

가우시안 빔 주사 방식에 의한 나노 탐침 슬라이드의 광 전달을 측정 Measurements of nano-probe throughput by Gaussian beam scan method

임상엽, 정은희, 박승한
연세대학교 물리학과
syim@phya.yonsei.ac.kr

근접장 탐침은 근접장 광학 현미경에서 가장 중요한 구성요소 가운데 하나이다. 근접장 광학 현미경의 공간 분해능과 광검출 효율은 근접장 탐침에 의해 결정되기 때문이다. 근접장 광학 현미경에서 가장 널리 사용되는 근접장 탐침은 광섬유를 잡아끌거나 식각하는 방식으로 첨단부를 뾰족하게 한 후 수십 내지 수백 나노미터 직경의 개구만을 남겨두고 금속 코팅한 광섬유 탐침이다. 그러나 광섬유 근접장 탐침은 잘 알려져 있는 몇가지 단점이 있다. 우선 20~30°의 각도로 뾰족해지는 기하학적인 모양과, 깨지기 쉬운 유리 재질로 제작된 데 기인하여 내구성이 떨어진다. 또한 개구 각도가 작기 때문에 도파되는 빛이 개구에 도달하기 훨씬 이전부터 cut-off 되므로 광 전달율이 매우 낮다. 더 나아가서 광섬유 탐침 뿐만 아니라 대부분의 근접장 탐침은 시료와 탐침 간의 거리를 유지시키기 위해 매우 복잡하고 정교한 거리 유지 장치가 필요하다. 이는 저온에서의 나노구조 물질 연구나 소자 응용에 근접장 광학계를 적용시키는 데에 걸림돌이 된다.

본 연구진에서는 이러한 단점을 해결할 뿐만 아니라 새로운 개념의 근접장 광학 현미경 연구를 위해 나노 탐침 슬라이드를 제작하여 그 결과를 발표한 바 있다.⁽¹⁾ 제작된 근접장 탐침은 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 Si에 역 피라미드 홈을 뚫으로써 수십-수백 nm의 나노 탐침을 만들었으며, 그 위에 수십 나노미터 두께의 Si₃N₄ 막으로 개구를 덮어 나노 슬라이드 역할을 하도록 하였다.

이렇게 제작된 나노 탐침의 광 전달을 측정을 위해 가우시안 빔 주사 방식을 채택하였다. 보통 광섬유 탐침의 경우에는 광섬유 입력단에 입사하는 광 세기에 대해 탐침 끝에서 나오는 광의 세기를 비교하여 광 전달율을 측정하는 것이 일반적이다.⁽²⁾ 광섬유 탐침의 경우에는 도파 특성을 최적화하여 제작하므로 입력단에 입사하는 모든 빛이 광섬유 탐침의 뾰족 영역 앞까지 도달하기 때문에 이와 같은 방식의

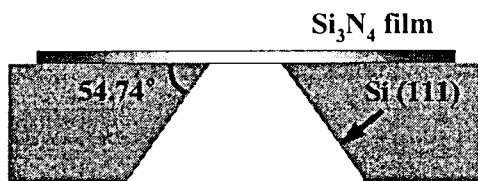


그림 1. 나노 탐침 슬라이드의 개념도

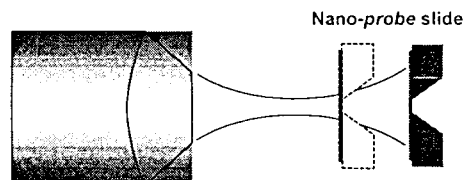


그림 2. 가우시안 빔 주사방식에 의한 광 전달율 측정 개념도

광 전달을 측정이 의미가 있지만, Si 공정에 의해 Si이나 Si₃N₄ 등으로 만들어진 탐침의 경우 빛을 결합시키는 도입부가 최적화되어 있지 않으므로 입력값을 정확히 추산하기 어려운 점이 있다. 이는 사용하는 렌즈에 따라 광 전달을 값이 변화할 수 있음을 의미하기 때문이다.

그러나 가우시안 빔 주사 방식의 경우, 일반적인 광 전달을 측정 방식과 반대로 나노 탐침이 수광자의 역할을 하게 되므로 이와 같은 모호성을 배제할 수 있다. 나노 탐침의 개구는 파장 미만의 크기이므로 집속된 빔보다도 훨씬 작다. 그러므로 공간상에서 빔이 최대 세기인 영역에서는 그 세기 분포가 거의 일정하다고 가정할 수 있다. 즉 나노 탐침에 입사하는 광 세기는 대물렌즈에서 나온 광 파워를 나노 탐침 개구 면적으로 나눈 값이 된다. 나노 탐침을 투과한 빛은 나노 탐침의 유효개구보다 큰 N.A. 0.85 대물렌즈를 사용하여 수광하였다. 그림 3은 유효개구 0.4인 대물렌즈로 집속한 빔의 초점면 근처에서 나노 탐침을 주사하여 얻은 빔 영상이며 총 주사 영역은 5×5μm이다. 초점에서 멀어질수록 검출한 광 세기는 감소하고 빔의 폭은 약간 증가함을 알 수 있었다. 측정 결과 나노 탐침 슬라이드는 100-200nm 개구일 때 대략 10⁻⁴에서 10⁻⁵ 정도의 광 전달율을 보였다. 본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(M1-0203-00-0082) 지원을 받아 수행되었습니다.

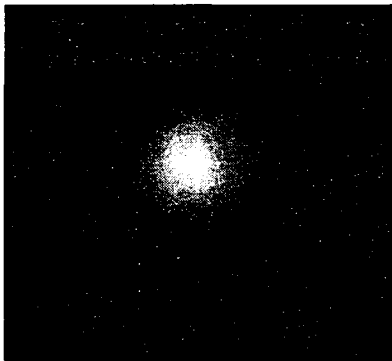


그림 3. 초점 근처의 빔 주사 영상

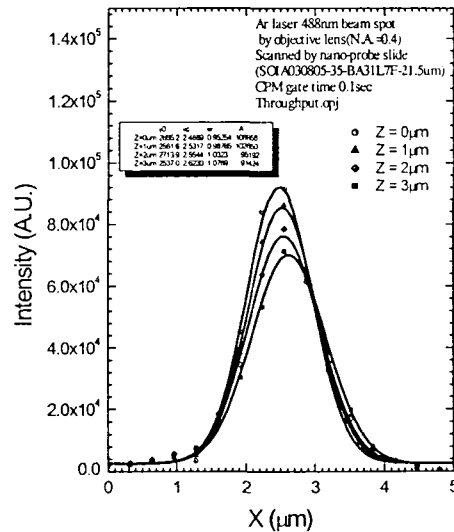


그림 4. 거리에 따른 빔 단면의 변화

F
B

1. Sang-Youp Yim, Moongoo Choi, and Seung-Han Park, "Fabrication of Si₃N₄ Film Covered Si Planar Near-field Optical Probe: A Nano-slide Integrated Nano-probe", The 7th Int'l Conference on Near-field Optics and Related Techniques, Rochester, NY, Aug. 11-15 (2002); 임상연, 정은희, 최종길, 박승한, "나노 탐침 슬라이드를 이용한 콜로이드 양자점의 근접장 형광 측정", 2003년도 하계광학회.
2. 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. 34, 1215-1228 (1995).