), Voice coil Motor (보이스 코일 모터), Force control (힘 제어기법), vibration reduction control (진동 절감제어)

### Abstract

In this paper, vibration reduction techniques of a voice coil motor (VCM) actuator are presented for AFM imaging system. The damping coefficient of the actuator driven by VCM with a flexure hinge is quite low and it cause the about 30dB peak amplitude response at the resonance frequency. To decrease this peak response, we design and apply elliptical band-stop filters to xy and z axis VCM actuator. Frequency response of each actuator with filter is measured to verify the effect of the filters. As a sensor, capacitive sensor is used. Vibration reduction rate of the xy actuator with the filter is also measured while real AFM scanning condition. As another method, closed loop control with the capacitive sensor is applied to the xy axis actuator to add an electrical damping effect and vibration reduction rate measured. These vibration reduction rates with each method are compared. In the case of z axis actuator, the frequency response of force (gap) control loop is measured. For comparison, the frequency response using a conventional PID controller is also obtained. Finally, the AFM image of a standard grid sample is measured with the designed controller to analyze the effect in the AFM imaging.

### 1. 서론

산업의 고속·고집적화가 가속되며, 데이터 저장장치, nano lithography 등과 같은 산업 현장에서, 나노급 측정 및 생산공정 원자현미경의 수요는 점차 증가하고 있는 추세이다[1][2].

이러한 추세에 맞추어, 산업용 원자현미경의 특성을 만족시키기 위해서 고속 및 고 해상도 이미지 측정 및 손쉬운 장치의 작동, 정확성과 저렴한 가격이라는 항목은 반드시 해결되어야 할 중요한

항목들이다.

특히, 원자현미경을 구성하는 많은 요소 중에서, x,y 그리고 z축의 액츄에이터는 시스템의 정밀도와 대역폭을 결정하는 가장 중요한 요소임은 의심할 여지가 없다. Flexure hinge 구조를 갖으며, VCM에 의해 구동되는 정밀 x,y 그리고 z축 구동기는 선형거동, 넓은 작동영역, 양방향 구동과 같은 장점을 가지고 있어 산업용 원자현미경을 위한 구동기로 적합하다. 그러나, 이 구동기는 열드리프트와 작은 댐핑 계수와 같은 단점 또한 지니고 있다. 특히, VCM 구동기의 작은 댐핑 계수는 구동기의 공진 주파수에서 바람직하지 않은 피크응답을 보인다. 이러한 특성은 스캐너가 이동하는 동안 기계적 진동을 유발하고, z 방향 구

<sup>†</sup> 광주광역시 북구 오룡동 1번지 광주과학기술원  
기전공학과 센서&액츄에이터 연구실  
E-mail : j1023@gist.co.kr  
TEL : (062)970-2411 FAX : (062)970-

\* 광주과학기술원 기전공학과 센서&액츄에이터 연구실

\*\* 광주과학기술원 기전공학과 센서&액츄에이터 연구실

동기의 경우 이미징을 하는 동안 힘 또는 간극 대역폭을 제한하고, AFM 이미지에 노이즈를 더하게 된다. xy 스캐너의 경우도 스캐닝 중 진동을 유발하게 된다. 결과적으로, 이러한 특성은 AFM 이미징 속도를 느리게 하고, 측정 정밀도에 악영향을 주게 된다. 이러한 VCM 구동기에 진동을 저감하기 위해 보상용 필터를 적용했다. 보상용 필터는 구동기의 공진주파수의 피크 응답을 감쇠시킬 수 있도록 밴드 스탑 필터로 xy 그리고 z축 구동기의 특성에 맞게 설계되었다. 설계된 보상 필터의 성능을 검증하기 위해 구동기, 보상용 필터 그리고 보상된 구동기의 주파수 응답을 각각 측정하였다. 마지막으로 AFM 이미징시에 나타나는 효과를 확인하기 위해 표준 격자 샘플 및 bare wafer의 이미지를 측정하였다.

