

OTTER I-V
반도체 소자 실험

반도체와 빛 (CdS Photoresistor)



주식회사 세미오테에듀
SEMI OTTER EDU CO.,LTD



일상 속 빛-반도체 상호작용



자동 가로등

해가 지면 스스로 켜짐



카메라 노출계

빛의 양을 측정해 셔터
조절



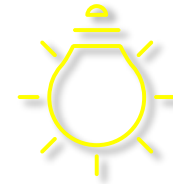
스마트폰 주변광 감지

화면 밝기 자동 조절

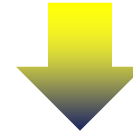


엘리베이터 센서

문 사이 사람 감지



빛의 세기

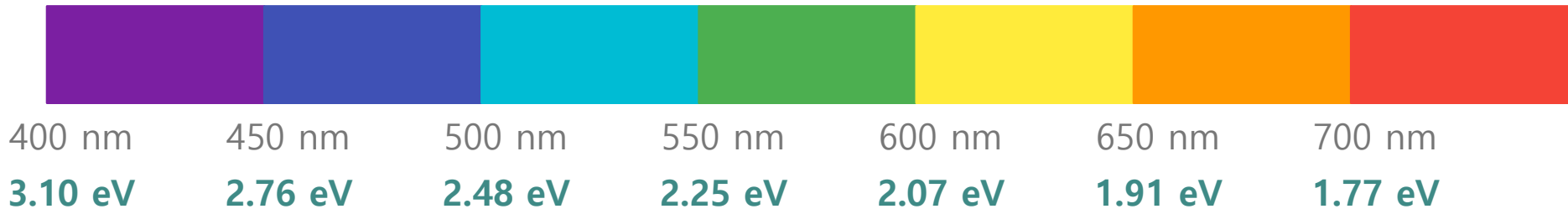


전기 신호

- 오늘의 소자: CdS 포토레지스터
- 빛을 전기로 변환하는 가장 기본적 소자

광자의 에너지

파장 λ (짧음 $\longleftrightarrow$ 김)



광자 에너지 공식

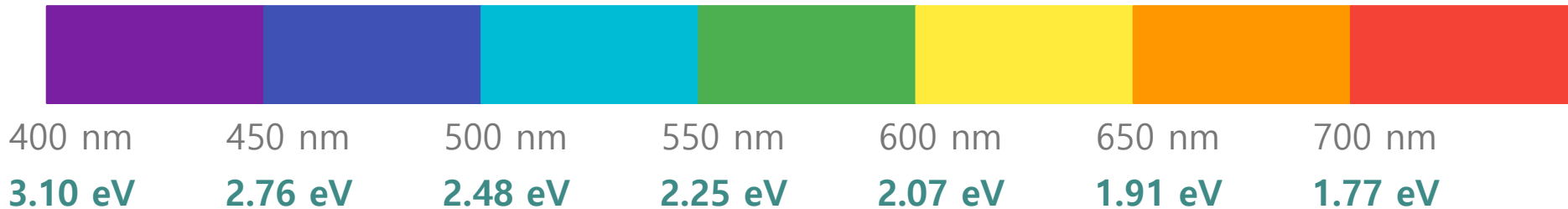
$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$E \text{ (eV)} \approx 1240 / \lambda \text{ (nm)}$$

- 빛은 파동이면서 **에너지를 가진 알갱이(광자)**
- 파장이 짧을수록(보라색 쪽) 광자 하나당 에너지가 큼
- 가시광선 범위: 380–780 nm $\rightarrow$ **약 1.6–3.3 eV**

광자의 에너지

파장 λ (짧음 $\longleftrightarrow$ 김)



