

論文95-32A-2-9

1.55 μm RWG-DFB-LD 제작 및 광학 특성 평가

(Fabrication of 1.55 μm RWG-DFB-LDs and evaluation of its optical characteristics)

李重基*, 李承遠*, 曹豪成*, 張東薰*, 朴景鉉*, 金定洙*,
黃仁德*, 金弘晚*, 朴亨茂*, 洪彰禧**

(Jung Kee Lee, Seung Won Lee, Ho Sung Cho, Dong Hoon Jang, Kyung Hyun Park, Jeong Soo Kim, In Duk Hwang, Hong Man Kim, Hyung-Moo Park, and Tchang Hee Hong)

요약

1.55 μm RWG-DFB-LD를 제작하고 제작된 LD의 발진 스펙트럼, 선폭 확대 계수(α) 및 온도 의존성 등의 광학적 특성을 조사하였다. Grating은 He-Cd레이저를 이용하여 간섭노광법에 의해 제작하였으며, 결정 성장은 LPE를 사용하여 저온 성장하였다. 제작된 RWG-DFB-LD의 발진임계전류는 40mA이며, 측모드억제율이 30dB이상으로서 단일 모드로 발진함이 확인되었다. 또한 발진 중심 파장은 1543nm이고 온도에 따른 파장 편이율은 0.9Å/°C였다. 선폭 확대 계수는 6.15 였으며 60MHz·mW의 선폭 특성을 보였다.

Abstract

We fabricated the 1.55 μm RWG-DFB-LD and measured its electrical and optical characteristics. Interference fringe of optical beams was used for grating formation and epi layers were grown by lower-temperature LPE. The fabricated RWG-DFB-LD operated in a single longitudinal mode with more than 30dB SMSR at 1543nm emitting wavelength and its threshold current was 40mA. The wavelength shift with operating temperature and characteristic temperature T_0 were 0.9Å/°C and 59K, respectively. Linewidth enhancement factor α and linewidth·optical power product were estimated as 6.15 and 60MHz·mW respectively.

1. 서론

현대 사회가 정보화 사회로 되어 감에 따라 대량의

정보를 주고받을 수 있는 기술의 확보는 필연적이며, 이러한 요구에 가장 적합한 통신 방법으로 광섬유 통신이 연구 개발되었다. 광섬유 통신에서 1.55 μm 영역은 광섬유의 최저 손실 영역으로서 장거리 대용량 정보 전송이 가능하기 때문에 이 영역을 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 광섬유는 단일 모드 도파의 경우에도 파장 분산 특성을 가지고 있기 때문에 광원의 스펙트럼 폭에 의하여 전송 대역폭에 제한을 받게 된다.¹⁾ 광원으로 사용되는 LD의 경우 고속 변조시 발진 조건 변화에 의하여 발진 파장의 변화

* 正會員, 韓國電子通信研究所 化合物半導體 研究部
(Compound Semiconductor Division, ETRI)

** 正會員, 韓國海洋大學校 電子通信工學科
(Dept. of Elec. and Comm., Korea Maritime Univ.)

接受日字: 1994年 4月 26日

가 발생된다. 따라서 고속 직접 변조 시에도 발진 선풍이 좁은 단일 모드 동작 LD의 제작이 필요하게 되었으며, 이러한 동적 단일 모드 LD에 대하여 1980년대부터 다각적인 연구가 이루어져 오고 있다.^[2]

동적 단일 모드 LD 제작 방법으로는 공진기의 파장에 따른 손실차를 두는 방법, 측모드 간에 이득차를 두는 방법, 외부에서 파장이 안정화된 광을 주입시키는 방법이 제안되었으며, 이들 중에서 파장에 따른 손실차를 가지는 DFB나 DBR구조의 레이저가 단일 모드 제어성이 좋고 동작 온도 범위가 넓어서 많은 연구가 되어 오고 있다.^{[3][4][5]}

한편, LD의 구조적인 측면에서 RWG-LD의 경우 수직 방향으로는 이중접합에 의해 전기, 광학적 집중이 이루어지며 수평 방향으로는 waveguide층의 두께 변화로 생긴 유효 굴절률 차이에 의해 전기 광학적 집중이 이루어진다. 따라서 1회의 결정성장만으로 LD의 제작이 가능하므로 BH-LD와 같이 2회 내지 3회의 결정성장을 하는 경우에 비해 제작의 간편성 뿐만 아니라 재현성이나 신뢰성이 우수한 것으로 알려져 있다.^[6] 이와 같은 장점을 살리기 위해 본 연구에서는 LPE를 이용하여 RWG 구조의 DFB-LD를 제작하여 발진 스펙트럼, 선풍 및 주입 전류에 따른 모드 이득과 활성층 굴절률 변화를 측정함으로써 grating에 의한 결합계수(coupling coefficient : κ) 및 선풍 확대계수(linewidth enhancement factor : α)와 같은 DFB-LD의 기본적인 parameter를 추출하였다. 또한 본 논문의 DFB-LD와 동일 구조를 가지는 Fabry-Perot형 LD를 제작하여 공진기 길이에 따른 외부 양자 효율을 측정함으로써 RWG 구조에서의 활성층의 손실 및 내부 양자 효율을 추출하였다. 추출된 광학 특성으로부터 LPE로 제작된 bulk형 활성층을 갖는 RWG 구조의 DFB-LD의 성능 및 활용성을 평가해 보고자 한다.

