

# 8주 2강. 발광다이오드



송실사이버대학교

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

\*사용서체 : 나눔글꼴



## ◆ 발광 다이오드 (LED-Light Emitting Diode)

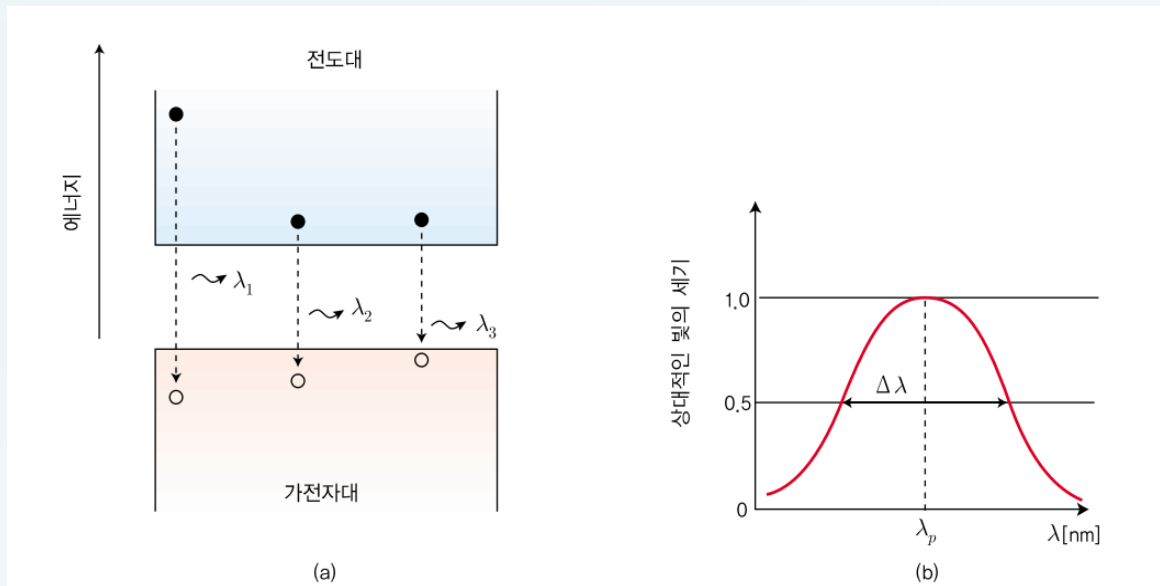
- 장점
  - 제조가 용이
  - 가격이 낮음
  - 크기가 작고 수명이 김
- 단점
  - 광출력이 낮음  $\Rightarrow$  장거리 전송이 힘들
  - 출력 스펙트럼의 폭이 넓어 분산이 심함  $\Rightarrow$  비트율과 전송거리가 제한됨
  - 빛의 방사 형태가 넓어 단일모드와 결합되는 광 출력의 양의 극히 적음  $\Rightarrow$  다중모드와 주로 사용됨
- 주요 응용 광통신 시스템
  - LAN과 같은 근거리용
  - 비트율은 수십 Mb/s ~수백 Mb/s

- 반도체의 에너지 밴드와 방출된 빛의 스펙트럼
  - 전도대에 존재하는 전자가 가전자대의 정공과 재결합(recombination)하게 되면, 그 에너지 차  $\Delta E$ 에 해당하는 광자를 방출

$$\Delta E = E_p = \frac{hc}{\lambda}$$

- 전도대 안에서는 전자가 연속적인 에너지 값을 가질 수 있고, 가전자대 안에서는 정공이 역시 연속적인 에너지 값을 가질 수 있으므로, 방출된 광자의 주파수(혹은 파장) 역시 연속적인 값을 가지며 스펙트럼 폭이 넓어짐

