

9주 1강. 레이저다이오드 (1)



송실사이버대학교

송실사이버대학교의 강의콘텐츠는
저작권법에 의하여 보호를 받는바, 무단
전재, 배포, 전송, 대여 등을 금합니다.

* 사용서체 : 나눔글꼴



◆ 레이저다이오드

- 광통신의 대표 발광소자
- LASER = 유도 방출에 의한 빛의 증폭
- 엄밀히 레이저는 빛을 증폭(amplification)하는 소자는 아니며, 광공진기(optical cavity)를 이용하여 특정 주파수의 빛을 생성(generate)하는 소자
- 광통신용 레이저
 - 화합물 반도체로 제조된 p-n 접합 구조의 반도체 레이저다이오드
 - LED보다 방향성이 좋고, 출력 전력이 높으며, 스펙트럼 폭이 훨씬 좁을 뿐 아니라 가간섭성(coherent) 광파를 출력
 - 광통신 시스템의 성능이 개선될 필요가 있을 때마다 LD 성능 역시 함께 개선, 발전되어 왔다

■ 레이저 동작의 기본 개념

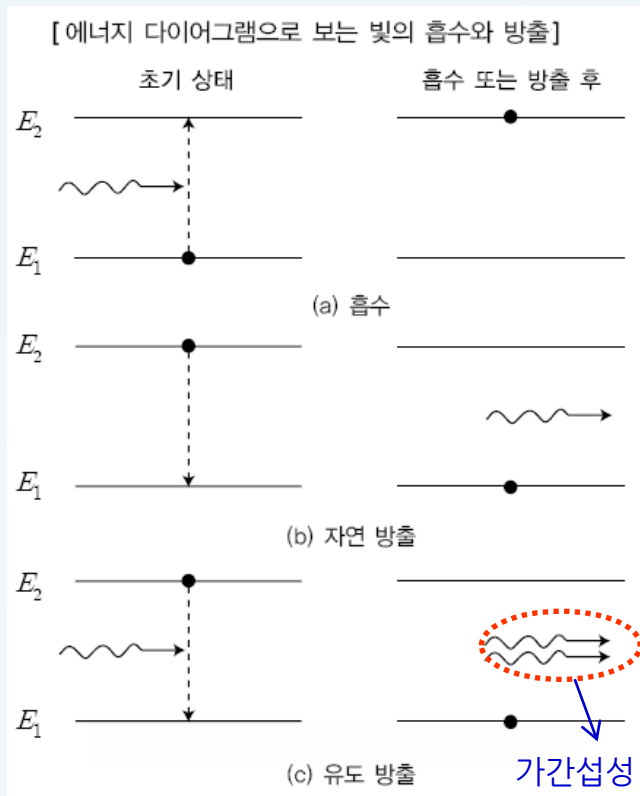
- 빛과 물질은 상호작용을 통해 빛의 흡수(absorption)와 방출(emission)이라는 현상을 나타냄
- 빛의 방출에는 자연 방출과 유도 방출이 있다.
- 자연 방출(자발 방출, spontaneous emission)
 - 외부 요인에 관계없이 무작위로(randomly) 발생
 - » 예) LED에서 전도대의 전자가 외부의 어떤 자극에 의하지 않고 자발적으로 가전자대로 떨어지면서 광자를 방출하는 것
 - 성질
 - » 자연 방출에 의한 빛의 스펙트럼 폭은 상당히 넓다.
 - » 방출된 광자의 방향은 사방으로 퍼져 나가므로 실제 출력 전력은 낮다.
 - » 넓은 각을 이루며 퍼져 나가므로, 광섬유와 결합하기가 어렵다.
 - » 자연 방출에 의한 광자는 서로 독립적으로 발생하므로, 서로의 위상끼리 상관관계가 없다. 즉, 자연 방출에 의한 빛은 비간섭성(incoherent)

➔ 장거리 광통신에서는 자연 방출에 의한 LED를 사용하기 어렵다.



