

얇은 에너지 장벽이 포함된 양자우물 구조의 이득 특성 연구

Gain Characteristics of Quantum well structure
with a Buried shallow barrier

조용상*, 이석, 우덕하, 박경현, 한일기, 김희중, 김선호

*박윤호, ^b구자용, ^b최우영, ^c이종창

한국과학기술연구원 광기술연구센터

^a한국해양대학교 전자통신공학과, ^b연세대학교 전자공학과, ^c홍익대학교 전자공학과

Abstract

Gain characteristics of quantum well structure with a buried shallow barrier has been investigated. The main idea of this gain calculation is that we can control the TE, TM modes of gain without introducing strain. It might be thought that this idea could enhance the degree of freedom of design parameters for quantum well laser semiconductor optical amplifiers.

양자우물 구조를 갖는 레이저 다이오드의 TE, TM 모드 특성은 양자우물의 구조에 의해서 크게 좌우된다. 일반적으로 strain을 가하지 않은 구조에서는 C-HH, C-LH의 천이행렬 $|M_{ij}|^2$ 가 TE, TM모드에 따라 다르기 때문에 TE, TM모드가 다른 이득 값을 가지게 된다. 이러한 문제는 양자우물 구조에 strain을 가하여 TE, TM을 변화시키는 시도를 하기도 하나, 이는 성장시킬 수 있는 우물두께에 제한을 주고 원하는 파장을 만들어내기가 어려운 단점이 있다.

본 연구에서는 strain을 가하지 않고도 TE, TM모드를 변화시킬 수 있는 양자우물 구조를 제안하고 그 특성을 조사하였다. 이득계수의 계산은 전도대의 경우, 가전자대의 간섭이 없는 포물선 밴드 모델을 사용하였고 가전자대의 band offset은 model-solid theory[1]을 이용하였다. 이득계수는 Fermi's golden rule과 4×4 Luttinger-Kohn Hamiltonian $\hat{h} \cdot \hat{p}$ 방법으로 계산하였다.[2]

그림1에 제시한 양자우물 구조는 일반적인 양자우물 구조에 1~3 mono layer 두께를 가진 얇은 barrier(buried shallow barrier: BSB)를 첨가한 구조이다. 제안된 구조의 barrier는 InGaAsP($X_{In}=0.85$, $Y_{As}=0.33$)이고, well은 InGaAs($X_{In}=0.53$)로 구성하였다. well 안에 있는 BSB는 양쪽의 barrier와 같은 조성비의 InGaAsP로 구성하였다. 그림2의 계산결과는 BSB의 폭을 1nm에서 3nm까지 변화시켰을 때, TE, TM mode의 이득변화를 나타낸 것이다. 계산결과는 BSB의 폭이 넓어질수록 TM mode가 TE mode보다 변화가 크다는 것을 보여주고 있다.

그 이유는 그림3에서 가전자대의 E-k diagram을 통해서 다음과 같이 설명할 수 있다. 그림3은 BSB가 있는 경우와 없는 경우의 heavy hole의 첫 번째와 두 번째 부밴드 그리고 light hole의 첫 번째 부밴드의 계산결과이다. 그림3에서, HH1은 BSB가 있을 때 HH2에 가까워지고 LH1역시 에너지가 높은 쪽으로 이동하는데, 이는 그 정도가 LH1이 더 크다는 것을 보여주고 있다. 이것은 heavy hole과 light hole의 even모드 해는 odd모드 해보다 BSB의 영향을 더 많이 받기 때문이다. 따라서 BSB는 HH와 LH의 에너지 차 $E_{hh}-E_{lh}$ 를 증가시키는 요인이 되어 결국 캐리어 농도 N_{hh} 가 N_{lh} 보다 커져 C-LH결합이 상대적으로 작아지는 결과를 가져오게 되므로 그림2의 TM 모드 이득이 매우 작아지는 것을 알 수 있다. 그림4는 BSB의 위치를 well의 정 중앙으로부터 한쪽으로 이동하면서 TE, TM모드의 이득특성을 계산한 결과이다. 이 결과에서도 TM모드의 변화가 TE모드보다 두드러지게 나타남을 알 수 있다. 또한 포락선 함수가 겪는 BSB의 영향이 가장 심한 위치는 well의 정 중앙이라는 것을 알 수 있다.

이상의 연구에서 BSB에 의한 간섭효과는 가전자대 부밴드의 포락선 함수를 변형시켜 TE, TM모드의 이득특성을 변화시키는 것을 보였다. 이러한 이론적인 연구는 양자우물 구조를 갖는 레이저 다이오드와 반도체 광 증폭기 등을 개발하는데 있어서 TE, TM모드의 이득특성을 제어할 수 있는 또 하나의 설계 변수를 제공한다.

