

# 광 통신용 1.3 $\mu$ m DCPBH-DFB 레이저 다이오드 제작



## 1.3 $\mu$ m double channel planar buried heterostructure distributed feedback lasers

강명구\*, 오환술\*

(Myung-Koo Kang, Hwan-Sool Oh)

### Abstract

DCPBH-DFB LD operating at 1.3 $\mu$ m were fabricated by 3-step MOCVD process. The first-order grating with 1970 $\text{\AA}$  period and 500 $\text{\AA}$  etching depth was formed by holographic lithography and wet etching. Fabricated DCPBH-DFB LD operates in single longitudinal mode with side-mode suppression of more than 35dB and the lasing wavelength of 1.306 $\mu$ m at room temperature and 5mW, and the lasing threshold current and the slope efficiency were 14.3mA and 0.16mW/mA, respectively. The characteristic temperature of threshold current( $T_0$ ) and the temperature dependence of the lasing wavelength were obtained 65.3K and 1.0 $\text{\AA}/\text{C}$  from the DFB laser between 20 $^{\circ}\text{C}$  and 70 $^{\circ}\text{C}$ , respectively.

**Key Words(중요용어)** : DFB LD(분포 귀환형 레이저 다이오드), Grating(회절격자) Bragg Condition(브래그 조건), Holographic Lithography(홀로그래픽 간섭 노광법), Single Mode(단일 모우드)

### 1. 서 론

현재 광통신이나 고속 정보처리 시스템 등에 응용하는 반도체레이저는 전-광 변환효율의 증대, 신뢰도 및 모드안정화 그리고 고출력을 갖는 레이저 다이오드 구현을 위해 많은 연구를 계속하고 있다. 대용량 광통신 시스템의 광원으로 사용되는 반도체레이저(LD)로는 Injection Locking Type LD, Coupled Cavity LD, 분포귀환형(DFB) LD, 분포 브래그반사형(DBR) LD 등이 연구 발표되었다<sup>1-3)</sup>. 광통신용 광원으로 사용되고 있는 분포귀환형 LD는 Fabry-Perot 형 반도체 레이저에 비하여 우수한 단일모드 파장 선택특성 때문에 고속의 광출력 변조시에도 단일 종모우드 동작 뿐만 아니라 좁은 발진선폭을 유지하는 광원으로 필요하게 되었다<sup>4,5)</sup>. 특히, 파장 선택성 및 단일 모우드 특성이 양호하게 회절격자를 활성영역 내에 위치시켜 동작하게 하는 DFB 레이저

다이오드에 대한 연구가 1971년에 최초로 H. Kogelink등에 의해 행해졌고, 1986년에는 H. Temkin등에 의해 변조주파수 4 GHz, 데이터 전송속도 2 Gbit/sec인 DFB 레이저 다이오드 제작을 보고 하였고, 2.5 Gbps 광통신 시스템에 있어서 광섬유의 저손실과 저분산을 위해서 단일 모우드 반도체레이저인 DFB 레이저 다이오드가 사용되고 있다<sup>6,7)</sup>.

DFB 레이저 다이오드, 즉 파장(종모드) 제어 반도체레이저 다이오드는 초고속전송 광통신 시스템의 광원으로 활성층 근처에 설치한 회절격자 구조를 공진기로써 사용하고 있다. 회절격자는 활성층 영역에서 광을 분산시키고, 레이저 공진기내에서 광궤환(optical feedback)을 형성시켜 좁은 선폭을 가진 단일모드 선택특성을 가진다. 그러므로 회절격자의 주기 및 깊이는 모우드 안정성 등 레이저의 특성을 결정하는 중요한 요소로서, 재현성이 좋게 제작하는 것이 중요한 기술적 문제이다.