## 2. 보상 필터

AFM의 힘 제어를 위한 z-축 VCM 구동기의 구조와 기계적 설계는 이미 제안되었다.[4] Fig1.은 z축 구동기의 구조와 digital signal analyzer를 통해 측정한 주파수 응답을 보여준다. Fig 1.에서 볼 수 있듯이 z축 구동기는 단순히 질량과 스프링만으로 구성된 시스템으로 모델링 될 수 있다. 이때 코일과 구동기의 외관은 질량으로, Flexure hinge 구조는 구동기의 z축 운동을 정확하게 안내하는 역할을 하고, 이는 스프링으로 모델링 된다.

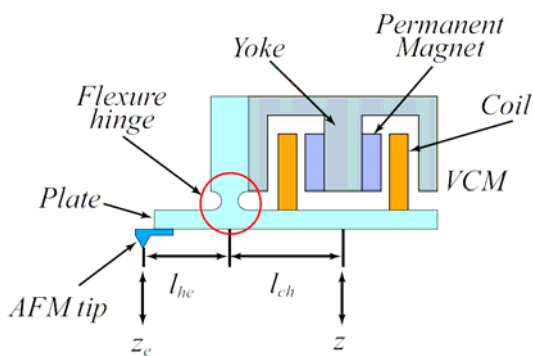
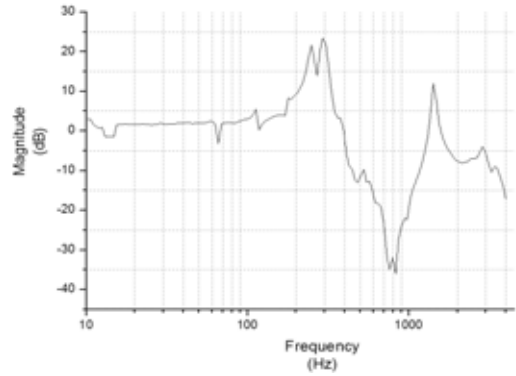


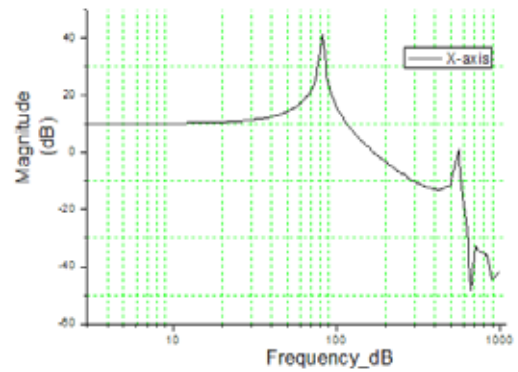
Fig 1. Structure of the VCM actuator

그러나 VCM 구동기에는 댐핑 역할을 하는 요소가 존재하지 않으며, 이로 인해 fig2 (a)에서 볼 수 있듯이 제안되어진 VCM 구동기는 공진 주파수에서 약 30dB의 크기를 갖는 공진피크를 갖게 된다. 이러한 상황은 x, y 각각의 구동기에서도 동일하

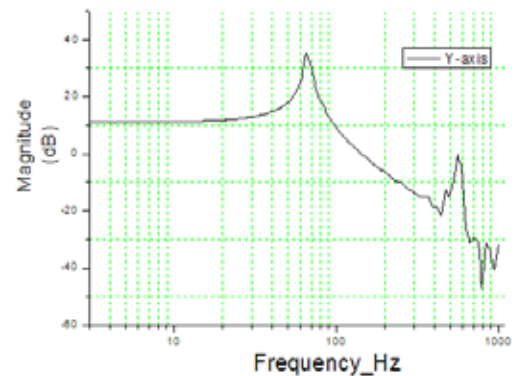
게 나타난다. Fig 2 (b),(c)는 x, y 각각의 구동기의 주파수 응답을 실험을 통해 얻은 결과이며, x,y 그리고 z축의 구동기가 대역폭을 제외한 동일한 특성을 지니고 있음을 보여준다.



