

G-PON용 높은 전광변환효율을 갖는 1.31 um 비냉각 DFB-LD

김정호[†] · 피중호 · 김덕현 · 박철성 · 류한권 · 구본조

LS전선(주) 중앙연구소 광기술그룹
 ④ 730-360 경북 구미시 진평동 643번지

(2007년 9월 20일 받음, 2007년 10월 9일 수정본 받음)

-40℃에서 85℃의 온도에서 냉각장치 없이 동작하는 1.31 um 비냉각 DFB-LD가 유기 금속 화학 증착법에 의해 성장되었다. 높은 전광변환효율을 갖는 레이저의 제작은 스트레인이 인가된 다중양자우물 구조의 최적화를 통해 가능하며, 특히 스트레인의 양, 양자 우물의 두께, 전위장벽의 두께, 양자 우물의 수, 활성층의 폭에 주로 영향을 받는다. 본 연구에서 제작된 DFB-LD는 25℃와 85℃에서 전광변환효율은 0.38[mW/mA]와 0.26[mW/mA], 발진개시전류는 각각 7.1[mA]와 19.8[mA]의 값을 가졌다.

주제어 : DFB-LD, Uncooled-LD, slope efficiency, SCH

I. 서 론

Gigabit-capable Passive Optical Network(G-PON)은 ATM 기반의 FSAN 규격을 만족시켜야 하며, 여기에 사용되는 ONT 광원은 기존 GE-PON에서 사용되던 FP-LD가 아닌 DFB-LD가 사용될 것으로 예상된다. 또한, AON 서비스 및 Ethernet 기반의 GE-PON 서비스에서 가입자용 LD는 주로 저가의 FP-LD가 사용되어 왔으나, 최근 장거리용 수요가 생기면서 GE-PON에서도 20 km 전송용으로 1.31 um DFB-LD를 채택하고 있다.

G-PON용 가입자 단말장치는 -2~+3 dBm의 고출력과 -40~+85℃의 넓은 온도범위에서 동작해야 하기 때문에, DFB-LD의 온도 동작범위는 -40~+100℃ 정도가 되어야 가입자 단말장치의 온도범위에서 안정적으로 동작할 수 있다. 그리고, 고출력이면서 저가격을 만족하기 위해서는 DFB-LD의 전광변환효율을 향상시켜서 광출력이 적어도 10[mW]의 출력이 가능하도록 하여야 한다.^[1]

고온에서 높은 전광변환효율과 낮은 발진개시전류를 갖는 레이저 다이오드의 구현은 다중양자우물 구조의 최적화를 통해 가능하다.^[2-6] 최적의 활성층 구조가 적용된 다중양자우물은 적은 캐리어 수로 높은 이득을 얻을 수 있다. 이를 통하여 전광변환효율의 향상, 발진개시전류의 저감, 저 chirping, 높은 주파수 대역폭을 기대할 수 있으며, 동시에 이득 포화와 발진개시전류 밀도를 낮추어 소자의 온도특성을 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 스트레인이 인가된 다중양자우물 구조의 최적화를 통하여 -40℃~85℃ 온도에서 높은 전광변환효율과 낮은 발진개시전류를 갖는 1.31 um DFB-LD를 개발하였다.

II. 실 험

PBH(Planar Buried Heterostructure) 구조를 갖는 DFB-LD의 단면도가 그림 1에 나타나 있다. DFB-LD를 제작하기 전에 높은 전광변환효율을 갖는 활성층 구조를 찾기 위하여, 표 1에서 보이는 4가지 구조로 FP-LD를 제작하여 특성을 비교하였다. 각 구조에 대하여 200개의 샘플을 95% 신뢰구간에서 추출하여 칩 테스트를 실시하였고, 그림 2와 같은 결과를 얻었다. 그림 2에서 보듯이 2-step SCH 구조가 1-step SCH 구조보다 전광변환효율이 크며, 8-well이 DSE(Differential Slope Efficiency) 특성은 다소 좋지만, 전광변환효율 값은

