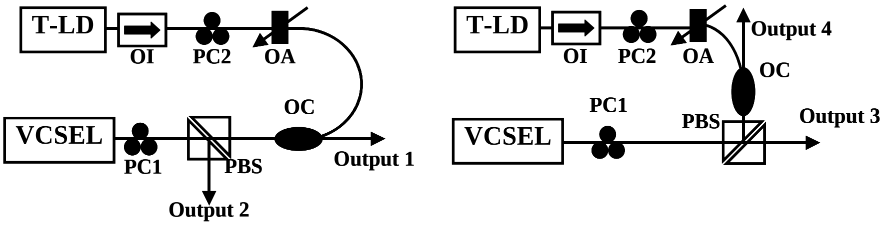
광 주입을 이용한 1.5 μm 표면방출레이저의 편광 특성

Polarization Characteristics of 1.5 μm VCSEL under Optical Injection

정규현, 이승훈, 김경헌, 이민희, 안준태*, 권오균*, 송국현**, 노정래***, 유병수***
인하대학교 물리학과, *한국전자통신연구원, **기술표준원, ***(주)레이칸
kyongh@inha.ac.kr

수직 공진 표면 방출 레이저(Vertical Cavity Surface Emitting Laser ; VCSEL) 다이오드는 일반적으로 임계 전류 이상에서 고유의 선형 편광 방향을 갖는데, 이 편광 방향에 대해 수직 편광을 갖는 외부 광을 주입하면 VCSEL은 수직 편광된 광을 발진할 수 있게 된다. 이 때 VCSEL은 쌍안정(bistability) 편광 상태, 즉 두 개의 안정한 편광 상태에 있게 되고, 이러한 특성을 이용하여 전광 스위칭(All Optical Switching)[1]과 카오스 암호화 광통신(Chaotic Cryptographic Optical Communication)[2] 등으로의 응용이 기대되고 있다. 이러한 응용으로 그 동안 0.85 μm 파장대의 근적외선 발진 파장을 가지는 VCSEL을 이용한 기술에 대한 연구[3]가 진행되어 왔으나, 본 연구에서는 장파장 광통신 파장대 1.5 μm VCSEL의 경우에 대해 광 주입 잠금 (optical injection-locking)에 의한 연구 결과를 소개하고자 한다.

본 연구에서는 1.5 μm 파장대 단일 모드 VCSEL의 경우에 대해 외부 레이저 광 주입에 따른 VCSEL의 출력 레이저 편광 특성 변화에 대한 연구를 수행하였으며, 사용된 실험 구도는 그림 1과 같다.

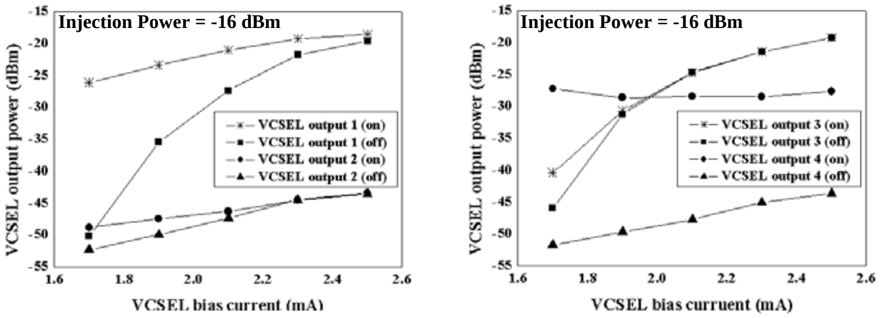


(a) 평행 편광의 광 주입 (b) 수직 편광의 광 주입

그림 1. 실험 구도

T-LD(Tuneable Laser Diode)에서 발진된 광의 편광 방향을 PC2(Polarization Controller)와 PBS(Polarization Beam Splitter)를 이용해 조절하여 VCSEL에 주입 되도록 하였다. 그림 1(a) 와 (b)에 보여지는 바와 같이 PBS의 각기 다른 단자로부터 입력이 되도록 함으로써 VCSEL에서 발진되는 레이저 광의 편광 방향에 대해 수평 또는 수직 방향이 되도록 주입을 할 수 있다. 그림 1(a)에서와 같이 VCSEL 광의 편광 방향과 T-LD 광의 편광 방향이 같은 경우(평행 편광 광의 주입)와 그림 1(b)에서와 같이 서로 수직인 경우(수직 편광 광의 주입)처럼 T-LD 광을 VCSEL에 주입시켰을 때 출력(Output) 단자로 나오는 VCSEL의 출력 광을 광 파워미터와 광 스펙트럼분석기로 측정하였다. 위 그림 1에서 OI는 Optical Isolator, OA는 Optical Attenuator, OC는 Optical Coupler를 나타낸다.