(a) Z-axis actuator



(b) X-axis actuator



(c) Y-axis actuator

Fig 2. Measured frequency responses

구동기의 이러한 특성은 정밀 측정 시스템에 있어서 진동이라는 치명적인 결점을 야기한다. 만약, 시스템의 외부에서 시스템의 공진주파수 대역의 기계적 진동이 들어오거나, 혹은 센서 및

신호처리부에서 시스템의 공진 주파수와 동일한 대역의 노이즈가 발생을 한다면, 이 신호는 피이드 백 되어 에러 신호에 그대로 나타나게 된다. 이 에러 신호는 설계된 제어를 통해 제어 신호로써 AFM과 같은 정밀 계측시스템에 입력이 되어, 시스템의 발진 및 불안정성을 초래하며, 정밀 측정시스템에 있어서 측정되어진 데이터 혹은 이미지의 정밀도 및 신뢰성을 보장할 수 없게 된다.

이러한 문제점을 극복하기 위해서, 보상용 필터를 설계·적용을 하였다. 보상용 필터는 x, y 그리고 z축 각 구동기의 공진주파수 대역의 공진피크를 제거함으로써, 시스템의 응답특성을 단순하게 바꾸었을 뿐만 아니라, 제어를 통해 나오는 제어 신호 중 시스템의 공진 주파수 대역에 해당하는 신호를 사전에 차단함으로써 발진을 막고, 시스템의 안정성을 확보하는 역할을 한다. 또한 우리는 x, y 구동기의 정밀도를 보장하기 위해 페루프를 구성하였으며, 이를 위해 정전위 센서를 개발하였다. 제어기는 xy 스캐너가 30hz의 대역폭을 갖으며, 공진피크가 생기지 않도록 설계되었다. Fig 3은 제어를 설계하기위해 x축 구동기의 주파수 응답을 모사한 것이며, Fig 4는 시뮬레이션을 통해 설계되어진 제어기의 주파수 응답을 보여준다.

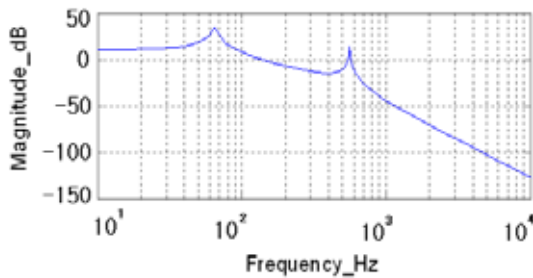


Fig 3. The frequency response of the x-axis actuator for simulation

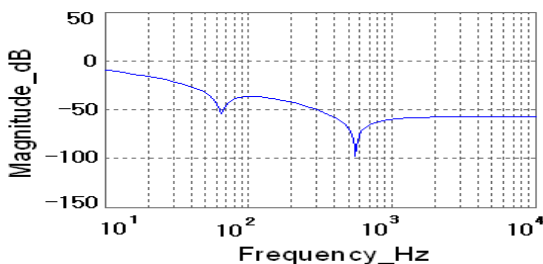


Fig 4. The frequency response of designed controller

### 3. 실험결과

Fig 5.은 VCM actuator를 사용한 xy 스캐너의 x축 open loop 주파수 특성을 보여주며, 이를 기반으로 하여 설계되어진 보상용 필터의 주파수 특성 및 보상용 필터가 적용된 VCM actuator의 주파수 특성을 보여준다. 보상용 필터를 사용함으로써 actuator 구동시 공진점의 영향을 제거하였음을 open loop 주파수 특성을 통해 확인할 수 있다.

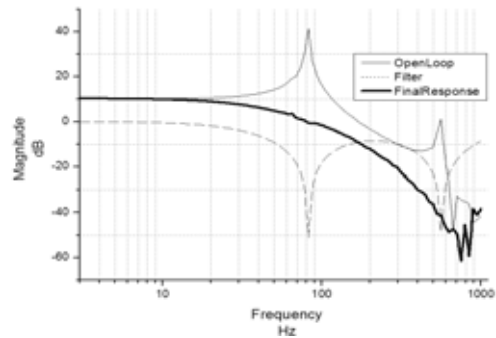


Fig 5. The frequency responses of the bare x-axis nano scanner, compensation filter, and nano scanner with the filter.

Fig 6.은 설계된 제어기의 주파수 응답을 보여준다. Fig 4와 비교하였을 때 그 특성이 시뮬레이션의 결과와 동일하게 설계되었음을 확인할 수 있다.

