

# 흡수격자를 갖는 DFB 레이저의 제작 및 특성

## Fabrication and Characteristics of DFB Laser with Absorption Grating

이 형 중

전남대학교 자연과학대학 물리학과

N. A. Olsson

AT&T Bell Lab., Murray Hill N.J 07974

### Abstract

1.3 $\mu\text{m}$  DFB laser with absorption grating of 1.55  $\mu\text{m}$  InGaAsP layer was fabricated. This new type of DFB laser shows self-pulsation for DC operation. At low level of injection the relation between the pulsation frequency and the injection current shows similar behavior with the relaxation oscillation of ordinary laser and at high level of injection the pulsation frequency decreases compared to the relaxation oscillation. Period doubling, period 3 and 4 were observed for AC modulation. In case of period doubling the waveform shows only one pulse within a period without any accompanying subsidiary pulses and the oscillation frequency was quite stable. The pulse widths as short as 58.5 ps was achieved with AC modulation. We propose the time division multiplexing application of this kind of DFB laser.

### 1. 서론

DFB 레이저는 Fabry-Perot 형의 레이저에 비하여 우수한 단일모드 발진특성 때문에 고속의 광출력 변조시에도 단일모드로 동작한다. 이와 같은 장점 때문에 통신용 광원으로써 중요하며 지금까지 많은 연구가 되어왔다. 일반적으로 DFB 레이저는 굴절율의 변화에 의한 격자구조를 갖도록 제작된다. 그러나 굴절율은 실수부와 허수부로 나누어 생각할 수 있으며, 이득의 격자구조에 의한 DFB 레이저를 생각할 수가 있다. 이러한 구조를 갖는 DFB 레이저는 Kogelnik<sup>[1]</sup>가 반도체레이저 연구의 초기단계에서 제시된 바 있다. 그러나 이와같은 이득격자의 DFB 레이저가 실험적으로 제작된것은 극히 최근의 일이며,<sup>[2]</sup> 비선형 DFB 공진기의 경우에 광의 세기에 의존하는 실수 굴절율의 격자를 기정하여 자기발진과 광혼돈을 Winful<sup>[3]</sup> 등이 예측한 바 있다. 부이득 즉 흡수격자를 갖는 DFB 레이저는 본 연구에서 처음 보고한다.

본 연구에서는 흡수격자 DFB 구조를 갖는 반

도체레이저를 제작하고 그 동작특성을 조사하였다. 일반적으로 반도체레이저의 공진기 내에 광의 포화흡수체가 존재하면 이러한 흡수체는 광 에너지의 세기에 따라 포화흡수를 일으키며, 그 결과 비선형 효과를 유발한다. 이러한 비선형효과로서는 self-pulsation 과 period-doubling, optical caos 등을 들 수가 있다.(4,5)

본 실험에서 제작한 흡수격자 DFB 레이저는 상기한 비선형 효과를 나타내었으며, period doubling의 경우 매우 안정한 주파수를 갖으며 100 ps 정도의 초단펄스를 발생함을 관측하였다. 본 논문에서는 이러한 흡수격자를 갖는 DFB 레이저의 구조 및 제작의 개략과 DC 및 AC 동작특성 및 60 ps의 초단펄스 생성을 보고한다.

II. 흡수격자 DFB 레이저의 구조

흡수격자 DFB 레이저의 구조는 그림 1과 같다. n-InP substrate 위에 bandgap 1.1  $\mu\text{m}$ 의 n-InGaAsP를buffer층으로서 성장시키고 그 위에 holography 방법에 의해 1.3 $\mu\text{m}$  DFB 레이저의 동작을 위한 격자층을 제작한다. 제작된 격자층 위에 1.55  $\mu\text{m}$  bandgap의 n-InGaAsP를 500 Å 정도의 두께로 성장시켜 손실격자를 제작하고 그 위에 2000 Å 정도의 n-InP channel guide 층을 성장시킨다. Active layer는 1.3  $\mu\text{m}$ 의 bandgap을 갖는 InGaAsP 1500Å을 성장시키며, 그 위에 다시 p-InP cladding층을 성장시킨다.

제작된 웨이저는 횡방향의 도파를 위해 DCPBH (double channel planar buried heterostructure) 구조로 식각하고, 다시 전류제한층을 생성시켜 레이저를 완성한다.

