

## 광통신용 1.3 $\mu\text{m}$ Ridge Waveguide Distributed Feedback Laser Diode의 제작과 특성 평가

박경현 · 이증기 · 장동훈 · 유지범 · 강승구 · 김홍만 · 이용탁 · 박형무

한국전자통신연구소 화합물반도체연구부

조호성 · 홍창희

한국해양대학교 전자통신공학과

(1993년 12월 30일 받음)

발진파장이 1.3  $\mu\text{m}$ 인 Ridge Waveguide Distributed Feedback Laser Diode(RWG-DFB-LD)를 제작하고 특성을 평가하였다. 회절격자 형성은 공간섭무늬 노광법을 이용하였고 결정성장은 LPE로 수행하였다. 제작된 RWG-DFB-LD의 발진 임계전류는 67 mA이었고, 1296.5 nm 파장에서 측모우드 억제율 30 dB 이상으로 단일 종모우드로 발진하였다. 금지대역폭 측정에 의한 회절격자 결합계수( $\kappa$ )는  $40 \text{ cm}^{-1}$ 로 평가되었다. 소신호 변조특성평가 결과 제작한 RWG-DFB-LD는 1.2  $I_{th}$ 에서 1.99 GHz의 변조대역폭( $f_{-3\text{dB}}$ ) 특성을 보였다.

### I. 서 론

1.1~1.6  $\mu\text{m}$  파장대역에서 발진하는 InGaAsP/InP계 반도체레이저(LD)는 장파장 광통신용 광원으로서 연구 개발되어 왔다.<sup>[1]</sup> 특히, 실리카 광섬유의 영분산 파장이 1.3  $\mu\text{m}$ 이고 최저 손실파장이 1.55  $\mu\text{m}$ 이므로 이들 파장에서 발진하는 반도체레이저가 집중적으로 개발되었으며, 그 중에서도 1.3  $\mu\text{m}$  파장대의 반도체레이저는 실용화가 빨리 이루어져 현재 상용화 되어있는 대부분의 장거리 광통신 시스템의 광원으로 사용되고 있다.

광통신의 장거리, 대용량화가 진행됨에 따라 전송속도(전송용량)×전송거리 값이 수십(Gbps×km)를 넘어서는 단계에서 전송속도×전송거리 값을 제한하는 중요한 요인으로서 광섬유를 통하여 전송된 광신호의 왜곡이 부각되었다.<sup>[2]</sup> 이것은 지금까지 광통신용 광원으로 사용되고 있는 Fabry-Perot형 반도체레이저로부터 방출된 펄스형 광신호가 단일모우드 광섬유를 통과할 때 다중종모우드 발진에 의한 분산을 일으키기 때문이다.<sup>[3]</sup> 따라서 Gbps 이상의 대용량 광통신 시스템은 고속변조에도 단일 종모우드 동작을 유지할 수 있을 뿐만 아니라 발진선폭도 좁은 새로운 광원을 요구하게 되었다.<sup>[4,5]</sup> 이러한 대용량, 장거리 광통신용 광원의 요구조건을 만족하는 반도체레이저로는 외부 회절격자 광 캐환형 LD, coupled

cavity LD, injection locking형 LD 및 브래그 반사형 LD 등이 발표 되었으나, 파장선택성을 갖는 회절격자를 내장함으로써 주기적인 광캐환으로 동적 단일모우드 동작을 하는 DFB 구조의 LD가 실용적인 측면에서 각광을 받고 있다.<sup>[6]</sup>

본 논문에서는 현재 광통신의 새로운 수요라고 할 수 있는 B-ISDN 및 광 CATV 전송망 구성에 있어서 Gbps급 전송용량을 가져야 하는 backbone 망에 적용될 수 있는 광원에 대한 개발 요구에 부응하여 제작이 간단하고 신뢰도가 높은 DFB-LD의 제작 및 특성 측정 결과에 대해 기술하고자 한다. 먼저 DFB-LD의 제작에 있어서 핵심이 되는 회절격자는 널리 사용되고 있는 광학적 간섭무늬 노광법을 사용하였으며, LD의 단면구조는 약한 굴절율도파형(weakly index guide)으로 횡방향 단일모우드 동작 조절이 쉬우며 1회 결정성장으로 LD제작이 가능한 RWG 구조를 채택하여 1.3  $\mu\text{m}$  파장대에서 발진하는 DFB-LD를 제작하였다. DFB-LD칩의 특성평가에서는 발진스펙트럼, 발진선폭 등의 단일 종모우드동작 특성측정에 주안점을 두었으며, 측정결과로부터 회절격자에 의한 광결합 효율( $\kappa$ )을 유추함으로써 칩 제작변수와의 상관관계에 대해 알아 보았다. 제 2절에는 DFB-LD의 제작과정을 기술하였으며, 제 3절에는 특성측정 결과에 대하여 논의하였다.

