

論文2003-40SD-9-6

도파로 결합 구조에 따른 DBR-LD의 동작특성

(The Operating Characteristics of DBR-LD with Waveguides Coupling Structure)

吳秀煥*, 朴文鎬*

(Su Hwan Oh and Moon-Ho Park)

요약

본 논문에서는 광의 결합 메커니즘이 다른 ITG(integrated-twin-guide) 와 BT(butt coupled) 구조를 가지는 두 종류의 파장 가변 DBR-LD의 제작공정과 성능에 대해서 기술하였다. 두 종류의 DBR-LD는 PBH(planar buried heterostructure) 구조를 가지며, MOVPE 성장으로 제작하였다. 제작된 DBR-LD 광출력 특성을 측정한 결과 BT-DBR-LD가 ITG-DBR-LD보다 임계전류 변화폭, 광출력 변화 폭, 기울기 효율에서 2배 이상의 우수한 특성을 나타내었다. 그리고 준 연속 파장 가변 특성은 BT-DBR-LD가 7.2nm, ITG-DBR-LD가 7.4nm 이며, SMSR이 35dB 이상으로 우수하게 나타났다. 이와 같이 BT DBR-LD가 특성이 우수한 것은 BT 구조가 ITG 구조보다 높은 결합 효율을 나타내기 때문이다.

Abstract

In this paper, we described the fabrication and the performance of wavelength tunable distributed bragg reflector (DBR) laser diode (LD), having different waveguide coupling mechanisms; integrated-twin-guide (ITG) DBR-LD and butt coupled (BT) DBR-LD. This device is fabricated by metal organic vapor phase epitaxy (MOVPE) growth and planar buried heterostructure (PBH)-type transverse current confinement structure. The result of measurement, the optical performance of BT-DBR-LD is better over 2 times than that of ITG-DBR-LD at the variation of threshold current and output power, and slope efficiency due to the higher coupling efficiency of the butt coupled structure than the integrated twin guide structure. The maximum wavelength tuning range is about 7.2nm for ITG DBR-LD and 7.4nm for BT DBR-LD. Both types of lasers have a very high yield of single mode operation with a side-mode suppression ratio of more than 35dB.

Keyword : distributed bragg reflector (DBR) laser diode (LD), integrated twin guide DBR-LD, butt coupled DBR-LD, semiconductor laser, tunable laser

I. 서론

대용량의 정보를 전송하고 분배/교환하는 기능을 통합한 WDM(wavelength division multiplexing) 네트워크는 궁극적으로 고품질의 정보를 각 개인에게 저렴하게 제공하는 인프라로서 지식 기반 사회의 중추적인 역할을 수행할 것이다. 이러한 WDM 네트워크의 구축을 가능하게 하는 핵심 광소자로서 발전파장이 WDM

* 正會員, 韓國電子通信研究院 半導體 源泉技術研究所 光通信素子部

(ETRI-Basic Research Laboratory, Optical Communication Devices Department)

接受日字:2003年5月2日, 수정완료일:2003年9月2日

파장 영역 전체를 지원할 수 있는 광원으로 파장가변 광원이 부각되고 있다. 파장 가변 광원은 단일 파장 발진 구조와 공진 조건을 변화시키는 구조를 복합한 반도체 레이저로서 여러 개의 조정용 전극을 통해 출력 파장이 가변되는 기능을 가진다. 파장 가변 광원은 WDM 광 네트워크의 실현을 가능하게 하는 필수 광 부품으로서 구체적인 활용 예는 다음과 같이 광 송신부, 광교환부 및 광수신부 전체를 포함한다^[1, 3].

