

半導体工学演習第1回 2010/5/6 教科書参照 OK
友達と相談不可

1

- (1) 長さ 3 cm の棒状半導体に 10V の電圧がかかった時のホールドリフト速度は 10^3 cm/sec であった。この時のホール移動度を求めよ。(5 点)
- (2) ドナー不純物だけが存在する半導体中の電気的中性条件を表わす式を示せ。(5 点)
- (3) 浅いドナー不純物だけが 10^{16} cm^{-3} ドーピングされた Si 半導体の室温 (300 K) での電子濃度 n を求めよ。(5 点)

2

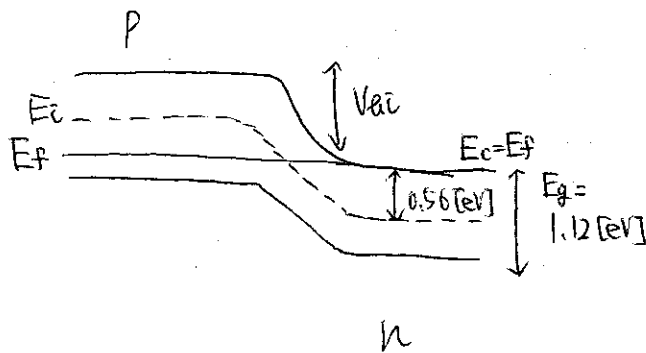
不純物濃度が P 側に 10^{16} cm^{-3} なる n^+p ($N_D \gg N_A$) の Si 階段接合がある。以下の問いに全て室温の条件で答えよ。 $n_i = 1.48 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 、 $E_g = 1.12 \text{ eV}$ 、 $kT = 26 \text{ meV @ 300K}$ 、ただし n 側は縮退していない。 $K_s = 12$ 、 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-14} [\text{F/cm}]$

- (1) ゼロバイアス (PN 接合に電圧が掛からない状態) の時の拡散電位を求めよ。(5 点)
- (2) 少数キャリアの移動度が $1000 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{sec})$ 、寿命が $3.6 \mu\text{s}$ の半導体の拡散距離を求めよ。(5 点)

1 (1)

2(1) n^+p ($N_D \gg N_A$)

$$N_A = 10^{16} [\text{cm}^{-3}], \quad n_i = 1.48 \times 10^{10} [\text{cm}^{-3}], \quad E_g = 1.12 [\text{eV}], \quad kT = 26 [\text{meV}]$$



$$p = n_i \exp\left\{\frac{-(E_f - E_i)}{kT}\right\}$$

$\therefore$

$$E_i - E_f = kT \ln \frac{N_A}{n_i}$$

$$= 0.026 \ln \frac{10^{16}}{1.48 \times 10^{10}}$$

$$= 0.35 [\text{eV}]$$

$$V_{bi} = 0.56 + 0.35$$

$$= 0.91 [\text{eV}]$$

$$(2) D = \frac{kT}{q} \mu, \quad L = \sqrt{D\tau}$$

$$L = \sqrt{\frac{kT}{q} \mu \tau} = 9.7 \times 10^{-3} [\text{cm}]$$

$$= 97 [\mu\text{m}]$$

$\tau = 10^{-8} \text{ s}$
 $\mu = 1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

1.

(1) ホールドリフト速度 v_p [cm/sec]、ホール移動度 μ_p [cm²/V·sec]、半導体での電界 E [V/cm]、電圧 V [V]、半導体の長さを d [cm] とすると、

$$v_p = \mu_p E = \mu_p \frac{V}{d}$$

が成り立つので、 $d=3\text{cm}$ 、 $V=10\text{V}$ 、 $v_p=10^3\text{ cm/sec}$ より、ホール移動度 μ_p は、

$$\mu_p = v_p \frac{d}{V} = 10^3 \times \frac{3}{10} = 300 \text{ [cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec]}$$

(2) ドナー不純物濃度 N_D 、電子濃度 n 、正孔濃度 p 、電気素量を q とする。電子は負電荷、正孔は正電荷であり、ドナー不純物はイオン化して正に帯電する。半導体は全体で中性であることから、電気的中性条件は、

$$qN_D + qp - qn = 0 \quad \cdots (1)$$

(3) 浅いドナー不純物だけが存在するので、熱的な励起によりドナー不純物がほぼ全てイオン化でき、伝導電子 n となると考えると、

$$n \doteq N_D = 10^{16} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$$

なお、(3)の答えは、電気的中性条件の式(1)と pn 積一定の式($pn=n_i^2$)より求まる以下の式、

$$n = \frac{1}{2} \left\{ N_D + \sqrt{N_D^2 + 4n_i^2} \right\}$$

より、 $N_D \gg n_i$ とすることでも求まる。

2.

