

광 논리 기능 구현을 위한 1.55 μm VCSEL의 편광 쌍안정성 Polarization-Mode Bistability Characteristics of 1.55 μm VCSELs for Optical Flip-Flop Operations

정규현, 이승훈, 김승환, 김경현, 이민희
인하대학교 물리학과
kyongh@inha.ac.kr

외부 광 주입(External Optical Injection)을 이용한 표면 방출 레이저(Vertical Cavity Surface Emitting Laser ; VCSEL)의 편광 스위칭은 전광 스위칭(All Optical Switching)⁽¹⁾ 및 광 논리 기능 동작(Optical Flip-Flop Operation)⁽²⁾ 등 광자 기술 전반으로의 응용이 기대되는 흥미로운 연구 분야이다. 고유의 선형 편광 방향을 갖는 VCSEL에 VCSEL의 고유 편광 방향에 대해 수직한 편광 방향을 갖는 외부 광을 주입하면 VCSEL은 외부 광의 편광 방향과 파장에 따라 광을 발진하게 되는데, 이러한 동작을 광 주입 잠금에 의한 편광 모드 스위칭(Polarization-Mode Switching ; PMS)이라고 한다. 외부 광의 파장을 미세하게 조절하면 VCSEL의 편광 모드 역시 파장 변화에 따른 파장 잠금 상태로 반응하고, VCSEL은 일정한 파장 범위 안에서 안정된 PMS 동작을 보인다. 편광 스위칭된 VCSEL은 파장 조절에 대해 여러 안정된 편광 모드를 가질 수 있기 때문에 편광 모드 쌍안정(Polarization-Mode Bistability ; PMB) 특성을 갖는다. 최근에는 0.98 μm 파장대의 근적외선 발진 파장을 가지는 VCSEL의 편광 스위칭을 이용한 광 논리 기능 동작 연구⁽³⁾가 진행됐으나, 본 연구에서는 장파장 광통신 파장대 1.55 μm 단일 모드 VCSEL의 PMB 특성을 이용하는 광 논리 기능 구현을 위한 기초 연구 결과를 소개하고자 한다.

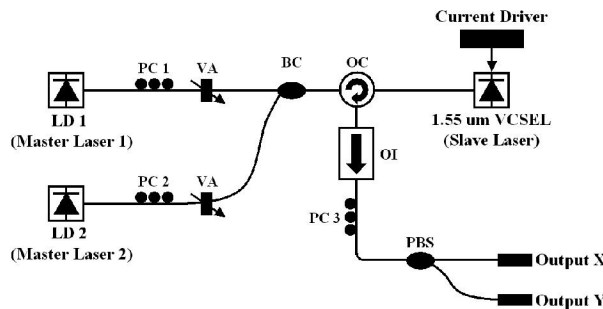


그림 1. 실험 구도

본 연구에 사용된 실험 구도는 그림 1과 같다. LD 1과 LD 2(Master Laser)에서 발진된 광은 각각 PC 1(Polarization Controller)과 PC 2, VA(Variable Attenuator), OC(Optical Circulator), BC(Beam Coupler)를 통하여 VCSEL(Slave Laser)에 주입 되도록 하였다. PC 1과 PC 2는 LD 1과 LD 2에서 발진되는 광의 편광 방향을 VCSEL의 고유 편광 방향의 수직 방향으로 만들어주기 위해 사용하였다. 광 주입에 의해 발진되는 VCSEL의 광은 OC와 PC 3, PBS(Polarization Beam Splitter)를 통해 출력되는데 PC 3와 PBS를 이용하여 VCSEL의 고유 편광 방향 광과 수직 편광 방향의 광을 분리하였다. 편의상 VCSEL의 고유 편광 방향 출력을 Output Y(Y 편광 모드), 수직 편광 방향 출력을 Output X(X 편광 모드)로 하였다. VCSEL의 Y 편광 모드와 X 편광 모드의 파장은 각각 1553.40 nm와 1553.84 nm이고, 구동전류는 3.2 mA(임계 전류 = 2.9 mA)이다.

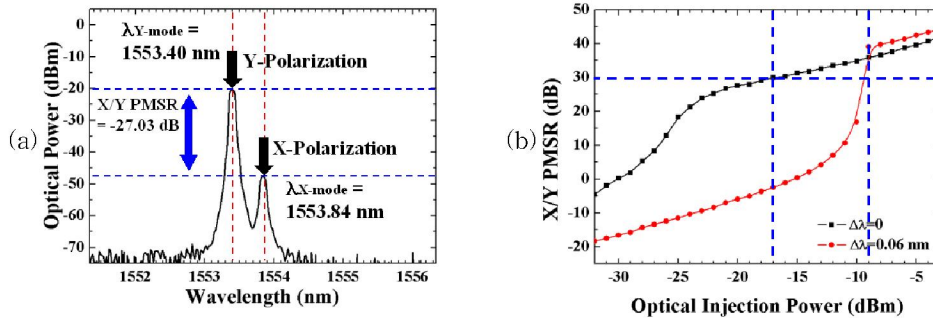


그림 2. 광 주입 전 VCSEL의 광 스펙트럼(a)과 광 주입 시 주입 광의 세기에 대한 VCSEL의 X/Y PMSR 변화(b)

