

저압 MOCVD 방법으로 성장시킨 Zn 도핑된 InP 에피층의 Photoluminescence 특성 분석

문영부, 윤의준, 시상기*, 김성준*

서울대학교 재료공학부 및 반도체공동연구소

*서울대학교 전기공학부 및 반도체 공동연구소

I. 서론

Zn는 III-V 화합물 반도체를 이용한 소자제작에서 가장 폭넓게 사용되는 p형 도판트의 하나로, 확산을 이용하여 도핑하는 방법[1]과 에피층 성장과 함께 도핑하는 *in-situ* 방법[2]이 많이 사용된다. 각각의 방법으로 InP를 도핑한 경우의 도핑 특성과 광학적 특성은 여러 연구자에 의해 연구되었으나, 두 도핑 방법에 의한 광학적 특성의 차이에 대해서는 체계적인 연구가 부족하다. 또한, MOCVD 방법으로 InP 성장시 *in-situ* 도핑을 하는 경우에는 Zn의 도핑 농도가 포화되는 현상이 여러 연구자에 의해 보고 되었고 그 포화 hole 농도는 $1-2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 으로 일치하고 있다[3]. 그러나 이러한 hole 농도의 포화 현상을 일으키는 원인에 대해서는 명확히 밝혀져 있지 않다. 본 연구에서는 저온 PL (photoluminescence) 측정을 통하여 도핑 방법에 따른 광학적 특성의 차이를 분석하고, *in-situ* 도핑시 발생하는 포화 현상에 대해 연구하였다.

II. 실험방법

저압 MOCVD 방법을 이용하여 *in-situ* Zn 도핑된 InP 에피층을 성장하였다. 성장온도는 620°C 이고, DEZn (diethylzinc)를 Zn 원료로 사용하였다. Zn 확산은 도핑되지 않은 InP 기판에 Zn_3P_2 를 증착하고 RTA (rapid thermal annealing) 장치에서 열처리하였다. 도핑된 시편의 hole 농도는 전기화학적 CV 방법으로 측정하였고 514.5nm 파장의 Ar^+ 레이저를 광원으로 하여 9K에서 PL (photoluminescence) 측정을 하였다.

III. 결과 및 고찰

Hole 농도는 DEZn의 유량에 따라 선형적인 증가향을 보였고, $1.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 의 농도에서 포화현상을 보였다. 포화 농도 이하의 hole 농도를 가지는 시편과 포화 농도를 가지는 시편은 매우 다른 PL 측정 결과를 보였고, Fig.1은 포화 농도 이하의 시편에 대한 PL 측정 결과이다. $4.6 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 의 도핑 농도를 가지는 시편은 잘 분리된 1.417eV 의 D°X (donor bound exciton)와 1.414eV 의 A°X (acceptor (Zn) bound exciton) 피크를 볼 수 있고, 1.378eV 에서 e/D-A (band or donor to acceptor) 전이 피크가 관찰 된다. e/D-A 피크는 도핑 농도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다. $7.6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 의 도핑 농도에서는 1.34eV 의 deep D-A 전이가 관찰되며 이 피크는 Fig.1 (c)의 확산에 의해 도핑된 시편에서 주되게 관찰되는 피크로서 이때의 깊은 준위 donor는 interstitial 위치를 차지한 Zn에 의해 생겨나는 것으로 알려져 있다[1]. *In-situ* 도핑된 시편의 경우에는 같은 도핑 농도의 확산에 의해 도핑된 시편과 달리 D-A 전이 피크가 약하게 나타나며 band edge 피크와 e/D-A 피크 등이 강하게 나타나고 있다. 이러한 차이는 확산과정에 비해 *in-situ* 도핑 방법을 이용하는 경우, Zn의 높은 증기압 때문에 Zn의 도핑 효율이 매우 낮아서 상대적으로 안정한 substitutional 위치를 차지할 확률이 높기 때문으로 생각된다.

포화 도핑 농도를 가지는 시편의 PL 측정 결과는(Fig.2) D-A 피크가 없어지고 새로운 LEB1과 LEB2 밴드가 나타난것을 보여준다. 특히 LEB2 밴드는 DEZn의 유량이 증가함에 따라 강도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 새롭게 나타난 LEB1과 LEB2 밴드의 특성을 레이저의 강도와 측정 온도에 따른 변화로부터 분석하여 LEB1 밴드는 D-A 전이의 특성을 가지며, LEB2 밴드는 상온에서도 피크가 없어지지 않고 남아 있는 것으로 관찰 되었다. LEB2 밴드의 이러한 경향은 상온에서도 효과적으로 전하를 trap 할 수 있음을 보여주고, DEZn의 유량에 따른 전이강도의 증가와 비교하여 도핑 농도의 포화와 관련된 것으로 생각된다.

IV. 결론

확산과 *in-situ* 도핑 방법으로 도핑된 시편의 PL 특성을 분석하여 *in-situ* 도핑의 경우, interstitial 위치를 차지하는 Zn의 농도가 현저히 감소함을 확인하였고, 도핑농도의 포화와 관련된 것으로 생각되는 깊은 준위의 전이 피크를 발견하였다.

Reference

- [1] J. K. Hsu, C. Juang, B. J. Lee, and G. C. Chi, J. Vac. Sci. Technol. B. 12, 1416 (1994).
- [2] A. Molassioti, F. Scholz, and Y. Gao, J. Cryst. Growth 102, 974 (1990).
- [3] A. W. Nelson, and L. D. Westbrook, J. Cryst. Growth 68, 102 (1984).

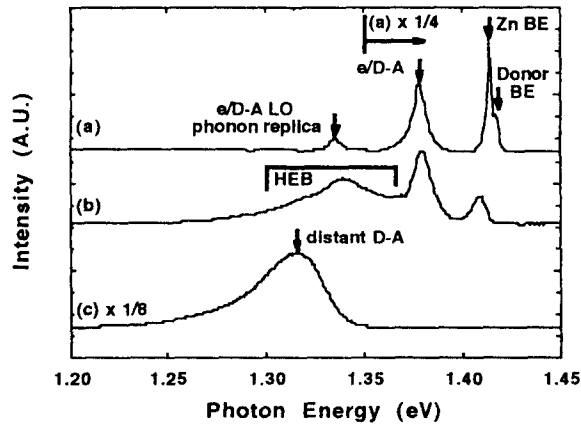


Fig.1 PL spectra of *in-situ* Zn doped InP layers with hole concentrations of (a) $4.6 \times 10^{16} / \text{cm}^3$, (b) $7.6 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ and (c) Zn-diffused InP at 550°C with hole concentration of $7.5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$.

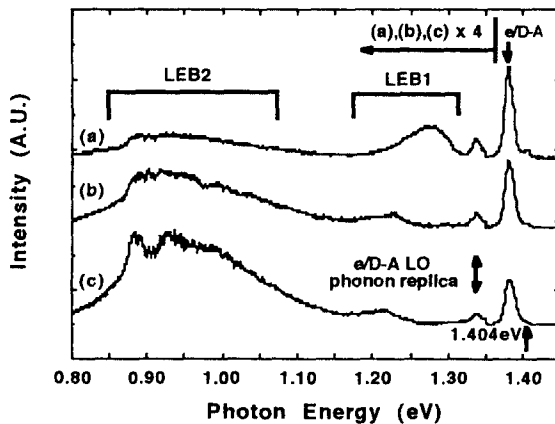


Fig.2 PL spectra of *in-situ* Zn doped InP layers with saturated hole concentration of $1.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$. DEZn flow rates are (a) 0.12 sccm, (b) 0.22 sccm and (c) 0.36 sccm.