본 연구에서는 광 섬유용 저분산(1.3 $\mu$ m)영역에서 발진파장을 가지는 InGaAsP/InP DFB 레이저 다이오드에 필요한 1차 회절격자는 Mach-

\* : 건국대학교 전자공학과  
접수일자 : 1996년 11월 27일  
심사완료 : 1997년 1월 21일

Zehender 간섭계를 이용한 간섭노광법을 이용하여 제작하였으며<sup>8)</sup>, 레이저 다이오드 구조로는 매물형 구조로서 강한 굴절률 도파에 의해 모드의 안정화 및 임계전류가 낮고 초고속 동작이 가능한 DCPBH(Double Channel Planar Bured Heterostructure) 구조로 하였다. PBH구조 제작에서는 MOCVD(Metal Oganic Chemical Vapor Deposition)를 사용하여 3차의 결정성장 공정을 거쳤으며, 구조 식각에는 식각액, HBr : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O : HCl로 1단계 식각하였다. 그리고 접합용량을 작게 하기 위해서 Channel식각을 3단계 식각 방법으로 식각하여, 고속동작 단일 종모우드 반도체레이저인 DCPBH-DFB LD를 제작하였다. 제작된 반도체 레이저의 동작특성 및 스펙트럼 측정으로부터 발진 임계전류, 발진 파장, 측모우드 억제율, 고온에서의 특성을 나타내는 특성온도, 단일파장 특성을 알기 위해 DFB 결합계수를 측정하였다.

## 2. PBH-DFB LD 제작

### 2.1. 회절격자 제작

회절격자를 제작하기 위한 홀로그래픽 간섭 노광계는 Mach-Zehender 간섭계를 사용하였고, 아르곤 이온 가스레이저(spectra-physics 2060-04S, 발진파장 3511 Å)를 사용하였으며, 이때 PR 두께 및 균일한 코팅과 식각액 선택 및 식각률 등에 있어서 양질의 회절격자를 제작하기 위하여 최적화를 하였다<sup>9)</sup>.

광통신용 DFB 레이저 다이오드를 위한 회절격자의 주기(A)는 다음 (1)식과 같은 브래그 조건(bragg condition)을 이용하였다<sup>10)</sup>.

$$\text{Bragg condition : } \Lambda = \frac{m\lambda}{2n_{eg}} \dots\dots\dots (1)$$

- A : 회절격자 주기
- m : 회절 차수
- $\lambda$  : 매질 내에서의 파장
- $n_{eg}$  : 유효 모드 굴절률

(1)식으로부터 회절격자 주기는 소자 활성층의 성분변화 및 두께 등에 따라 유효 모드 굴절률이 변화함으로서 달라지는 데, 1.3 $\mu$ m DFB 레이저 다이오드에서는 대략 1900Å ~ 2000Å이다.

PR실험과 식각실험 등을 통해서 얻은 조건으로 회절격자 제작 공정실험을 하였다. 홀로그래픽 간섭 노광계를 이용하여 회절격자를 제작하는 공정은 많은 변수들의 제어가 요구되는데, 본 실험에서는 다음과 같은 제작공정으로 회절격자를 제

작하였다.

먼저 웨이퍼를 TCE - 아세톤 - 메탄올 순으로 유기세척을 한 후 황산계로 웨이퍼를 살짝 에칭하여 웨이퍼와 물간의 친수성을 확인하고, 120℃ 온도의 오븐에서 30분 동안 베이킹(bake)한 후, 회석된 PR AZ1350 : AZ thinner = 1 : 3으로 균일하게 도포하였다. 다음은 소프트 베이킹(soft bake)과정으로 70~80℃ 온도의 오븐에서 10~20분 정도 베이킹 하였고, 베이킹 직후 노광에너지가 15~35mJ/cm<sup>2</sup> 정도에서 가능한 짧은 시간동안 노광을 실시하였다. 노광이 끝난 후 회석된 현상액, AZ500 : H<sub>2</sub>O = 2 : 1에서 30~45초 동안 조금씩 흔들면서 현상하였다. 마지막으로 현상이 끝난후 20℃에서 30~60초 동안 조금씩 흔들면서 식각하였고, 이때 식각액 조성비는 HBr + HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O = 1:1:10으로 하였다.

