

논문 2007-44SD-12-8

넓은 온도 범위에서 고정 구동전류로 동작하는 1.25 Gbps 850 nm 산화형 VCSEL 송신기의 특성

(Characteristics of an 1.25 Gbps 850 nm Oxide VCSEL Transmitter
Operating at Fixed Current over a Wide Temperature Range)

김태기*, 김태용*, 김상배**, 김성한***

(Taeki Kim, Taeyong Kim, Sang-Bae Kim, and Sunghan Kim)

요약

넓은 온도 범위에서 고정된 구동 전류로 동작하는 VCSEL(Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) 송신기의 저전류 동작 특성을 살펴보았다. 사용된 VCSEL은 산화형 850 nm 레이저로, d^2I_{th}/dT^2 값이 약 $1.346 \times 10^{-4} \text{ mA}/\text{C}^2$ 으로 문턱전류의 온도의 존성이 비교적 낮은 것이었으며, 데이터 속도는 1.25 Gbps였다. 칩 상태에서의 광출력-전류-전압을 측정하여 20°C에서의 광출력이 1 mW가 되는 전류를 on 전류로 설정한 후 -20°C에서 80°C의 온도 범위에서 20°C 간격으로 온도를 바꾸어가며 off 전류의 변화에 따른 turn-on 특성, turn-off 특성 그리고 eye-diagram을 관찰하였고 온도와 off 전류에 따라 eye-diagram에서 rise time, fall time, extinction ratio, timing jitter가 어떻게 변화하는지를 살펴보았다. 그 결과 최소 문턱전류보다 약 0.1~0.2 mA 정도 낮게 off 전류를 설정하면 -20°C에서 80°C의 온도 범위에서 off 전류와 on 전류를 변화시키지 않고 1.25 Gbps에서 송신기로 동작시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract

We have analyzed low current operation characteristics of a VCSEL transmitter operating at fixed current over wide temperature range. Used 850 nm oxide VCSEL has low temperature dependence of the threshold current and d^2I_{th}/dT^2 is approximately $1.346 \times 10^{-4} \text{ mA}/\text{C}^2$. We fixed on-current so that output power from the chip is 1 mW at 20°C and investigated the turn-on, turn-off characteristics and eye-diagram of the 850 nm oxide VCSEL transmitter with varying ambient temperature and off-current. We measured rise time, fall time, extinction ratio and timing jitter by changing the ambient temperature and off-current. With the fixed off-current of around 0.1~0.2 mA lower than the lowest threshold current the transmitter successfully operated at 1.25 Gbps over a wide temperature range from -20°C to 80°C.

Keywords: 수직 공진기 레이저 송신기, 고정 구동전류

I. 서론

LAN이나 optical interconnect 등의 다채널 고밀도 uncooled operation에 가장 적합한 광원으로 잘 알려져 있는 VCSEL(Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser)은 다른 소자들에 비하여 상대적으로 단순한 제

작공정, 낮은 문턱전류, 낮은 동작 전류 그리고 대량 생산 용이성으로 인한 생산 비용 절감 등 그 특유의 장점 때문에 21세기 광통신 시장을 이끌어갈 주역으로 성장해 가고 있다. 이러한 VCSEL을 냉각 장치를 사용하지 않는 LAN이나 optical interconnect 등에 신뢰성 있게 적용하기 위해서는 동작 가능한 온도 범위를 넓혀야 한다. 그렇지만 VCSEL은 온도가 증가함에 따라 peak gain이 줄어들고 최대 이득 파장이 장파장으로 이동하는 현상이 발생하여 문턱전류가 온도의 2차 함수 형태로 변화한다.^[1] 고속변조에서는 off 전류를 문턱전류보다 크게 해줌에 비추어, 이와 같은 문턱전류의 복잡한

* 학생회원, ** 정회원, 아주대학교 전자공학부
(Department of Electrical Eng., Ajou University)

*** 정회원, (주)씨티에스
(CTS Inc.)

접수일자: 2007년5월22일, 수정완료일: 2007년11월26일

온도 의존성은 송신기 회로의 복잡성을 높이고 안정성을 낮추는 원인이 된다.

한편, VCSEL이 휴대전화 등의 소형 멀티미디어 기기에 사용되기 위하여 갖추어야 할 필수 요건 중 하나가 저전력 소모인데, 이는 구동 회로의 구조를 간단히 하여 바이어스 및 변조 전류를 고정하고, 구동 전류의 크기를 최대한 낮춤으로써 얻을 수 있다.

이 논문에서는 1.25 Gbps 850 nm 산화형 VCSEL 송신기가 넓은 온도범위에서 고정된 구동전류로 동작할 수 있는지를 살펴보았다. 그 결과 d^2I_{th}/dT^2 값^[1]이 약 $1.346 \times 10^{-4} \text{ mA}/\text{C}^2$ 인 VCSEL 송신기를 이용하여 off 전류를 최소 문턱전류보다 0.1 mA ~ 0.2 mA 정도 낮게 설정하면 -20°C 부터 80°C 의 온도 범위에서 고정된 구동전류로 1.25 Gbps 동작이 가능하다는 것을 확인하였다.

II. 광출력-전류-전압 (L-I-V) 특성

이 연구에 사용된 송신기는 GaAs/AlGaAs 기반의 850 nm 산화형 VCSEL 칩을 pigtail 형태로 제작한 것이었다. 상온에서 측정된 송신기의 L-I-V 특성 곡선을 그림 1에 나타내었다. 이 송신기의 문턱전류는 0.64 mA 이고, 문턱전류와 동작전류 3 mA 사이의 평균 변환효율은 0.15 W/A이며 on 전류 3 mA에서의 동저항은 75.19 Ω이다. 상온에서 측정된 이 송신기의 L-I-V 특성 곡선을 보면 동작 전류가 1.5 mA 이상일 때부터 광출력이 불안정하게 증가하면서 포화되는 것을 알 수 있

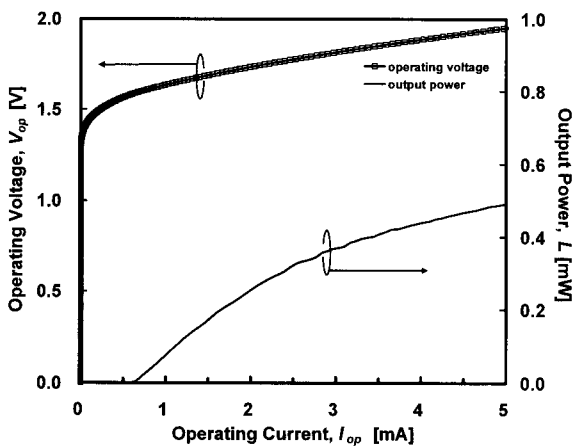


그림 1. 상온에서 측정된 850 nm 산화형 VCSEL 송신기의 L-I-V 특성

Fig. 1. L-I-V characteristics of a 850 nm oxide VCSEL transmitter measured at room temperature.

