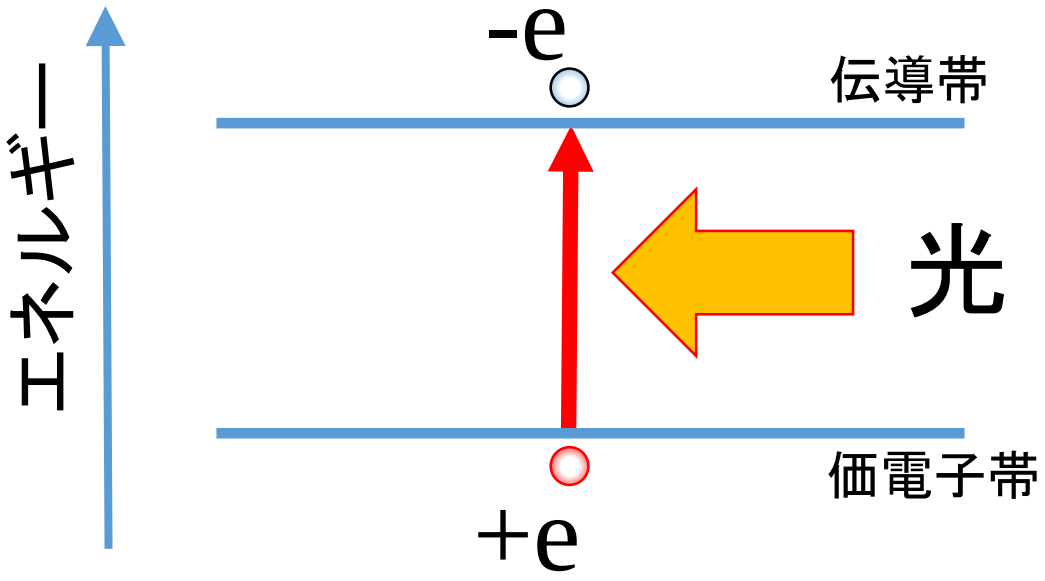
光物性基礎とデバイス応用

受光デバイス

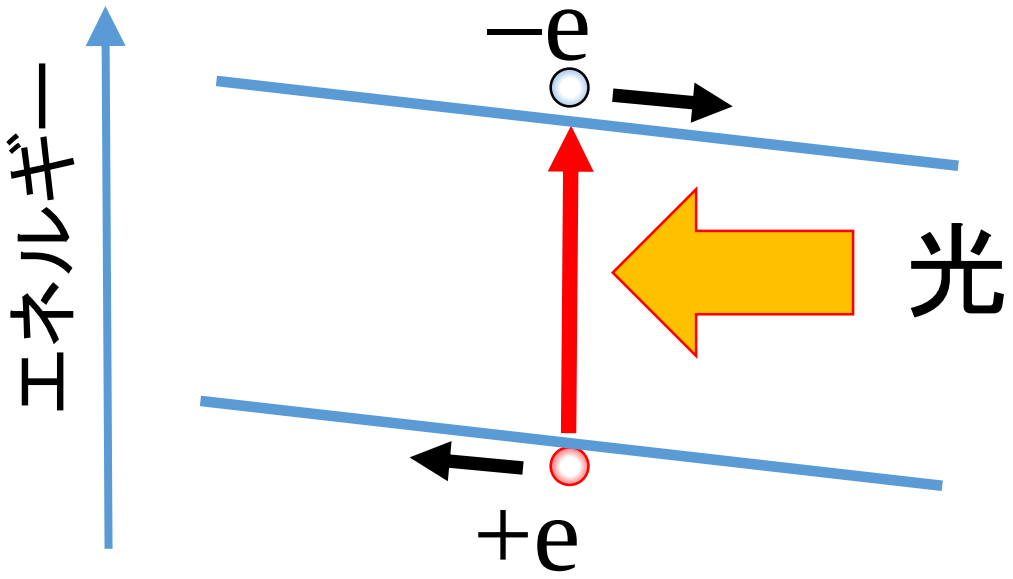
光伝導効果
光起電力
光受光器
太陽電池

光導電効果



- 電子－正孔対の生成
- Δn＝Δp (光生成キャリアはペアで増加)
- 再結合で消滅
- 既存のn, pが増加して導電率が増加

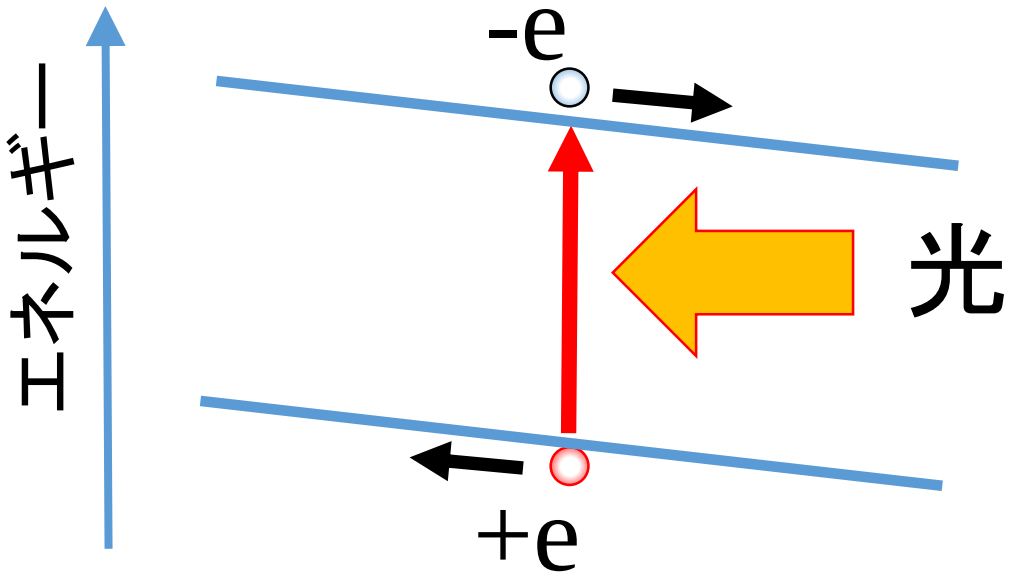
光導電効果



熱平衡状態の半導体に
光を照射

- 光導電効果だけでは起電力は発生しない
