
수직 공진형 표면 발광 레이저용 광전송 모듈 개발

조경재* · 정준호* · 이재수*

Development of optical transmission module for VCSEL

Kyeng-Jai Cho* · Jun-Ho Jeong* · Jae-Su Lee*

본 연구는 2003년도 첨단벤처기업육성촉진지구 사업의 지원(03광-07-007)에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

요 약

최근 정보통신의 흐름은 사용자의 다양한 정보 욕구를 만족시키기 위한 통신 서비스의 개발에 주력하고 있다. 근거리망의 통신에 광송신 모듈은 850nm, 1310nm의 파장대역을 사용하며, 광원의 구조는 LD를 사용하였지만, 장파장 및 Gbps급에서는 데이터 처리 능력이 뛰어난 수직공진형 표면발광 레이저(Vertical Cavity Surface Emitting Laser : VCSEL)을 많이 사용한다.

본 연구에서는 기본적인 광특성을 분석한 후 GHz급 이상에서 동작이 가능하도록 광전송 모듈을 개발하고 펄스 패턴 발생기를 이용하여 2.5GHz, 3GHz에서의 전송 특성을 분석하였다.

ABSTRACT

The recent trend of information communication is to focus on improving communication services in order to satisfy the customer's desire for various information. Optical transducers of Local Area Network use 850nm or 1310nm among wavelength ranges and LD as a light source. However, Vertical Cavity Surface Emitting Laser(VCSEL) which is very excellent to deal with data processing is used at long wavelength or Gbps.

In this paper, after basic optical characteristics were introduced a optical transmission module was developed to be operated over GHz and its transmission characteristics were analyzed at 2.5GHz and 3GHz with pulse pattern generator.

키워드

VCSEL, 광모듈, PD, LD, Eye pattern

1. 서 론

최근 정보통신의 흐름은 사용자들의 다양한 정보에 대한 욕구를 충족시키기 위해서 통신서비스는 단일화, 고품질화, VOD(Video on Demand)로 통합된 멀티미디어 서비스 및 다양한 서비스가 통

합된 문화 콘텐츠 개발에 주력하고 있다.

대용량 광통신망에 있어서 능동소자로는 반도체 광원과 광섬유 광원을 이용한 전송이 주로 이루어지고 있다[1]. 최근에는 광섬유를 근거리 통신이나 FTTH(Fiber To The Home)등의 활성화로 인하여 수 Gbps 급으로 고속 데이터를 처리해야할 필요성

이 증가하게 되었다. 따라서 경제적이면서 중/장거리 및 고속·대용량으로 데이터 전송이 가능한 광원 즉, 반도체 레이저 기술개발의 중요성이 증대되고 있다. 지금까지의 광통신은 근거리 망(LAN)의 기술에 광통신 모듈은 850 nm, 1310 nm 대역을 사용하였으며, 광원의 구조는 Fabry-Perot 형태의 LD나 LED가 사용되었다. 그러나 장파장(1550 nm 대역)이나 Gbps 급 이상으로 데이터 처리나 변조 시, 수직 공진 표면발광 레이저(Vertical Cavity Surface Emitting Laser : VCSEL)을 이용한 광원이 경제성 및 전송거리, 대역폭 등의 뛰어난 특성 때문에 광 통신 소자로서 각광을 받고 있다.

본 연구에서는 기본적인 VCSEL 특성을 분석한 후 GHz급 이상에서 VCSEL이 동작 가능하도록 광전송 모듈을 개발하고, 펄스 패턴 발생기를 이용하여 2.5GHz, 3GHz에서의 전송 특성을 분석하였다.

II. 수직 공진 표면 발광 레이저(VCSEL)

수직 공진 표면 발광 레이저는 분포형 Bragg 반사경(Distributed Bragg Reflector : DBR)을 적용하여 레이저를 만드는 방식으로 빛은 기판표면에서 수직으로 방출하는 구조로 구성되어 있다. 또한 반도체 설계기술 및 제조기술의 혁신적인 발달로 인하여 광통신에 있어서도 매우 중요한 역할을 담당할 것으로 전망된다.