격자층과의 적절한 모드결합을 위해서 굴절율이 큰 buffer층(n=3.46)을 사용하였으며 격자층

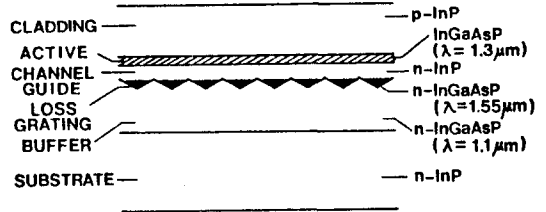


Fig.1 Structure of DFB laser with absorption grating.

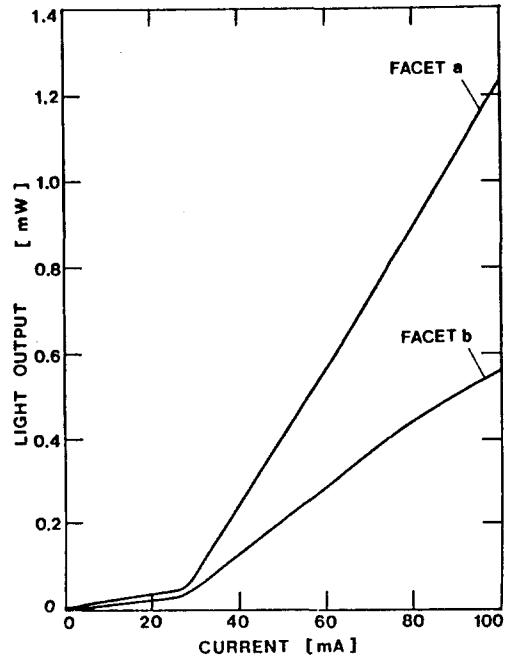


Fig.2 Light-current characteristics absorption DFB.

은 1.3  $\mu\text{m}$ 에서 광흡수가 약  $10^4 \text{ cm}^{-1}$ 인 InGaAsP의 조성이 선택되었다. 1.3  $\mu\text{m}$  bandgap의 활성층과 1.55  $\mu\text{m}$  bandgap의 격자층의 굴절율은 3.52와 3.6이며, InP와 1.1  $\mu\text{m}$  bandgap의 InGaAsP의 굴절율은 3.21 과 3.33이다.

III. 동작 특성.

제작된 레이저의 L-I 특성은 그림 2와 같다. Threshold 전류는 24 mA 정도이고 레이저의 출력은 면 a 와 면 b가 약 2배의 차이를 보였다. 이 같은 차이는 격자와의 coupling 세기의 공간적 불균일, 그리고 격자와 반사면의 상대적인 위상차가 일반적으로 각 반사면에 따라서 다르고 따라서 레이저 공진기 내의 에너지 분포가 두면의 경우에 서로 다를 수 있기 때문으로 추정된다. 발광 효율을 일반 1.3  $\mu\text{m}$  DFB 레이저에 비하여 약 25% 정도이며 이는 흡수 격자에 의한 광 손실을 고려하면 이해할 수가 있다.

그림 3은 제작된 레이저의 동작 특성을 측정하기 위한 실험 장치의 개략이다. 레이저 구동 장치의 입력 임피던스는 50 ohm 이고 최대 구동 속도는 4 GHz 이다. 광 검출기는 InGaAsP PIN photo diode를 사용하였으며, 최대 감지 속도는 20 GHz이다. 사용된 측정 장비는 100 ps rise-time의 pattern generator (Anritsu MP1601A), 최대 구동 주파수 7GHz (rise-time 50 ps)의 입력 임피던스가 50 ohm인 증폭기 (B&M Electronics Co.의 AC7020HL), 25 ps rise-time의 sampling head를 가용한 오실로스코프 (Tektronics 7854 with S-4 sampling head), 및 spectrum analyzer (Hewlett Packard 8566B) 등이다.

