

## 2.5 Gbps 광통신용 저 chirping MQW-PBH-DFB-LD의 제작\*

장동훈 · 이증기 · 조호성 · 김정수 · 박경현 · 김홍만 · 박형무

한국전자통신연구소 화합물반도체 연구부

(1994년 6월 16일 받음)

본 연구에서는 MOVPE를 이용한 MQW활성층을 DFB-LD 구조에 도입함으로써 2.5 Gbps 광전송용 광원으로 사용될 1.55  $\mu\text{m}$  파장의 MQW-PBH-DFB-LD를 제작하였다. 활성층으로는 MOVPE를 이용하여 8쌍의 InGaAs/InGaAsP MQW층을 성장하였으며, 2차 및 3차 결정성장은 LPE를 사용하였고, 발진파장을 결정하는 회절격자 주기는 238 nm로 하였다. 제작된 MQW-PBH-DFB-LD의 평균 임계전류는 13.81 mA, Slope efficiency는 0.137 mW/mA이었고 발진파장은 1548.6 nm의 특성을 얻었다. 그리고 2.5 Gbps 대신호 변조시의 chirping특성을 조사하여 본 결과 0.55 nm임을 확인할 수가 있었다.

### I. 서 론

광통신에 사용되는 반도체레이저의 경우 광섬유의 영분산 영역인 1.3  $\mu\text{m}$  LD와 최저 손실영역인 1.55  $\mu\text{m}$  파장의 LD에 대한 연구가 활발히 전개되어 왔으며, 특히 대량의 정보를 장거리 전송을 하는 경우 1.55  $\mu\text{m}$  영역의 반도체레이저가 집중적으로 연구되고 있다. Fabry-Pérot형 반도체 레이저의 경우 다중 중모드 발진을 하기 때문에 광섬유를 통하여 전송되는 신호는 광섬유를 통과할 때 광섬유의 색분산에 의한 mode partition noise가 발생하여 전송속도가 제한되게 되므로,<sup>[1]</sup> 고속변조시에도 동적 단일모드로의 동작과 더불어 선폭이 좁은 반도체레이저가 필요로 하게 된다.<sup>[2][3]</sup> 이러한 동적 단일모드로 동작하는 반도체레이저에는 대표적으로 회절격자를 활성층 영역에 내장시켜 파장선택성을 갖는 DFB(Distributed Feedback) LD와 회절격자를 활성영역 외부에 제작하여 단일파장에 대한 광제환을 주는 DBR(Distributed Bragg Reflector) LD가 있으며, 제작의 용이성 및 재현성 측면에서 현재에는 주로 DFB-LD에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다.

한편 DFB-LD가 동적단일모드도로 발진한다 하더라도 고속변조시는 활성층내의 캐리어의 변동에 의해 발진파

장이 변화하게 되는 파장 chirping이 발진선폭을 증가시켜 전송거리와 변조속도를 제한하는 요소가 되므로 chirping현상을 줄여주는 것이 중요하다.<sup>[4]</sup> 이러한 측면에서 볼 때 활성층을 MQW(Multiple Quantum Well)로 하였을 경우 bulk에 비해 chirping에 영향을 미치는 선폭확장계수(linewidth enhancement factor)  $a$ 가 작기 때문에 chirping을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 낮은 임계전류, 높은 특성온도, 높은 공진주파수 등 여러 가지 이점을 가지고 있으므로 현재 고속변조 동적 단일모드로 사용되는 DFB-LD는 주로 활성층을 MQW로 하고 있다.<sup>[5][6]</sup>

따라서 본 연구에서는 회절격자를 간접노광법에 의해 형성한 후 MOVPE를 이용하여 8쌍의 InGaAs/InGaAsP MQW-DH웨이퍼를 성장하고, highly index guide구조인 PBH구조의 LD를 만들기 위하여 LPE로 2차 및 3차 성장을 행하였다.

이러한 과정을 통해 제작된 MQW-PBH-DFB-LD를 측정하여 본 결과 평균 임계전류는 13.81 mA, slope efficiency는 0.137 mW/mA 및 발진파장은 1548.6 nm 임을 확인하였다. 또한 2.5 Gbps 대신호 변조시의 chirping은 0.55 nm 정도로 측정되었다.