본 논문의 2장에서는 RWG-DFB-LD 제작 과정을 기술하였으며, 3장에서는 제작된 LD의 광학적 특성을 조사하였다.

II. RWG-DFB-LD 제작

DH 구조 성장에 앞서 n-InP 기판 위에 (011)방향의 2350Å 주기의 grating을 TEM00 모드로 발진하는 He-Cd 레이저($\lambda=325\text{nm}$)를 이용하여 간섭 노광법 및 습식 식각법을 이용하여 형성시켰다.

본 연구에서는 결정성장이 이루어질 때 평탄해 지려는 특성을 이용할 수 있는 LPE를 사용하여 결정성장을 행하였다. LPE는 기판에 grating이 형성되어 있

는 경우와 같이 기판이 불균일 하여도 얇은 층의 성장에서 쉽게 평탄한 막을 형성시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 특성은 활성층의 두께 불균일에 의한 내부 손실을 크게 감소시킬 수 있는 LPE가 갖고 있는 좋은 특성이다. 이와 같은 장점에도 불구하고 LPE의 경우 결정성장이 이루어질 때 열손상에 의해 grating의 형태 및 깊이가 변화하는 것을 방지하지 않으면 특성이 좋은 결정을 성장시키기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 soaking 온도를 610°C로 하고, 활성층을 590°C에서 성장하는 저온 성장법을 이용하였다. 저온성장의 경우 열손상에 의한 결함 및 graphite boat에서 나오는 불순물의 감소와 성장이 끝난 후 발생하는 strain을 감소시킬 수 있는 장점을 갖고 있으나, III족과 V족 source crystal의 solubility가 낮아지므로 조성 조절에 주의하여야 한다.^[7] 또한 저온 성장의 경우, 고온 성장의 경우보다는 덜 심각하지만 InP grating에서의 P성분의 높은 증기압에 의해서 발생하는 P성분의 증발에 의하여 열손상 문제가 발생한다. 열손상을 줄이기 위하여 In-Sn용액을 사용하는 방법과 LPE tube 내로 PH_3 가스를 흘려 phosphorus 성분의 부분압을 형성시키는 방법 등이 제안되어 있다.^[7] 그러나 이들 방법에서는 Sn에 의한 n^+ 층이 형성되거나 PH_3 사용에 따른 부대장비가 요구되고 취급 상 위험성도 따른다. 그러므로 본 연구에서는 GaAs unpolishing 면을 기판과 근접시키고 그 위를 InP cover crystal과 graphite block으로 밀착시켜 grating 면을 열손상으로부터 보호하는 방법을 사용하였다. 이 방법에서는 grating 표면에 얇은 InGaAsP 형태를 갖는 층이 형성되어 V족 원소의 out diffusion을 막아 주게 된다.

결정성장은 610°C에서 35분간 soaking 한 후 590°C에서 n-InGaAsP ($\lambda_g = 1.3\mu\text{m}$) waveguide층, undoped-InGaAsP ($\lambda_g = 1.55\mu\text{m}$) 활성층과 undoped-InGaAsP ($\lambda_g = 1.3\mu\text{m}$) etch stop층을 성장시킨 후 p-InP clad 층과 p^+ -InGaAs 음 접촉 층 순으로 수행되었다. RWG-LD의 경우 1회의 결정성장만으로 소자의 특성이 결정되므로 DH의 도핑을 최적화 하는 것이 중요하다. 발진 개시 전류밀도는 p 및 n층의 도핑 농도와 활성층 및 waveguide층의 두께 그리고 결합 계수(κ) 등에 의해 결정되는데, 본 연구에서는 도핑만을 변화시켜 발진 개시 전류밀도를 최적화 하였다. 즉, n-InGaAsP waveguide층 ($\lambda_g = 1.3\mu\text{m}$)과 p-InP clad 층의 도핑을 변화시키면서 oxide stripe 구조의 DH-LD를 제작하여 발진 개시 전류밀도를 최소화하였다. 그 결과, n-InGaAsP waveguide층 ($\lambda_g = 1.3\mu\text{m}$)을 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 으로 하고, p-InP층을

$8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 으로 하였을 경우 $400\mu\text{m}$ cavity에서 1.5kA/cm^2 이하의 발진 개시 전류밀도를 얻었다.

