

InGaAs/AlGaAs V-형 양자선 어레이 구조에서 이득 이방성의 관찰

김경찬, 김태근
광운대학교

Observation of Gain Asymmetry in InGaAs/AlGaAs Quantum-Wire Array Structures

Kyoung-Chan Kim, Tae-Geun Kim
Kwangwoon University

Abstract

MOCVD(metalorganic chemical vapor deposition)에 의해 성장된 InGaAs/AlGaAs 물질을 이용하여 V-형 양자선(V-groove quantum-wire) 어레이(array) 구조에서 이득 결합(gain-coupling)에 의한 분포 광귀환(distributed optical feedback) 특성을 조사하였다. 분포 귀환형(distributed feedback, DFB) 구조를 제작하는 동안 격자 재성장(grating overgrowth)을 피하기 위하여, 새롭게 개발된 constant MOCVD 성장 방법을 적용하였고, Bragg 파장에서 DFB 방향으로 광귀환의 결과인 스펙트럼의 이득 이방성(gain asymmetry)을 실험적으로 관찰하였다.

Key Words : InGaAs/AlGaAs, V-형 양자선, 이득 결합, DFB, constant MOCVD, 이득 이방성

1. 서 론

최근 수년간 반도체 나노구조(nano-structure)를 이용한 광스위치(photonic switch) 및 반도체 레이저 다이오드(laser diode, LD)등과 같은 응용분야에 대한 적용 가능성이 높아짐에 따라 $1/\sqrt{E}$ 의 상태밀도(density-of-state)를 갖는 반도체 양자선(quantum-wire) 구조에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. 이러한 노력에도 불구하고 현재 반도체 기술과 이론간의 차이로 인해 대부분의 실험 결과들은 그 기대에는 미치지 못하고 있다. V-형 양자선을 이용한 나노구조는 다른 방법으로 제작된 양자선 구조에 비해 양자선 모양과 크기의 조절이 쉽고 또한 제작이 용이하다는 장점 때문에 2차원 밴드갭(bandgap) 형태를 갖기 위해 선호하는 나노구조 중의 하나이다[5]. 그러나, V-형 양자선을 이용한 나노구조는 패터닝, 기판 상에 양자선을 성장시킬 때, 동시에 측면방향으로 기생 양자우물

(quantum well)이 성장되어 양자선의 성능을 저하시키는 단점도 함께 가지고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 Walther 그룹 [6]에서는 최초로 양자선의 완벽한 주기적 이득(gain) 구조로부터 제안된 양자선 이득 결합 분포 귀환 (gain-coupled distributed feedback, GC-DFB) 구조를 이용하였다. 이 구조는 양자선의 이득에 DFB의 주기성을 조절함으로써 양자선과 GC-DFB로부터 발생하는 이점을 이용할 수 있다. 또한, DFB 구조를 이용한 LD는 기존의 인덱스 결합 DFB(index-coupled DFB) 구조를 사용한 LD에 비해 더 높은 단일모드(single-mode) 수율과 면반사(facet reflection)에 대한 강한 내구성을 갖는 장점이 있다[7]. GC-DFB 구조에 대한 결과들이 보고되고 있으나, 격자를 재성장(overgrowth)하는 동안 발생하는 계면 문제로 인해 대부분의 연구들이 극저온에서 성공하고 있다[8]. 이러한 관점에서, 재성장 단계를 제거하는 것이 앞서 언급한 문제점을

감소시키면서 최종적으로 소자의 신뢰성 및 생산성을 향상하는데 매우 중요하다. 특히 InGaAs/AlGaAs GC-DFB 구조에서 높은 알루미늄(Al)의 함량을 갖는 합금(alloy)들은 산화물 형성문제로 인해 재성장이 어렵고, 에피택셜(epitaxial) 방법으로 성장을 시키기 때문에 앞서 기술한 문제점에 대한 해결책이 절실히 요구되고 있다.

본 논문에서는 격자 재성장시 발생하는 계면문제를 해결하기 위하여 서브 마이크로미터(sub-micrometer)의 격자 간격 위에 성장하는 constant MOCVD 방법을 개발하였고, 이 방법으로 InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조를 성장하였다. 제작된 구조로부터 이득 결합 효과의 가능성을 논의하기 위하여 Bragg 파장에서 이득 이방성(gain asymmetry)을 실험적으로 조사하였다.

2. 소자 제작

그림 1은 constant MOCVD로 격자 재성장 없이 제작된 소자에 대한 전체 구조를 보여준다.