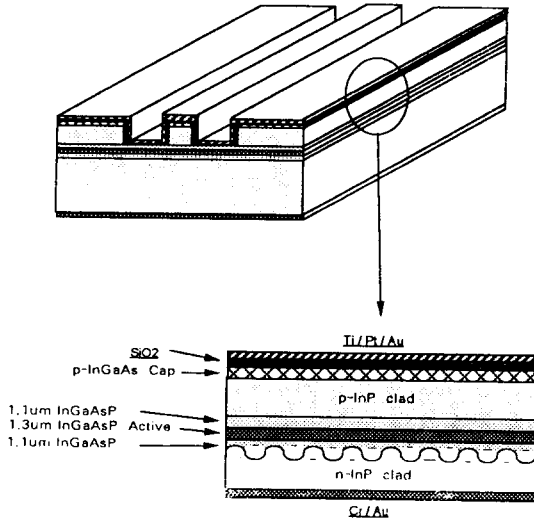


그림 1. RWG-DFB-LD 구조도.

II. DFB-LD 칩 제작

본 연구에서 제작한 1.3 μm 파장의 RWG-DFB-LD의 구조를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 LD의 수직구조는 1.3 μm 파장의 InGaAsP 활성층을 중심으로 1.1 μm 파장의 InGaAsP 광도파로층이 대칭적으로 배치되어 있고, InP 클래드층 및 InGaAs 캡층으로 된 이중 이종접합(double heterostructure) 구조이다. 여기에서 활성층 및 광도파로층의 두께는 각각 0.1 μm이며 주기적인 광결합을 위한 회절격자는 InP 기판 위에 형성시켰다. 수평구조는 폭 20 μm 채널 사이에 5 μm 폭의 ridge가 형성된 구조이다.

DFB-LD의 단일 모드 동작 파장은 회절격자의 주기와 LD칩의 단면 구조 및 각 층의 조성비(밴드갭)에 의하여 주어지는 유효굴절율(effective refractive index)에 의하여 결정된다. 본 실험의 경우 LD 공진기의 기본 도파모드에 대한 유효굴절율이 3.345이므로, 발진파장 1.31 μm를 얻기 위한 1차 회절격자 주기는 195.8 nm임을 알 수가 있다.

RWG-DFB-LD의 칩 제작공정을 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)의 회절격자 제작을 위해 먼저 n-InP 기판 위에 AZ5214E와 AZ thinner를 1:4의 비율로 희석한 포토 레지스트(PR)를 spin coater를 이용하여 80 nm 두께로 형성시킨 후 75°C hot plate 위에서 1분간 soft bake 하였다. 노광은 325 nm 파장의 He-Cd 레이저로부터 나온 빛을 두 가닥으로 나눈 후 기판상에서 다시 합칠 때 생기는 간섭무늬를 이용하였다. 이 때 회절격자의 주기는

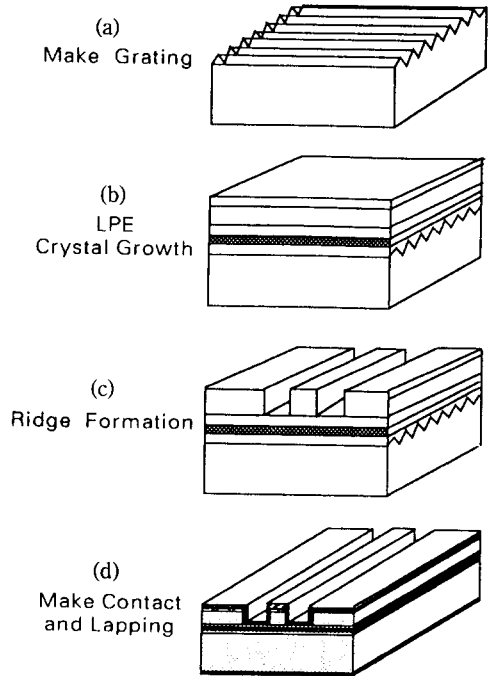


그림 2. RWG-DFB-LD 제작 공정.

(a) 회절격자 제작, (b) LPE 결정성장, (c) RWG 에칭, (d) 전극형성

두 빔의 입사각을 조정하여 맞추었다. 본 실험의 경우 입사각은 약 56°, 총 조사에너지는 20 mJ/cm<sup>2</sup>이 되도록 노광하였다. AZ500MIF를 이용하여 PR을 현상한 후 plasma ashing 공정을 이용하여 현상된 PR 회절격자의 골부분에 완전히 제거되지 않고 남아있는 잔류 PR을 제거함으로써 골과 마루사이의 경계면을 깨끗이 하였다. 이와 같이 형성된 PR 회절격자를 이용하여 InP 또는 InGaAsP에 등방성 식각 특성을 가지고 있는 1 HBr : 1 HNO<sub>3</sub> : 20 H<sub>2</sub>O 용액으로 높이 800 Å인 삼각형 단면 형태의 회절격자를 InP 기판 상에 제작하였다.

