

InAlGaAs 장벽층의 상분리 현상에 따른 InAs 나노 양자점의 성장거동 연구

조병구¹, 김재수¹, 이광재¹, 박동우¹, 김현준¹, 황정우¹, 오혜민¹, 김진수^{1,*}, 최병석¹, 오대곤²

¹전북대학교 정보전자재료공학과, ²전자통신 연구원 차세대광소자팀

1.55 μm 대역의 레이저 다이오드를 제작하기 위해, InP(001) 기판에 InAlGaAs 물질을 장벽층으로 하는 InAs 양자점 구조를 분자선증착기 (MBE)를 이용하여 성장하고 구조 및 광학적 특성을 Double Crystal X-ray Diffraction (DCXRD), Atomic Force Microscopy (AFM), Photoluminescence (PL)을 이용하여 평가하였다. 일반적으로 InAlGaAs 물질은 고유한 상분리 현상 (Phase Separation)이 나타나는 특성이 있으며, 이는 양자점 성장에 중요한 요인으로 작용할 수 있다. 이러한 InAlGaAs 물질의 상분리 현상을 기판온도 (540 $^{\circ}\text{C}$, 555 $^{\circ}\text{C}$, 570 $^{\circ}\text{C}$)를 비롯한 성장변수를 변화시켜 제어하고 InAs 양자점 형성에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다. 540 $^{\circ}\text{C}$ 의 성장온도에서 InP(001) 기판에 격자정합한 InAlGaAs 장벽층이 성장온도를 570 $^{\circ}\text{C}$ 로 증가시킬 경우 기판에 대하여 인장 응력 (Tensile Strain)을 받는 구조로 변화되었다. 인장응력을 받는 InAlGaAs 장벽층을 Ga Flux 양을 조절하여 격자정합한 InAlGaAs 층을 형성할 수 있었다. AFM을 통한 표면 형상 분석 결과, 서로 다른 기판온도에서 성장한 InAlGaAs 물질이 InP(001) 기판에 격자정합 조건일지라도 표면의 거칠기 (Surface Roughness)는 매우 다른 양상을 보였고 InAs 양자점 형성에 직접적으로 영향을 주었다. 570 $^{\circ}\text{C}$ 에서 성장한 InAlGaAs 위에 형성한 InAs 양자점의 가로방향 크기를 세로방향 크기로 나눈 비율이 1.03으로서, 555와 540 $^{\circ}\text{C}$ 의 1.375 와 1.636 와 비교할 때 모양 대칭성이 현저히 개선된 것을 알 수 있다. 상분리 현상이 줄어들어 표면 거칠기가 좋은 InAlGaAs 위에 양자점을 형성할 때 원자들의 이동도가 상대적으로 높아 InAs 양자점의 크기가 증가하고, 밀도가 감소하는 현상이 나타났다. 또한 InAlGaAs 장벽층이 InP(001) 기판을 기준으로 응력 (Compressive 또는 Tensile)이 존재하는 경우, InAs 양자점 모양이 격자정합 조건보다 비대칭적으로 변하는 특성을 보여 주었다. 이로부터, 대칭성이 개선된 InAs 양자점 형성에 InAlGaAs 장벽층의 표면 거칠기와 응력이 중요한 변수로 작용함을 확인 할 수 있었다. PL 측정 결과, 발광파장은 1.61 μm 로 InAs 양자구조 형상에 따라 광강도 (Intensity), 반치폭 (Line-width broadening) 등이 변화 되었다.