

T3-003

## Characterization of InAs Quantum Dots in InGaAsP Quantum Well Grown by MOCVD for 1.55 $\mu\text{m}$

최장희<sup>1,2</sup>, 한원석<sup>1</sup>, 송정호<sup>1</sup>, 이동한<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국전자통신 연구원 광모듈응용기술연구팀, <sup>2</sup>충남대학교 물리학과 광전자실험실

양자점은 전자와 양공을 3차원으로 속박 시키므로 기존의 bulk나 양자우물보다 양자점을 이용한 레이저 다이오드의 경우 낮은 문턱 전류, 높은 미분이득 및 온도 안정성의 장점이 있을 거라 기대되고 있다. 그러나, 양자점은 낮은 areal coverage 때문에 높은 속박효율을 얻지 못하고 있다. 이러한 양자점의 문제점을 해결하기 위해 양자점을 양자우물 안에 성장시켜 운반자들의 포획을 향상시키는 방법들이 연구되고 있다. 양자우물 안에 양자점을 넣으면 양자우물이 운반자들의 포획을 증가 시키고, 열적 방출도 억제하여 온도 안정성이 향상 되는 것으로 알려져 있다. 광통신 대역의 1.3  $\mu\text{m}$  경우, GaAs계를 이용하여 InAs 양자점을 strained InGaAs 박막을 우물층으로 한 dot-in-a-well 구조의 연구는 몇몇 보고된 바 있다. 그러나 InP계를 사용하는 1.55  $\mu\text{m}$  대역에서 dot-in-a-well구조의 연구는 아직 미미하다.

본 연구에서는 유기 금속 화학 증착법(metal organic chemical vapor deposition)을 이용하여 InP 기판 위에 InAs 양자점을 자발성장법으로 성장하였으며 dot-in-a-well 구조에서 우물층으로 1.35  $\mu\text{m}$  파장의  $\text{In}_{0.69}\text{Ga}_{0.31}\text{As}_{0.67}\text{P}_{0.33}$  (1.35Q)를, 장벽층으로는 1.1  $\mu\text{m}$  파장의  $\text{In}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{As}_{0.32}\text{P}_{0.68}$  (1.1Q)를 사용하였다. 양자우물층과 장벽층은 모두 InP 기판과 격자가 일치하는 조건으로 성장하였다. III족 원료로는 trimethylindium (TMI)와 trimethylgallium (TMGa)을 사용하였으며 V족 원료 가스로는  $\text{PH}_3$  100%,  $\text{AsH}_3$  100%를, carrier gas로는  $\text{H}_2$ 를 사용하였다. InP buffer층의 성장 온도는 640°C이며 양자점 성장 온도는 520°C이다. 양자점 형성은 원자력간 현미경(Atomic force microscopy)를 이용하여 확인하였으며, 박막의 결정성은 쌍결정 회절분석(Double crystal x-ray deffractometry)를 이용하여 확인하였다. 확인된 성장 조건을 이용하여 양자점 시료를 성장하였으며 광여기분광법(Photoluminescence)을 이용하여 광특성을 분석하였다.

Fig. 1은 dot in a barrier 와 dot-in-a-well 시료의 성장구조이다. Fig. 1(a)는 일반적인 dot-in-a-barrier 구조로 InP buffer층을 성장하고 1.1Q를 100 nm 성장한 후 양자점을 성장하였다. 그 후 1.1Q 100 nm와 InP 100 nm로 capping하였다. Fig. 1(b)는 dot-in-a-well 구조로 InP buffer층을 성장하고 1.1Q를 100 nm 성장 후 1.35Q 우물층을 4 nm 성장하였다. 그 위에 InAs 양자점을 성장하였다. 그 후에 1.35Q 우물층을 4 nm 성장하고 1.1Q 100 nm와 InP 100 nm로

capping하였다.

Fig. 2는 dot-in-a-barrier 시료와 dot-in-a-well 시료의 상온 PL data이다. Dot-in-a-barrier 시료의 PL 파장은 1544 nm이며 반치폭은 79.70 meV이다. Dot-in-a-well 시료의 파장은 1546 nm이며 반치폭은 70.80 meV이다. 두 시료의 PL 파장 변화는 없으며, 반치폭은 dot-in-a-well 시료가 8.9 meV 감소하였다. Dot-in-a-well 시료의 PL peak 강도는 57% 증가하였으며 적분강도(integration intensity)는 45%가 증가하였다. PL 데이터에서 높은 에너지의 반치폭 변화는 없으며 낮은 에너지의 반치폭은 8 meV 감소하였다. 적분강도 증가에서 dot-in-a-well 구조가 dot-in-a-barrier 구조보다 전자-양공의 재결합이 증가한다는 것을 알 수 있으며, 반치폭 변화로부터 특히 높은 에너지를 갖는 작은 양자점에서의 재결합이 증가된 것을 알 수 있다. 이는 양자우물이 장벽보다 전자-양공의 구속력을 증가시키기 때문에 양자점에 전자와 양공의 공급을 증가시키기 때문이다. 따라서 낮은 에너지를 가지는 양자점을 모두 채우고 높은 에너지를 가지는 양자점까지 채우게 되므로, 높은 에너지를 가지는 양자점에서의 전자-양공 재결합이 증가되었기 때문이다. 뿐만 아니라 파장 변화 없이 PL peak 강도와 적분강도가 증가하고 낮은 에너지 쪽의 반치폭이 감소한 것으로부터 에너지가 낮은 양자점보다는 에너지가 높은 양자점에서의 전자-양공 재결합율이 급증하였음을 알 수 있다.

우리는 이와 같은 연구에서 InP계를 이용해 1.55  $\mu\text{m}$ 에서도 dot in a well구조를 성장 하여 더 좋은 특성을 낼 수 있으며 앞으로 많은 연구가 필요할 것이라 생각한다.

**Keywords:** 양자점, Dwell, 유기금속화학증착(MOCVD), InAs, InGaAsP