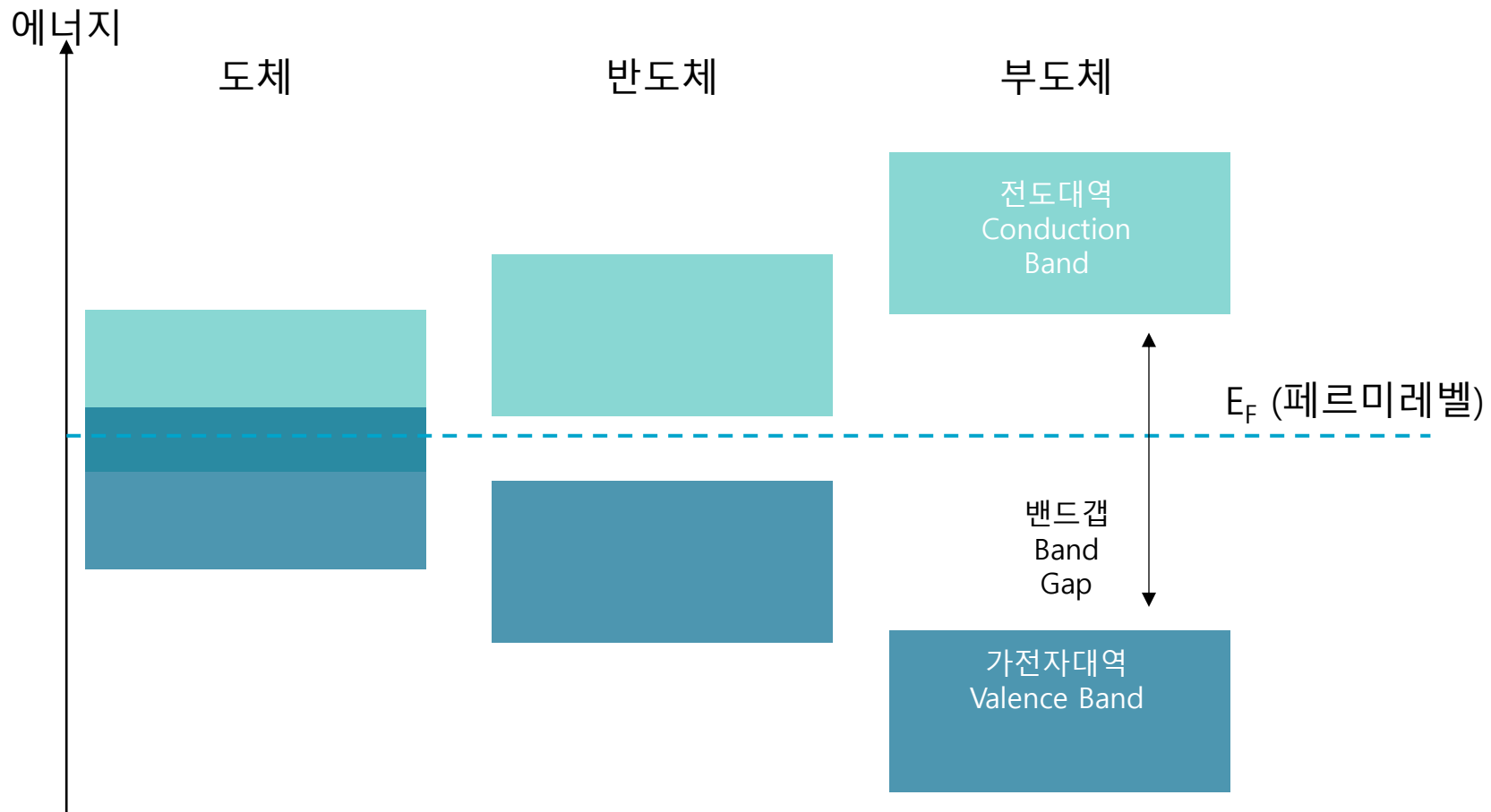
광자 에너지 공식

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$E \text{ (eV)} \approx 1240 / \lambda \text{ (nm)}$$

