

Butt-coupled DBR-LD 제작 및 동작특성

오수환† · 이철욱 · 김기수 · 이지면 · 고현성 · 박상기 · 박문호

한국전자통신연구원 반도체 원천기술연구소 광송수신소자팀

Ⓣ 305-350 대전시 유성구 가정동 161번지

(2003년 2월 4일 받음, 2003년 4월 25일 수정본 받음)

본 논문에서는 도파로층이 1.3 μm InGaAsP인 파장 가변 BT(butt-coupled)-DBR(distributed bragg reflector)-LD(laser diode)를 제작하고, 특성을 측정하였다. Butt 결합 성장면의 성장조건을 건식식각과 선택식각 방법과 MOCVD(metal organic chemical vapor deposition)성장으로 최적화 한 후 활성층과 도파로층의 결합 효율을 측정한 결과 결합 효율이 85% 이상으로 나타났으며, 제작된 BT-DBR-LD에 연속전류를 인가 했을 때, 평균 임계전류는 약 21 mA, 최대 광출력이 25 mW 이상으로 나타났다. 또한 위상제어 영역과 DBR영역에 각각 25 mA와 50 mA의 전류를 주입하여도 급격한 광출력 변화와 포화현상이 나타나지 않았다. 이때 최대 파장 가변 폭은 7.4 nm, SMSR비는 40 dB이상으로 나타났다.

주제어 : semiconductor laser, tunable laser, butt-coupled, DBR laser.

I. 서 론

WDM(wavelength division multiplexing) 네트워크의 구축을 가능케 하는 핵심광소자로서 발진파장이 WDM 파장 영역을 포함할 수 있는 파장 가변광원에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^[1] 이러한 파장 가변광원은 WDM trunk 망의 광송신기에 있어서 파장 가변 기능에 의한 임의 파장채널을 설정할 수 있는 광원으로 활용될 뿐만 아니라 광고환용 파장변환기의 여기 광원으로 사용되며, 또한 광수신기에서 광신호를 선별 검출하기 위한 기준 광원으로 이용된다.^[2]

이러한 파장 가변 레이저에는 DFB(distribute feedback)-LD(laser diode), DBR-LD가 주로 사용되고 있는데 DFB-LD의 경우 연속 파장 가변이 가능하지만 파장 가변 범위가 2~3 nm이며,^[3] DBR-LD는 파장 가변 범위가 DFB-LD에 비해 넓지만 준 연속 파장 가변이라는 특징을 가진다.^[4] DBR-LD에는 여러 가지 구조가 있으나, 본 논문에서는 활성층과 도파로층 사이의 결합 효율이 80% 이상으로 알려져 있는 Butt-joint Built-in(BJB) 또는 Butt-coupled(BT:이하 BT)^[5] 구조를 최적화 하여 결합효율 특성을 조사하였으며, 이러한 구조를 적용한 DBR-LD를 제작하고 그 특성을 분석하고자 한다.

선으로 집적 되어있다. 활성층 구조는 0.7% 압축응력을 가진 well과 0.35% 인장응력을 가진 barrier로 된 응력완화 MQW(multi quantum well) 활성층을 사용하였다.

그림 2에 활성층과 도파로의 butt 결합 영역 SEM단면 사진을 나타내었다. BT 결합 계면의 특성은 소자의 광손실, 누설 전류 등 여러가지 특성에 영향을 미치므로, 계면의 특성 향상은 소자의 전체적인 특성 향상에도 아주 중요한 요인이 된다. BT를 형성하는 방법중에는 여러가지 방법이 있으며, 건식식각과 습식식각 중 하나의 방법만 사용하는 경우는 butt 계면의 성장 특성이 나빠서 결합효율이 낮게 나타나는 것으로 보고되어 있다.^[6,7] 따라서 본 논문에서는 활성층만 성장된 에피 웨이퍼를 일정한 부분의 활성층만 남겨둔 후 건식식각 및 선택식각 방법으로 에칭한 후 MOCVD 재성장으로 도파로층을 성장하였다. 도파로는 1.3 μm InGaAsP층을 3000Å 사용하였다. 성장된 단면 사진으로 보아 경계면에서 butt 결합 성장면에서 생길수 있는 defect가 발생하지 않음을 알 수 있다. BT 부분의 결합 효율을 확인하기 위해 도파로층과 활성층으로 형성된 구조의 PBH-LD^[8]를 제작하여 활성층과 도파로 경계면에서의 결합 효율을 측정하였다. 도파로가 없는 활성층에서 나오는 출

