

자발형성 InAs 양자점의 발광파장 변조

Controlling the emission wavelength of self-assembled InAs quantum dots

김진수, 이진홍, 홍성희, 곽호상, 한원석, 김종희, 오대곤
 한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소 광통신소자연구부
 e-mail 주소: kjinsoo@etri.re.kr

최근 양자점 (Quantum Dot-QD)에 대한 관심이 기초 물리학뿐만 아니라 광전소자 응용 측면에서 많은 주목을 끌고 있다⁽¹⁾. 특히, 자발 형성방법으로 성장시킨 양자점 (Self-assembled QD)을 이용하여 Laser Diode와 같은 광소자에 응용한 결과가 발표되고 있다⁽²⁾. 이러한 자발형성 방법으로 성장한 양자점을 광통신에 응용하기 위해서는 발광파장을 제어할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 단거리 광통신에 응용 될 수 있는 1.3 μm 영역과 장거리 광통신에 사용하는 1.55 μm 영역으로 InAs 양자점의 발광 파장을 변조한 결과에 대하여 분석하였다.

본 실험에서 사용된 시료는 V80 MBE를 이용하여 n-type GaAs 기판과 n-type InP기판 위에 성장하였다. 시료의 구조는 InAs양자점을 GaAs 기판 위에 3.2 단원자층 (Monolayer-ML)를 성장하고,

GaAs 층으로 Capping한 기준 시료 (QD1)와 InAs 양자점을 성장하고 Strain-reducing 층으로 사용된 InGaAs로 Capping한 시료 (QD2, QD3)가 있다. 그리고 InP 기판을 P-source 없이 열처리 한 후에 Tensile Strain이 걸린 InAlAs 층을 성장하고, 그 위에 InAs 양자점을 4.8 (QD4), 5.6 (QD5), 6.4 ML (QD6) 성장하였다. 이때 Residual Strain에 의한 영향을 보기 위하여 약하게 Compressive Strain이 걸린 InAlAs 층위에 5.6 ML의 InAs 양자점(QD7)을 성장하였다. 이렇게 성장한 시료의 구조 및 광 특성을 보

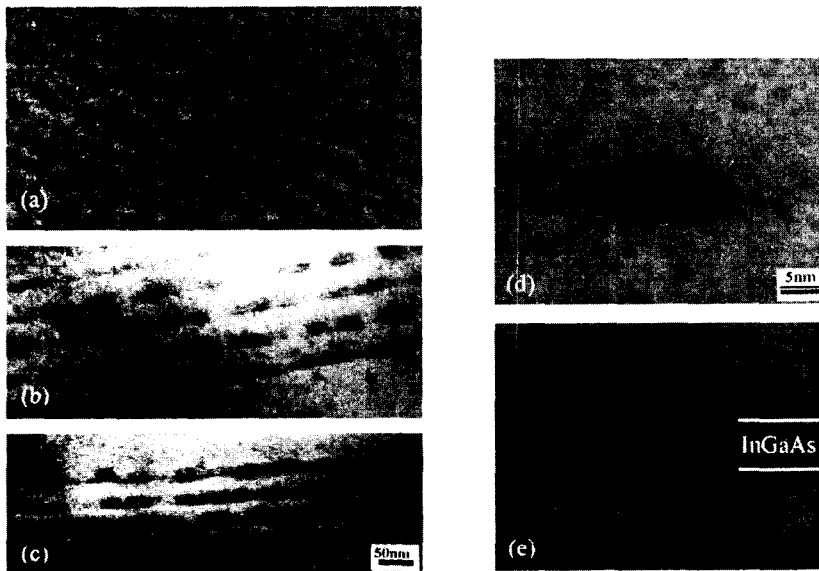


그림 1. (a), (b), (d) 기준시료 (QD1)와 (c), (e) Strain-reducing 층을 갖는 시료 (QD3)의 TEM Images.

기 위하여 AFM, TEM, 그리고 상온 PL 실험을 수행하였다.

그림1은 GaAs 기판 위에 양자점을 성장한 시료인 QD1과 QD3의 평면 및 단면 TEM 이미지와 고해상도 TEM 이미지를 나타낸 것으로서 양자점이 결함 (Defects) 없이 잘 성장하였음을 알 수 있다. 그림

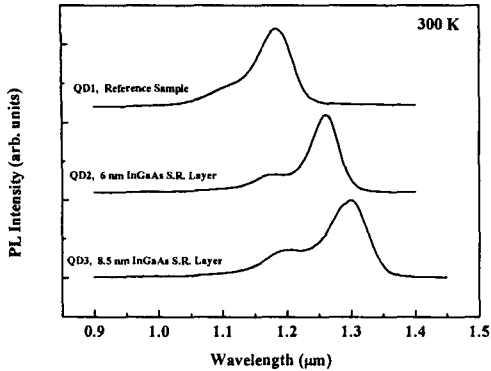


그림 2. GaAs 기판위에 성장한 양자점 시료의 상온 PL.

