

유연한 Quality factor가 가능한 단순한 광섬유 팁 공진 구조물

Simple fiber tip assembly with flexible Quality factor

나경필, 권오대

포항공과대학교 전자컴퓨터공학과

kpnakse@postech.ac.kr

Abstract

For Near-field Scanning Optical Microscopy measurements, the fiber tip is glued on the side of one of the tuning fork prongs vertically to its extended direction. Higher Q-factor is attainable in this geometry than in the arrangement with the fiber tip parallel to the prong. A simple mechanical design is applied to hold the fiber tip above the gluing point. The overall tuning fork-fiber tip assembly gives another advantage of the flexible Q-factor enhancement. With this treatment, Q-factor higher than 3000 is easily achievable. As an operating instance, a grating is scanned for its one dimensional topographical image.

광학 현미경의 공간 분해능에 제한이 되는 far-field 회절 한계에 대한 극복 가능성은 80여년 전에 제안되었고, 1984년 D. W. Pohl은 근접장 영역에서 가시광선 파장의 1/20 정도 되는 분해능으로 광학적 이미지를 얻는데 성공하였다⁽¹⁾. 이후 이러한 근접장 영역에서의 스캐닝을 통한 광학적 정보의 분석 기술은 다양한 부분에 응용되고 있으며, 광학적인 정보를 얻기 위해 주로 사용되는 광섬유 팁과 시료와의 거리를 제어하는 기술도 다양하게 제안되고 있다^(2, 3). 거리 제어는 광섬유 팁을 일정 주파수로 공진시킨 후 진동하는 팁에 레이저 빔을 주사하여 반대쪽으로 전달되는 빔의 세기로써 진폭의 변화를 감지하거나⁽⁴⁾, piezoelectric tuning fork를 사용하여 팁과 시료의 거리를 감지하기도 한다⁽³⁾. 또 다른 방식으로는 tuning fork를 사용하여 팁의 공진 진폭의 변화를 감지할 뿐만 아니라 직접 광섬유 팁을 공진시키기도 한다⁽⁵⁾. Tuning fork를 사용하여 광섬유 팁과 시료의 거리를 제어할 때, 팁과 시료간에 작용하는 힘에 대한 민감도는 팁의 Q-factor와 비례하며⁽⁶⁾, 이에 본 연구에서는 실험실에서 쉽게 사용 가능하며 높고 유연한 Q-factor를 얻을 수 있는 단순한 구조를 소개하고자 한다.

실험에 사용된 tuning fork는 32768Hz의 공진 주파수를 갖는 수정발진자(X-TAL308, citizen)를 이용한다. 수정발진자에서 얻은 quartz crystal tuning fork에 광섬유를 부착하는 방식은 실제 시스템 구성 시 광섬유 팁과 시료 사이의 거리를 제어하는 방식과 연관이 되는데, 본 연구에서는 널리 사용되는 shear force detection method를 사용하므로 광섬유 팁은 tuning fork의 진동 방향과 수직이 되도록 부착한다. 광섬유는 125 μ m cladding diameter의 single mode(SM) fiber이고, 광섬유 팁의 부착 방식과 전체 tuning fork/광섬유 팁 assembly는 <그림 1>과 같다. 일반적으로 tuning fork의 prong과 수평으로 팁을 부착하는 방식은 수백에서 일천 정도의 낮은 Q-factor 값을 갖는데 반하여 <그림 1>과 같이 prong과 수직으로 부착하는 방식은 2000 이상의 높은 Q-factor 값을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, <그림 1>의 점선으로 표시되어 있듯이 팁과 tuning fork의 gluing point 위에서 팁을 고정하기 위해 holder에 고정 시 광섬유의 고정 위치를 바꿈에 따라 Q-factor를 향상시키는 효과를 얻을 수 있다. <그림 2>에서 광섬유 팁 부착 방식에 따른 Q-factor 변화의 실험 결과를 보여주고 있다. (a)의 수평 부착 방식보다 (b)의 수직 부착 방식이 상대적으로 높은 Q-factor 값을 보여주고 있으며, holder 고정 시 광섬유를 조정함으로써 (c)와 같이 1000 이상의 Q-factor 상승 효과를 얻을 수 있다. <그림 3>은 본 실험에서 사용된 수직 부착 방식으로 광섬유 팁을 공진시킨 후, 10nm 스텝으로 시료에 접근하면서 얻은 approach curve이며, <그림 4>는 calibration 용으로 측정을 시도한 grating의 one dimensional(1D) topographical 이미지이다. 사용된 grating은 마이크로미터 대의 lateral dimension과 modulation depth가 220nm 정도

로 형성되어 있음을 알 수 있다.

