

# 제 8장 Photodetector

---

## 8.1 Photoconductor

## 8.2 Photodiode

### 8.2.1 Pin Photodiode

### 8.2.2 금속-반도체 Photodiode

### 8.2.3 이종결합 Photodiode

### 8.2.4 애벌랜치 Photodiode

# 제 8장 Photodetector

---

- Photodetector(PD)  
: 광신호를 전기신호로 변환할 수 있는 반도체 디바이스
- PD의 동작원리
  - (1) 입사광에 의한 캐리어 발생
  - (2) 전류이득 메카니즘이 있는 곳에서 캐리어 이동과 증가
  - (3) 출력신호를 공급하기 위한 외부 회로와의 전류 상호작용
- PD의 응용 : 광 아이솔레이터의 적외선 센서, 광섬유 통신용 검출기  
광범위하게 응용
- PD의 조건: 동작파장에서 고감도, 고반응속도, 저잡음, 컴팩트,  
낮은 바이어스 전압/전류 사용, 신뢰성

# 제 8장 Photodetector

---

## 8.1 Photoconductor

- 입사광선이 반도체의 표면에 조사될 때 밴드간 전이나 금지대내 에너지 레벨 전이에 의하여 전자-정공 쌍이 생성되고 결국 전도도가 증가
- 전자가 전도대로 올라가기 위해서는 광자의 에너지가 에너지 갭 보다 커야 함

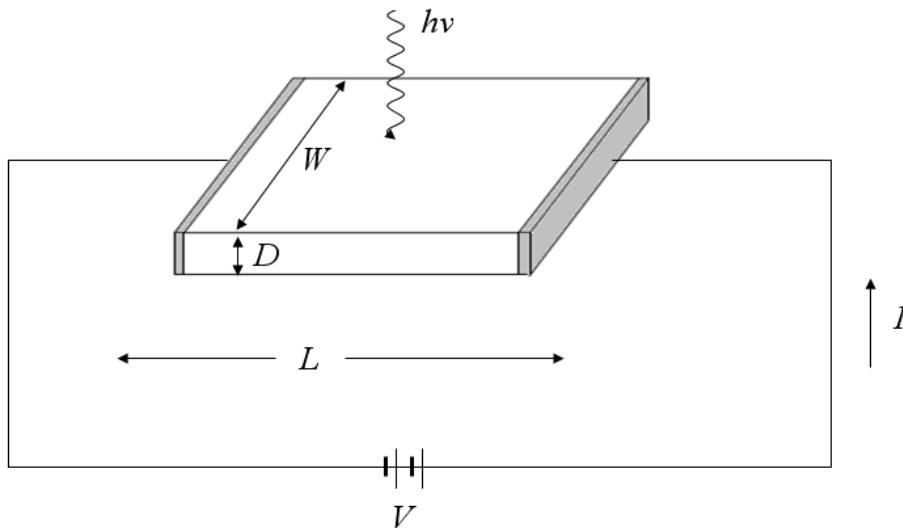


그림 8.1 PD의 구조

## 제 8장 Photodetector

---

물질	에너지 갭 $E_g$ [eV]	차단파장 $\lambda_c$ [ $\mu\text{m}$ ]	영역
Ge	0.67	1.85	적외선
Si	1.11	1.12	적외선
GaAs	1.43	0.86	적외선
GaP	2.30	0.54	가시광
PbS	0.62	2.00	적외선
InSb	0.18	6.89	적외선
CdSe	1.74	0.72	적외선
CdS	2.45	0.51	가시광
CdTe	1.45	0.86	적외선

# 제 8장 Photodetector

---

- 진성 Photoconductor의 전도도  $\sigma = q(\mu_n n + \mu_p p)$

- 조사 중에 있는 Photoconductor의 동작 고려

t 시간 후 같은 체적 내의 캐리어 수  $n(t)$

$$n(t) = n_0 \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right),$$

$n_0$  : 초기캐리어수,  $\tau$  : 캐리어수명(재결합율의역수)

- 단위체적당의 전체 정상상태 캐리어 발생률(=재결합률)

$$G = \frac{n}{\tau} = \frac{\eta(P_{\text{opt}}/h\nu)}{WLD}$$

□  $\eta$ 는 양자효율,  $n$ 은 단위체적당 캐리어 수

- 전극사이에 흐르는 광전류

$$I_P = (\sigma E)WD = (q\mu_n nE)WD = (qn v_d)WD$$

E : 전기

$V_d$  : 드리프트속도(= $\mu_n E$ )

