

# 나노 구조체 측면 측정을 위한 드리프트를 최소화한 3D AFM의 회전 Z 스캐너 개발

## Development of rotational z-scanner for 3D-AFM to measure nano structure side wall property

\*안병운<sup>1</sup>, #조상준<sup>2</sup>, 이주석<sup>2</sup>, 박상일<sup>2</sup>

\*B. W. Ahn<sup>1</sup>, #S.-J. Cho(msjcho@ParkAFM.co.kr)<sup>2</sup>, J. S. Lee<sup>2</sup>, S.-I. Park<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> (주) 파크시스템스

Key words : Kinematic coupling, Atomic force microscope, Rotation Z-scanner, Drift

### 1. 서론

최근 들어 점차 소형화, 고집적화가 추구되는 반도체 산업에서는 미세한 소자의 3D 형상, 모서리 거칠기 (line edge roughness), 선폭변이도 (line width variability), 옆면 각도 (sidewall angle) 등의 특성을 정확히 측정할 수 있는 측정 장비에 대한 요구가 증가되고 있다. line width variability, sidewall angle을 측정할 수 있는 장비로는 CD-SEM 및 TEM이 대표적이다. 하지만 이 기술들은 선폭 110nm 이상에서 측정 성능이 검증되고 있으며, 선폭 65nm 이하에서는 측정 성능이 현저히 저하되어 사실상 적용이 힘들다. 이에 대한 대안으로 원자 단위 구조를 측정할 수 있는 원자현미경 (Atomic Force Microscope; AFM) 기술을 적용하여 수직면이나, 이보다 더 안으로 들어가서 위에서는 보이지 않는 돌출 (overhang) 구조 (Fig.1a)의 옆면을 측정할 수 있는 3D AFM 개발 요구가 증가하고 있다. 하지만, AFM은 기본적으로 수직의 탐침이 시료를 스캔하는 방식으로 시편의 side wall이나 아래부분이 잘록한 (undercut) 형상을 갖는 overhang 모양을 측정하기 힘든 단점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위해 나팔 모양의 (flared) AFM 팁 (tip)을 사용한 CD-AFM<sup>[1]</sup>이 개발되었으나, 팁 자체가 높은 가로 세로비 (high aspect ratio)를 갖는 보통의 AFM tip보다 aspect ratio가 낮기 때문에 측정 이미지의 정밀도 및 측정 속도 감소의 단점을 보이고 있다. 게다가 CD-AFM의 overhang 측정은 사용된 flared tip보다 undercut이 작은 경우에만 가능하다는 큰 제약과 안고 있다.

이에 본 연구팀에서는 high aspect ratio를 갖는 AFM tip을 사용하여, 정밀도와 스캔 속도에서 손해를 보지 않으면서도 시편의 벽면뿐만 아니라 깊은 overhang 형상까지 측정이 가능한 새로운 개념의 3D AFM에 대한 연구를 수행하였다<sup>[2]</sup>. 3D AFM의 구현

을 위해 반드시 필요한 핵심 기술로는 다양한 각도로 AFM tip을 회전 시킨 후 정확히 고정하여 주는 기술이다. 이를 위해서는 AFM tip을 다양한 각도로 회전 시켜 줄 수 있는 드리프트가 최소화된 (drift free) 회전 z 스캐너가 필요하며 이는 회전 구조물 (rotation stage)과 정확한 위치에 고정하여주는 고정 구조물 (lock /unlock stage)로 구성된다. Rotation stage는 스텝 모터와 원호 운동을 안내하는 R 가이드로 구성되며, lock/unlock stage는 복합구동결정 (kinematic coupling) 방법 중 위치 결정 반복도가 가장 우수한 kelvin clamp<sup>[R3]</sup>를 응용하여 개발하였다.

### 2. 3D-AFM의 측정 원리

측정 원리는 AFM의 Z 스캐너 (scanner)를 좌우로 기울여 시편을 측정하는 방식이다 (Fig. 1a). 측정 과정은 Z 스캐너를 기울여 한쪽 sidewall을 측정 한 후, 반대쪽으로 기울여 다른 쪽 sidewall을 측정하게 되는데, 이렇게 Z 스캐너를 기울이는 구조가 가능할 수 있었던 것은 가장 많이 보급된 AFM의 튜브스캐너 대신 Fig. 1b에서와 같이 XY와 Z축이 분리된 구조를 가지고 있었기 때문이다. 좌우로 기울어지는 각도는 ±38°로, 38°의 undercut을 갖는 overhang 구조까지 측정이 가능하다.

