

DWDM 송신을 위한 파장안정화 고출력 DFB LD Module

김종덕 · 이희태 · 박경현 · 송민규

한국전자통신연구원 회로소자기술연구소 화합물반도체부

강승규

(주) XL 광통신

(2000년 5월 9일 받음, 2000년 6월 9일 수정본 받음)

DWDM 시스템에서 외부광변조기와 함께 증장거리 전송을 위한 광원으로 사용이 가능한 파장안정화 고출력 CW DFB 레이저 모듈을 설계 및 제작하였다. 얇은 두께의 solid etalon과 PD array를 사용하여 단순하고 compact한 파장모니터 기능을 광원 모듈에 내장함으로써 DFB LD의 파장 변화를 감지 및 제어 할 수 있도록 하였다. 또한 높은 출력 특성을 가진 DFB LD와 43% 이상의 높은 광결합 효율을 가지는 모듈의 광학적 설계 및 packaging 기술을 활용하여 100 mA의 CW 전류인가 조건에서 13 mW의 고출력특성을 가지는 모듈을 제작하여 그 특성을 분석하였다.

OCIS codes : 130.0130, 250.0250.

I. 서 론

최근 인터넷에 의한 멀티미디어 정보 수요의 급증으로 인하여 대용량 고속광통신을 위한 DWDM 기술에 많은 노력들이 집중되고 있다. 테라비트급의 대용량 데이터 전송을 위한 DWDM 시스템에서 가장 중요한 문제는 채널간의 주파수 간격과 각 채널의 속도에 관한 것이다.

채널간 주파수 간격은 현재 200 GHz(1.6 nm)에서 100 GHz(0.8 nm), 50 GHz(0.4 nm)로 점점 좁혀지고 있으며, 이에 따라 각 채널 주파수의 drift, uncertainty에 의한 이웃 채널간의 cross-talk의 방지를 위한 파장의 정확성과 안정성이 매우 중요하게 되었다. 실제, 온도와 출력을 일정하게 유지하는 경우에서 DFB LD의 파장은 aging에 따라 최고 수십 GHz까지 이동하므로,^[1] 광원의 효율적인 파장 제어는 DWDM 시스템의 신뢰성과 직결된다.

광원의 파장안정화 기술은 채널간의 cross-talk 문제를 해결하기 위한 효과적인 방법으로 기존의 기술로는 atomic or molecular references에 laser frequency를 locking하는 기술과 crystal grating, fiber grating과 같이 grating을 사용한 기술,^[2] Fabry-Perot,^[3,4] ring, Mach-Zehnder와 같은 optical resonators를 사용하는 등의 다양한 기술이 있다. 지금까지 grating이나 F-P filters를 사용한 다양한 형태의 외장형 파장안정화 모듈이 사용되고 있으나, 현재는 비용절감 및 신뢰성 향상을 위하여 레이저 모듈에 내장된 형태의 파장안정화 기술이 개발되고 있다.^[4] 이러한 파장안정화 기술은 CW 광원모듈에 내장되어 10 Gbps, 40 Gbps급의 lithium niobate modulator와 함께 사용되거나, 2.5 Gbps, 10 Gbps급 EMLD 모듈에 내장되어 고속으로 동작하는 DWDM 시스템의 파장안정성과 신뢰성을 보장한다.

따라서 DWDM에서 채널간격과 전송속도를 동시에 고려하였을 때 파장안정화 기능을 내장한 고출력 CW DFB LD 모

듈은 외부변조기와 함께 채널간 주파수 간격이 100 GHz이하인 테라비트 DWDM 시스템 구현을 위한 광원으로 효과적으로 사용될 수 있다.

II. 파장 안정화를 위한 기본구조 및 동작 원리

F-P filter는 광원의 파장 변화를 감지하기 위하여 가장 일반적으로 사용되는 수단이다. 본 논문에서는 bulk glass의 양면이 동일한 부분 반사율을 갖도록 coating한 solid etalon을 사용하고, DFB 레이저다이오드의 후면부의 빔이 Etalon을 투과할 경우에 입사각도와 파장에 따라 투과율이 다른 특성을 이용하여 레이저다이오드의 파장변화를 두 개의 photodiode의 광전류로 감지하는 방법을 사용하였다. 감지된 광전류 신호는 외부의 파장제어 회로에서 증폭되고, 다시 비교기에 의해 두 신호의 차가 영보다 크거나 작을 경우 DFB LD 모듈의 TEC의 전류를 제어하여 파장을 변화시켜 다시 두 photodiode의 광전류 차이가 영이 되도록 함으로써 레이저 다이오드의 파장을 특정 값에 고정한다. 그림 1은 파장안정화 CW LD 모듈이 외부의 제어회로에 의해 파장 및 출력이 제어되고 외부 광변조기와 결합되는 방법을 보인다.