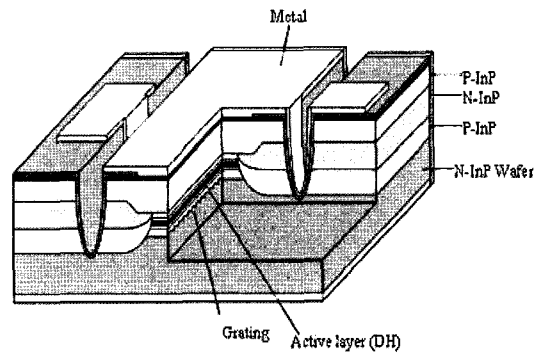


그림 1. PBH DFB-LD의 구조도.

표 1. 실험에 적용된 DH 구조

	Well 수	SCH	
		구조	조성
Case 1	5	1-step	1.1 um
Case 2	5	2-step	1.0/1.1 um
Case 3	8	1-step	1.1 um
Case 4	8	2-step	1.0/1.1 um

[†]E-mail: jhkim13@lscable.com

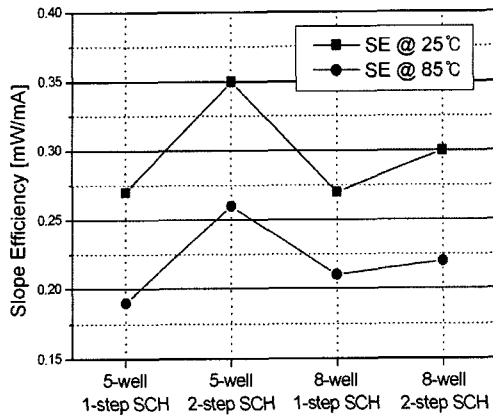


그림 2. DH 구조에 따른 온도별 SE 특성.

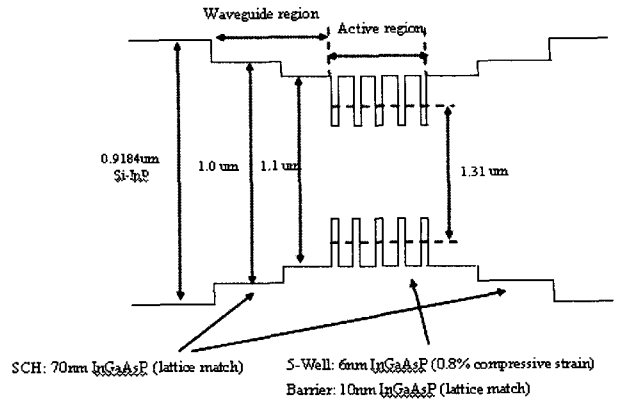


그림 3. 활성층의 에너지 밴드 다이어그램.

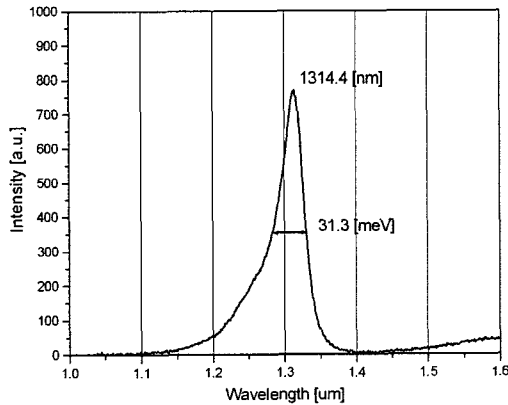


그림 4. 상온에서 측정된 SL-MQW의 PL 스펙트럼.

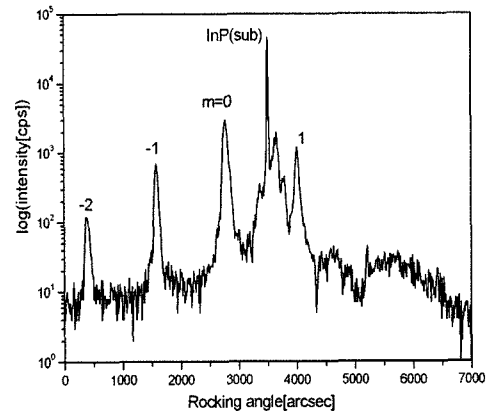


그림 5. SL-MQW의 X-ray rocking curve.