그림 2는 광 주입 전 VCSEL의 광 스펙트럼(a)과 광 주입 시 주입 광의 세기에 대한 VCSEL의 X/Y PMSR 변화 측정 그래프(b)이다. X/Y PMSR(Polarization Mode Suppression Ratio)은 VCSEL의 X 편광 모드와 Y 편광 모드 간의 광 세기 차이로, 광 주입 전 VCSEL의 X/Y PMSR은 -27.03 dB이다. VCSEL에 외부 광을 주입하면 PMS 동작이 일어나는데, 파장 조절 $\Delta\lambda = 0(\lambda_{inj} = 1553.84 \text{ nm})$ 과 $\Delta\lambda = 0.06 \text{ nm}(\lambda_{inj} = 1553.90 \text{ nm})$ 에 대해 각각 -17 dBm과 -9 dBm 이상의 크기를 갖는 광을 주입시키면, VCSEL은 30 dB 이상의 X/Y PMSR 변화를 보이며 발진되었다. 즉 각 주입 파장에 대해 일정한 크기 이상의 외부 광을 주입하면 VCSEL은 안정된 PMS 동작을 보였고, 그림 2(b)에 보여지는 바와 같이 주어진 일정한 외부 주입광의 입력 파워에 대해서 주입 광의 파장에 따라 VCSEL의 편광 상태가 변할 수 있는 편광 모드 쌍안정 (PMB) 특성을 나타낸다.

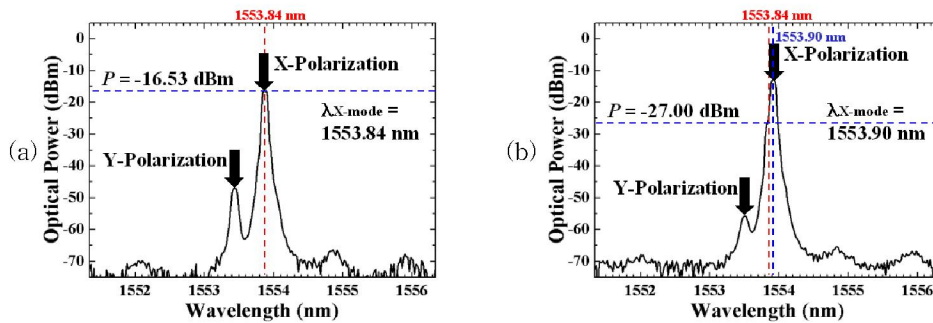


그림 3. LD 1 광을 주입했을 때(a)와 LD 1, LD 2 광을 동시에 주입했을 때(b)의 VCSEL의 발진 광 스펙트럼

그림 3은 VCSEL에 LD 1 광을 주입했을 때(a)와 LD 1, LD 2 광을 동시에 주입했을 때(b)의 VCSEL의 발진 광 스펙트럼이다. LD 1 광의 파장은 VCSEL의 X 편광 모드와 같은 파장인 1553.84 nm이고, LD 2 광의 파장은 X 편광 모드에서 0.06 nm 만큼 조절된 1553.90 nm이다. 주입 광의 세기는 각각 -18 dBm, -5 dBm이다. VCSEL에 LD 1 광을 주입하면 VCSEL은 PMS 동작이 일어나 1553.84 nm의 피크 파장, 30.46 dB의 X/Y PMSR을 갖는데, 이 때 LD 2 광을 주입하면 LD 2 광에 의해 광 주입 잠금 상태가 되고 1553.90 nm의 피크 파장, 42.8 dB의 X/Y PMSR을 갖게 된다. 즉 LD 2 광을 VCSEL에 주입함으로써 LD 1 광에 의해 발진되는 VCSEL의 X 편광 모드 광 세기를 -16.53 dBm에서 -27 dBm으로 10 dB 이상 감소시킬 수 있다. 신호 변조된 LD 1 광과 LD 2 광을 VCSEL에 주입하고, 동시에 VCSEL의 PMB 특성을 이용하면 새로운 방식의 광 논리 기능 동작을 구현할 수 있을 것으로 기대한다.

[1] H. Kawaguchi and I. S. Hidayat, Electronics Letters, **31**, 1150-1151 (1995).
 [2] N. L. Hoang, J. S. Cho, Y. H. Won and Y. D. Jeong, Optics Express, **15**, 5166-5171 (2007).
 [3] T. Mori, Y. Yamayoshi and H. Kawaguchi, Applied Physics Letters, **88**, 101102 (2006).