### 2.2. 소자 제작

제작된 회절격자 위에 0.15 $\mu$ m 두께의 광도파로층(Si doped 1.15 $\mu$ m InGaAsP)층을 성장하고, 0.15 $\mu$ m 두께의 활성층 (undoped 1.3 $\mu$ m InGaAsP), 0.4 $\mu$ m 두께의 클래드층(Zn doped InP)을 차례로 성장하였다. 그림 1은 1차 성장후의 DH(Double Heterostructure) 웨이퍼의 단면도이다. 1차 성장된 웨이퍼 위에 산화막(SiO<sub>2</sub>) 절연막을 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)로 증착하고 사진 식각공정(Photolithography)을 통하여 [100]방향으로 3 $\mu$ m 산화막폭이 되도록 패턴을 형성하여 습식식각 하였다. 습식식각은 전류 및 광집속, 활성층의 폭 및 재성장을 용이하게 할수 있는 적합한 식각모양을 얻기 위하여 식각률, 온도 의존성, 재현성

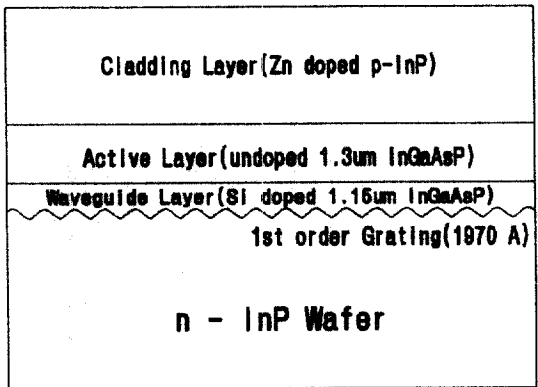


그림 1. DH 웨이퍼 단면도  
Fig. 1. A cross section of DH wafer

등 화학적 특성을 고려하여, 우수한 비선택적 식각용액인  $\text{HBr} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{HCl}$  계로 1단계 식각하여 원형모양의 식각모양과 층간의 단차가 생기지 않아 MOCVD법에 의한 재성장이 적합한 식각모양을 얻었다. 그림 2는 활성층 폭이  $1.5\mu\text{m}$  이고 식각 깊이가  $1.5\mu\text{m}$ 인 식각모양을 나타내고 있다. 식각된 웨이퍼에 전류 차단층을 p-InP층과 n-InP층을 각각  $1\mu\text{m}$ 와  $0.7\mu\text{m}$ 가 되도록 성장하고, 식각된 부분만 성장되도록 마스크로 사용했던 산화막을 불산으로 식각 제거한 후, 마지막으로 클래드층(Zn doped p-InP) 및 음 접촉층(Zn doped p-InGaAsP)을 각각  $0.5\mu\text{m}$ 와  $0.2\mu\text{m}$  성장하였다. 고속응답용 LD구조에서 p-n접합으로 인한 접합용량을 줄여 주파수 특성이 양호하도록 Isolation 식각을 하였다. Metal의 끊어짐이 없도록 Step-Coverage가 양호한 둥근형태의 식각모양이 만들어져야 하기 때문에 식각액  $\text{HBr} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{HCl} - \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} - \text{HBr} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{HCl}$ 로 3단계 식각하였는데 식각깊이와 폭의 비가 일정하고 양호한 세형성을 나타냈다. 그림 3은 3단계 습식식각한 SEM 사진이다. 산화막을  $3000\text{\AA}$  정도 PECVD로 형성하여 사진 식각공정으로 활성층 부근 위에  $5\mu\text{m}$ 의 스트라이프로 Open시켜 식각한 후, p형 금속으로 Ti/Pt/Au를 E-beam 증착기(Electron Beam Evaporator)로 증착하여  $420^\circ\text{C}$ , 30초동안 RTP (Rapid Thermal processor)로 Alloy 하였다.

