

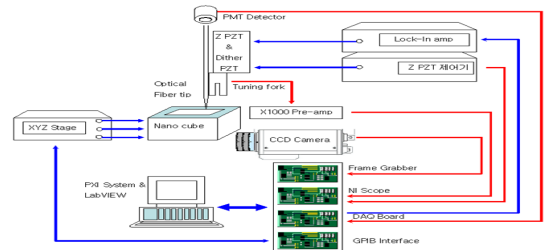
고정밀 광계측 시스템 연구 및 근접장 주사 광학현미경의 제작

신 동민, 황보 승
호남대학교

A study on optical measurement system with high precision and product of Near-Field Scanning Optical Microscope

Dong-min Sin, Hwangbo sound
Honam University

Abstract - NSOM(Near-field Scanning Optical Microscopy)
조화 진동자(Tuning fork)와 광섬유 탐침을 결합시켜 미소신호를 검출하여 증폭과 잡음을 제거하기 위한 Pre-amplifier의 설계 및 제작과 더불어 시료-탐침간 거리를 파장보다 짧게 유지시키는 Shear force 검출, 효율적인 시료-탐침 거리유지 알고리즘 구현 및 탐침을 시료 표면에서 일정한 거리를 안정적으로 유지하도록 제어 및 시료의 높이 정보를 얻어내는 시스템을 설계 및 제작하였다. 또한 CO₂Laser를 이용한 Heat Pulling 장치개발을 통해 탐침을 제작, LabVIEW를 통해 개별적인 시스템을 하나로 통합하여 AFM 테스트 시료인 SiO 샘플의 표면 형상을 측정 하였다.



<그림 2> NSOM 시스템의 전체 구성도

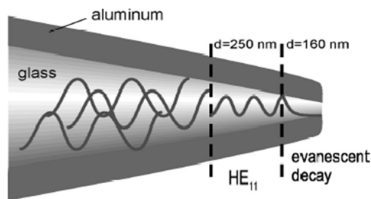
1. 서 론

미세물질, 소자의 재료구조 등을 관측하기 위해 사용되는 고전적인 광학현미경은 빛으로 물체를 관측하기 때문에 빛의 고유성질인 회절에 의해 분해능의 한계를 가지며, 일반적인 분해능은 대물렌즈(Object lens)에서의 회절한계(Diffraction, Rayleigh OR Abbe limit) 때문에 반파장이상의 분해능의 한계가 있다. 하지만 근접장 주사 광학현미경은 광섬유탐침 또는 금속 탐침 끝의 구멍(aperture)지름에 의해 분해능이 좌우된다. 그 이유는 광원의 광파장보다 매우 작은 크기의 구멍을 가지는 탐침을 이용하여, 샘플표면으로부터 수십 나노미터 영역에서 정지되어 있는 높은 공간 주파수 성분의 소산장(Evanescent wave)을 측정 가능하기 때문이다. 표면구조의 3차원 정보를 얻을 수 있고 그 외에 여러 가지 물리적인 성질들을 알아 낼 수 있다는 장점이 있다. 대표적인 근접장 주사 탐침 현미경으로는 NSOM(Near-field Scanning Optical Microscopy: SNOM), STM(Scanning Tunneling Microscope), AFM(Atomic Force Microscope) 등이 있으며, 비 접촉식 NSOM은 일반 광학현미경에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 살아있는 시료를 관측해야 할 일이 많은 세포 생물학(Cell Biology) 등 NSOM을 이용한 DNA분석 등 산업 전반에 많은 응용이 진행되고 있다.

2. 본 론

2.1. 근접장 주사 광학 현미경의 원리

광학적인 분석방법의 한계를 극복하고자 주사 탐침 현미경(Scanning Probe Microscopy: SPM)의 원리와 관측광의 파장보다 작은 구경을 가진 광섬유 탐침을 사용하는 근 전방 광학 현미경이 등장하게 되었다. 이러한 분해능 한계를 극복하기 위하여 관측 광위 파장보다 작은 구경을 가진 광섬유를 사용하여 국소 영역에서 광학적인 특성을 얻게 된다. 끝단이 점접 가늘어지는 금속으로 코팅되고 중심이 절연체인 금속 도파관 광섬유에서 광주파수의 모드(Mode)구조는 중심 직경이 점진적으로 가늘어짐에 따라서 광섬유 끝단에서는 HE₁₁만이 차단되지 않고 진행하게 되며 알려진 바에 의하면 알루미늄 코팅된 절연체 도파관의 경우에 λ=488nm에 대하여 250nm에서 160nm사이에서 HE₁₁만이 진행하여 160nm이하 직경의 영역에서는 HE₁₁도 차단(Cutoff)됨을 알 수 있다.



