

파장가변 Mode-locked 레이저의 side-mode 억제 Side-mode suppression of wavelength tunable actively mode-locked laser

조용상*, 최우영
연세대학교 전기·전자 공학과

00

Abstract

Side-mode suppression ratio of the wavelength tunable actively mode-locked Fabry-Perot laser with chirped fiber bragg grating as an external cavity is investigated with numerical analysis. It is observed that the side-mode suppression ratio (SMSR) is strongly affected by the facet reflectivity between the laser and the external cavity.

Introduction

파장 변환기는 WDM (wavelength division multiplexing) 시스템에서 wavelength relocation 을 가능하게 하여 시스템의 유연성과 효율성을 향상시킨다는 측면에서 매우 중요한 기능을 갖는다. WDM 시스템의 채널의 수가 점차 증가함에 따라 채널의 간격이 100 GHz 에 이르고 있으며 향후 더욱 조밀해 질것이다 [1]. 이러한 DWDM (Dense WDM) 시스템에서 사용될 수 있는 파장변환기는 100 GHz 단위의 파장변환 기능과 광대역 가변 변위가 필수적이다.

일반적으로 사용되는 파장 변환기의 종류로는 반도체 광증폭기의 비선형성을 이용한 방법과 interferometric 기술 등이 있으나 이 방법들은 다 채널 스위칭이 원칙적으로 불가능하다. 이러한 DWDM 시스템에 응용될 수 있는 파장가변기로는 그림 1 과 같이 CFBG (Chirped Fiber Bragg Grating) 을 외부 공진기로 하는 mode-locked 레이저가 있다 [2-3].

외부 공진기 구조를 갖는 레이저는 공진 주파수와 일치하거나 그의 정수배에 해당되는 RF 변조에 의해 레이저 공진모드가 동기가 되는 mode-lock 현상을 보인다. 이 때, 외부 공진기로 CFBG 을 이용하면 레이저의 발진 모드간의 파장차이에 의한 모드간 공진 주기의 차이가 발생한다. 여러 개의 발진 모드들 중 임의의 공진 모드에 일치되는 RF 변조로 단일모드 발진을 구현할 수 있다. 파장 변환은 RF 변조 주파수의 변화에 의해 mode-lock 되는 발진모드가 정해지는 원리를 이용한 것이다 [3].

Structure and Model of two-mode external cavity laser

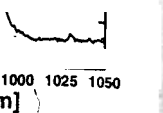
본 연구에서는 그림 1 에 나타낸 레이저 구조를 외부 공진기에서 레이저로 반사 주입되는 strong optical injection 을 고려한 multi-mode rate-equation 을 통해 해석하였다. 외부 공진기로부터 반사되는 time-delayed feedback 은 식 (1)과 같이 주어지는 시간과 주파수에 따른 외부 공진기의 feedback parameter 로 나타낼 수 있다[4].

$$f_o = 1 + \frac{r_g}{\sqrt{R_2}} (1 - R_2) \sum_k \sqrt{\frac{I(t-k \cdot \tau_{ext})}{I(t)}} (-\sqrt{R_2} \cdot r_g)^{k-1} \times \exp[-j\omega k \cdot \tau_{ext} + j(\varphi(t-k \cdot \tau_{ext}) - \varphi(t))] \quad (1)$$

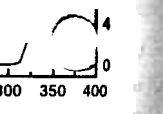
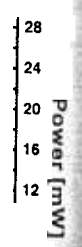
R_2 , r_g 는 각각 외부 공진기를 향한 LD 반사면의 반사율과 CFBG 의 반사율, C 는 광섬유와 LD 의 결합상수, τ_{ext} 는 외부 공진기의 round-trip time, k 은 정수이다. $I(t)$ 와 $\varphi(t)$ 는 각각 공진기 내의 시간에 따른 빛의 세기와 위상을 나타낸다. 레이저의 파장변환을 위한 변조 주파수는 공진기 외 길이로부터 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$f_{RF} = \frac{mc}{2n_g L(f_{RF})} \quad (2)$$

위에서 m 은 공진주파수의 고조파 차수, c 는 빛의 속도, $L(f_{RF})$ 는 공진기의 길이, n_g 는 광섬유의 유효 굴절률이다. Chirp to length ratio 가 10 nm/cm 인 CFBG 를 가정했을 때, 파장 간격이 0.8 nm 인 Fabry-Perot 모드 간에는 800 μ m 의 공진기 길이 차이가 생기게 되어 약 8.105 ps 의 round-trip time 차이가 발생한다. 길이가 6 m 인 공진기는 166.7 MHz 의 공진주파수를 가지므로 이 공진 주파수와 일치 하는 Fabry-Perot LD 의 모드가 존재한다면, 이 모드는 공진 주파수의 15 번째 고조파 성분인 2.5005 GHz 변조에 의해 mode-lock 될 수 있다. 파장 변환을 위해서 변조 주파수를 Fabry-Perot 모드간 round-trip time 차이에 해당 되는 주파수로 옮기면 lock 된 모드가 mode-hopping 에 의해 다른 파장의 모드로 스위칭 된다.