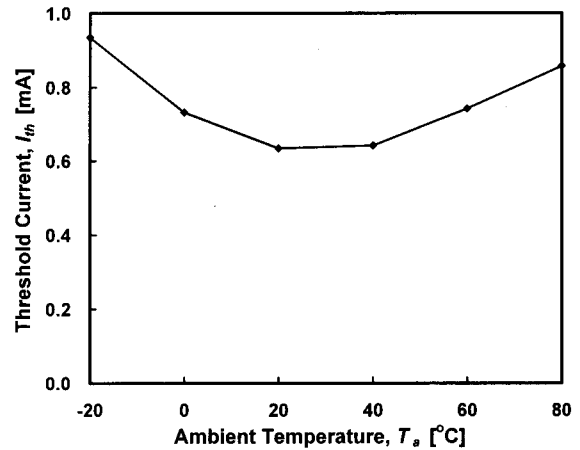


그림 2. 문턱전류의 온도 의존성

Fig. 2. Temperature dependence of the threshold current.

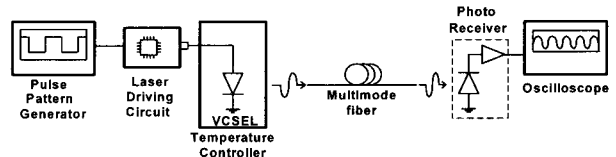


그림 3. 850 nm 산화형 VCSEL 송신기의 동특성 측정을 위한 실험 장치

Fig. 3. Experimental setup for measuring the dynamic characteristics of a 850 nm oxide VCSEL transmitter.

표 1. 온도에 따른 on 전류 3 mA에서 측정된 850 nm 산화형 VCSEL 송신기의 광출력

Table 1. Output power of the 850 nm oxide VCSEL transmitter measured at 3 mA depending on the ambient temperature.

온도	광출력
-20°C	301 μW
0°C	302 μW
20°C	298 μW
40°C	289 μW
60°C	280 μW
80°C	253 μW

는데 이것은 VCSEL과 광섬유간의 광결합 효율이 좋지 않아 모드 별 결합 효율이 다르고 반사된 빛이 레이저에 영향을 주었기 때문이다.^[3]

그림 2에는 -20°C 에서 80°C 온도 범위에서 20°C 간격으로 측정된 문턱전류의 온도 의존성을 나타내었다. 20°C 에서의 문턱전류가 0.64 mA로 가장 낮고, 저

온이나 고온에서 문턱전류가 높아지는 2차 함수의 형태로 나타났으며, d^2I_{th}/dT^2 값이 약 $1.346 \times 10^{-4} \text{ mA}/\text{C}^2$ 이었다.

동특성 측정 실험을 위한 장치는 그림 3^[3]과 같다. 온도를 -20C 에서 80C 까지 20C 간격으로 변화시켜 가면서 그에 따른 turn-on 특성, turn-off 특성 그리고 eye-diagram을 살펴보았다. turn-on, turn-off 특성 측정에서는 pulse generator의 주파수를 50 MHz, 즉 입력 파형이 20 ns 간격으로 on, off 되도록 설정하였다.

표 1에는 송신기의 on 전류를 3 mA로 고정하고 온도를 변화시키면서 측정한 광출력을 나타내었다. 20C 이하의 온도에서의 광출력은 거의 차이가 없으며 20C 이상의 온도에서는 광출력이 점차 감소하는데 이는 온도에 따른 문턱전류가 2차함수의 형태로 나타나 저온이나 고온에서의 문턱전류가 증가하고 변환효율은 온도가 증가할수록 감소하기 때문에 나타난 현상이다.

III. 온도와 off 전류에 따른 850 nm 산화형 VCSEL 송신기의 특성

1. 1.25 Gbps 고정 전류 동작에서의 eye-diagram

그림 4에는 850 nm 산화형 VCSEL 송신기가 1.25 Gbps에서 고정 전류로 -20C 에서 80C 의 온도 범위에서 실제 동작할 수 있는지를 판별하기 위한 eye-diagram을 나타내었다. 시간을 나타내는 가로축은 200 ps/div, 광출력을 나타내는 세로축은 $100 \mu\text{W}/\text{div}$ 이며 동작 데이터 레이트는 1.25 Gbps, 패턴 길이는 2^7-1 로 설정하였고, on 전류는 3 mA, off 전류는 0.4 mA로 고정시켰다. 그리고 수신단에는 Gaussian 필터를 사용하고 온도를 -20C 에서 80C 까지 20C 간격으로 변화시켜가며 송신기의 eye-diagram을 측정하였다. 이 0.4 mA의 off 전류는 전체 온도 범위에서 문턱전류보다 낮음에 주목할 필요가 있다.

그림 4에서 송신기의 광출력이 표 1에서 보인 것과 같이 40C 이상의 고온에서 점차 줄어드는 것을 eye-diagram의 on 레벨 감소를 통해 확인할 수 있다.

그리고 상온보다는 저온이나 고온에서 off 레벨에서 on 레벨로 변화하는 과정에서의 timing jitter가 커지는 것을 알 수 있다. 이는 문턱전류가 상온에서 가장 낮고 저온이나 고온에서는 상온에서보다 높은, 즉 문턱전류의 온도 의존성이 2차 함수의 형태로 나타나기 때문에 발생한 현상이다. 저온이나 고온에서 문턱전류가 커짐에 따라 turn-on 지연시간이 증가하게 되면서 timing jitter도 함께 커지는 것이다.^[4~5]

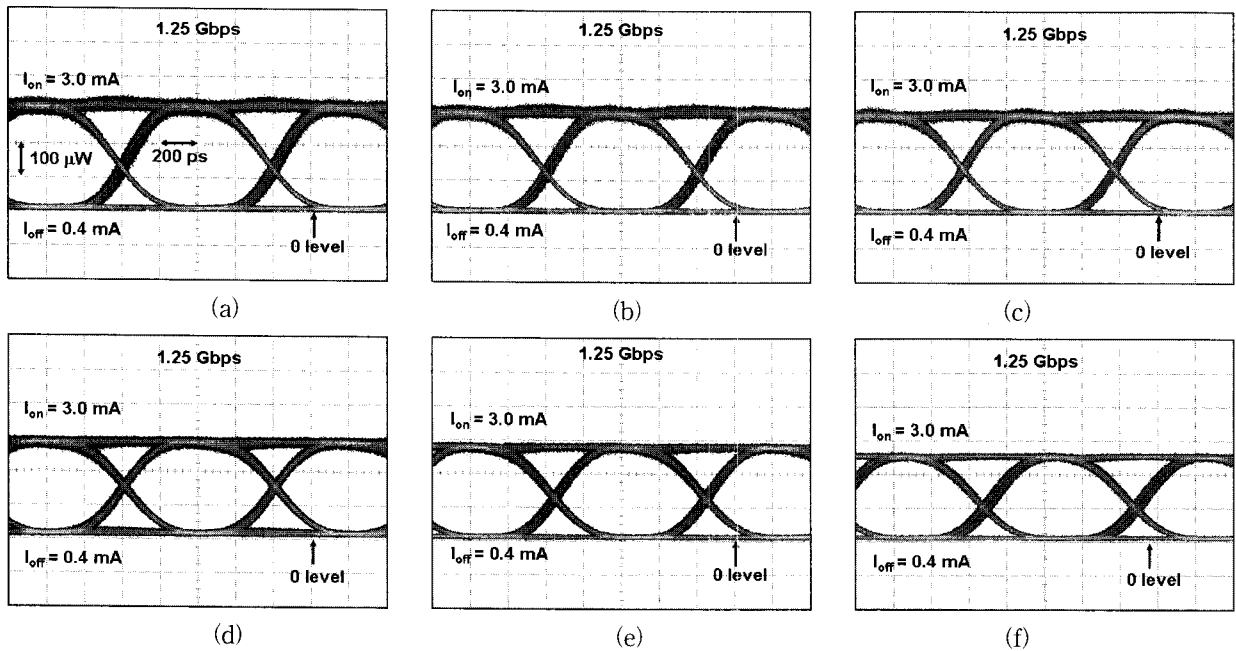


그림 4. Ion=3 mA, Ioff=0.4 mA로 고정시켰을 때 온도 변화에 따른 eye-diagram (a) Ta=-20°C (b) Ta=0°C (c) Ta=20°C (d) Ta=40°C (e)Ta=60°C (f) Ta=80°C

Fig. 4. Eye-diagram versus ambient temperature with Ion=3 mA and Ioff=0.4 mA.