이러한 파장 가변 레이저에는 파장 가변 범위가 10nm 이내로 알려져 있는 DBR-LD와 30nm이상의 광대역 파장 가변 범위를 가지는 파장 가변 레이저의 두 그룹으로 나눌 수 있다. 파장 가변 범위가 10nm 이내인 DBR-LD에는 integrated-twin-guide(ITG: 2중 도파로) 구조^[4], taper-coupled waveguide (TPC)구조^[5], direct coupling(DIC)구조^[6], large-optical-cavity(LOC) 구조^[7], butt-jointed built-in (BJB) 또는 butt-coupled(BT)구조^[8] 등이 있다. 광대역 파장 가변 반도체 레이저에는 sampled grating(SG) DBR-LD^[9]와 super structure grating(SSG) DBR-LD^[10] 등 다수의 반도체 레이저^[11]가 있다. 특히 광대역 파장 가변 레이저는 활성층의 길이에 비해 도파로층의 길이가 2배 이상이기 때문에 광출력의 감소로 광증폭기와 집적화가 시도되고 있다^[12].

본 논문에서는 광대역 파장 가변 레이저를 제작하기 위한 기초연구로서, 도파로의 결합 구조가 서로 다른 DBR-LD를 제작하고 그 특성을 분석하고자 한다. DBR-LD에 가장 많이 적용되는 두 종류의 결합 메커니즘은 ITG와 BT구조이며, 일반적으로 도파로의 결합 구조에 의해 BT-DBR-LD의 성능이 ITG-DBR-LD보다 우수하다고 알려져 있으나^[8] 두 종류의 DBR-LD를 제작하여 비교 분석한 논문은 거의 찾아보기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 두 종류의 DBR-LD는 PBH구조로 MOCVD로 제작 하였어 광학적 특성을 분석하고자 한다.

II. 3전극 DBR-LD 제작

DBR와 같은 집적형 반도체 레이저의 제작에 있어서, 저 손실 DBR 도파로의 제작은 필수적인 것이다. 활성층과 도파로층의 높은 결합 효율은 고 효율 반도체 레이저 제작에 가장 중요한 요소이다. <그림 1>에 집적소자에 사용되는 전형적인 두 종류의 결합 형태를 나

타내었다. <그림 1(a)>는 ITG-DBR 구조를 나타내며, 도파로층이 활성층 아래에서 같은 방향으로 있기 때문에 두 층의 도파모드가 일치하는 구조이다. <그림 1(b)>는 BT-DBR 구조이며, 활성층 옆에 도파로층이 직접 연결되어 있기 때문에 도파 모드의 결합 효율이 매우 높은 구조이다. 따라서 결합 계면의 특성이 소자의 전체적인 특성에 아주 중요한 요인이 된다. 먼저 두 종류의 결합 형태를 가지는 DBR 레이저의 제작과정을 간단히 설명하고자 한다.

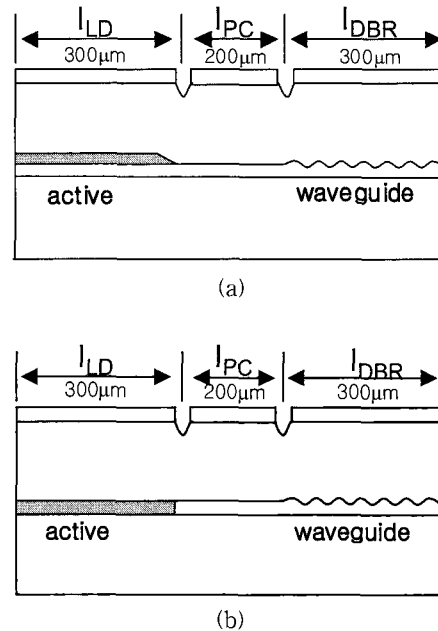


그림 1. 도파로의 결합 특성에 따른 DBR-LD의 제작도 (a) ITG-DBR-LD, (b) BT-DBR-LD
Fig. 1. Schematic diagrams of two types of typical coupling mechanisms. (a) ITG-DBR-LD, (b) BT-DBR-LD