- 유도 방출(stimulated emission)
 - 여기(excited) 상태의 입자가 외부 광자의 영향으로 낮은 에너지 상태로 떨어지면서 외부 광자와 같은 성질의 광자를 방출하는 현상
 - 성질
 - » 새로 방출되는 광자의 주파수(혹은 파장) 역시 외부 광자와 비슷하므로, 출력 스펙트럼 폭은 좁은 편
 - » 새로 방출된 광자는 외부 광자에 의해 발생되므로, 이들의 위상은 같다. 즉, 유도 방출에 의한 빛은 **가간섭성(coherent)**이 된다. 따라서 서로 더해졌을 때는 증폭되는 것처럼 보인다.
 - » 모든 광자가 같은 방향으로 진행하기 때문에 레이저다이오드의 외부로 빛을 출력하기가 쉽다. 즉, 같은 전류를 공급한다면 레이저다이오드의 출력 광 전력은 LED보다 훨씬 높을 뿐 아니라 외부 광섬유와 결합하기도 쉽다.

- 유도 방출(stimulated emission)





■ 밀도 반전

- 레이저로 동작하기 위해서는 유도 방출이 짧은 시간에 수없이 발생해야 함
- 따라서, 높은 에너지 상태에 존재하는 입자 수가 낮은 에너지 상태의 입자 수보다 더 많아야 함 → **밀도 반전 (population inversion)**
- 밀도 반전은 외부에서 따로 에너지를 공급해야 가능
- 외부에서 에너지를 공급하여 입자의 에너지를 높은 상태로 여기(excited)하는 것을 **펌핑(pumping)**이라고 부름
- 반도체 레이저에서 밀도 반전은 불순물 주입 농도가 아주 높은 p형 반도체와 n형 반도체의 접합으로 된 p-n 다이오드에 순방향 전류를 충분히 흘려주면 (펌핑) 발생
- 불순물의 농도가 아주 높으면 p형 반도체에서 페르미 에너지 준위는 가전자대 아래에 놓이게 되고, n형 반도체에서는 전도대 위에 놓이게 됨 → 축퇴(degenerate)



■ 밀도반전과 유도방출의 조건

- 축퇴된 p-n 접합 다이오드에 순방향 전압 인가
 - 공핍 영역에서 밀도 반전 → 활성 영역으로 동작
 - 자연 방출은 펌핑에 의해 평형 상태를 벗어나면 밀도 반전에 도달하지 않더라도 항상 발생
- 외부에서 활성 영역으로 광자 인가될 경우
 - 이 광자를 흡수하는데 필수적인 에너지 상태가 모두 채워져 있으므로 흡수가 아니라 방출을 유도
 - 전도대의 전자 수(순 방향 전압으로 조절)가 레이저다이오드의 이득(gain)을 결정
 - 이득뿐만 아니라 손실 요인도 있으므로, 밀도 반전이 일어나도 반드시 레이저로 동작하는 것은 아님

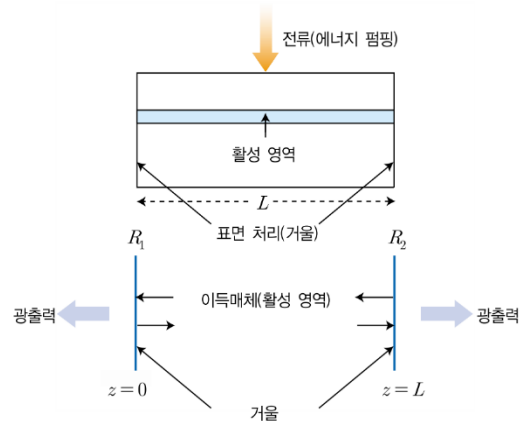
레이저다이오드

■ 광공진기와 문턱 조건

- 레이저다이오드(LD)는 LED와 달리 광공진기(optical cavity) 구조를 갖춤

➤ 광공진기

- 빛을 양성 되먹임(positive feedback)하기 위해 두 거울을 마주 보게 하는 구조로, 패브리-페로(FP, Fabry-Perot) 광공진기라 함
- 거울 사이는 이득 매체인 활성 영역



