

1.55 μ m RWG-DFB 레이저 제작에 관한 연구

김중연, 강명구, 전현성, 오환술
 전국대학교 전자공학과

Fabrication of 1.55 μ m RWG DFB Lasers

Jung-Yeoun Kim, Myung-Koo Kang, Hyeon-Sung Jun, Hwan-Sool Oh
 Dept. of Electronic Engineering Kon-Kuk University

Abstract

InGaAsP/InP ridge waveguide(RWG) distributed feedback(DFB) lasers (LD) operating at 1.55 μ m were fabricated by a two step MOCVD process. The CW laser threshold and the slope efficiency from these lasers are 22.5mA and 0.127mW/mA per facet at room temperature. Single longitudinal mode operation with side mode suppression of more than 30dB is obtained at 5mW. The temperature sensitivity and characteristic temperature(T_0) from DFB lasers were obtained 1.0A/°C and 50.3K between 20°C and 70°C, respectively.

1. 서 론

현재 광통신이나 고속 정보처리 시스템 등에 응용되는 반도체 레이저는 물질계에 따라 서로 다른 파장 범위에서 동작하고 구조가 다양하기 때문에 넓은 응용 범위를 가지며, 제어하기 쉽고 낮은 입력으로 높은 출력을 얻을 수 있다는 장점으로 광전자 산업의 핵심기술로서 자리를 잡고 있다. 전-광 변환효율의 증대, 신뢰도 및 모노안정화 그리고 고출력을 갖는 레이저 다이오드 구현을 위해 많은 연구를 계속하고 있는 데, 대용량 광통신 시스템의 광원으로 사용되는 반도체 레이저(LD)¹⁾로는 파장 선대칭을 갖는 회절 격자를 활성영역내에 위치시켜 주기적인 광궤환으로 동작 단일 종모우드 동작을 하는 DFB(Distributed Feedback) LD와 회절격자를 활성층 외부에 위치시킴으로써 단일 모우드 동작을 하는 DBR(Distributed

Bragg Reflector) LD가 실용적인 측면에서 많이 사용되고 있다. 특히, 전송속도를 한층 고속화시키고 광파이버의 파장분산에 따른 전송파형의 둔화를 줄이기 위해 단일 종모우드의 발전이 가능하며, 임계전류가 적고, 온도 특성, 파장의 선택도, 발전 스펙트럼 선폭 등이 우수한 광통신용 DFB 레이저 다이오드, 즉 파장(종모드) 제어 반도체 레이저 다이오드는 초고속 전송 광통신 시스템의 광원으로 활성층 근처에 설치한 회절격자 구조를 공진기로써 사용하고 있다. 본 연구에서는 유지비가 싸면서 생산성이 우수한 유기화학 증착(MOCVD)법⁵⁾으로 2차 성장하여 임계전류 및 광전류 특성 등의 소자특성을 향상시키면서 제조공정이 간단하고 활성층의 손상이 없어 신뢰성이 우수한 RWG(Ridge Waveguide) 구조⁶⁾를 가지는 DFB 레이저 다이오드를 제작하였다.

1차 회절격자는 Mach - Zehender 간섭계를 이용한 홀로그래픽 시스템으로 활성층이 균일하게 유지되고 회절격자 위에 제1성장시 회절격자의 모양과 높이의 유지가 비교적 쉬운 활성층 위의 웨이브가이드층 위에 형성하여 소자를 제작하고, 전기적, 광학적 특성이 우수하였다.