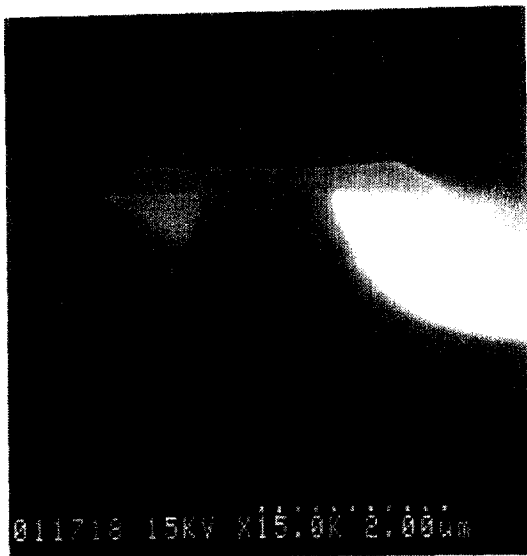


그림 2. PBH-DFB 구조의 습식식각된 식각모양  
Fig. 2. A cross-section of wet-etched wafer of the PBH-DFB structure

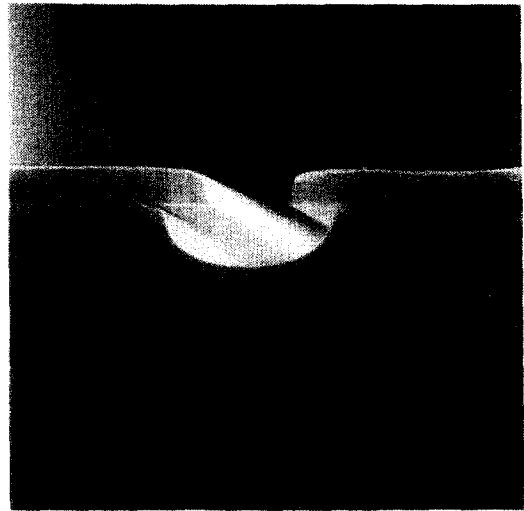
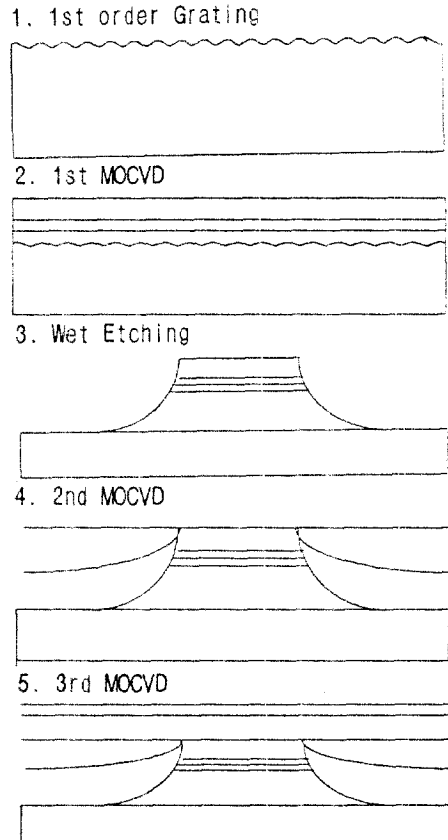


그림 3. Channel의 3단계 습식식각된 식각모양  
Fig. 3. A cross-section of 3-step wet-etched water of the channel