- 光生成キャリアを電気信号に変換するには
  外部から電圧を印可して電流に変換する
  必要がある

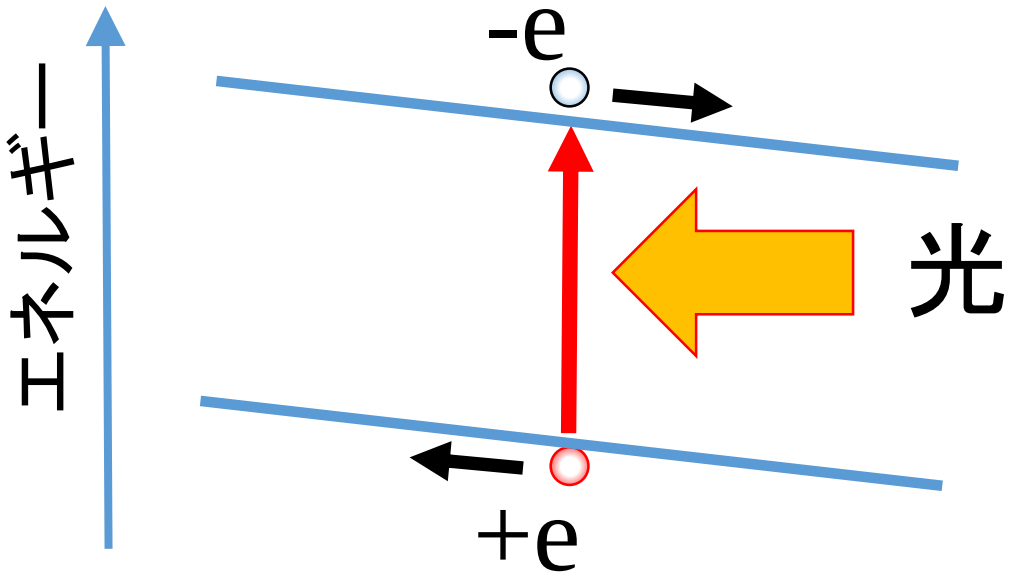
光導電効果



熱平衡状態の半導体に
光を照射

- 熱平衡状態の電子濃度n0,正孔濃度p0とする
- 光生成キャリアを$\Delta n=\Delta p$とする
- 光照射時のキャリア濃度は$n=n0+\Delta n$, $p=p0+\Delta p$
- $J=en\mu E$なので導電率はそれぞれ$en\mu_e$,$ep\mu_h$.

