

광 주입에 의한 100 kHz 변조된 1.5 μm VCSEL의 편광 특성 Polarization Dynamics of 100 kHz Modulated 1.5 μm VCSEL under Optical Injection

정규현, 이승훈, 김경현, 이민희, 안준태*, 권오균*, 송국현**, 노정래***, 유병수

***인하대학교 물리학과, *한국전자통신연구원, **기술표준원, **(주)레이칸

kyongh@inha.ac.kr

광 주입(Optical Injection)을 이용한 반도체 레이저 다이오드의 편광 스위칭(Polarization Switching)은 광자 기술 전반으로 응용할 수 있는 흥미로운 연구 분야이다. 특히 임계 전류 이상에서 고유 선형 편광 방향을 갖는 수직 공진 표면 방출 레이저(Vertical Cavity Surface Emitting Laser ; VCSEL)에 고유 편광 방향에 대해 수직인 편광 방향을 갖는 외부 광을 주입하면, VCSEL은 수직 편광된 광으로 편광 스위칭되어 발진할 수 있게 된다. 즉 고유 편광 방향과 수직인 편광 방향을 가질 수 있는 VCSEL의 쌍안정 편광 상태를 이용하는 전광 스위칭(All Optical Switching)⁽¹⁾과 카오스 암호화 광통신(Chaotic Cryptographic Optical Communication)⁽²⁾ 등으로의 응용이 기대되고 있다. 그 동안에는 0.85 μm 파장대의 근적외선 발진 파장을 가지는 다중 모드 VCSEL을 이용한 편광 스위칭 연구⁽³⁾가 진행되어 왔으나, 본 연구에서는 장파장 광통신 파장대 1.5 μm 단일 모드 VCSEL을 이용한 광 주입 잠금 (optical injection-locking) 편광 스위칭 연구 결과를 소개하고자 한다.

본 연구에서는 100 kHz로 변조된 1.5 μm 단일 모드 VCSEL에 외부 레이저 광을 주입하여 발진되는 VCSEL의 편광 특성 변화에 대한 연구를 수행하였고, 사용된 실험 구도는 그림 1과 같다.

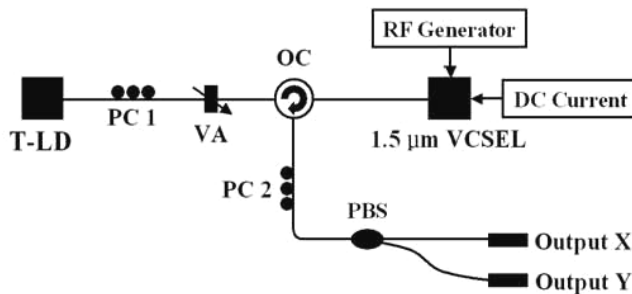
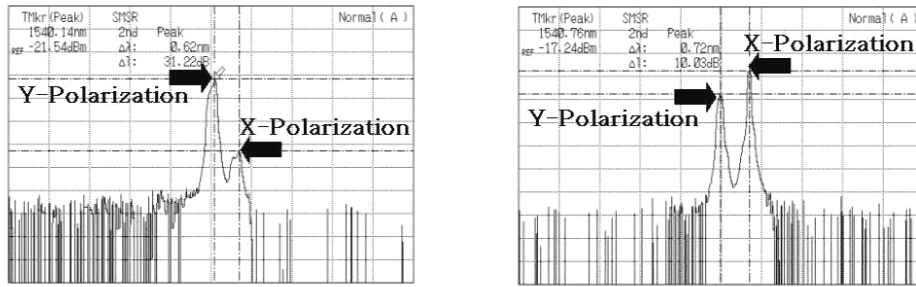


그림 1. 실험 구도

T-LD(Tuneable Laser Diode)에서 발진된 광은 PC1(Polarization Controller)과 OC(Optical Circulator)를 통하여 VCSEL에 주입 되도록 하였다. PC1은 T-LD에서 발진되는 광의 편광 방향을 VCSEL의 고유 편광 방향과 수직으로 만들어주기 위해 사용하였다. 광 주입에 의해 발진되는 VCSEL의 레이저 광은 OC와 PC2, PBS(Polarization Beam Splitter)를 통해 출력되는데 VCSEL의 고유 편광 방향과 수직 편광 방향으로 분해해 주기 위해 PC2와 PBS를 사용하였고 편의상 VCSEL의 고유 편광 방향 출력을 Output Y, 수직 편광 방향 출력을 Output X로 하였다. VCSEL은 진폭 850 mV, 주파수 100 kHz의 삼각파형으로 변조되었고, DC 구동 전류의 크기는 1.7 mA(임계 전류 = 1.61 mA)이다. VA는 가변 광 감쇠기이다.