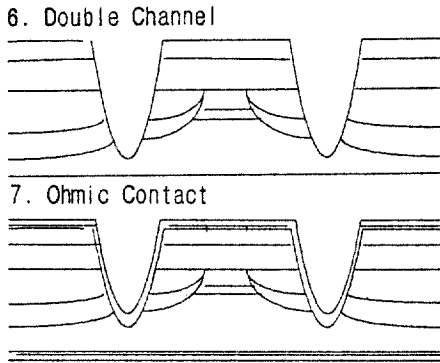


그림 4. DCPBH-DFB LD 제조 공정도  
 Fig. 4 Fabrication processes of DCPBH-DFB LD

Lapping & Polishing 공정은 chip 제작을 용이하게 하고 소자 동작시 발생하는 열에 대한 방열 특성을 향상시켜 공정효율을 높이기 위하여 행해지며, 본 연구에서는 웨이퍼의 두께가 Cleaving과 웨이퍼의 Handling 등을 고려하여 100 $\mu$ m+10 $\mu$ m 정도로 하였다. 마지막 공정으로 n형 금속으로 웨이퍼 뒷면에 AuGe/Ni/Au를 E-beam 증착기로 증착하여 420 $^{\circ}$ C, 30초 동안 RTP로 Alloy 하였다.

그림 4는 개략적인 공정 흐름도이다.

### 3. 측정 및 결과 고찰

먼저 DFB 레이저 다이오드 제작을 위한 회절격자의 주기 및 식각모양은 소자의 특성을 결정하는 중요한 요소이므로 설정한 주기의 회절격자가 제작되었는가를 정확히 평가하고 소자 제작에 적합한 식각형태의 회절격자를 얻기 위하여 회절격자 주기 측정과 SEM 촬영을 하였다.

회절격자의 주기 측정은 고정된 입사각에 대해 각 차수에 해당하는 회절광의 회절각을 정밀 측정하면 되는 데, 회절격자에 파장  $\lambda$ 의 레이저 빔이 입사각  $\theta_1$ 로 입사될때 회절광의 회절각  $\theta_2$ 는 다음의 회절격자공식  $\Lambda(\sin\theta_1 + \sin\theta_2) = m\lambda$ 로 결정된다. 여기서  $\Lambda$ 는 회절격자 주기,  $m$ 은 회절차수를 나타내는 정수이다.

광 통신용 광원으로 사용되는 DFB 레이저 다이오드의 회절격자 주기는 앞 (1)식으로부터 유효 모드 굴절률에 따라 변화함에 따라 본 실험에서 회절격자 주기는 1970 $\text{\AA}$ 으로 정하였고, 제작된 회절격자를 주기측정 방법으로 측정하였다. 회절격자의 주기 측정은 고정된 입사각에 대해 각 차수에 해당하는 회절광의 회절각을 정밀 측

정하면 되는 데, 회절격자에 파장  $\lambda$ 의 레이저 빔이 입사각  $\theta_1$ 로 입사될때 회절광의 회절각  $\theta_2$ 는 다음의 회절격자공식  $\Lambda(\sin\theta_1 + \sin\theta_2) = m\lambda$ 로 결정된다. 여기서  $\Lambda$ 는 회절격자 주기,  $m$ 은 회절차수를 나타내는 정수이다. 측정결과는 1970 $\text{\AA} \pm 2\text{\AA}$ 였으며, 측정오차를 감안하면 매우 양호한 결과를 얻었다. 또한 다음공정인 에피성장 공정에 적합하면서 DFB 레이저 다이오드 특성이 양호하게 나오는 적합한 회절격자 모양을 얻어야 하므로 SEM 촬영하여 관찰하였다.

그림 5는 제작된 회절격자의 단면 SEM사진이다.