광섬유 팁 공진 시 Q-factor 값은 전체 시스템 구성 후 scan 속도와 연관이 있으나 알맞은 scan 속도를 유지할 경우 수직 부착 방식은 높은 Q-factor 값을 얻을 수 있어 상대적으로 noise 레벨이 높은 실험실 환경일 경우 민감도를 향상시키는 방식으로써 사용될 수 있을 것이다.

[참고문헌]

1. D. W. Pohl, W. Denk, and M. Lanz, "Optical stethoscopy: Image recording with resolution $\lambda/20$ ", Appl. Phys. Lett. 44, 651 (1984).
2. J. Salvi, P. Chevassus, A. Mouflard, S. Davy, and M. Spajer, "Piezoelectric shear force detection: A geometry avoiding critical tip/tuning fork gluing", Rev. Sci. Instrum. 69, 1744 (1998).
3. K. Karrai, and R. D. Grober, "Piezoelectric tip-sample distance control for near field optical microscopes", Appl. Phys. Lett. 66, 1842(1995).
4. P. G. Gucciardi, M. Labardi, S. Gennai, and F. Lazzeri, "Versatile scanning near-field optical microscope for material science applications", Rev. Sci. Instrum. 68, 3088 (1997).
5. X. Zhu, and G. S. Huang, "A novel ultrasonic resonance sample-tip distance regulation for near field optical microscopy and shear force microscopy", Solid State Comm. 98, 661 (1996).
6. K. B. Shelimov, and D. N. Davydov, "Dynamics of a piezoelectric tuning fork/optical fiber assembly in a near-field scanning optical microscope", Rev. Sci. Instrum. 71, 437 (2000).

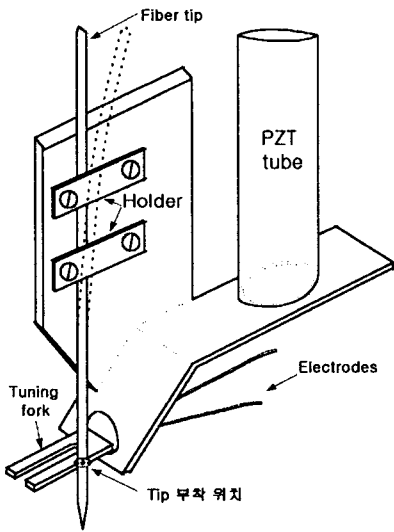
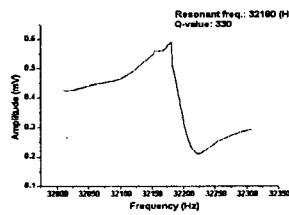
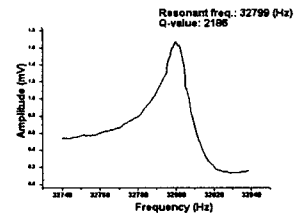


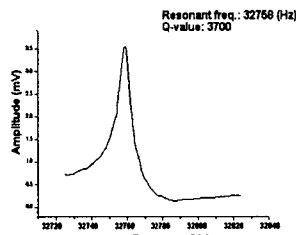
그림 3. Tuning fork-광섬유 팁 공진 구조물.



(a) 수평 부착 시.



(b) 수직 부착 시.



(c) Holder로 조정 후.

그림 2. 광섬유 팁 부착 방식에 따른 Q-factor 상승, (a), (b), (c).

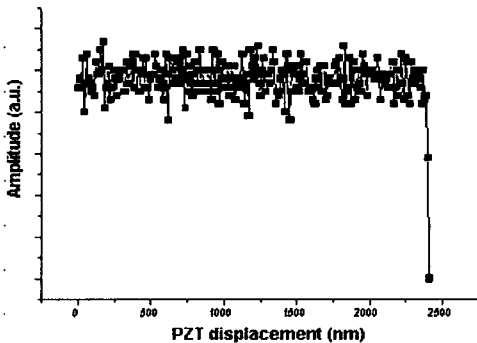


그림 3. Approach curve, 10nm 스텝.

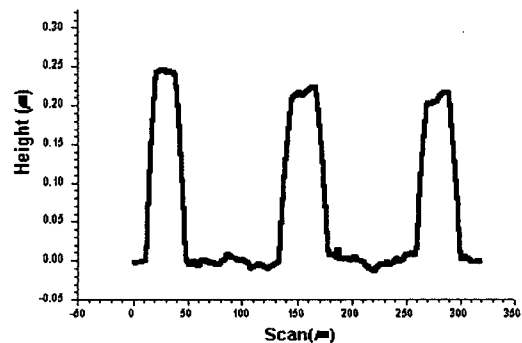


그림 4. Grating topographical 이미지.