5-well이 8-well보다 우수함을 알 수 있다.

FP-LD 실험을 바탕으로 5well, 2-step SCH 구조를 갖는 DFB-LD를 제작하였다. 높은 단일 종모드 발진 수율과 1.31 μm 발진 파장을 갖는 DFB-LD 제작을 위한 첫 공정으로서, InP 기판 위에 351.1 nm의 아르곤 레이저를 이용한 간섭노광법으로 브래그 격자 구조를 형성하였다. 회절격자 주기에 따라 발진파장이 결정되며, 1.31 μm 발진을 위한 회절격자 주기는 각 층의 두께 및 굴절률을 고려하여 203 nm로 제작되었다.

활성층인 DH(Double Heterostructure)와 전류차단층인 BH(Buried Heterostructure) 구조는 유기 금속 화학 증착법(MOCVD)에 의해 성장되었다.

그림 3에는 DH의 에너지 밴드 구조가 나타나 있다. DH 구조는 다중양자우물로 구성된 활성층과 활성층에 주입된 캐리어를 효과적으로 구속하기 위한 SCH층으로 구성된다. 다중양자우물의 전위 장벽은 InP 기판과 격자정합된 10 nm 두께의 1.1 μm 조성을 갖는 InGaAsP가 성장되었다. 전광변환 효율을 높이기 위해서는 다중양자우물 상하부에 위치하는 SCH 층의 두께와 조성이 최적화 되어야 한다. SCH 층은 실험을 통하여 각 35 nm 두께로 1.0 μm, 1.1 μm 조성을 갖는 InGaAsP가 성장되었다.

회절격자 위에 성장된 DH의 PL측정 결과는 그림 4와 같다. 양자효과와 스트레인에 의한 C1 level과 HH1 level간의 천이 파장인 피크 파장은 1314.4 nm이고, 반치폭(FWHM)은 31.3 meV로 측정되었다.

Bede 사의 Double Crystal XRD 장비로 측정된 DH의(400)면에 대한 rocking curve를 그림 5에 나타내었다. 결과로부터 구해진 양자우물과 전위장벽 주기의 두께는 6 nm, 10 nm이며, 양자우물에 가해진 스트레인은 0.8%이다.

활성층의 수직 메사 구조를 형성하기 위한 습식 에칭 공정은 정전용량을 줄인다고 보고된 HBr계의 용액을 사용하였다. 그러나 휘발성이 강한 Br성분을 포함한 에칭액의 불안정한 에칭 속도와 비선택적, 이방성 에칭 특성 때문에 수 μm범위 이하의 메사 스트라이프 폭을 제어하기가 매우 어렵다는 단점이 있다. 따라서 일정한 소자 특성을 갖는 DFB-LD를 제작하기 위해 최적의 메사 폭을 갖는 습식 에칭 공정을 개발하였으며, 1.3 μm 폭을 갖는 메사를 형성하였다. 전광변환 효율 향상을 위해서는 누설전류를 최소화 해야 하며, 누설전류를 최소화하기 위해서는 전류차단층이 활성층을 완전히 감싸는 형태가 될 필요가 있다. 본 실험에서는 성장온도 및 메사 깊이의 최적화를 통하여 전류차단층을 완전히 감싸는 전류차단층을 형성하였으며, 그림 6에 전류차단층이 형성된

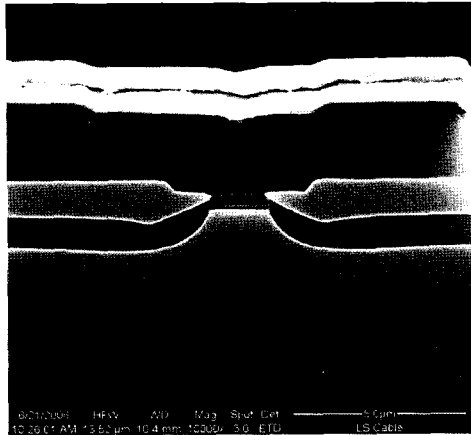


그림 6. 제작된 PBH DFB-LD의 SEM 단면 사진.