## ■ 반도체의 에너지 밴드와 방출된 빛의 스펙트럼



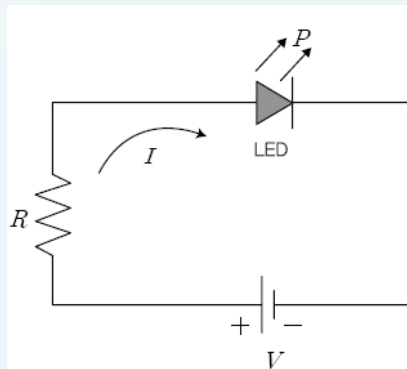
반도체에서의 빛의 방출과 스펙트럼



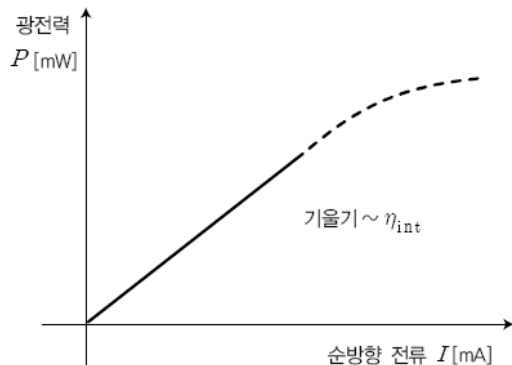
## ■ LED의 동작 원리

- 지속적으로 빛을 방출을 위해서 전도대에 상당량의 전자가 계속 공급되어야 함
- 외부에서 반도체로 에너지를 계속 공급해주면 가능
- 반도체 소자에서 가장 적절하게 에너지를 공급하는 방법은 전류 공급
- 전류를 통해 제한된 영역에서 전자와 정공이 재결합함으로써 광자, 즉 빛이 방출되려면 반도체의 p-n 접합을 이용

## ■ LED의 동작 원리



(a) LED 회로



(b) 입출력 관계

➔ 순방향 바이어스된 p-n 접합 다이오드는 외부 전원에 의해 전류가 흐르므로, 공핍층에서 자유전자와 정공이 재결합함으로써 지속적으로 빛을 방출하게 된다.



## ■ 내부 양자효율

- 직접 밴드갭 구조의 반도체라 하더라도 전도대의 전자가 가전자대의 정공과 재결합할 때 발생하는 에너지 차가 항상 광자로 방출되는 것은 아님
- 광자가 방출되는 재결합을 발광성 재결합, 광자가 방출되지 않는 재결합을 비발광성 재결합이라 함
- 비발광성 재결합의 원인으로는 자체 흡수와 이종접합(heterostructure)의 경계면에서의 재결합이 일어나는 경우 등이 있음
- 순방향 바이어스된 다이오드는 공핍층 부근에서 재결합이 활발하게 일어나는데, 대부분의 재결합이 발광성일 때 LED로 동작



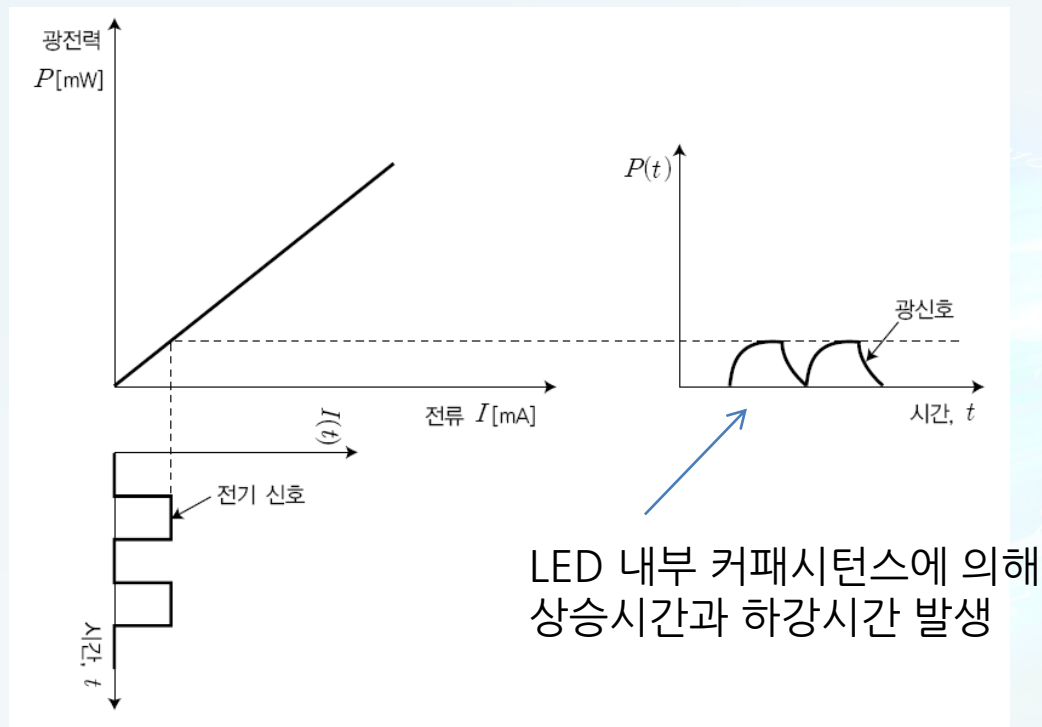
- 내부 양자효율
  - 내부 양자효율의 정의

$$\eta_{\text{int}} = \frac{N_p}{N_e}$$

- $N_e$ 는 단위 시간당 주입된 전자 수,  $N_p$ 는 단위 시간당 발생한 광자 수
- 주입된 모든 전자가 광자로 배출되는 것은 아니므로 내부 양자효율은 항상 1보다 작음