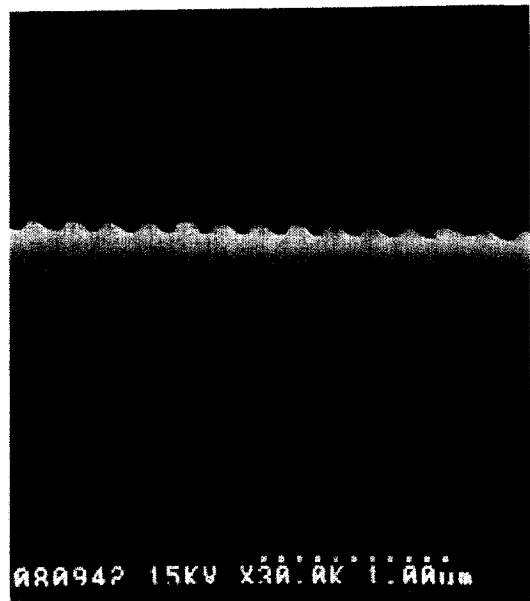


그림 5. 습식식각된 회절격자의 단면사진  
 Fig. 5. A cross-section of wet-etched grating

제작된 DCPBH-DFB LD의 동작특성 측정, 스펙트럼 측정 및 분석을 실시하였다. L-I/V 측정에서 상온, CW(Continuous Wave) 동작 조건에서 발진 임계전류가 14.3mA, 임계전압이 0.85V, Slope Efficiency는 0.16mW/mA의 양호한 특성을 얻었다. 그림 6은 L-I/V 특성을 나타내고 있다. 스펙트럼 측정을 통하여 상온, 5mW, CW 동작에서 1.306 $\mu$ m 파장의 단일 모우드 동작 및 측모우드 억제를(Side-Mode Suppression Ratio), 35dB 이상을 그림 7에 나타내고 있다. 또한 온도특성을 측정하여 임계전류와 온도와와의 관계를 그림 8에 나타내고 있는 데, 온도특성(Characteristic Temperature,  $T_0$ )값,  $T_0$ 가 20 $^{\circ}$ C ~ 70 $^{\circ}$ C 사이에서 65.3K

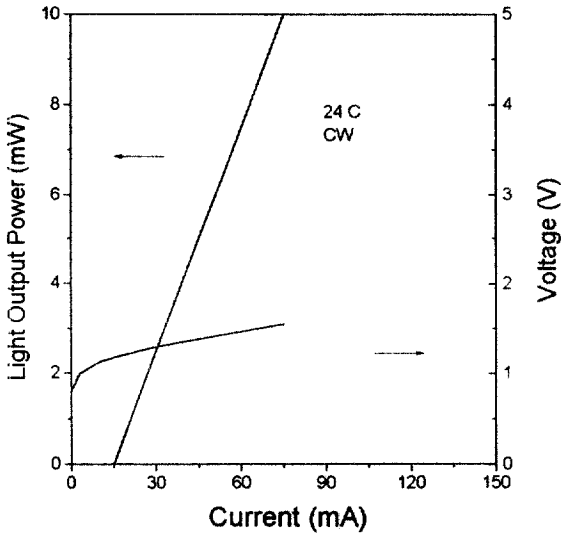


그림 6. DCPBH-DFB LD의 L-I/V 특성  
Fig. 6. Light-current/voltage characteristics from the DCPBH-DFB LD

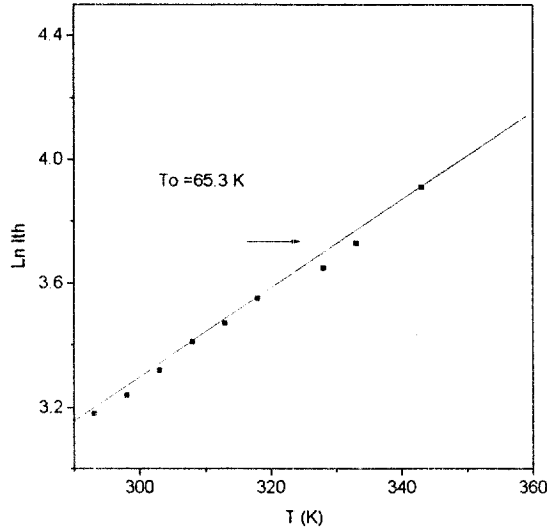


그림 8. 온도의 변화에 따른 발진 임계전류의 변화  
Fig. 8. Temperature dependence of the lasing threshold current