<그림 1(a)>인 ITG-DBR-LD는 4번의 MOCVD 성장으로 제작했으며, PBH 구조^[13]로 되어 있다. 제작과정은 다음과 같다. 첫번째 성장은, n-InP 버퍼층을 포함해서, 0.3µm 두께의 GaInAsP 도파로층($\lambda_g=1.3\mu\text{m}$)과 20nm undoped-InP 선택 에칭층, 1.55µm 압축 응력 완화 MQW(multi-quantum-well)층과 p-InP 층을 성장하였다. MQW 활성층은 0.7% 압축응력을 가진우물층과 0.35% 인장응력을 가진 가둠층을 사용하였다. 또한 SCH 층으로 1.24µm GaInAsP층과 1.1µm GaInAsP 층을 동시에 사용하였으며, 저압 MOCVD로 성장시켰다. 활

성층은 사진식각 공정을 사용하여 SiNx층을 마스크로 덮었으며, SiNx가 덮여 있지 않는 부분은 건식 식각과 선택 습식식각 방법으로 InP 선택 식각층 위까지 에칭하였다. 그리고 도파로층인 GaInAsP층 위에 grating을 형성 한후 p-InP층을 성장시켰다. grating 주기는 240nm, depth는 500Å로 하였다. 활성층과 위상 제어 영역의 경계면의 SEM 단면 사진을 <그림 2(a)>에 나타내었으며, 성장 계면에 어떠한 결함도 없음을 알 수 있다. p-n-p 전류 차단층을 성장하기 위해 3μm의 SiNx stripe 마스크를 형성한후, 2번의 습식식각으로 메사 구조를 형성한 후, p-InP($N_d = 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) 층, n-InP($N_a = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)층 그리고 p-InP($N_d = 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)층을 성장하였다. 전류차단층을 성장한 후 SiNx 마스크를 제거한후 p-InP($N_d = 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) 가둠층과 p-GaInAs($N_d = 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 오믹층을 MOCVD로 성장하였다.

<그림 1(b)>인 BT-DBR-LD는 5번의 성장으로 제작 하였다. 첫번째 성장은, n-InP 버퍼층을 포함해서, 1.55 μm 압축 응력 완화 MQW(multi-quantum-well)층과 p-InP 층을 성장하였다. 활성층의 구조는 ITG-DBR-LD와 같다. 두 번째성장은 butt 결합 영역을 성장하는 것으로, 사진식각공정을 이용하여 활성층에 SiNx 마스크를 형성한 후 건식식각 및 선택 식각 방법으로 에칭한 후 MOCVD로 도파로층인 1.3μm InGaAsP층을 3000 Å 성장하였다. 성장된 BT 계면의 단면 사진을 <그림 2(b)>에 나타내었다. <그림 2(b)>에서 활성층과 도파

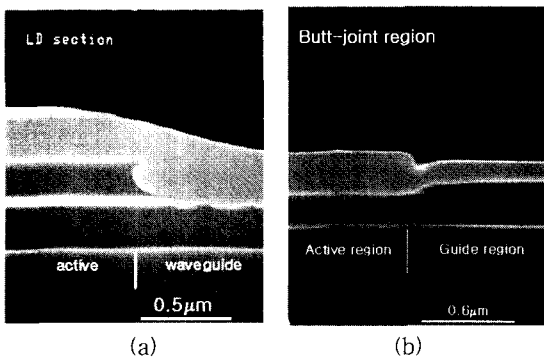


그림 2. 결합 영역의 SEM단면 사진(a) ITG 구조, (b) BT 구조
 Fig. 2. SEM photographs of coupling shape of interface between active region and waveguide region. (a) ITG structure (b) BT structure

로층의 경계면인 결합 성장면에서 생길 수 있는 결함이 발생하지 않음을 알 수 있다. BT영역을 성장한 후 도파로인 1.3μm InGaAsP층에 grating을 형성하였으며 grating 주기와 깊이는 ITG-DBR-LD와 같이 하였다. 그리고, 전류차단층 형성과 가둠층 및 오믹층 성장은 앞의 ITG-DBR-LD와 동일하게 하였다.