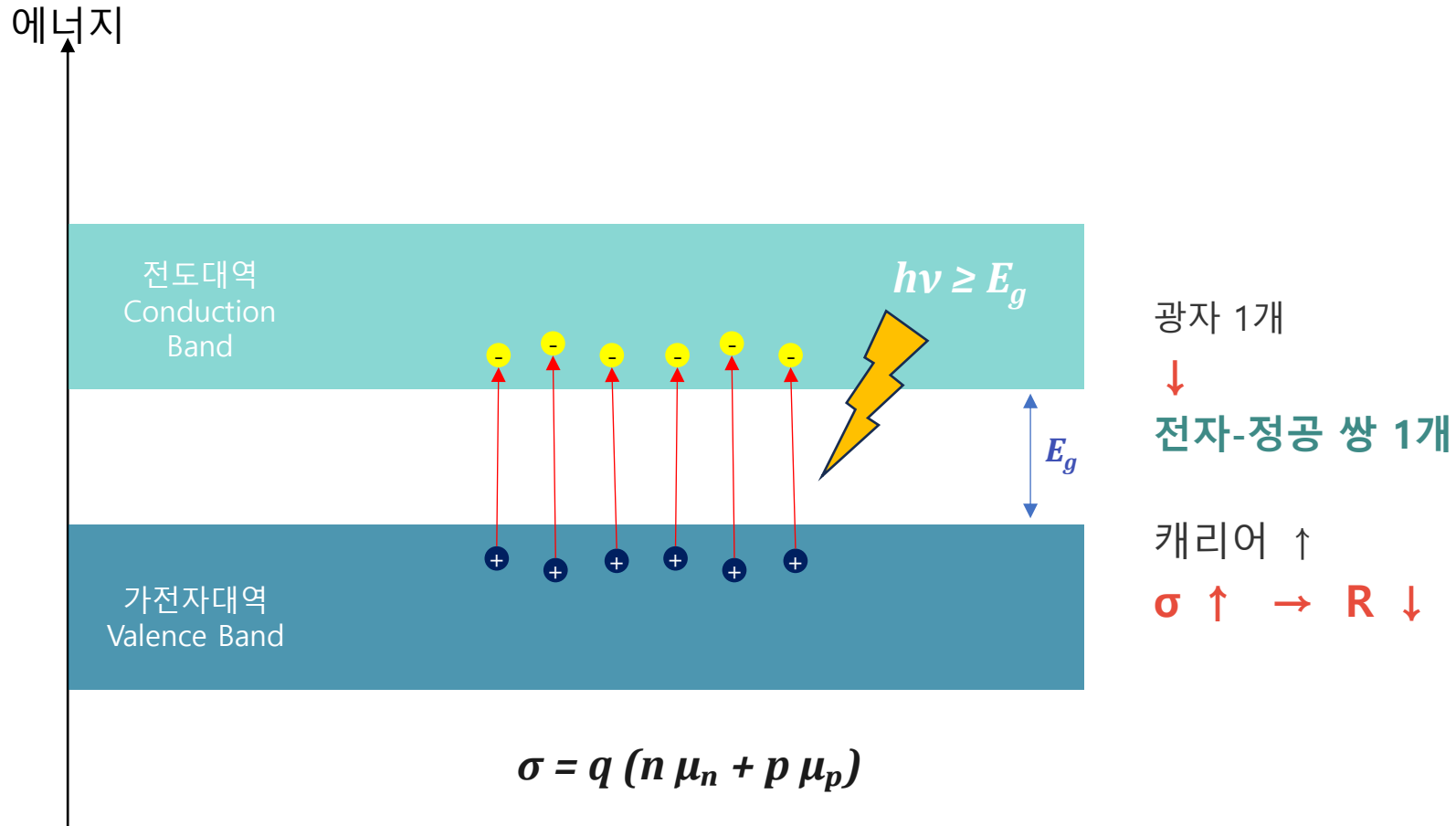
- 빛은 파동이면서 **에너지를 가진 알갱이(광자)**
- 파장이 짧을수록(보라색 쪽) 광자 하나당 에너지가 큼
- 가시광선 범위: 380–780 nm $\rightarrow$ **약 1.6–3.3 eV**