II. 3전극 BT-DBR-LD 제작

그림 1에 본 연구에서 제작한 BT-DBR-LD의 구조를 나타내고 있다. 활성영역(Gain section, I_1)과 위상제어 영역(Phase control section, I_2), DBR 영역(DBR section, I_3)으로 구분되며, 각각의 길이는 300 μm , 150 μm , 500 μm 이다. 도파로 구조는 도파로 역할을 하는 층과 활성층 역할을 하는 층이 일직

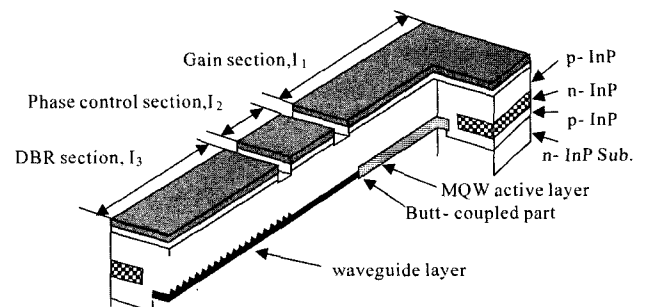


그림 1. BT-DBR-LD의 구조.

†E-mail: osh@etri.re.kr

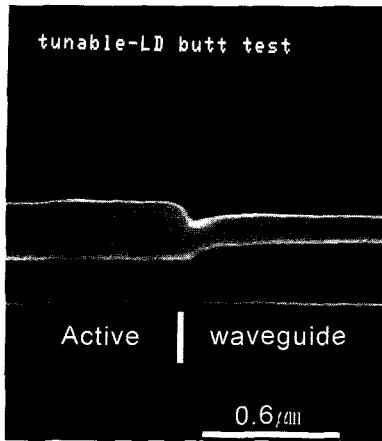


그림 2. 활성층과 위상제어 영역(BT 결합)의 SEM단면 사진.

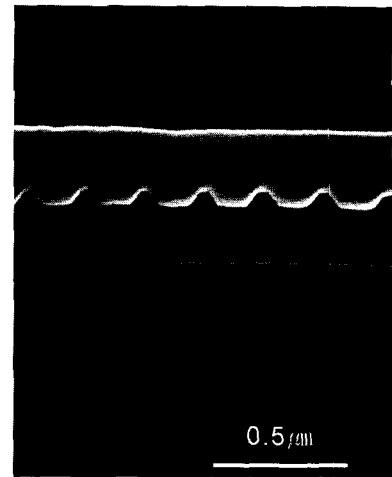


그림 4. DBR 영역의 SEM단면사진.

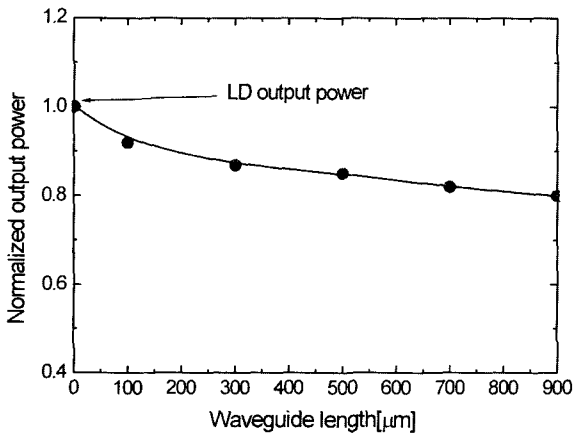


그림 3. 제작된 BT DBR-LD의 결합 효율 측정.

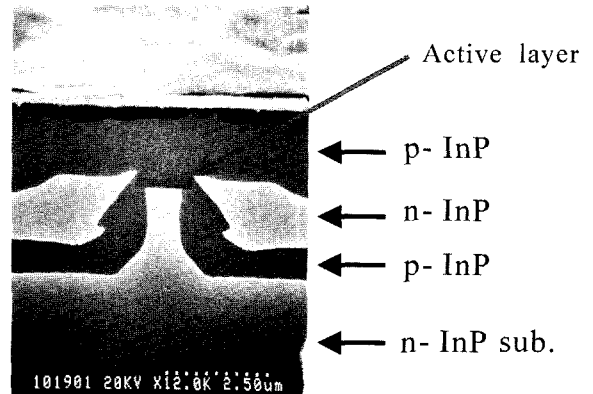


그림 5. 제작된 BT형 DBR-LD의 활성층 SEM단면사진.