光導電効果

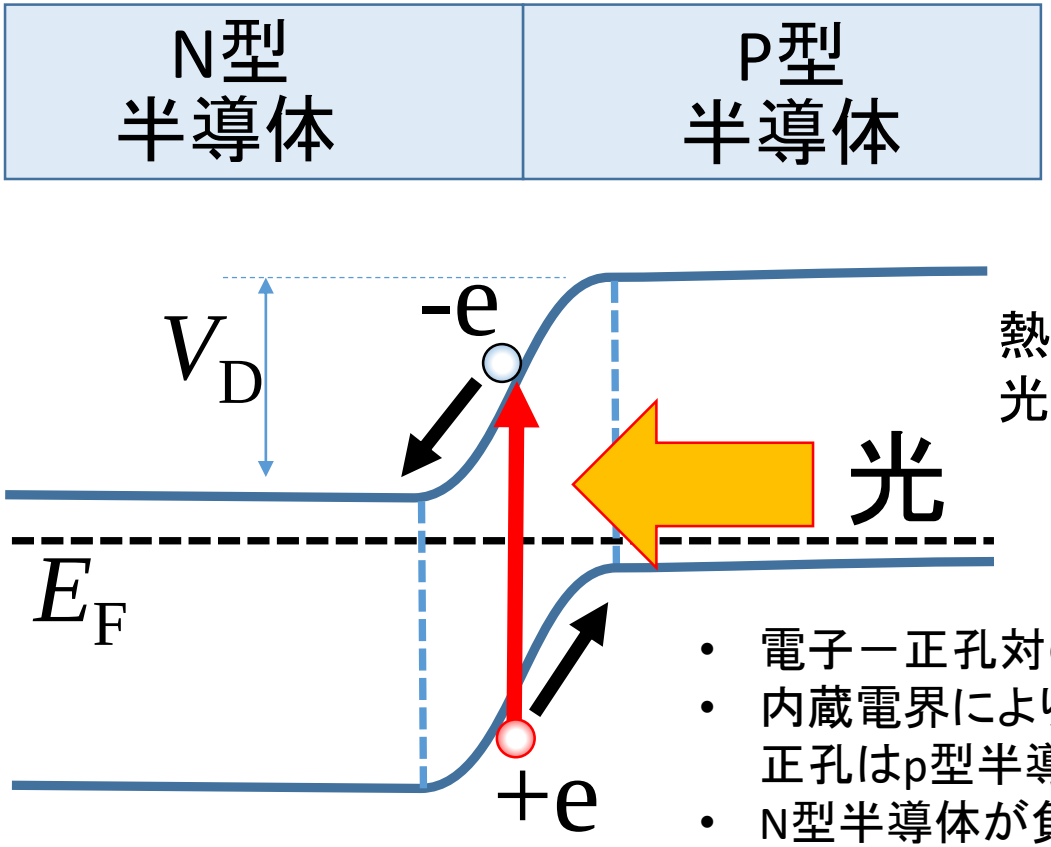


熱平衡状態の半導体に
光を照射

- $J=J_e+J_h=en\mu_eE+ep\mu_hE = e(n\mu_e+p\mu_h)E$
  $=e\{(n_0+\Delta n)\ \mu_e+(p_0+\Delta p)\mu_h\}E$　ただし$\Delta n=\Delta p$
- 光なしでは$\Delta n=\Delta p=0$
- 光信号の検出→光ありの電流と光無しの電流
  の比をなるべく大きく取れるようにn_0,p_0,μe,μhをきめる

