

Geometry dependence of Linewidth Enhancement Factor for High Speed 1.55 μm Multiple Quantum Well Laser Diodes

오범환, 박순룡, 주홍로*, 김형문*, 김정수*
 인하대 반도체공학전공, *전자통신연구원 광전자연구소
 obh@inha.ac.kr

정보화 시대의 대용량 전송 시스템을 위한 초고속(10 Gbps급 이상) 광통신의 광원으로서는 Multiple-Quantum-Well Laser Diode (MQW-LD)의 개발이 매우 활발히 이루어지고 있으며 그 중에도 분배피드백 방식(distributed feedback, DFB)의 LD가 많은 주목을 받으며 연구되고 있다. 특히 MQW-LD 설계시 독립광집속구조 (Separate Confinement Heterostructures, SCH)는 빛을 활성층 영역 안으로 모아 주는 역할을 하는데, 그 두께에 따라 활성층(active layer)에서의 광가둠계수(optical confinement,)가 변화하고 그에 따라 유효 미분 이득을 개선하며 선폭증가계수등의 다른 중요한 특성들을 개선시킬 수 있다. [1-4] 그러나, 너무 두꺼워져도 전기장의 분배효과에 의해 활성층 자체의 광집속 효과는 떨어지며 전하 운반자의 운송시간등을 늘이는 등 역효과가 생기므로 SCH 두께의 최적화가 필요하다. SCH가 두꺼울 때 선폭증가계수가 나빠지는 것은 이미 잘 알려져 있으나 SCH가 작을 때의 경우는 선폭증가계수와 연관지어 측정이 수행되어 있지 못하다. 따라서 SCH 두께 최적화의 정량적인 계산을 수행하고 이 결과를 선폭증가계수등의 다른 중요한 특성과 비교하기 위해 선폭증가계수의 측정도 수행하였다. 선폭증가계수의 측정은 LD의 자발방출광을 측면에서 관측하여 구해내는 간편하고 신뢰도 높은 방법을 채택하였다.[5] 자발 방출 강도는 간단히 이득으로 변환되며, 에너지의 함수로 얻어진 이득 곡선은 Kramers-Kronig 관계를 사용하여 광학계수의 실수부로 변환되는데, 상대적인 크기의 변화가 중요하며 이의 계산은 선폭증가계수의 직접적인 계산을 가능하게 한다. 이 방법은 monochromator의 성능에 크게 좌우되지 않기에 염가에 측정 장비의 set-up이 가능하며 정확도는 기존의 Hakki-Paoli의 방법보다 훨씬 뛰어난 것으로 잘 알려져 있다.[5-7] 게다가 개선된 방식으로 전산처리를 수행하면 LD의 순수저항 성분까지도 얻어낼 수 있는 등 여러가지 장점을 갖는다.

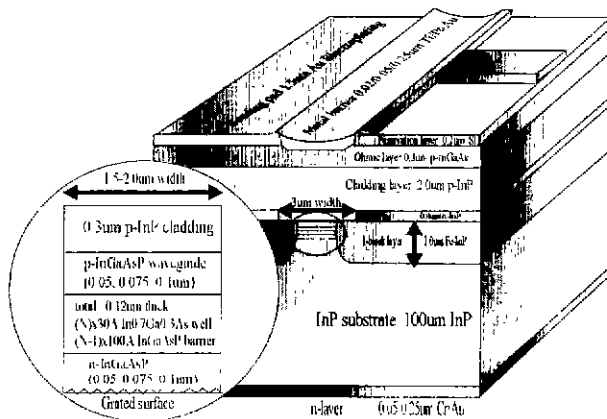
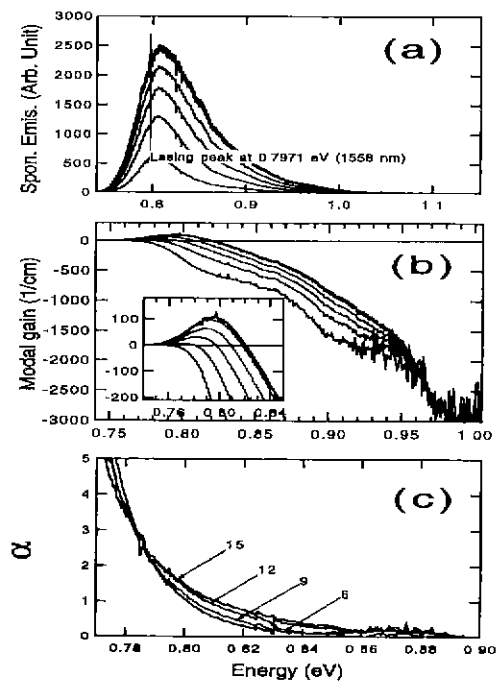


Fig. 1. Cross sectional view of 10 Gbps MQW DFB laser diode

Fig. 2 (a)자발방출, (b)gain, and (c) α curves for I= 3, 6, 9, 12, 15, and 16 mA (SCH 두께=1000 Å, I_{th} ~16 mA, J_{mean} ~ 3.6×10^7 (A/m²)).



