

수직방향으로 적층된 InAs 양자점의 광학적 특성

김광무*, 노정현, 박영민, 박용주, 나종범, 김은규, 박정호*
 한국과학기술연구원 반도체재료연구실
 *고려대학교 전자공학과

양자점 (Quantum Dot : QD)를 이용한 소자를 만들기 위해서는 수직방향으로의 적층이 필수적이다. 양자점의 적층은 수직적으로 같은 위치에 정렬하므로, 고려되어야 할 요소로는 양자점간의 파동함수의 중첩(coupling)에 의한 특성변화, 적층의 진행에 따른 변형(strain)의 증가로 기인되는 volcano모양으로 나타나는 결함 등이 있다. 이러한 결함은 nonradiative recombination center로 작용하여 오히려 효율이 떨어지게 되는 현상이 발생하게 되므로 본 연구에서는 적층횟수에 따른 발광효율의 변화를 조사하여 소자 응용에 적절한 적층 조건을 조사하였다.

시료성장은 molecular beam epitaxy (MBE) 장치를 이용하여 GaAs(100) 기판 위에 GaAs buffer를 580°C에서 150 nm 성장후 InAs/GaAs 양자점과 500°C에서 적층회수 1, 3, 6, 10, 15, 20회로 하여 성장하였다. InAs 양자점의 두께는 약 1.9 ML(monolayer)이며 GaAs spacing의 두께는 5.6 nm로 하였으며 적층성장 이후 GaAs cap layer를 성장하였다. GaAs spacing과 cap layer의 성장온도 역시 500°C이며 시료의 분석은 photoluminescence (PL) 과 scanning transmission electron microscope (STEM)으로 하였다.

적층횟수를 바꾸어 시료를 성장하기 전에 적층횟수를 10회로 고정하고 spacing 두께를 2.8nm, 5.6nm, 11.2nm로 바꾸어 성장하여 PL 특성을 관찰하여본 결과 spacing이 2.8nm인 경우 수직적으로 정렬된 양자점 간에 coupling이 매우 커서 single layer QD의 PL peak에 비해 약 100nm 정도 파장이 증가하였고, spacing의 두께가 11.2nm 일 경우는 single layer QD와 거의 같은 파장의 빛을 방출하여 중첩이 거의 일어나지 않지만 두꺼운 spacing때문에 PL세기가 감소하였다. 한편, 적층회수에 따른 광학적 특성을 PL로 조사하여 본 결과 peak 파장은 적층횟수가 1회에서 3회로 증가했을 때는 blue shift하다가 이후 적층이 증가함에 따라 red shift 하였다. 그리고 10층 이상의 적층에서는 excited state에서 기인된 peak이 검출되었다. 이러한 원인은 적층수가 증가함에 따라 carrier life time이 증가하여 excite state에 carrier가 존재할 확률이 증가하기 때문으로 생각된다. 또한 PL peak 세기와 적분한 PL 세기를 비교해 본 결과, 적층회수의 증가에 따라 6층까지는 PL세기가 다소 증가하다가 10층 이상의 경우는 다시 감소를 알 수 있었다. 반치폭도 3층과 6층에서 가장 적은 값을 보였다. 이와 같은 결과는 결함생성과 관련하여 STEM 분석으로 해석되어질 수 있는데, 6층 적층시는 양자점이 수직적으로 정렬되어 잘 형성됨을 관찰할 수 있었고 적층에 따른 크기 변화도 거의 나타나지 않았다. 그러나 10층, 15층 적층시 몇 가지 결함이 형성됨을 볼 수 있었고 양자점의 정렬도 완전하게 이루어지지 않음을 볼 수 있었다. 그러므로 수직적층된 InAs 양자점의 광학적 특성은 성장조건에 따른 결함생성과 밀접한 관련이 있으며 상세한 논의가 이루어 질 것이다.