## 제 8장 Photodetector

---

$$I_p = q \left( \eta \frac{P_{\text{opt}}}{h\nu} \right) \left( \frac{\mu_n \tau E}{L} \right) \quad I_{\text{ph}} \equiv q \left( \eta \frac{P_{\text{opt}}}{h\nu} \right)$$

- 광전류 이득 : 캐리어 수명시간과 주행시간의 비

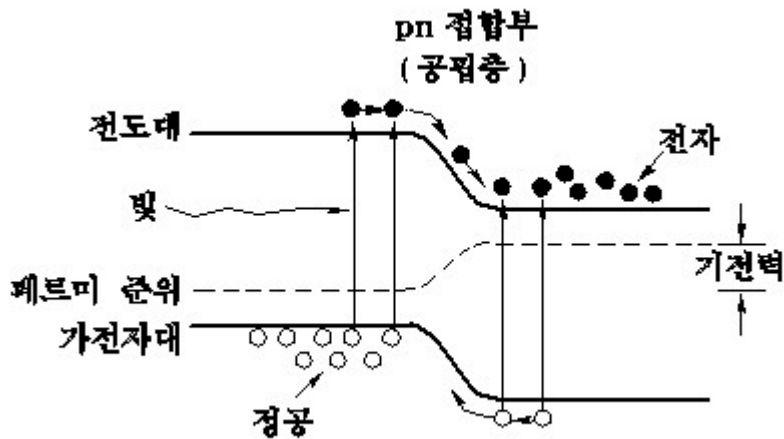
$$\text{이득} = \frac{I_p}{I_{\text{ph}}} = \frac{\mu_n \tau E}{L} = \frac{\tau}{t_r}, \quad t_r = L/v_d : \text{캐리어 주행시간}$$

- Photoconductor의 반응시간은 주행시간에 의하여 결정
  - 짧은 주행시간을 얻기 위하여는 작은 전극 간격과 높은 전계 사용.
  - Photoconductor의 반응시간 :  $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 초 정도의 넓은 범위
  - 수  $\mu\text{m}$ 보다 더 큰 파장에 대하여 적외선 검파용으로 널리 사용

# 제 8장 Photodetector

## 8.2. Photodiode

- 역 바이어스에서 동작하는 pn접합 소자

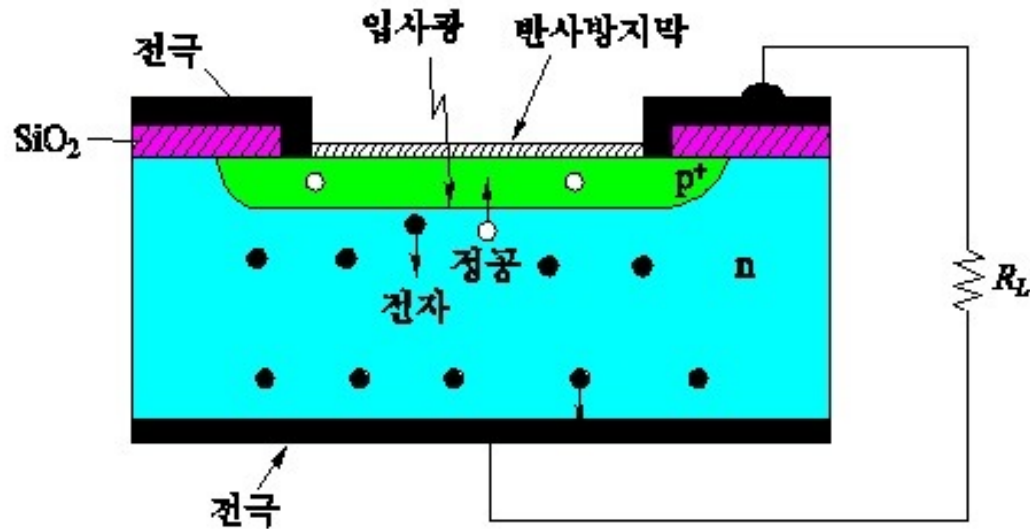


Photodiode 동작원리

- p-n 접합에 빛이 조사되면 n영역, p영역, 공핍층에서 전자-정공 쌍이 발생
- 공핍층에서 발생한 전자는 n영역으로, 정공은 p영역으로 내부전계에 의해 가속
- n영역에서 발생한 전자는 전도대에, 정공은 공핍층까지 확산한 다음 전계에 의해 가속되어 p영역으로 흐름
- p영역에서 발생한 정공은 가전자대, 전자는 공핍층을 통과해 n영역으로 흐름
- 전자는 n영역의 전도대에, 정공은 p영역의 가전자대에 축적, p영역이 (+), n영역이(-)인 전위가 형성