본 논문의 II장에서는 MQW-PBH-DFB-LD의 제작과정을 소개하고, III장은 제작된 LD 칩의 특성 측정에 관하여 기술하였으며 IV장에는 결론을 맺었다.

\*본 논문은 한국통신의 출연급에 의하여 수행한 연구결과입니다.

## II. MQW-PBH-DFB-LD 제작공정

본 연구에서는 동적단일모드 레이저다이오드를 제작하기 위하여 MQW-PBH-DFB-LD를 제작하였다.

InP기판위에 (011) 방향으로 2380 Å 주기의 회절격자를 He-Cd(325 nm)레이저를 이용한 간섭노광법에 의해 형성하였으며, 1.3 μm 파장의 InGaAsP waveguide층 두께를 0.1 μm로 하였을 때 회절격자에 의한 광결합효율 κL을 2~2.5로 하기 위하여 회절격자의 깊이는 결정성장 후 30~40 nm가 되도록 조절하였다.

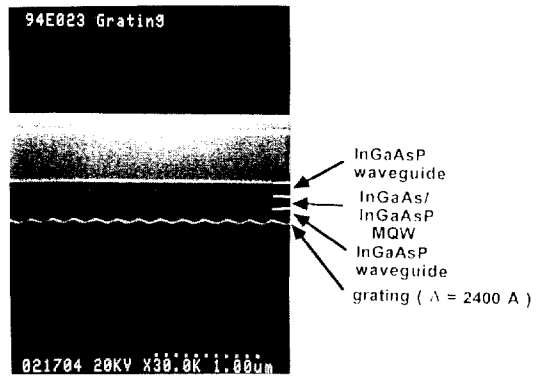
회절격자가 형성된 n-InP를 기판으로 하여 MOVPE를 이용하여 1.3 μm n-InGaAsP(~1×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>) waveguide층을 성장시키고, 8쌍의 InGaAs(80Å)/InGaAsP(100 Å, λ=1.3 μm) MQW활성층을 형성한 후, 1.3 μm undoped-InGaAsP waveguide 층과 두께 0.5 μm의 p-InP(~4×10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup>) 크래드층을 성장하였다. 이렇게 성장시킨 MQW-DH 웨이퍼의 단면사진이 그림 1에 나타나 있다.

그림 1의 (b)는 회절격자에서 MQW활성층까지의 부분을 TEM으로 관찰한 것으로서 회절격자위에 waveguide 층을 MOVPE로 성장시킨 후의 평탄화가 잘 이루어져 있으며, 회절격자위에 결정결함 없이 8쌍의 InGaAs/InGaAsP MQW활성층이 균일하게 성장되었음을 알 수 있다.

그림 1의 MQW-DH웨이퍼를 사용하여 PBH구조의 LD를 만들기 위하여 SiN<sub>x</sub>를 에칭마스크로 하여 메사에칭을 행하였다. 메사에칭은 HBr계 용액을 이용하였으며, 횡방향 단일모드 동작조건을 만족하도록 활성층의 폭을 1~1.5 μm가 되도록 조절하였다. 메사에칭후 current blocking층 성장을 위하여 LPE를 이용하여 p-InP(~1×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>)와 n-InP(~3×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>)를 성장하였으며, 각 층의 두께는 1~1.5 μm로 하였다. 2차 성장 후 SiN<sub>x</sub>를 제거하고 p-InP(~4×10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup>) 크래드 층과 p-InGaAs(≥1×10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup>) 음 접촉층을 LPE로 성장시켰다.

이와 같이 성장된 웨이퍼로 LD를 제작하게 되면, current blocking층의 면적이 넓어서 기생전용량이 커지게 되어 고속변조가 어려워지므로 채널에칭을 통해 기생전용량을 감소시키는 구조를 택하였다. 채널에칭은 0.2% Br-Methanol 용액을 사용하여 채널깊이가 6 μm정도 되도록 에칭하였으며, 이 때의 활성층영역의 메사폭은 8 μm가 되도록 하였다. 채널형성 후 bonding pad를 금도금공정을 통하여 형성시켰는데, 이 경우에도 pad의 면적을 줄여주어 기생전용량을 감소시킬 수 있도록 하였다.

p층의 전극을 형성하고 난 후 n-InP 기판을 100 μm



(a) MQW-DH의 SEM사진



(b) MQW-DH의 TEM사진

그림 1. MOVPE로 성장시킨 MQW-DH 웨이퍼의 단면 사진.