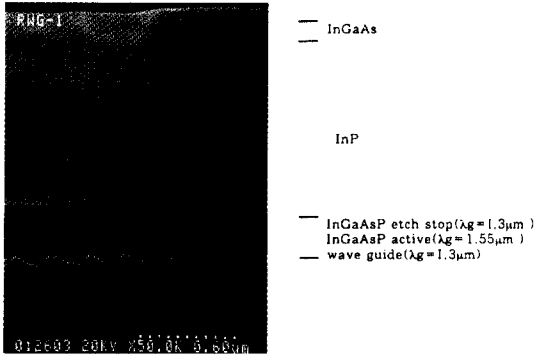


그림 1. Grating위에 LPE를 이용하여 결정성장 한 후의 단면 사진
Fig. 1. SEM photography of the DH-LD structure grown by LPE on grating.

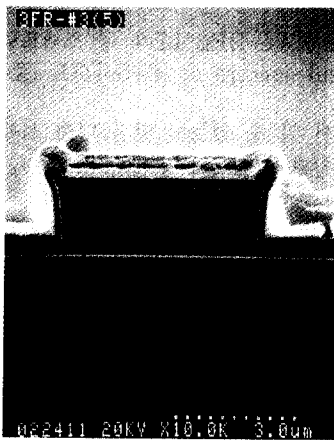
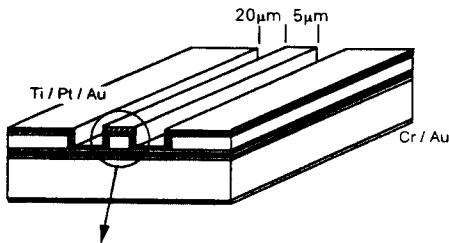


그림 2. 소자 제작 공정이 끝난 후의 RWG-DFB-LD 단면 사진
Fig. 2. SEM photography of the RWG-DFB-LD.

그림 1에는 성장된 DH 웨이퍼의 단면 사진이 나타

나 있다. 그림으로부터 GaAs 및 InP cover crystal 에 의한 grating의 열손상 방지가 적절하였음을 알 수가 있다.

Grating 위에 LPE로 결정 성장된 웨이퍼를 사용하여 RWG구조를 만들기 위해 (011)방향으로 $5\mu\text{m}$ 폭의 ridge를 형성하였다. Ridge 형성을 위하여 InGaAs층은 $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:1:5$ 용액으로 식각하고, $\text{HCl}:\text{H}_3\text{PO}_4 = 15:85$ 용액으로 InP층을 선택식각 시켰다. Ridge 형성 후 전면에 SiN를 형성시킨 후 ridge 윗면에 $3\mu\text{m}$ 폭의 음 접촉용 window를 형성시켰다. p측 전극으로 $\text{Ti}(200\text{\AA})/\text{Pt}(500\text{\AA})/\text{Au}(2500\text{\AA})$ 을 E-beam으로 증착 시킨 후 InP 기판을 $100\mu\text{m}$ 두께로 lapping 및 polishing하였으며, n측 전극으로는 $\text{Cr}(500\text{\AA})/\text{Au}(2500\text{\AA})$ 를 사용하였다. 제작된 RWG-DFB-LD의 단면 사진이 그림 2에 나타나 있다. 그림에서 ridge 아래쪽의 $\lambda_g = 1.3\mu\text{m}$ 의 InGaAsP 광도파로층, $\lambda_g = 1.55\mu\text{m}$ InGaAsP 활성층 및 $\lambda_g = 1.3\mu\text{m}$ 의 InGaAsP etch stop층은 stain etching에 의해 어둡게 나타나 있으며, 세 층의 두께 합이 약 $0.3\mu\text{m}$ 정도임을 알 수가 있다.

III. RWG-DFB-LD의 광학적 특성 평가

1. 활성층 손실 특성

LD의 제작에 있어서 활성층을 포함한 결정 성장층들의 질은 LD의 성능을 결정 짓는 중요한 요인이다. 특히 LD의 내부 손실의 대부분을 차지하는 활성층의 손실 특성은 외부 mirror 손실과 함께 발진 임계 이득에 연계되어 LD의 발진 임계 전류 값을 결정하므로 낮은 손실을 갖는 활성층 성장은 낮은 발진 임계전류의 LD 제작에 기본 요건이 된다. LD를 발열에 의한 영향이 무시될 수 있는 짧은 구동 펄스 (duty: 0.01%)로 동작시켰을 때의 전류-광출력 특성 곡선으로부터 반도체 레이저의 중요한 특성 중의 하나인 내부 양자 효율 η_i 값 및 내부 손실을 구할 수 있는데, 이는 다음 식(1)을 이용하면 된다. 여기에서 내부 양자 효율은 단면 구조가 동일하면서 grating을 내장하지 않은 Fabry-Perot RWG LD를 제작하여 측정함으로써 본 실험의 DFB-LD 제작에 사용된 결정성장층의 질을 추정할 수 있다.

