

저압 MOCVD 방법으로 성장된 InGaAsP 에피층의 ordering 특성에 대한 분석

김대연, 문영부, 이태완, 윤의준, 이정용*, 정현식**

서울대학교 재료공학부 및 반도체공동연구소

*한국과학기술원 재료공학과

**National Renewable energy Laboratory, USA

1. 서론

InP 기판위에 성장된 InGaAsP 에피층은 기판과 격자일치 조건에서 광섬유내에서 각각 최소손실과 최소분산을 갖는 1.55 μm , 1.3 μm 의 파장에 해당하는 밴드갭 에너지를 가질 수 있다. 따라서 장거리 통신용 광소자 제작에 필수적인 물질로써 널리 연구되고 있다. 하지만 InGaAsP 4성분계의 성장시 P와 As의 평형 증기압차, PH₃과 AsH₃의 열분해 차이가 크기 때문에 실제 고체상에서의 정확한 조성 조절이 비교적 어렵고 또한 조성변동(composition modulation), ordering 등의 균일하지 못한 에피 특성이 보고되고 있다[1,2]. 이러한 조성변동, ordering 등은 TEM을 통해 널리 연구되고 있지만 광학적 특성을 통한 분석은 아직 미흡한 실정이다[3]. 본 실험에서는 인을 포함하는 물질의 에피성장기에 적합하고 급준한 계면형성과 대량생산이 용이한 저압 유기금속 화학증착법(LP-MOCVD)을 사용하여 InGaAsP 에피층을 성장하였으며 측정온도 변화에 따른 photoluminescence spectrum의 변화를 측정하였다. PL spectrum의 비정상적인 온도 의존성을 얻었는데 이에 대한 가능한 기구들을 제시하였으며 보다 정확한 원인 규명을 위해 TEM 분석을 행한 결과 온도에 따른 비정상적인 광학적 특성의 원인이 ordering에 의한 것임을 확인하였다.

2. 실험방법

반절연 (100) InP 기판을 사용하였으며 유기물 제거, 황산 식각, in-situ 열세정과정을 거친 후 성장하였다.[4] InGaAsP의 성장온도는 600°C와 620°C이었고, 반응기의 압력은 76Torr이며, 이송기체인 수소의 유량은 12slm이었다. InGaAsP의 성장을 위해 TMGa, PH₃은 일정하게 유지하였으며 TMin과 AsH₃의 양을 바꾸어 주었다. 이때 V/III 비는 307~620, 성장속도는 0.6~2.75 $\mu\text{m/hr}$, 두께는 모든 경우에 1~1.5 μm 였다.

3. 결과 및 분석

PL 측정결과 그림 1과, 같은 온도에 따른 비정상적인 피크의 거동이 관찰되었다. (a)의 경우는 보통의 온도에 따른 의존성을 보이지만 (b)의 경우 75K를 기준으로 저온에서 피크의 에너지가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 밴드갭 부근에서 2개 이상의 에너지 준위가 존재하거나 크기가 다른 밴드갭이 이웃하고 있을 경우 온도가 증가함에 따라 전자와 정공이 높은 에너지 준위로 여기되기 때문으로 생각된다. 2개 이상의 에너지 준위나 크기가 다른 밴드갭이 이웃할 수 있는 원인으로는, 첫째, 격자 불일치로 인해 생긴 변형(strain)에 의한 valence 에너지 준위의 분리, 둘째, 얇은 불순물 에너지 준위의 존재, 셋째, ordering에 의한 valence 에너지 준위의 분리, 넷째, 상분리에 의한 에너지 준위의 분리 등을 들 수 있다. (b) 시편에 대해 변형에 의한 valence 에너지 분리에 해당하는 온도를 계산해보면 약 35K로 실험치와 40K의 상당한 오차를 보이는 바 격자불일치에 의한 영향은 아니라 생각된다. 그리고 (b) 시편의 경우 Hall 측정으로부터 2.8 $\times 10^{15}/\text{cm}^3$ 의 낮은 불순물 농도가 측정되었고 9K PL spectrum 결과에선 하나의 피크만 뚜렷이 관측되었다. 10¹⁸/cm³으로 불순물을 다량으로 주입한 n형, p형 시편의 저온 PL 측정에서 강한 band edge 피크와 불순물에 의한 약한 피크가 관측되었기 때문에 (b)의 결과가 불순물에 의한 결과로는 생각되지 않는다. 상분리와 ordering이 일어날 경우 크기가 다른 밴드갭이 이웃할 수 있는데 어떤 것이 정확한 원인인지 규명하기 위해 (a), (b) 시편에 대해 TEM 분석을 행하였다. 그림 2에서 (a)시편의 경우 평면 및 단면 TEM에서 상분리나 ordering이 관측되지 않았다. 하지만 (b)시편의 경우 단면