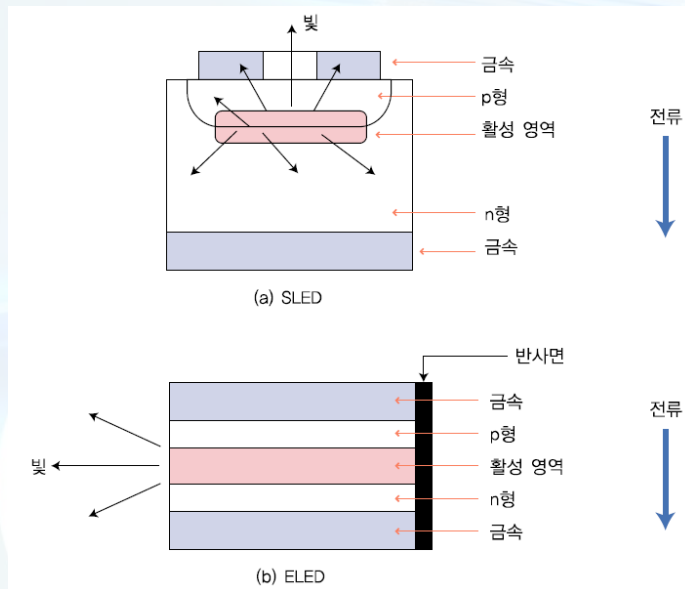


- LED의 디지털 변조
  - 순방향 전류  $I(t)$ 를 변화시켜 출력 전력  $P(t)$ 를 변조



- LED의 구조와 방사 형태
  - 빛이 LED 외부로 나오는 면에 따라 구분
    - 표면 방출 LED(SLED)와 단면 방출 LED(ELED)
  - 활성 영역 (active region)
    - 재결합이 가장 활발하게 일어나 광자가 방출되는 영역
    - 주로 공핍층 부근
  - p-n 접합 재료에 따라 구분
    - 동종접합 LED : p-n 접합이 같은 반도체 재료로 이루어짐
    - 이종접합 LED : p-n 접합이 다른 반도체 재료로 이루어짐

## 〈동종접합 LED의 구조〉



## ■ 동종접합 LED의 단점

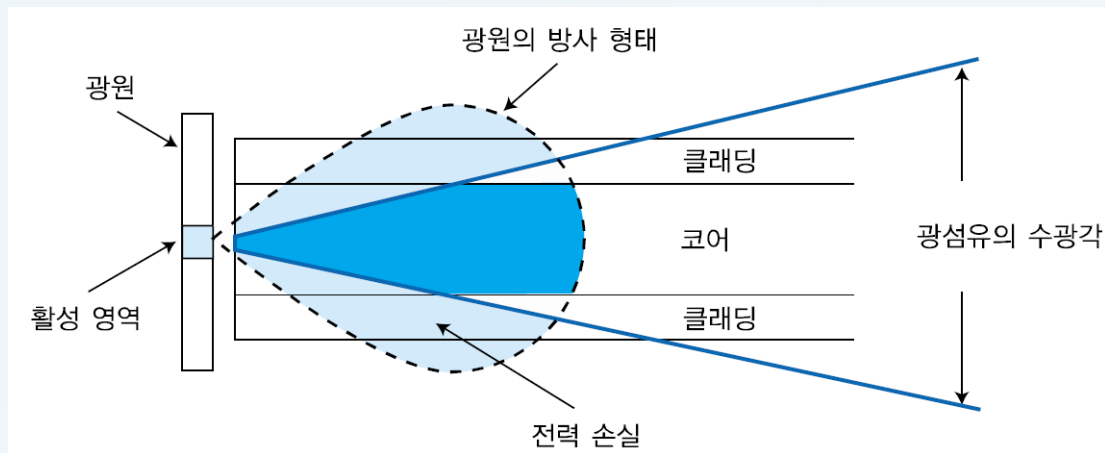
- 동종접합 LED의 활성 영역은 상대적으로 넓게 퍼져 있다.
  - 단위 면적당 방출하는 광자의 수가 낮음
- p형과 n형 반도체가 모두 같은 재료이므로 굴절률 역시 같다.
  - 활성 영역에서 방출된 광자는 주위의 굴절률이 모두 같으므로, 사방으로 퍼져 상당수는 흡수
  - LED 외부로 방출된 빛도 방사각이 넓어 광섬유로 결합되는 효율이 낮다.