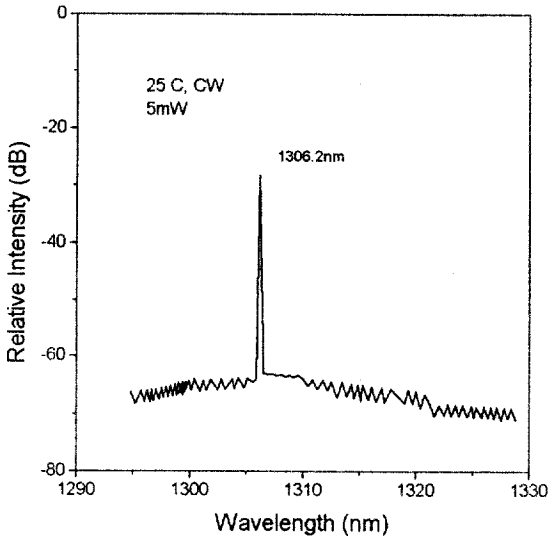


그림 7. 상온, 5mW의 CW에서의 스펙트럼 특성  
Fig. 7. Lasing spectra measured at output power of 5mW(CW, 25°C)

로 나타나 온도증가에 따른 임계전류의 변화가 적게 되어 소자의 온도특성이 양호한 것으로 나타났다. DFB LD는 온도변화에 따라 굴절률이 변화하여 발진파장이 변화하게 되는 데, 이는 FP (Fabry Perot) LD에 비하여 1/5정도의 값을 가지는 것으로 알려져 있으며<sup>11)</sup>, 본 실험에서는 온도에 따른 파장변화율은 20°C ~ 70°C 사이에서 약 1

Å/°C의 특성을 얻었다. 임계전류 이하에서의 스펙트럼 측정으로부터 DFB모드의 -1차와 +1차에 의한 Stop Band값으로 kL을 구할수 있다<sup>12, 13)</sup>. 일반적으로 kL이 1.2~1.5일 때 DFB 특성이 양호한 것으로 알려지고 있는데<sup>13)</sup>, 본 연구에서의 kL값은 1.2로 k값은 40cm<sup>-1</sup>로 나타났다. 여기서 결합계수(Coupling Coefficient, k)는 DFB 특성의 중요한 변수로서 회절격자의 깊이 도파로층의 두께 등에 의해서 결정되어지는 값으로 k가 크면 multi Mode의 가능성 및 Spatial Hole Burning에 의해 DFB 고유 특성을 저해시키고 k가 작으면 DFB와 FP Mode가 함께 존재하여 DFB LD수율을 저해시키게 되므로 회절격자 제작과 결정성장시 적절한 회절격자 깊이와 도파로층 두께 조절이 요구된다.

#### 4. 결 론

1.3μm대 광통신 DCPBH-DFB 레이저 다이오드를 제작하였다. 회절격자를 제작하기 위해 Mach-Zehnder 간섭계를 이용한 간섭도광법으로, 3511Å 파장을 가지는 아르곤 레이저를 사용하였으며 식각액, HBr + HNO<sub>3</sub> + 10H<sub>2</sub>O으로 식각하여 제작된 회절격자 측정 주기값이 1970Å ± 2Å이고 식각깊이가 500Å인 양질의 회절격자를 얻었다. 회절격자 위에 MOCVD법 3차 결정성장

으로 제작된 DCPBH-DFB LD 의 동작특성, 측정, 스펙트럼 측정 및 분석을 실시하였다. 상온, CW동작 조건에서 발진 임계전류가 14.3mA, 임계전압이 0.85V, Slope Efficiency는 0.16mW/mA 를 얻었다. 스펙트럼 측정을 통하여 상온, 5mW, CW동작에서 1.306 $\mu\text{m}$ 의 발진파장과 측모우드 억제율을 35dB 이상 얻었다. 온도특성 측정으로부터 온도특성 값,  $T_0$ 가 20 $^{\circ}\text{C}$  ~ 70 $^{\circ}\text{C}$ 사이에서 65.3K 로 나타나 온도특성이 양호한 것으로 나타났으며, 온도 변화에 따른 파장변화율은 20 $^{\circ}\text{C}$  ~ 70 $^{\circ}\text{C}$  사이에서 약 1A/ $^{\circ}\text{C}$ 의 특성을 얻었다. 임계전류 이하에서의 스펙트럼 측정으로부터 결합계수,  $k$ 값은 40 $\text{cm}^{-1}$ 로 나타났다.