$$\frac{1}{\eta_d} = \frac{1}{\eta_i} \left[1 + \frac{\alpha_{loss} L}{\ln\left(\frac{1}{R}\right)} \right] \quad (1)$$

(1)식에서 η_d 는 미분 양자 효율을 나타내며, α_{loss}

는 공진기 내부 손실을 나타내며, L과 R은 공진기 길이 및 거울면 반사율을 표시한다. 따라서 전류-광출력 특성으로부터 길이 변화에 따른 η_d 를 측정하면 η_i 와 α_{loss} 등을 측정할 수 있다. 그림 3에 공진기 길이 L에 따른 $1/\eta_d$ 값이 나타나 있다. 이를 수식 (1)에 대입하면 공진기의 내부 손실이 $\alpha_{loss} = 22\text{cm}^{-1}$ 로 상당히 작은 값을 가짐으로서 LPE에 의한 결정성장층의 질이 우수함을 알 수 있었고, 이때의 내부 양자 효율(η_i)은 76%로 나타났다. 여기서 RWG-FP-LD의 거울면에 AR이나 HR coating을 하지 않았기 때문에 거울면 반사율(R)은 0.3으로 하였다.

제작된 DFB-LD는 ridge 폭 $5\mu\text{m}$, 공진기 길이 $300\mu\text{m}$ 및 $\kappa \cdot L$ 값 2.4의 조건에서 평균 발진 임계전류 50mA, 최소 발진 임계전류 40mA 및 미분 양자 효율 20%/facet의 성능을 보였다. 이러한 최소 발진 임계전류 특성은 MOCVD로 성장된 동일 구조의 RWG-DFB-LD의 발진 임계전류 60mA와 비교할 때^[8] LPE에 의한 결정성장이지 손실 성장 특성을 가짐을 알 수 있다.

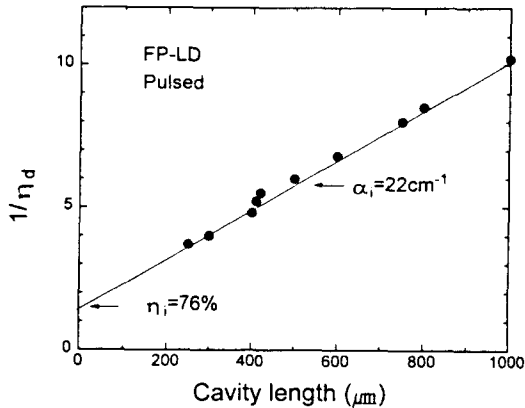
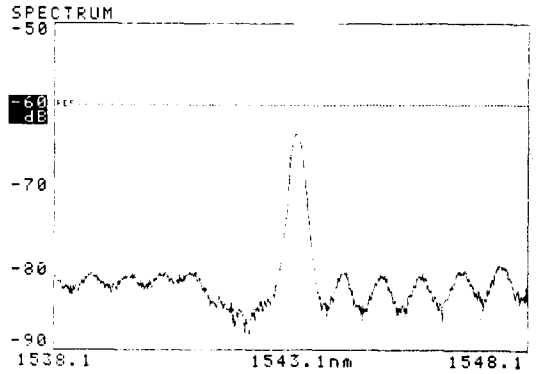


그림 3. 공진기 길이(L)에 따른 $1/\eta_d$ 값
Fig. 3. $1/\eta_d$ variation with cavity length.

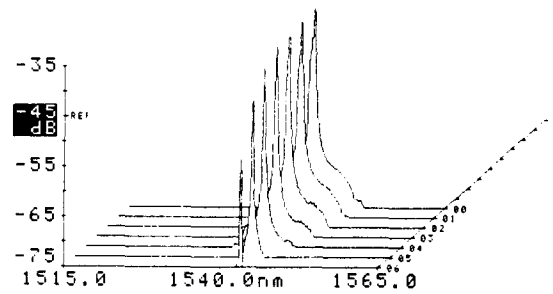
2. 발진 스펙트럼 특성

DFB-LD는 내장된 grating에 의한 주기적인 광회환으로써 단일 종모드 동작이 이루어지므로 넓은 주입 전류 레벨(광출력) 및 온도 범위에 대해서도 높은 측 모드 억제율(side mode suppression ratio : SMSR)을 유지하는 우수한 DFB-LD를 제작하기 위해서는 광회환 효율(κ)을 정확하게 평가하는 것이 중요하다. κ 는 위상천이 영역을 포함하지 않는 균일 grating의 DFB-LD의 경우에는 ± 1 차 DFB-LD 모드 사이의 금지대(stop band)로부터 coupled mode

식을 이용하여 구할 수 있다.^[9]



(a) stop band



(b) 주입 전류에 따른 광 스펙트럼 특성
(주입 전류 레벨 : I_{th} 에서 $4 \times I_{th}$ 까지 $0.5I_{th}$ 간격)

그림 4. 제작된 RWG-DFB-LD의 광 스펙트럼
Fig. 4. Optical spectra of RWG-DFB-LD.