VCSEL의 구조는 표면 발광 레이저(Surface Emitting Laser : SEL)와 비슷하다. 그러나 SEL 방식은 반도체 레이저 공진기를 제조하는 단일 공정을 가지는 반면에, VCSEL의 경우는 SEL 구조에 에피 성장 방법을 사용하여 공진기를 수직으로 형성하고 두개의 긴 반사영역 사이에 좁은 활성층을 형성하는 방법을 사용한다.

그리고 활성층 밖의 반사경을 여러 층으로 제작하여 반사도를 높임으로서 회절격자의 역할을 하도록 구성 되어 있다[2][3]. 따라서 광출력은 그림 1과 같이 표면에서 수직 방향으로 방출되게 된다.

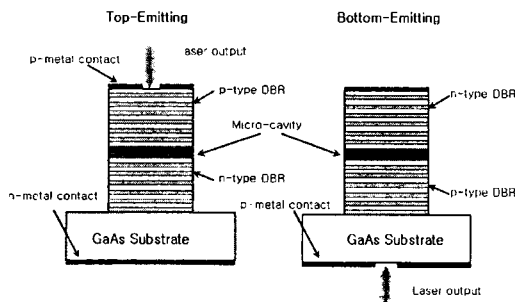


그림 1. VCSEL의 모식도
Fig. 1 Mimetic diagram of VCSEL

이런 구조들은 대부분 연속적인 반사영역을 가지기 위해서 에피성장을 하게 되며, $\lambda/4$ 파장판과 DBR 구조를 동시에 만들 수 있는 장점이 있다. 따라서 두개의 DBR 구조가 샌드위치 구조를 가질 경우, 여러 개의 양자 우물 구조에서 발진하는 다중 모드가 Bragg 격자 파장을 만족하는 하나의 중 모드만 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 출력되는 빛의 패턴이 원형이고 그 빛의 크기는 5~20 μm 정도로 단일모드 광섬유와도 결합 효율이 우수하다. 또한 VCSEL은 매우 작은 공진기 구조를 가지고 있기 때문에 수 mA 정도 전류로도 발진이 가능하며, 이러한 특성이 가능하게 된 것은 VCSEL이 DBR 구조로 되어있어 공진기의 길이가 매우 짧기 때문이다. DBR 구조에서 반사도는 다음과 같다[5].

$$R = \tanh^2 \left[m \ln \frac{n_1}{n_2} \right] \quad (1)$$

여기서 m은 반사 층의 layer의 개수, n_1, n_2 은 굴절 계수이다. 반사도를 이용하면 전체 양자우물 길이에 따른 반사경 사이의 손실을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\alpha_m = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_{up} R_{down}} \right) \quad (2)$$

(2)식에 공진기의 산란 손실(α_s)을 더하면 공진기 전체의 손실(α_c)을 얻을 수 있는데, 이 결과가 레이저의 이득과 같게 된다.

$$G_{th} = \alpha_c = \alpha_s + \alpha_m \quad (3)$$

따라서 이득을 최대치로 선형 근사 시키면 ($n_i = n_1 + n_2$)과 같이 표현되며, 소신호 이득은 다음과 같다.

$$G_{th} = \alpha_c = \alpha \left(\frac{n}{\Delta n_i} - 1 \right) \quad (4)$$

여기서 α 는 물질의 흡수계수이다. 공진기 내의 손실을 매질의 흡수계수로 나누면 레이저의 이득을 구할 수 있으며, carrier 밀도는 다음과 같이 표현 된다.

$$n = \Delta n_i \left(\frac{\alpha_c}{\alpha} + 1 \right) \quad (5)$$

레이저의 동작에서 광자의 비복사와 복사 수명은 다음 식(6)과 같다.

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr}} \quad (6)$$

여기서, τ 는 광자의 수명, τ_r 는 복사수명, 그리고 τ_{nr} 는 비복사 수명이다.

레이저 발진에 영향을 주는 항은 복사에 의한 재결합인데, 여기에는 자연 방출광과 유도 방출광이 존재하며, 실제 레이저로서 기여하는 것은 유도 방출이다.