2. 소자 제작

MOCVD 장치를 이용하여 Sn-doped n-InP 기판을 유기제거 및 황산계 세제를 한 후 기판의 박막층의 계면에서 비이상적인 현상을 방지하기 위하여 Si-doped n-InP Buffer 층($1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)을 1.2 μ m 성장한 후 도핑을 하지 않은 파장이 1.55 μ m이고, 두께가 0.15 μ m인 InGaAsP 활성층을 성장하고, 파장이

1.3 μm 인 Zn-doped InGaAsP 광도파로층($7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)을 0.2 μm 두께로 성장하였다. 일반적으로 회절격자의 위치는 활성층 아래 또는 위에 위치하게 되는데, 본 실험에서는 활성층 위에 성장하는 방법으로 하였다. 활성층 아래 즉 회절격자가 형성된 기관 위에 성장하는 경우는 회절격자의 높이와 모양을 유지하기가 어렵고 광도파로층이 평탄화 되지 않는 경우 활성층이 균일하게 성장되지 못하게 된다. 반면, 회절격자를 활성층 위에 형성하는 경우 활성층이 균일하게 유지되며, 회절격자 위에 재성장시 격자의 모양과 높이의 유지가 비교적 쉽다.

1차 회절격자를 Holographic Lithography 방법을 이용하여 웨이브가이드층 위에 형성하였다. 1.55 μm 근방에서 gain peak가 형성되도록 회절격자의 주기를 2400Å으로 정하고 PR 패턴을 형성하여 HBr : HNO₃ : H₂O계로 p-InGaAsP 층을 습식식각 하였으며, 이때 식각된 회절격자의 높이는 약 700Å이었다. 회절격자의 주기는 DFB 발진파장을 결정하는 중요한 parameter로서 정확하고 세밀하게 조절할 수 있는 기술이 필요하다. 형성된 회절격자를 회절실험을 통해 확인한 결과 오차는 수 Å 이내임을 알 수 있었다. 회절격자가 형성된 DH 에피 위에 Zn-doped 1.2 μm 두께의 p-InP 클래딩층($7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)과 Zn doped 0.2 μm 두께의 p-InGaAsP 음 접촉층($1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)을 각각 성장하였다. 이 때 회절격자의 모양을 유지하기 위하여 V족 가스를 미량으로 저온에서 반응관에 주입하여 회절격자 모양을 유지하다가 성장온도에 이르면 InP 층을 성장한다.

2차 성장된 웨이퍼 위에 열 손상을 최소화하기 위하여 280 C 근방의 낮은 온도에서 양질의 산화막(SiO₂)을 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)로 증착하고, 사진 식각공정을 통하여 p-InGaAsP 음 접촉층은 식각용액, H₂SO₄ : H₂O₂ : H₂O(3:1:1)으로 식각하고, p-InP 클래딩층은 H₂PO₄ : HCl(3:1)으로 식각하였다. 산화막을 3000Å 정도 PECVD로 증착한 후 포토공정으로 활성층 부분 위에 2 μm 의 스트라이프로 Open시켜 식각하고, p형 금속으로 저항 특성이 양호한 Ti/Pt/Au(250Å/500Å/2000Å)를 E-beam 증착기(Electron Beam Evaporator)로

증착한 후 PR 제거한 뒤, 420°C, 30초동안 RTP(Rapid Thermal processor)로 Alloy 하였다. 웨이퍼의 뒷면을 레이저 다이오드의 chip제작을 용이하게 하고, 소자 동작시 발생하는 열에 대한 방열 특성을 향상시키는 등의 공정효율을 높이기 위하여 웨이퍼의 두께를 100 μm +10 μm 정도로 얇아한 후 n형 금속으로 AuGe/Ni/Au(1000Å/150Å/2000Å)를 E-beam 증착기로 증착하고, 420°C, 30초 동안 RTP로 Alloy 하였다.

그림 1은 RWG DFB LD의 공정 흐름도이다.