3. 제작된 3전극 DBR-LD의 광학적 특성

제작된 DBR-LD의 CW 주입전류에 따른 광출력 특성을 <그림 3>에 나타내었다. <그림 3>에서 실선은 BT-DBR-LD의 I-L 특성이고 점선은 ITG-DBR-LD의 I-L 특성이다. BT-DBR-LD와 ITG-DBR-LD의 최대 광출력은 25mW 와 14mW이고, 임계전류는 22mA 와 14mA로 각각 나타났다. 그리고 기울기 효율은 약 0.19mW/mA와 0.12mW/mA로 나타났다. 이러한 결과로부터, BT-DBR-LD가 ITG-DBR-LD보다 I-L 특성이 우수하게 나타났으며, 그 원인으로는 활성층과 도파로층의 광 결합 효율의 차이에 의한 것이다. 일반적으로 BT영역의 결합 효율은 결합 계면의 결함 등이 없다면, 결합 효율이 80~90%로 알려져 있으며 본 연구에서는 85%의 결합 효율을 얻었다. 이러한 결과로 해서 BT-DBR-LD가 ITG-DBR-LD보다 I-L 특성이 우수하게 나타난 것이다.

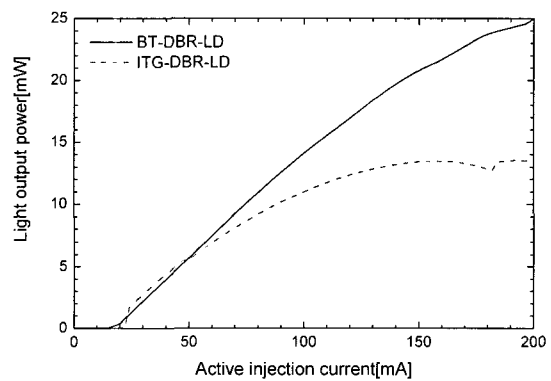


그림 3. BT-DBR-LD와 ITG-DBR-LD의 주입전류에 따른 광출력 특성
 Fig. 3. Light output power of the DBR-LD versus injected active region current.

3전극 DBR-LD에 위상제어 영역(Phase control section)은 전류를 인가하지 않고, DBR영역과 활성층에 전류를 인가하여 I-L특성을 조사하였다. DBR 영역에 전류를 0에서 50mA까지 10mA간격으로 전류를 변화하

면서 활성층에 전류를 0에서 200mA 까지 연속으로 전류를 인가하였을 때 ITG-DBR-LD의 광출력 특성을 <그림 4(a)>는 나타내었다. <그림 4(a)>에서 임계전류가 8에서 22mA로 증가하였으며, 150mA 이상에서 광출력이 포화 되었다. 그리고 DBR 영역에 주입전류를 증가 시킬수록 광출력의 변화는 크게 나타났으며, 200mA에서 DBR영역에 주입되는 전류가 50mA 일 때 11mW로 나타났으며, 그 원인은 결합 영역에서 낮은 결합 효율로 인한 주울열 상승에 의한 것으로 추측된다. 또한 ITG-DBR-LD의 I-L특성에서 여러 번의 kink와 비선형적으로 변화하는 특성이 관측되었다. 그러나 <그림 4(b)>에 나타난 BT-DBR-LD의 I-L특성은

150mA까지 DBR 영역에 주입되는 전류의 양에 관계없이 선형적으로 증가하였으며, 임계전류도 12mA에서 18mA로 6mA 변화하였다. 그리고 광출력의 변화는 DBR영역의 주입되는 전류가 50mA 변화하였을 때 200mA에서 5mW 변화하였으며, 기울기 효율은 0.19에서 0.13mW/mA로 감소하였다. 이와 같이 BT-DBR-LD가 ITG-DBR-LD보다 광 특성에서 2배 이상 우수하게 나타났으며, 이는 활성층과 도파로층의 경계영역에서 광의 결합 메커니즘의 차에 의해 이러한 현상이 발생한 것이다.