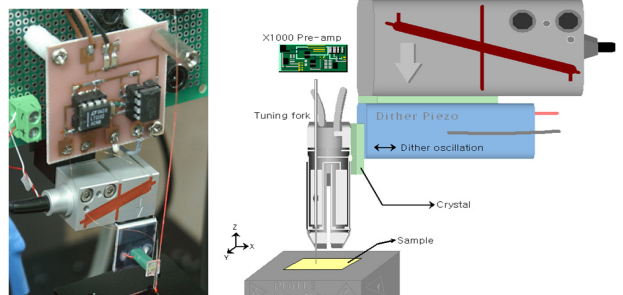
<그림 1> Aluminum 증착된 광섬유 탐침 끝단의 488nm광의 진행모드

2.2 실험장치의 제작 및 실험방법

그림 2번은 제작된 NSOM 시스템의 전체 구성도이다

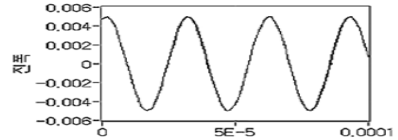
2.2.1 NSOM Head 제작 및 특성실험

단일 PZT의 x, y, z축 방향의 변이를 이용하여 측정할 수 있도록 제작, 광섬유 탐침이 부착된 조화진동자에 Dithering Piezo 소자와 Z-PZT를 Epoxy로 부착하였다. PZT의 제어를 위한 전원선 그리고 Dithering PZT 와 Tuning Fork의 제어 및 신호 검출을 위한 신호선들이 커넥터와 연결되어 외부기기들과 접속이 용이하도록 구성하였으며 고주파 성분을 감안하여 소자간 신호선의 길이는 5cm를 넘지 않도록 제작하였다.



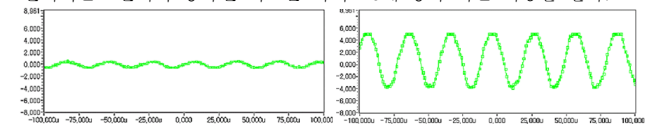
<그림 3> NSOM Head의 구조와 실제모습

헤드부에는 조화진동자에서 검출된 수 μV의 미세한 신호를 NI Scope에서 감지할 수 있도록 1000배의 증폭도를 갖는 Pre-amplifier를 제작하여 NSOM Head부에 증폭회로를 연결하여 외부에서 커넥터를 통해 증폭기에 전원이 공급되도록 구성되어 있다.



<그림 4> Pre-amplifier에 인가된 신호

그림5는 Pre-amplifier는 2단 증폭을 하여 1단에서는 100배 증폭 및 노이즈 제거를 하며 증폭에 사용된 소자는 수 μV~mV의 미소신호를 증폭할 수 있으며 FER소자로서 노이즈를 제거하는 기능도 포함되어 있다. 2단에서는 1단에서 증폭된 신호를 다시 10배 증폭 하는 기능을 한다.