이러한 방법으로 기존에 수행하지 못하던 DFB 방식 LD의 선폭증가계수를 측정할 수 있었고,[7] cavity의 길이를 바꾸어 가며 정확한 측정을 수행할 수 있었으며,[6] 복소이득 결합방식의 LD와도 연계 측정하여 선폭증가계수를 측정하여 특성이 개선되고 있음을 알아 내었다.[8] 또, SCH 두께에 따른 광가둠계수의 변화와 그에 따른 선폭증가계수의 측정도 수행하였다.[9] SCH에 따른 광가둠계수의 분석은 여러 층으로 이루어진 MQW-LD의 도파영역에 적층분석이론을 이용하여 mode effective index를 구함으로 시작되며, MQW-LD의 3차원 구조에 대해서 광가둠계수의 변화를 분석하였고, 실제 제작된 MQW-LD의 활성층 영역에서의 빛의 전기장 강도 분포를 통해 광가둠계수 변화의 물리적 의미도 고찰하였다. 여기서, SCH 두께가 500, 750, 1000 Å 으로 다른 3가지 1.55- μm InGaAs/ InGaAsP MQW DFB-LD의 측정 결과를 보이고 있는데, 이들 두께는 모두 SCH_{max} (주어진 1.24 μm p-InGaAsP 층의 구조하에는 ~ 1500 Å) 보다는 작은 경우이다. 우물층은 30 Å-두께의 In_{0.7}Ga_{0.3}As, 장벽층으로는 100 Å-두께의 1.24 μm -InGaAsP 층이 사용되었고, 이들 LD의 제작에 관하여 참고논문 6, 7에 자세히 기술되어 있다. 이득 표준값은 E=1.01 eV (=1.231 μm)에서 -2900 (1/cm)이 사용되었다. [6] 이로써, α 는 SCH 두께가 SCH_{max}이하의 조건에서는 다른 설계변수들이 허용되는 한 SCH_{max}에 가까울수록 개선될 수 있음을 알 수 있다.

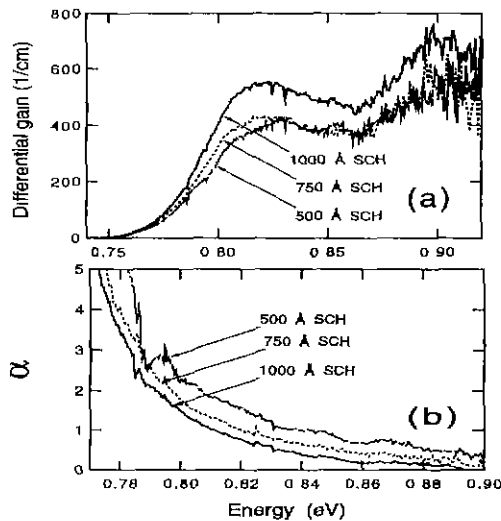


Fig.3. (a) The change of differential gain curves and (b) the change of α according to the SCH thickness.

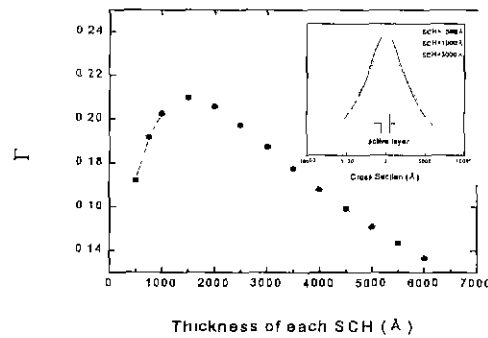


Fig.4. The change of α according to the SCH thickness variation.

REFERENCES

- [1] R. Nagarajan, M. Ishikawa, T. Fukushima, R.S. Geels, and J. E. Bowers, High speed quantum well lasers and carrier transport effects, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 28, pp. 1990-2008, 1992.
- [2] U. Koren, B. I. Miller, Y. K. Su, T. L. Koch, and J. B. Bowers, Low internal loss separate confinement heterostructure InGaAs/InGaAsP quantum well laser, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 21, no. 21, pp. 1744-1746, 1987.
- [3] B. Borchert, K. David, B. Stegmüller, R. Gessner, M. Beschoner, D. Sacher, and G. Frantz, 1.55 μm DFB lasers with high single mode yield and narrow linewidth, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol 3, pp. 955-957, 1991.
- [4] M. Osinski and J. Buus, Linewidth broadening factor in semiconductor lasers - An Overview, *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol. QE-23, no. 1, pp. 9-29, Jan. 1987.
- [5] C.H. Henry, R.A. Logan, and F.R. Merritt, Measurement of gain and absorption spectra in AlGaAs buried heterostructure lasers, *J. Appl. Phys.* 51, no. 6, pp. 3042, June 1980.
- [6] Beom-hoan O, H. R. Choo, H. M. Kim, J. S. Kim, D. K. Oh, H. R. Kim, H. M. Kim, and K. E. Pyun, Cavity length dependence of high-speed 1.55- μm multiple-quantum-well laser diode characteristics, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 9, no. 2, pp. 164-166, Feb. 1997.
- [7] Beom-hoan O, H. R. Choo, H. M. Kim, J. S. Kim, D. K. Oh, C. D. Park, C. Y. Park, H. R. Kim, H. M. Kim, and K. E. Pyun, Gain and linewidth enhancement factor of distributed feed-back and Fabry-Perot type 1.55- μm multiple-quantum-well laser diodes by the measurement of spontaneous emission spectrum from the side-wall, *J. Korean Phys. Soc.*, Vol. 29, no. 6, pp. 728-732, Dec. 1996.
- [8] H. R. Choo, Beom-hoan O, C. D. Park, H. M. Kim, J. S. Kim, D. K. Oh, Hong Man Kim, and K. E. Pyun, Improvement of Linewidth Enhancement Factor in 1.55- μm Multiple-Quantum-Well Laser Diodes, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 10, no. 5, pp. 645-647, May. 1998.
- [9] Beom-hoan O, S. R. Park, H. R. Choo, H. M. Kim, and J. S. Kim, SCH Dependence of linewidth Enhancement Factor for high speed 1.55- μm Multiple-Quantum-Well Laser Diodes, *SPIE 43rd Annual Meeting*, 19-24 Jul. 1998, San Diego, CA, USA. (1998. 7. 19-24)