

Droplet Epitaxy법을 이용한 저밀도 GaAs 양자점의 성장

이은혜^{1,2}, 송진동^{1*}, 김수연¹, 한일기¹, 이정일¹, 김종수³, 장수경²

¹한국과학기술연구원 나노과학연구본부, ²연세대학교 물리학과, ³영남대학교 물리학과

단광자 광원은 양자암호기술을 실현하기 위해 가장 중요한 기술이다. 현재 까지, 가장 실현 가능성이 높은 단광자 광원은 화합물 반도체 양자점으로, 1 um x 1um당 10여개 이내의 저밀도를 요구한다. 대표적인 화합물 반도체 양자점은 GaAs기판상에 Stranski-Krastanow (SK)방법으로 성장한 In(Ga)As 양자점이다. 광학적/구조적 특성 및 제조방법이 널리 알려져 있고, GaAs 계열 반도체에 대한 공정방법이 이미 성숙되어 있다는 장점이 있어, 이를 이용한 다양한 광/전자 소자가 개발되고 있다. 그러나, SK방법으로 성장된 In(Ga)As 양자점은 크게 두 가지의 문제점이 있다. 첫 번째 문제점은 SK방법에서 오는 문제로, 재생산성이 높고, 균일한 저밀도 양자점 성장이 용이하지 않다. 즉 SK방법은 기판의 온도 편차 및 성장물의 미소한 차이에도 생성되는 양자점의 크기, 형태, 밀도 등이 크게 바뀐다. 또한 대면적의 기판에 제작하기도 불리하다. 기판을 회전시키지 않고 성장하여 일정한 부분에서 저밀도 양자점을 찾는 방법이 있으나, 과학적 실험을 위한 용도로만 적절하다. 두 번째 문제점은, In(Ga)As 양자점의 발광파장이다. 일반적으로 In(Ga)As 양자점은 저온에서 1um 근방에서 PL peak를 보여준다. 단광자 광원을 측정하기 위한 효율 높은 장치들이 대부분 Si array detector를 기반으로 설계 되어 있고 이들의 파장은 대략 0.8um 이내로 제한된다. 물론 고가의 InGaAs array detector를 사용한 장비들도 있지만, 아직은 그 가격이나, 측정 효율에서 Si기반 소자들에 비해 열등하므로, 현재 상태로서는 0.8um이내의 발광파장을 보이는 양자점이 단광자 광원의 빠른 실현에 유리하다. 본 연구에서는 droplet epitaxy방법을 사용하여 저밀도의 GaAs 양자점을 AlGaAs/GaAs기판상에 구현하였다. 기판과 박막간의 격자부정에서 오는 스트레인을 응용하는 SK방법과 달리 초고진공에서 갈륨 금속방울 (metal droplet)을 형성한 후 5족 비소를 주입하여 3족과 5족의 주입을 완전히 구분한다. 이로서 기판과 양자점 물질간의 격자 부정합 없이 양자점을 성장할수 있으며, 이른바 결함이 없는 양자점의 형성이 가능하다. 본 실험에서는 주입되는 갈륨의 flux량, 갈륨 주입 시간, 갈륨 주입 온도등의 변수를 이용하여 다양한 밀도/크기의 갈륨 금속방울을 제작하였다. 최종적으로 3.4개/um²의 저밀도 갈륨 금속 방울을 반복적으로 18 mm x 18 mm 기판상에 균일하게 제작할수 있었으며, 이를 응용한 GaAs/AlGaAs저밀도 양자점을 제작하였다. 그 외 다양한 조건에 따른 실험결과 및 구조적 광학적 특성을 보고한다.

* JDSONG@KIST.RE.KR