력을 1로 하였을 때 도파로가 집적된 반도체 레이저의 출력의 비를 그림 3에 나타내었다. 측정 결과 도파로 손실을 무시할 때 경계면에서의 결합 효율이 약 85% 이상 되는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 기존의 건식식각 및 습식식각으로 형성된 BT 영역의 결합 효율로 알려져 있는 80%^[9]를 증가하는 값으로 보아, BT 부분의 성장 특성이 우수함을 알 수 있다.

그림 3의 결과와 같이 85%이상의 결합 효율을 가지는 BT 영역을 성장한 후 도파로인 1.3 μm InGaAsP층에 주기 240 nm 인 grating을 형성하였으며, 깊이는 500 Å로 하였다. 그림 4는 Grating 부분의 SEM단면 사진을 나타낸다. 마지막으로 p-n-p 전류차단층을 가지는 PBH-LD^[8]를 제작하였으며, 그림 5에 SEM 단면 사진을 나타내었다.

III. BT-DBR-LD의 파장 가변 동작 특성

제작된 DBR-LD를 CW로 구동시켰을 경우 I-L특성을 그림 6과 7에 나타내었다. 그림 6은 위상제어 영역의 전류를 0 mA로 두고, DBR영역에 전류를 10 mA간격으로 50 mA까지 변화시키며 활성층에 전류를 인가하였다. 활성층에 전류를 100 mA를 인가하여 놓고, 각각의 DBR 전류에 대한 출력변화가 2 mW(0.72 dBm)으로 나타났다. 또한 전류가 200 mA에서 출력

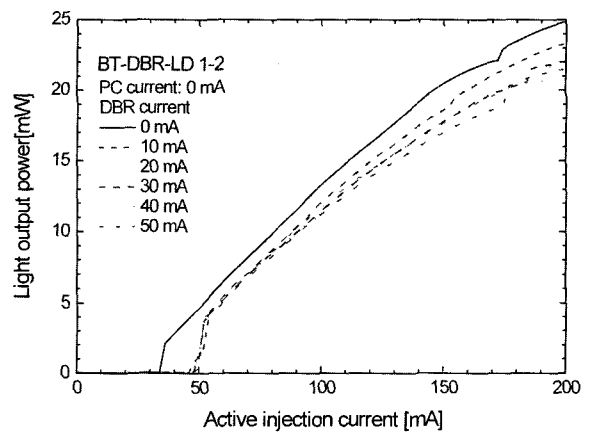


그림 6. 인가 전류에 따른 I-L특성(DBR영역).

변화도 3mW 정도로 광출력의 큰 변화 현상이 나타나지 않았다. 이와 같이 광출력 변화가 적은 것은 BT 영역의 결합효율이 높아 주입 전류증가 따른 BT 계면에서 광손실이 적은 것에 기인하는 것으로 생각된다. 그림 7은 위상제어 영역과 활성층에만 전류를 인가하여 I-L특성을 나타낸 것이다. 위상제어 영역에 5 mA간격으로 25 mA까지 전류를 인가하고, 활성

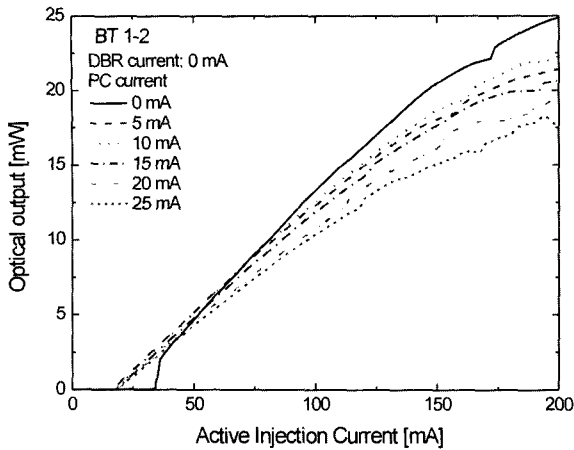


그림 7. 인가 전류에 따른 I-L특성(위상제어 영역).

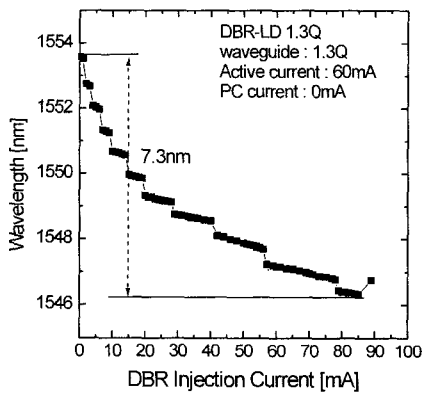


그림 8. DBR영역의 주입전류에 따른 파장 가변 특성.