반도체의 밴드갭 (복습)



- 반도체의 밴드갭 E_g 는 약 **1–3 eV** 범위
- 가전자대의 전자가 전도대로 올라가려면 E_g 이상의 에너지 필요
- 상온 열에너지($kT \approx 26 \text{ meV}$)로는 거의 불가능
- 밴드갭 보다 큰 에너지를 가지는 광자를 공급한다면?

광자 흡수와 전자-정공 쌍 (Electron-hole pair) 생성

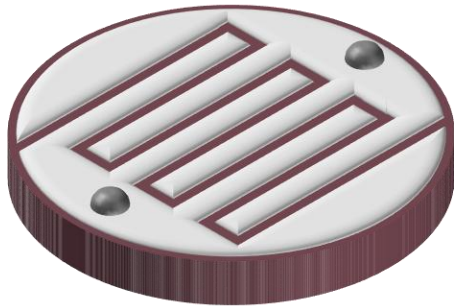


광자 흡수(Photon Absorption) = 전자-정공 쌍 생성(EHP Generation)

n, p 증가 → 전도도 σ 증가 → 저항 R 감소 → I-V 기울기 커짐

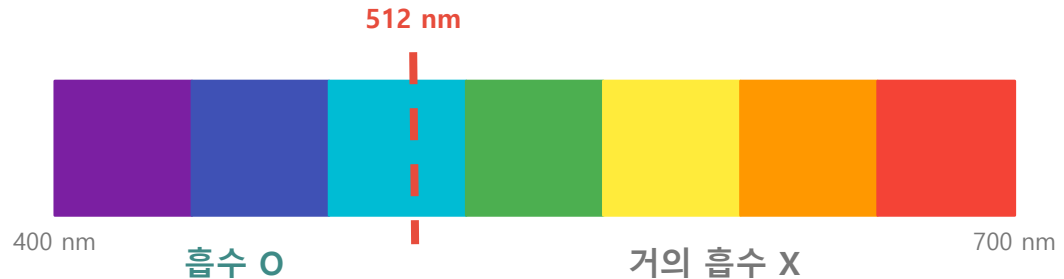
CdS 포토레지스터 – 가시광 센서

소자 구조



지그재그 패턴으로
수광 면적을 높이고
전극의 폭을 길게 함
전극간 거리는 최소화 함

흡수 가능 파장 범위



$$\lambda_{cutoff} = 1240 / 2.42 \approx 512 \text{ nm}$$

CdS 밴드갭이 딱 초록-노랑 경계와 맞물림

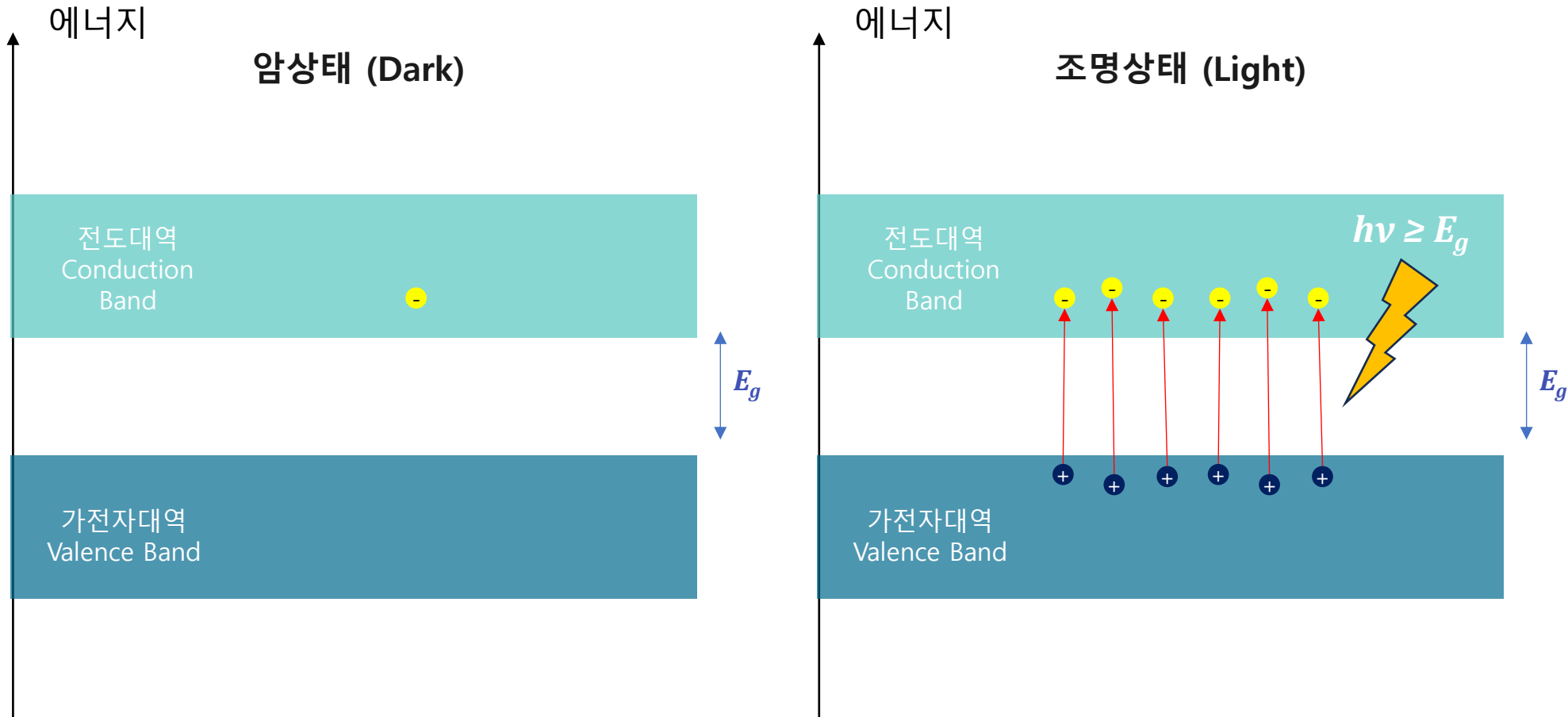
물질 CdS (황화 카드뮴)

밴드갭 E_g
 $\approx 2.42 \text{ eV}$
(직접 밴드갭)

CdS의 밴드갭 2.42 eV는 **가시광선의 에너지 범위 (1.6–3.3 eV)** 의 중간 정도에 해당.
그래서 CdS는 **초록/파랑/보라** 빛에는 잘 반응하지만 **빨강** 빛에는 둔감하다.
초록, 파랑, 보라 계열 빛을 흡수하므로 붉게 보인다

