

## 부피 간섭계를 통합한 원자력간 현미경

# Atomic force microscope integrated with volumetric interferometry

진중환, 김승우  
한국과학기술원 기계공학과  
jinjong@kaist.ac.kr

산업이 발전함에 따라 나노기술(nano-technology)을 바탕으로 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 반도체(semiconductor) 관련 산업, MEMS(Micro Electro Mechanical System), 생명 공학 등에 적용되는 기술들이 그 대표적인 예라고 할 수 있다. 이런 기술들에는 재료(material), 미세 제작(manufacturing) 기술, 노광(lithography) 기술, 측정(metrology) 기술 등이 있으며, 특히 측정 기술은 검증, 평가하는 차원에서 그 중요성이 더해지는 추세이다.

길이(length)의 정의는 요오드 안정화 He-Ne 레이저의 파장으로 정의하고 있으며<sup>(1)</sup>, 측정 결과가 신뢰성을 갖기 위해서는 길이 표준에 소급되어야 한다. 하지만 대부분의 기계식, 전자식 측정기나 변위 센서들은 길이 표준에 대한 소급성(traceability to the length standard)을 갖지 못하며, 주기적으로 길이 표준에 대한 보정(calibration)을 해야 한다. 이런 보정 작업에 있어 가장 간단한 방법 중에 하나가 표준시편을 통해 보정하는 방법이며, 이런 표준 시편 자체를 측정하고 평가하는 일은 매우 의미 있는 일이다. 이런 이유들로 여러 나라의 표준기관들에서는 표준 시편의 보정 및 평가에 대한 노력들이 계속 되어지고 있다.<sup>(2,3)</sup>

나노 단위의 측정에서 많이 사용되어지는 측정방법 중 하나가 AFM(Atomic Force Microscope)이다. AFM은 광학식 측정방법이 가지고 있는 회절 한계를 극복하며, SEM(Scanning Electron Microscope)과 같이 높은 에너지의 전자를 쇄어줌으로써 시편의 표면을 손상시키지도 않으며, 양자역학적 터널링(quantum tunneling) 현상을 이용하여 측정 범위가 도체의 표면으로만 제한되는 STM(Scanning Tunneling Microscope)의 단점들을 극복한 방법이다. 하지만 AFM은 그림 1과 같이 거리에 따른 원자간 힘을 캔틸레버(cantilever)의 휨으로 검출하여 형상을 측정하며, 이런 휨을 검출하는 방식들에 주로 사용되는 광학식 지렛대(optical lever) 방법이나 피에조 저항체(piezo resistive material)를 사용하는 하는 방법들은 길이 소급성을 갖지 못한다. 본 논문에서는 새로운 개념의 '길이 소급성을 갖는 AFM(metrological AFM)'을 제안하고자 한다. 측정 결과에 길이 표준에 대한 소급성을 주기 위해 2003년 KAIST에서 개발된 부피 간섭계(volumetric interferometer)<sup>(4,5)</sup>를 고분해능을 갖는 접촉모드(contact mode) AFM에 통합하여 시스템을 구성하였고, 이를 검증하기 위한 기초 실험으로써  $3 \mu m$  피치를 갖는 표준시편을 측정하였다.

본 실험에 사용된 AFM은 팁과 시편사이의 거리를 일정하게 유지하여 측정하는 일정 힘 방식(constance force mode)을 사용하였고, 일정한 힘을 유지하기 위해 DSP(Digital Signal Processor)를 통해 실시간 제어를 하였다. XYZ-스캐너(scanner)는 플렉서 스테이지(flexure stage) 구조로 되어 있으며, 행정은  $100 \mu m(X) \times 100 \mu m(Y) \times 20 \mu m(Z)$  이며, 수평(lateral) 방향 분해능은  $1 nm$ , 수직(vertical) 방향 분해능은  $0.1 nm$ 이다. 또, 원하는 측정영역까지 이동하고, 시편에 팁을 가까이 근접시키기 위해서는 스캐너의 행정(stroke)으로는 한계가 있기 때문에 Coarse motion이 가능한 XYZ 수동(manual) 스테이지를 사용하였다. 캔틸레버의 휨 검출 방법은 널

리 사용되어지는 광학식 지렛대 방법이 아닌 컨틸레버 뒷면에 피에조 저항 물질(piezo-resistive material)이 도포된 'self-sensing tip'을 사용하여, 컨틸레버의 휨을 저항이 변화하는 형태로 검출하였다.

