

대칭-비대칭 GaAs 결합 양자구조의 광학적 특성 연구

김종수*, 변지수, 강훈수, 정문석, 임상엽, 고도경, 이종민
조남기¹⁾, 박성준¹⁾, 송진동¹⁾, 최원준¹⁾, 이정일¹⁾

광주과학기술원 고등광기술연구소 나노광학 연구실, ¹⁾한국과학기술연구원 나노소자 연구센터
*jongskim@gist.ac.kr

결합된 반도체 양자구조는 기초 물리현상 탐구와 신 개념 광전 소자에 응용을 위해 많은 연구가 이루어져 왔다.[1] 특히 양자 커플링과 양자 얽힘에 관한 현상들이 보고되고 있으며, 물질성장 기술의 발달로 다양한 형태의 양자나노구조의 실현이 가능해 지고 있다. 최근 실현된 결합 양자구조는 두개의 양자 링 (quantum ring)이 한 축을 중심으로 결합하는 구조 (concentric quantum-double ring)와 두개의 양자점 (quantum dot)이 평면상의 한축을 따라 배열하고 있는 (laterally-coupled quantum dot) 등이 있다.[2] 이러한 양자구조의 전기장 및 자기장의 영향에 관한 연구가 보고되고 있으나 파인 캐리어가 광학적 특성에 미치는 영향에 대한 보고는 적은 실정이다. 이는 파인 캐리어 주입의 문제점, 즉 전기적 방법에 의한 캐리어 주입 시 접촉저항에 의한 열화 현상과, CW 레이저를 이용한 광학적인 방법으로 캐리어를 형성할 (광여기 캐리어) 경우 열화 현상뿐만 아니라 충분한 파워에 한계를 가지기 때문이다. 최근 극초단 펄스폭을 가지는 펨토초 레이저를 이용한 캐리어 발생은 펄스폭이 좁아 고강도의 레이저가 짧은 시간에 물질에 조사됨으로써 비선형효과를 유발할 수 있어 THz 발생이나 순간적으로 고농도의 광캐리어 생성이 가능하다.[3]

본 연구에서는 펨토초 레이저 펄스를 이용하여 대칭 및 비대칭 구조의 GaAs 양자나노구조의 광학적 특성을 분석하였다. 여기광원으로는 10 W 펄핑 레이저를 이용하여 700 nm 파장의 펄스폭이 160 fs이고 반복률 76 MHz인 레이저 펄스를 BBO를 이용하여 second harmonic generation한 350 nm 파장을 이용하였다. Photoluminescence (PL) 측정을 위해 200-900 nm 영역을 검출할 수 있는 광증배관 (PMT)을 사용하였다. 저온의 물성을 연구하기 위하여 8 - 300 K 까지 온도 조절이 가능한 진공 챔버와 He 순환식 냉각장치를 사용하였다. 대칭 및 비대칭 양자나노구조에 고농도의 광여기 캐리어가 주입될 때 일어나는 물리적 현상을 규명하기 위하여 펨토초 레이저의 강도를 I_0 에서 $200I_0$ 까지 증가 시키면서 PL을 측정하였다.

그림 1은 본 연구에 사용된 (좌) 비대칭 및 (우) 대칭 GaAs 양자나노구조의 원자힘현미경 (AFM) 이미지이다. 비대칭 나노구조는 $[1\bar{1}0]$ 방향으로 두개의 양자점이 결합된 형태이며 대칭 나노구조는 (001)면 방향으로 평행한 축을 중심으로 두개의 링이 결합된 구조이다.