예시 소자 **GL5528**
암상태 R $\approx$ 고저항
광인가 $\approx$ 저저항

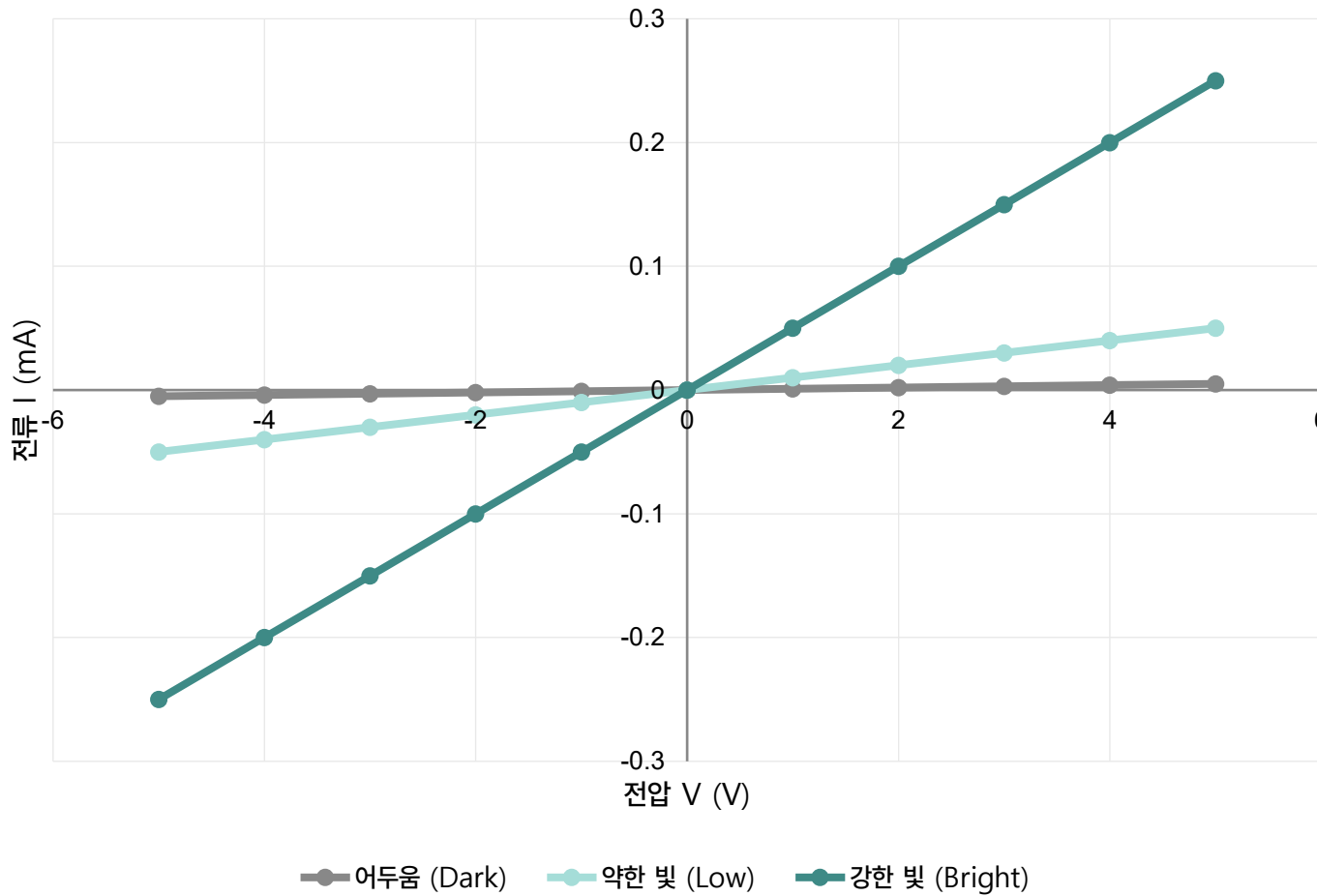
CdS 포토레지스터 – 가시광 센서



어두울 때 = 캐리어 거의 없음 → 저항 이 큼 (전류가 낮음)

밝을 때 = 캐리어 많음 → 저항 이 줄어듦 (전류가 높음)

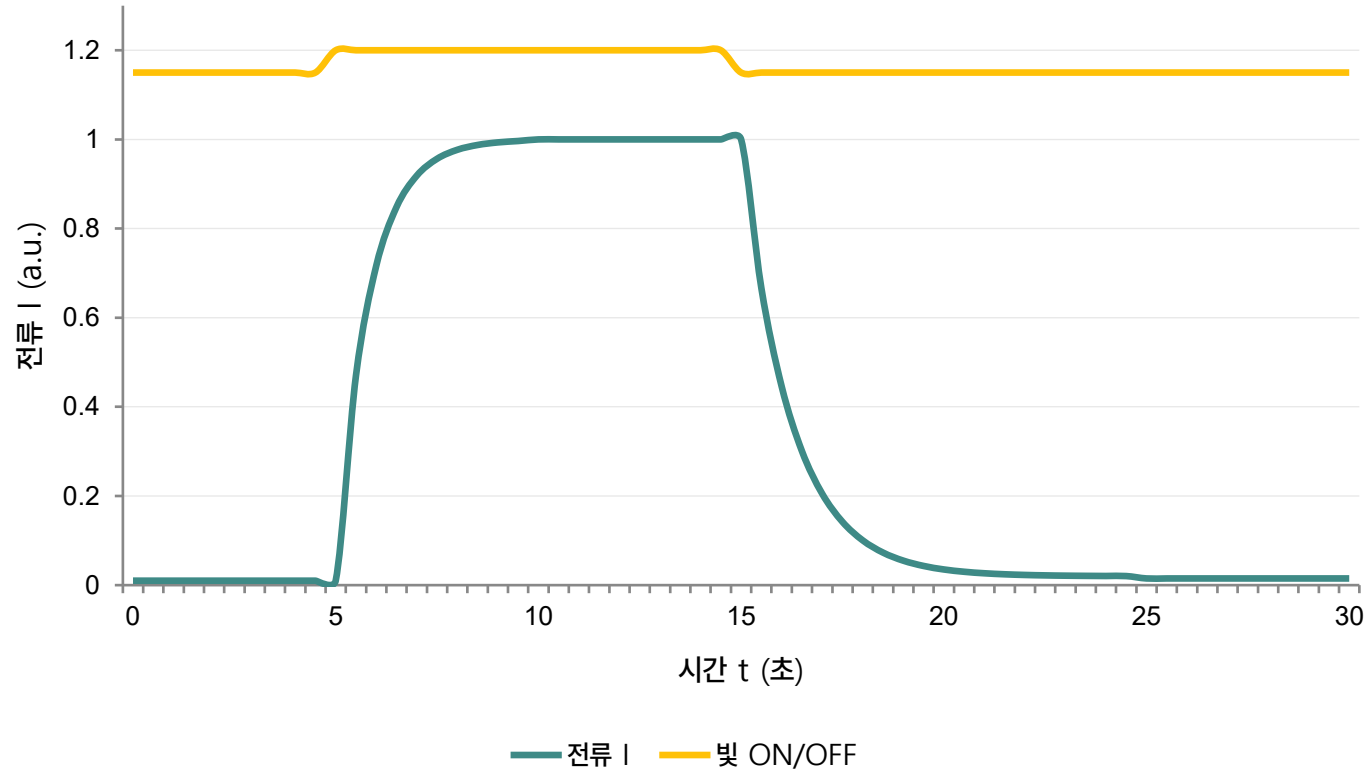
I-V 특성 (조도별 곡선)



