

상온에서 동작하는 근접장 광학현미경을 이용한 자외선-가시광선 영역 분광계의 구성

Construction of Room-Temperature UV-visible Near-field Spectroscopy System

임상엽*, 최문구*, 박정근*, 조규만**, 박승한*

*연세대학교 물리학과, **서강대학교 물리학과

syim@phy.yonsei.ac.kr

단일 양자점이나 단일 분자에 대한 분광 연구는, 미세구조 물질의 근본 물성을 밝히고자 하는 물리적인 관점뿐만 아니라 이를 실제적으로 이용하려는 실용적인 관점에서 매우 관심을 끄는 주제이다. 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.⁽¹⁻³⁾ 근접장 현미경은 기존의 광 현미경이 근본적으로 지니고 있는 회절한계를 넘어서는 분해능으로 광 형상을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 근접장 광학 현미경의 제작과, 자외선-가시광선 영역에서 감도가 좋은 분광계의 구성, 그리고 미약한 광 신호를 검출하기 위한 단일광자 계수장치 부착을 통해 단일 양자점이나 단일 분자의 분광 연구를 수행하기 위한 분광계를 구성하였다.

제작된 근접장 광학 현미경은 잡아끄는 방식으로 형성한 뾰족한 광섬유에 Al/Cr을 증착하여 형성한 작은 구멍을 탐침으로 이용하였으며 tuning fork를 이용한 shear force 측정으로 탐침과 시료 사이의 거리를 수십 nm 내로 유지하도록 구성되어 있다.⁽⁴⁾ 또한 탐침을 시료에 가까이 가져가고, 평면 방향으로 미세한 변위로 scan하기 위하여 PZT tube를 사용하였다. PZT tube scanner는 변형 계수 d_{31} 이 293K에서 -2.62A/V 인 PZT-5H 물질로 이루어진 tube 형태이며 바깥쪽 윗부분은 전극이 4개로 나뉘어 있다. 길이방향과 평면방향의 변위는 대략 26.2nm/V 및 49.1nm/V 로 추정할 수 있는데(Staveley Sensors Inc.), 실제 변위는 전압에 대하여 비선형적인 반응을 보이며, 간접계로 측정한 전압 대 변위 측정 곡선으로 실험결과를 보정하였다.

근접장 광학 현미경은 빛의 입사 및 검출 방식에 따라 다양한 모드로 작동한다.⁽⁵⁾ 본 연구에서는 광섬유 탐침에 여기광을 입사시키고 빛과 시료 사이의 상호작용 후에 나오는 빛을 대물렌즈로 수광하는 방식의 검출 효율이 가장 높은 illumination 모드를 채용하였다. 그림 1은 대략적인 실험장치도이다.

청색 및 근자외선 영역의 스펙트럼까지 측정하기 위하여 자외선 영역 파장의 레이저를 여기광원으로 사용하였다. 여기광원은 18mW 출력의 He-Cd 레이저이며 레이저 파장은 325nm이다. 여기광원이 자외선 파장의 빛이므로 광학계를 구성할 때 자외선에 의해 유도되는 형광을 억제하거나 제거하기 위한 주의를 기울였다. 특히 근접장 광학 현미경을 이용하여 빛을 검출할 때, 여기광원이 광 신호와 같은 경로를 지나게 되는데, 광 신호는 매우 미약하므로 다른 광학계에서 자외선에 의한 형광이 나오면 광 신호를 분별하는 것이 어렵다. 이러한 이유로 모든 대물렌즈는 자외선에 의해 형광이 유도되지 않는 렌즈



를 사용하였으며, 분광장치 앞단의 렌즈 역시 quartz 렌즈를 사용하여 시료에서 나오는 신호와 무관하게 광학계에서 발생하는 형광을 억제하였다. 광섬유 탐침 역시 자외선용 350nm 단일모드 광섬유로 제작된 탐침을 사용하였으며, 시료는 200 μ m 두께로 연마한 quartz 기판 위에 도포하여 특성을 조사함으로써 자외선 여기광원에 의한 광학계의 형광을 대부분 억제할 수 있었다. 한편 분광장치 앞단에 385nm 이하의 단파장을 흡수하는 필터를 사용하여 여기광원이 분광장치에 직접 입사되는 것을 막았다. 실제로 시료를 조사하기 전에 quartz 기판만을 둔 상태에서 스펙트럼을 구하여 본 결과 자외선에 의해 시료 이외의 광학계에서 나오는 형광은 검출되지 않음을 확인하였다.

분광장치로 분광한 광 신호는 자외선 영역부터 근 적외선까지 양자효율이 높은 GaAs(Cs) 광증배관 (R943-02, Hamamatsu Photonics K.K.)을 통해 증폭하였으며 동기식 단일광자 계수장치를 부착하여 검출함으로써 매우 미약한 광 신호까지도 검출할 수 있었다. 동기식 단일광자 계수장치는 전처리 증폭기와 펄스 판별기, 계수기로 구성되어 있으며 기계식 shutter로 여기광원을 변조함으로써 여기광원과 무관한 주변 빛에서 신호를 분별할 수 있다.

그림 2는 본 연구에서 구성한 근접장 분광장치를 이용하여 측정된 InN 콜로이드 양자점에 대한 분광 스펙트럼이다. 300nm 직경의 탐침을 시료 위에 고정시켜 둔 상태에서 측정하였으며 상온에서 실험을 수행하였다.

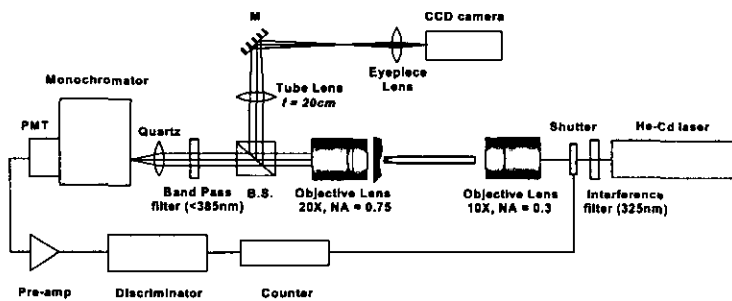


그림 1. 근접장 분광장치의 개략도

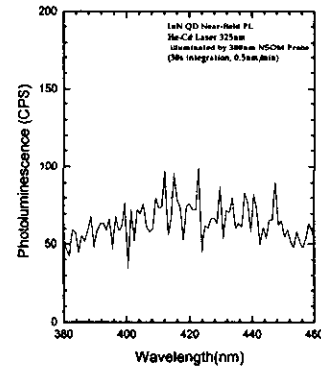


그림 2. InN 양자점의 상온 근접장 스펙트럼

참 고 문 헌

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. 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).
3. 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).
4. K. Karrai, R. D. Grober, "Piezoelectric tip-sample distance control for near field optical microscopes", Appl. Phys. Lett. **66**, 1842-1844 (1995).
5. D. W. Pohl, "Near-field optics: light for the world of nano-scale science", Thin Solid Films **264**, 250-254 (1995).