⇒ 동종접합 LED는 실제 거의 사용되지 않음

## ■ 이종 접합 LED

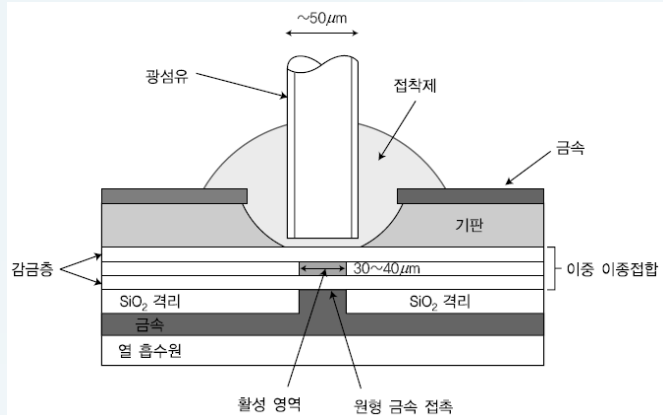
- 밴드갭 에너지와 굴절률이 서로 다른 반도체를 접합한 LED
- 이종접합 구조를 사용하면 활성 영역을 제한하여 재결합이 한정된 영역에서만 발생하게 하는 것이 가능
- 빛의 방출 방향을 한쪽으로 유도 가능

- 결합전력과 결합효율
  - 실제 광섬유로 결합되는 전력  $P_{IN}$ 이 중요

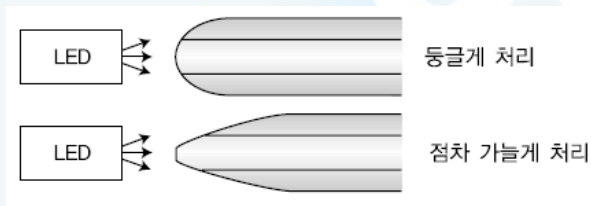


람베르트 방사형태이면, 계단형 광섬유로 결합되는 광전력

- 직접 결합
  - 결합효율을 높이기 위해 직접 결합을 많이 사용
  - SLED와 다중모드 광섬유를 직접 결합한 경우



- 결합효율을 높이기 위한 광섬유의 단면



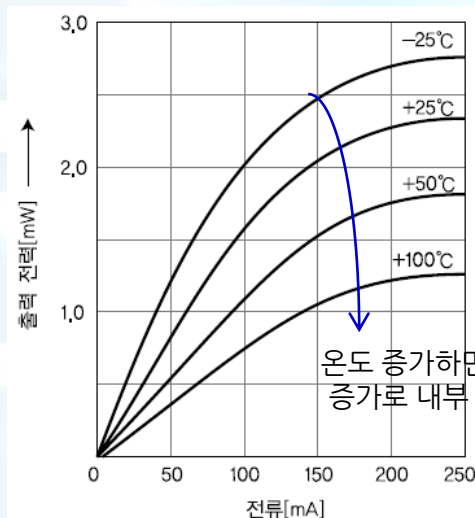
## ■ LED의 특성

### • 단점

- 넓은 스펙트럼 폭( $\Delta\lambda=30\sim120\text{nm}$ )과 느린 반응 속도 때문에 비트율이 5Mbps~200Mbps 정도로 제한
- 광섬유로 결합하는 광전력이 수십  $\mu\text{W}$ 에서 수백  $\mu\text{W}$  정도로 낮아 전송 거리 역시 수십 m에서 수 km 이내로 제한

### • 장점

- 가격 저렴하다.
- 평균 수명이 길다.
- 사용온도 범위가 넓다.



온도 증가하면 비발광성 재결합 증가로 내부 양자효율 감소

[온도에 따른 LED의 입출력 특성]

- SLED와 ELED

- SLED는 ELED보다 제조하기가 쉬워 가격이 싸지만, 광출력이 낮고 동작 속도 역시 상대적으로 더 느린 편
- ELED는 출력을 광섬유로 결합하기가 쉬우며, 동작 속도 역시 빠른 편

- LED의 특성 비교

활성 영역 재료	종류	중심 파장 $\lambda$ (nm)	스펙트럼 폭 $\Delta\lambda$ (nm)	광섬유로 결합되는 광전력( $\mu$ W)	전류(mA)	상승 및 하강시간(ns)
AlGaAs	SLED	660	20	190~1350	20(min)	13/10
	ELED	850	35~65	10~80	60~100	2/2~6.5/6.5
GaAs	SLED	850	40	80~140	100	-
	ELED	850	35	10~32	100	6.5/6.5
InGaAsP	SLED	1300	110	10~50	100	3/3
	ELED	1300	25	10~150	30~100	1.5/2.5
	ELED	1550	40~70	1,000~7,500	200~500	0.4/0.4~12/12



수고하셨습니다.