모든 곡선이 원점을 지나는 **직선**
→ 정류 없음, 옴의 법칙 성립

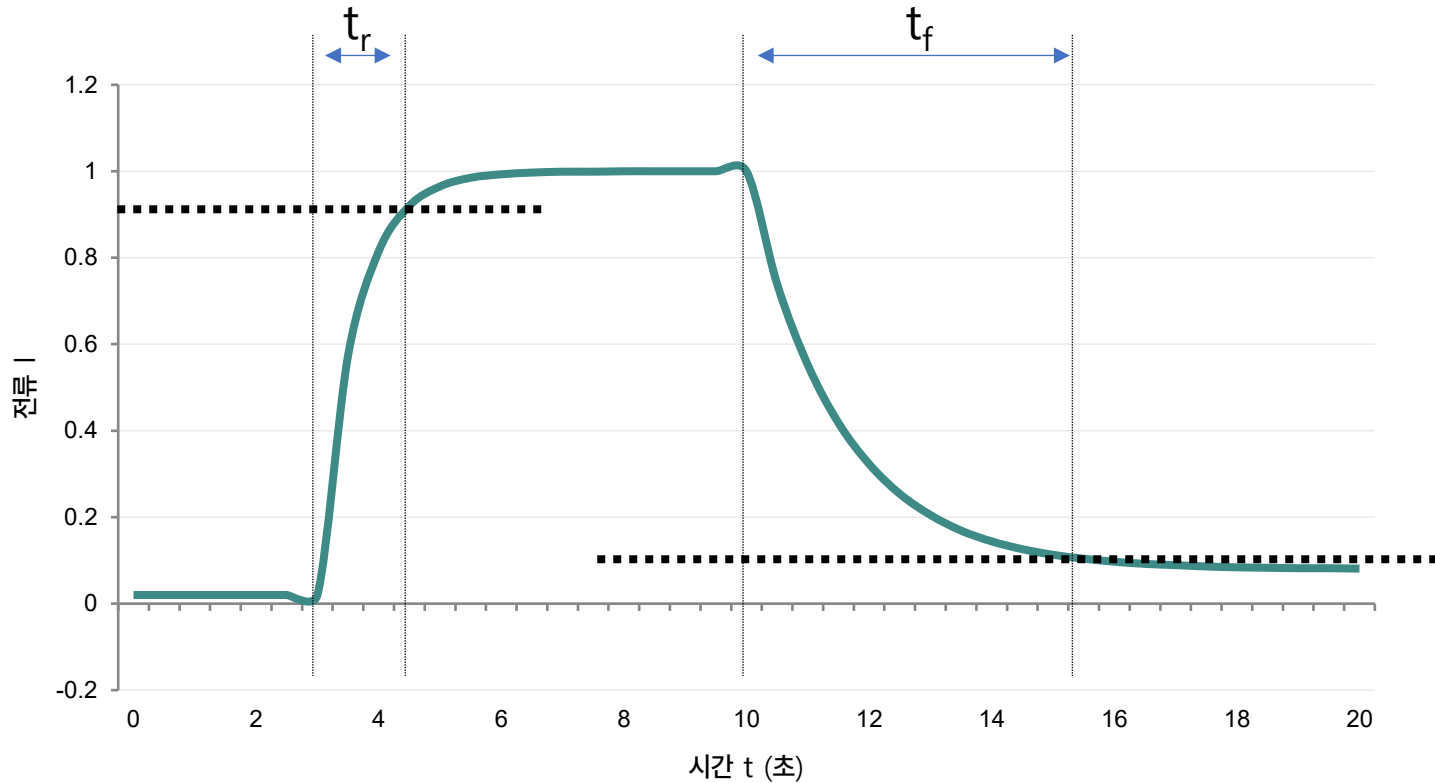
빛이 강할수록 **기울기 ↑**
(기울기 = $1/R$)

