

CO₂ 레이저를 이용한 광섬유 탐침(Optical probe)의 제작

신 율, 김영일, 황보 승

호남대학교

Manufacture of Optical Probe Using CO₂ Laser

Youl Shin, Young-Il Kim, and Sung HwangBo

Honam Uni.

Abstract

미세 소자를 관측, 가공 및 분석하기 위해 사용되는 기존 광학현미경은 빛으로 물체를 관측하므로 대물 렌즈 (Object lens)에서의 회절한계 때문에 분해능의 있으므로 매우 뾰족한 탐침(Probe)을 시료의 표면에 근접시킨 후 표면을 주사하여 이미지를 얻는 방법이 개발되어 최근에는 Optical Fiber를 이용하여 fiber 끝단을 nano-scale 정도로 침체화시키는 기술이 개발되었다. 이러한 광섬유 탐침은 구경의 직경이 작을수록 높은 분해능을 얻을 수 있으므로 광섬유 탐침의 제작 공정 확립은 매우 중요하다. 그 중에서 대표적인 방법이 CO₂ 레이저를 이용하여 가열한 후 인장 하는 방법 (Heating and Pulling)이 있다. 그래서 본 연구에서는 CO₂ 레이저를 이용하여 100nm 정도의 팁 반경을 갖는 뾰족한 탐침을 제작하고자 한다.

Key Words : nano-scale, CO₂ Laser, Optical fiber probe

1. 서 론

광섬유 탐침 구경의 직경이 작을수록 높은 분해능을 얻을 수 있으므로 광섬유 탐침의 제작공정 확립은 매우 중요하다. 회절한계($\sim \lambda/2$) 이하의 해상도를 얻고 물리적 성질을 동시에 측정할 수 있는 도구로 많이 이용되는 근접장 주사 광학현미경의 probe를 제작하는 방법으로는 여러 가지가 있다. 그 중에서 대표적인 방법이 CO₂ 레이저를 이용하여 가열한 후 인장하는 방법(Heating and Pulling)이 있다. 이 방법은 간편하지만 출력이 작고 재현성 있게 탐침을 제작하는 관점에 있어서는 한계가 있다. 또한 최근에는 재현성과 가공성이 뛰

어난 여러 가지 화학적 식각(Chemical Etching) 방법이 개발되어 많은 사용화 제품이 시판되고 있다. 그러나 본 연구에서는 CO₂ 레이저를 이용하여 탐침을 제작하고자 한다.

2. 실험

2.1 Heating and Pulling Method

이 방법은 Optical Fiber에 열을 주어 녹인 후 일정시간 후에 인장하는 방법으로써 본 연구를 위하여 시스템을 자체 제작하였다. 일반적으로 유리는 고온(Pyrex는 700 ~ 800°C, Quartz는 약 1350°C)에서 녹기 때문에 순간적으로 높은 에너지가

전달되어야 한다. 이를 위해 열원으로서는 CO₂ 레이저(Synard J48-2, 최대출력 70W)를 사용하였으며, 렌즈를 통하여 CO₂ Laser beam을 focusing 한 후 Optical Fiber의 플라스틱 재킷을 벗겨 낸 부분에 조사하였다. 그림 2는 본 시스템의 개략도를 나타내었다. CO₂ Laser의 펄스 폭은 PC와 DAQ Board와의 interface를 통해 제어를 실시하였다. 그리고 인장은 Puller(Narishige, PN-30)를 사용하였으며, 이때 Delay 설정은 DAQ Board내의 timer를 이용하였으며, 또한 DAQ Board를 통해 릴레이를 구동함으로써 전체 시스템을 자동화하였다.