층에 전류를 연속적으로 인가하여 그 특성을 조사하였다. 활성층 인가 전류 100 mA에서 출력 변화폭이 2.9 mW(1.08 dBm)으로 나타났으며, 200 mA에서 광 출력의 급격한 감소에 의한 포화현상은 나타나지 않았다. 이러한 결과로 활성층과 도파로층의 경계면에서 광의 결합 효율이 기존의 2중 도파로형 DBR-LD보다 우수하게 나타났다.^[10]

그림 8에 파장가변 특성을 나타내었다. 활성층에 60 mA의 전류와 위상제어 영역에 0 mA의 전류를 인가하고, DBR영역의 전류를 80 mA까지 증가하면서 파장 가변 특성을 조사해 본 결과 7.3 nm의 파장가변 특성을 나타내었다. 위상제어 영역에 의한 파장 가변 특성을 측정하기 위해 DBR영역의 전류를 0 mA로 고정하고 30 mA까지 전류를 인가하면서 파장가변 특성을 조사한 결과 파장 가변 영역이 1 nm로 나타났다.

마지막으로 DBR영역과 위상제어 영역에 전류를 동시에 인가하면서 파장가변 특성을 조사했으며, 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 위상제어 영역은 25 mA, DBR영역은 80 mA까지 전류를 연속적으로 변화시키면서 측정한 결과, 준 연속 파장 가변 폭이 7.4 nm로 나타났다. 이러한 결과는 도파로의 특성이 동일한 DBR-LD의 연구결과인 10 nm,^[11] 8 nm^[12] 등과 비교해 볼 때 약간의 차이가 있지만 비슷하게 나타났다. 그리고,

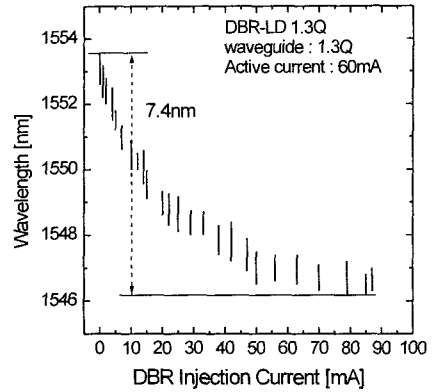


그림 9. BT-DBR-LD의 파장 가변 특성.

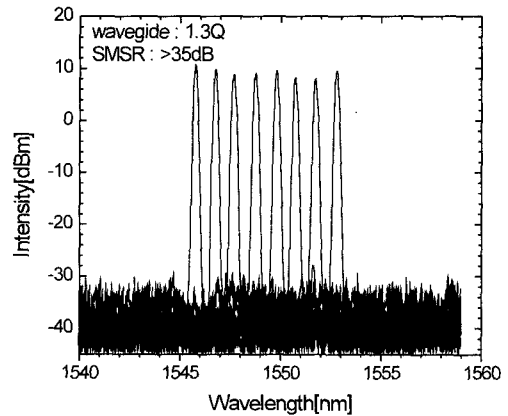


그림 10. BT-DBR-LD의 SSMR 및 스펙트럼 특성.

DBR-LD의 파장 가변 특성은 DBR 영역인 도파로층의 굴절률 변화에 크게 좌우되지만 10 nm정도의 파장 가변 특성을 가지는 것으로 알려져 있다.^[11,12]

제작된 BT-DBR-LD의 파장 가변 영역내에서 1 nm 간격으로 7개의 스펙트럼과 SSMR특성을 그림 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 SSMR이 40 dB이상으로 우수하게 나타났다.

IV. 결 론

파장 가변 BT-DBR-LD를 제작하고 특성을 조사하였다. 특히, 광소자의 광손실, 누설전류 등 여러가지 특성에 영향을 미치는 butt 결합 성장 계면의 성장조건을 최적화하기 위해 선택 식각방법을 이용하였으며, 도파로층은 1.3 μm InGaAsP로 하였다. BT 결합 성장 계면의 특성을 확인하기 위해 활성층과 도파로층이 집적된 PBH-LD를 제작하여 BT 결합 결합 효율을 측정한 결과 85% 이상으로 나타났다. 또한 제작된 BT-DBR-LD에 연속전류를 인가 했을 때, 최대 광출력이 25 mW 이상으로 나타났으며, 또한 위상제어 영역과 DBR영역에 각각 25 mA와 50 mA의 전류를 주입하여도 급격한 광출력 변화와 포화현상이 나타나지 않았다. 최대 파장 가변 폭은 7.4 nm, SSMR비는 40 dB이상으로 나타났다.