그림 4의 eye-diagram을 통하여 off 전류를 최소 문턱 전류보다 0.2 mA 정도 낮게 설정하면 VCSEL 송신기가 -20°C 에서 80°C 의 온도 범위에서 충분히 동작 가능하다는 것을 알 수 있다.

그림 5에는 20°C 에서 off 전류를 0.3 mA에서 0.7 mA 까지 0.1 mA씩 증가시키면서 측정한 eye-diagram을 나타내었다. off 전류가 증가할수록 off 레벨에서 on 레벨로 천이하는 과정에서의 timing jitter가 줄어드는 것을 확인

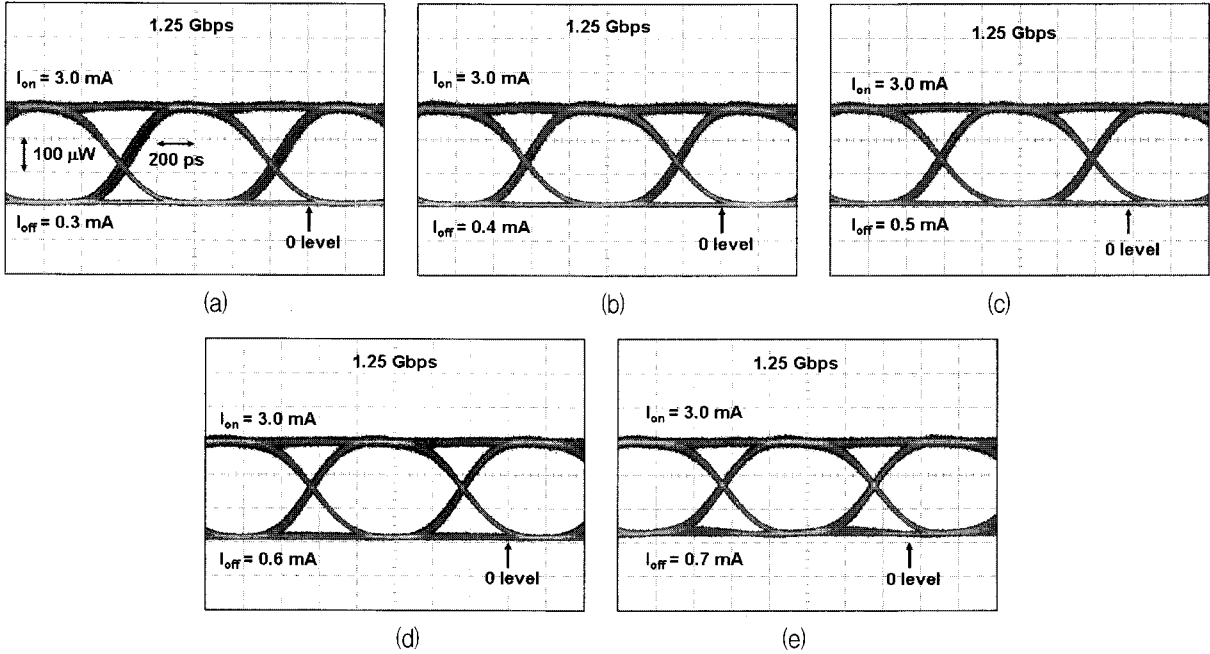


그림 5. 20°C 에서 off 전류 변화에 따른 eye-diagram (a) I_{off}=0.3 mA (b) I_{off}=0.4 mA (c) I_{off}=0.5 mA (d) I_{off}=0.6 mA (e) I_{off}=0.7 mA

Fig. 5. Eye-diagram versus off-current at 20°C.

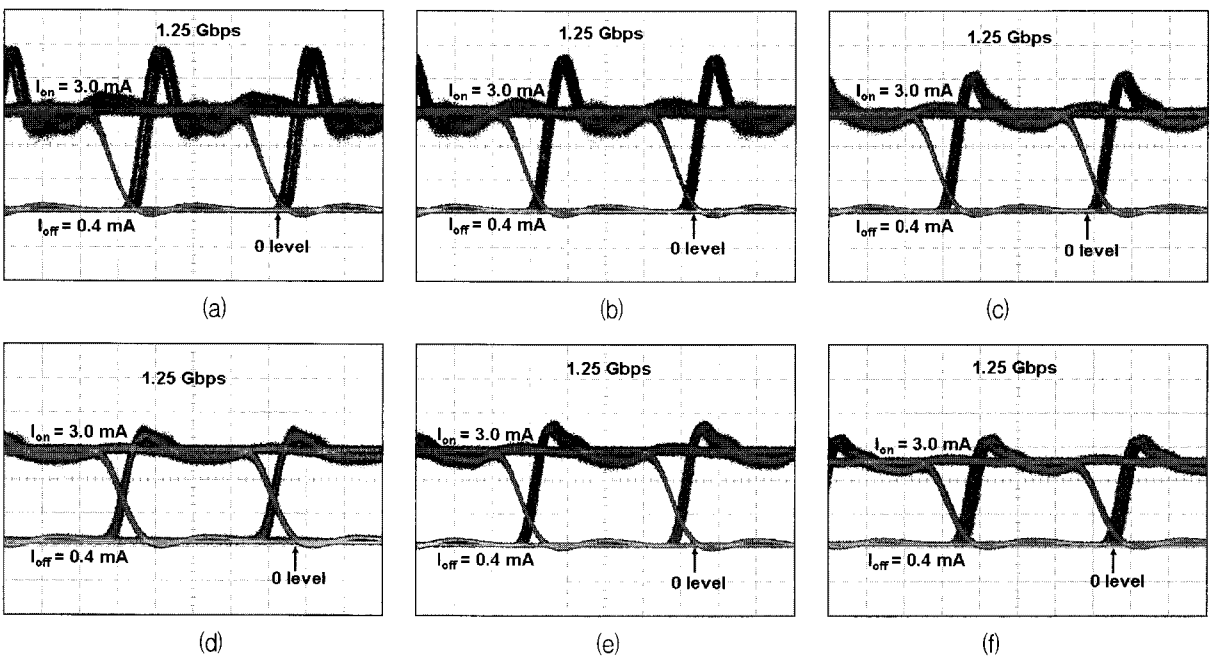


그림 6. I_{on}=3 mA, I_{off}=0.4 mA에서 온도 변화에 따른 unfiltered eye-diagram (a) T_a=-20°C (b) T_a=0°C (c) T_a=20°C (d) T_a=40°C (e) T_a=60°C (f) T_a=80°C

Fig. 6. Unfiltered eye-diagram versus ambient temperature with I_{on}=3 mA and I_{off}=0.4 mA.