식 (5)를 이용하여 문턱전류를 구하면 다음과 같다.

$$I_{th} = q \frac{n}{\tau} V_g = \frac{qv_g \Delta n_l}{\tau} \left(\frac{a_c}{a} + 1 \right) \quad (7)$$

일반적인 레이저는 광출력이 cleaving에 의해 형성된 절단면으로 나오는 반면에, VCSEL은 광출력이 표면으로 방출되므로 레이저의 패턴을 원형으로 조절할 수 있고, 2차원 배열을 용이하게 구현할 수 있는 장점이 있다. 또한 VCSEL은 아래쪽과 위쪽 DBR 거울사이에 활성층(active layer)을 포함되어 있어 단일 파장으로 발진 시킬 수 있다[5]. 개발 초기에는 DBR를 형성하는데 기술적인 어려움이 있었으나, 성장기술의 발달로 인하여 AlGaAs 계열의 DBR 기법을 이용하여 고효율, 저전류로 동작 가능한 VCSEL이 제작되고 있다. 현재 주로 사용되는 파장은 850 nm, 780 nm 이나 그 동작범위를 넓혀 광통신을 위한 1.3 μ m, 1.55 μ m VCSEL, 광 기록용의 650 nm, 450 nm VCSEL 등이 연구·개발되고 있다.

III. VCSEL 구동 회로

그림 2는 광 전송모듈의 개략도이다.

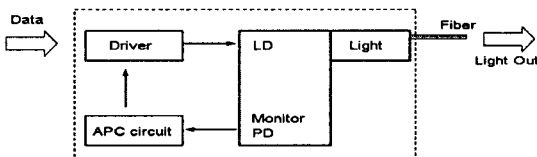


그림 2. 광 전송 모듈의 개념도
Fig. 2 Schematic diagram of optical Transmission module

본 연구에 사용된 레이저 다이오드를 구동시키기 위해 드라이버 및 자동출력 조절(APC : Auto Power Control)장치가 내장된 VITESSE 사의 VSC7939로서, 최대 3.125Gbps까지 데이터 전송이 가능한 제품을 사용하였다. 외부 저항에 의해 레이저 다이오드에 넓은 범위의 바이어스와 변조 전류를 설정할 수 있다. 자동 출력 조절 루프가 내장되어 있어 온도나 수명의 변화에 관계없이 일정한 광출력을 유지할 수 있도록 하였다. 다른 특성으로는 광·송신 조절기능의 ON/OFF, 입력 변조 및 바이어스로부터 회로의 단락되는 것을 보호, 그리고 APC회로 신호를 외부에서 모니터할 수 있도록 구성 하였다.

VCSEL array를 사용할 경우 신호의 전송 및 검출을 할 수 없기 때문에 LD와 PD를 1:1로 배열하고 신호를 전송하고 검출을 용이하게 하기 위해서 SMA connector를 두어 pulse pattern generator로 펄스파형을 변조하면서 실험할 수 있도록 기본적인 회로가 내장 되어 있다.

IV. 실험 및 고찰

본 연구에서는 VCSEL의 기본적인 광 특성을 광 스펙트럼 분석기로 분석하였고, 전송 시스템을 구성한 후 pulse pattern generator를 이용하여 2.5 Gb와 3.0 Gb를 실어 eye pattern을 관찰하였다.

4-1 VCSEL의 발진 특성 분석

VCSEL의 발진 특성을 측정하기 위해서 그림 3과 같이 구성하였다.

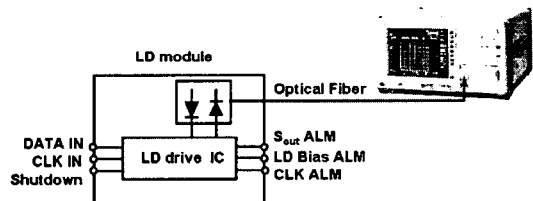


그림 3. VCSEL 발진 파장 측정 시스템
Fig. 3 VCSEL eruption wave length measurement system

제작된 VCSEL 구동 드라이버에 4mA 전류를 인가하였고, VCSEL의 발진 파장을 광 스펙트럼 분석기로 측정하였다.

그림 4는 VCSEL의 발진 특성을 나타내었다. 전

류 3mA로 가했을 때, 중심파장은 854.2 nm 이었고, peak점의 광출력은 약 -13.25 dBm(0.05 mW) 이었다. 제조회사의 규격보다는 약 5nm 정도 장파장 쪽으로 이동하였는데 이는 측정 시스템의 차이로 보인다.