파장선택성을 가지는 F-P filter들 중에서 solid etalon은 제

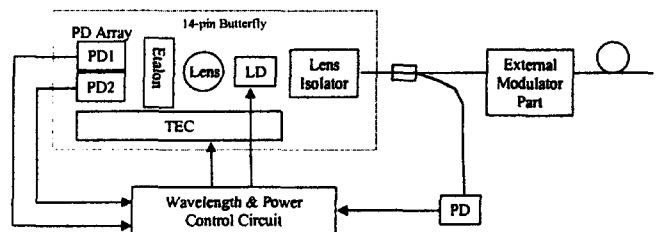


그림 1. 파장안정화를 위한 회로 구성 및 개념도.

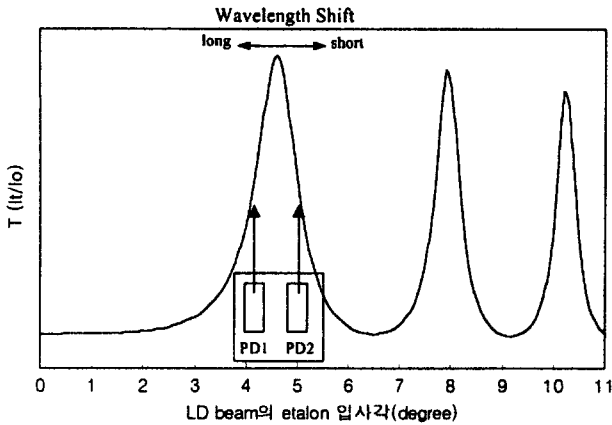


그림 2. LD빔의 Etalon 투과특성 및 파장모니터 개념도.

작 및 취급이 간단하며, 무엇보다 제작비용이 저렴한 장점을 가진다. 양면의 반사율이 각각 r_1, r_2 인 Etalon의 free spectral range(ν_F)는 glass의 굴절률과 두께(d), 그리고 빔의 입사각(θ_i)에 의해 결정되고, 파장선택특성은 free spectral range(ν_F)와 finesse(F)에 의존한다. 즉,

$$\nu_F = \frac{c}{2n_f d \cos(\theta_i)}$$

$$(\delta\nu)_{FWHM} = \frac{2\nu_F}{\pi} \sin^{-1}\left(\frac{\pi}{2F}\right)$$

$$F = \frac{\pi(r_1 r_2)^{1/2}}{(1 - r_1 r_2)}$$

비교적 큰 발산각을 가지는 단일 파장 DFB LD의 가우시안 레이저빔에 대하여 Etalon의 투과 특성은 특정파장에서 순전히 입사각에 의존한다. 이때 입사각에 대한 transmission peak들의 간격은 free spectral range에 의존하며, 각 peak의 FWHM의 크기는 finesse에 의존한다.

그림 2는 180 μm 의 두께와 1.507의 굴절률을 가지는 solid etalon에 대하여 1550.916 nm의 파장을 가지는 레이저빔의 계산된 투과 특성과 파장변화를 감지하기 위한 두 개의 PD를 정렬하는 방법을 설명하는 개략도이다. PD 1, 2를 각각 입사각에 대한 첫 번째 transmission peak의 FWHM 근처에서 동일한 광전류를 가지도록 정렬할 수 있다면, 온도, 전류, aging 등의 원인에 의하여 LD 빔의 파장 변화가 생겨날 경우 이들 두 PD의 광전류 차이로 감지할 수가 있다.

III. 모듈 제작 및 특성

3.1. 모듈의 제작

모듈의 제작은 heat sink mount 위에 본딩된 LD를 chip thermistor와 함께 TEC에 탑재하고 laser welding기술을 이용하여 lens와 fiber pigtail을 14-pin butterfly package에 광학적으로 정렬 고정하는 1단계 과정, LD 후면부에 lens와 Etalon 및 PD를 광학적으로 정렬하는 2단계과정으로 수행되

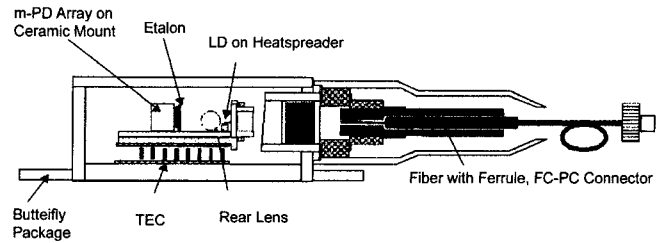


그림 3. 파장안정화 고출력 CW LD 모듈의 개략도.