두께로 lapping한 후 Cr/Au를 E-beam evaporation 하였으며, 제작된 LD 칩의 cleaving facet의 위상에 따른 DFB 모드의 발진 불안정성의 억제<sup>7</sup>와 광출력을 높이기 위하여 한 쪽 출사면을 SiO<sub>2</sub>로 AR coating하여 MQW-PBH-DFB-LD의 제작을 완료하였다.

## III. MQW-PBH-DFB-LD칩의 특성

제작된 MQW-PBH-DFB-LD칩의 특성은 LD-chip-bar tester(ALPHAX LD-2300B1)를 사용하여, I-V-I 및 스펙트럼 특성을 측정하였다. 본 연구에서 제작한 MQW-PBH-DFB-LD의 평균 임계전류는 13.81 mA이며, dyna-

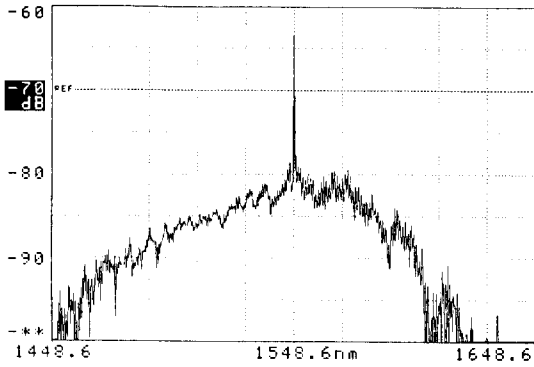


그림 2. MQW-PBH-DFB-LD 스펙트럼 ( $0.75 I_{th}$ ).

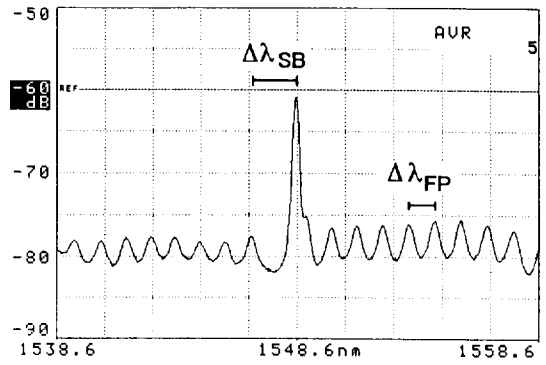
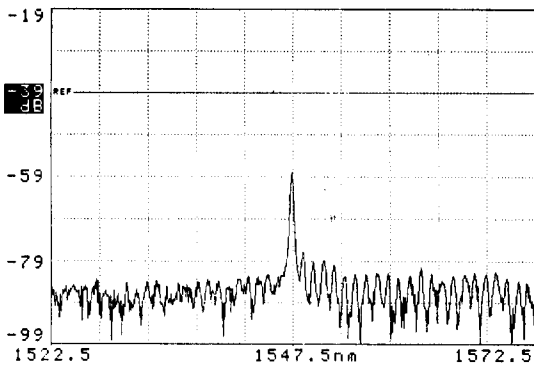
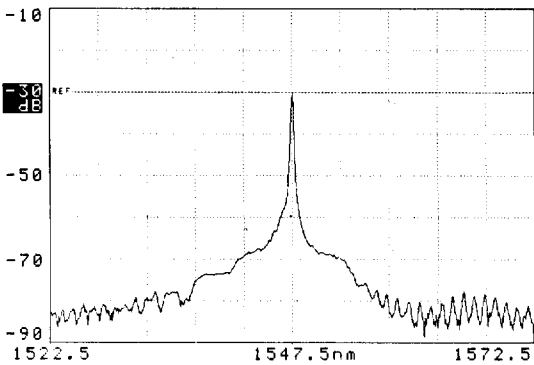


그림 4. Stop-band 측정을 위한 스펙트럼 ( $0.7 I_{th}$ )



(a)  $I = I_{th}$



(b)  $I = 4 I_{th}$

그림 3. MQW-PBH-DFB-LD의 스펙트럼 특성.