I-t 특성 (시간 응답)



- 전압 고정, 시간에 따른 전류 기록
- 절차 (예시)
 - ① 0-5s: 암상태 ② 5-15s: 빛 ON ③ 15-25s: 빛 OFF ④ 25-30s: 암상태
- 관찰 포인트: · 전류 상승 속도, 하강 속도

응답 속도와 지속광전도 (PPC)

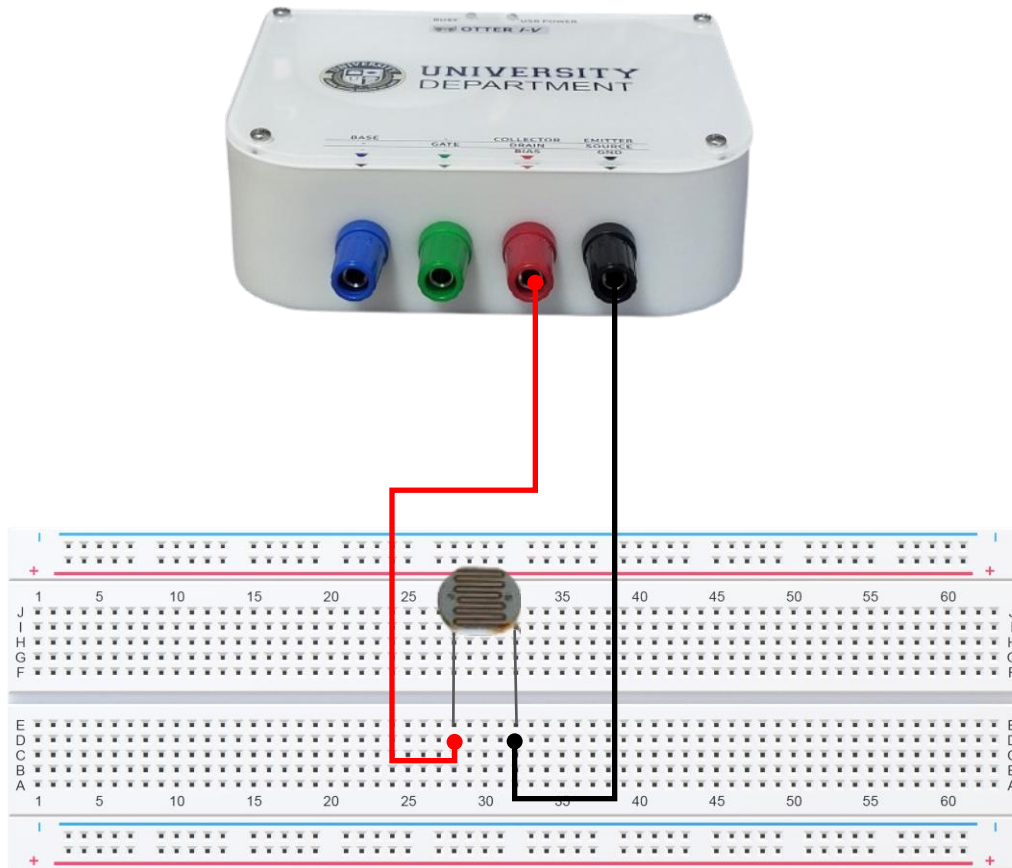


상승시간 t_r : 빛 ON 후 전류가 정상값의 90%에 도달하는 시간
 하강시간 t_f : 빛 OFF 후 전류가 정상값의 10%로 감소하는 시간
 CdS: $t_r \sim$ 수십 ms, $t_f \sim$ 수백 ms~초 (비대칭)

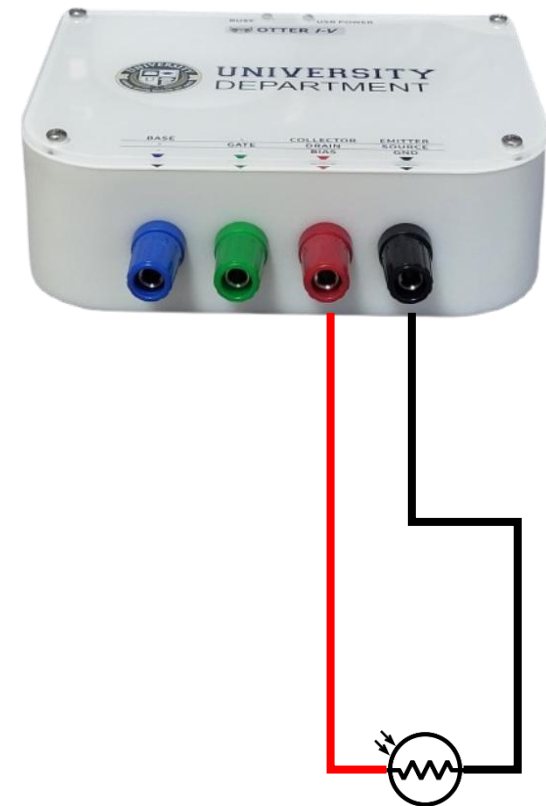
PPC: 빛 꺼도 전류가 암상태로 즉시 돌아가지 않음

실험 셋업

연결도



회로도



포토레지스터

실험 셋업

Task: 포토레지스터를 측정하면서 손으로 가리거나 휴대폰 플래시를 비추고, 시간에 따른 전류의 변화, I-V 커브의 변화 등을 관찰한다.

