

InGaAs/AlGaAs 양자선 레이저에서 관찰된 이상 방출 스펙트럼

김경찬, 김태근  
광운대학교

Anomalous Emission Spectra Observed in InGaAs/AlGaAs Quantum-Wire Lasers

Kyoung Chan Kim, Tae Geun Kim  
Kwangwoon University

**Abstract** - Distributed optical feedback by gain coupling in V-groove quantum-wire lasers is investigated using InGaAs/AlGaAs active materials grown by metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD). In order to avoid grating overgrowth during the fabrication of DFB structures, a newly developed constant MOCVD growth method is employed. Gain anisotropy in emission spectra near Bragg wavelength, resulting from optical feedback along the DFB direction, is clearly observed at room temperature.

1. 서 론

최근 저차원 양자구조를 이용한 반도체 응용분야의 활성화로 그림 1에서와 같이  $1/\sqrt{E}$ 의 상태밀도를 갖는 반도체 양자선(quantum wire) 구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. V-자형 양자선 구조는 다른 방법으로 제작된 양자선 구조에 비해 2차원 밴드갭 패터닝(bandgap patterning) 효과를 갖을 수 있어 선호하는 양자구조이다. 이러한 구조는 양자선 제작의 용이함과 양자선 모양 및 크기를 제어하기 쉽다는 장점을 갖는다[3]. 한편으로 V-자형 양자선을 성장시킬때, 측면방향으로 동시에 기생 양자우물(quantum well)이 성장되어 양자선의 성능을 저하시키는 단점을 갖는다.

일반적으로 사용되는 파브리-페롯(Fabry-Perot) 형태의 양자선 레이저다이오드(laser diode, LD)는 활성층 영역이 작은 양자선 방향으로의 발진이기 때문에 매우 낮은 광이득을 갖게되고, 또한 빛이 진행하는 방향과 양자선 축방향이 평행하기 때문에 매우 약하게 TE(transverse electric) 편광된 상태이다. 이와같은 문제점들을 해결하기 위하여 Walther 연구그룹[4]에서는 양자선의 완벽한 주기적인 이득 구조를 이용한 이득 결합형 분포 귀환(gain-coupled distributed feedback, GC-DFB) 구조를 제안하였다. 이들 구조는 양자선 이득에 DFB 주기를 조절함으로써 양자선 활성층으로부터의 장점 뿐만 아니라 GC-DFB 효과로부터의 장점을 이용할 수 있다. 또한 GC-DFB LD는 기존의 인덱스 결합형 DFB(index-coupled DFB) LD에 비해 더 높은 단일 모드(single-mode) 수율과 면반사에 대한 강한 내구성을 갖는 장점이 있다[5]. GC-DFB 구조를 이용한 결과들이 보고되고 있으나 격자 재성장시 발생하는 제면문제로 인해 대부분의 연구들은 극저온에서만 성공하고 있다[6]. 소자의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 격자 재성장 단계를 제거하는 것이 중요한데, 특히 높은 알루미늄 조성을 갖는 InGaAs/AlGaAs 구조에서는 격자 재성장시 산화물 형성과 같은 문제점이 발생하기 때문에 격자 재성장 어렵고, 에피택셜 방법으로 성장을 시키기 때문에 앞서 기술한 문제점을 해결하는 것이 절실하다.

본 논문에서는 격자 재성장시 발생하는 제면문제를 해

결하기 위하여 서브 마이크로(sub- $\mu\text{m}$ ) 간격의 격자위에 한번에 성장시키는 constant MOCVD 방법을 제안하여 InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조를 성장하였고, 제작된 소자로부터 GC-DFB의 가능성을 확인하기 위하여 Bragg 파장에서 스펙트럼의 이상 방출을 실험적으로 연구하였다.