# 제 8장 Photodetector

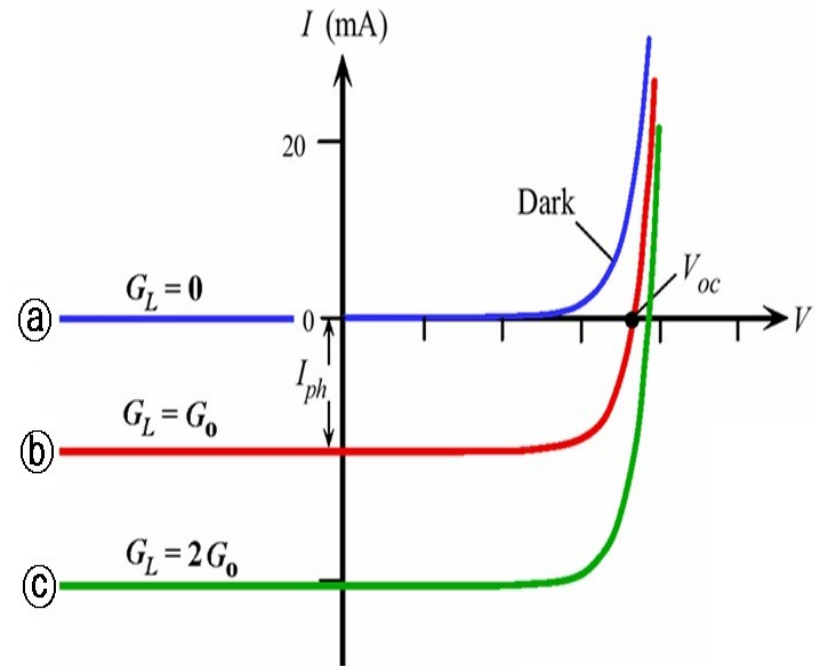
## (1) Photodiode 구조 및 동작원리





# 제 8장 Photodetector

## (2) 특성과 응용



- 빛이 없는 상태에서 포토다이오드에 전압을 인가하면 곡선 a와 같이 일반 다이오드의 정류 특성을 얻음.
- 외부로부터 빛의 세기에 비례해서 b,c로 평행이동.
- 입사광의 세기가 증가하면 포토다이오드의 출력 전압과 전류가 증가.

# 제 8장 Photodetector

---

## 8.2. Photodiode

1) 양자효율 : 각 입사 광자에 대하여 발생된 전자-정공 쌍의 수

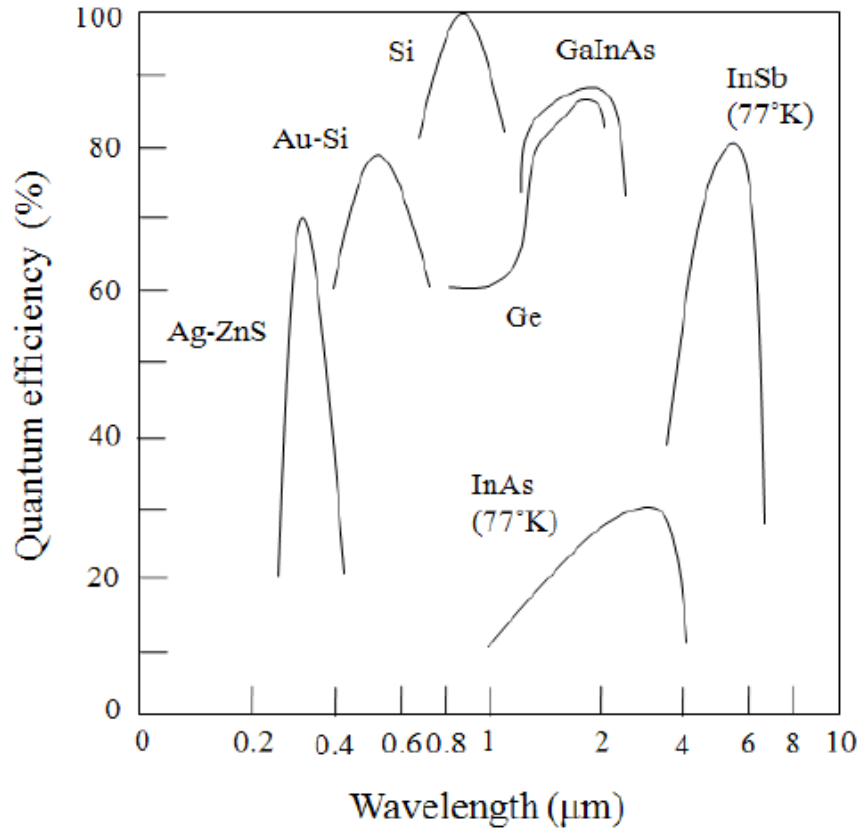
$$\eta = \left( \frac{I_p}{q} \right) / \left( \frac{P_{opt}}{h\nu} \right) \quad I_p: \text{파장 } \lambda \text{에서 입사광 전력 } P_{opt} \text{를 흡수함으로써}$$

