

수정자발형성법을 통한 높은 균일도와 밀도를 갖는 InAs/GaAs 양자점 형성 및 특성평가

조병구¹, 황정우¹, 오혜민¹, 김진수¹, 이동한², 안성수², 김종수³, 노삼규⁴, 오대곤⁵, 한원석⁵

¹전북대학교 전자정보재료공학과, ²충남대학교 물리학과, ³영남대학교,

⁴한국표준과학연구원, ⁵한국전자통신연구원

최근 Stranski-Krastanov (SK) 성장법을 이용한 자발형성 (Self-assembled) InAs/GaAs 양자점 (Quantum Dot) 연구가 기초 물리학뿐만 아니라 응용에 있어 활발하게 진행되고 있다. 그러나 기존 보고에 따르면 SK 성장법을 통한 InAs/GaAs 양자점은 크기, 균일도, 및 밀도 등의 성장거동 제어에 한계가 있다. 예로, 성장속도 및 증착량이 감소하더라도 상대적으로 크기가 큰 InAs/GaAs 클러스터 (Cluster)를 형성하여 크기분포의 불균일 및 결함을 야기하여 결과적으로 전기/광학적 특성을 저해하는 요인이 된다. 이를 개선하기 위한 방안으로 SK 성장법을 변형한 다양한 수정자발형성법이 제안되어 연구되고 있다.

본 논문에서는 기존 SK 성장법과 Arsenic-interruption Technique(AIT), In Pre-deposition (IPD)법을 각각 접목한 수정자발형성법을 이용하여 상대적으로 크기가 큰 InAs/GaAs 양자점 또는 클러스터 형성을 감소시켜 공간적 크기 균일도 및 밀도를 제어한 결과를 보고한다. 성장된 InAs/GaAs 양자점 시료의 구조 및 광학적 특성을 원자력간현미경 (Atomic Force Microscopy, AFM)과 Photoluminescence (PL) 분광법을 이용하여 분석하였다. 기존 SK 성장법을 이용하여 형성한 기준시료의 AFM 이미지에서 InAs/GaAs 양자점과 클러스터의 공간밀도는 각각 $6.4 \times 10^{10}/\text{cm}^2$ 와 $1.4 \times 10^9/\text{cm}^2$ 로 관찰되었다. 그러나, AIT를 이용한 양자점 시료의 경우 상대적으로 크기가 큰 InAs/GaAs 클러스터는 관찰되어지지 않았고, 양자점 밀도는 $8.4 \times 10^{10}/\text{cm}^2$ 로 SK 양자점에 비하여 30% 정도 개선되었다. 또한, InAs/GaAs 클러스터를 제외한 공간 균일도는 SK-InAs/GaAs 양자점의 15.6%에 비하여 8%로 크게 개선된 결과를 얻었다. AIT 성장법을 이용한 InAs/GaAs 양자점에서 원자의 이동거리 (Migration Length)의 제어로 양자점의 형성특성이 개선된 것으로 설명할 수 있으며, Arsenic 차단 시간이 임계점 이상으로 길어지면 다시 InAs/GaAs 클러스터들이 형성되는 것을 관찰할 수 있었다. InAs/GaAs 양자점과 클러스터 형성 특성이 초기 표면 조건에 어떻게 영향을 받는지 분석하기 위해, InAs 양자점 성장 이전에 V족 물질 공급 없이 Indium의 공급시간을 1초(IPDT1S 시료), 2초 (IPDT2S 시료), 3초 (IPDT1S 시료)로 변화시키면서 증착하고 기존 SK 성장법으로 양자점을 성장하였다 (IPD성장법). 그 결과 IPD1S 양자점 시료의 공간밀도가 $10 \times 10^{10}/\text{cm}^2$ 로 SK InAs/GaAs 양자점 시료에 비해 약 60% 정도 증가하였고, 클러스터도 관찰 할 수 없었다. 그러나 IPD 시간이 증가할수록 다시 InAs/GaAs 클러스터들이

형성되는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 InAs/GaAs 양자점 성장초기에 InAs 핵생성 사이트 (Nucleation site)의 크기 및 상태를 제어하는 것이 양자점의 밀도 및 균일도를 제어하는 중요한 요소임을 알 수 있다.