光起電力の発生

PN接合の例）



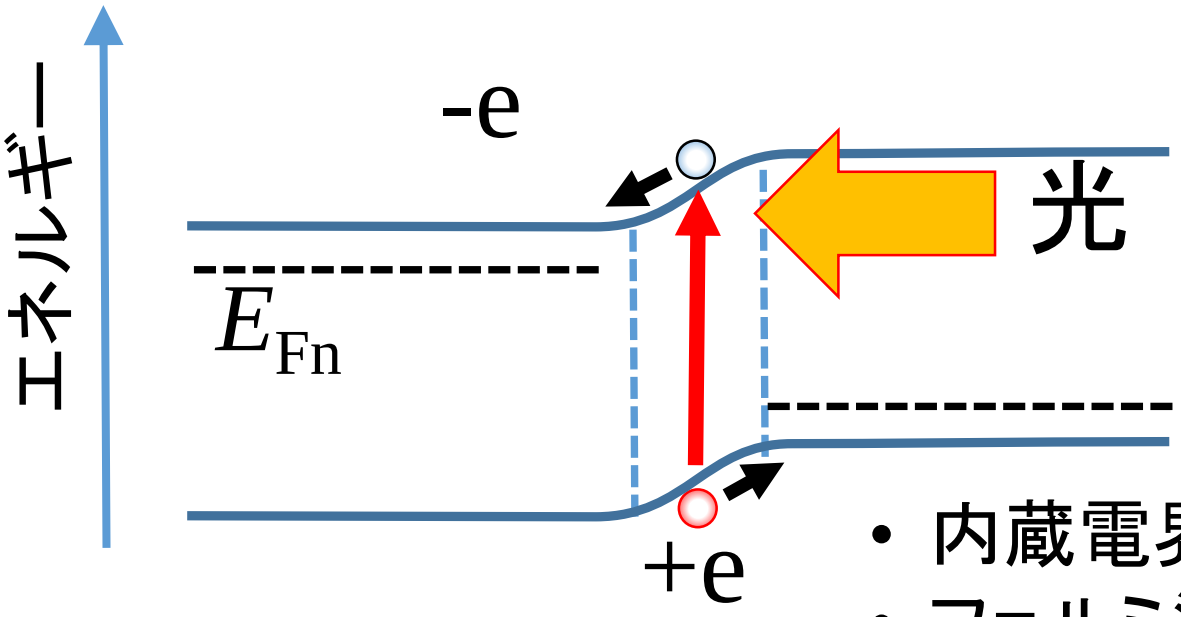
（短絡時のバンド図）

熱平衡状態のpn接合に光を照射

- 電子－正孔対の生成
- 内蔵電界により電子はn型半導体へ正孔はp型半導体へすみやかに移動
- N型半導体が負に帯電,p型半導体は正に帯電
- 内蔵電位を下げる側に電位が変化