할 수 있다. 또한 off 전류가 증가하면서 문턱전류 이상의 off 전류를 인가하면 “0” level이 높아지면서 extinction ratio가 작아짐을 볼 수 있다.

그림 6에는 수신단에서 Gaussian 필터를 사용 하지 않고 측정한 eye-diagram을 나타내었다. on 전류는 3 mA, off 전류는 0.4 mA로 고정시킨 후 온도를 -20°C 에서 80°C 까지 20°C 간격으로 변화시키면서 측정한 결과이다. 그림 6(a)와 그림 6(f)를 보면 저온이나 고온에서 turn-on에서의 overshoot이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 Gaussian 필터를 사용하여 측정한 eye-diagram인 그림 4(a)와 그림 4(f)와 같이 그림 6(a)와 그림 6(f)에 보인 저온이나 고온에서의 timing jitter가 높은 것을 Gaussian 필터를 사용하지 않고 측정한 eye-diagram에서도 볼 수 있다. 이것은 문턱 캐리어 밀도와 off 상태에서의 캐리어 밀도차이와 온도가 증가할수록 이득 계수가 감소하는 현상이 결합되어 저온이나 고온에서 overshoot이 커지기 때문에 나타난 현상이다.^[6]

그림 7에는 20°C 에서 off 전류를 0.3 mA에서 0.7 mA까지 변화시키면서 수신단에 Gaussian 필터를 사용하지 않고 측정한 eye-diagram을 나타내었다. off 전류가 증가할수록 turn-on에서의 overshoot이 감소하고 timing jitter도 감소하는데 이것은 off 전류가 증가할수록 off 레벨과 on 레벨사이의 캐리어의 밀도 차이가 작아지기 때문에 나타난 결과이다.

2. turn-on 특성 비교

온도와 off 전류가 송신기에 큰 영향을 주는 turn-on 지연 시간에 미치는 영향을 알아보기 위하여 turn-on 특성을 살펴보았다.

그림 8에는 -20°C 에서 80°C 사이에서 20°C 간격으로 온도를 변화시키면서 off 전류에 따라 측정된 turn-on 특성을 나타내었다. 가로축은 시간, 세로축은 광출력을 나타낸다. 그림 8(a)를 보면, on 전류가 3 mA일 때 모든 온도 구간에서 off 레벨의 광출력은 약 8 μW로 일정하게 나타나고, off 전류가 문턱전류 아래인 그림 8(c), 그림 8(d)에서는 off 레벨이 약간 증가하였는데 이는 레이저 발진 이전에 자연 방출된 빛이 광섬유에 결합되어 나타난 것으로 해석된다.

그림 8을 보면 문턱전류 이하의 off 전류에서는 overshoot이 크게 일어나고 온도에 따른 문턱전류의 변화로 인하여 turn-on 지연 시간의 차이를 명확하게 볼 수 있다. 그러나 문턱전류 이상의 off 전류에 대해서는 overshoot이 상대적으로 작았으며, turn-on 지연 시간이 온도에 따라 큰 차이를 보이지는 않는다. 그리고 off 전류가 문턱전류보다 클 때의 turn-on 특성을 보면 온도에 따라 달라지는 off 레벨의 변화를 볼 수 있다. 그러나 off 전류가 문턱전류 이상인 그림 8(e)를 보면 20°C 와 40°C 를 제외한 온도에서는 off 레벨의 변화를 볼 수 없는데 이는 온도가 증가하면서 문턱전류가 증가하여 off 전류가 문턱

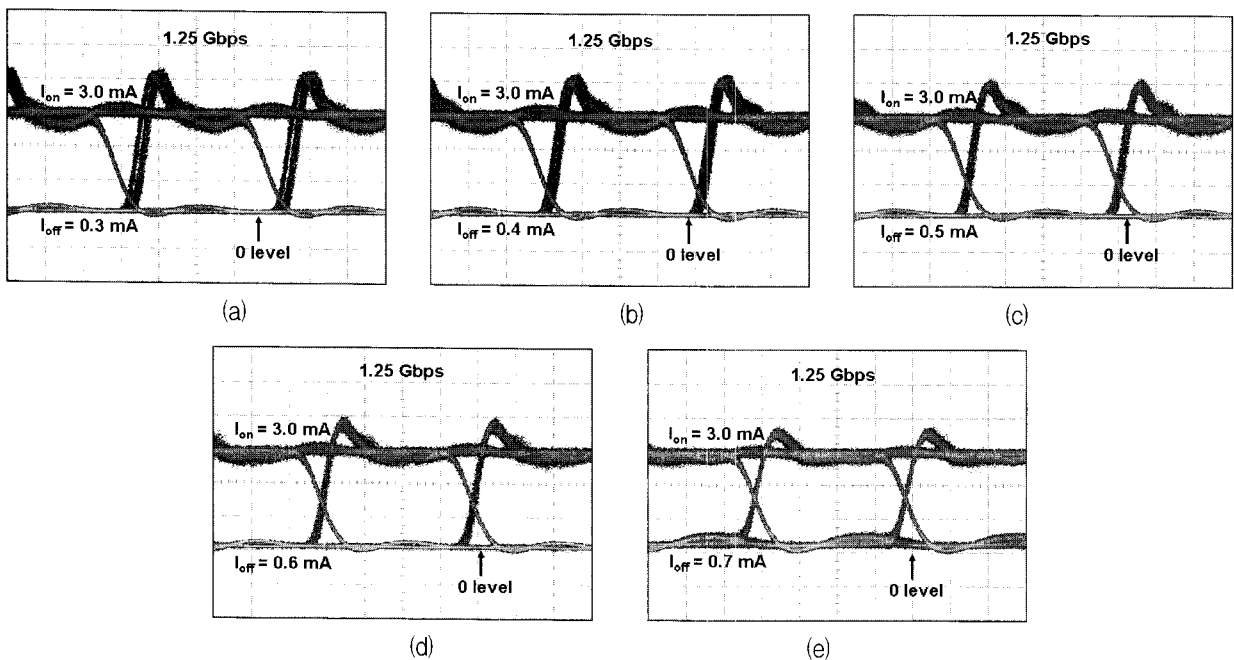


그림 7. 20°C 에서 off 전류 변화에 따른 unfiltered eye-diagram (a) I_{off}=0.3 mA (b) I_{off}=0.4 mA (c) I_{off}=0.5 mA (d) I_{off}=0.6 mA (e) I_{off}=0.7 mA

Fig. 7. Unfiltered eye-diagram versus off-current at 20°C.