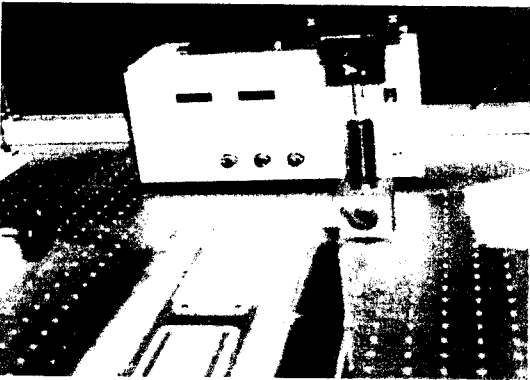
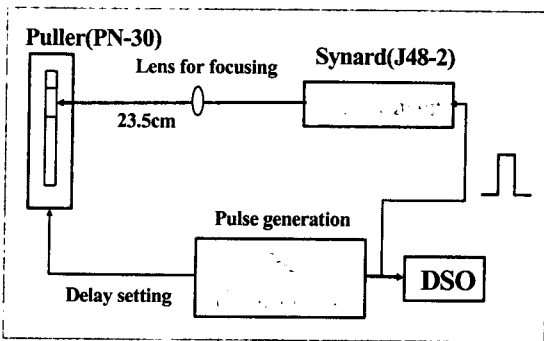


그림 1. Heating and Pulling Setting



<Pulse Generation : f=5KHz, Duty cycle=0.5%>

그림 2. CO₂ Laser를 이용한 시스템 개략도

실험시 안전을 위하여 전체 시스템을 암실로 하였으며 반사에 의한 위험을 억제하기 위해 아크릴과 보안경을 사용하였다. 그림 3은 본 연구를 통해 자체 제작한 프로그램으로써 PC내에 설치된 DAQ board(PCI 6024)를 통해 CO₂ 레이저를 발진시키

고, CO₂ 레이저 출력제어용 가변펄스를 생성하여 가변 delay 후에 Puller를 동작시켜 Optical fiber probe를 제작하는 역할을 수행하며 LabVIEW program을 통해 제작되었다. 한편, 제작된 Optical fiber probe는 현미경을 통해 관찰을 실시하였으며, SEM 사진을 통해 팁 반경을 확인하였다. 사용한 광섬유는 단일모드형 가시광선용 (FS- SN- 3224)으로써 core 경이 4 μ m, clad 경이 125 μ m이다.

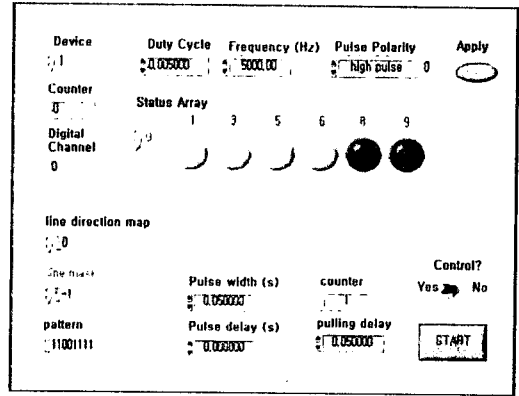


그림 3. CO₂ Laser과 Puller의 동기화 Program

3. 결과

Fiber probe 제작을 위한 setting은 ① CO₂레이저를 고정시킨다. ② Puller를 고정시킨다. (CO₂레이저와 일정한 거리를 두고, 현재 45cm) ③CO₂레이저와 Puller사이에 렌즈를 고정시킨다.(렌즈 초점 거리 25cm) ④ CO₂ 레이저에서 나가는 빛이 Pulling위에 놓인 광섬유(Fiber)의 중앙을 지나가도록 CO₂레이저를 미세 고정한다. 이러한 setting을 거친 후 Fiber probe를 제작한다. 제작 과정은 다음과 같다. ①광섬유(Fiber)의 코팅된 부분을 벗긴다. (CO₂레이저 빛이 조사되는 부분) ②광섬유(Fiber)를 Pulling에 고정시킨다. ③CO₂레이저에서 빛이 인가되는 동시에 Puller가 작동하여 광섬유(Fiber)를 잡아당김으로써 Fiber Tip 생성 ④생성된 fiber probe는 현미경으로 관찰 한 후 인장정도를 확인 ⑤인장된 fiber probe를 현미경으로 관찰한다.