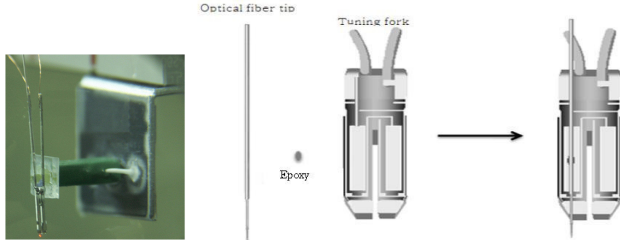


<그림 5>Pre-amplifier 1단과 2단에서의 증폭된 출력 신호

2.2.2 조화 진동자(Tuning Fork)와 광섬유탐침의 접합

NSOM시스템에서 조화 진동자의 역할은 시료의 표면과 일정거리를

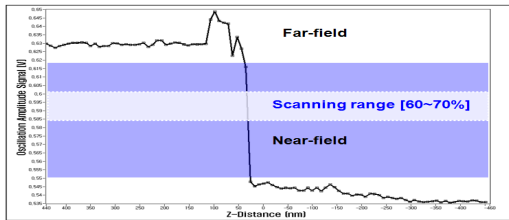
유지하면서 시료표면의 정보를 획득하고 그 신호를 신호처리기에 보내는 역할을 한다. 본 연구에서 사용된 조화 진동자(Tuning fork)는 SUNNY사의 CH308 Crystal Unit으로써 부하가 없는 Nominal frequency f_0 가 32.768 KHz이고 특성인자(Quality Factor)가 90,000이다. 기존에 대부분의 NSOM 연문 논문이나 실험에서 통상적으로 특성인자가 수천에 해당하는 소자를 사용했다는 점에서 본 연구에서 사용된 조화 진동자는 특성인자가 매우 좋은 소자임을 알 수 있다. 동작온도 -10°C to +60°C 이며 Isolation resistance 는 최소 500MΩ이다.



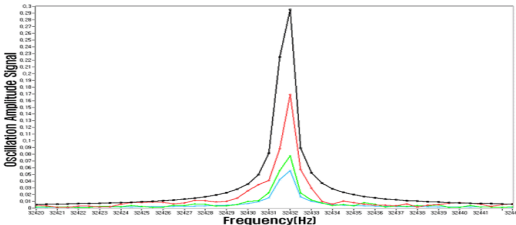
〈그림 6〉 조화진동자와 광섬유 탐침의 접합

2.2.3 거리유지 측정 및 시료주사 방법

시료와 Head의 근접은 Micrometer를 이용 100μm접근은 Nano Cube와 Z-PZT를 이용 Nano Cube를 Z 방향으로 20μm씩 시료를 Fiber Tip 방향으로 전진하였고, 이와 같은 방법으로 Shear force를 감지하였다. 그림 7과 같이 Fiber Tip이 시료에 접근했을 때의 진동 진폭 곡선이 대략 80nm 정도일 때 탐침의 진동 폭이 급격하게 감소하여 Shear force를 감지하였다. 그림 8은 Shear force 영역에서의 주파수 변화곡선을 나타내고 있다.



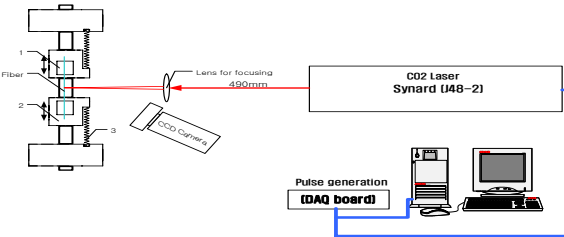
〈그림 7〉 Fiber Tip과 시료와 거리변화에 따른 진폭의 변화 곡선



〈그림 8〉 Fiber Tip과 시료와 거리변화에 따른 주파수의 변화 곡선

2.2.4 Fiber Tip 제작

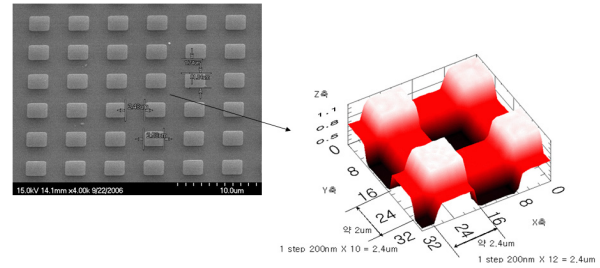
Heat Puller 방식은 Optical fiber의 녹는점을 이용하여 제작, 700°C ~800°C에서 녹으며 퀴츠(Quartz)는 약 135°C에서 녹기 때문에 순간적으로 높은 열에너지가 필요하다. 이를 위해 70W급인 CO₂Laser를 사용하여 광섬유에 인가하였다.



〈그림 9〉 CO₂Laser를 이용한 Puller

2.2.4 시료의 이미지 측정

실제 이미지를 얻고자 할 때에는 전체 진폭에서 약 50%정도 되는 지점에서 탐침은 멈추고 측정을 실시할 때 탐침의 손상이 없는 것을 알 수 있었다. 측정 시에 탐침과 시료의 간격은 임의로 주어질 수 있으나 탐침과 시료에 손상이 가지 않게 되는 지점인 약 40~50nm 사이가 되는 지점을 유지시키면서 표면을 주사하였다.