이러한 특성을 보다 더 확실히 확인 하기 위해 활성층과 위상제어 영역에만 전류를 인가하여 I-L특성을

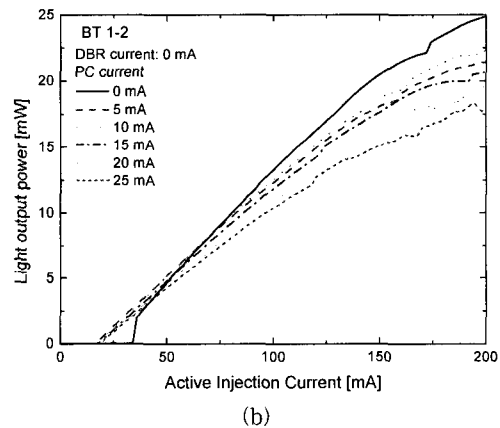
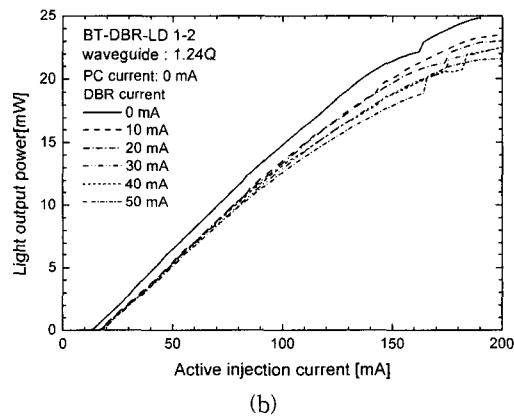
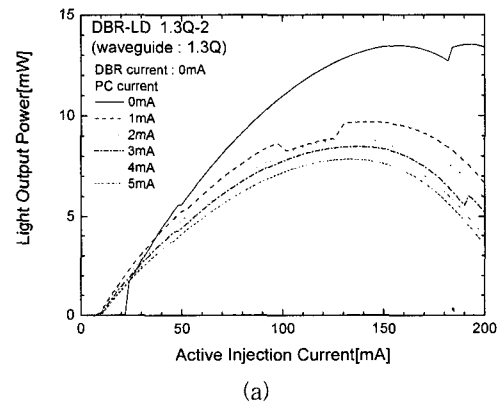
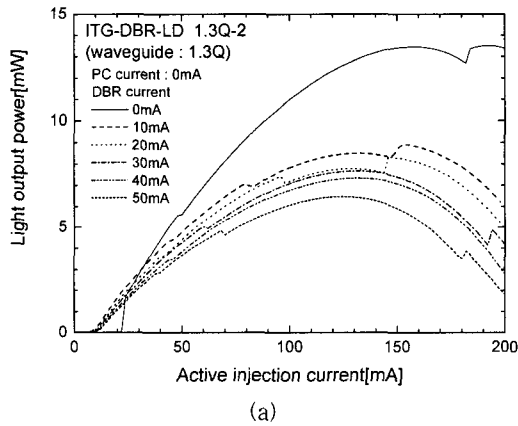


그림 4. DBR-LD 영역의 전류 주입에 따른 DBR-LD의 광출력 특성 (a) ITG-DBR-LD의 광출력, (b) BT-DBR-LD의 광출력