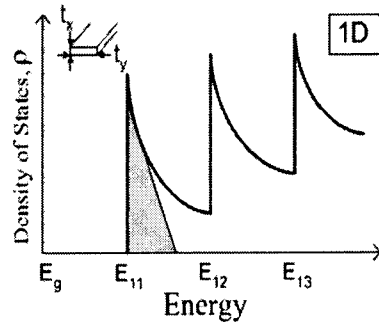


그림 1. 1차원 양자구조에 대한 에너지에 따른 상태밀도 분포

2. 본 론

2.1 실험

그림 2는 constant MOCVD로 격자 재성장 없이 제작된 소자에 대한 구조를 보여준다. InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조는 홀로그래픽 포토리소그래피(holographic photolithography)와 화학적 습식 식각(chemical wet etching)에 의해 제작된 서브 마이크로의 V-자형 어레이 위에 저압 MOCVD로 성장되었다. 표 1에 나타난 바와 같이 제작된 소자의 하부로부터 0.1  $\mu\text{m}$  두께의 n-GaAs 버퍼층(buffer layer), 1  $\mu\text{m}$  두께의 n-Al<sub>0.38</sub>Ga<sub>0.62</sub>As 하부 클래딩층(lower cladding layer), 0.12  $\mu\text{m}$  두께의 도핑되지 않은 Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As 가이드층(guiding layer), 140 nm 두께의 In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As와 Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As로 구성되는 활성층, 0.12  $\mu\text{m}$  두께의 도핑되지 않은 Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As 가이드층, 1  $\mu\text{m}$  두께의 p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 상부 클래딩층(upper cladding layer)과 0.2  $\mu\text{m}$  두께의 p-GaAs층을 각각 연속적으로 한번에 성장하였다. 다음으로, 측면 구속효과를 얻기 위하여 대략 5  $\mu\text{m}$ 의 넓은 리지(ridge) 구조를 선택적 식각(selective etching)을 이용하여 <011> 방향으로 제작하였고, 전류의 차단을 위하여 100 nm 두께의 polyimide를 시편 상에 스핀 코팅(spin-coating) 해 주었다.

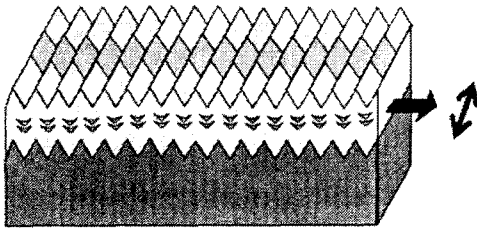


그림 2. InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB LD의 전체 구조

표 1. InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB LD의 각층에 대한 두께

Layer	Thickness ( $\mu\text{m}$ )
p+ GaAs contact layer	0.2
p- $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ upper cladding layer	1
undoped- $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ guiding layer	0.12
$\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}/\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ QWR layer	0.14
undoped- $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ guiding layer	0.12
n- $\text{Al}_{0.38}\text{Ga}_{0.62}\text{As}$ lower cladding layer	1
n-GaAs buffer layer	0.1
n+ GaAs	substrate

## 2.2 결과 및 고찰

그림 3은 constant MOCVD 성장 방법으로 제작된 InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB LD의 단면 SEM (crosssectional scanning electron microscopy) 이미지이다. 그림에서 보는 것처럼, 단일 양자선 활성 격자가 수직 방향의 양자우물의 광 도파로 내에 잘 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

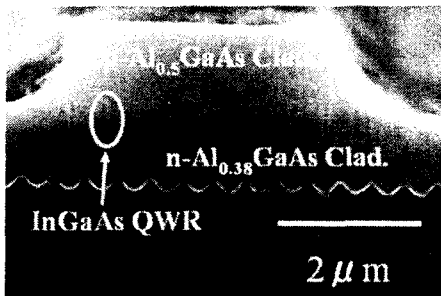


그림 3. InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조의 단면 SEM 사진

양자선 GC-DFB 구조의 활성 격자로 InGaAs/AlGaAs 양자선을 사용한 이유는 상온에서 InGaAs/AlGaAs 양자선이 GaAs/AlGaAs 양자선에 비해서 훨씬 더 큰 광이득을 가지고 있기 때문이다.