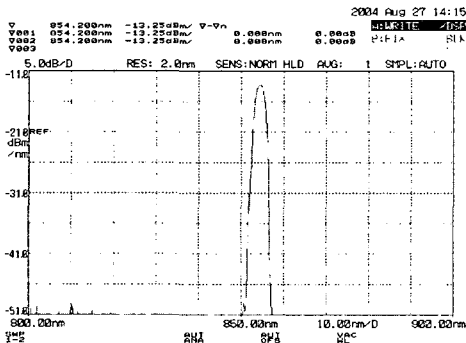
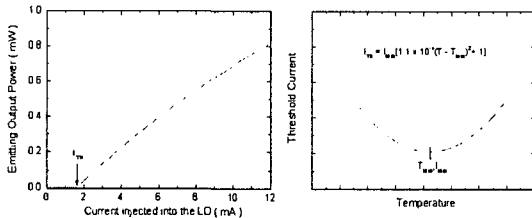


그림4. VCSEL의 발진 특성 곡선

Fig.4 Eruption characteristic curve of VCSEL

사용된 VCSEL을 APC 모듈을 이용하여 LD의 문턱전류를 측정하고, 전류를 광출력으로 변환시켜 그림 5와 같이 나타내었다. LD의 문턱 전류는 1.6mA이었고 30mA까지 전류를 가했을 때도 kink는 존재하지 않았다.



(a) 전류에 따른 광출력 (b) 온도특성
그림 5. LD의 광 특성

Fig. 5 Optical character of LD

또한 (b)에서처럼 낮은 문턱전류에서 VCSEL를 구동시키면서 온도 변화 특성을 분석하였다 온도 특성의 결과는 계산하여 VCSEL의 최적동작 조건을 찾기 위한 것으로, 본 실험에 사용한 VCSEL의 경우 -40~80 °C까지 문턱전류 및 광 출력특성은 변하지 않음을 알 수 있었다.

4-2 Eye pattern 측정

펄스 패턴 발생기에서 생성된 펄스를 SMA cable을 이용하여 RD+, RD- 단자에 신호를 입력하

였다. 광 모듈을 통해서 나온 LD 출력은 가변형 광 감쇠기를 통해서 빛의 양을 감쇠한 후 수신단으로 전송하였다.

Pulse pattern Generator를 이용하여 2.5 GHz, 3.0 GHz 주파수를 실어 전송 실험을 하였다. 사용된 VCSEL은 Optowell사의 2.5 Gbps 850 nm의 LC-TOSA 제품을 사용하였다. 소광비를 모두 50dB 이상으로 했으며, 바이어스 전류는 7 mA로 인가하였다.

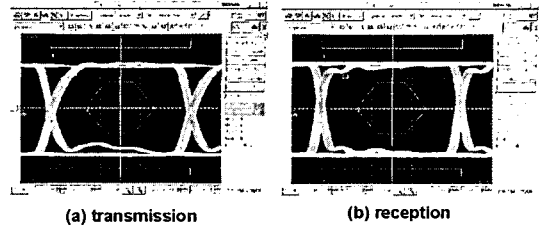


그림 6. 2.5 GHz 전송 실험 결과

Fig. 6. 2.5GHz transmission experiment result

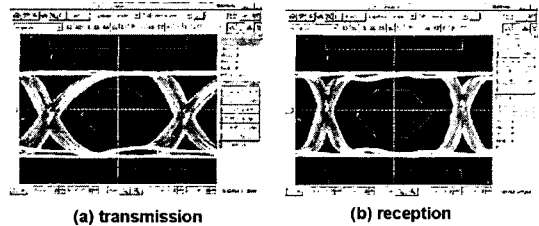
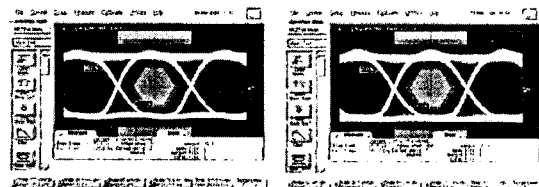


그림 7. 3.0 GHz 전송 실험 결과

Fig. 7 3GHz transmission experiment result

4-3 온도특성 측정

VCSEL를 온도 chamber에 넣고 -40°C ~85°C에 대해서 eye pattern을 측정하였다. 소광비를 모두 10 dB로 했으며, 바이어스 전류는 7 mA로 인가하였다. Data rate는 2.5 Gbps로 하였고, 입력신호는 2³¹ - 1 bit의 PRBS으로 하였다.