Fiber probe를 제작하는데 있어서 그림 3의 프로그램상의 변수는 CO₂ Laser의 출력 폭을 제어하는 Pulse Width(PW[sec]), CO₂ Laser beam을 조사한

후에 Puller를 인장하기까지의 프로그램 상의 Pulling Delay(PD[sec]), 그리고 Optical fiber를 인장하는 Magnet force로써 Pulling Magnet(PM[임의 단위]) 등 3가지로 이들 값을 변화시켜가면서 실험을 진행하였다. 실험을 진행하면서 Pulling Delay는 레이저 발진과 동시에 Pulling 되어야 pulling Magnet가 약해도 인장 되어진다는 것을 알게 되었다. 만약 Pulling Delay를 주었을 경우에는 Pulling Magnet가 강해야하고 인장 되어지는 것이 아니라 Fiber가 끊어지는 결과를 나타내었다. Pulling Magnet force를 50~20의 범위에서 5간격으로 변화시켜가면서 실험을 진행한 결과, 50 이상의 경우 Fiber의 끊김 현상이 발생하여 Pulse Width를 주 변수로 하여 실험을 진행하였다. 아래 사진들은 인장조건 변화에 따른 Fiber 형태변화 정도를 알아보기 위해 실험을 실시한 것으로, 현미경 관찰을 통하여 Digital 카메라로 촬영한 결과 사진들이다.

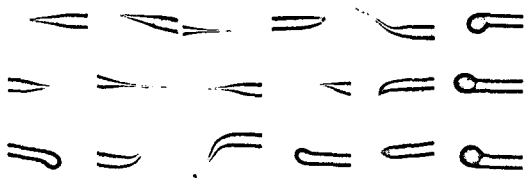


그림 4. PD=0, PM=40일 때의 probe 사진

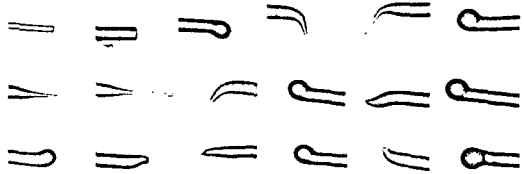


그림 5. PD=0, PM=35일 때의 probe 사진

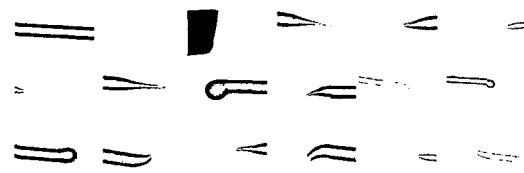


그림 6. PD=0, PM=30일 때의 probe 사진

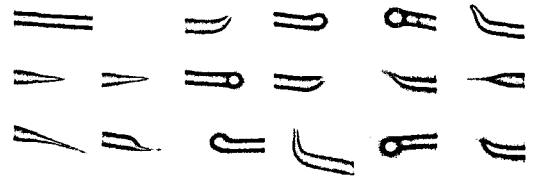


그림 7. PD=0, PM=25일 때의 probe 사진

그림 7은 여러 번의 실험을 통해 현재까지 최적의 조건이라 생각되는 Pulse Width = 0.03 , Magnet = 25로 실험한 결과를 현미경으로 관찰하고 그 결과를 디지털 카메라를 이용해 촬영한 후, fiber probe 모양이 원하는 탐침 모양으로 얻어진 fiber probe는 fiber의 플라스틱 재킷을 벗기는 과정에서 손상되었을 수 있으므로 알루미늄을 증착시킨 fiber probe를 레이저 소스(635nm Laser source : Model SIFC635)에 연결하여 빛을 확인하였다.