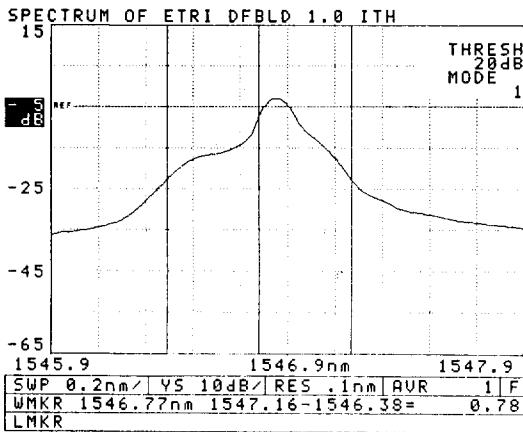
mic resistance는  $5.6 \Omega$ , slope efficiency는  $0.137 \text{ mW/mA}$ 의 값이므로 LPE로 제작된 bulk LD 칩의 정특성과 비슷한 값을 갖고 있다.<sup>[8]</sup>

그림 2는  $0.75 I_{th}$ 에서 측정된 스펙트럼으로 DFB

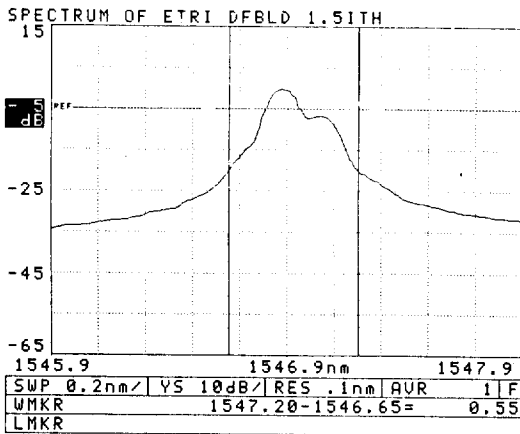
mode의 발진파장  $1548.6 \text{ nm}$ 의 피크와 spontaneous emission 분포를 알 수가 있다. 일반적으로 DFB-LD 제작에 있어서 선폭확장계수  $\alpha$ 를 줄여서 고속변조시의 선폭을 결정하는 파장 chirping을 감소시키기 위하여 differential gain이 증가되도록<sup>[9]</sup> 활성층에 의한 gain peak와 회절격자에 의한 DFB 모드 발진파장을  $-25 \sim -5 \text{ nm}$ 의 detuning을 하였다. 그림 2의 스펙트럼 분포에서 gain이 최대인 파장과 DFB 모드의 발진파장의 차이가 약  $-10 \text{ nm}$  detuning 되어 있으므로, chirping 특성이 우수할 것으로 생각된다.

그림 3에는 MQW-PBH-DFB-LD의 발진스펙트럼을 나타내었다. 그림 3의 (a)는 발진 임계전류에서 측정된 스펙트럼으로서 DFB 모드는 측 모드에 비하여  $20 \text{ dB}$  이상임을 알 수 있다. 그림 3의 (b)는  $4 I_{th}$ 에서의 스펙트럼으로 측 모드 억제율(side mode suppression ratio: SMSR)이  $35 \text{ dB}$  이상임을 알 수가 있으며, 또한 광출력  $10 \text{ mW}$  이상까지도 단일모드로 동작되고 있음을 확인하였다. 본 연구에서 MQW-DH를 MOVPE로 성장하여 결정성장층의 두께가 균일하여서 DFB-LD의 발진파장은  $1544.0 \sim 1555.2 \text{ nm}$ 의 균일한 분포를 가졌다. 그리고 제작된 MQW-PBH-DFB-LD의 회절격자 주기는  $238 \text{ nm}$  이고 평균발진파장은  $1548.6 \text{ nm}$ 이므로 제작된 MQW-PBH-DFB-LD의 유효굴절율은 약  $3.25$ 가 됨을 추정할 수 있다.