었다. 그림 3에 파장안정화 기능을 내장한 CW LD 모듈의 개략도를 보였다.

고출력 CW LD로 사용하기 위하여 LD에 약 100 mA정도의 높은 전류를 주입하여야 하므로 5.6 W급의 고용량 TEC를 사용하였으며, optical isolator를 사용하여 fiber pigtail로부터 LD로의 광과환이 35 dB이하가 되도록 설계하였다.

파장모니터기능을 집적하기 위한 2단계 공정에서는 두께가 얇은 Etalon을 효과적으로 제어하고, 제작 공정을 단순화하기 위하여 세라믹 마운트 위에 PD array를 본딩하고, 그 위에 Etalon을 PD 표면과 수평이 되도록 부착함으로써 PD array 및 Etalon block(이하 PD block)을 제작하였다.

그림 4에서 보인바와 같이 PD block을 조립하기에 앞서 제작된 butterfly 모듈은 LD driver와 TEC controller에 의해 10dBm이상의 출력조건에서 ITU-T 기준에 정확히 일치하는 파장이 되도록 온도와 전류를 제어한다. PD block은 photocurrent를 모니터링하면서 모듈의 LD 후면부에 XYZ 및 θ stage를 사용하여 제2장에서 설명한 특성이 나오도록 정렬하고 epoxy를 사용하여 고정한다.

Etalon은 굴절률이 1.50695이고 두께가 180 μm 인 glass의 양면에 1550 nm 파장에서 $50 \pm 3\%$ 의 반사율을 갖도록 제작하였다. Etalon의 제작 시에 단일 파장 안정화를 위한 파장 선택성 및 일정 세기를 보장받을 수 있는 PD의 크기를 감안하여, solid etalon의 두께는 가능한 얇은 것을 사용함으로써 4 nm 이상의 큰 free spectral range 값을 갖도록 하였다. 또한 transmission peak의 FWHM의 크기는 PD의 크기 및 광학적 정렬 오차등을 고려하여 결정하여야 하며, 본 논문에서는 LD 후면부의 약한 출력세기를 고려하여 PD가 충분한 크기의 감지세기를 보장하도록 설계하였다.

그림 5는 제작된 Etalon의 투과특성을 측정하는 것으로, 광섬

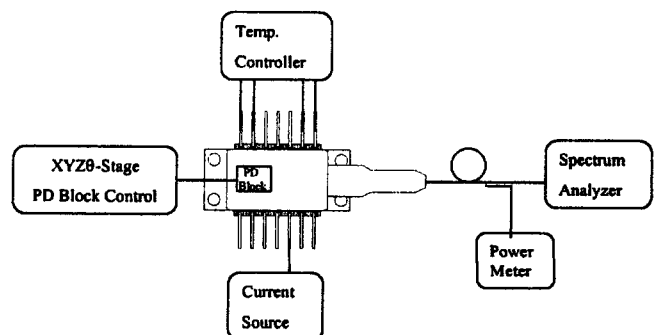


그림 4. 파장모니터 기능 집적을 위한 조립 설명도.

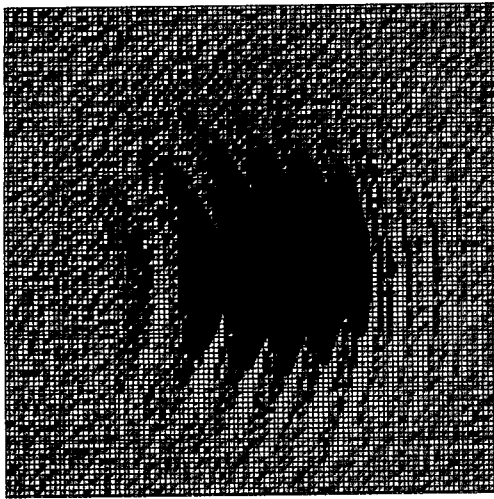


그림 5. etalon을 투과한 레이저빔의 2차원 세기분포.