제작된 회절격자 위에 1.1 μm 파장의 InGaAsP 도파로층, 1.3 μm 파장의 InGaAsP 활성층, 1.1 μm 파장의 InGaAsP etch stop층, InP 클래드층, InGaAs 캡층을 LPE(Liquid Phase Epitaxy) 방법으로 성장하였으며 이때 활성층의 성장온도는 630°C로 하였다. 활성층과 도파로층의 두께는 각각 0.1 μm로 조정하였고, 1.1 μm n-InGaAsP 도파로층의 도핑은 Sn을 이용하여 1~2×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>이 되도록 조절하였으며, 1.3 μm InGaAsP 활성층과 1.1 μm etch stop층은 도핑을 하지 않았다. p-InP 클래드층은 5~6×10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup>, p-InGaAs 캡층은 1×10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup>

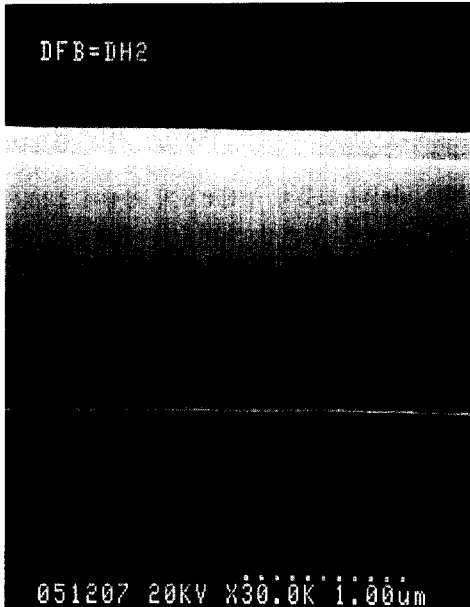


그림 3. LPE 결정성장 후의 단면 사진.

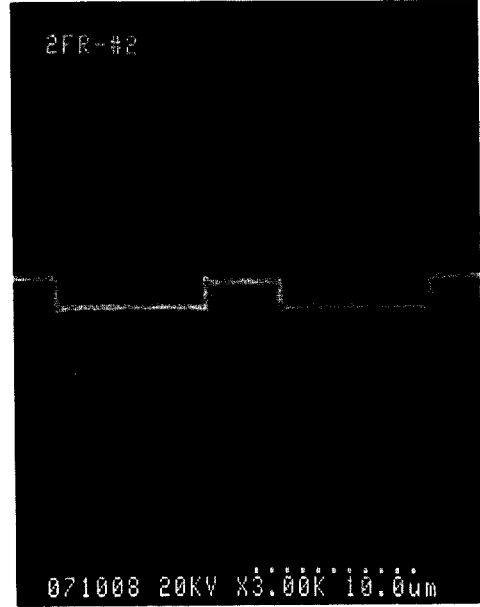


그림 4. RWG-DFB-LD의 단면 사진.

로 Zn를 사용하여 도핑하였다. LPE 결정성장 후의 단면을 그림 3에 나타내었다. 그림으로부터 회절격자는 높이 600 Å으로 균일하게 형성되어 있으며, 630°C에서의 LPE 결정성장온도에서도 회절격자가 크게 변형되지 않았음을 알 수 있다.

성장된 DH 웨이퍼에 SiN 층을 화학 기상 증착기(plasma enhanced CVD)를 사용하여 2000 Å 증착시킨 후 리소그라피 공정을 통하여 ridge 폭 5 μm, 채널 폭 20 μm의 패턴을 형성시켰다.

Ridge형 도파로 형성을 위한 채널 에칭은 1H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:1H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:5H<sub>2</sub>O 용액을 사용하여 InGaAs 캡층의 선택 에칭을, 15HCl:85H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 용액을 사용하여 InP층의 선택 에칭으로 수행하였다. 채널 선택에칭 후 RWG 웨이퍼 전면에 절연용 SiN층을 3000 Å 증착시켰다. Image reversal 공정을 이용하여 ridge 윗면에 1 μm폭의 개구부를 형성시킨 후 p전극용 Ti/Pt/Au (200 Å/500 Å/2500 Å)를 E-beam 증착기로 증착 하였다. 전극 금속 증착 후 H<sub>2</sub>(30%)/N<sub>2</sub>(70%)의 혼합 가스 분위기에서 425°C로 10초간 금속 열처리를 행하였다.

p 전극형성 공정이 끝난 후 웨이퍼를 3 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하여 95 μm 두께로 lapping 하였으며, Chemnox를 사용하여 30분간 polishing 하였다.

n층 전극은 E-beam 증착기를 이용하여 Cr(500 Å)/Au(2500 Å)를 증착 하였으며, 열처리는 400°C에서 30초

동안 행하였다. 제작공정이 완료된 RWG-DFB-LD의 단면사진을 그림 4에 나타내었다.