그림 4는 DC bias를 가한 흡수 격자 DFB laser 광 출력의 RF spectrum이며, self-pulsation을 확인할 수 있다. Bias 전류의 변화에 따라 발진 주파수는 증가하며, 스펙트럼의 대역폭으로부터 pulsation 주기의 요동이 일어남을 알 수가 있다. Bias 전류와 발진 주파수와의 관계를 그림 5에 정리하였으며, 이 관계는 이미 잘 알려진

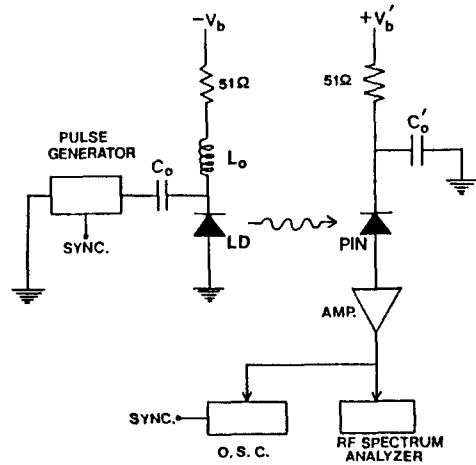


Fig.3 Experimental setup for the measurement of operation characteristics

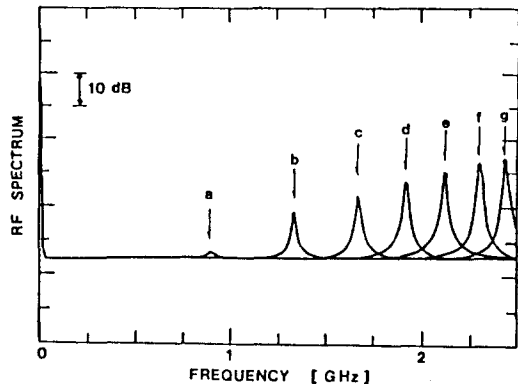


Fig.4 RF spectrum of self pulsation in absorption DFB laser : DC current of (a) 31 mA, (b) 40 mA, (c) 50 mA, (d) 60 mA, (e) 70 mA, (f) 80 mA, and (g) 90 mA.

다음 식과 같은 레이저의 relaxation oscillation과 매우 유사함을 확인할 수 있으며 이 식으로부터 구한  $I_{th}$ 의 값은 그림 2에서 구한  $I_{th}$ 의 값과 거의 일치한다.

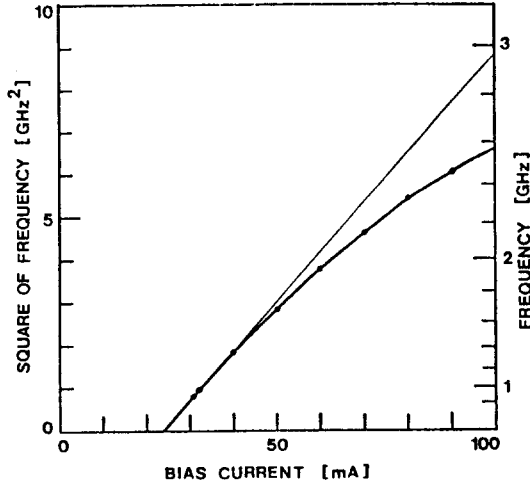


Fig.5 Relation between the bias current and the self pulsation frequency.

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(J_b - J_{th})(1 + G_N \eta_{sp})}{J_{th} \tau_{sp}}}$$

주입전류가 클 경우는 것 위의 예측 결과보다 주파수가 작아지는 현상도 관찰되었는데 이는 비선형 이득에 의한 결과이다. [6]

그림 6는 계단모양의 전류를 주입할때의 시간에 대한 자기발진 광출력을 보여주고 있다. 이 경우의 바이아스전류는 40 mA이고, step 전류는 40 mA이다. 발진임계전류는 24 mA로서 60 mA의 step 상단부에서 2 ns의 시간지연후에 자기발진을 개시하며 발진주파수는 그림 4의 측정과 일치함을 알수 있다.

DC bias에 의해 자기발진하는 광출력의 optical spectrum은 그림 7와 같다. 스펙트럼 측정에는 스펙트럼미터에 mirror scanner를 부착한 오실로스코프를 사용하였다. 발진 임계전류 부

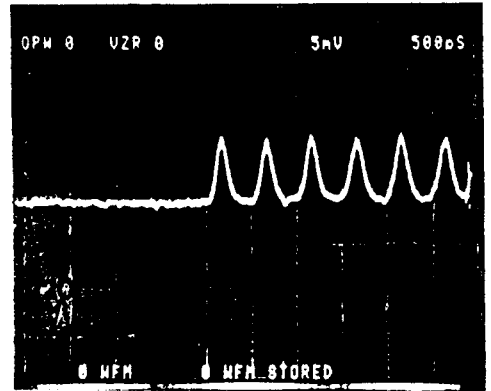


Fig.6 Waveform of self pulsation in absorption DFB : Upper trace shows waveform of light output and lower trace shows current injection.