참고문헌

- [1] M. S. Borella, J. P. Jue, D. Banerjee, B. Ramamurthy, and B. Mukherjee, "Optical components for WDM light networks," *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 8, pp. 1274-1307, 1997.
- [2] J. Hourany, C. Chauzat, M. Bilard, D. De Bouard, and R. Lefevre, "Wavelength Optical/Electronic Encoding Module for ATM Optical-Switching," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 7, no. 11, pp. 1306-1308, 1995.
- [3] Y. Yoshikuni and G. Motosugi, "Multielectrode distributed feedback laser for pure frequency modulation and chirping suppressed amplitude modulation," *J. Lightwave Technol.*, vol. 5, pp. 516-522, 1987.
- [4] S. MURATA, I. MITO, K. KOBAYASHI "Tuning ranges for 1.5 μm wavelength tunable DBR lasers" *Electronics Letters*, vol. 24, no. 10, pp. 577-579, 1988.
- [5] Y. Abe, K. Kishino, Y. Suematsu, and S. Arai "GaInAsP/InP integrated laser with butt-jointed built-in distributed Bragg reflector waveguide," *Electron. Lett.*, vol. 17, no. 25, pp. 945-947, 1981.
- [6] M. Renaud, J. A. Cavalles, P. Jarry, E. Boucherez, and M. Erman, "Extremely high waveguide optical amplifier coupling efficiency measured on passive test structure," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, no. 1, pp. 47-49, 1991.
- [7] T. Brenner, E. Gini, and H. Melchior, "Low coupling losses between InP/InGaAsP optical amplifiers and monolithically integrated waveguides," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 2, pp. 212-214, 1993.
- [8] H. S. Cho, D. H. Jang, J. K. Lee, K. H. Park, J. S. Kim, S. W. Lee, H. M. Kim and H.-M. Park, "High-performance strain-compensated multiple quantum well planar buried heterostructure laser diodes with low leakage current" *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 35, no. 3, pp. 1751-1757, 1996.
- [9] T. Kunii, Y. Ogawa, H. Wada, T. Nonaka, and Yoshio Kawai, "Narrow-Spectral-Linewidth, High-Output-Power Operation, and FM Response Characteristics in 1.5 μm Butt-Jointed DBR Lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-27, no. 6, pp. 1773-1781, 1991.
- [10] M. C. Amann, S. Illek, C. Schanen, and W. Thulke, "Tunable twin-guide laser : A novel laser diode with improved tuning performance," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 54, pp. 2532-2533, 1989.
- [11] Y. Kotaki, M. Matsuta, H. Ishikawa, H. Imai "TUNABLE DBR LASER WITH TUNING RANGE" *Electron. Lett.* vol. 24, no. 8, pp. 503-505, 1988.
- [12] Shinji Sakano, Akihiko Oka, and Naoki chinone "Wavelength-Tunable Three-Electrode DBR Laser with a Thin-Active Layer in Tuning Regions" *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol 3, no.10, pp. 866-868, 1991.

Fabrication and lasing characteristics of tunable Butt-coupled DBR-LD

Su Hwan Oh[†], Chul-Wook Lee, Ki Soo Kim, Ji-Myon Lee, Hyunsung Ko, Sahnggi Park, and Moon-Ho Park

*ETRI-Basic Research Laboratory, Optical Source and Detector Team
161 Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, KOREA*

[†]E-mail: osh@etri.re.kr

(Received February 4, 2003, Revised manuscript April 25, 2003)

We present the fabrication and measured performance of a wavelength tunable Butt coupled DBR-LD. An average coupling efficiency between active layer and passive waveguide layer was measured over 85% per facet, and the average threshold current was 21 mA for the waveguide integrated DBR laser. High output power of Butt coupled DBR-LD was obtained over 25 mW. As high as 25 mW of output power was achieved by the butt coupled method. The maximum wavelength tuning range is about 7.4 nm, and the side mode suppression ratio was more than 40 dB using 1.3 μm InGaAsP waveguide layer.

OCIS Codes : 230.0250, 230.6080, 230.3120, 230.5590, 250.5300.