### III. 특성측정 및 평가

#### 1. I-L-V 측정

제작공정이 완료된 웨이퍼로부터 벽개에 의해 개별 LD로 분리된 칩을 제반특성을 측정하기 위해 외부로부터 전류 공급이 가능한 전용 칩 캐리어에 die/wire 본딩시켰다. 이 때 LD 칩의 양면 mirror는 반도체 결정면 벽개로 형성되고 (반사율~30%) Fabry-Perot모우드 발진 억제를 위한 무반사막 형성 공정은 별도로 수행하지 않았다. LD 칩의 다이 본딩은 p전극을 위로 하여 Pb/In solder (melting point: 180°C)로 수행하였다. p 전극과 칩 캐리어의 핀 사이를 와이어 본딩으로 전기적 연결을 하고 LD 칩의 출력면 쪽은 공간적으로 개방하였다. 그림 5의 (a)에 칩 캐리어에 마운트된 LD 칩 사진을 보였다. 사진으로부터 레이저 공진기에 해당하는 ridge와 그 주위의 채널을 볼 수 있다.

그림 5의 (b)에 LD 칩의 전기적 특성을 측정된 결과를 보였다. 그림에서 다이오우드 cut-in전압 0.8 V, 순방향 인가전압 2 V에서 동저항은 12.5 Ω이며, 역방향 전압 2 V에서 누설전류 4.16 μA임을 알 수 있으며, 전반적으로 slow turn-on 특성을 보이고 있다. I-V 측정 결과 인가

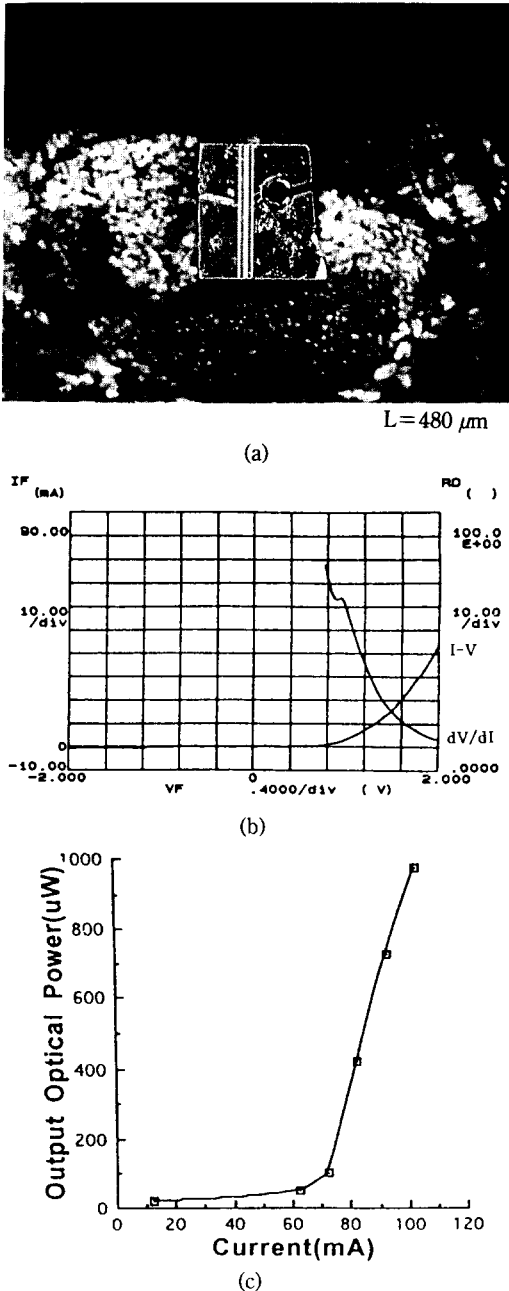


그림 5. 제작된 RWG-DFB-LD 칩의 I-L-V 특성.  
(a) LD 칩 사진, (b) I-V 특성, (c) I-L 특성

전압이 상승함에 따라 동저항값이 지속적으로 감소하고 있음을 알 수 있는데, 이는 음 접촉 저항 값이 크다는 것(수십 Ω)과 인가전압에 비례하는 누설전류 성분이 존재한다는 것을 나타내고 있다.