그림 5. 위상 제어 영역의 전류 주입에 따른 DBR-LD의 광출력 특성 (a) ITG-DBR-LD의 광출력, (b) BT-DBR-LD의 광출력

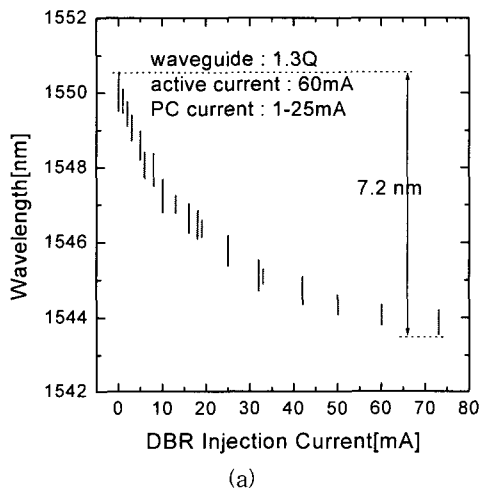
Fig. 4. Light output power of the DBR-LD versus active region current with various DBR current I_{DBR} of 0, 10, 20, 30, 40, and 50mA. (a) Light output power of ITG-DBR-LD, (b) Light output power of BT-DBR-LD

Fig. 5. Light output power of the DBR-LD versus active region current with various phase control current. (a) Light output power of ITG-DBR-LD, (b) Light output power of BT-DBR-LD

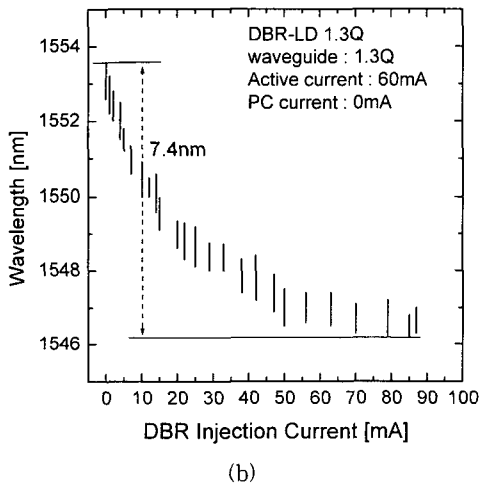
조사하였으며, 그 결과를 <그림 5>에 나타내었다. <그림 5(a)>는 DBR 영역에는 전류를 인가하지 않고 위상 제어 영역에 전류를 1에서 5mA 까지 전류를 변화 시키면서 I-L특성을 조사하였다. <그림 5(a)>에서 알 수 있듯이 광출력이 활성층의 인가 전류가 증가 할수록 광출력이 급격한 감소에 의한 포화 현상이 심각하게 나타났으며, 활성층에 200mA의 전류를 인가 했을 경우 10mW의 출력 변화를 나타내었다. 반면 위상 제어 영역에 5mA간격으로 25mA까지 전류를 인가한 BT-DBR-LD의 I-L특성인 <그림 5(b)>를 보면 인가 전류가 증가하여도 광출력의 감소현상은 나타나지만 포화현상은

거의 나타나지 않음을 알수있으며, 전류가 200mA에서 광출력이 7mW 감소하는 현상이 나타났다. 이와 같이 위상제어 영역에 전류를 인가하였을 경우도 DBR 영역에 전류를 인가한 경우와 같이 광출력의 감소 현상이 나타났지만, DBR 영역에 전류를 인가한 것보다 변화폭이 더 크게 나타났으며 ITG-DBR-LD LD의 경우는 2 배 이상의 감소를 보였다. 이러한 결과로 활성층과 도파로층의 경계면에서 주입전류에 의해 발생하는 광의 결합 효율 감소에 의한 것이며 ITG-DBR-LD 가 BT-DBR-LD 보다 크게 영향을 받은 것이다.

제작된 DBR-LD의 준연속 파장 가변 특성을 <그림 6>에 나타내었다. <그림 6(a)>는 ITG-DBR-LD의 측정 결과이고, <그림 6(b)>는 BT-DBR-LD의 결과이며,

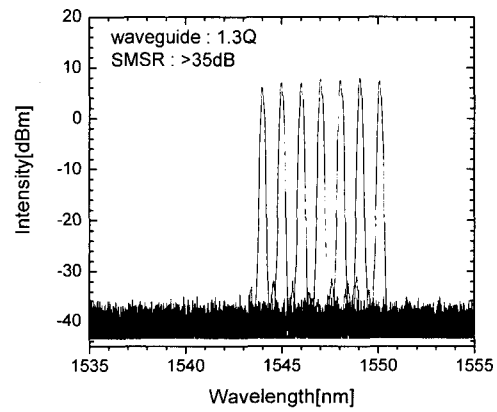


(a)