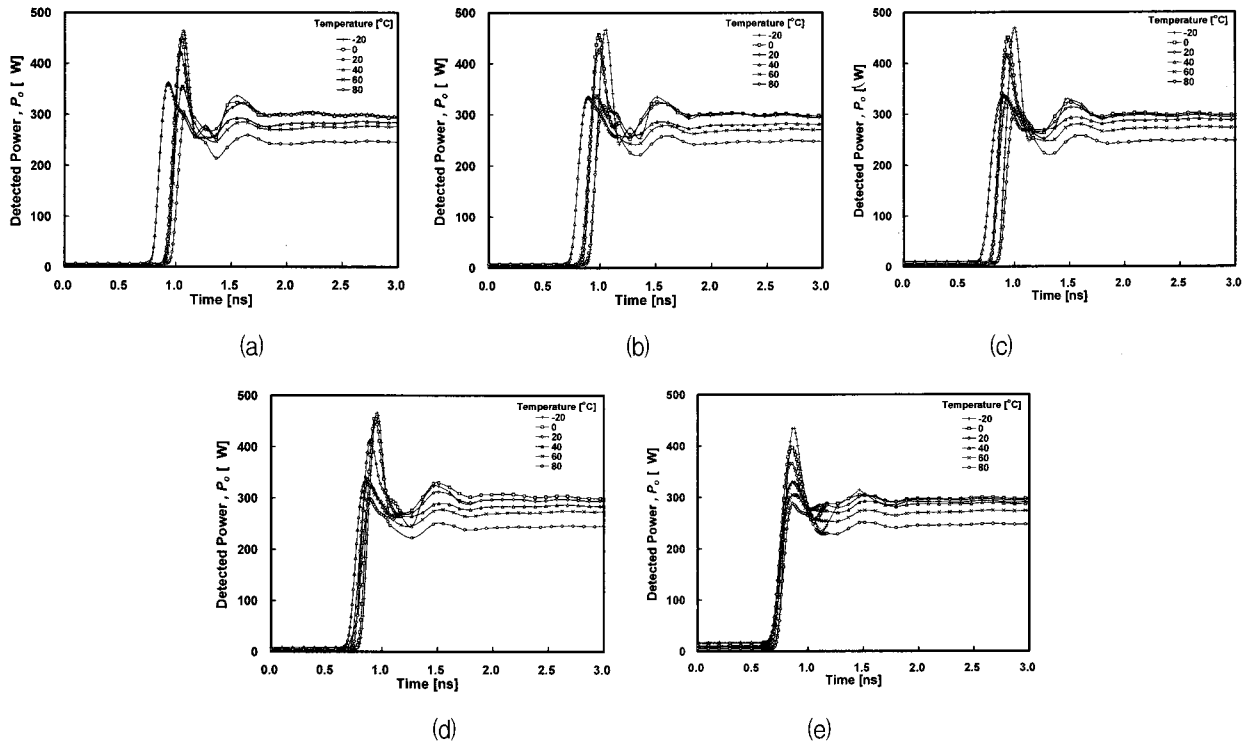


그림 8. 동작온도와 off 전류 변화에 따른 VCSEL 송신기의 turn-on 특성
 (a) $I_{off}=0.3$ mA (b) $I_{off}=0.4$ mA (c) $I_{off}=0.5$ mA (d) $I_{off}=0.6$ mA (e) $I_{off}=0.7$ mA

Fig. 8. Turn-on characteristics of the VCSEL transmitter depending on the ambient temperature and off-current.

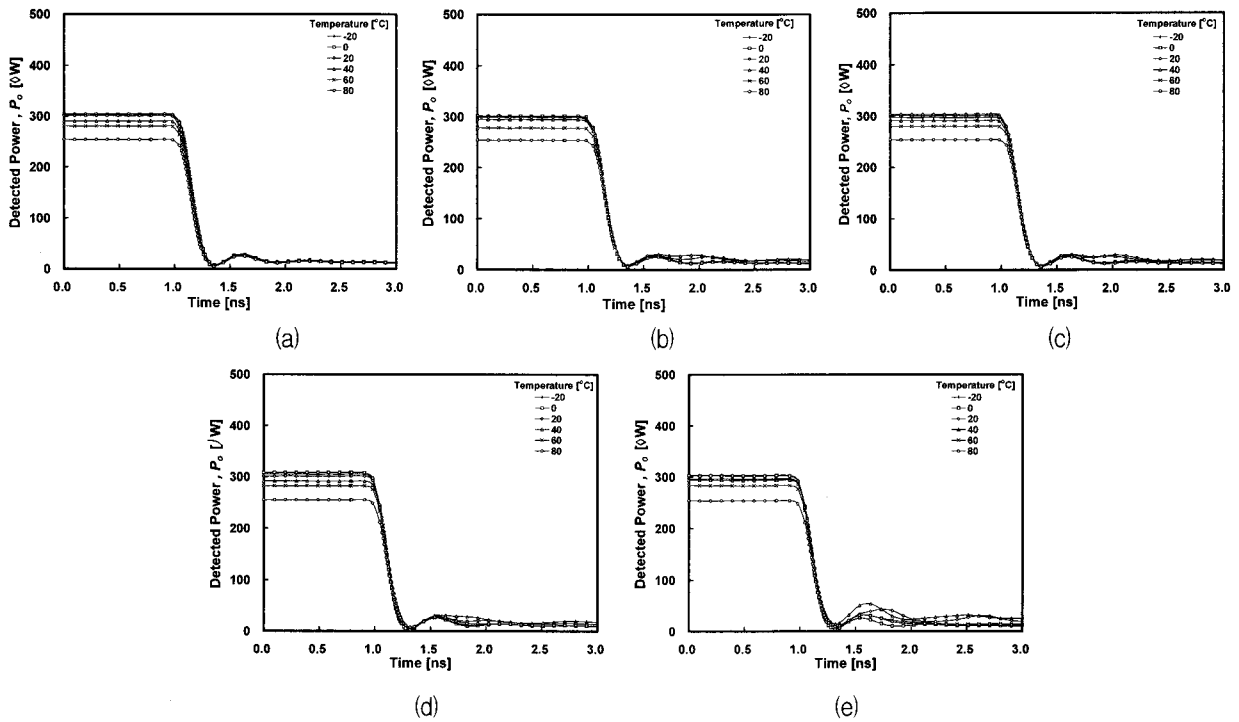


그림 9. 동작온도와 off 전류 변화에 따른 VCSEL 송신기의 turn-off 특성
 (a) $I_{off}=0.3$ mA (b) $I_{off}=0.4$ mA (c) $I_{off}=0.5$ mA (d) $I_{off}=0.6$ mA (e) $I_{off}=0.7$ mA

Fig. 9. Turn-off characteristics of a VCSEL transmitter depending on the temperature and off-current.

전류보다 낮기 때문에 나타난 현상이다. 이는 그림 2의 문턱전류의 온도 의존성에서도 확인할 수 있다. off 전류

가 0.4 mA인 그림 8(c)를 보면 상온보다는 고온이나 저온에서 turn-on 지연 시간이 길어지는 것을 볼 수 있다.

