

Chirped Grating 을 이용한 Fabry-Perot 레이저의 파장변환에 관한 연구  
Wavelength conversion in a Fabry-Perot laser diode  
with feedback from fiber chirped grating

조용상, 최우영

연세대학교 전기·컴퓨터 공학과

Abstract

Wavelength conversion in a Fabry-Perot laser diode with feedback from chirped fiber Bragg grating is investigated through the multi-mode rate equation analysis. It is numerically demonstrated that the wavelength conversion both in the time and the frequency domain is possible.

파장 변환기는 WDM(wavelength division multiplexing) 시스템의 wavelength relocation 을 가능하게 하여 시스템의 유연성과 효율을 향상시킨다는 측면에서 매우 중요하다. WDM 시스템의 채널의 수가 점차 증가함에 따라 채널의 간격이 현재 100 GHz 에 이르고 있으며 앞으로 더욱 줄어들 전망이다[1]. 이러한 시스템에서 사용될 수 있는 파장변환기는 100 GHz 단위의 파장변환 기능과 많은 수의 채널을 스위칭 하기 위한 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 문제를 보완할 수 있는 방법으로 그림 1 과 같이 CFBG(Chirped Fiber Bragg Grating)을 외부 공진기로 하는 Fabry-Perot LD 를 이용할 수 있다[2-3].

외부 공진기 구조를 갖는 LD 는 공진 주파수와 일치하는 변조에 의해 mode-lock 현상을 보인다. 또한, CFBG 에서 빛이 반사되는 위치는 파장에 의해 달라지므로 이를 이용해 RF 주파수 변조에 의한 Fabry-Perot LD 의 longitudinal-mode 스위칭을 구현할 수 있다[3].

본 연구에서는 그림 1 의 파장 변환기를 외부 공진기를 고려한 multi-mode rate-equation 을 통해 해석하였다. 외부 공진기로부터 반사되는 time-delayed feedback 은 다음과 같이 주어지는 시간에 따른 외부 공진기의 유효 반사 계수로 나타낼 수 있다[4]. (1)

$$r_{eff} = r_2 - \sum_{m=1}^{\infty} r_2 C \frac{E_0(t - k\tau_{ext})}{E_0(t)} \exp(j[\varphi(t - k\tau_{ext}) - \varphi(t)]) \}$$

$r_2$  는 외부 공진기를 향한 LD 반사면의 반사율,  $C$  는 CFBG 과 LD 의 결합상수,  $\tau_{ext}$  는 외부 공진기의 round-trip time,  $k$  은 정수이다.  $E_0(t)$  와  $\varphi(t)$  는 각각 공진기 내의 시간에 따른 전계와 위상을 나타낸다

변조 주파수는 공진기의 길이로부터 다음과 같은 관계를 갖는다.

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

위에서  $m$  은 공진주파수의 고조파 차수,  $c$  는 빛의 속도,  $L$  은 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  $\mu$ m 의 공진기 길이 차이가 생기게 되어 약 8.105 ps 의 round-trip time 차이가 발생한다. 길이가 1.184 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 번 째 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.

그림 2 은  $\lambda_p=1554.4$  nm 인 모드  $p$  와  $\lambda_q=1553.6$  nm 인 모드  $q$  의 출력을 시간영역에서 나타낸 그림이다. 이 때 LD 의 bias 는 임계 전류의 2 배이며 RF 변조는 2.5005 GHz 에서 4dBm power 가 주입되었다. 그림에서 변조 주파수의 subharmonic 조건을 만족하는 모드  $p$  의 출력이 모드  $q$  의 출력보다 매우 크다는 것을 확인 할 수 있다.

그림 3은 그림 2의 결과를 주파수 상에서 도시한 그림이다. 모드  $p$ 가 갖는 주파수 성분은 공진주파수의 고조파 성분인 2.5005 GHz의 정수배 주파수 성분들은  $q$ 보다 크게 나타났다.

그림 4는 LD의 변조 주파수를 모드  $q$ 의 공진 주파수의 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 증가했음을 확인할 수 있다.

그림 5는 그림 4의 결과를 주파수 상에서 나타낸 그림이다. 모드  $q$ 가 갖는 변조 주파수의 고조파 성분이 모드  $p$ 보다 크다는 것을 확인할 수 있다.

결론적으로, CFBG 외부 공진기 구조를 갖는 Fabry-Perot LD에서 RF 변조 주파수 tuning을 통해 longitudinal-mode switching을 시키며 동시에 100GHz 단위의 파장변환이 가능함을 확인하였다.

앞으로의 연구 방향은 위의 파장 변환기에 injection-locking 기술을 적용하여 전광 파장변환을 구현하는 연구가 될 것이다.

참고문헌

- [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, 99, 901, 1997.
- [4] J.Park, et al., IEEE QE26, pp. 1353, 1990.

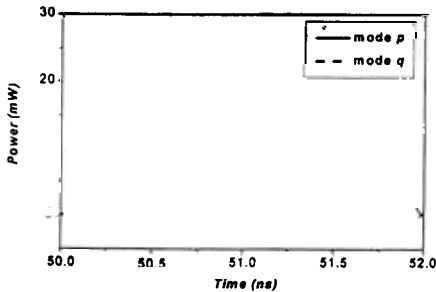


그림 2. 모드  $p$ 의 고조파 성분인 2.5005 GHz로 변조해 주었을 때의 external cavity 레이저의 출력파형

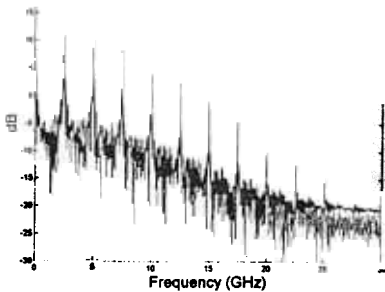


그림 3. 모드  $p$ 의 고조파 성분인 2.5005 GHz로 변조해 주었을 때의 스펙트럼. 가는 선이 모드  $p$  굵은 선이 모드  $q$ 의 스펙트럼

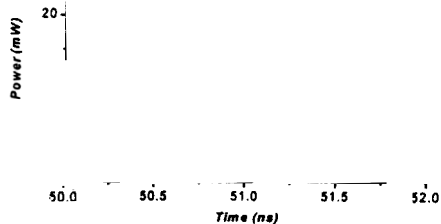


그림 4. 모드  $q$ 의 고조파 성분인 2.4971 GHz로 변조해 주었을 때의 external cavity 레이저의 출력파형

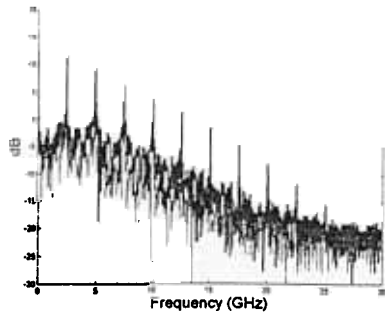


그림 5. 모드  $q$ 의 고조파 성분인 2.4971 GHz로 변조해 주었을 때의 스펙트럼. 가는 선이 모드  $p$  굵은 선이 모드  $q$ 의 스펙트럼