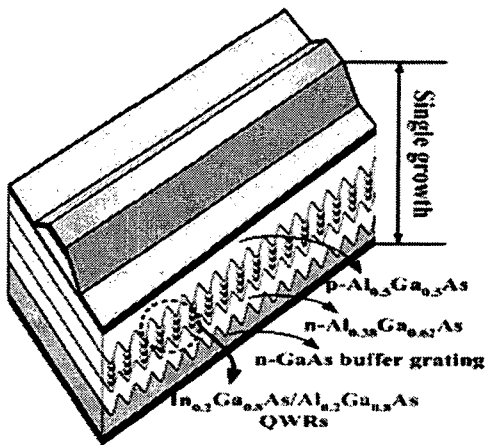


그림 1. InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조

InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조는 홀로그래픽 포토리소그래피(holographic photolithography)와 화학적 습식 식각(chemical wet etching)에 의해 제작된 서브 마이크로미터의 V-형 어레이 위에 저압 MOCVD로 성장되었다. 표 1에서 나타낸 바와 같이 하부로부터 0.1 μm 두께의 n-GaAs 버퍼층

(buffer layer), 1 μm 두께의 n-Al_{0.38}Ga_{0.62}As 하부 클래딩층(lower cladding layer), 0.12 μm 두께의 도핑되지 않은 Al_{0.2}Ga_{0.8}As 가이드층(guiding layer), 140 nm 두께의 In_{0.2}Ga_{0.8}As와 Al_{0.2}Ga_{0.8}As로 구성되는 활성층, 0.12 μm 두께의 도핑되지 않은 Al_{0.2}Ga_{0.8}As 가이드층, 1 μm 두께의 p-Al_{0.5}Ga_{0.5}As 상부 클래딩층(upper cladding layer)과 0.2 μm 두께의 p-GaAs층을 각각 연속적으로 한번에 성장하였다.

다음으로, 측면 구속효과를 얻기 위하여 대략 5 μm의 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.

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

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

3. 결과 및 고찰

Constant MOCVD 성장 방법으로 제작된 InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조에서 단일 양자선 활성 격자가 수직 방향의 양자우물의 광도파로 내에 잘 형성된 것을 확인할 수 있었다. 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[9].

그림 2는 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 이득 이방성이 나타나지 않은 것에 반해, Bragg 파장 근처에서 DFB 방향으로 광귀환의 결과인 스펙트럼의 이득 이방성을 상온에서 실험적으로 관찰하였다.

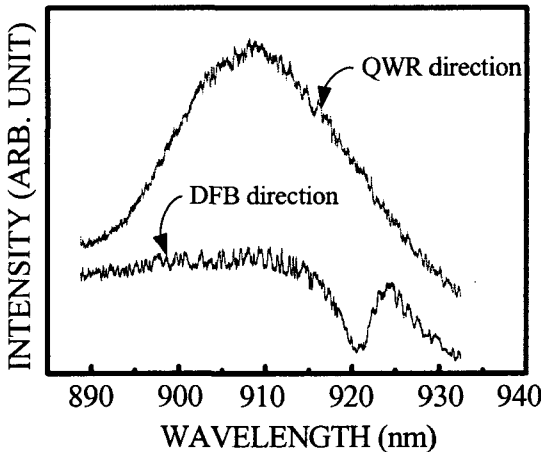


그림 2. 20 mA에서 DFB 방향과 양자선 방향에 대한 InGaAs/AlGaAs 양자선 GC-DFB 구조의 발광 스펙트럼

4. 요약

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

감사의 글

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

참고 문헌

[1] S. I. Kim, Y. H. Kim, Y. J. Lee and C. S. Son, J. Korean Phys. Soc. **43** 282 (2003).
 [2] S. Tiwari, G. D. Pettit, K. R. Milkove, F. Legoues, R. J. Davis, and J. M. Woodall,

Appl. Phys. Lett. **64** 3536 (1994).
 [3] T. G. Kim, J. Korean Phys. Soc. **42** 791 (2003).
 [4] G. P. Li, T. Makino, R. Moore, and N. Puetz, Electron. Lett. **28** 1726 (1992).
 [5] S. B. Kim, J. R. Ro, K. W. Park and E. H. Lee, J. Korean Phys. Soc. **35** 383 (1999).
 [6] M. Walther, E. Kapon, C. Caneau, D. M. Hwang, and L. M. Schiavone, Appl. Phys. Lett. **62** 2170 (1993).
 [7] 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, Electron. Lett. **29** 857 (1993).
 [8] T. Toda, F. Reinhardt, E. Martinet, E. Kapon, and Y. Nakano, IEEE Photon. Technol. Lett. **11** 1530 (1999).
 [9] Y. Tsuji and M. Koshiha, First International Workshop on Quantum Nanoplanar Nanostructures & Nanoelectronics01, **TuP-13**, 135-136, Tsukuba, Japan, July 2-4 (2001).