

## 저온 근접장 광학 현미경을 이용한

### 단일 GaAs 양자점의 형광 측정

## Near-field Photoluminescence Measurements of Single

## GaAs Quantum Dots Using a Low Temperature

## Near-field Scanning Optical Microscope

임상엽, 김종수, 김용환, 변지수, 정문석

광주과학기술원 고등광기술연구소

syim@gist.ac.kr

과장 길이 미만 직경의 탐침을, 시료에서 과장보다 매우 짧은 거리까지 접근시켜 근접장 신호를 검출함으로써 회절한계를 극복하여 광학적 영상을 얻는 근접장 광학 현미경(Near-field Scanning Optical Microscopy : NSOM)은 나노 영역 광영상화에 매우 유용한 광학 도구이다. 특히 NSOM에 분광 장치를 결합하면 단일 분자나, 유기물 박막, 반도체 양자 구조와 같은 나노 구조 물질의 분광 특성을 국소 영역에서 조사할 수 있다.<sup>(1)</sup>

본 연구에서는 단일 반도체 양자점 구조의 광학적 특성을 관측하기 위하여 자체 제작한 저온 NSOM을 사용하였다. 전체 시스템은 진공 챔버 내에 장착하여  $\sim 10^{-6}$  Torr 의 고진공을 유지함으로써 외부와 단열되도록 하였다. 시료의 온도는 액체 헬륨을 공급할 때 15K에서 상온까지 변화시킬 수 있으며, 액체 질소를 공급하면 90K 까지 온도를 내릴 수 있다. 근접장 검출을 위해 일반적으로 조사-수광 (illumination-collection) 모드라 불리는 방식을 사용하였는데, 이는 여기광을 근접장 탐침에 결합하여 시료에 근접장 광여기를 하고, 발생된 형광을 동일한 근접장 탐침으로 다시 수광하여 검출하는 방식을 일컫는다. 조사-수광 방식은 조사광과 수광된 빛이 모두 근접장 탐침을 통과하므로 신호의 크기가 미약해지는 단점이 있으나, 국소 영역만이 여기되고 그 부분에서 발생된 형광만을 검출하므로 여기된 자유전자 운반자의 diffusion 현상으로 인한 공간 분해능 저하를 최소화할 수 있다.<sup>(2)</sup> 주로 사용한 근접장 탐침은 Au 코팅된  $\sim 100$ nm 직경의 광섬유 탐침이었다. 여기광원으로는 632.8nm 파장의 He-Ne 레이저를 사용하였으며, 수광된 형광은 여기광 제거를 위해 dichroic mirror와 장파장 투과 filter를 거친 후, 분광기에서 분광하고 CCD 검출기로 스펙트럼을 얻었다. 한편 공간 주사 신호와 CCD 검출기를 동기화함으로써, 각 지점에서의 스펙트럼을 얻을 수 있었다. 수집된 데이터는 특정 과장 영역만을 걸러내어 영상을 재구성할 수 있다.

특히, 본 연구에서는 droplet 박막 제조 방식에 의해 형성시킨 GaAs 양자점 구조의 근접장 형광을 측정하였다. 이 방식에 의해 제조된 양자점 구조는 Stranski-Krastanov 성장방식에 의해 형성된 InAs 양자점과는 달리 응력에 의한 변형이 없다. 따라서 응력 효과를 배제하고 양자점 고유의 물성을 관측할 수 있기 때문에 세계 여러 연구그룹에서 관심있게 연구하고 있는 양자 구조이다. 시료 제조를 위해 Molecular Beam Epitaxy (MBE) 장치를 이용하여  $n^+$ -GaAs (001) 기판 위에 300 nm 두께의 GaAs 층과 50 nm 두께의  $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$  장벽층을 580 °C 기판 온도에서 쌓은 후, arsenic 이 없는 상태에서 3.75 층의 Ga을 AlGaAs 층 위에 뿌렸다. 이때 Ga 분자선의 flux는  $3.5 \times 10^{-7}$  Torr 이었다. 그 후 기판 온도를 200 °C 까지 낮춘 후,  $6.0 \times 10^{-5}$  Torr의  $As_4$  분자선을 넣어

Ga droplet과 반응시킴으로써 GaAs 양자점을 형성시켰다.

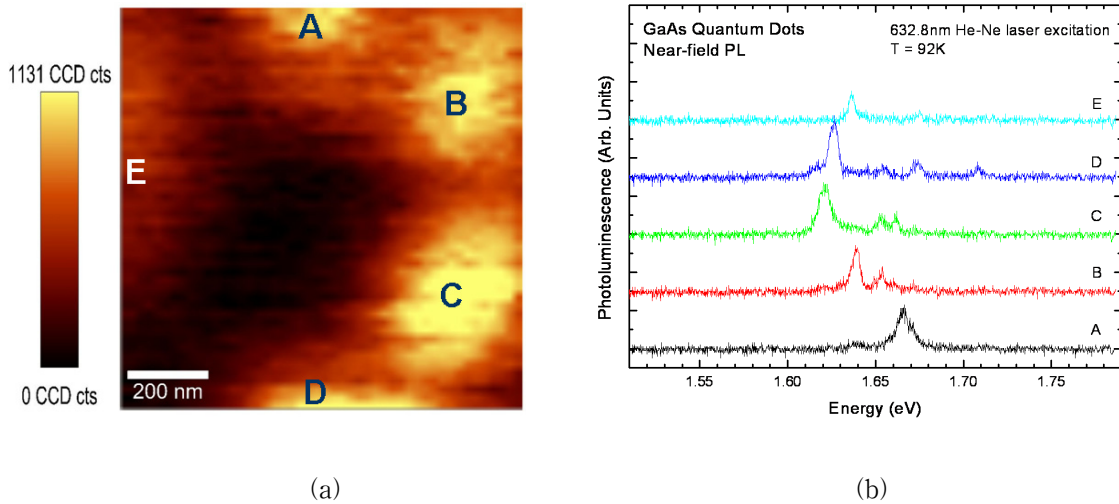


그림 1. (a) GaAs 반도체 양자점의 근접장 형광 영상 (T=92 K), (b) 단일 GaAs 반도체 양자점의 스펙트럼.

그림 1 (a)는 92 K에서 얻은 GaAs 양자점 시료의 근접장 형광 영상이다.  $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$  주사 영역 안에 5개의 양자점을 분명히 분간할 수 있다. 각 단일 양자점에서 나온 분광 스펙트럼은 반치폭이 최소 4 meV에서 최대 9 meV 정도이었다. 단일 양자점 형광의 여기광 빛세기 의존성을 측정하여 엑시톤, 쌍엑시톤, 하전된 엑시톤 peak을 조사하는 작업이 진행 중에 있다. 본 연구에서 구성한 저온 근접장 분광장치는 단일 양자점 구조뿐만이 아니라 다양한 나노 구조 물질의 국소 영역 분광 연구에 매우 유용한 도구로 이용될 것으로 기대된다.

1. H. F. Hess, E. Betzig, T. D. Harris, L. N. Pfeiffer, K. W. West, "Near-Field Spectroscopy of the Quantum Constituents of a Luminescent System", *Science* 264, 1740-1745 (1994).
2. T. Saiki and K. Matsuda, "Near-field optical fiber probe optimized for illumination-collection hybrid mode operation", *Appl. Phys. Lett.* 74, 2773 (1999).