

光キャリアの輸送

2011.11.29

太陽光・電気変換技術特論

東北工業大学環境情報工学科齋藤輝文

- ・光の強さの表現
- ・光検出器感度の表現
- ・少数キャリアの連続の方程式
- ・キャリアの収集効率

光の強さの表し方

(1) 光子束 photon flux Φ [1/s]

単位時間あたりの光子数

(2) 放射束(放射パワー) radiant power P [W]

単位時間あたりの光子エネルギー

相互の関係式

$$\Phi = \frac{\lambda P}{hc}$$

λ : 波長、 h : プランク定数、 c : 光速

検出器の感度の表し方

(1) 量子効率 quantum efficiency η

電荷対数/光子数

(2) 応答度 responsivity s [A/W]

光電流/放射束

それぞれの分母について

入射光とした場合: 外部～、

吸収光とした場合: 内部～

相互の関係式

$$s = \frac{e\lambda\eta}{hc} = \frac{\eta}{E} \approx \frac{\lambda\eta}{1240} \quad (\lambda: \text{波長[nm]})$$

内部分光応答度 s_{int} と外部分光応答度 s_{ext} の関係

$$\begin{aligned} s_{\text{ext}} &= (1 - R - A)s_{\text{int}} \\ &= Ts_{\text{int}} \end{aligned}$$

R : 反射率、 A : 吸収率

内部量子効率 η_{int} と外部量子効率 η_{ext} の関係

$$\begin{aligned} \eta_{\text{ext}} &= (1 - R - A)\eta_{\text{int}} \\ &= T\eta_{\text{int}} \end{aligned}$$

少数キャリアの寿命

少数キャリア: p型半導体中の電子、あるいは
n型半導体中のホール

少数キャリアの寿命: 再結合により消滅するまでの時定数

少数キャリア(電子)を注入する場合

$$\Delta n_p = n_p - n_{p0}$$

n_{p0} : 熱平衡状態の電子のキャリア濃度

n_p : 電子を注入した後のキャリア濃度

$$\frac{d\Delta n_p}{dt} = -\frac{\Delta n_p}{\tau_e}$$

$$\Delta n_p(t) = \Delta n_p(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau_e}\right)$$

連続の方程式

n型半導体中の少数キャリアである正孔の増減

$$\frac{\partial p_n}{\partial t} = -\mu_h F \frac{\partial p_n}{\partial x} + D_h \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{p_n - p_{n0}}{\tau_h} + G$$

ドリフト電流 拡散電流 再結合 生成

p型半導体中の少数キャリアである電子の増減

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = \mu_e F \frac{\partial n_p}{\partial x} + D_e \frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} - \frac{n_p - n_{p0}}{\tau_e} + G$$

定常状態では

$$-\mu_h F \frac{\partial p_n}{\partial x} + D_h \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{p_n - p_{n0}}{\tau_h} + G = 0$$

$$\mu_e F \frac{\partial n_p}{\partial x} + D_e \frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} - \frac{n_p - n_{p0}}{\tau_e} + G = 0$$

<http://www.google.com/url?q=http://www.ocw.titech.ac.jp/index.php%3Fmodule%3DGeneral%26action%3DDownload%26file%3D200927128-41-0-55.pdf%26type%3Dcal%26JWC%3D200927128&sa=U&ei=7FDSTvQv0OeYBc3FqPQN&ved=0CCKqFjAJ&usg=AFQjCNEznXung9lnEgkmvaL5xe5rhFbr6Q>

キャリアの収集効率

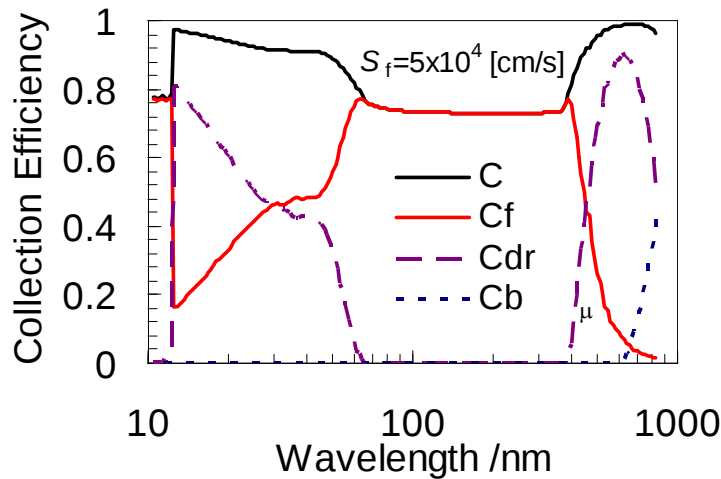
$$C(\lambda) = C_p(\lambda) + C_{dr}(\lambda) + C_n(\lambda)$$

$$C_p(\lambda) = \frac{\alpha L_p}{\alpha^2 L_p^2 - 1} \left[\frac{\frac{S_p L_p}{D_p} + \alpha L_p - \exp(-\alpha x_j) \left(\frac{S_p L_p}{D_p} \cosh \frac{x_j}{L_p} + \sinh \frac{x_j}{L_p} \right)}{\frac{S_p L_p}{D_p} \sinh \frac{x_j}{L_p} + \cosh \frac{x_j}{L_p}} - \alpha L_p \exp(-\alpha x_j) \right]$$

$$C_{dr}(\lambda) = \exp(-\alpha x_j) [1 - \exp(-\alpha x_j)]$$

$$C_n(\lambda) = \frac{\alpha L_n}{\alpha^2 L_n^2 - 1} \exp[-\alpha(x_j + W)] \left[\alpha L_n - \frac{\frac{S_n L_n}{D_n} \left(\cosh \frac{H'}{L_n} - \exp(-\alpha H') \right) + \sinh \frac{H'}{L_n} + \alpha L_n \exp(-\alpha H')}{\frac{S_n L_n}{D_n} \sinh \frac{H'}{L_n} + \cosh \frac{H'}{L_n}} \right]$$

キャリアの収集効率の波長依存性



$x_j = 200$ nm, $L_n = 20$ μ m, $D_n = 2.6$ cm²/s, $W = 9.6$ μ m, $L_p = 150$ μ m, $D_p = 12$ cm²/s, $S_p = 10^5$ cm/s, and $H' = 300$ μ m.

キャリアの収集効率の再結合速度依存性