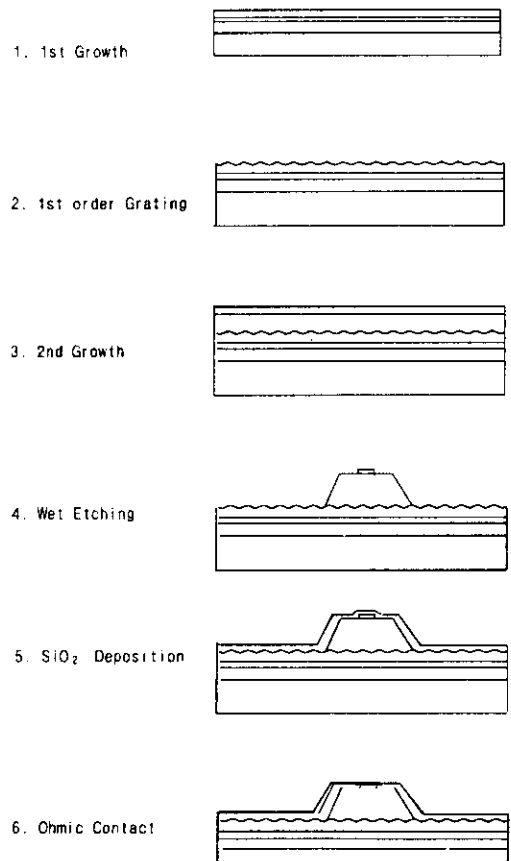


그림 1. RWG-DFB LD의 공정 흐름도

Fig. 1. Fabrication sequence of RWG-DFB laser

3. 측정 및 결과

RWG-DFB LD의 제작이 끝난후 웨이퍼는 이리

가지의 Cavity 길이에 따라 chip-bar 상태로 cleaving 하게 된다. L-I/V 특성 측정을 위해 상온 CW 동작 조건에서 측정한 결과 임계전류 $I_{th} = 22.5$ mA, 임계전압 $V_{th} = 0.86$ V, Slope Efficiency $dP/dI = 0.127$ mW/mA 등의 특성을 얻었다. 그림 2는 300 μm Cavity에서의 RWG-DFB LD의 L-I, V-I 특성을 나타내고 있다.

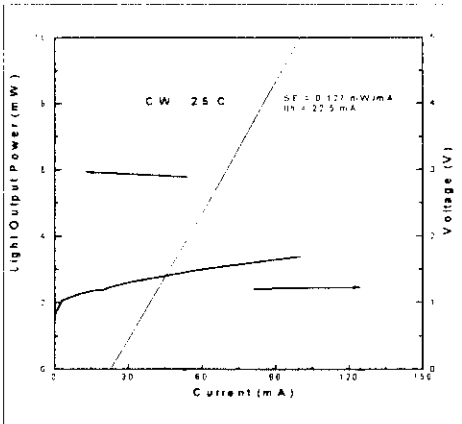


그림 2. RWG-DFB LD의 L-I, V-I 특성
Fig. 2. Light-current/voltage characteristics from the RWG-DFB laser

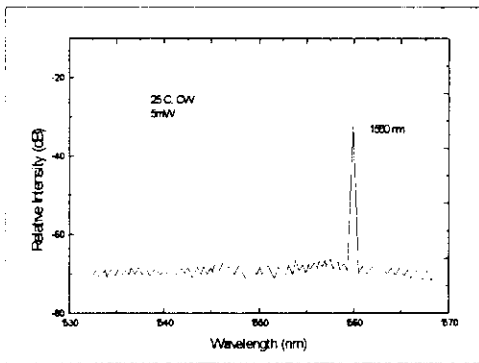


그림 3. 상온, CW, 5mW에서의 스펙트럼 측정
Fig. 3. Lasing spectra measured at output power of 5mW(CW, 25°C)

스펙트럼 측정에서는 상온, 5mW, CW동작 조건에

서 1.56 μm 파장의 단일 모우드 스펙트럼 특성을 나타내고 있고 측모우드 억제율(Side-Mode Suppression Ratio)은 30dB 이상을 그림 3에 나타내고 있다.

금도금된 Silicon submount 위에 Die/Wire Bonding한 후 온도특성 (T_0 , Characteristic Temperature)값은 20 $^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 에서 50.3K을 얻을 수 있었다. 낮은 T_0 값은 온도가 증가할 때 발진 임계전류가 빨리 증가함을 의미하며, 일반적인 값은 T_0 가 40 \sim 70K 값을 가진다.