그림 5의 (c)에 RWG-DFB-LD의 주입전류-단일 발진 모우드의 광출력특성을 보였다. 그림에서 보면 상온에서 연속동작시 발진임계전류는 67 mA이고 외부 양자효율은 3%/facet임을 알 수 있으며, 일반적인 DFB-LD의 외부 양자효율(~10%/facet)보다 낮은 효율을 얻은 것은 I-V 곡선에도 나타나 있듯이 누설전류의 영향과 3.2절의 스펙트럼 측정결과 밝혀진 활성층의 최대이득 과장파 DFB모우드 발진과장이 25~30 nm 정도 과장차이가 발생하였기 때문인 것으로 분석된다. 또한 발진임계전류도 67 mA로서 일반 Fabry-Perot형 RWG LD의 평균 임계전류 30~50 mA보다 다소 높게 나타났는데 이것은 다음에 기술된 광 스펙트럼으로부터 얻어진 κL값이 1.2 정도로 작은 값을 가지기 때문인 것으로 해석되며 아울러 이러한 작은 κL값은 본 논문의 DFB-LD의 수율에도 나쁜 영향을 미칠 것으로 예측된다.

제작된 LD칩이 기본 링모우드만 도파하고 있는지를 평가하기 위해 LD 칩으로부터 방출되는 빛의 발산패턴을 LD 칩을 중심으로 반경 10 cm 이상으로 원을 그리면서 각도 주사하는 Ge-PD로 측정하였다. 측정 결과 원시야상의 FWHM 발산각(중심축에서의 광 강도의 반이 되는 광 강도의 양방향 발산각 사이의 합)은 16.4°(p-n 접합 수평방향) 및 57°(수직방향)으로 나타났으며, 발산각에 따른 광 강도곡선이 단일 envelope를 가짐으로서 기본 링모우드 도파를 확인할 수 있었다. 원시야상으로부터 계산되는 근시야상의 크기(Gaussian beam의 spot size)는 0.9 μm(수직 방향) 및 3.4 μm(수평 방향)로 주어졌는데 이 값들은 유효굴절률 방법으로 계산된 본 논문의 RWG-LD의 근시야상의 크기 0.7 μm(수직방향), 3.6 μm(수평방향)과 거의 유사하며, 차이가 나는 부분은 실제 LD칩에서의 전류 주입에 의한 anti-guiding현상 때문인 것으로 생각된다.

2. 발진스펙트럼 측정

DFB-LD에 대한 특성평가에 있어서는 발진 스펙트럼 측정 항목은 가장 중요한 의미를 가진다. 즉, 단일 종모우드 발진 여부 및 측모우드 억제율(SMSR: side mode suppression ratio), 단일 종모우드 유지 최대 광출력 등의 DFB-LD 성능이 LD에 대한 설계, 제작공정으로부터 직접적으로 반영되어 나타나기 때문이다.

RWG-DFB-LD 칩의 발진스펙트럼을 광 스펙트럼 분석기(ANDO)를 이용하여 측정하였다. 측정시스템은 광섬유가 부착된 광 isolator의 입력측 광섬유를 LD칩의 출력면에 정렬시키고 출력측 광섬유를 광 스펙트럼 분석기에 접속하는 형태로 구성하여 측정시 반사광이 LD

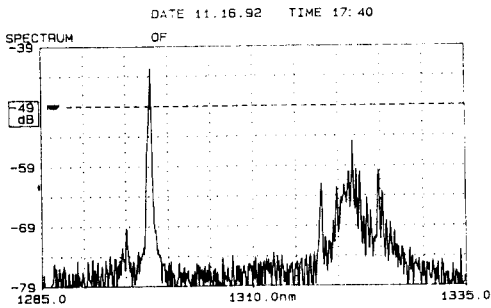


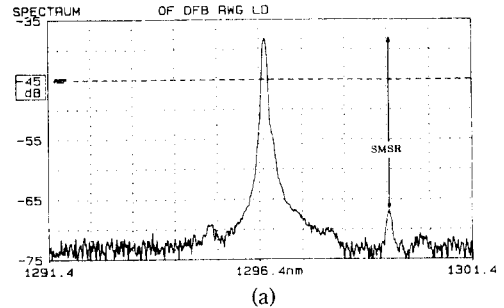
그림 6. FP 모드 및 DFB 모드 동시 발진스펙트럼

칩으로 제한되는 것을 방지하였다.

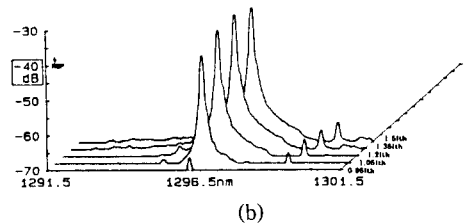
무반사막 형성 등의 방법으로 Fabry-Perot 모드 발진을 억제시키지 않은 DFB-LD는 칩 상태(mirror 면에서의 내장 격자의 위상값)에 따라 DFB모드의 임계이득(threshold gain)값이 달라지므로 확률적으로 ① Fabry-Perot모드 발진, ② Fabry-Perot 모드 및 DFB 모드 동시 발진, ③ multi-DFB모드 발진, ④ single DFB모드 발진의 경우가 일정한 분포를 가지게 된다.<sup>[7]</sup> 본 측정에 사용된 동일 웨이퍼에서의 분포는 ①: 62%, ②, ③: 24%, ④: 14%로서 낮은 단일 DFB 모드(종모드) 발진 수율을 얻었는데 이는 위에서 언급한 작은  $\kappa L$ 값과 그림 6의 측정결과에서 밝혀진 DFB 발진모드 파장과 최대 이득파장 사이의 큰 차이 때문으로 분석된다.