참 고 문 헌

1. W. T. Tsang, "The cleaved coupled cavity laser," in semiconductor and semimetal, vol. 22. part B, W. T Tsang, Ed. Orlando, FL : Academic, 1985.
2. K. Utaka, K. Kobayashi, K. Kishino and Y. Suematsu, "GaInAsP/InP integrated twin guide laser with first order distributed bragg reflector of wavelength of 1.5 - 1.6  $\mu\text{m}$ ," 7th IEEE Int. Semiconductor Laser Conference Brighton. UK. 1980.
3. T. Matsuoka, H. Nagai, Y. Itaya, Y. Noguchi, U. Suzuki and T. Ikegami, "CW operation of DFB-BH GaInAsP/InP lasers in 1.5 $\mu\text{m}$  wavelength region," Electron. Lett., vol. 18. no. 1, pp. 27-28, 1982.
4. N. Henmi et al., IEEE J. of Lightwave Technol., LT-6, 636, 1988.
5. J. C. Cartledge and G. S. Burley., IEEE J. of Lightwave Technol., LT-7, 568, 1989.
6. H. Kogelnik and C. V. Shank, " Coupled - wave theory of distributed feedback lasers," J. Appl. Phys., vol. 43, May 1972.
7. H. Temkin, L. F. Johnson, "InGaAsP ridge waveguide distributed feedback lasers operating near 1.55  $\mu\text{m}$ ," IEEE J. Lightwave Technology, vol. LT- 4, no. 5, May 1986.
8. A. Suzuki and K. Tada, "Fabrication of chirped gratings on optical waveguide," Thin Solid Films, vol. 72, pp. 419-426, 1980.
9. 강명구, 오환술, "DFB레이저 다이오드를 위한 홀로그래픽 시스템을 이용한 회절격자 제작," 대한전자공학회 논문지, 33권, 6호 pp. 108-113, 1996.
10. D. Marcuse, "Light transmission optics." Van Nostrand Reinhold, New York, 1972.
11. Y. Suematsu, S Arai and k. Kishino, " Dynamic single-mode semiconductor lasers with a distributed reflector," IEEE J. of Lightwave Technol., LT-1, pp. 161-176, March 1983.
12. L. D. Westbrook, I. D. Henning, A. W. Nelson and P. J. Fiddymont, IEEE J. of Quantum Electronic. QE-21, 512, 1985.
13. L. J. P. Ketelsen, I. Hoshino and ackerman, " Experimental and theoretical evaluation of the CW suppression of TE side modes in conventional 1.55 $\mu\text{m}$  InP-InGaAsP distributed feedback lasers," IEEE J. of Quantum Electronic, QE-27, no. 4, pp. 965-975, April 1991.

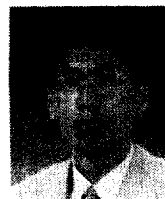
시사소개



오환술

1951년 10월 18일생. 1971년 3월, 1979년 2월, 1984년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사, 석사, 박사. 1979년 9월-현재 건국대학교 공대 전자공학과 교수.

강명구



1963년 6월 1日生, 1988년 건국대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 삼성 전자 근무. 1991년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1989년 8월 -1990년 12월 KIST 반도체 물성 센터 위촉 연구원 근무. 1991년 1월 ~ 1995년 2월 현대전자 반도체연구소 광소자개발실 근무. 1992년 9월 ~ 현재 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 1995년 3월 ~ 현재 충북전문대학 전자통신과 전일강사 재직 중. 주관심분야는 반도체 제조공정, 화합물 반도체 소자 등임.