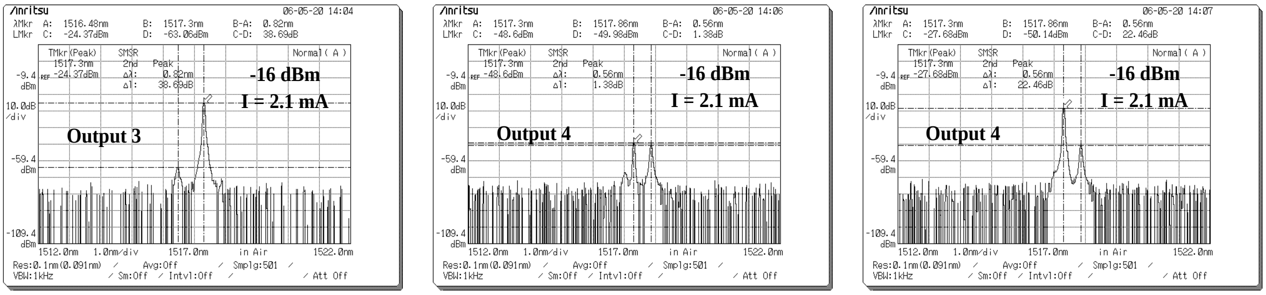
그림 2는 T-LD 광의 세기가 -16 dBm일 때, 평행 편광의 광 주입(그림 2(a))과 수직 편광의 광 주입(그림 2(b))에 대한 VCSEL의 출력 파워를 측정한 그래프이다. 임계 전류(threshold current)가 1.97 mA



(a) 평행 편광 광의 주입 (b) 수직 편광 광의 주입

그림 2. 광 주입에 의한 VCSEL 출력 광 파워의 변화

인 VCSEL의 구동 전류를 1.7 ~ 2.5 mA까지 조절하면서 광 주입이 없는 경우(off)와 있는 경우(on)에 대한 변화를 측정하였다. 평행 편광 광의 주입 시에는 VCSEL 광의 원래 편광 방향(Output 1)으로만 광 출력의 변화가 상대적으로 크게 일어났고, 수직 방향(Output 2)으로는 출력의 변화가 미미하였다. 특히 VCSEL 레이저 발진 임계 전류 전후로 평행 편광 방향으로는 비교적 큰 변화가 있었으나, 전류가 높아지면서 변화가 거의 줄어들었다. 그러나 수직 편광 광의 주입 시에는 VCSEL의 원래 레이저 편광 방향(Output 3) 외에 광 주입 방향인 수직 편광 방향(Output 4)으로 VCSEL 구동 전류의 변화와 무관하게 일정한 크기의 광이 발진되고 있음을 확인할 수 있었다. 즉, VCSEL 원래 편광 방향 광과 수직으로 편광 방향의 광이 각각 안정하게 발진됨을 확인할 수 있었다.



(a) Output 3 (b) Output 4(광 주입이 없는 경우) (c) Output 4(광 주입이 있는 경우)

그림 3. 수직 편광 광 주입에 의한 VCSEL의 출력 광(Output 3, 4) 스펙트럼 변화

그림 3은 구동 전류 2.1 mA에서 수직 편광 광 주입에 대한 Output 3과 4로부터의 VCSEL 출력 광 스펙트럼 변화이다. Output 3의 경우 광 주입에 무관하게 원래 편광 방향의 광을 유지하는 반면(그림 3(a)), Output 4의 경우 광 주입이 없는 경우(그림 3(b))와 광 주입이 있는 경우(그림 3(c))를 비교하였을 때, 광 주입으로 인하여 수직 편광 방향으로 VCSEL의 레이저 파장에서 발진됨을 확인하였다. 그리고 T-LD의 파장 변화에 따라 주입 잠금된 VCSEL의 수직 편광된 광의 파장도 같이 변화함을 관측하였다.

본 연구는 산업자원부 표면방출레이저 표준화 사업과 과학기술부 양자암호화 사업의 부분적인 지원으로 수행되었습니다.

[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).