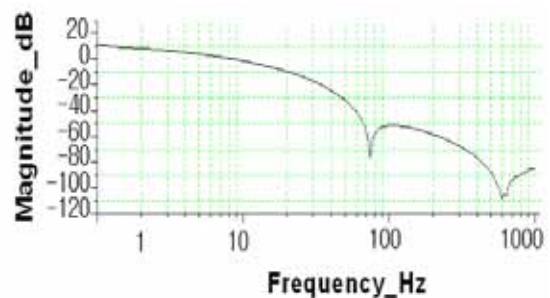


Fig 6. The frequency response of designed controller

Fig 7.는 보상용 필터와 설계된 제어를 적용한 VCM 구동기의 주파수 특성이다. 이 결과로 제어기 설계의 목표치인 xy 스캐너가 30hz의 대역폭을 갖고 있으며, 공진피크가 생기지 않도록 설계되었음을 알 수 있다.

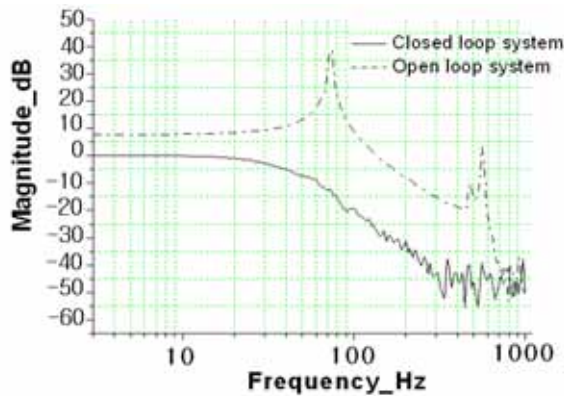


Fig 7. The frequency response of closed loop system (solid), and open loop system (dot).

Fig 8.의 위의 그림은 VCM actuator를 이용한 xy 스케너를 x축으로 0.2mm/sec로 이동시킴으로써 발생하는 진동을 레이저 바이브로미터를 통해 측정된 결과를 보여주며, 아래의 그림은 동일한 조건에서 보상용 필터를 적용 후 결과를 보여 준다. 보상용 필터를 적용 전에는 250nm의 진동이, 사용 후 최대 진동이 25nm 보다 작게 줄어들었다.

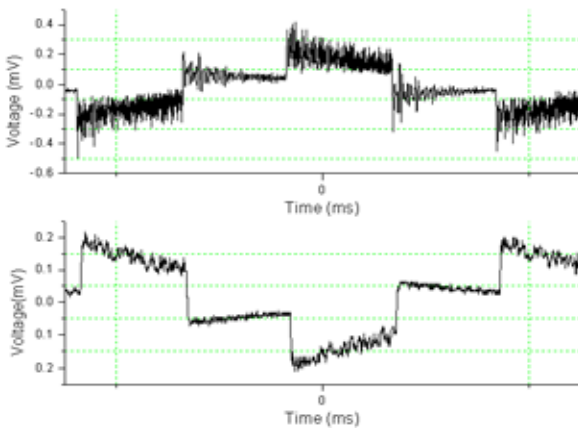


Fig 8. The x-axis vibration of the nano scanner (up), and nano scanner with the filter (down) while scanning

Fig 9.는 측정된 이미지로부터 VCM actuator의 작은 댐핑 계수로부터 기인된 진동 노이즈의 영향을 보여주는 그림이다. 이 이미지는 3um의 피치에 113nm의 depth를 갖는 표준 격자형 샘플을 측정 하였다.

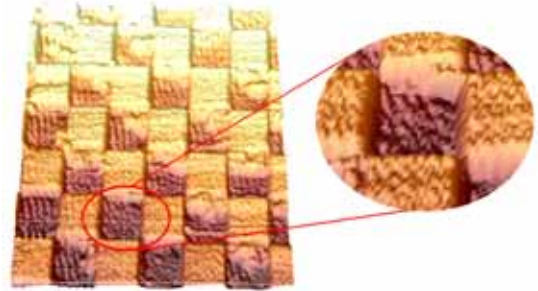


Fig 9. Contact type AFM image with the developed xy and z-axis VCM nano scanner. (10um x 10um)