참고문헌

- [1] C. G. Van de Walle, "Band lineups and deformation potentials in the model-solid theory." *Phys. Rev. B*, vol.39, pp. 1871-1883, 1989.
 [2] D. Ahn and S. L. Chuang, "Optical Gain in a Strained-Layer Quantum-Well Laser." *IEEE J. QE24* No.12, pp.2400-2406, 1988.

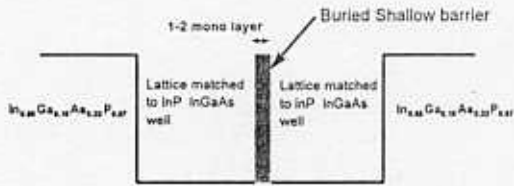


그림1. BSB가 있는 InGaAs-InGaAsP 양자우물구조

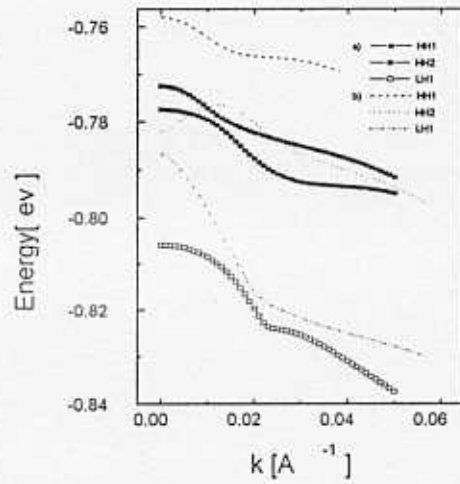


그림3. BSB가 있을때와 없을 때의 가전자대의 HH1, HH2, LH1 a) BSB가 있을 때. b) BSB가 없을 때.

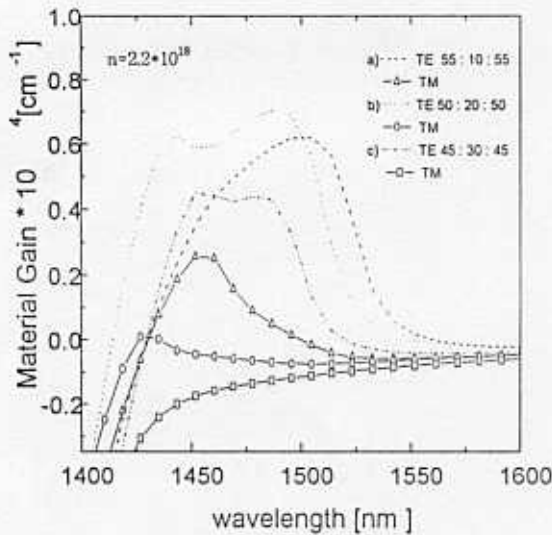


그림2. BSB의 위치에 따른 TE, TM mode gain
 a) well1=5.5nm, BSB=10nm, well2=5.5nm
 b) well1=5.0nm, BSB=20nm, well2=5.0nm
 c) well1=4.5nm, BSB=30nm, well2=4.5nm

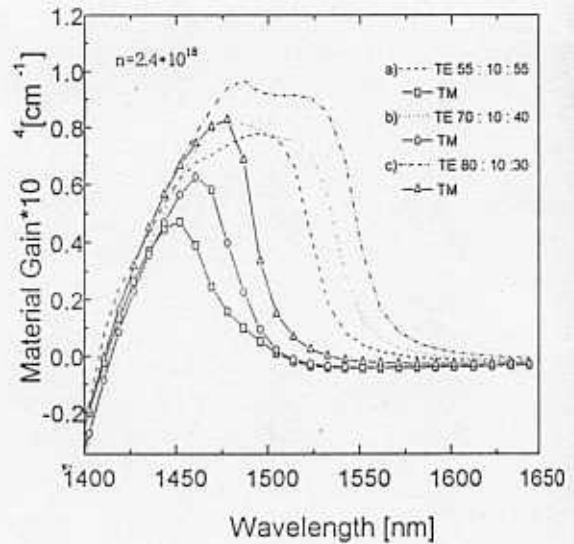


그림4. BSB의 위치에 따른 TE, TM mode gain
 a) well1=5.5nm, BSB=10nm, well2=5.5nm
 b) well1=7.0nm, BSB=10nm, well2=4.0nm
 c) well1=8.0nm, BSB=10nm, well2=3.0nm