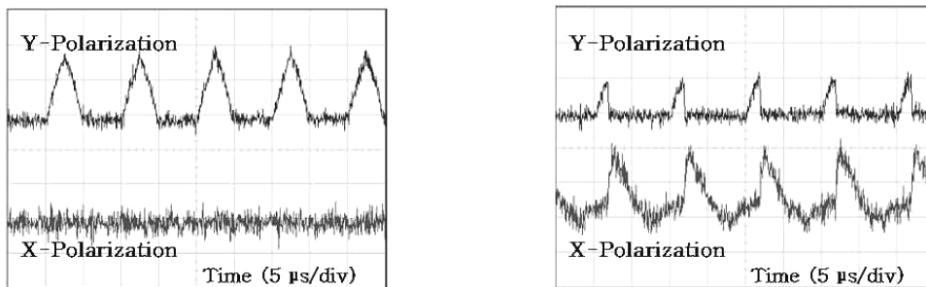


(a) 광 주입이 없을 때

(b) 광 주입이 있을 때

그림 2. X 편광 방향과 Y 편광 방향으로 출력되는 VCSEL의 광 스펙트럼

그림 2는 주입 파워가 -5.8 dBm일 때, 수직 편광 광 주입에 의한 출력 광 스펙트럼 변화이다. 그림 2-(a)는 광 주입이 없을 때 VCSEL의 스펙트럼으로, Y 편광 방향 광의 피크 파장은 1540.14 nm이고 사이드 모드는 X 편광 광으로 파장은 1540.62 nm이다. 그림 2-(b)는 T-LD의 파장을 1540.76 nm로 정하고 광 주입을 했을 때 VCSEL의 출력 스펙트럼이다. 사이드 모드였던 X 편광 광이 피크로 바뀌고 원래 Y 편광 방향 광의 세기는 줄어들어 -21.54 dBm에서 -27.27 dBm까지 떨어진 것을 확인할 수 있다. 즉 VCSEL에서 발견되는 파장이 1540.14 nm(Y 편광 방향)에서 1540.76 nm(X 편광 방향)로 스위칭됨을 알 수 있다. 두 편광 광의 피크간 SRSR(Side Mode Suppression Ratio)은 10.03 dB로 T-LD의 파장 조절과 주입 파워의 변화를 통해 더 좋은 값을 얻을 수 있다.



(a) 광 주입이 없을 때

(b) 광 주입이 있을 때

그림 3. X 편광 방향과 Y 편광 방향으로 출력되는 VCSEL의 100 kHz 변조된 광신호를 DCA로 측정된 그래프

그림 3은 VCSEL의 고유 편광 방향에 대해 수직한 편광 방향으로 조절된 T-LD 광의 주입에 의해 발견되는 VCSEL의 X 편광 방향, Y 편광 방향 출력을 DCA의 전광 모듈로 측정된 그래프이다. 광 주입이 없을 때는 VCSEL의 Output Y로 100 kHz(-10 μ s) 변조된 광 신호가 발견됨을 알 수 있는 반면, Output X로는 아무런 신호가 검출되지 않았다(그림 3-(a)). 이 상태에서 T-LD 광을 주입하게 되면 Output Y로 출력되던 VCSEL의 변조된 광 신호가 수직 편광 방향으로 편광 스위칭되어 Output X 방향으로 발견됨을 알 수 있다(그림 3-(b)). 그림 3-(b)를 보면 신호의 일부가 Y 편광 방향으로 출력되고 있는데, 이 신호는 T-LD의 파장 및 광의 세기 조절을 통해 X 편광 방향으로 완전히 스위칭될 수 있다.

[1] H. Kawagushi and I. S. Hidayat, Electronics Letters, **31**, 1150-1151 (1995).
 [2] F. Rogister, et al., Optics Letters, **26**, 1486-1488 (2001).
 [3] S. Bandyopadhyay, et al., Optics Communications, **202**, 145-154 (2002).