그림 6에 전형적인 Fabry-Perot모드 및 DFB 모드 동시 발진의 경우를 보였다. 회절격자에 의한 DFB모드는 1298 nm 부근에서 발진하고 활성층의 최대이득에 의한 Fabry-Perot모드는 1322 nm 부근에서 발진하고 있다. 따라서 본 실험의 DFB-LD는 25 nm 정도 detuning된 상태임을 알 수 있으며, 회절격자 주기를 조정함으로써 detuning을 일반적인 DFB-LD제작의 경우와 같이 10 nm 이하로 줄일 경우 미분양자효율의 증가, 발진임계전류의 감소 및 단일 DFB 모드발진 칩 수율 향상이 기대된다.

그림 7의 (a)에 단일 DFB 모드 발진스펙트럼을 보였다. 그림으로부터 발진파장은 1296.5 nm였으며, 측모드 억제율은 30 dB 이상이었다. 30 dB 이상의 측모드 억제율은 주모드와 부모드 사이의 충분한 이득 차이를 의미하며 이것은 본 실험의 DFB-LD가 고속 디지털 통신용 광원으로 사용될 경우 안정된 단일모드 동작이 가능함을 보여준다. 주입전류 변화에 따른 발진 스펙트럼 측정결과를 그림 7의 (b)에 보였는데  $1.5 I_{th}$  이상까지



(a)



(b)

그림 7. RWG-DFB-LD의 스펙트럼 특성.

(a) 단일 종모드 발진 스펙트럼 (b) 주입전류 레벨에 따른 발진 스펙트럼.

단일 DFB모드로 발진함을 확인할 수 있었다. (그림 7-(b))의 측정결과로부터 주입전류에 따른 DFB모드의 발진파장은 1296.4 nm에서 1297.6 nm로 장파장 쪽으로의 이동(red shift)이 있음을 알 수 있다. 이것은 주입전류 증가에 따른 활성층 온도상승이 주 원인으로 생각되며, 일반적인 DFB-LD의 온도상승에 따른 발진파장 변화율이  $0.9 \text{ \AA}/^\circ\text{C}$  인 것을 고려하면  $13^\circ\text{C}$  정도의 활성층의 온도상승을 의미한다. 활성층의 온도가 상승하게 되면 활성층 내에서의 비발광결합효율이 증가하게 되고 활성층의 최대이득 파장이 장파장 쪽으로 이동( $3 \text{ \AA}/^\circ\text{C}$ )하여 detuning이 더욱 커지므로 발진 DFB모드의 이득을 낮추게 된다. 이러한 이득 감소는 3.1절에 나타난 낮은 외부양자효율의 원인이 되고 DFB-LD 수율을 낮추는 직접적인 원인이 될 뿐만 아니라 뒤에서 논의될 변조특성에도 영향을 미칠 것으로 분석된다.

지금까지 측정된 DFB-LD의 여러 가지 성능항목에 있어서 공통적으로 영향을 미치는 소자 변수로서 회절격자와 공진기 사이의 상호작용이 나타났다. 따라서 DFB-LD의 설계 및 제작에 있어서는 내장된 회절격자에 의한 공진기내부를 진행하는 광파에 대한 역방향 결합 효율 값을 설정, 유지하는 것이 가장 중요하다. 결합계수  $\kappa$ 는 이러한 제한 효율 값을 나타내는 것으로서 제작된 DFB-LD의 발진스펙트럼을 분석함으로써 정확히 계산해 낼 수 있다.<sup>[8]</sup> 즉, 본 실험의 DFB-LD와 같이 위상전이를

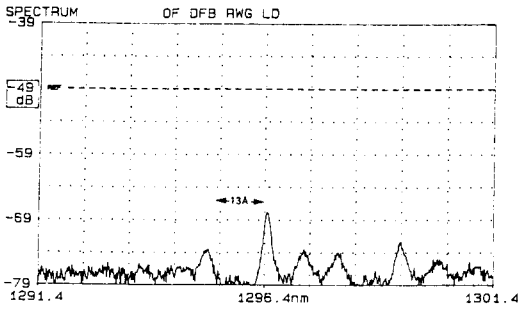


그림 8. 금지 대역폭 측정 스펙트럼(구동전류레벨:  $0.9 I_{th}$ ).