발행된 전류

$\eta$ 를 결정하는 주요 인자 중의 하나는 흡수계수  $\alpha$ . □

$\alpha$ 는 파장의 큰 함수이므로 광전류가 발생할 수 있는 파장범위는 제한

# 제 8장 Photodetector



- 자외선과 가시광 영역 : 금속-반도체 photodiode
- 근-적외선 영역 : 실리콘 photodiode는 0.8~0.9 $\mu\text{m}$ 영역 근처에서 100% 효율
- 1.0~1.6  $\mu\text{m}$  영역 : 게르마늄 photodiode와 III-V족 photodiode

그림 8.2 여러 가지 photodiode에서의 파장 대 양자효율

# 제 8장 Photodetector

---

## 2) 반응속도

- (1) 캐리어의 확산,
- (2) 공핍층 영역에서의 드리프트 시간,
- (3) 공핍층의 커패시턴스. 공핍층 영역 외에서 발생된 캐리어는 접합면까지 확산하여야 하며 이는 상당한 시간을 지연시킴.

# 제 8장 Photodetector

## 8.2.1 Pin Photodiode

- p-n접합 사이에 비저항이 큰 진성영역을 형성하여 pin구조로 한 것
- 공핍층 두께가 양자효율과 주파수 응답을 최적화하도록 만들어질 수 있기 때문에 가장 일반적인 PD

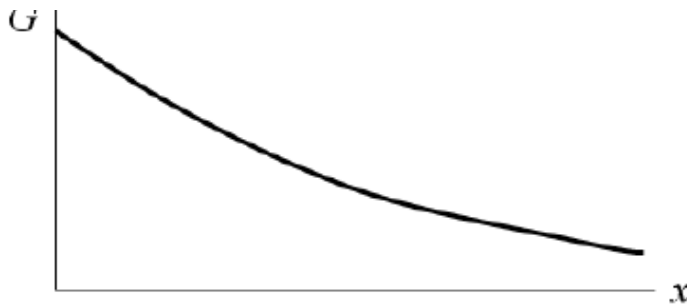
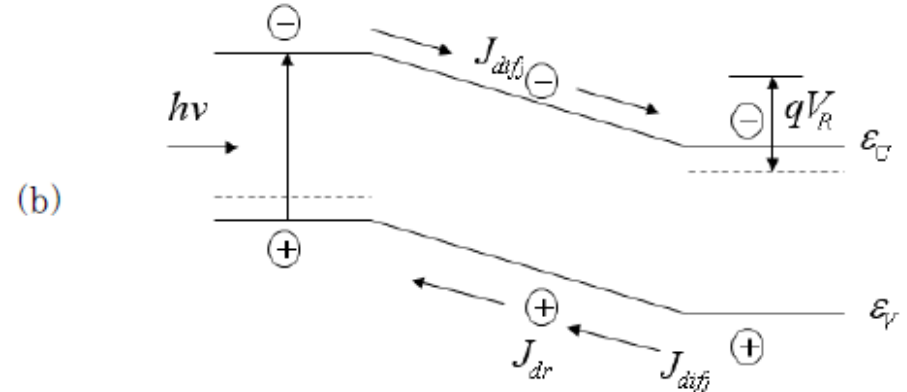
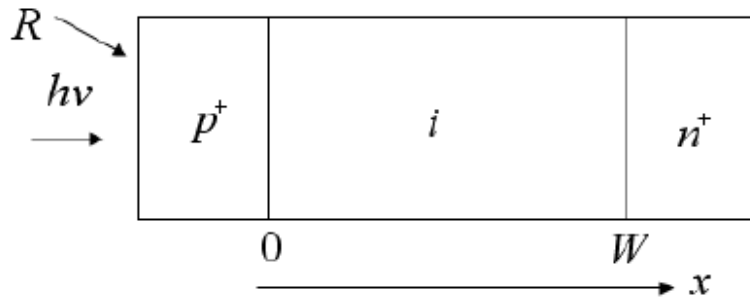