그림 4에는  $0.7 I_{th}$ 에서 측정된 스펙트럼으로부터 stop band를 측정된 예가 나타나 있다. 그림 4에서 stop band는 약  $1.9 \text{ nm}$ 로서 공진기 길이  $300 \mu\text{m}$ 에서 회절격자에 의한 광결합효율  $\kappa L$  값은 약  $1.8$  정도가 됨을 알 수가 있으며, 제작된 MQW-PBH-DFB-LD 칩의 stop band의 분포는  $1.9 \sim 2.5 \text{ nm}$  였으므로  $\kappa L$ 은  $1.8 \sim 2.5$ 가 되며, 공진기길이  $300 \mu\text{m}$ 에서 광결합계수(coupling coef-



(a)  $I_{pre} = I_{th}$



(b)  $I_{pre} = 1.5 I_{th}$

그림 5. MQW-PBH-DFB-LD의 chirping특성

ficient)  $\kappa$ 는 약  $60 \sim 90 \text{ cm}^{-1}$  정도임을 추정할 수가 있다.

[10] 이와 같은 특성으로부터 MQW-PBH-DFB-LD가 설계치대로 잘 제작되었음을 확인할 수 있다.

DFB-LD와 같이 동적단일모드로 동작하는 LD라 하더라도 고속변조시에는 주입전류에 따라 활성층내의 캐리어의 변동이 발생하여 발진파장이 변화하게 되어서 발진선폭이 증가하는 파장 chirping 현상이 발생하게 된다. 이러한 chirping특성은 장거리 광전송에서 광섬유의 분산에 의해 전송거리 및 전송속도를 제한하는 요소로 작용하기 때문에 시스템에 적용될 경우 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 그림 5에는 2.5 Gbps 대신호 변조시에 MQW-PBH-DFB-LD모듈의  $-20\text{dB}$ 에서 선폭인 chirping 특성을 측정된 것을 나타내었다. 그림 5의(a)는 2.5 Gbps 변조시 pre-bias가  $1 I_{th}$ 이고, 변조전류 30 mA일 때 chir-

ping은 0.78 nm임을 나타내고 있으며, 그림 5의 (b)는 pre-bias가  $1.5 I_{th}$ 일 때 chirping은 0.55 nm로서 bulk DFB-LD의 1.2 nm에 비하여 매우 작은 값을 갖고 있음을 알 수가 있다. 이러한 특성은 활성층을 MQW로 사용한 경우 chirping 특성을 결정하는 선폭확장계수  $\alpha$ 가 2~3 정도로서 bulk의 경우 4~7에 비해 작기 때문으로 알려져 있다.[11]

#### IV. 결 론

본 연구에서는 2.5 Gbps용 시스템에 적용될 수 있는 동적단일모드 반도체레이저를 제작하기 위하여 MQW-PBH-DFB-LD를 제작하였다. 활성층을 MQW로 사용할 경우 bulk에 비해 linewidth enhancement factor  $\alpha$ 가 작기 때문에 고속변조시의 파장 chirping이 줄어들어 고속 광통신용 광원으로 사용될 경우 우수한 특성을 갖는다. 따라서 MOVPE를 이용하여 8쌍의 InGaAs/InGaAsP 활성층을 가진 MQW-DH를 결정성장하고, highly index guide 구조의  $1.55 \mu\text{m}$  MQW-PBH-DFB-LD를 제작하였는데 2차 및 3차 재성장층은 LPE를 사용하였다. 그리고 제작된 LD의 기생정전용량을 줄여주기 위하여 채널을 형성하였고, bonding pad의 면적도 최소화하도록 하였다.

