

MOCVD를 이용한 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{As}$ 의 최적성장

최성우, 이 번, 백종협, 이일항

한국전자통신연구소 기초기술연구부

I. 서론

최근 응용이 활발한 III-V족 반도체들중에서 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 는 금지대 에너지가 광섬유의 손실이 최소인 1.3 - 1.5 μm 파장대에 걸쳐있어 방출과 흡수가 적당하고 높은 saturation velocity와 낮은 표면재결합을 갖고 있으며¹ $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ 는 넓은 에너지 밴드갭을 지니며 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 와의 상호간 격자정합 및 에너지밴드차이로 인하여 우수한 이종구조의 전자소자 및 장파장대의 광통신소자로 응용되고 있다^{2,4}. 본 연구에서는 MOCVD방법으로 구조적, 광학적, 전기적으로 가장 우수한 특성을 나타내는 InGaAs와 InAlAs의 개별성장조건을 찾아내고 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ 이종구조의 최적성장에 적용하였다. 본 구조를 이용하여 1.55 μm 표면방출레이저에서의 브래그거울의 특성을 대표적인 예로 제시하였다.

II. 실험방법

저압 MOCVD를 이용하여 InGaAs와 InAlAs를 반절연성 InP (100) 기판위에 성장하였다. 성장실의 압력은 20 torr, 전체 운반가스유량은 12 l/min이었다. III족의 쏘스로 유기금속 화합물인 TMI, TEG, TMA를 사용하였고, V족 가스로 100% 순수 AsH_3 과 PH_3 을 사용하였다. 기판표면의 산화막제거를 위하여 PH_3 분위기에서 570°C, 3분간 열분해시킨다. 본 실험에서는 성장과 동시에 성장박막의 두께 및 성장속도를 감지하기 위하여 6328 Å He-Ne레이저와 1.5 μm 용 InGaAs 레이저를 장착하고 반사빔들간의 간섭에 의한 진동을 관찰하였다. 한편 성장온도구간 535 - 750°C 에서 성장속도는 5 - 6.5 Å/s, 이때의 III/V 유량비는 100 - 175 이었다. 표면, 구조, 광학 및 전기적 특성측정을 위하여 SEM, 쌍결정 X-선 회절법 (Double Crystal X-ray Diffraction), 저온 (4K와 77K) Photoluminescence, 그리고 상온 Hall 측정을 사용하였다.

III. 실험결과 및 고찰

InGaAs의 표면변화를 보면 성장온도가 저온에서 고온으로 증가하면서 거울같은 표면을 나타내다가 750°C의 온도에서 육면체형 결함들을 포함한 거칠은 표면형태를 보였다. 결정성은 535 ~ 650°C 성장온도구간에서 비교적 우수하고 535°C에서 가장 우수한 DCXRD 반치폭(FWHM) 48.6 arcsec를 나타내었고, 광학적 특성에서도 결정성의 양상과 일치하는 결과를 보였다. 그러나 700°C 이상의 고온에서 구조적, 광학적 특성들의 급격한 감소를 보이고 있다. 전자의 이동도는 성장온도증가에 따라 증가하였고 운반자농도는 n-type $10^{14}/\text{cm}^3$ 에서 $10^{15}/\text{cm}^3$ 의 변화를 나타내었다. 한편, InAlAs는 600°C 미만의 온도에서는 매우 불량한 결정

성을 보이거나 650°C 이상에서부터 결정성이 향상되고 있다. 최고의 성장온도인 750°C에서 최소의 DCXRD FWHM을 나타내고 있어서 온도증가와 InAlAs의 결정성은 비례함을 알 수 있다. PL 결과로부터 700°C 미만의 InAlAs에서는 격자정합된 1.3 ~ 1.4 eV 위치에서 에너지 밴드 peak을 나타내나 750°C 온도에서 완전한 격자정합시의 InAlAs의 밴드갭인 1.52 eV를 나타내며 이때 PL의 FWHM도 31 meV에서 20 meV로 감소하였다. 성장온도에 따른 밴드갭 차이는 상전이에 따른 InAlAs의 규칙-불규칙격자현상⁵으로 알려지고 있다. 전자의 이동도는 성장온도증가에 따라 증가하는 반면 운반자농도는 $10^{16}/\text{cm}^3$ 에서 $10^{15}/\text{cm}^3$ 으로 감소하며 n-type을 나타내었다. 위의 결과들을 고려하여 InGaAs/InAlAs 이종구조를 위한 1.55 μm 표면 방출레이저의 브래그거울을 성장하였다. 최적성장온도 650°C에서 InGaAs와 InAlAs의 층두께는 각각 1167Å, 1261Å이었고 그 회절계수는 3.32, 3.07 이었으며 반사율에서도 545°C와 750°C에서 성장된 DBR에 비하여 최대치를 나타내었다.

참고문헌

1. Y.G. Wey, D.L. Crawford, K. Giboney, J.E. Bowers and M.J. Rodwell, *Appl. Phys. Lett.* 58, 2156 (1991).
2. B. Jalali, R.N. Nottenburg, Y.K. Chen, D. Sivco, D.A. Humphrey, and A.Y. Cho, *IEEE Electron Device Lett.* 10, 391 (1989).
3. K. Wakida, I. Kotaka, O. Mitomi, H. Asai, Y. Kawamura, and M. Naganuma, *J. Lightwave Technol.* 8, 1027 (1990).
4. Y. Kawamura, H. Asai, S. Matsuo, and C. Amano, *IEEE J. Quantum Electron.* 28, 308 (1992).
5. A. Gomyo, K. Makita, I. Hino, and T. Suzuki, *Phys. Rev. Lett.* 72, 673 (1994).