光起電力の発生

PN接合の例）

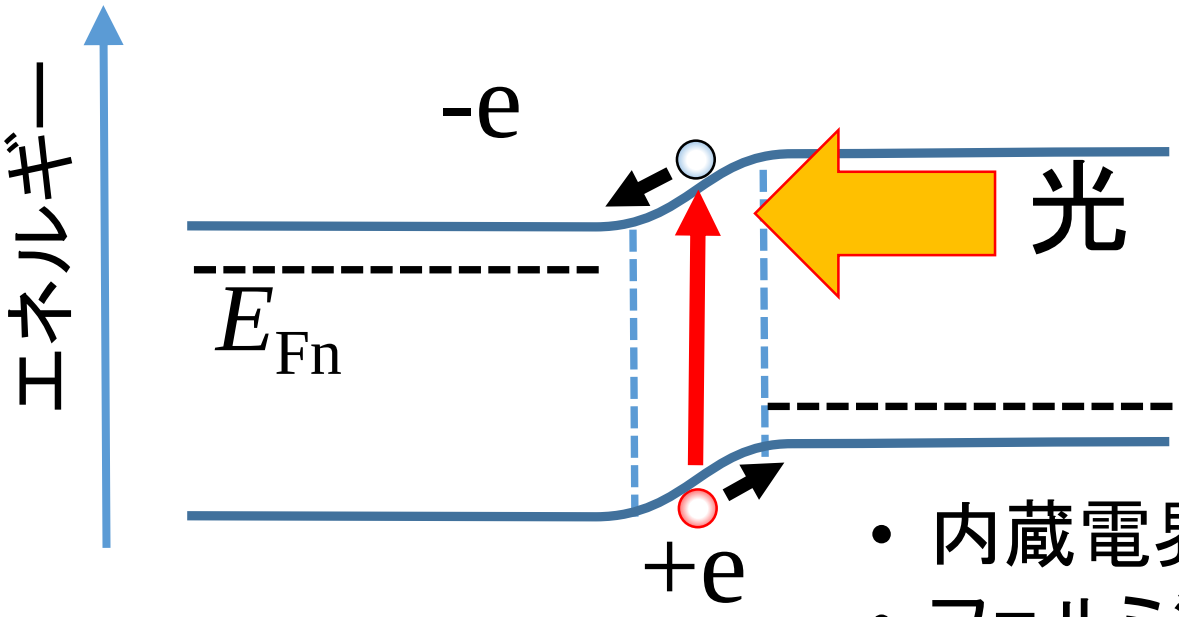


（開放時のバンド図）

- 内蔵電界が0になる
- フェルミ準位に差($E_{Fn}-E_{Fp}$)
  →開放電圧

光起電力の発生

PN接合の例）

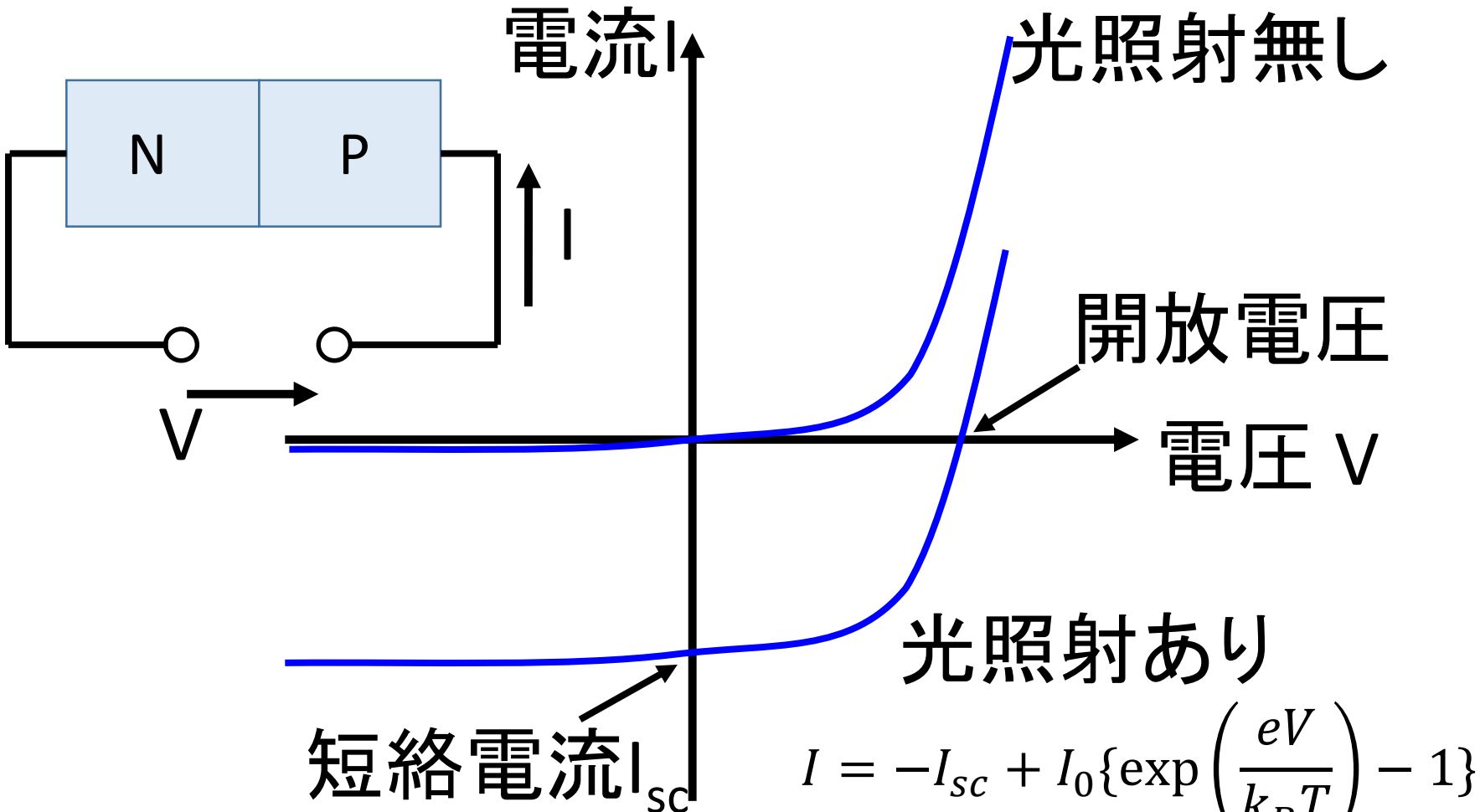


（開放時のバンド図）

（開放時：
拡散と再結合による
順方向電流と,光電流
が打ち消しあって外から
見ると電流は0）

- 内蔵電界が0になる
- フェルミ準位に差($E_{Fn}-E_{Fp}$)
  →開放電圧

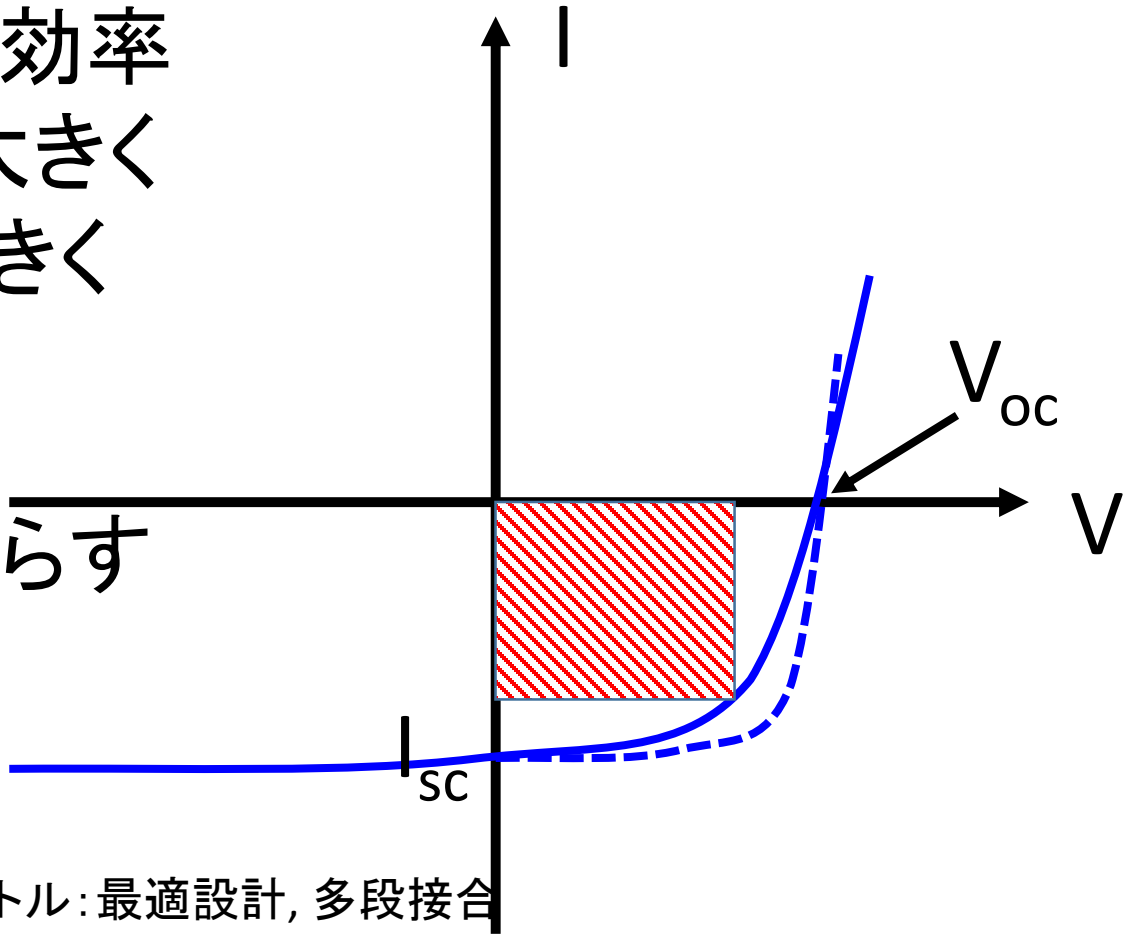
太陽電池のI-V特性