부피간섭계는 그림 2와 같이 두 개의 단일 모드 파이버(single mode fiber)에서 나온 구면파들이 간섭하여 공간상의 간섭무늬를 만들게 된다. 공간상의 간섭무늬는 광 검출기 배열(photo-detector array)에서 일부분이 검출되어지고, 검출된 광 강도(intensity)의 위상(phase) 정보를 이용하여 두 파이버의 xyz-좌표를 얻게 된다. 이 과정에서 2 × 2 커플러(coupler)와 링(ring) 형태의 PZT를 사용하여 하나의 구면파에 phase-shifting 기법을 적용하며, 광원으로는 633 nm의 He-Ne 레이저를 사용한다.

본 논문에서 사용된 실험 장치는 앞서 언급한 부피 간섭계와 AFM을 통합하여 그림 3과 같이 구현하였으며,  $3 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ 의 피치를 갖는 표준시편을 측정하였다. 측정영역  $10 \mu\text{m}$ 에서 200점을 얻었으며, 10회 반복 측정하였다. 측정된 시편의 단면(profile)은 그림 4와 같으며, 평균 피치는  $2.952 \mu\text{m}$ 이며, 표준 편차는  $31.5 \text{ nm}$ 이다.

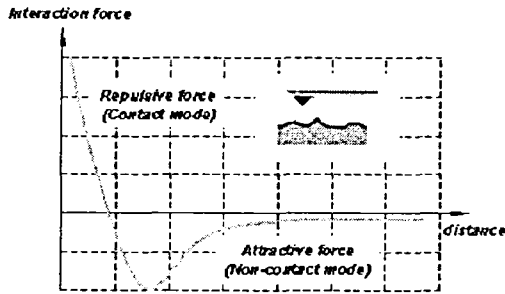


그림 1. 원자력간 거리에 따른 원자간 힘

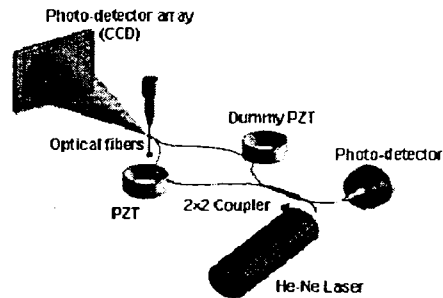


그림 2. 부피 간섭계의 개요

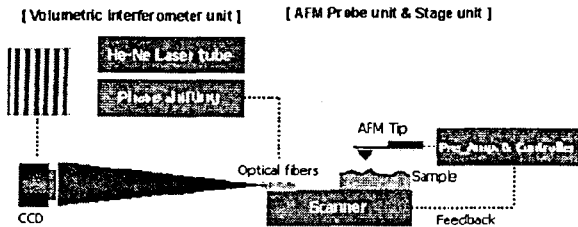


그림 3. 실험 장치의 개요

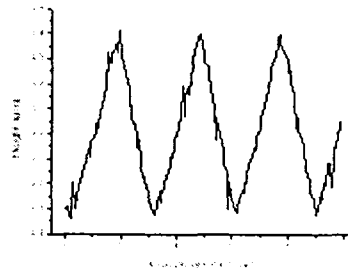


그림 4. 피치 측정 결과

1. 한국표준과학연구소 길이연구실(<http://length.kriss.re.kr>)
2. J. Schneir 外, "Design of an atomic force microscope with interferometric position control," J. Vac. Sci. Technol., B, 12, pp.3561-3566, 1994.
3. S. Gonda 外, "Real-time,interferometrically measuring atomic force microscope for direct calibration of standards", Rev. Sci. Instrum, 70, pp.3362-3368, 1999.
4. Rhee, Hyug-Gyo, Kim, Seung-Woo, "Absolute distance measurement by two-point diffraction interferometry", Applied Optics, Vol. 41, No. 28, pp.5921-5928, 2002.
5. Kim, Seung-Woo 外, "Volumetric Phase-Measuring Interferometer for Three-Dimensional Coordinate Metrology," Prec. Eng., Vol. 27, No. 2, pp.205-215, 2003.