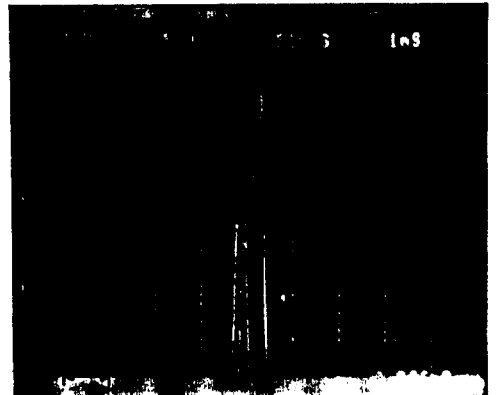


Fig.7 Wavelength chirping of self pulsation in absorption DFB laser. : Applied bias current is (a) 31 mA and (b) 40 mA. The center wavelength is 1.3283 um.

근(  $I_b = 31$  mA)에서 구동되는 레이저의 발진파장은 1.3282  $\mu$ m이며 (그림 7a), 이 파장은 레이저 제작시 설계한 파장인 1.31  $\mu$ m와 거의 일치함을 확인할수 있다. 그림 7에서 bias 전류가 증가함에 따라서 chirping이 커짐을 볼수 있다. 이와같은 chirping은 광펄스에 대한 이득의 포

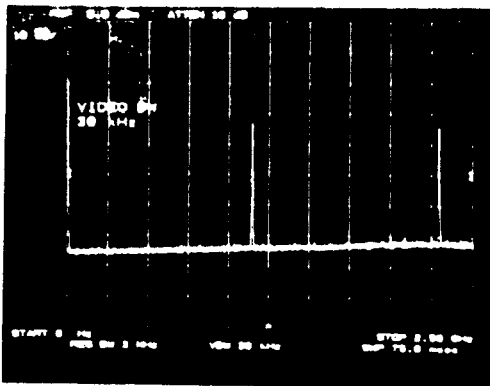
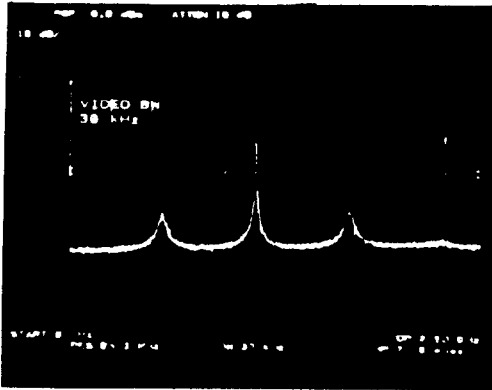
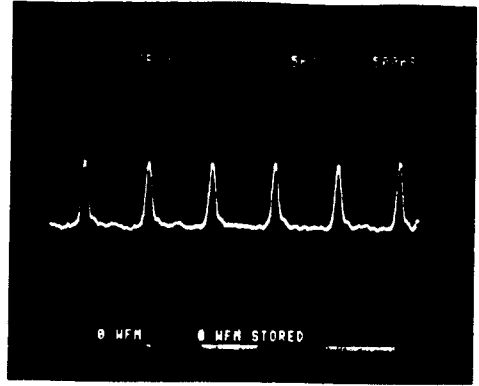
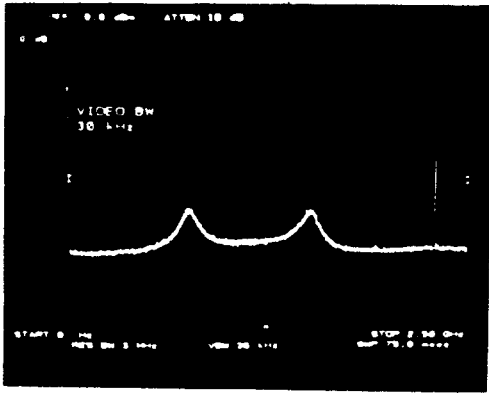


Fig.8 RF spectrum of optical output in absorption DFB laser with 2.3 GHz and 40 mA step pulse. Applying bias current of (a) 33 mA, (b) 37 mA, (c) 40 mA shows period 3, period 4, and period doubling phenomena.

