

# 나노 탐침 슬라이드를 이용한 콜로이드 양자점의 근접장 형광 측정

## Near-field Photoluminescence Measurements of Colloidal Quantum Dots by Nano-probe Slide

임상엽, 정은희, 최중길\*, 박승한  
연세대학교 물리학과, \*연세대학교 화학과  
syim@phya.yonsei.ac.kr

최근 들어 단일 양자점이나 단일 분자에 대한 분광 연구가 매우 관심을 끌고 있는데, 이는 미세구조 물질의 근본 물성을 밝히고자 하는 물리적인 관점뿐만 아니라 이를 실제로 이용하려는 실용적인 관점에서도 매우 중요한 주제이기 때문이다. 그러나 단일 양자점이나 단일 분자의 분광을 위해서는 공간적인 분해능이 우수할 뿐만 아니라 그 계에서 나오는 매우 미약한 광 신호를 검출하여야 하는 고도의 기술이 필요하다. 분해능을 높임으로써 이러한 장애를 극복할 수 있는 방법 가운데 한 가지가 근래 들어 급속도로 발전하고 있는 근접장 현미경을 이용한 분광계 구성이다<sup>(1-2)</sup>. 근접장 현미경은 기존의 광 현미경이 근본적으로 지니고 있는 회절한계를 넘어서는 분해능으로 광 영상을 얻을 수 있다. 근접장 광학 현미경에서 가장 널리 사용되는 근접장 탐침은 광섬유를 잡아끌거나 식각하는 방식으로 첨단부를 뽀족하게 한 후 수십 내지 수백 나노미터 직경의 개구만을 남겨두고 급속 코팅한 광섬유 탐침이다. 그러나 광섬유 근접장 탐침은 잘 알려져 있는 몇가지 단점이 있다. 우선 20~30°의 각도로 뽀족해지는 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 나노구조 물질 근접장 측정을 위해 나노 탐침 슬라이드를 제작하여 특성을 연구하였다.<sup>(3)</sup> 그림 1에 나타나있는 바와 같이 Si에 역 피라미드 홈을 뚫으로써 수십-수백 nm의 나노 탐침을 만들었으며, 그 위에 수십 나노미터 두께의  $\text{Si}_3\text{N}_4$  막으로 개구를 덮어 나노 슬라이드 역할을 하도록 하였다. 이 막 위에 올라간 나노구조 물질은 나노 탐침 내에 존재하기만 하면 자동적으로 나노 슬라이드의 두께에 해당하는 근접장 영역에 존재하기 때문에 매우 단순한 구조로서 근접장 측정이 가능할 뿐만 아니라 나노구조 물질의 광학적 소자 응용에 직접적으로 응용할 수 있다.

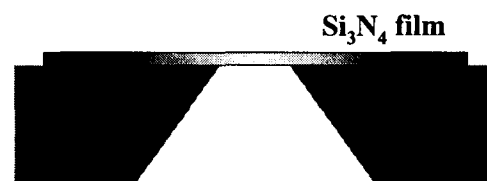


그림 1. 나노 탐침 슬라이드의 개념도

본 연구에서는 제작된 나노 탐침 슬라이드 위에 콜로이드 양자점을 증착하여 근접장 형광을 측정하였다. 조사한 콜로이드 양자점은 ZnS로 표면을 둘러싼 CdSe 양자점이며 화학적인 방법으로 합성하여 Hexane 내에 부유하는 상태로 제조되었으며 주사기를 사용하여 소량을 나노 탐침 슬라이드에 증착한 후 건조시켰다. 여기광원은 Ar<sup>+</sup> laser의 488nm 파장빔을 사용하였고 나노 탐침 슬라이드를 투과한 뒤 양자점에서 나오는 형광을 100X 대물렌즈로 수광하여 분광기를 거친 뒤 ICCD로 검출하였다. 측정된 data 가운데 전형적인 근접장 PL을 그림2(a)와 (b)에 나타내었다. 그림2(a)는 수백 nm 크기의 매우 작은 나노 탐침에서 얻은 결과이며 중심파장은 2.07909eV, 반치폭은 92.01meV이었고, 그림2(b)는 약 2 $\mu$ m 정도 크기의 개구에서 얻은 결과인데 중심파장 2.11785eV, 반치폭 169.51meV의 근접장 형광을 측정하였다. 이는 국소 영역만이 조사되어 매우 적은 수의 양자점만이 형광을 냄으로써 반치폭이 줄어든 것이 분명하다. 이로써 나노 탐침 슬라이드를 이용하여 양자점과 같은 나노구조 물질의 근접장 광학 특성을 매우 쉽게 측정할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(M1-0203-00-0082) 지원을 받아 수행되었음.

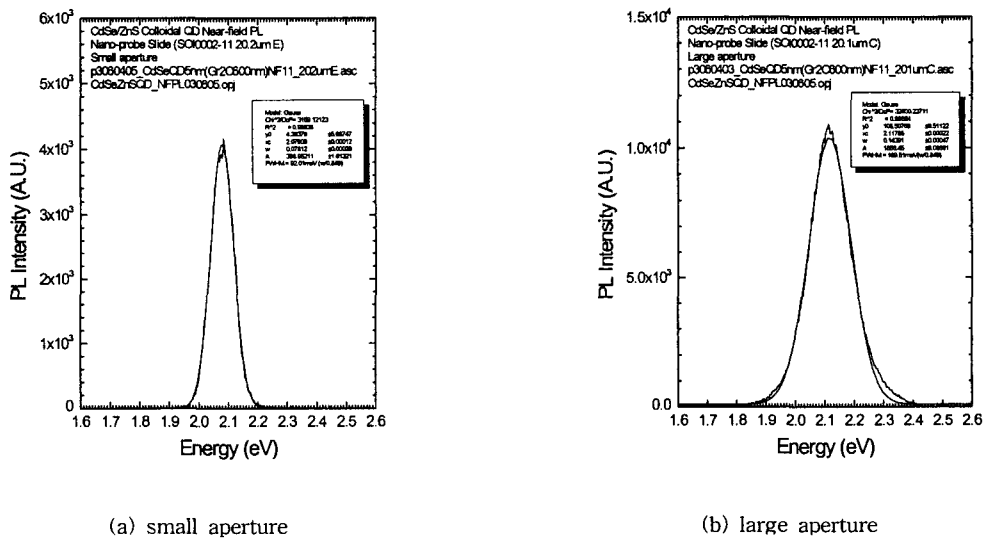


그림 2. 나노 탐침 슬라이드를 이용한 콜로이드 양자점의 근접장 형광 비교

- 1 H. F. Hess, E. Betzig, T. D. Harris, L. N. Pfeiffer, and G. Weimann, "Near-Field Spectroscopy of the Quantum Constituents of a Luminescent System", *Science* **264**, 1740-1745 (1994).
- 2 D. Gammon, E. S. Snow, B. V. Shanabrook, D. S. Katzer, D. Park, "Fine Structure Splitting in the Optical Spectra of Single GaAs Quantum Dots", *Phys. Rev. Lett.* **76**, 3005-3008 (1996).
- 3 Sang-Youp Yim, Moongoo Choi, and Seung-Han Park, "Fabrication of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 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).