

# 근접장 주사 광학 현미경의 고감도 거리조절 센서로써 수정 진동자의 비대칭 주파수 응답특성에 관한 연구

## Investigation of resonance response in near-field scanning optical microscope using an asymmetrical response of tuning fork as a distance-control sensor

유장훈, 이재훈, 임상엽, 박승한  
연세대학교 이과대학 물리학과  
e-mail : [john2000@hanmir.com](mailto:john2000@hanmir.com)

근접장 광학 현미경은 미세구조에 대한 세세한 정보를 얻기 위해서 시료 표면 부근에 국소적으로 구속되어 있는 진행하지 않는 파(evanescent wave)를 검출함으로써 회절한계를 뛰어넘는 분해능을 얻을 수 있다.<sup>(1,2)</sup> 이를 위해서는 관측광의 파장보다 작은 직경의 광섬유 탐침을 이용해서 시료와 탐침 간 거리를 파장보다 짧게 유지시키는 shear-force 검출에 의한 시료-탐침 거리 유지가 필수적이다. 이러한 shear-force 검출은 외부의 광원을 사용하는 광학적인 방법과 수정 진동자(tuning fork)의 공명특성을 이용하는 방법이 알려져 있으나 광학적인 노이즈를 줄일 수 있고 구성의 편리성으로 후자의 방법이 널리 사용되고 있다.<sup>(3-6)</sup> 탐침은 주로 광섬유의 끝을 뾰족하게 만들고 100nm이하의 열린조리개 주위에 금이나 알루미늄 코팅을 하여 사용한다. 수정진동자의 공명특성을 이용한 Shear force 검출에 대한 많은 연구가 있었으나 감도를 증대시키기 위한 수정 진동자의 공명특성을 개선하고자 하는 연구는 상대적으로 없었고 이에 대한 한계를 보고한 예는 있다.<sup>(5)</sup> 이는 수정 진동자의 공명특성이 부착 환경에 따라 매우 민감하게 변화하고 또 이를 인위적으로 조절하는 것이 상대적으로 어렵기 때문이었다. 본 연구에서는 그림1과 수정 진동자를 PZT 평판에 부착한 후 수정 진동자의 한쪽 다리에 광섬유 탐침을 부착하였다. PZT 평판에 코사인으로 변화되는 전압을 인가하여 평판에 진동을 가하면 수정 진동자의 공진주파수 근방에서 진동자로부터 발생하는 전류를 검출할 수 있다. 근접장 주사 광학 현미경에서 광섬유 탐침이 시료의 표면에 접근할 경우에 탐침과 시료간의 shear-force에 영향을 받아 탐침의 진동폭이 줄어들게 되며 또한 공진주파수가 고주파 대역으로 이동하는 특성이 있다.<sup>(3,4)</sup> 이러한 공진주파수의 변화 특성을 이용하면 탐침-시료간의 거리를 일정하게 유지할 수 있고, 표면형상을 계측할 수 있다.

거리조절 수단으로써 사용되는 수정 진동자의 신호는 공진주파수의 저주파 영역의 경사도에 따라 그 감도가 결정되는데 그림 2(a)는 수정 진동자의 주파수 응답 특성이 비대칭적인 경우에 관측된 결과를 보여준다. 대칭적인 경우와 비교하여 2배 가까운 특이상수 값(최대  $Q=2730$ )을 얻을 수 있었고 저주파수 영역의 신호가 현격히 줄어들고 외부 인가 전압을 증가시켜도 크게 커지지 않는 것을 확인하였다. 이는 거리조절 센서로써 수정진동자의 신호가 매우 높은 신호 대 잡음비(S/N)를 보임을 알 수 있다. 이러한 비대칭적인 응답특성을 얻기 위하여 PZT 평판을 비대칭적인 형태로 변형하고 저주파수 영역에서 신호의 급격한 감소를 얻을 수 있었으며, 이러한 비대칭적인 주파수 응답특성을 신호로 사용하는 경우

에 매우 높은 해상도(~70nm)와 거리조절 감도(~0.6nm)를 확인 할 수 있었다. 광섬유 탐침은 100nm의 열린조리개를 가지고 있으며 그 외부에 200nm 정도의 금속코팅이 됨을 고려하면 전체 외경이 500nm 정도 된다. 이러한 큰 구경의 탐침으로 100nm 크기의 피트가 있는 샘플을 주사하고, 대칭적인 경우와 비교하여 보다 선명한 표면형상을 획득할 수 있었다. 본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업 (M1-0203-00-0082) 지원을 받아 수행되었습니다.

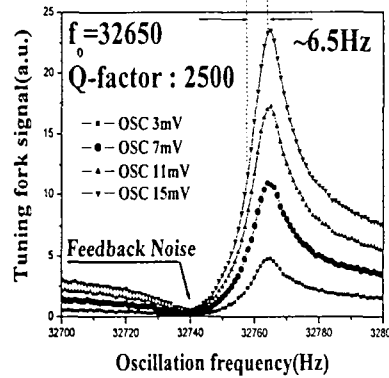
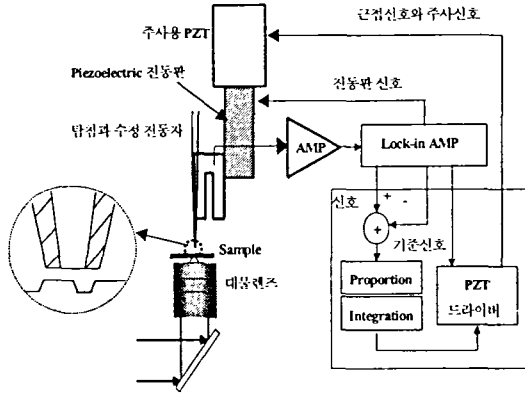


그림 1. 근접장 주사 광학현미경의 구조

그림 2. 수정진동자의 비대칭 주파수특성

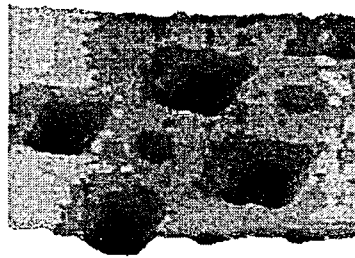


그림 3. 탐침으로 주사한 시료의 표면형상 (10 x 10 μm)

1. E. Betzig, M. Isaacson, and A. Lewis, Appl. Phys. Lett. 51, 2088 (1987).
2. E. Betzig, J. K. Trautman, T. D. Harris, J. S. Weiner, and R. L. Kostelak, Science 251, 1468 (1991).
3. Khaled Karraia, Robert D. Grober, 1842 Appl. Phys. Lett. 66, 1842 (1995)
4. A.G.T.Ruiter, J.A.Veerman, K.O.van der Werf, and N.F.van Hulst, Appl. Phys. Lett. 71, 28 (1997)
5. R. D. Grober, J. Acimovic, J. Schuck, D. Hessman, P. J. Kindlemann, J. Hespanha, and A. S.Morse, K. Karrai, I. Tiemann, and S. Manus, Rev. Sci. Instrum. 71, 2776 (2000).
6. W. A. Atia and C. C. Davis, Appl. Phys. Lett. 70, 405 (1997).

F  
B