Fig.9 Waveform of period doubling. Modulation of 2.3 GHz with 42 mA DC and 40 mA step pulse was applied.

화효과에 기인하며, [1] 가 기밀한 것은 본 연구의 광펄스의 경우도 이와 유사하다. 또한 주입전류가 증가할수록 이득 포화가 커지므로 chirping은 증가하며 이는 본 실험의 관찰과 일치한다.

그림 8은 2.30 GHz 및 40 mA step pulse를 가할때 DC bias 전류의 변화에 따른 광출력의 RF 스펙트럼 사진이다. DC bias 전류를 증가시키면 따라서 혼돈상태가 일어나고 33 mA에 이르러 period 3가 생기며, 다시 혼돈상태를 지나 37 mA 에서 period 4를 거쳐서 40 mA 에서 스펙트럼의 대역폭이 매우 작은 period doubling에 이른다. 그림 9는 period doubling의 시간에 대한 광출력 파형이며, 주파수가 안정함과 1 주기 내에 부가적인 펄스가 없는 100 ps 정도의 초단 광펄스가 발생되고 있음을 볼수있다. 이러한 흡수격자 DFB 레이저의 혼돈상태를 이해하기 위해서는 흡수격자 DFB 레이저 모델의 정립과 이론적 접근이 요구된다. 그림 10은 본 연구의 absorption DFB레이저로 얻어진 60 ps 정도의 펄스폭을 갖는 초단 광펄스를 streak camera로 찍은

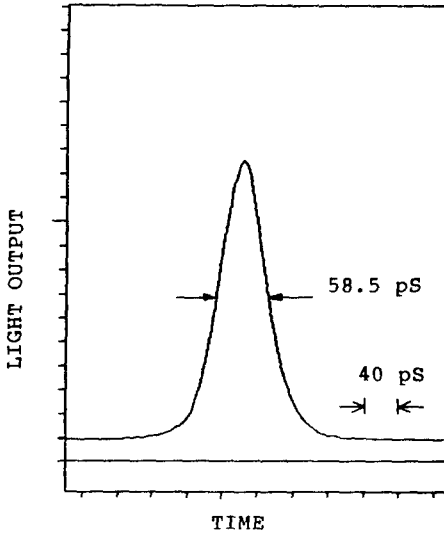


Fig.10 Streak camera trace of short optical pulse in period doubling.

하였으며 그 동작특성을 조사한 결과를 요약하면, (1) DC 전류 구동시 자기발진을 일으키며, (2) 자기발진은 relaxation oscillation과 거의 유사하며, (3) AC 전류구동시 혼돈상태, 주기 2, 주기 3, 및 주기 4 등의 비선형 효과를 관찰하였으며, (4) 주기 2의 경우는 주파수가 안정하고 1 주기 내에 부가펄스가 없는 100 ps 이하의 초단 광펄스가 생성을 확인했다.

본 실험에서는 58.5 ps 정도의 초단 광펄스를 얻었으며, 흡수격자 DFB의 이론적 연구를 통해 레이저 구조의 최적화 그리고 최적 동작조건 하에서 최소펄스의 폭은 더욱 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 또한 이같은 레이저의 고속 TDM 방식 광통신에 응용을 제시한다.

참고문헌

- [1] H. Kogelnik and C. V. Shank, *J. Appl. Phys.* 43, 2327(1972).
- [2] Y. Luo, Y. Nakano, K. Tada, T. Inoue, H. Hosomatsu, and H. Iwawaka, *IOOC 89'*, 20PDB2(1989).
- [3] Herbert G. Winful and Gene D. Cooperman *Appl. Phys. Lett.* 40(4), 298(1982).
- [4] Chang-Hee Lee, Tae-Hoon, and Sang-Yung Shin, *Appl. Phys. Lett.* 46(1) 95(1985).
- [5] Govind P. Agrawal, *Appl. Phys. Lett.* 49 (16), 1013(1986).
- [6] Niels H. Jensen, P. L. Christiansen and O. Skovgaard, *IEE Proc.* 135, 285(1988).
- [7] Fumio Koyama and Yasuharu Suematsu, *IEEE J. Quant. Elect.* QE-42, 292(1985).