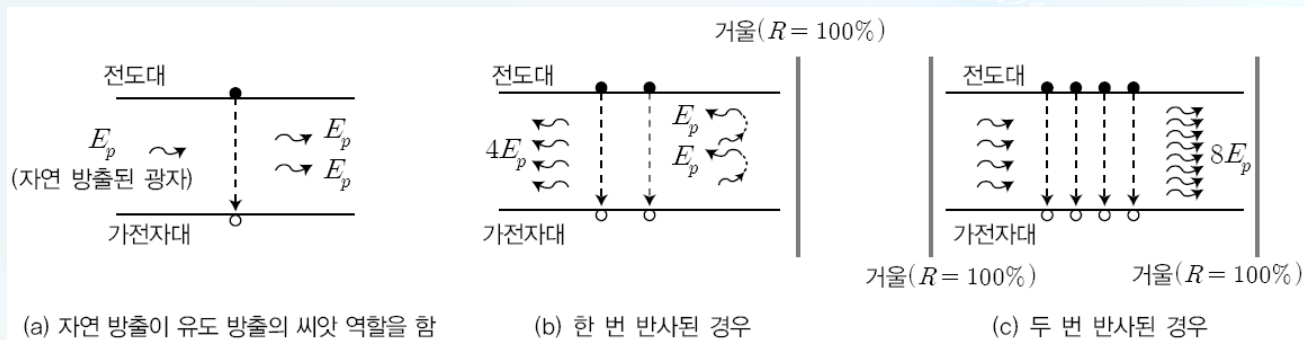
[그림 4-24] 패브리-페로형 광공진기 구조

- R_1, R_2 는 각 거울의 반사율

■ 광공진기와 문턱 조건

➤ 빛의 양성 되먹임 과정($R=100\%$ 인 경우)

- 자연 방출에 의한 광자가 유도 방출의 씨앗 역할을 하여
가간섭성의 광파 발생



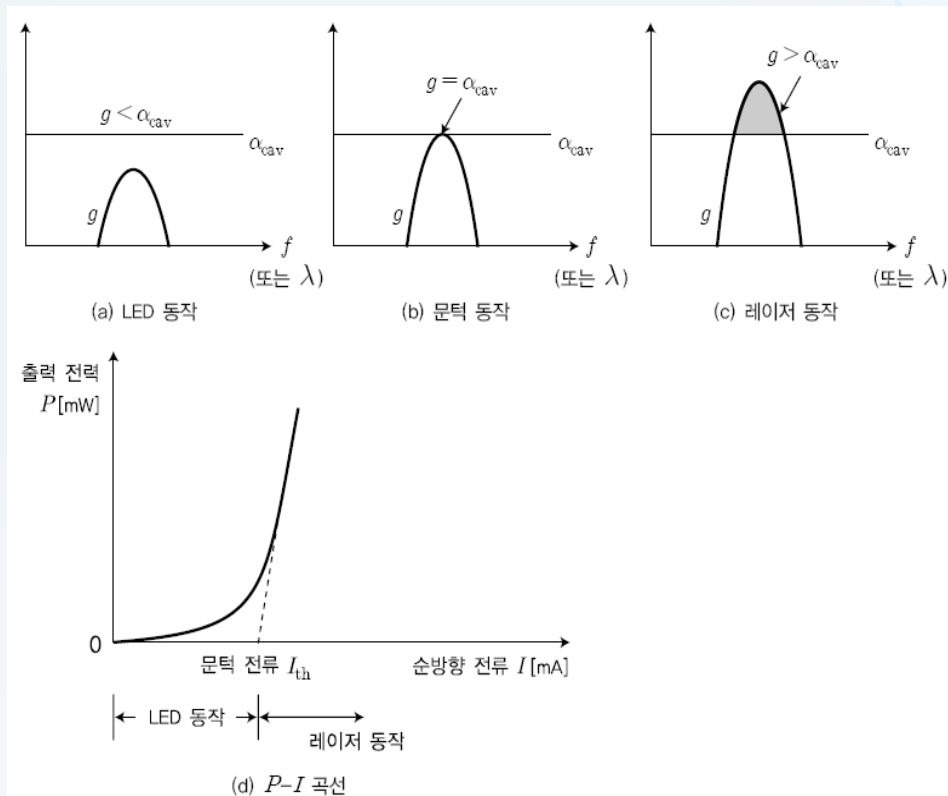


■ 레이저의 입출력

- 레이저다이오드(LD)의 입력은 LD로 흐르는 전류 I 이며, 출력은 LD의 한 면에서 나오는 빛의 전력 P
- 전류가 작으면 활성 영역으로 주입되는 캐리어 농도가 낮아 밀도 반전이 일어나지 않고, LED 처럼 동작
- 밀도 반전이 일어나 레이저 동작이 시작되는 문턱 전류 I_{th} 는 낮을수록 바람직함
- 레이저 동작 후 작은 전류의 증가에도 출력 광전력이 크게 증가하는 것이 효율적이므로 기울기 $\Delta P / \Delta I$ 는 클수록 좋다.