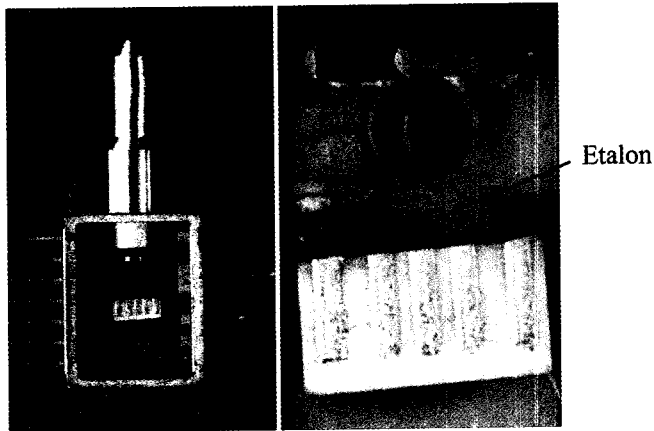


그림 6. 제작된 파장안정화 고출력 CW LD 모듈의 사진.

유로부터의 가우시안 레이저빔의 중심이 Etalon에 약 20도의 각도로 입사하는 경우에 투과빔의 세기를 x-y평면 스캐닝한 사진이다. 가로 방향으로는 입사각에 대한 의존성에 의하여 여러개의 peaks을 형성하지만, 세로방향은 비교적 직선모양을 가지는 투과빔의 특성을 고려하여 PD를 직사각형 모양으로 제작하였다.

PD array는 각각 $50\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ 의 크기를 가지는 4개의 PD를 일정 간격을 가지도록 제작하고, PD block의 광정렬시에 빔의 투과 특성을 고려하여 적절한 두 개의 PD를 선별하여 PD 사이의 거리를 선택할 수 있도록 함으로써 파장안정화 모듈의 제작을 용이하게 하였다. 또한 LD의 후면부에 ball lens를 사용함으로써 레이저빔의 방사각을 제어하여 보다 효율적인 파장 모니터가 가능하도록 하였다.

그림 6은 14-pin butterfly package에 fiber pigtail된 모듈의 사진과 이에 내장된 LD 및 파장모니터를 위한 PD block의 세부 사진을 보인다.

3.2. 모듈의 특성

제작된 모듈의 출력 특성을 평가하기 위하여 TEC

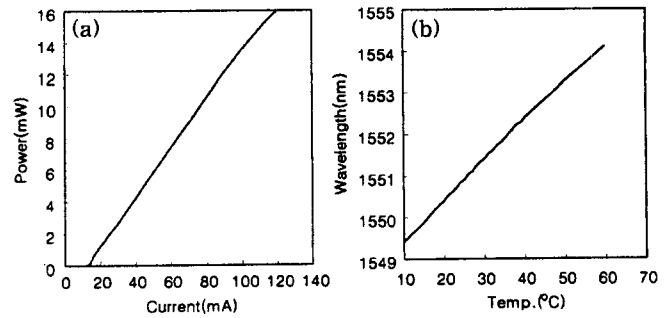


그림 7. (a) 모듈의 전류-출력(I-L) 특성 그래프, (b) 모듈의 온도-파장 특성 그래프.

controller에 의해 25°C 온도조건에서 I-L 특성을 측정하였다. 그림 7의 (a)에서 보는 것과 같이 CW 전류인가 조건에서 출력 세기는 120 mA까지 선형적으로 증가하며, 제작된 모듈의 전광변환효율은 0.155 mW/mA로 측정되었다. LD chip의 임계전류가 13.1 mA이었고, slope efficiency가 0.364 mW/mA이었음을 고려할 때 광 isolator를 삽입한 모듈의 광결합 효율은 약 43%로 계산된다. 또한 100 mA CW 전류인가조건에서 광출력은 13.5 mW이었다.

그림 7(b)는 100 mA의 CW 전류인가 조건에서 10°C로부터 60°C까지의 온도 변화에 따른 파장변화를 측정된 결과이다. 10°C로부터 40°C까지의 선형영역에서 파장변화의 기울기는 0.0993 nm/°C이었다. 사용된 스펙트럼 분석기는 Agilent 86120B로써 1550 nm에서 ± 0.005 nm의 최대오차를 가지며, display resolution은 0.001 nm이다.