그림 8.3 (a) pin photodiode의 개략도  
(b) pin 다이오드의 에너지 밴드  
(c) 캐리어 생성

# 제 8장 Photodetector

## 8.2.2 금속-반도체 Photodiode

- 자외선이나 가시광 영역에서 유용
- 다이오드 금속 접촉에 빛이 조사될 때 반사와 흡수 손실을 피하기 위해 금속막은 매우 얇아야 함(~10nm)

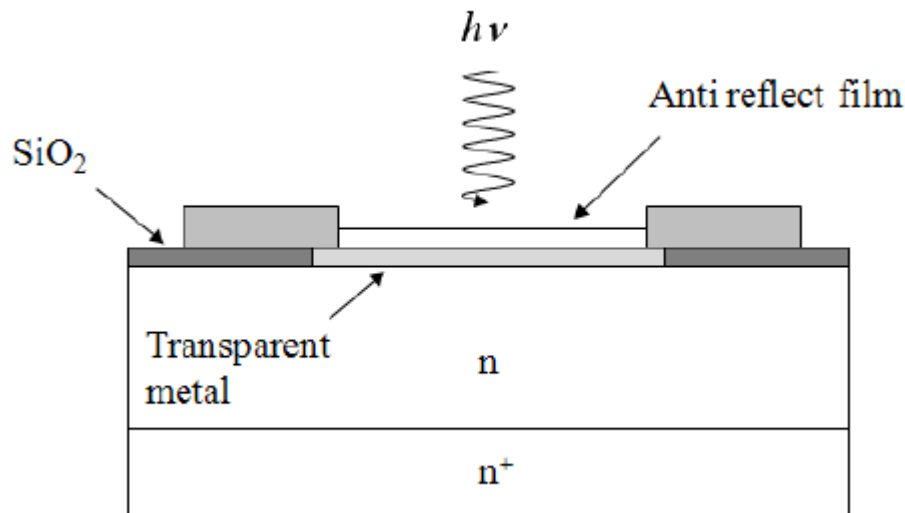


그림 8.4 금속-반도체 photodiode

# 제 8장 Photodetector

## 8.2.3 이종결합 Photodiode

: 밴드갭이 작은 반도체에 밴드갭이 큰 반도체를 에피택셜로 접합시킴  
으로써 형성되는 이종접합 디바이스

### ■ 장점

- 양자효율이 표면에서 접합면까지의 거리에 민감치 않고,  
그 때문에 밴드갭이 큰 물질이 광 전력의 투과창으로 사용 가능
- 양자효율과 응답속도가 주어진 광신호 파장에 대하여 최적화 될 수  
있도록 독특한 재료 구성

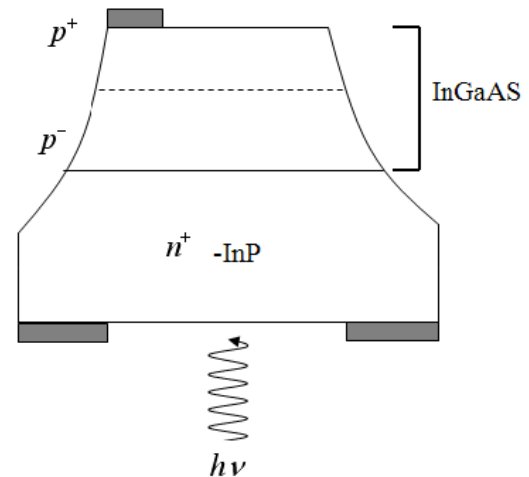


그림 8.5 InGaAs/InP photodiode

# 제 8장 Photodetector

## 8.2.4 애벌랜치 Photodiode : 전류 증폭작용을 이용한 내부 증폭형 광센서

- 전자사태 증배작용이 일어날 정도로 충분한 역 바이어스 전압에서 동작
- 증배작용은 내부 전류이득을 초래하고 디바이스는 마이크로파 주파수 정도의 높은 주파수에서 변조된 빛에 반응