포함하지 않은 회절격자에 의해 유도 발전되는 DFB모우드 스펙트럼은 회절격자의 주기(Bragg파장)에 해당하는 파장의 발전이 금지되고 Bragg파장을 중심으로 일정파장 값이 변위된 좌우대칭의  $\pm 1$ 차 DFB모우드가 최소 임계이득을 가지며 발전하게 된다. 이때 +1차(단파장쪽)와 -1차(장파장쪽) DFB모우드 사이의 파장간격을 금지대역(stop band)이라 하며 이 값은  $\kappa$ 와 직접적인 비례 관계가 있다.

그림 8에 공진기 길이 320  $\mu\text{m}$ 인 DFB-LD에 임계전류 이하의 전류( $0.9 I_{th}$ )를 주입하였을 때의 광 스펙트럼을 보였다. 그림에서 +1차와 -1차 DFB모우드 사이의 금지대역은 13  $\text{\AA}$ 로 나타났으며  $\kappa$ 값을 계산한 결과  $40 \text{ cm}^{-1}$ 을 얻었다. 이 값은 LPE로 결정성장된 일반적인 DFB-LD의 결합계수  $10 \sim 40 \text{ cm}^{-1}$ 와 비교할 때 만족스러운 것으로 생각된다. 이 때 DFB-LD에 대한 적절한  $\kappa L$  값은 LD의 공진기 길이를 조정하거나 결정성장시 회절격자와 활성층 사이의 간격(광 도파로층의 두께)을 변화시켜  $\kappa$  값을 조정함으로써 얻을 수 있다.

### 3. 변조특성 측정

제작된 DFB-LD가 고속 광통신용 광원으로 적용되었을 때 고속 대신호 변조가 가능한지를 확인하기 위해 소신호 변조특성을 평가하여 보았다. 측정 시스템의 구성은 DFB-LD칩의 한쪽 전극을 RF신호 입력용 SMA connector에 연결시키고 다른 한쪽은 LD의 소자저항을 포함한 전체저항이  $50 \Omega$ 이 되도록 선정된 칩저항을 통해 접지 시킨 후 bias-T를 통해 RF신호와 pre-bias를 공급하면서 소신호변조특성을 lightwave component analyzer (HP)로 측정하였다.

그림 9에 pre-bias를 바꾸면서 RWG-DFB-LD의 소신호 변조특성을 측정한 결과를 보였다. 그림으로부터 임계전류 67 mA를 전후로 한 변조대역폭의 급격한 변화를

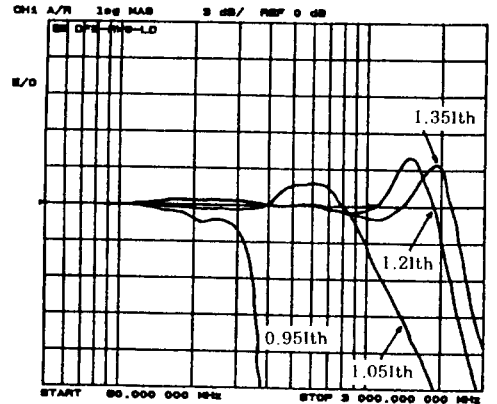


그림 9. 구동전류레벨에 따른 소신호 응답특성

볼 수 있으며 임계전류이상의 pre-bias에서는 공진주파수 ( $f_r$ ) 및  $-3 \text{ dB}$  차단주파수( $f_c$ )가  $1.05 I_{th}$ 에서는  $f_r=600 \text{ MHz}$ ,  $f_c=940 \text{ MHz}$ 로,  $1.2 I_{th}$ 에서는  $f_r=1.33 \text{ GHz}$ ,  $f_c=1.99 \text{ GHz}$ 로,  $1.35 I_{th}$ 에서는  $f_r=1.8 \text{ GHz}$ ,  $f_c=2.34 \text{ GHz}$ 로 각각 나타났다. 먼저 같은 비율의 주입전류레벨 상승에도  $f_c$ 이 제곱근에 비례하는 형태로 상승하지 않는 현상은 LD의 미분이득이 주입전류레벨 상승에 따라 감소되기 때문인 것으로 판단된다. 이는 앞에서의 스펙트럼측정 결과 밝혀진 높은 전류주입에 따른 활성층의 온도 상승 영향 때문에 이득스펙트럼이 DFB모우드로부터 더욱 장파장쪽으로 이동한 결과로 분석된다.<sup>[9]</sup> 또한 실제 LD의 변조능력을 표시하는  $f_c$  값은 LD의 기생용량 및 저항 등의 성분 에 의해 크게 좌우된다. 본 실험의 DFB-LD의  $f_c$  값은 동일 크기의 RWG-LD 칩의  $f_c$  값의 2/3 정도 밖에 되지 않았다. 이 이유는 위에서 언급된 바와 같이 높은 음 접촉저항이 기생성분으로 작용하였기 때문으로 분석된다.