Fig 10.은 보상용 필터를 x,y,z축 actuator에 적용 후 측정을 통해 얻은 결과이다. 이때 사용되어진 시편은 Fig 9.와 같은 표준 격자형 샘플이며,

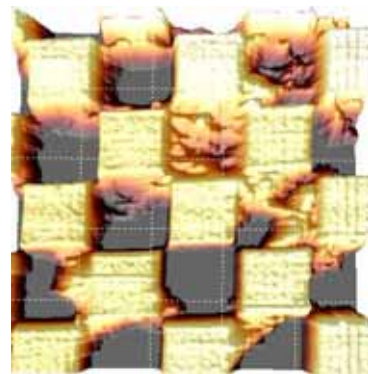


Fig 10. Contact type AFM image of standard grid sample with the changed xy and z-axis VCM nano scanner. (10um x 10um)

Fig 11.은 보상용 필터를 적용하지 않고 Bare wafer를 측정 한 이미지 이다. 이미지 측정 전 진동 절연기를 통해 외부 진동을 차단한 상태에서 이미지의 측정이 이루어 졌다. Bare wafer의 이미지에서 나타나듯이, VCM actuator의 공진 주파수로 인한 진동은 나노급의 정밀한 이미지를 얻는데 치명적 악영향을 미치는 것을 알 수 있다.

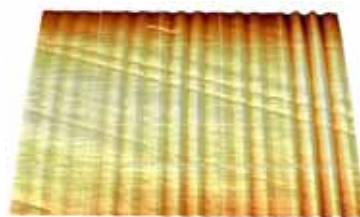


Fig 11. A measured bare wafer by AFM usong developed VCM nano scanner (100um x 100um)

Fig 12.는 bare wafer이다. Fig 11.과 비교시 이미지의 진동이 저감되었음을 확인 할 수 있으며, Fig 11.에서 진동에 기인된 주름에 의해 보이지 않던 시편의 표면 상태가 측정되었음을 볼 수 있다.

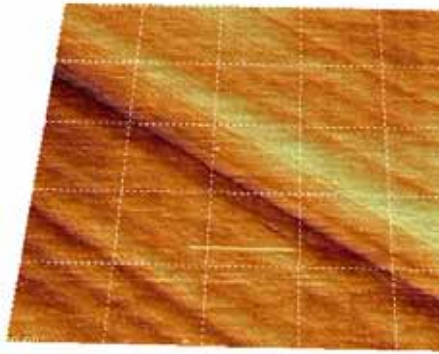


Fig 12. A measured image of the bare wafer by AFM using the changed stage (100um x 100um)

#### 4. 결 론

본 논문에서는 VCM을 이용한 나노 스캐너의 댐핑계수가 작은 기계적 구조에서 비롯되는 진동을 절감하기 위해 보상용 필터를 제안하였다. 제안된 필터의 성능을 확인하기 위해, 각각의 구동기에 보상용 필터를 적용했을 경우와 그렇지 않을 경우를 주파수 응답을 측정하여, 공진현상이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 실제 스캐닝 조건에서 나노 스캐너의 진동을 측정, 제안된 필터의 진동 저감 효과를 확인 했다. 마지막으로 실제 AFM이미지를 측정, 나노스캐너의 진동 저감이 AFM이미징에 미치는 효과를 확인했다..

#### 참고문헌

- [1] K. Wildeer, C.F. Quate, B. Singh, D.F. Kyser, Electron beam and scanning probe lithography: a comparison, J. Vac. Sci. Technol. B 16 (1998) 3864-3873.
- [2] E. Betzig, J.K. Trautman, R. wolfe, E.M. Gyorgy, P.L. Finn, M.H. Kryder and C.H. Cahang, Near-field magnetto-optic and high density data storage,Appl.Phys. Lett., Vol. 61, 1992, 142-144.
- [3] Sung-Q Lee, Eun-KyungKim,Woo-Sub Youm, Kyi-Hwan Park, and Kang-Ho Park,Bi-direction controllable AFM head driven by VCM with

flexure hinge, Proc. Of 4<sup>th</sup> euspen. 2004.

- [4] WooSub Youm, Sung-Q Lee, and KyiHwan Park, Optimal design and control of a voice coil motor driven flexure hinge for AFM actuator, Proc. Of AIM2005, 2005.