그림 2는 고농도의 광여기 캐리어가 양자점에 주입될 때 비대칭 나노구조와 대칭 나노구조에서 광학적 특성변화를 조사하기 위하여 여기광의 강도를 변화시키면서 측정한 PL 스펙트라이다. 여기광의 강도가 증가할수록 비대칭 나노구조의 PL 피크의 위치는 red-shift 하는 반면 대칭 나노구조는 blue-shift 하는 현상을 보였다. 일반적으로 양자나노구조에서 발광밴드의 red-shift는 양자구조에 전기장이 인가되었을 때 나타나는 양자구속 Stark 효과(QCSE)로 해석 되어 지고 있으며 blue-shift는 state-filling 효과 (SFE)로 해석되어 왔다. PL 실험에서 일반적으로 양자점은 광여기 캐리어수가 증가할수록 PL 밴드가 blue-shift하고 이것을 SFE라 한다. 본 연구의 결과는 대칭구조와 비대칭구조가 서로 상반된 광학적 현상을 보여줌을 알 수 있다. 일반적으로 QCSE는 양자구조에 외부전기장이 인가 될 때 일어나는 현상

이지만 본 연구에서는 양자구조에 단순히 광학적인 방법으로 광여기 캐리어를 형성시켰으며 외부전기장은 인가하지 않았다. 이것으로 보아 구조적 차이에 의한 내부전기장의 형성에 대한 가능성이 존재하는 것으로 보인다. 이것은 과도하게 형성된 캐리어가 각각의 양자 나노구조에 구속되어 비대칭적인 구속 캐리어 분포가 내부전기장을 형성시켜 2차적인 QCSE 현상이 나타난 것으로 사료된다. 이는 동일한 캐리어를 주입하였을 때 대칭적 구조에서는 구속 캐리어의 분포가 대칭적으로 이루어짐으로서 내부전기장의 합이 제로가 되기 때문에 QCSE가 나타나지 않고 일반적인 SFE가 나타는 것으로 반증할 수 있다.

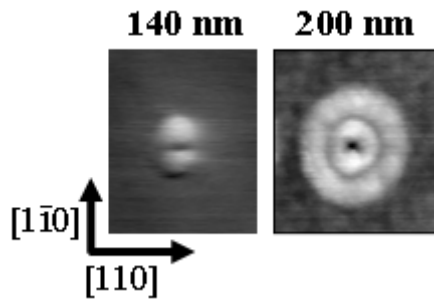


Fig. 1. (좌)비대칭 및 (우)대칭 결합 GaAs 양자나노구조의 AFM 이미지

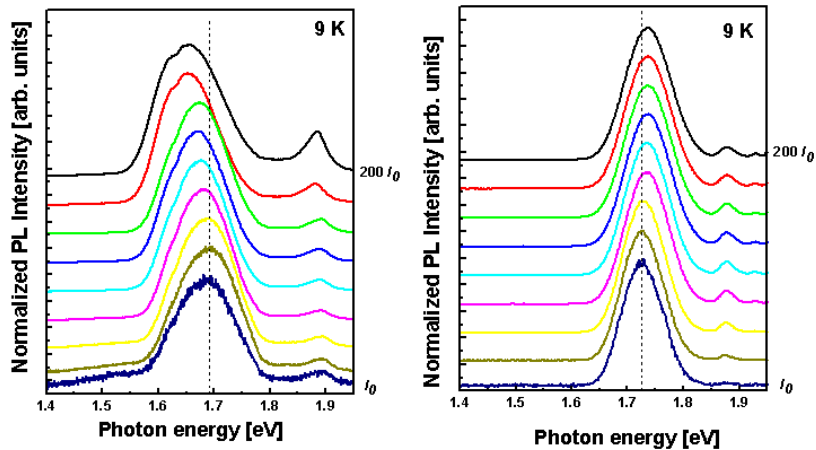


Fig. 2. (좌)비대칭 및 (우)대칭 결합 GaAs 양자나노구조의 레이저 강도 의존 발광 스펙트럼

참고문헌

1. G. Bester, J. Shumway, and A. Zunger, Phys. Rev. Lett. 93, 047401 (2004).
2. J. S. Kim, et al., Appl. Phys. Lett. 88, 24191 (2006).
3. N. Sarukura, H. Ohtake, S. Izumida, and Z. Liu, J. Appl. Phys. 84, 654 (1998).