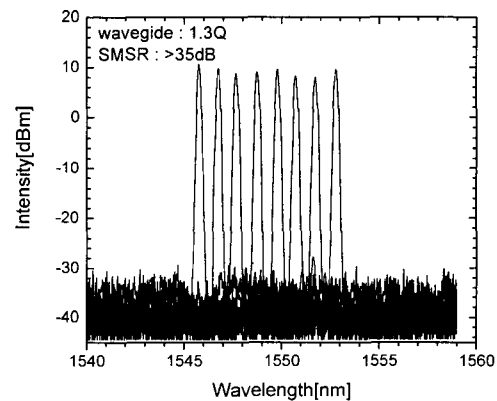


(b)

그림 6. DBR-LD의 준 연속 파장 가변 특성 (a) ITG-DBR-LD, (b) BT-DBR-LD
Fig. 6. Quasi-continuous wavelength tuning characteristics of three sections DBR laser. (a) ITG-DBR-LD, (b) BT-DBR-LD



(a)



(b)

그림 7. DBR-LD의 SMSR 및 스펙트럼 특성 (a) ITG DBR-LD, (b) BT DBR-LD
Fig. 7. Superimposed spectra and SMSR characteristics with current injection. (a) ITG DBR-LD, (b) BT DBR-LD

이때 활성층의 주입전류는 60mA로 고정하였다. <그림 6>의 모든 막대 바는 DBR영역의 전류를 일정하게 고정시켜 놓고 위상제어 영역의 전류 변화에 의해 발생하는 연속 파장 가변 범위를 나타내고 약 1nm의 연속 파장 가변이 가능함을 나타내고 있다. DBR영역의 전류를 한단계씩 변화시키면, 이웃 하는 모든 바가 겹쳐지게 된다. 그래서 파장 가변 범위 7.2nm, 7.4nm에서 모든 파장을 가변 할 수 있는 것이다. 본 실험에서 두 종류의 DBR-LD가 같은 도파로층을 가지고 있기 때문에 비슷한 파장 가변 범위를 얻은 것이다. 일반적으로 DBR-LD의 경우 도파로층의 조성과 두께에 따라 파장 가변 폭이 차이가 나지만 가변 폭이 6~10nm 정도로 알려져 있는 범위에 속하는 것을 알 수 있다^[14, 15].

마지막으로 파장 가변 범위 내에서 DBR-LD의 스펙트럼 및 SMSR특성을 <그림 7>에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 SMSR이 35dB이상으로 우수하게 나타났다.

IV. 결 론

본 논문에서는 광의 도파 메커니즘이 다른 ITG 와 BT 구조를 가지는 두 종류의 파장 가변 DBR-LD의 제작공정과 성능에 대해서 기술하였다. 두 종류가 공통적으로 활성층 구조가 같고 PBH 구조로 제작하였다. 특히 활성층과 도파로층의 경계 영역에서 어떠한 결함 없이 성장되었음을 확인하였다.

제작된 DBR-LD 광출력 특성을 측정한 결과 BT-DBR-LD가 ITG-DBR-LD보다 임계전류 변화폭, 광출력 변화 폭, 기율기 효율에서 2배 이상의 우수한 특성을 나타내었다. 특히, BT-DBR-LD는 200mA 에서 25mW의 광출력을 얻었으며 광출력이 선형적으로 증가하였으며, 위상제어 영역과 DBR영역에 전류를 인가하여도 광출력의 변화가 크게 나타나지 않았다. 그리고, 준 연속 파장 가변 특성은 각각 7.2nm, 7.4nm로 거의 차이가 없었으며, SMSR이 35dB 이상으로 우수하게 나타났다.