모듈의 파장안정화 특성을 평가하기 위하여 온도를 변화시켜 LD의 파장 변화를 유도하고, 각각의 PD로부터의 광전류를 측정하여 비교하였다. 파장변화에 따라 short wavelength쪽의 PD는 1550.2 nm, Long wavelength쪽의 PD는 1551.4 nm에서 최대 출력을 갖는 봉우리를 형성하였다. 두 PD 출력의 교점, 즉 차이가 영이 되는 지점의 파장은 1550.915 nm으로써 목표한 ITU-T 규정 파장 1550.916 nm에 대하여 0.001 nm의

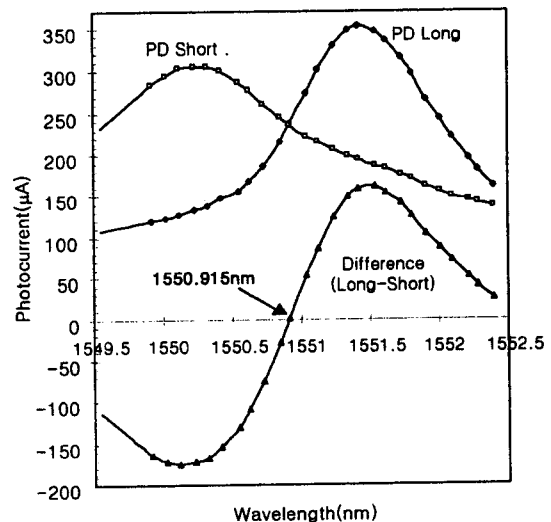


그림 8. 모듈의 파장 모니터 특성 그래프.

차이를 보였으며, 이것은 스펙트럼 분석기의 최대오차범위 내에 해당하는 값이다. 따라서 제작된 모듈의 파장모니터 특성은 계측기의 오차범위 ± 0.005 nm내의 정확도로 목표 파장을 감지할 수 있음을 나타낸다.

실제 모듈의 구동을 위하여 외부 제어회로에서 각 PD 신호를 증폭하는 과정에서 locking하고자하는 중심 파장의 위치는 어느 하나의 PD 신호를 더 많이 증폭하는 식의 방법에 의해 전기적으로 보정이 가능하며, 모듈에서 파장안정화 특성을 위하여 중요한 것은 파장 변화에 대한 광전류차이 변화량으로 이 값은 LD 파장변화에 따른 보정 속도를 결정하는 변수가 된다. 제작된 모듈의 경우 목표파장을 기준으로 ± 0.5 nm의 선형 영역에서 파장변화에 대한 광전류차이 변화는 $413.95 \mu\text{A}/\text{nm}$ 로 비교적 큰 값을 가졌다. 따라서 효율적인 외부 제어회로와 함께 사용된다면, 0.8 nm(100 GHz) 또는 0.4 nm(50 GHz) 파장 간격을 가지는 DWDM 시스템 구현을 위한 파장안정화 광원으로 사용될 수 있다.

IV. 결 론

DWDM 시스템에서 외부 광변조기와 함께 중장거리 전송용

광원으로 사용하기 위한 파장안정화 고출력 CW DFB 레이저 모듈이 설계 및 제작되었다. solid etalon의 입사각에 따른 파장 선택특성을 이용하여 DFB LD의 파장변화를 두 PD의 광전류로 감지하고 그 차가 영이 되도록 파장을 locking하는 방법으로 모든 ITU wavelengths의 파장 안정화에 적용 할 수 있는 경제적이고 compact한 파장안정화 내장형 광원모듈의 제작 방법을 개발하였다. 또한 높은 출력 특성을 가지는 LD를 사용하고, 43% 이상의 높은 광결합 효율을 가지는 모듈의 설계 및 제작 기술을 활용하여 고출력의 파장안정화 CW LD 모듈을 제작하였다.

참고문헌

- [1] Y.C. Chung, J. Jeong, and L. S. Cheng, IEEE Photon. Technol. Lett. **6**, 792 (1994).
- [2] Accuwave Application Note, "Wavelength locker," 1996.
- [3] Tim Munks, "Uniphase Application Note: Wavelength monitoring and control," Jan. 1998.
- [4] B. Villeneuve, H. B. Kim, M. Cyr and D. Garipey, LEOS Summer Stopical Meetings '97, paper WD2, p. 19, 1997.

Wavelength stabilized high power cw DFB laser module for DWDM transmission

J. D. Kim, H. T. Lee, K. H. Park, and M. K. Song

Compound Semiconductor Division, ETRI, Taejon 305-350, Korea

S. G. Kang

XL Photonics Inc. Taejon 305-333, Korea

(Received May 9, 2000, Revised manuscript received June 9, 2000)

A wavelength stabilized high power CW DFB LD module was designed and fabricated for use in externally modulated, Dense Wavelength Division Multiplex (DWDM) systems. A simple, compact wavelength monitoring technology using a thin solid Etalon and PD array assembly was developed for a low cost wavelength stabilized DFB LD module. Also, the excellent module have high power characteristic of 13.5 mW in CW 100 mA current injection with high optical coupling coefficient over 43%.

OCIS codes : 130.0130, 250.0250.