(a) -40°C (b) 85°C

그림 8. 온도에 따른 eye pattern
Fig 8. Eye pattern by temperature

실험결과 -40℃와 85℃에서는 약간 overshoot이 관측되었지만, eye pattern은 양호하였다.

V. 결 론

본 연구에서 VSC7939, VSC7959를 이용하여 VCSEL 구동 드라이버를 제작 하였으며, pulse pattern generator를 이용하여, 2.5 GHz, 3.0 GHz의 주파수를 실어 전송실험을 하였다. 전송 실험결과 2.5GHz 부근부터 eye pattern이 미세하게 overshoot, timing jitter 및 noise가 관찰되었다.

또한 2.5 GHz로 전송하면서 -40℃ 와 85℃부근에서 온도를 변화시킨 결과 미세하게 overshoot이 발생하였고, 그 밖의 온도 범위에서는 안정적으로 동작하였다. 신호를 전송하고 검출하기위한 SMA connector 부분과 VCSEL의 발진파장을 관찰 하기 위한 PD회로가 내장되어 있으며, 아직까지도 온도 변화에 따른 안정성은 다소 떨어지는 상태에 있다. 추후 이런 부분들을 개선하고 회로는 더욱더 소형화 되어야 하며, 온도 안정성을 높이기 위한 부품의 배치나 PCB 제작기술의 최적화가 요구된다.

개발된 각각의 VCSEL를 구동하는 회로로 1×12 array로 구성되어 있으며, 연구 개발된 회로를 기반으로 VCSEL array(1×n)를 구동시킬 수 있는 구동회로에 적용이 가능할 것이라 예상된다. 또한 현장에서는 고정적인 array보다는 가변적인, 예를 들면 1×4, 1×8, 1×12 등에 적용할 수 있는 구동회로의 수요가 많을 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] M. Born and E. Wolf, "Principles of Optics", Pergamon Press, New York, p 69(2000)
 [2] J. W. Scott, S. W. Corizne, D. B. Young, and L. A. Coldren, "Modeling the current to light characteristics of index-guided vertical-cavity surface-emitting lasers", Appl. Phys. Lett. 62(10), 1050-1052(1993)
 [3] W. W. Chow, K. D. Choquette, M. H. Crswford, K. L. Lear, and G. R. Hadley, "Design, fabrication, and performance of infrared and visible vertical-cavity surface-emitting lasers", IEEE J. Quantum.

Electron. 33, 1810-1824(1997)
 [4] Y. G. Ju, Y. H. Lee, H. K. Shin, and I. Kim, "Strong polarization selectivity in 780 nm vertical-cavity surface-emitting lasers grown on miss-oriented substrates", Appl. Phys. Lett. 71(6), 741-743 (1993)
 [5] Y. H. Lee, B. Tell, K. Brown-Goebeler, J. L. Jewell, and J. V. Hove, "Top-surface-emitting GaAs four-quantum-well lasers emitting at 0.85μm". Electron. Lett. 26(11), 710-711(1990)

저자소개



조경재(Kyeng-Jai Cho)

1995년 2월 동신대학교 전자공학(공학사)
 1997년 2월 동신대학교 대학원 전자공학(공학석사)
 2000년 8월 동신대학교 대학원 전기전자공학(공학박사)
 2004년 8월~현재 (주)골드텔 광기술연구소장
 ※관심분야 : 기계기구 설계, 광 트랜시버, 센서 펌프초 레이저



정준호(Jun-Ho Jeong)

2003년 2월 전남대학교 정보통신공학(공학사)
 2003년 3월~현재 (주)골드텔 광기술연구소 연구원
 ※관심분야 : 선로 시스템, 센서, 레이저



이재수(Jai-Su Lee)

2004년 현재 호남대학교 광전자공학부 재학중
 1992~1996 (주)대광통신공사 계장
 1996~1999 (주)건국통신공사 부장
 1999~2000 (주)동일정보통신 이사
 2000. 2~현재 (주)골드텔 대표이사
 ※관심분야 : 광통신 부품소자, 선로 시스템, 센서 레이저