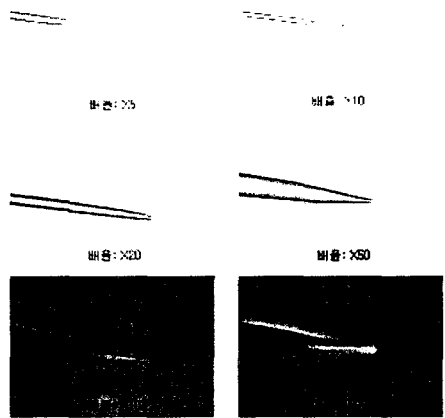


그림 8. PD=0, PM=25

그림 9는 제작한 Optical probe가 목표치인 100nm에 도달했는지 알아보려고 SEM 촬영한 사진이다.

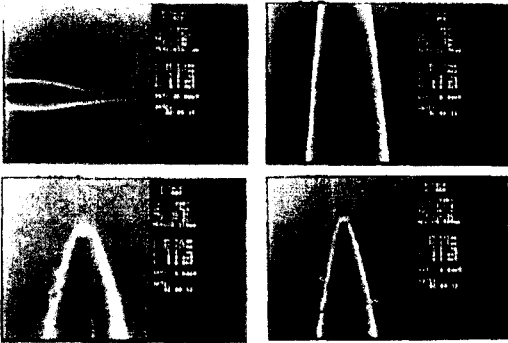


그림 9. Probe의 SEM사진

4. 결론

본 연구에서는 가열인장장치(Heat & Pulling System)을 자체 제작하였으며, 이를 이용하여 여러 가지 조건에서 NSOM용 Optical fiber probe를 시험 제작한 후 현미경과 SEM을 통하여 분석을 실시하였다. 현재까지의 실험결과로 Puller의 Magnet force가 줄어들수록 fiber를 pulling하기 위한 Pulse Width가 점점 증가하는 것을 알 수 있었으며, fiber probe를 제작하기 위한 최적의 조건은 Pulse Width = 0.03, Magnet Force = 25 정도인 것을 알 수 있었다. 그러나, 제작된 probe는 화학적 etching에 의한 것과 비교하여 Tip 선단부분의 첨예각(θ)이 크고 이에 따라 곡률 반경도 크게 나타나 효율(Throughput)이 낮아진다. 이러한 문제는 CO₂ Laser의 펄스폭(즉, power)을 증가시키고, 인장력을 증가시킴에 따라 약간씩 개선되고 있으나 재현성이 나빠 대량생산에는 부적절한 것으로 생각된다. 그러나 특수한 소량의 fiber probe 제작에 있어서는 이 방법이 간편하기 때문에 매우 경제적이라고 생각된다. 향후 tip 형태에 대한 보다 정확한 제어를 통해 우수한 fiber probe 제작이 가능하리라 생각된다.

감사의 글

실험을 행하는데 있어서 많은 도움을 주신 교수님들께 감사드립니다.

참고 문헌

[1] 박남기, 근접장 주사 광학 현미경의 제작과 그

응용에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 2000년 2월

- [2] 박두영, "LabVIEW 컴퓨터 기반의 제어와 계측 Solution", Ohm사, 2002년
- [3] 大津元一, Nano-Photonics, 米田出版, 1999.
- [4] G. A. Valaskovic, M. Holton, and G. H. Morrison, "Parameter control, characterization, and optimization in the fabrication of optical fiber near-field probes", Appl. Opt., vol. 34, no. 7, pp.1215-1228, 1995
- [5] Manufacturing of Near-field Scanning Optical Microscope and its Applications no. 2, 2000
- [6] 이상기, 제원호, "Photon Scanning Tunneling Microscope를 이용한 Evanescent 정상파 측정", 한국물리학회지, Volume 35, Number 6, 1995년 12월, pp.694~699
- [7] M.Ohtsu (Ed.) Near-Field Nano/Atom Optics and Technology, 1998