$$I = -I_{sc} + I_0\{\exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) - 1\}$$

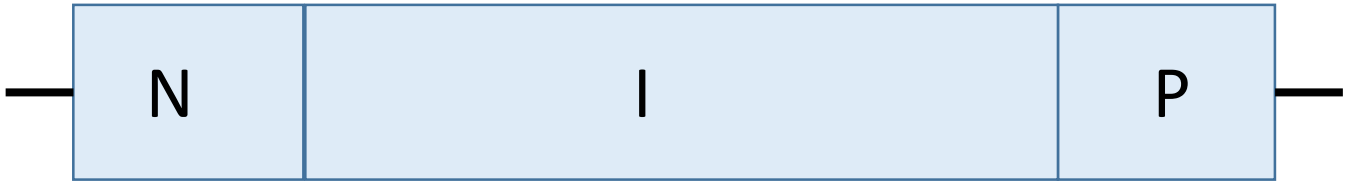
太陽電池の設計指針

- エネルギー変換効率
- 開放電圧V_{oc}は大きく
- 短絡電流I_{sc}も大きく
- V_{oc},I_{sc}が同じなら
  $I \times V$を大きく
- 余分な抵抗を減らす



光吸収係数を大きく
再結合寿命を大きく
材料のEg⇔太陽光スペクトル：最適設計，多段接合

PIN構造



空乏層だけでは光吸収の（層厚）体積が足りないので、なるべく多くの光を
吸収するため、空乏層領域＝光吸収層を伸ばすために、ドーピングしていない
真性半導体（I層）をNとPの間に挟む構造を取ることが多い。→PIN構造

内蔵電位差はPNの濃度で決まるが、I層を走行する分、走行時間は長くなるので、
再結合による光生成キャリアの減少に注意して設計する必要がある。

光吸収のためだけでははく、高電圧に耐える必要があるパワー半導体でも
多用される。

通信用受光デバイスの設計指針

- 感度（同じ光の量でなるべく大きな電気信号の強度を得る）
- 量子効率　←　内部量子効率はほぼ～1なので問題は少ない
- 応答速度（高速化に対応するために重要.キャリアの走行速度,寄生容量の充電時間の短縮化）
- ノイズ低減（ショットノイズ,熱雑音,etc…）

光吸収を応用したデバイス　まとめ

- 光伝導効果を説明できる
- 光伝導効果による光信号受信の原理を説明できる
- 光起電力効果を半導体PN接合のバンド図を用いて説明できる
- 光受光器の原理と設計指針を説明できる
- 太陽電池の原理と設計指針を説明できる