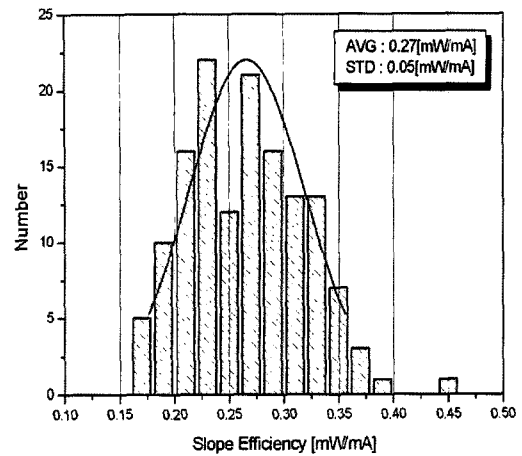


그림 7. 85°C, 광출력 5mW에서 140개 샘플에 대한 SE 분포도.

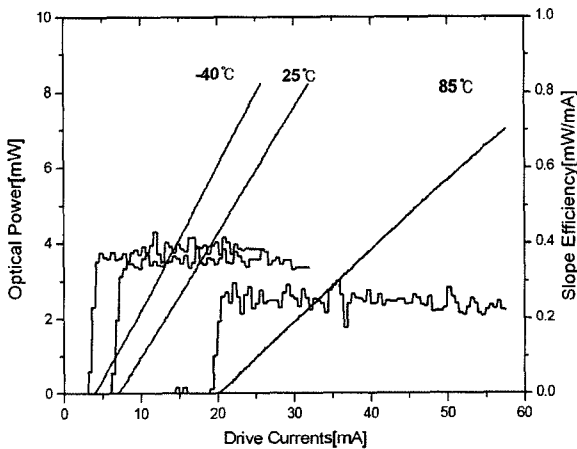


그림 8. 온도에 따른 DFB-LD의 전류 대 광출력 특성.

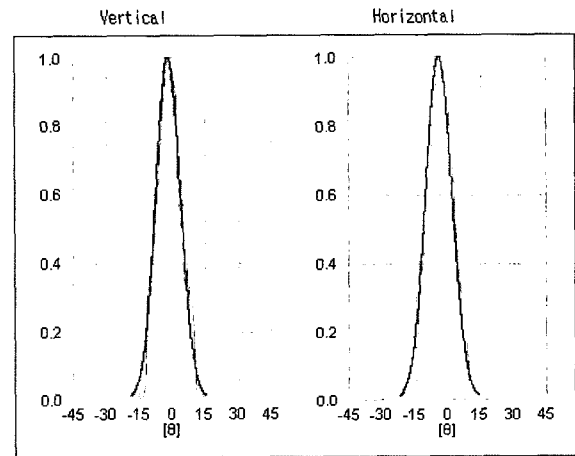


그림 9. 광출력 5mW에서 수평, 수직 FFP.

SEM 사진이 나타나 있다. 이를 바탕으로 수직 메사 형태의 활성층을 가지며 p-n-p-n 전류차단층을 이용하여 전기적으로 고립된 스트라이프를 가진 PBH 구조의 strained InGaAsP/InGaAsP PBH DFB-LD를 제작하였다.

III. 측 정

공진기 길이는 300 um이며, 1%, 90%의 무반사, 고반사 코팅 후 칩 상태에서 특성 테스트를 실시하였다. 측정은 한 개의 웨이퍼의 95% 신뢰구간에서 140개의 샘플을 추출하여 실시되었다. 고온 85°C에서의 측정결과는 그림 7에 나타나 있으며, 평균적으로 전광변환효율은 0.27[mW/mA], 발진개시전류는 22[mA]의 특성을 보였다.