〈그림 10〉 표준 시료와 획득한 이미지

3. 결 론

조화 진동자에 자유공간에서의 공진주파수와 측정과 근접장에 접근하면서 Shear Force에 대한 조화진동자에서의 신호의 변화를 실험 및 연구하였고 시료와의 평행 조건을 만족하기 위해 시료 고정판의 제작 및 유리 시료를 이용한 표면 정보 Scanning을 실시하였고 그 결과 시료의 평행 조건 및 편평도를 알 수 있었다. NSOM 시스템에서 사용 될 광섬유 탐침을 Heat Puller Method로 Optical Fiber의 녹는점을 이용하여 광섬유 탐침을 제작하였다.

NSOM시스템에 있어서 신호 검출에 핵심부분인 Head 에 Pre-amplifier에서 신호를 검출하고 미세신호 검출 및 증폭을 할 수 있었다. 특히 Head 구성의 경우 현재 가장 보편적으로 사용되는 방법으로 Laser Beam을 사용하지 않고 조화진동자만을 이용한 방법을 사용 구성과 구하기가 용이한 장점과 관측광원 이외의 외부 잡광에 대한 잡음으로부터 구애받지 않고 신뢰성 있는 신호를 얻어 낼 수가 있었고 광섬유 탐침의 끝단을 금속 증착 하지 않아도 사용 가능하다는 장점을 가진다. 동일한 실험 조건과 알고리즘을 이용하여 금속 탐침을 바로 적용해 볼 수 있다는 장점도 가지고 있다.

[참 고 문 헌]

[1] A. Rovers, J. Appl. Phys. 65, 2896(1989)
 [2] D. W. Pohl, W. Denk, and M. Lanz, Appl. Phys. Lett. 44, 651(1984)
 [3] U. DDring, D. W. Pohl, and F. Rohner, J. Appl. Phys. 59, 3318(1986)
 [4] L. Novotny and C. Hafner, Phys. Rev. E50,4094 (1994).
 [5] E. Hecht, Optics, Chap. 10, Addison-Wesley, New York (1998)
 [6] “근접장 광학 현미경 제작 및 미세구조의 근접장 특성 평가” 박정근(연세대학교 대학원 석사 논문, 2001)
 [7] T. Okajima and S. Hirotsu, Appl. Phys. Lett. 71, 545 (1997)
 [8] S. Davy, M. Spajer, and D. Courjon, Appl. Phys. Lett. 73, 2594 (1998)
 [9] R. Toledo-Crow, P. Yang, Y. Chen, and M. Vaez-Iravani, Appl. Phys. Lett. 60, 2957 (1992).
 [10] E. Betzig, P. L. Finn, and J. S. Weiner, Appl. Phys. Lett. 60, 2484 (1992)
 [11] A.G.T .Ruiter ,K.O. vanderWerf, J.A.Veerman, M.F.Garcia-Parajo, W.H.J . Rensen, N.F . Van Hulst, Ultramicroscopy ,71 (1998)
 [12] Y. Bai, J. D. White, G. Zhang, G. Chen. and X. Hou Applied Physics Letters, 75, 18 (1999)
 [13] Yongho S대, Jung H.Park, Jin B. Moon and Wonho Jhe, Aplied Physics Letter s, 77, 26 (2001)
 [14] E. Betzig, P.L.Finn, and J.S. Weiner, Applied Physics Letter s, 60, 18 (1992)
 [15] Olle Inganas "Handbook of Organic Conductive Molecules and Ploymer s :Vol. 3. Conductive Polymer s" ed. H. s. Nalwa (1997) p.785
 [16] Karrai K, RD Grober-NFO-3 Conference Brno(1995)-Proc to apper in Ultramicroscopy.
 [17] Massimiliano Di Ventra, Stephane Evoy and James R. Heflin, Jr., Introduction to nanoscale science and technology, New York, Kluwer Academic Publishers(2004)
 [18] J.P.Fillard, Near Field Optics and Nanoscopy, Singapore, World Scientific (1995)
 [19] Jun-do, Park, A study on optical measurement system with high precision and product of Near-field Scanning Optical Microscope (2006)
 [20] Soo-Yong, Shin, Manufacture of Optical Fiber Probe Using CO₂LaserHeating Pulling Method and Near-field scanning optical microscope instrumentation (2006)