빛

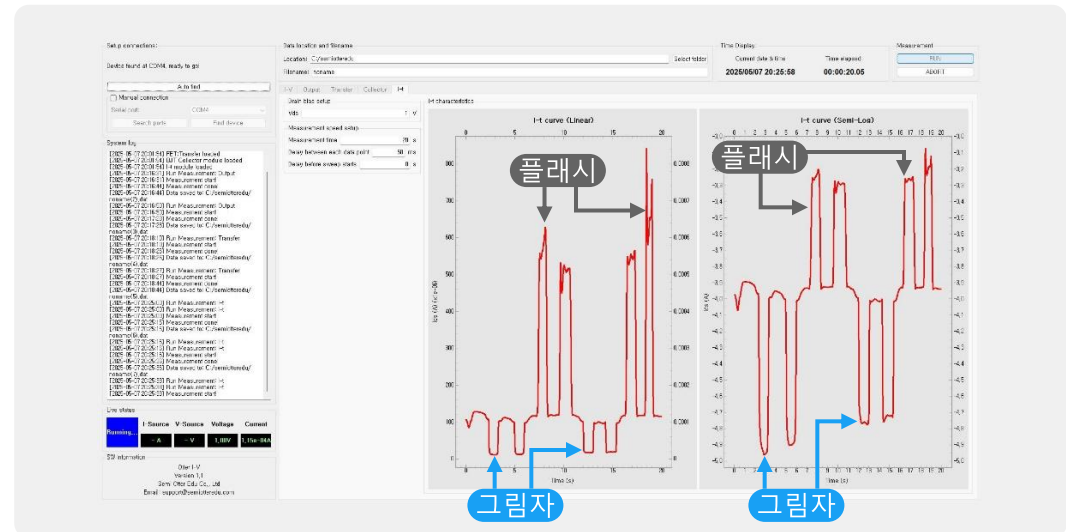
그림자



전압 V 인가

GND:
전류 I 측정

발광다이오드



실험 방법 (1) I-V 측정 (조도 변화)

측정 설정

모드 **I-V**

전압 범위 **-5 ~ +5 V**

전압 step **0.1 V**

전류 범위 **OTTER I-V ± 8 mA**

3가지 조도 조건

- ① **암상태** 검은 컵/상자로 덮음
- ② **실내광** 책상 위 자연 상태
- ③ **직접 조명** 스마트폰 플래시 ~5cm

⚠ 주의

플래시를 너무 가까이 대면 전류가 **± 8 mA를 초과**할 수 있음

→ 전압을 ± 2 V로 좁히거나

→ 광원을 멀리 둘 것

예상 결과

- ▶ 3개의 조도 조건에서 각각 I-V sweep 수행
- ▶ 측정 데이터를 CSV로 저장
- ▶ 엑셀/파이썬으로 **한 그래프에 3 곡선을 겹쳐** 플롯
- ▶ **선형 플롯 + 세미로그 플롯** 두 가지로 비교 (1주차 기법)

실험 방법 (2) I-t 측정 (시간 응답)

측정 설정

모드 **I-t**
 인가 전압 **+1 V (고정)**
 총 측정시간 **30 초**
 Sampling **0.05 초 간격**

타임라인 절차



분석 과제: ① t_r 추출 ② t_f 추출 ③ PPC 꼬리 존재 여부 확인

💡 실험 팁

- ▶ **형광등 주의!** 60 Hz 깜빡임이 I-t 곡선에 톱니 노이즈로 잡힘. *LED 조명 또는 자연광 권장*
- ▶ sampling 0.05 s = 초당 20개 데이터. CdS 응답(~100 ms)에는 충분, 너무 빠르면 노이즈만 증가
- ▶ 조명 ON/OFF 전환 타이밍을 초시계로 기록해두면 후처리가 편해짐
- ▶ 측정 중 책상 위 그림자, 창가 구름 이동 등 주변광 변화도 그래프에 남음 — 전제 조명 일관 유지

실험 목표

1. 3개 조도의 I-V 곡선을 **선형 + 세미로그** 플롯으로 제시
2. 각 곡선 기울기로부터 **조도별 저항** 추출
3. I-t 파형에서 **t_r t_f** 측정
4. 감광도 **$S = R_{\text{dark}} / R_{\text{light}}$** 계산
5. PPC 꼬리를 **$I(t) = I_0 + A \cdot \exp(-t/\tau)$** 로 피팅
6. **파장 선택 실험**: 빨강 vs 파랑 LED 비교