측정된 칩을 TO-CAN 형태로 패키징하여, -40~+85°C 온도범위에서 측정하였다. 측정된 TO-CAN의 온도에 따른 인가 전류와 광 파워의 관계가 그림 8에 나타나 있다. 25°C와 85°C에서 발진개시전류는 각각 7.1[mA]와 19.8[mA], 전광변환효율은 0.38[mW/mA]와 0.26[mW/mA]로 측정되었다. 그

밖에 85°C에서 SMSR은 35[dBm], 저항은 4[Ω]으로 측정되었다.

그림 9에는 5[mW]의 출력에서 수직, 수평의 FFP(Far Field Pattern)이 나타나 있다. 비구면 렌즈를 사용하여 각각의 반치폭은 11.7°과 13.3°으로 측정되었으며, 단일모드 광섬유와 우수한 결합효율을 보일 것으로 기대된다.

IV. 결 론

-40~+85°C 온도범위에서 동작 가능한 G-PON용 1.31 um 비냉각 DFB-LD를 개발하였다. 최적의 활성층 구조를 설계하여, -40~+85°C 온도범위에서 동작하고 특히 85°C에서 0.26[mW/mA]의 전광변환효율과, 19.8[mA]의 발진개시전류 특성을 보였다.

위의 결과를 볼 때, 광출력 10[mW], 동작온도 +100°C에서 0.2[mW/mA] 이상의 전광변환효율이 예상되며, 이는 G-PON용으로 사용하기에 적합한 특성이다.

참고문헌

- [1] "Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics", *ITU-T Recommendation G. 984.1*, March, 2003.
- [2] K. Uomi, T. Tsuchiya, M. Komori, and A. Oka, "Ultra Threshold 1.3-um InGaAsP-InP Compressive Strained Multiquantum-Well Monolithic Laser Array for Parallel High-Density Optical Interconnects", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol. 1, No. 2, pp. 203-210, June, 1995.
- [3] Hitoshi Watanabe, Toshitaka Aoyagi, and Kimitaka Shibata, "1.3-um Uncooled DFB Lasers with Low Distortion for CATV Application", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol. 3, No. 2, pp. 659-665, App., 1997.
- [4] H. Watanabe, K. Shibata, T. Aoyagi, T. Takiguchi, H. Higuchi, and M. Aiga, "Wide-temperature-range operation of 1.3 μm DFB lasers with low distortion for CATV application," *Electron. Lett.*, Vol. 32, pp. 2247, 1996.
- [5] H. Watanabe, T. Aoyagi, A. Takemoto, T. Takiguchi, and E. Omura, "1.3- μm Strained MQW-DFB Lasers with Extremely Low Intermodulation Distortion for High-Speed Analog Transmission," *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol. 32, Issue. 6, pp. 1015, 1996.
- [6] H. Watanabe, T. Aoyagi, K. Shibata, T. Takiguchi, S. Kakimoto, and H. Higuchi, "1.3 μm Uncooled DFB Lasers with Low Distortion for CATV Application," *IEEE J. Select. Quantum Electron.*, Vol. 3, Issue 2, pp. 659, 1997.

1.31 μm Uncooled DFB-LD with High Slope Efficiency for G-PON Application

Jeong-Ho Kim[†], Joong-Ho Pi, Deok-Hyun Kim, Chil-Sung Park, Han-Gwon Ryu, and Bon-Jo Koo
Telecommunication Technology group R&D Center, LS Cable Ltd, 643, Jinpyung-dong, Gumi-si, Gyeongbuk 730-360, Korea

[†]*E-mail: jhkim13@lscable.com*

(Received September 20, 2007, Revised manuscript October 9, 2007)

A Strained Layer Multiquantum-Well (SL-MQW) distributed feedback laser at a wavelength of 1.31 μm operating from -40°C to 85°C without any cooling is grown by metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD). Lasers with high slope efficiency are achieved through careful optimization of a SL-MQW active layer, especially optimizing the amount of strain, the well thickness, the barrier thickness, the number of wells, and the active layer width. In this paper, we obtain the slope efficiencies of 0.38 [mW/mA] and 0.26 [mW/mA] at 25°C and 85°C , respectively. Threshold currents are 7.1 [mA] and 19.8 [mA] at 25°C and 85°C , respectively.