1(a)와 (b)로부터 기준 시료의 양자점 공간 밀도는 약 $7 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$ 이고 양자점의 폭은 $18 \pm 1 \text{ nm}$ 이고 높이는 $5.5 \pm 0.5 \text{ nm}$ 이다. Strain-reducing 층을 이용한 시료인 QD3의 단면 및 고해상도 TEM에서, 양자점의 모양이 InGaAs 층에 의하여 변화되었음을 알 수 있다. 특히 양자점의 Aspect-ratio (높이/폭)의 비율이 증가하고 있다. 그림2는 이러한 시료의 상온 발광 특성을 나타낸 것으로서 QD3의 경우 발광 파장이 $1.30 \mu\text{m}$ 이었다. 또한 기저 상태와 첫번째 여기 상태의 에너지 차이가 기준 시료에 비하여 현저하게 증가하고 있는데, 이는 TEM Image에서 보듯이 양자점의 Aspect-ratio가 증가하였기 때문으로 설명 할 수 있다⁽¹⁾.

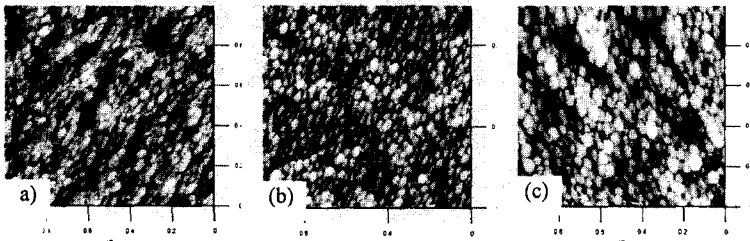


그림 3. InAs 증착양에 따른 양자점 시료의 AFM Images.

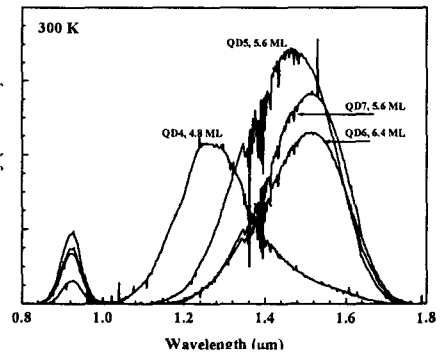


그림 4. InAlAs/InP 층위에 성장한 InAs 양자점 시료의 상온 PL.

그림 3은 InAlAs 층위에 InAs 증착량을 변화시키며 성장한 시료(QD4,5,6)의 AFM Image로서 양자점이 잘 성장하였음을 보여 주고 있다. 그림 3(b)는 5.6 ML 두께의 InAs 양자점을 성장한 시료의 AFM Image로서 크기는 폭이 $50 \pm 5 \text{ nm}$, 높이가 $6 \pm 1 \text{ nm}$ 이고, 면밀도가 $7 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$ 로 나타났다. 그림 4는 InAlAs Barrier를 갖는 양자점의 상온 발광 특성으로서, InAs 증착양에 따라, 발광파장이 장파장으로 이동함을 알 수가 있다. 장파장으로 이동하는 주된 이유는 양자점의 크기가 상대적으로 증가하고 있기 때문이다. 또한 증착량이 6.4 ML의 경우 그 발광파장이 $1.52 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 이때 PL의 반치폭은 약 80 meV 이고 $1.40 \mu\text{m}$ 근처에서 보이는 피크들은 공기에 의한 산란 (Water absorption) 때문이다. 그림 4에서 QD7 시료의 경우 QD6 시료보다 InAs 증착량이 상대적으로 적음에도, 발광 파장이 $1.52 \mu\text{m}$ 근처에 있는 이유는, 양자점 성장과 관련된 Strain이 다르기 때문으로 설명할 수 있다.

참고문헌

1. J. S. Kim, P. W. Yu, J. I. Lee, Jong S. Kim, S. G. Kim J. Y. Leem, and M. Jeon, Kim, "Height-controlled InAs quantum dots by using a thin InGaAs layer", Appl. Phys. Lett. 80, 4714-4716 (2002).
2. A. Stintz, G. T. Liu, H. Li, L. F. Lester, and K. J. Malloy, "Low-threshold current density 1.3- μm InAs quantum-dot lasers with the dots-in-a-well (DWELL) structure", IEEE Photon. Tech.