구조의 상온 PL



s MQW 릿지 도
에서 측정된 I-V

L.Reekie,
12-14(1989)
S.J.Pearson,
Photon. Technol.

Xu, J.M.Zhang,
12-1313(1998)
Appl. Phys.

Results

그림 2는 $\lambda_p=1554.4$ nm 인 모드 p 와 $\lambda_q=1553.6$ nm 인 모드 q 의 출력을 시간영역에서 나타낸 그림이다. 이 때 LD의 bias는 임계전류의 1.52 배이며 RF 변조는 2.5005 GHz에서 10 dBm이다. 그림에서 변조 주파수의 harmonic 조건을 만족하는 모드 p 의 출력이 모드 q 의 출력보다 매우 크다는 것을 확인 할 수 있다.

그림 3은 변조 주파수를 모드 q 의 공진 주파수와 고조파 성분인 2.4971 GHz로 옮겼을 때의 출력 파형을 시간 영역에서 나타낸 그림이다. 그림 2의 결과와는 대조적으로 모드 q 의 출력이 모드 p 보다 크게 증가 했음을 확인할 수 있다.

그림 1에 나타낸 레이저 구조에서의 SMSR이 R_2 의 변화에 의해 받는 영향을 그림 4에 나타내었다. R_2 가 커질수록 SMSR이 향상됨을 확인할 수 있다. 이는 R_2 가 증가함에 따라 인가된 주파수에 일치되는 외부 공진 모드의 coherency가 향상되기 때문이다.

결론적으로, CFBG 외부 공진기 구조를 갖는 Fabry-Perot LD에서 RF 변조 주파수 tuning을 통해 longitudinal-mode switching을 시키며 동시에 100GHz 단위의 파장변환이 가능함을 시판대이선을 통해 확인하였고 Fabry-Perot 모드간 SMSR은 R_2 가 클수록 향상됨을 확인할 수 있다.

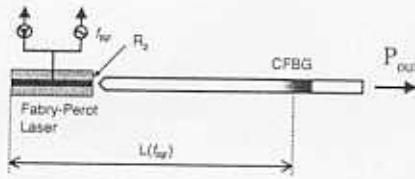


그림 1. CFBG 외부 공진기 레이저의 구조

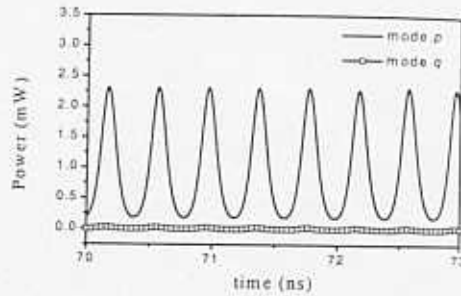


그림 2. 모드 p 의 고조파 성분인 2.5005 GHz로 변조해 주었을 때의 external cavity 레이저의 출력파형

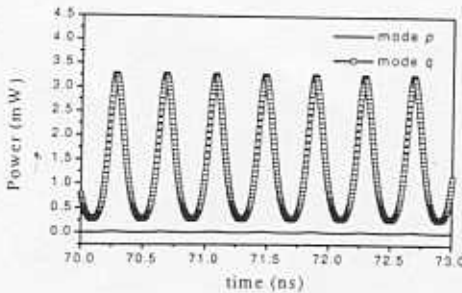


그림 3. 모드 q 의 고조파 성분인 2.4971 GHz로 변조해 주었을 때의 external cavity 레이저의 출력파형

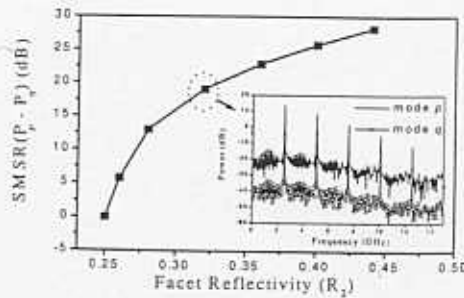


그림 4. R_2 의 변화에 따른 그림 1에 나타낸 레이저구조에서의 SMSR 변화

Reference

- [1] S. V. Kartalopoulos, Introduction to DWDM Technology.
- [2] P. A. Morton, et al., IEEE PTL, vol. 7, pp. 111, 1995.
- [3] H. Ding, et al., IEEE PTL, vol. 9, pp. 901, 1997.
- [4] J. Park, et al., IEEE QE26, pp. 1353, 1990.