그림 4의 (a)에서 알 수 있듯이 발진 임계 전류 이하에서 구동시 측정된 금지대가 2.1nm이므로 $\kappa \cdot L$ 값은 2.4이고 측정에 사용된 RWG-DFB-LD의 공진기 길이가 $300\mu\text{m}$ 이므로 이때의 κ 는 80cm^{-1} 로 계산되었다. 이 값은 MOCVD로 성장된 경우의 108cm^{-1} 보다^[8] 다소 낮지만 높은 단일 모드 수율 및 SMSR을 확보하는 데에는 충분한 것으로 생각된다.^[10] 이러한 높은 κ 값은 그림 1의 SEM 사진으로부터 알 수 있듯이 LPE 결정성장시 사용한 저온 성장법과 cover crystal이 grating의 열손상 방지에 효과적이었음을 의미한다.

그림 4의 (b)는 제작된 RWG-DFB-LD에 주입 전류를 발진 임계전류 (I_{th})에서 $0.5I_{th}$ 간격으로 $4 \times I_{th}$ 까지로 인가했을 때의 광 스펙트럼으로 전 주입 전류 레벨에 대해 SMSR 30dB 이상으로 단일 종모드로 발진

하고 있음을 보여주고 있다.

3. 선폭 확대 계수 평가

DFB-LD는 기본적으로 Gbps 급 이상의 고속 대 신호 변조용 광원으로서 제작된다. 따라서 Gbps 급 대 신호 변조시 발진 모드의 파장 흔들림(chirping) 특성을 예측할 수 있는 선폭 확대 계수(α)에 대한 평가가 중요한 항목이 된다.

α 는 주입 전류 밀도 변화에 따른 굴절률 변화와 이득 변화의 비로 정의되며 다음 식을 이용하여 추출할 수 있다.^[11]

$$\alpha = \frac{2\pi}{\delta\lambda} \frac{d\lambda_i}{d[\ln\{(\sqrt{r_i}+1)/(\sqrt{r_i}-1)\}]} \quad (2)$$

(2)식에서 $\delta\lambda$ 는 Fabry-Perot 모드 간격이고 $d\lambda_i$ 는 주입 전류 레벨(전하 밀도에 비례)에 따른 i 번 모드의 파장 변화를, r_i 는 peak와 valley의 광출력 비이다.

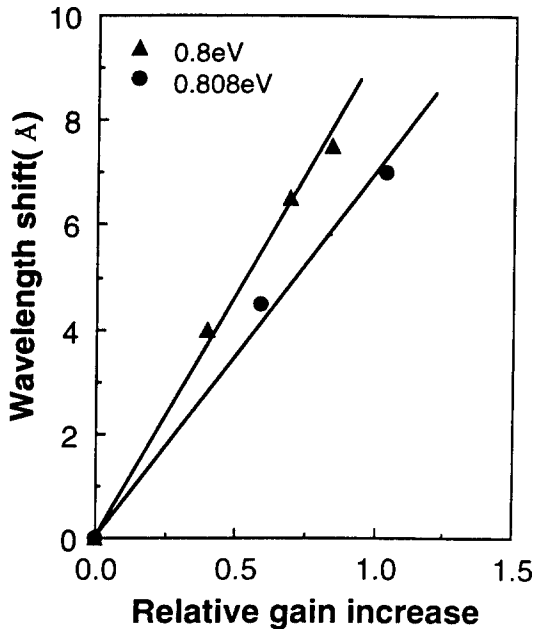


그림 5. 주입 전류에 따른 파장 변화와 상대적인 이득 증가

Fig. 5. Wavelength shift and relative gain increase against injection current.