TEM 회절패턴 분석을 통해 (111)방향으로 ordering에 의한 extra spot이 뚜렷이 관측되었고 조성분리에 의한 명암차(contrast modulation)는 관측되지 않았는데 상분리의 가능성에 대한 보다 명확한 규명을 위해 (b)시편의 평면 TEM을 분석중이다.

4. 결론

저압 유기금속 화학증착법으로 성장한 InGaAsP의 온도에 따른 PL spectrum 분석으로부터 저온에서 보통의 온도에 따른 경향과는 달리 75K 이하에서 온도가 내려가면서 PL spectrum 피크 에너지가 감소하는 것이 관찰되었다. 이에 대한 가장 가능한 기구로서 ordering이 제시되었고 이에 대한 확인작업이 진행중이다.

5. 참고문헌

- [1] A.G.Norman and G.R.Booker, *J. Appl. Phys.*, 57, 4715(1985).
- [2] M.A.Shahid and S.Mahajan, *Phys. Rev. B*, 38(2), 1344(1988)
- [3] I.Rechenberg, A. Oster, A. Knauer, U. Richter, J. Menniger, M. Weyers, *Materials Society Symposium Proceedings* v 417 p 49-54(1996)
- [4] 박형수, 문영부, 윤의준, 조학동, 강태원, *한국진공학회지* 5, 22(1996).

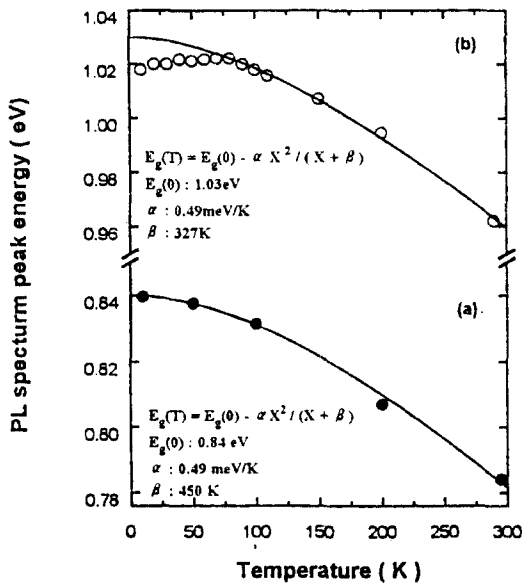


Fig.1 Temperature dependence of PL spectrum peak energy. (a) epi396, R.T. $\lambda = 1.57\mu\text{m}$, $\Delta a/a = 4 \times 10^{-3}$. (b) epi469, R.T. $\lambda = 1.29\mu\text{m}$, $\Delta a/a = -8 \times 10^{-4}$.

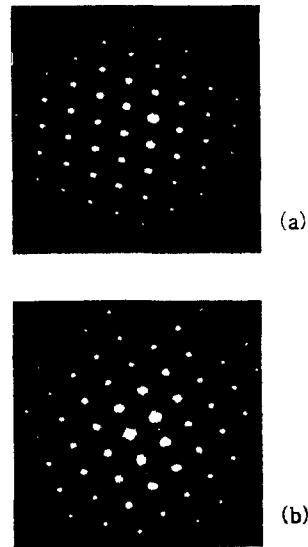


Fig. 2 <110> Diffraction patterns of cross sectional TEM. (a) Epi 396, no ordering. (b) Epi 469, <111> direction ordering.