

원자층 에피택시 성장시킨 InAs/GaAs 양자점의 고온 거동 및 열적 안정성
Structural behavior at high temperature and thermal stability of InAs/GaAs
quantum dots grown by atomic layer epitaxy

김형식, 서주형, 설재복, 박찬경[†], 이상준*, 노삼규*, 송진동**, 박용주**, 최원준**, 이정일**

포항공대 신소재공학과, *한국표준과학연구원 (KRISS) 양자점기술 연구실,

**한국과학기술연구원(KIST) 나노소자 연구센터

(cgpark@postech.ac.kr[†])

이종재료 사이의 격차 부정합을 이용한 자발형성 (self-assembled) 성장원리에 의해 고품위 (high quality) 양자점 제조방법이 개발됨에 따라 양자점을 이용한 광 전소자의 상용화가 가시화되고 있다. 양자점의 자발형성 방법 중, 원자층 에피택시 (atomic layer epitaxy, ALE) 증착법은 원자단위 두께의 박막을 한 층씩 교대로 쌓아 박막을 성장시키는 기술로써 원자단위 두께의 극 초 박막을 넓은 면적에 균일하게 형성시킬 수 있는 장점이 있다. ALE 증착법을 이용하면 III 족 분자들의 단일 층 흡착이 일어난 후 이들이 분해되어 V족의 hydride 기체들과 반응시킴으로써 잘 조절된 layer-by-layer 방식으로 증착이 가능하므로 III-V족 화합물 반도체 증착에 매우 유용하다. 따라서 ALE 증착법을 이용한 원자단위의 급준한 계면 형성 및 초 미세 양자우물, 양자점 등의 III-V족 화합물 반도체 성장에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 양자점을 소자에 적용하기 위해서는 양자점의 구조 및 성장특성을 나노미터 수준 이하에서 정확히 제어해야 하고, 이를 위해서 양자점의 구조 및 성장특성에 대한 이해가 요구된다. 또한, 양자점의 크기 및 구조는 양자점의 성장 온도에 크게 영향을 받으며 양자점 성장 후의 고온공정에 의해 양자점의 구조 및 성분변화가 일어날 수 있으므로 양자점의 고온거동 및 열적 안정성 평가는 매우 중요하다. 투과전자현미경 (transmission electron microscope, TEM)을 이용한 양자점 분석은 투과된 전자에 의한 원자단위 분해능의 구조분석이 가능하므로 이종재료에 묻혀있는 양자점의 구조분석에 매우 유용한 기법이다. 또한 TEM 내부에서 시편을 실시간 가열하며 관찰할 수 있으므로 양자점의 고온거동 및 열적 안정성 평가에 매우 유용하다.

본 실험에서는 적외선 수광소자에 적용이 기대되는 InAs 양자점을 ALE 증착법을 이용하여 GaAs 기판에서 성장시킨 후, 전계방출 TEM 을 사용하여 양자점의 구조 및 성장특성을 분석하였다. 또한 가속전압 1.25 MV 의 초고전압 투과전자현미경을 이용하여 고 경사각 회전 관찰 및 실시간 가열 (in situ heating) TEM 관찰을 통하여 양자점의 고온 거동 및 열적 안정성을 평가하였다. 그 결과, 원자 층 에피택시 방법으로 성장시킨 InAs 양자점은 성장 초기 반구 형태의 둥근 상부구조와 정면을 측면으로 성장하였으며 GaAs 덮개층을 덮어줌에 따라 상부구조가 평탄화되었다. 양자점은 높이 5 nm, 지름 23 nm 내외의 균일한 크기 분포를 보였으며 전체적으로 무질서한 분포로 성장하였으나 양자점들이 두 개 또는 세 개가 이웃하여 성장되는 경향을 보였다. 양자점의 고온 거동 및 열적 안정성을 평가하기 위하여 실시간 가열하며 관찰한 결과, 양자점의 형성 온도인 480C 에서 보다 낮은 400C 에서 양자점의 높이가 1/2 로 감소하였으며 470C 에서 양자점이 소멸되었다. 이와 같이 성장온도 보다 낮은 온도에서 양자점의 소멸이 일어난 것은 고 에너지 전자빔 조사에 의한 영향 때문이며 양자점의 소멸과 함께 쌍정, 적층결함, 기화 및 공공 형성 등의 결정 결함이 기판 표면에서 발생하여 내부로 전파되었다. 전자 빔 조사에 의한 영향을 배제한 양자점 고유의 열적 안정성 평가를 위하여 앞에서 관찰한 영역에서 벗어나 두꺼운 시편 영역에서 양자점에 조사되는 전자빔 조사량을 줄여서 관찰한 결과, 580C 까지 양자점은 상온에서와 같은 안정한 구조를 유지하였다. 그러나 600C 까지 온도를 상승시켰을 때 양자점 상부구조의 평탄화에 의해 양자점의 높이가 낮아졌으며 InAs 분자들이 기판 표면으로 확산됨에 의해 양자점이 소멸되었다. 이상의 결과로부터 양자점의 성장은 580C 이하에서 이루어져야 하며 양자점 형성 직후, 적절한 열처리를 통하여 양자점의 형상 및 높이의 효과적인 조절이 가능할 것으로 판단된다.