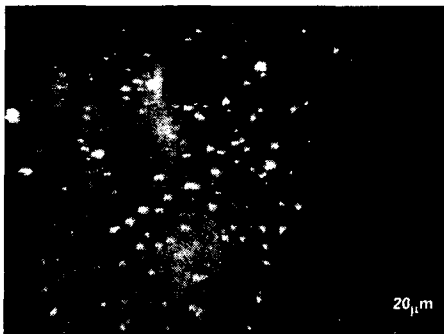


콜로이드 양자점 구조의 근접장 형광 측정

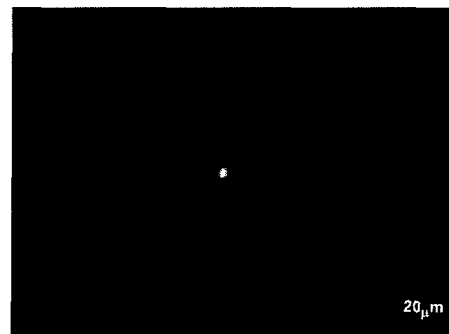
Near-field Photoluminescence of Colloidal Quantum Dot

임상엽, 최문구, 박정근, 조규만*, 천진우**, 박승환
연세대학교 물리학과, *서강대학교 물리학과, **KAIST 화학과
syim@phya.yonsei.ac.kr

반도체 양자점 구조는 양자크기 효과를 이용하여, 인공적으로 원자와 같이 매우 좁은 선폭의 에너지 준위를 만들어 낼 수 있다는 점에서 관심을 끌고 있는 물질 구조이다⁽¹⁾. 특히 양자점 구조는 크기에 따라 에너지 준위의 위치가 조절되므로, 기본적인 물성을 탐구하는 물리적인 관점에서 뿐만이 아니라 실용적인 관점에서도 이를 이용한 전자, 광전자 및 광소자에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 반도체 양자점은 여러 가지 다양한 방법으로 제작되고 있는데 대표적으로 유리 안에 반도체 미세구조를 첨가하는 방법, Stranski-Krastanow 성장에 의한 자발 형성 방법, 리소그래피에 의한 식각 방법, 그리고 화학 반응에 의해 콜로이드 상태로 제작하는 방법 등이 있다. 그러나 어떠한 제조방법에서든 제작상의 난점으로 인해 양자점 구조는 일정한 정도의 크기 분포를 보이는 것이 일반적인 현상이다. 이는 곧바로 크기 분포에 따른 비균일 선폭확대로 이어지므로, 원래 양자점 구조에서 기대하는 바와 같은 매우 좁은 선폭의 전이를 얻을 수 없음을 의미한다. 이와 같은 크기분포에 따른 선폭확대를 배제하고 단일 양자점에서 나오는 광신호를 분광하려면 공간적인 분해능이 우수한 고도의 기술이 필요하다. 분해능을 높임으로써 이러한 장애를 극복할 수 있는 방법 가운데 한 가지가 근래 들어 급속도로 발전하고 있는 근접장 현미경을 이용한 분광계 구성이다⁽²⁻⁴⁾. 근접장 현미경은 기존의 광 현미경이 근본적으로 지니고 있는 회절한계를 넘어서는 분해능으로 광 형상을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 근접장 현미경을 이용한 분광계로써 콜로이드 양자점의 근접장 형광을 측정하였다.



(a) 외부 조사광에 의한 양자점의 영상



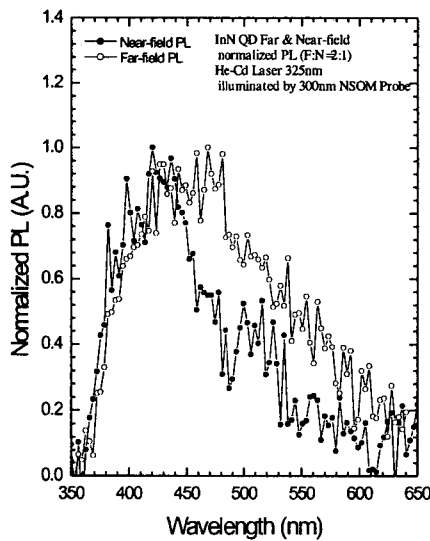
(b) 양자점의 근접장 형광 영상

그림 1. 현미경으로 관측한 양자점 및 근접장 형광

일반적으로 콜로이드 양자점은 용매 내에 부유하는 상태로 존재하지만 근접장 형광 측정을 위하여 시료를 quartz 기판 위에 도포하였다. 그림 1(a)는 보조적으로 장착한 현미경을 이용하여 관측한 InN 콜로이드 양자점의 형상이다. 외부에서 백색광을 조사하여 관측하면서 양자점의 형광을 측정하고자 하는 위치에 근접장 탐침을 가져갔다. 그림 1(b)는 그림 1(a)의 동그라미로 표시한 부분에 탐침이 근접장 영역까지 접근한 상태에서 얻은 형광의 영상이다. 이 영상이 광원에 의한 것이 아니라 양자점의 형광이라는 점은 시료가 없는 영역에서 탐침 끝단을 관측함으로써 확인하였다. 325nm He-Cd 레이저 광원은 현재 보조 현미경 장치 CCD의 자외선 감도가 낮아 영상이 멧히지 않기 때문이다.

근접장 탐침은 자체 제작한 거리유지 장치를 이용하여 시료에서 20nm 정도의 높이를 유지하였다. 한편 수광한 근접장 형광은 분광장치로 분광한 뒤 자외선 영역부터 근 적외선까지 양자효율이 높은 GaAs(Cs) 광증배관(R943-02, Hamamatsu Photonics K.K.)을 통해 증폭하였으며 동기식 단일광자 계수 장치를 부착하여 검출함으로써 매우 미약한 광 신호까지도 검출할 수 있었다. 광증배관은 -20℃로 냉각하여 암계수를 20CPS(Counts Per Second) 정도로 억제하였다.

그림 2는 위 그림 1에 보이는 InN 콜로이드 양자점에 대한 분광 스펙트럼이다. 20 μ m의 원거리와 20nm의 근접거리에서 측정된 형광 사이에 명확한 차이를 확인할 수 있었다. 이는 원거리에서는 매우 많은 수의 양자점이 같이 여기된 데 반해, 근접장 형광은 제한된 숫자만의 양자점이 여기됨으로써 크기분포에 따른 비균일 선평확대가 줄어든 형광이 검출된 데 기인한 결과이다.



1. A. L. Efros, and A. Efros, Sov. Phys. Semicond. **16**, 772 (1982).
2. H. F. Hess, E. Betzig, T. D. Harris, L. N. Pfeiffer, and G. Weimann, "Near-Field Spectroscopy of the Quantum Constitutes of a Luminescent System", Science **264**, 1740-1745 (1994).
3. R. D. Grober, T. D. Harris, J. K. Trautman, E. Betzig, W. Wegscheider, L. Pfeiffer, and K. West, "Optical spectroscopy of a GaAs/AlGaAs quantum wire structure using near-field scanning optical microscopy", Appl. Phys. Lett. **64**, 1421-1423 (1994).
4. 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).