고감도 Shear Force 센서의 공진특성에 관한 이론적 연구

Theoretical investigation of the frequency response of high sensitivity shear force sensors

이재훈, 유장훈, 임상엽, 박승한
연세대학교 물리학과
brasswhite@yonsei.ac.kr

근접장 현미경(NSOM)에서 근접장 영상을 얻기 위해서는 광학적 개구와 시료 사이의 거리가 파장보다 매우 작아야 한다. 일반적으로 시료와 10~20nm 정도를 유지해야 하는데 이를 위해 다양한 거리 유지 방식이 제시되었다. 현재 고감도 quartz tuning fork($f_0 = 32768Hz$)에서 나오는 신호로 탐침과 시료 사이의 shear force를 측정하여 거리를 제어하는 방법이 가장 널리 사용되고 있다.[1] 이 경우 공진특성 곡선의 Q-factor와 노이즈의 크기가 근접장 현미경의 해상도를 결정한다. 본 연구에서는 이와 관련하여 고감도 shear force 센서의 공진특성에 관하여 이론적인 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 그림1과 같이 tuning fork의 한쪽 팔은 광섬유 탐침이 장착 되어 있고 반대쪽은 dithering oscillator에 붙어 있는 외부여기방식을 채택하였다. 이와 같이 외부 조건이 비대칭적인 경우 tuning fork의 공진특성곡선은 자체 여기 방식과 비교할 때 변형이 되어 공진의 극치가 여러 주파수에서 나타나거나 비대칭적인 공진특성을 보일 수 있다. Shear force에 대하여 가장 민감한 반응을 보이는 32768Hz 근처의 공진극치의 모양은 크게 3가지 경우로 나눌 수 있는데 첫 번째로는 대칭적으로 나오는 경우이다.(그림2) 비록 비대칭적인 환경에서 진동하고 있지만 비대칭성에 의해 나타나는 항들이 억제 될 경우 비교적 대칭적인 특성곡선을 얻을 수 있다. 하지만 dithering oscillator의 진폭을 증가시키면 비대칭성에 의해 나타나는 공진의 극치들이 있음을 알 수 있다.

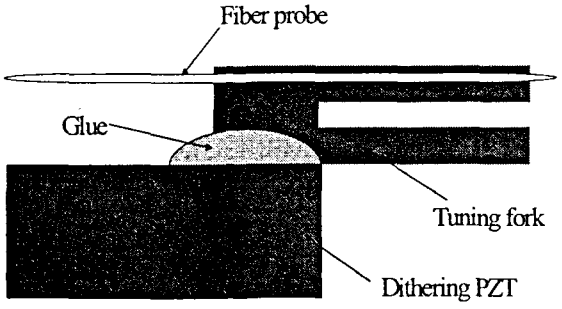


그림1. 고감도 Shear force 센서

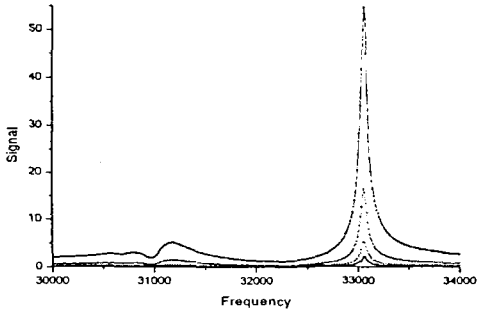
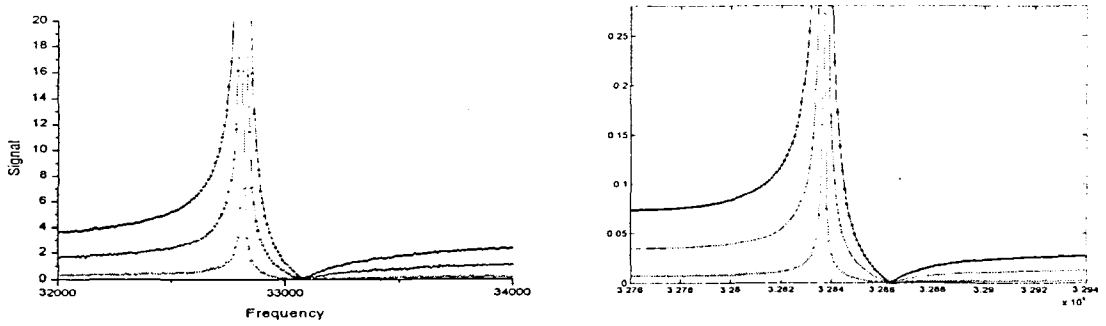


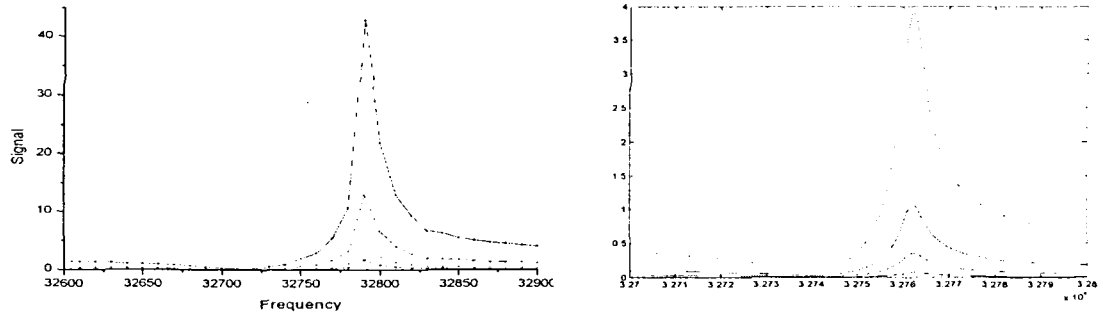
그림2. 진폭 변화(2~50mV)에 따른 공진특성 곡선 (실험치)

두 번째로는 공진극치의 중심을 기준으로 고주파 영역에서 Q-factor가 높고 그 베이스에서 노이즈가 0에 근접되는 경우이고(그림3), 세 번째로는 그 반대로 공진극치의 저주파 영역에서 Q-factor가 높고 그 베이스의 노이즈가 0에 근접하게 되는 경우이다(그림4). 각각의 시뮬레이션은 tuning fork를 harmonic 진동이 가해지는 2차 coupled 모델로 단순화 시켜 계산한 결과들이다.[2]



<실험 결과> <Matlab을 이용한 Simulation>

그림3. 고주파 영역에서 Q-factor가 높은 경우



<실험 결과> <Matlab을 이용한 Simulation>

그림4. 저주파 영역에서 Q-factor가 높은 경우

본 실험에서 가정한 2차 coupled 모델을 이용하여 국부적으로 실험치와 매우 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 탐침과 시료사이에 shear force가 작용할 경우 공진의 극치가 높은 주파수 영역으로 이동하므로 공진극치를 기준으로 저주파 영역의 Q-factor가 높고 그 베이스의 노이즈가 0에 근접하게 되는 경우(그림3)가 상대적으로 더 높은 해상도의 형상을 만들 수 있을 것이라고 기대를 한다. 본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(M1-0203-00-0082) 지원을 받아 수행되었습니다.

1. Karri, K. Grober, R. D., Appl. Phys. Lett. **66**, 1842 (1995)
2. Meirovitch, L., *Fundamentals of Vibrations*, McGraw-Hill (2001)

F
B