레이저다이오드

■ 레이저의 입출력

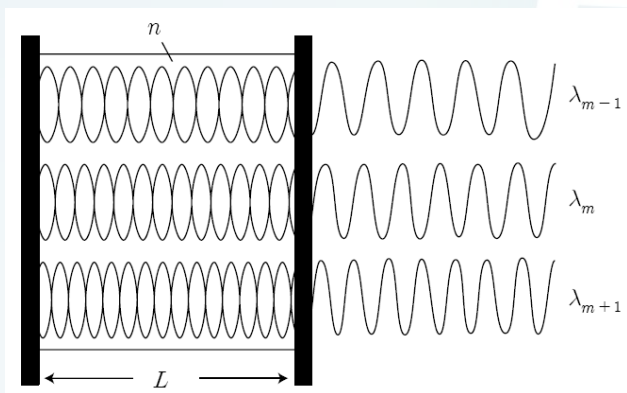


❖ 참고) I_{th} 는 약 10~30mA, 동작 전류는 약 20~60mA 정도

■ 위상 조건

- 레이저로 동작하기 위해서는 이득조건 외에 위상조건도 만족해야 함
- 광자는 파동의 성질도 있으므로, 레이저로 동작하기 위해서는 한 번 왕복 후의 위상 변화 $\Delta\phi$ 가 2π 의 정수배가 되어야 한다. 즉 다음과 같은 특정한 파장만이 광공진기 외부로 출력된다.

활성영역의 굴절률



$$\lambda_m = \frac{2nL}{m}$$

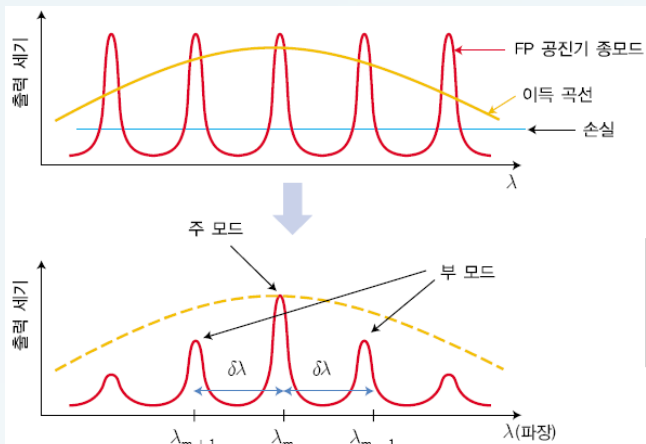
(m 은 정수)

레이저의 종모드(longitudinal mode)

레이저다이오드

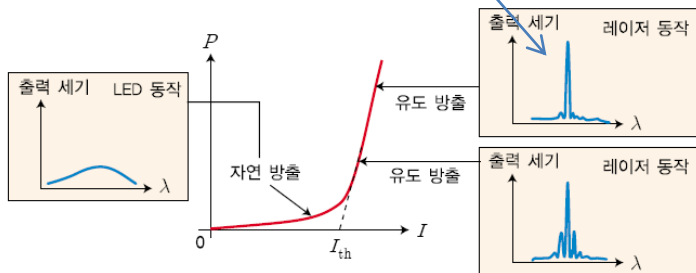
■ FP형 레이저다이오드의 특성

- 이득 곡선의 최대치에 해당하는 종모드는 출력이 가장 크며, 주 모드라고 한다.
- 주 모드 다음으로 큰 종모드를 부 모드라고 한다.
- 다수의 종모드가 발생하므로 다중모드 LD라고도 부름



(a) FP형 레이저에서 종모드와 이득 곡선

전류가 증가하면 주모드로 전력이 집중
되어 종모드 수 감소



(b) P - I 곡선과 출력 스펙트럼

- 패브리-페로(FP)형 공진 구조를 갖춘 LD는 다수의 종모드를 발생시키므로, 다중모드(multimode) LD라고도 부름
 - 다중모드 LD의 각 종모드는 군속도 분산 때문에 광섬유 안에서 각각 조금씩 다른 속도로 전파
 - 군속도 분산에 의해 곱이 10[Gb/s·km] 이하로 제한
 - 부 모드를 최대한 억제하기 위한 LD가 고안

수고하셨습니다.