이것은 그림 4의 eye-diagram에서의 timing jitter가 상온보다는 저온이나 고온에서 커지는 현상의 원인이 된다. 또한 off 전류가 증가할수록 turn-on 지연시간이 짧아지고 변화폭도 줄어드는데 이러한 현상은 그림 5의 eye-diagram에서 timing jitter가 작아지는 원인이 된다.^[3]

3. turn-off 특성 비교

그림 9에는 off 전류를 0.3 mA에서 0.7 mA까지 0.1 mA 단위로 변화시키면서 측정한 turn-off 특성을 온도와 off 전류에 따라 나타내었다. off 전류가 0.3 mA인 그림 9(a)를 보면 on 레벨은 온도에 따라 달라지지만 off 레벨은 온도와는 상관없이 약 10 μW로 일정하게 나타났고,

off 전류가 문턱전류보다 낮은 0.4 mA와 0.5 mA인 경우, 20℃, 40℃에서 측정한 off 레벨이 약간 증가하였는데, 이는 앞에서 기술한 바와 같이 레이저 발진 이전에 자연 방출된 빛이 광섬유에 결합되어 off 레벨이 약간 증가한 것으로 해석된다. 또한 off 전류가 문턱전류 이상인 0.7 mA에서의 turn-off 특성을 보면 레이저 발진으로 인하여 off 레벨이 증가하는 것이 보이고 overshoot이 크게 나타나는데 이것은 유도방출 속도를 캐리어 공급 속도가 따라가지 못해서 나타난 현상이며 그림 7을 통하여 재확인 할 수 있다. 또한 60℃와 80℃에서 turn-off에서의 overshoot이 작게 나타나고 off 레벨이 증가하지 않는데, 이는 온도가 증가하면서 문턱 전류가 증가하여 off 전류가 문턱전류 아래에 있기 때문에 나타나는 현상이다.

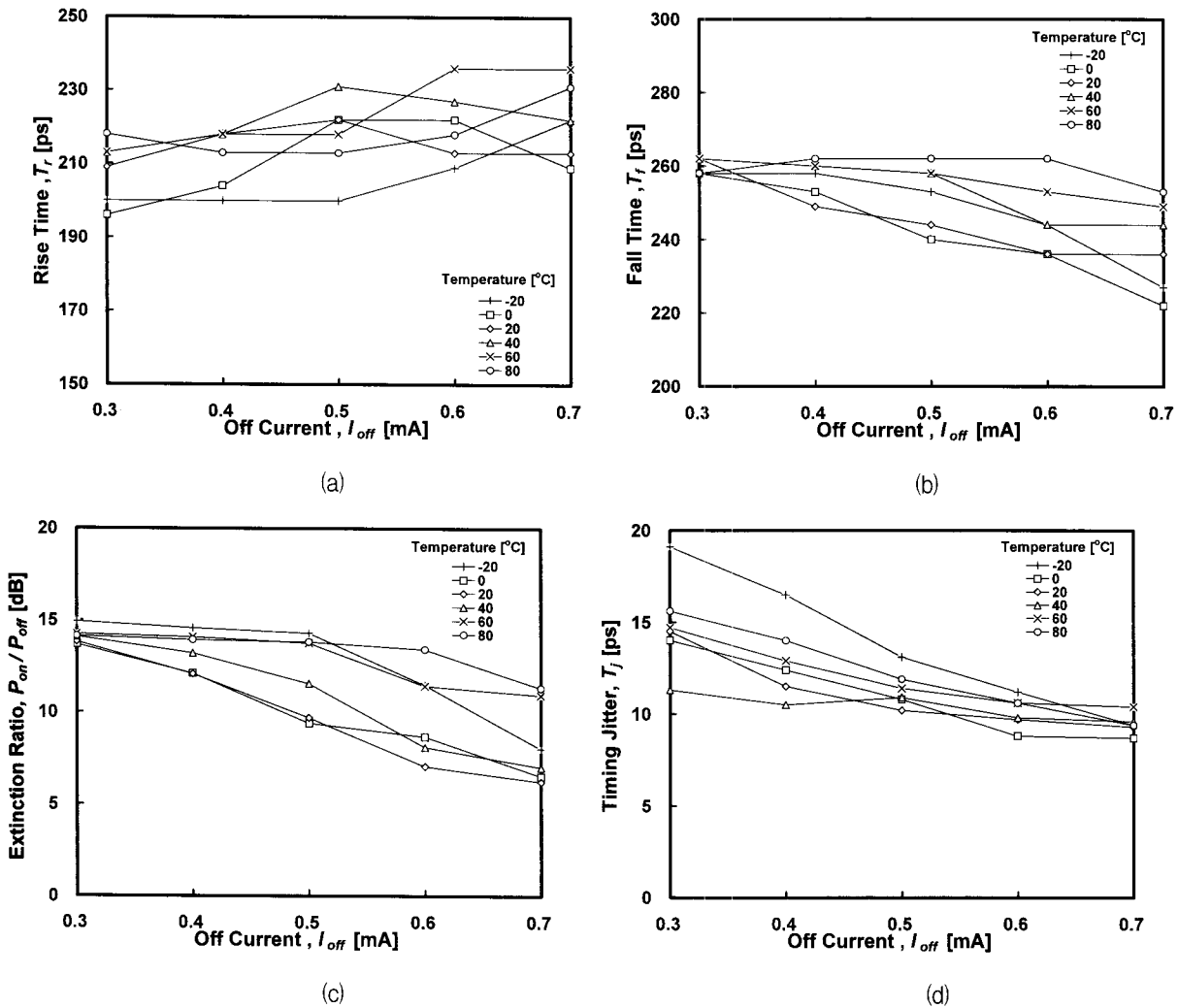


그림 10. 필터를 사용하여 측정한 eye-diagram에서 off 전류와 온도 변화에 따른 특성 변화
(a) rise time (b) fall time (c)extinction ratio (d) timing jitter

Fig. 10. Characteristics of filtered eye-diagram.

(a) rise time (b) fall time (c) extinction ratio (d) timing jitter depending on the ambient temperature and off-current

IV. 동작 조건에 따른 850 nm VCSEL 송신기 특성의 변화

그림 10에는 수신단에 Gaussian 필터를 사용하여 구한 eye-diagram에서의 rise time, fall time, extinction ratio 그리고 timing jitter를 나타내었다. 온도 범위는 -20°C 에서 80°C 이고, off 전류는 0.3 mA에서 0.7 mA까지 변화시켰다. 가로축은 off 전류를 나타내며, 세로축은 850nm 산화형 VCSEL 송신기의 특성 변수들을 온도에 따라 나타내었다. 그림 10(a)의 rise time을 보면 off 전류가 증가할수록 증가하는데 이는 off 전류가 증가할수록 turn-on에서의 overshoot이 줄어들면서 rise time이 증가하기 때문이다. 그림 10(b)의 fall time을 보면 off 전류가 증가할

수록 감소하는 경향을 보인다. 이는 off 전류가 증가할수록 유도방출이 강하게 일어나 유효캐리어의 수명이 짧아져 fall time이 줄어들었기 때문이다. 그림 10(c)의 extinction ratio를 보면 상온에서의 값보다 저온이나 고온에서의 값이 높다. 또한 off 전류가 증가할수록 점차 감소한다. 이것은 off 전류가 증가할수록 off 레벨 광출력의 증가로 인하여 extinction ratio가 감소하기 때문이다. 그림 10(d)의 timing jitter는 off 전류가 증가할수록 그 값이 감소하는데, 그 이유는 off 전류와 문턱전류의 차이가 작아지면서 turn-on 지연시간의 불확실성이 감소하기 때문이다.