또한 온도 변화에 따른 파장변화를 측정한 결과 70 $^{\circ}\text{C}$ 까지 단일모드 동작하며 발진파장 변화는 20 $^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 에서 약 1.0A/ $^{\circ}\text{C}$ 의 특성을 얻었다. 그림 4, 5는 각각 RWG-DFB LD의 온도변화에 따른 임계전류의 변화와 발진 파장의 변화를 나타내고 있다.

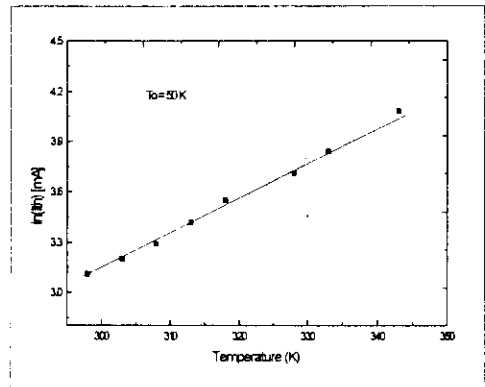


그림 4. 온도변화에 따른 임계전류의 변화
Fig. 4. Temperature dependence of the lasing threshold current

4. 결 론

MOCVD법 2차 성장성장으로 1.55 μm RWG-DFB LD를 제작하였다. 소자군 제작하여 전기적, 광학적 특성을 측정 및 분석을 실시하였다. 첫째, L-I/V 측정으로부터 상온, CW동작 조건에서 발진 임계전류가 22.5mA, 임계전압이 0.86V, Slope Efficiency는 0.127mW/mA를 얻었다. 둘째, 스펙트럼 측정을 통하여 상온, 5mW, CW동작에서 1.56 μm 의 발진파장과 측

모우드 억제율을 30dB 이상 얻었다. 셋째, 온도특성 측정으로부터 온도특성 값, T_0 가 20°C ~ 70°C 사이에서 50.3K로 나타나 온도특성이 양호한 것으로 나타났으며, 온도 변화에 따른 파장변화율은 20°C ~ 70°C 사이에서 약 1Å/°C의 특성을 얻었다.

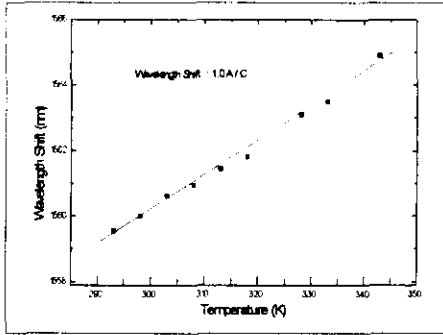


그림 5. 온도변화에 따른 발진 파장의 변화
Fig. 5. Temperature dependence of the lasing wavelength

참 고 문 헌

[1] G.P Agrawal and N.K. Dutta , Long-Wavelength semiconductor Lasers (VNR, New York, 1986)

[2] T. Kimura, " Factors affecting fiber-optic transmission quality," IEEE J. of Lightwave Technol., vol. 6, no. 5, may, pp. 611-619, 1988.

[3] G. P. Agrawal, P. J. Anthony, and T. M. Shen, "Dispersion penalty for 1.3um lightwave systems with multimode semiconductor lasers," IEEE J. of Lightwave Technol., vol. 6, no. 5, May, pp. 620-625, 1988.

[4] N. Henmi, Y. Koizumi, M. Yamaguchi, M. Shikada, and I. Mito, "The influence of directly modulated DFB LD sub-mode oscillation on long-span transmission system," IEEE J. of Lightwave Tech., vol. 6, no. 5, May, pp. 636-642, 1988.

[5] J. V. Dilozenzo et al., "GaAs FET principles and Technology," Artech House, Massachusetts, 1982.

[6] K. Sato, F. Kano, and Y. Kondo, "Self - aligned ridge - waveguide DFB lasers emitting at 1.55um : ridge - width dependence," Jan. J. of Appl. Phys., vol. 29, no. 10, Oct, pp. 1946-1950, 1990.