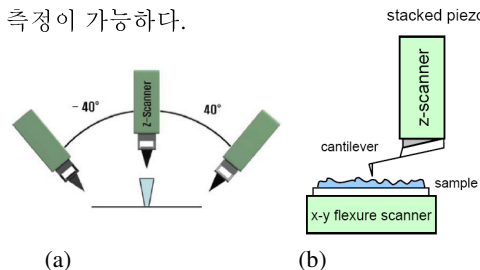
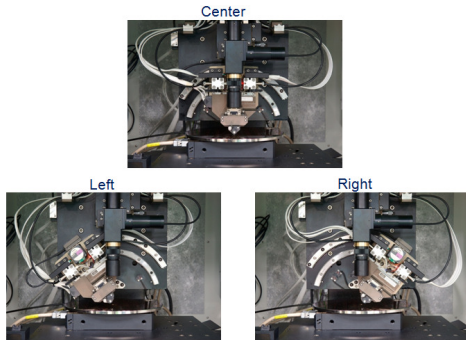


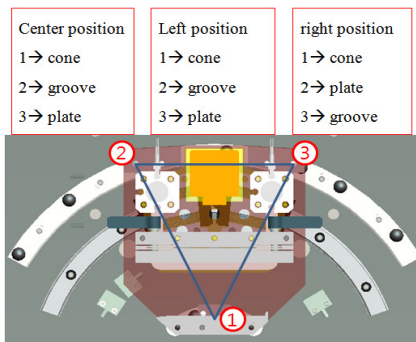
Fig. 1 (a) Scanning probe motion for overhang structure<sup>[2]</sup>, (b) Conceptual diagram of the AFM system<sup>[2]</sup>

### 3. 시스템 디자인

나노 구조물의 side wall 측정을 위한 3D AFM의 drift free rotation z-scanner의 핵심 기술은 일정 각도로 AFM tip을 회전하는 구동 메커니즘과 회전 구동에 의한 motion drift 현상을 최소화하는 lock/unlock 메커니즘 개발로 구분할 수 있다.



(a) XE-3DM system



(b) kinematic mount process

Fig. 2 Rotation motion and kinematic mount mechanism

AFM tip과 Z-scanner로 구성된 AFM head의 회전 구동력은 Fig 2 (a)에서 나타낸 바와 같이 step motor와 기어 (rack & pinion) 방식으로 설계되어 있다. 이때 rack gear는 회전 모션을 위해서 일정 곡률이 적용된 ring gear의 형태로 설계되어 있으며, 안내면은 THK사의 LM guide 방식의 R-guide(W/ pre load)를 적용하였다. 또한 AFM head의 lock/unlock에 대한 안정적 모션을 위해서 전통적인 기구학적 커플링 방식에서 위치 결정 반복도가 가장 우수한 kelvin clamp(V-groove, cone, flat)를 응용하였다. 이를 통해 기구학적 방식의 lock/unlock mount를 개발 하였으며, 회전 방향 및 각도에 따른 cone의 위치는 고정되며, V-groove, flat의 위치는 Fig. 2(b)에 나타낸 바와 같이 일정하게 변화 되도록 설계 되었다.

### 4. 결과 및 결론

개발된 rotation Z-scanner(AFM head)를 center(0도), left(-38도), right(+38도)로의 위치 변경을 1,000회 반복하고 각 위치마다 lock/unlock을 진행하였다. 이때 Tip의 위치를 vision pattern matching을 이용하여 tip의 위치 반복정밀도를 분석하였다. 이때 사용된 광학렌즈의 해상도는 250nm이다. rotation z-scanner(AFM head)에 대한 성능 평가 결과는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 각 위치에서의 위치 반복정밀도는 center 0.1, left 0.2, right 0.3  $\mu\text{m}$ 이다. 또한 이때의 motion drift는 15 nm/min이다. 이는 나노 구조물의 초정밀 AFM 측정을 위해서 필요한 수준의 결과로 다양한 나노 형상 측정에 사용될 수 있다.

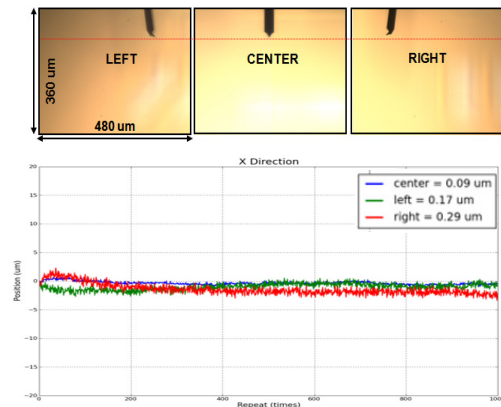


Fig. 3 Repeatability test results of rotation z-scanner

### 후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업의 지원을 받았음 프로젝트번호 (ISTDP10033633)

### 참고문헌

1. Bruker-axs.com (X3D system)
2. S.J. Cho, B.W. Ahn, J.H. Kim, J.M. Lee, Yueming Hua, Y.K. Yoo and S. I. Park, "Three-dimensional imaging of undercut and diswall structures by atomic force microscopy," Rev. Sci. Instrum. 82, 023707, 2011.
3. A. Slocum, "Kinematic coupling: A review of design principles and applications," Machine tools & Manufacture, 50, 310-327, 2010.