이 실험 결과로부터 850 nm 산화형 VCSEL 송신기의

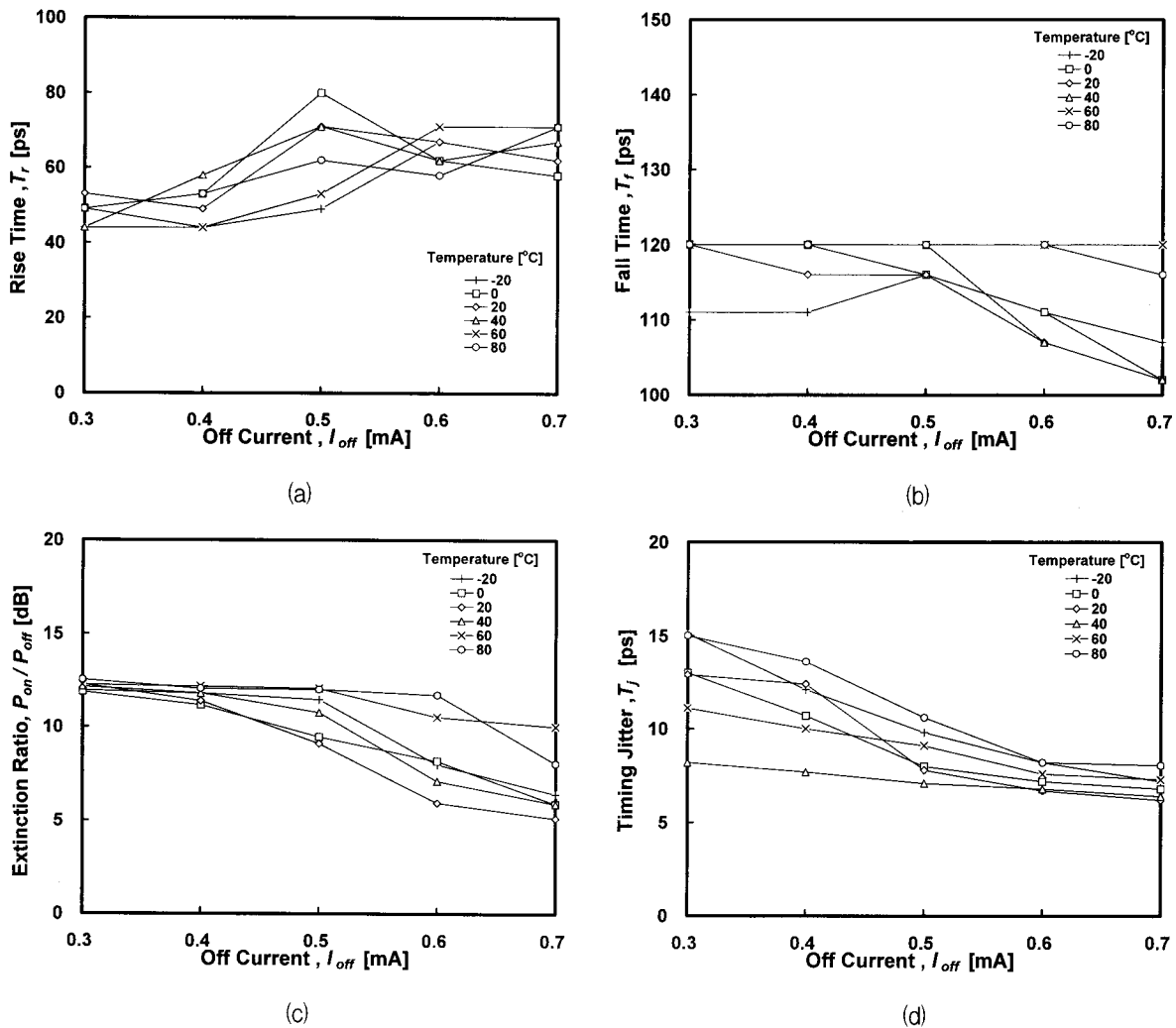


그림 11. 필터를 사용하지 않고 측정된 eye-diagram에서 off 전류와 온도 변화에 따른 특성 변화

(a) rise time (b) fall time (c) extinction ratio (d) timing jitter

Fig. 11. Characteristics of unfiltered eye-diagram. : (a) rise time, (b) fall time, (c)extinction ratio and (d) timing jitter depending on the ambient temperature and off-current.

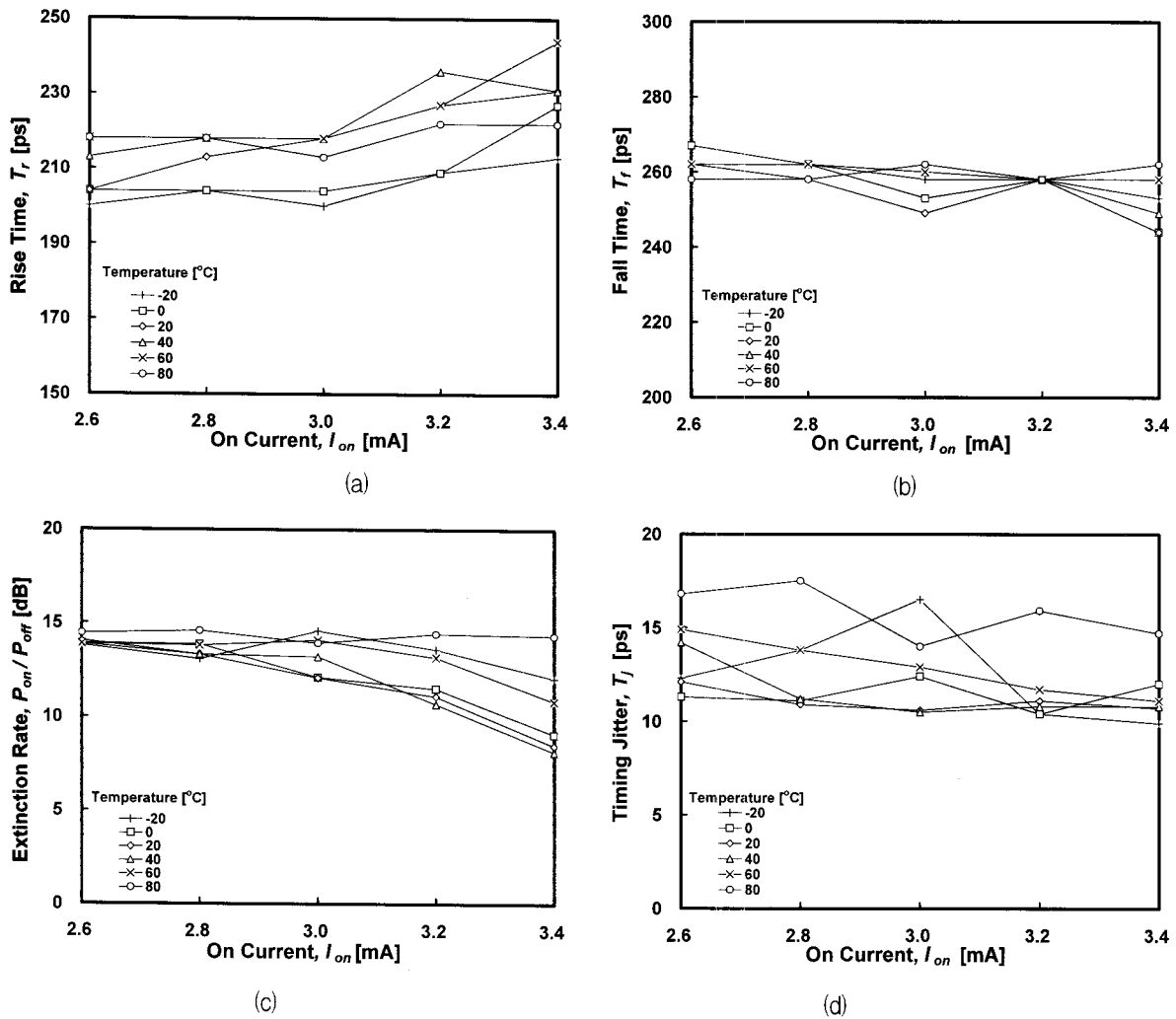


그림 12. $I_{off}=0.4$ mA에서 필터를 사용하여 측정한 eye-diagram에서의 on 전류와 온도 변화에 따른 특성 변화
 (a) rise time (b) fall time (c)extinction ratio (d) timing jitter

Fig. 12. Characteristics of filtered eye-diagram.