그림 5에 제작된 RWG-DFB-LD에 발진 임계전류 값 보다 작은 여러 주입 전류 레벨에서 광 스펙트럼 분석기로 측정된 $d\lambda_i$ (파장 변화)와 상대적인 이득 증가 ($d[\ln\{(\sqrt{r_i}+1)/(\sqrt{r_i}-1)\}]$)를 보였다. 측정은 주모드

($h\nu=0.8\text{eV}$)를 중심으로 장파장 쪽 모드($h\nu=0.8\text{eV}$) 및 단 파장 쪽 모드($h\nu=0.808\text{eV}$)에 대해 수행하였으며 측정 중 LD 칩의 온도를 $23\text{C}\pm 0.02\text{C}$ 로 유지하였다. 측정 data의 기울기로부터 구한 α 값은 각각 6.9 및 5.4로써 실제 주모드의 α 는 6.15로 추정된다. 여기서 α 값은 측정된 모드의 파장에 따라 크게 달라졌는데 장 파장 쪽 모드와 단 파장 쪽 모드 사이의 파장 간격 15nm에 대해 1.5 만큼 차이가 났다. 이것은 DFB-LD 제작에 있어서 활성층의 최대 이득 파장에 대해서 grating으로 조절되는 DFB 모드의 발진 파장을 단 파장 쪽으로 이동(negative detuning) 시킴으로써 어느 정도의 α 값 개선을 이룰 수 있음을 의미한다. 그러나 실험 결과 나타난 전반적으로 큰 α 값들은 본 논문의 RWG-DFB-LD가 bulk 형 활성층을 가지기 때문인 것으로 해석된다.^[12]

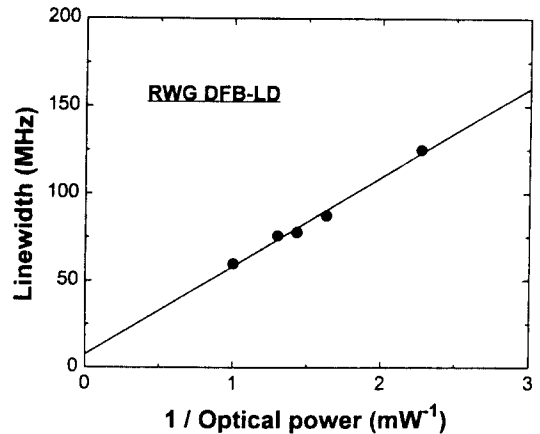


그림 6. 광출력에 따른 spectral linewidth
Fig. 6. Spectral linewidth as a function of the inverse output power.

coherent 광통신용 광원으로서의 활용성을 평가해 보기 위해 제작된 RWG-DFB-LD의 광출력에 따른 선폭을 측정한 결과를 그림 6에 보였다. 선폭은 한쪽 arm에 5km의 광섬유가 삽입된 광섬유 Mach-Zehnder 간섭계와 스펙트럼 분석기를 사용하여 delayed self-homodyne 방법으로 측정하였다. 측정 결과 (선폭)·(광출력) 값으로 60MHz·mW를 얻었으며 $(1+\alpha^2)$ 항이 부가된 변형된 Shallow-Townes 선폭 식에서 DFB 모드에 결합되는 spontaneous emission rate를 상수로 두고 그림 6의 기울기와 $(1+\alpha^2)$ 을 비교할 경우 α 는 7로 주어졌다. 여기서 LD의 광출력이 무한대로 커지는 경우에도 선폭이 일정한 값(8MHz)으로 수렴하는 것으로 예측되었는데

이는 선폭에 대한 $1/f$ noise의 영향 때문인 것으로 생각된다.^[13]

본 절의 측정 결과 bulk형 활성층에서 기인한 높은 α 값 때문에 선폭도 크게 나타났을 뿐만 아니라 chirping도 $(1 + \alpha)$ 에 비례하여 커질 것으로 예측되므로 DFB-LD에 대한 활성층의 중요성을 알 수 있다.

4. 온도 특성

LD의 동작 특성은 반도체 재료의 특성 상 온도의 변화에 민감하기 때문에 특성 온도 T_0 . [$I_{th}(T) = I_0 \exp(T/T_0)$]를 정의하여 LD의 발진임계전류의 온도의존성을 나타낸다. 낮은 T_0 값은 고온에서의 LD의 동작 특성을 제한하여 상온 연속 동작시 최대 광출력 값 및 이의 지속 시간을 크게 제한한다. 즉, 공진기 내부의 온도 상승 효과에 의해 동일한 광출력을 얻기 위해 더 많은 전류를 흘려야 하고, 이 경우 오히려 공진기의 온도 상승을 증가시키는 악순환을 유발하므로 광통신 시스템에 사용될 경우의 동작 특성을 결정할 수 있는 중요한 변수이다.

따라서 제작된 LD의 T_0 값을 조사하기 위하여 온도에 따른 발진임계전류 변화를 표시한 것이 그림 7에 나타나 있다. 그림으로부터 T_0 값은 300K까지는 59K로, 그 이상에서는 27K로 나타났다. 300K 이상에서의 낮은 T_0 값은 넓은 활성층 폭에 따른 높은 발진임계 전하 밀도에서 기인하는 높은 비 발광 결합 효율 때문으로 생각된다.