이와 같이 BT DBR-LD가 특성이 우수한 것은 BT 구조가 ITG 구조보다 높은 결합 효율을 나타내기 때문이다.

참 고 문 헌

- [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] P.J.Williams, D. J. Robbins, F. O. Robson, N. D. Whitbread, "High power and wide quasi-continuous tuning, surface ridge SG-DBR lasers," Proceedings of ECOC'2000, Munich, Germany, Sept. 2000.
- [3] B. Mason, G. A. Fish, S. Denbaars, and L. A. Coldren, "Widely tunable sampled grating DBR laser with integrated electro-absorption modulator," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 11, no. 6, pp. 638-640, 1999.
- [4] 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.
- [5] F.K.Reinhart, R.A.Logan, and C.V.Shank "GaAs-AlxGa1-xAs Injection laser with distributed Bragg reflector", Appl.Phys.Lett., vol. 27, no.1, pp. 45-48, 1975.
- [6] C. E. Hurwitz, J.A. Rossi, and C. M. Wolfe "Integrated GaAs-AlGaAs double hetrostructure lasers", Appl.Phys.Lett., vol.27, no.4, pp. 241-243, 1975.
- [7] J.C. Campbell and D.W. Bellavence "Monolithic laser/waveguide coupling by evanescent fields" IEEE J. Quantum Electron., QE-13, no.4, pp. 253-255, 1977.
- [8] 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
- [9] Vijaysekhar Jayaraman, Zuon-Min Chuang, and Larry A. Coldren, "Thery, design and performance of extended tuning range semiconductor lasers with sampled gratings." IEEE

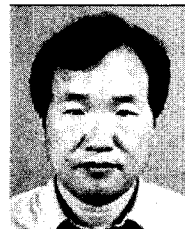
- J. Quantum Electron., vol. 29, No.6, pp. 1824-1834, 1993.
- [10] Y. Tohmori, Y. Yoshikumi, H. Ishii, F. Kano, T. Tamamura, Y. Kondo, and M. Yamamoto, "Broadrange wavelength-tunable superstructure grating(SSG) DBR lasers," IEEE J. Quantum Electron., vol. 29, pp. 1817-1823, 1993.
- [11] R. C. Alferness, U. Koren, L. L. Buhl, B. I. Miller, M. G. Young, T. L. Koch, G. Raybon, and C. Burrus, "Broadly tunable InGaAsP/InP laser based on a vertical coupler filter with 57-nm tuning range," Appl. Phys. Lett., vol. 60, pp. 3209-3211, 1992.
- [12] Beck Mason, Jonathon Bartan, Greg A. Fish, Larry A. Coldren, and Steven P. DenBaars, "Design of sampled grating DBR lasers with integrated semiconductor optical amplifiers." IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, no.7, pp. 762-764, 2000.
- [13] Ho Sung CHO, Dong Hoon JANG, Jung Kee LEE, Kyung Hyun PARK, Jeong Soo KIM, Seung Won LEE, Hong Man KIM and Hyung-Moo 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.
- [14] 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.
- [15] S. MURATA, I. MITO, K. KOBAYASHI, "TUNING RANGES FOR 1.5 μ m WAVELENGTH TUNABLE DBR LASERS" Electron. Lett. Vol.24, no.10, pp. 577-579, 1988.

저 자 소 개



吳 秀 煥(正會員)

1991년 2월 : 한국해양대학교 학사.
 1995년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 석사. 1999년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 박사. 1999년 7월~2000년 7월 : 일본 상지대학 박사후 과정. 2000년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 광통신소자연구부 연구원. <주관심분야 : 광통신용 소자 및 광통신시스템>



朴 文 鎬(正會員)

1986년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사). 1993년 2월 : Texas A&M University 전기 공학과(석사). 1996년 2월 : Texas A&M University 전기 공학과(박사). 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원. <주관심분야 : 광통신용 소자>