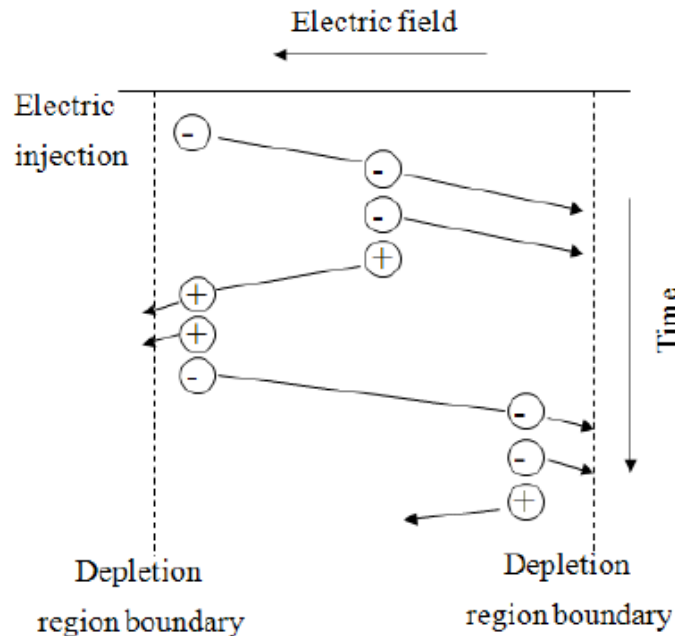


그림 8.6 애벌랜치 과정( $\alpha_e \cong \alpha_h$ )



# 제 8장 Photodetector

---

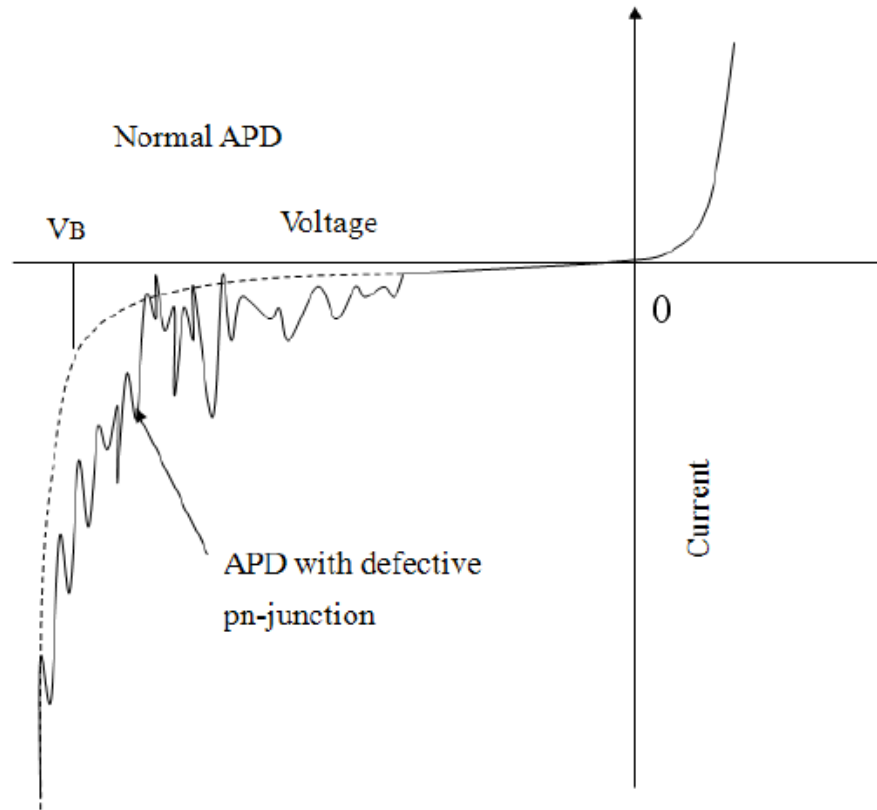


그림 8.8 일반적인 APD와 pn접합에 결함이 있는 APD의 전류-전압 특성

# 제 8장 Photodetector

---