그림 4는 20 mA에서 DFB 방향과 양자선 방향에 대한 InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조에 대한 발광 스펙트럼을 보여준다. 결과적으로, 그림에서 보는 바와 같이 양자선 방향에서는 스펙트럼의 이상 방출이 나타나지 않은 것에 반해, Bragg 파장 근처에서 DFB 방향으

로 광귀환의 결과인 스펙트럼의 이상 방출을 상온에서 실험적으로 관찰할 수 있었다.

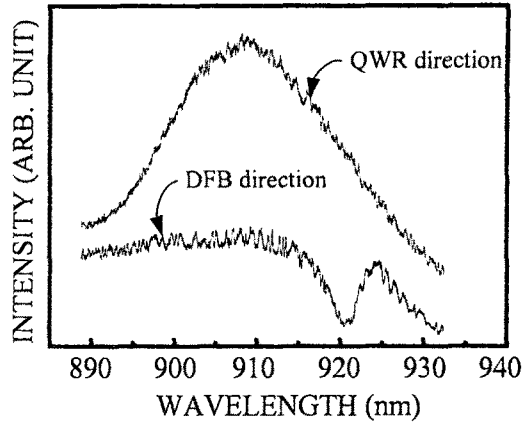


그림 4. 20 mA에서 DFB 방향과 양자선 방향에 대한 InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조의 발광 스펙트럼

## 3. 결 론

본 논문에서는 서브 마이크로미터의 격자 간격을 갖는 GaAs 기판 상에 constant MOCVD 성장 방법을 이용하여 InGaAs/AlGaAs V-자형 양자선 GC-DFB 구조를 성공적으로 제작하였다. 제작된 소자를 이용하여, 상온에서 실험적으로 Bragg 파장 근처에서 DFB 특성인 스펙트럼의 이상 방출을 명확히 관찰하였다.

[감사의 글]

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2003-041-D00373)

[참 고 문 헌]

- [1] S. Tiwari, G. D. Pettit, K. R. Milkove, F. Legoues, R. J. Davis and J. M. Woodall, "High efficiency and low threshold current strained V groove quantum wire lasers", Appl. Phys. Lett., 64, 3536, 1994
- [2] G. P. Li, T. Makino, R. Moore and N. Puetz, "1.55  $\mu\text{m}$  index/gain coupled DFB lasers with strained layer multiquantum well active grating", Electron. Lett., 28, 1726, 1992
- [3] Y. Luo, Y. Nakano, K. Tada, T. Inoue, H. Hosomatsu and H. Iwaoka, "Fabrication and characteristics of gain coupled distributed feedback semiconductor lasers with a corrugated active layer", IEEE J. Quantum Electron., 27, 1724, 1991
- [4] M. Walther, E. Kapon, C. Caneau, D. M. Hwang and L. M. Schiavone, "InGaAs/GaAs strained quantum wire lasers grown by organometallic chemical vapor deposition on nonplanar substrates", Appl. Phys. Lett., 62, 2170, 1993
- [5] C. E. Zah, P. J. Delfyett, R. Bhat, C. Caneau, F. Favire, B. Pathak, P. S. D. Lin, A. S. Gozdz, N. C. Andreadakis, M. A. Koza, M. Z. Iqbal, H. Izadpanah and T. P. Lee, "Results of L band satellite experiments for personal communications systems", Electron. Lett., 29, 859, 1993
- [6] T. Toda, F. Reinhardt, E. Martinet, E. Kapon and Y. Nakano, "Selective lasing of InGaAs quantum wire array on a V grooved GaAs substrate by distributed optical feedback", IEEE Photon. Technol. Lett., 11, 1560, 1999