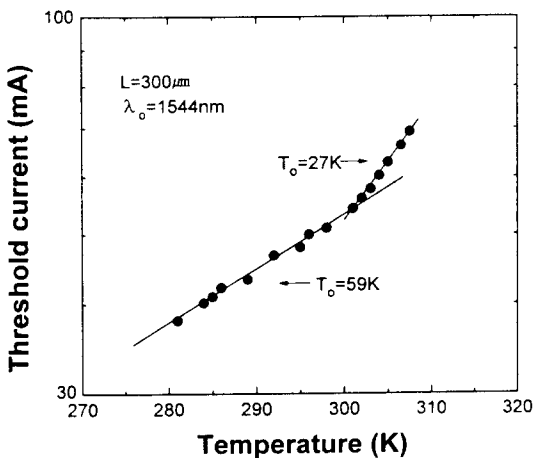


그림 7. 온도 변화에 따른 RWG-DFB-LD의 발진임계전류의 변화

Fig. 7. Measured threshold current as a function of temperature.

그림 8에는 온도에 따른 발진 중심 파장 변화를 나타냈다. 그림 8로부터 발진 중심 파장의 온도 편이는 $0.9 \text{ \AA}/^\circ\text{C}$ 로서 통신용 DFB-LD가 갖는 일반적인 값을 알 수 있다.

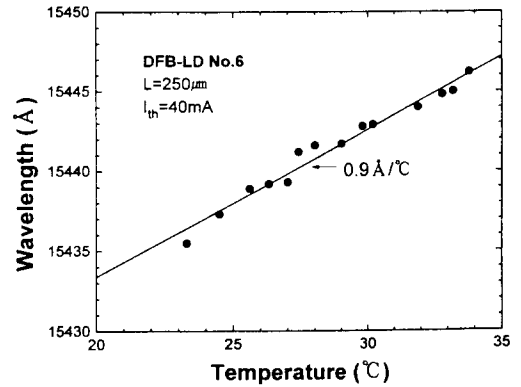


그림 8. 온도 변화에 따른 발진 파장의 변화
Fig. 8. Measured lasing wavelength as a function of temperature.

IV. 결 론

본 연구에서는 1.55 μm RWG-DFB-LD를 제작하고 제작된 LD의 광학적 특성을 조사하여 보았다. grating제작은 He-Cd 레이저를 사용하여 간섭노광법에 의해 제작하였으며 LPE로 저온 결정성장을 행하였다. 저온 성장 및 GaAs와 InP를 혼합한 cover crystal 사용으로 grating이 열손상을 받지 않으므로써 80 cm^{-1} 의 κ 값을 확보하였으며, FP-RWG-LD 제작을 통해 확인된 내부 손실이 $\alpha_{\text{loss}} = 22 \text{ cm}^{-1}$ 로 나타나 양질의 결정막을 얻었음을 확인하였다.

제작된 RWG-DFB-LD의 최저 발진 임계전류는 약 40mA이며, $4 \times I_{th}$ 이상까지도 SMSR 30dB 이상으로 단일 모드로 동작함을 알 수 있었다. 발진 스펙트럼 측정 결과 중심 파장이 1543nm이며, 300K까지의 특성 온도(T_0)가 59K임을 확인하였다. 온도에 따른 파장 편이를 조사하여 본 결과 $0.9 \text{ \AA}/^\circ\text{C}$ 로 전형적인 DFB-LD의 값을 갖는 것으로 확인되었다. 선폭 확대 계수는 bulk형 활성층에 기인하여 다소 높은 값인 6.15로 평가되었으며 선폭은 $60 \text{ MHz} \cdot \text{mW}$ 로 측정되었다.

본 논문의 RWG-DFB-LD는 LPE를 사용한 저 손실 활성층 성장 및 적절한 grating 열손상 방지법으로 높은 단일 DFB 모드 발진 수율 및 SMSR 특성을 가짐으로써 고속, 단거리 광통신용 광원에 적합하였으나

활성층 구조에서 기인하는 높은 α 값 때문에 적용 범위에 한계를 보이고 있다.

향후 특성 향상을 위하여서는 ridge의 폭을 줄임으로써 발진 임계 전류 값을 더욱 낮춤과 동시에 단일 DFB 모드 발진으로부터 다중 DFB 모드 발진으로의 천이에 따른 kink가 발생되지 않는 최대 광출력 범위를 확장시켜야 한다. 또한 활성층을 현재의 bulk 형으로부터 MQW 또는 strained MQW로 개선함으로써 α 값을 감소 시켜야 고속, 장거리 광통신용 고속 변조, 저 chirping DFB-LD가 실현될 수 있을 것으로 생각된다.