본 연구에서 제작된 MQW-PBH-DFB-LD의 평균임계전류는 13.81 mA, Slope efficiency는  $0.137 \text{ mW/mA}$  그리고 발진파장 1548.6 nm의 특성을 얻었다. 또한 2.5 Gbps 고속변조시 chirping은 pre-bias  $1.0 I_{th}$ 일 때 0.78 nm,  $1.5 I_{th}$ 에서 0.55 nm로서 bulk의 1.2 nm에 비해 매우 작은 값을 갖고 있음을 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] C. H. Henry, and M. Lax, "Partion fluctuations in nearly single-longitudinal-mode lasers", J. of Lightwave Technol., **LT-2**, 209(1984).
- [2] K. Utaka, S. Akiba, K. Sakai, and Y. Matsushima, "Room temperature CW operation of distributed-feedback buried-heterostructure InGaAs/InP lasers emming at  $1.57 \mu\text{m}$ ", Electron. Lett., **17**, 961 (1981).
- [3] T. Matsuokam, H. Nagei, Y. Itaya, Y. Noguchi, Y. Suzuki, and T. Ikegami, "CW operation of DFB-BH GaInAsP/InP lasers in  $1.5 \mu\text{m}$  wavelength region", Electron. Lett, **18**, 27(1982).
- [4] Y. Arakawa, A. Yariv, "Theory of gain, modulation

- response, and spectral linewidth in AlGaAs quantum well lasers", *IEEE J. of Quantum Electron.*, **QE-21**, 1666(1985).
- [5] N. K. Dutta, "Current injection in multi-quantum well lasers", *IEEE J. of Quantum Electron.*, **QE-19**, 794(1983).
- [6] S. Kakimoto, Y. Nakajima, Y. Sakakibara, H. Watanabe, A. Takemoto, and N. Yoshida, "Extremely narrow spectral linewidth and low chirping of the MQW-DFB-PBH laser diode", *IEEE J. of Quantum Electron.*, **QE-26**, 1461(1985).
- [7] K. Utaka, S. Akaba, K. Sakai, and Y. Matsushima, "Effect of mirror facets on lasing characteristics of distributed feedback InGaAs/InP laser diodes at 1.5  $\mu\text{m}$  range", *IEEE J. of Quantum Electron.*, **QE-20**, 236(1984).
- [8] 장동훈, 이증기, 이승원, 박경현, 김정수, 김홍만, 황인덕, 박형우, 조호성, 홍창희 "광통신용 1.55  $\mu\text{m}$  PBH-DFB-LD 스펙트럼 특성", *한국광학회지*, **5**, 120(1994).
- [9] S. Ogita, M. Yano, H. Ishikawa, and H. Imai, "Linewidth reduction in DFB laser by detuning effect", *Electron. Lett.*, **23**, 393(1987).
- [10] L. D. Westbrook, I. D. Henning, A. W. Nelson, and P. J. Fiddymont, "Spectral properties of strongly coupled 1.5  $\mu\text{m}$  DFB laser diodes", *IEEE J. of Quantum Electron.*, **QE-21**, 512(1985).
- [11] M. Kitamura, S. Takano, N. Henmi, T. Sasaki, H. Yamada, Y. Shinohara, H. Hasumi, and I. Mito, "1.5  $\mu\text{m}$  multiple-quantum-well distributed feedback laser diodes grown on corrugated InP by OMVPE", *Electron. Lett.*, **24**, 1045(1988).

### Fabrication of Low Chirping MQW-PBH-DFB-LD for 2.5 Gbps Optical Fiber Communication

Dong-Hoon Jang, Jung-Kee Lee, Ho-Sung Cho, Jeong-Soo Kim,  
Kyung-Hyun Park, Hong-Man Kim and Hyung-Moo Park  
*Compound Semiconductor Division, Electronics and Telecommunication  
Research Institute, Taejeon 305-606, Korea*

(Received: June 16, 1993)

MQW-PBH-DFB-LD has been fabricated for high speed long haul optical fiber communications. Grating was formed by holographic exposure and MQW layers were formed 8 pairs of lattice matched InGaAs/InGaAsP layers. The lasing wavelength was 1548.6 nm with coupling coefficient of  $60\sim 90\text{ cm}^{-1}$  from the stop-band measurements. The wavelength chirping of 2.5 Gbps large signal modulation was measured as 0.55 nm at pre-bias of 1.5  $I_b$ .

MQW-PBH-DFB-LD fabricated in this experiments can be applicable as light source for 2.5 Gbps optical communication system.