(a) rise time (b) fall time (c) extinction ratio (d) timing jitter depending on the ambient temperature and on-current

off 전류를 문턱전류 보다 0.1 ~ 0.2 mA 낮게 설정하면 rise time과 fall time 그리고 extinction ratio가 각각 Gigabit Ethernet 표준인 260 ps, 260 ps 그리고 9 dB를 -20°C에서 80°C의 온도 범위에서 만족함을 확인하였다. 다만, 80°C에서의 fall time 규격을 맞추려면 송신기 회로에서 약간의 개선이 필요하다.

그림 11에는 수신단에 Gaussian 필터를 사용하지 않고 측정한 eye-diagram에서의 rise time, fall time, extinction ratio 그리고 timing jitter를 off 전류에 따라 나타내었다. 필터를 사용해서 본 eye-diagram과 비교해 볼 때 전반적인 추세는 비슷하나 각 파라미터 값이 전반적으로 감소하였다. 특히 rise time과 fall time이 필터를 사용하여 측정된 결과와 비교하여 2~4 배 감소하였다.

그림 10과 그림 11을 통해 850 nm 산화형 VCSEL 송

신기의 off 전류를 최소 문턱전류 보다 0.1 mA ~ 0.2 mA 정도 약간 낮게 설정하면 on 전류를 3 mA로 낮게 설정 하더라도 1.25 Gbps의 속도로 -20°C와 80°C의 온도 범위에서 충분히 동작 가능하다는 것을 알 수 있고, 이는 그림 4를 통하여 재확인 할 수 있다.

그림 12는 on 전류의 영향을 살펴보기 위하여 off 전류는 0.4 mA로 고정시키고 수신단에 Gaussian 필터를 사용하여 측정한 eye-diagram에서의 rise time, fall time, extinction ratio 그리고 timing jitter를 on 전류에 따라 나타낸 그림이다. on 전류가 증가할수록 rise time은 증가하는 경향이 보이고 fall time은 감소하는 경향이 보인다. 또한 extinction ratio와 timing jitter가 각각 감소하는 경향이 보인다. 그러나 on 전류에 대한 이 실험 결과는 그림 1에서 보인 광출력-전류 특성에서 광출력이 포화되

는 현상과 관계가 깊기 때문에 일반적인 결론은 아니다. 따라서 광섬유로의 결합효율이 일정하여 광출력-전류 특성이 선형적인 모듈과의 비교 연구가 필요하다.

V. 결 론

850 nm 산화형 VCSEL 송신기의 고정 전류, 저전력 소모 구동 가능성을 확인하기 위해 1.25 Gbps 동작에서 온도에 따른 송신기의 동작 특성을 살펴보았다. 이를 위하여 온도와 off 전류를 바꾸어가며 eye-diagram과 turn-on 특성, turn-off 특성을 측정하였다. 또한 on 전류를 고정시키고 off 전류를 바꾸어가며 최적화된 off 전류를 찾아보았다. 그 결과 d^2I_{th}/dT^2 값이 약 $1.346 \times 10^{-4} \text{ mA}/\text{C}^2$ 이하의 VCSEL을 사용한 송신기의 off 전류를 최소 문턱전류보다 0.1 mA ~ 0.2 mA 정도 낮게 설정하면 3 mA 정도의 고정된 낮은 on 전류로 -20°C 와 80°C 의 넓은 온도 범위에서 1.25 Gbps 동작이 가능하다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] C. Chen, P. O. Leisher, A. A. Allerman, K. M. Geib, and K. D. Choquette, "Temperature Analysis of Threshold Current in Infrared Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers," *IEEE J. Quantum Electron*, vol. 42, no. 10, pp. 1078-1083, Oct. 2006.
- [2] G. Sialm, D. Lenz, D. Erni, G.-L. Bona, C. Kromer, M. X. Jungo, T. Morf and H. Jackel, "Comparison of Simulation and Measurement of Dynamic Fiber-Coupling Effects for High-Speed Multimode VCSELs," *IEEE J. Lightwave Technology*, vol. 23, no. 7, pp. 2318-2330, July. 2005
- [3] 장민우, 김상배, "대신호 등가회로 모델을 이용한 850 nm 산화형 VCSEL의 저전류 동작 특성 연구," 전자공학회 논문지, 제43권 SD편, 제10호, 613-624쪽, 2006년 10월
- [4] L. Zei, K. Obermann, T. Czogalla, and K. Petermann, "Turn-On Jitter of Zero-Biased Nearly Single-Mode VCSEL's," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 11, no. 1, Jan. 1999
- [5] K. Obermann, S. Kint, and K. Petermann, "Turn-On Jitter of Zero-Biased Singlemode Semiconductor Lasers," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 8, no. 1, Jan. 1999
- [6] K. Petermann, *Laser Diode Modulation and Noise*, (Kluwer Academic Publishers, 1991)

저 자 소 개



김 태 기(학생회원)
 2006년 아주대학교 전자공학부
 공학사
 2006년 3월 ~ 현재 아주대학교
 대학원 전자공학과
 석사 과정.
 <주관심분야 : 화합물반도체 광전

소자, VCSEL>



김 상 배(정회원)
 1981년 아주대학교 전자공학과
 공학사
 1983년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 공학석사
 1987년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 공학박사
 1987년 9월 ~ 1990년 8월 한국전자 통신연구소
 광전자연구실 선임연구원
 1990년 9월 ~ 현재 아주대학교 전자공학부 교수
 <주관심분야 : 광전소자, 광전집적회로, 광통신>



김 태 용(학생회원)
 2001년 아주대학교 전자공학부
 공학사
 2003년 아주대학교 대학원
 전자공학과 공학석사
 2003년 3월 ~ 현재 아주대학교
 대학원 전자공학과 박사
 과정 재학 중

<주관심분야 : 화합물반도체 광전소자, VCSEL>



김 성 한(정회원)
 1996년 아주대학교 전자공학과
 공학사
 1998년 아주대학교 대학원
 전자공학과 공학석사
 2001년 아주대학교 대학원
 전자공학과 박사수료
 2001년 ~ 2002년 옵토웨이퍼테크 주임연구원
 2002년 ~ 2005년 4월 (주)옵토웨이 선임연구원
 2005년 5월 ~ 2006년 4월 (주)서울옵토디바이스
 선임연구원
 2006년 5월 ~ 현재 (주)씨티에스 개발 부장
 <주관심분야 : 광전소자, 광통신>