<감사의 글>

※ 본 논문은 한국 통신의 출연금에 의하여 수행한 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] T. Kimura, "Factors Affecting Fiber-Optic Transmission Quality", *IEEE J. of Lightwave Tech.*, vol.6, no.5, pp.611-619, 1988.
- [2] Y. Suematsu, S. Arai, and K. Kishino, "Dynamic single-mode semiconductor lasers with a distributed reflector", *IEEE J. of Lightwave Tech.*, vol.LT-1, no.1, pp.161-176, 1983.
- [3] Y. Tohmori, K. Komori, S. Arai, and Y. Suematsu, "1.5-1.6 μ m GaInAsP/InP Bundle-Integrated-Guide [BIG] Distributed-Bragg-Reflector [DBR] Lasers", *The transaction of the IEICE*, vol.E70, no.5, pp.494-503, 1987.
- [4] K. Utaka, S. Akiba, K. Sakai, and Y. Matsushima, "Room-temperature CW operation of distributed-feedback buried heterostructure InGaAsP/InP lasers emitting at 1.57 μ m", *Electron. Lett.*, vol.17, pp.961-963, 1981.
- [5] G. P. Agrawal and N. K. Dutta, *Long-Wavelength Semiconductor Lasers*, VNR, New York, 1986.
- [6] A. Z. Rashid, R. Richard, J. Haynes, G. D. Henshall, T. E. Stockton, and A. Janssen, "High Reliability Low-Threshold InGaAsP Ridge Waveguide Lasers Emitting 1.3 μ m", *J. of Lightwave Tech.*, vol.6, no.1, pp.25-29, 1988.
- [7] M. G. Astles, *Liquid-phase epitaxial growth of III-V Compound Semiconductor Materials and their Device Applications*, Adam Hilger, New York, 1990.
- [8] M. Razeghi R. Blondeau, M. Krakowski, J. C. Bouley, M. Papuchon, B. de Cremoux, and J. P. Duchemin, "Low-threshold distributed feedback lasers fabricated on material grown completely by LP-MOCVD", *IEEE J. of Quantum Electronics*, vol.QE-21, no.6, pp.507-511, 1985.
- [9] L. D. Westbrook, I. D. Henning, A. W. Nelson, and P. J. Fiddymment, "Spectral properties of strongly coupled 1.5 μ m DFB laser diodes", *IEEE J. of Quantum Electronics*, vol.QE-21, no.6, pp.512-518, 1985.
- [10] L. J. P. Ketelsen, I. Hoshino, and D. A. Ackerman, "Experimental and theoretical evaluation of the CW suppression of TE side modes in conventional 1.55 μ m InP-InGaAsP distributed feedback lasers", *IEEE J. of Quantum Electronics*, vol.27, no.4, pp.965-975, 1991.
- [11] I. D. Henning and J. V. Collins, "Measurements of the semiconductor laser linewidth broadening factor", *Electron. Lett.*, vol.19, no.22, pp.927-929, 1983.
- [12] C. A. Green, N. K. Dutta, and W. Watson, "Linewidth enhancement factor in InGaAsP/InP multiple quantum well lasers", *Appl. Phys. Lett.*, vol.50, no.20, pp.1409-1410, 1987.
- [13] K. Kokikuchi and T. Okoshi, "Dependence of semiconductor laser linewidth on measurement time : evidence of predominance of 1/f noise", *Electron. Lett.*, vol.21, no.22, pp.1011-1012, 1985.

— 저 자 소 개 —

- 李重基(正會員) 第 31 卷 A編 第 9 號 參照
현재 한국전자통신연구소 화합물반
도체개발실 선임연구원
- 李承遠(正會員) 第 31 卷 A編 第 9 號 參照
현재 한국전자통신연구소 광전자연구
실 선임연구원
- 曹豪成(正會員) 第 26 卷 第 11 號 參照
현재 한국전자통신연구소 화합물반
도체개발실
- 張東薰(正會員) 第 31 卷 A編 第 9 號 參照
현재 한국전자통신연구소 화합물반도
체개발실 선임연구원
- 朴景鉉(正會員) 第 31 卷 A編 第 9 號 參照
현재 한국전자통신연구소 화합물반
도체개발실 선임연구원
- 金定洙(正會員) 第 31 卷 A編 第 9 號 參照
현재 한국전자통신연구소 화합물반도
체개발실 선임연구원
- 黃仁德(正會員) 현재 한국전자통신연구소 설계개발
실 책임연구원
- 朴亨茂(正會員) 第 31 卷 第 7 號 參照
현재 한국전자통신연구소 화합물반도
체연구부 부장
- 洪彰禧(正會員) 第 26 卷 第 11 號 參照
현재 한국해양대학교 전자통신공학
과 교수