여기서 본 논문의 RWG-DFB-LD의 변조특성은  $1.2 I_{th}$  pre-bias로 구동할 경우 소신호 차단 주파수가 1.99 GHz이므로 NRZ(non return to zero)형태의 2.5 Gbps 신호까지 송신할 수 있음을 나타낸다.

## IV. 결 론

주입전류 집속용 횡방향 전류 차단층을 포함하는 매립형(BH; buried heterostructure)에 비교하여, 1회의 결정 성장으로 제작이 가능하므로 소자의 저 가격화, 고 신뢰성에 유리한 RWG-DFB-LD를 제작하고 전기적, 광학적 특성을 측정하였다. DFB-LD제작에 있어서 파장이 325 nm인 He-Cd 레이저 광을 이용한 간섭무늬 노광법

으로 InP기판상에 주기 1958 μm의 1차 회절격자를 형성시켰으며, 결정성장은 LPE로 수행하였다.

제작된 RWG-DFB-LD 칩의 발진임계전류는 67 mA였으며 스펙트럼 측정결과 발진파장은 1296.5 nm이고 1.5 I<sub>th</sub> 주입전류까지 단일 종모우드 동작을 유지하였으며, 이 때의 측모우드 억제율은 30 dB 이상이었다. 금지대 역폭은 13 Å로 측정되었으며 이 값으로부터 회절격자에 의한 결합계수(κ)는 40 cm<sup>-1</sup>로 평가되었다. 원 시야상을 측정하여 수평방향 방사각은 16.4°, 수직방향 방사각은 57°를 얻었으며 단일 횡모우드 동작을 확인하였다. 각각의 pre-bias에 따른 소신호 응답특성을 측정된 결과 1.2 I<sub>th</sub>에서 1.99 GHz의 소신호 응답 대역폭을 얻었다.

제작된 RWG-DFB-LD 칩의 공진기 평균 길이가 300 μm로서 κL 값은 약 1.2로 평가되어 유효 반사경 손실이 커서 결과적으로 높은 발진임계전류 값을 얻었으나 회절격자 진폭을 크게 하거나 회절격자와 활성층 사이의 도파로층 두께를 줄임으로써 κ값을 증가시킬 경우 동일한 공진기 길이에 대해 발진 임계전류를 크게 낮출 수 있을 뿐만 아니라 단일 모우드 동작 칩 수율도 크게

향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] G. P. Agrawal and N. K. Dutta, *Long-Wavelength Semiconductor Lasers*, (VNR, New York, 1986).
- [2] T. Kimura, *IEEE J. of Lightwave Tech.*, **6**, 611 (1988).
- [3] G. P. Agrawal et al., *IEEE J. of Lightwave Tech.*, **6**, 620(1988).
- [4] N. Henmi et al., *IEEE J. of Lightwave Tech.*, **6**, 636(1988).
- [5] J. C. Cartledge and G. S. Burley., *IEEE J. of Lightwave Tech.*, **7**, 668(1989).
- [6] K. Kobayashi, *IEEE J. of Lightwave Tech.*, **3**, 611 (1985).
- [7] H. Nagai et al., *IEEE J. of Quantum electron.*, **QE-22**, 450(1986).
- [8] L. D. Westbrook et al., *IEEE J. of Quantum electron.*, **QE-21**, 512(1985).
- [9] K. Petermann, *Laser Diode Modulation and Noise*, (Kluwer-Academic publishers, Netherlands, 1988).

**Fabrication and Characterization of 1.3 μm RWG-DFB-LD for Optical Fiber Communication**

K. H. Park, J. K. Lee, D. H. Jang, J. B. Yoo, S. K. Kang,  
H. M. Kim, Y. T. Lee and H. M. Park  
*Compound Semiconductor Division, ETRI, Taejon 302-606, Korea*

H. S. Cho and T. Hong  
*Department of Electronics and Communication, Korea Maritime Univ., Pusan 606-791, Korea*

(Received: December 30, 1993)

We fabricated and characterized RWG-DFB-LDs emitting at 1.3 μm wavelength. For fabrication of the laser diode, interference fringe of optical beams was used for grating formation and epi layers were grown by LPE. The fabricated RWG-DFB-LD operated in a single longitudinal mode with more than 30 dB SMSR at 1296.5 nm emitting wavelength and its threshold current was 67 mA. Coupling coefficient (κ) was estimated as 40 cm<sup>-1</sup> by means of stop-band measurement. Finally, we show that the RWG-DFB-LD fabricated in this experiment can be applicable as light source of 2.5 Gbps optical communication system from the fact that the small signal response of the RWG-DFB-LD rated up to 1.99 GHz at pre-bias level of 1.2 I<sub>th</sub>.