(1) n^+p である Si 階段接合であるので、高濃度のドナーのドーピングにより n 側の擬フェルミ準位 E_{fn} が伝導帯 E_c とほぼ一致すると考えると、 $E_{fn} - E_i = E_c - E_i = E_g/2$ となる。

したがって、

$$N_D = n_i \exp \frac{E_{fn} - E_i}{kT} = n_i \exp \frac{E_g/2}{kT} = 1.48 \times 10^{10} \times \exp \frac{1.12/2}{0.026} = 3.34 \times 10^{19} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$$

$$V_{bi} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} = 0.026 \times \ln \frac{10^{16} \times 3.34 \times 10^{19}}{(1.48 \times 10^{10})^2} = 0.91 \text{ [eV]}$$

(2) アインシュタインの関係 $D = \frac{kT}{q} \mu$ と、 $L = \sqrt{D\tau}$ の関係式より、

$$\frac{L^2}{\tau} = \frac{kT}{q} \mu \Rightarrow L = \sqrt{\frac{kT}{q} \mu \tau} = \sqrt{0.026 \times 1000 \times 3.6 \times 10^{-6}} = 9.7 \times 10^{-3} \text{ [cm]} = 97 \text{ [\mu m]}$$

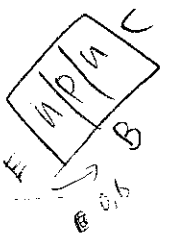
1 バイポーラトランジスタを設計する際に電流利得を高くするためには、どのようにしたら良いか2つ述べよ。またこの時に問題になることを記述せよ。(10 点)

2 次のような構造、物性定数を持った npn 型バイポーラトランジスタがある。以下の問に答えよ。(計 30 点)

エミッタ不純物濃度 $N_E=10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ベース不純物濃度 $N_B=10^{18} \text{ cm}^{-3}$

コレクタ不純物濃度 $N_C=10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 電子の拡散長 $L_e=8 \mu\text{m}$ 、ホール拡散長 $L_h=1 \mu\text{m}$ 、電子の拡散係数 $D_e=25 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ ホールの拡散係数 $D_h=5 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ (いずれも少数キャリアで領域によらない) 室温の真性半導体キャリア濃度 $n_i=1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ベース中性領域幅 $W=0.2 \mu\text{m}$ ベース領域断面積 $S=1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ 動作温度は室温とする。室温の $KT=0.026 \text{ eV}$ 、基本電荷 $q=1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$

- (1) ベース領域における熱平衡時の電子濃度 n_{p0} を求めよ。(5 点)
- (2) 順方向バイアス 0.6 V をエミッタ・ベースに印加したとき、ベース領域内のエミッタ接合側の電子濃度 n_p を求めよ。(5 点)
- (3) 順方向バイアス 0.6 V をエミッタ・ベースに印加したとき、ベース領域に注入された電子の全電荷量を計算せよ。但しベース・コレクタ間には十分大きな逆方向バイアスが印加されていると仮定する。(5 点)
- (4) ベースからエミッタに注入されたホール電流の大きさを求めよ。(5 点)
- (5) エミッタ注入効率 α_E を求めよ。(5 点)
- (6) エミッタ接地電流利得 β_0 を求めよ。但し α_c は 1 とする。(5 点)

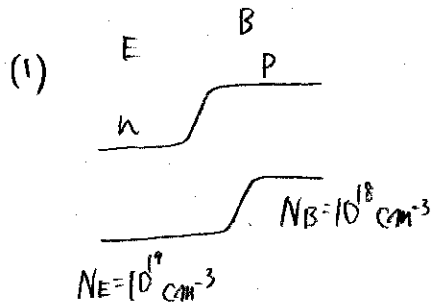


1. λ -ス層E薄くする $\rightarrow$ 空乏層が太く成るため

になる

$\rightarrow$

2



$$n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_B} = \frac{10^2}{10^{18}} = 10^{-16} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$$

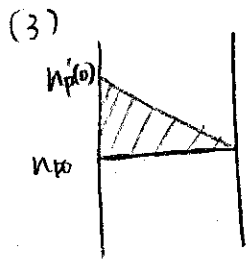
(2)

$$n_B(0) = n_{p0} \exp\left(\frac{0.6}{0.026}\right)$$

$$= 1.05 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

$= n_{p0} \left\{ \exp\left(\frac{0.6}{0.026}\right) - 1 \right\}$
 (1) $\rightarrow$ 空乏層の電場
 空乏層

$$n_{p0} \left\{ \exp\left(\frac{0.6}{0.026}\right) - 1 \right\}$$



$$Q = \frac{1}{2} S \cdot \rho \cdot n_p \cdot w$$

$$= 0.168 \times 10^{-15} \text{ [C]}$$

$$= 1.68 \times 10^{-16} \text{ [C]}$$

0 電場分布

(4)

$$I = J_{nE}(0) \cdot S = q \frac{D_n}{L_n} p_{E0} \left\{ \exp\left(\frac{0.6}{0.026}\right) - 1 \right\} \cdot S$$

$$= 8.4 \times 10^{-8} \text{ [A]}$$

(5)

$$\alpha_E = 1 - \frac{D_n}{D_p} \cdot \frac{W}{L_n} \cdot \frac{N_B}{N_E} = 0.9975$$

(6) β , ($\alpha_c = 1$)

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{\alpha_E \alpha_T \alpha_c}{1 - \alpha_E \alpha_T \alpha_c}$$

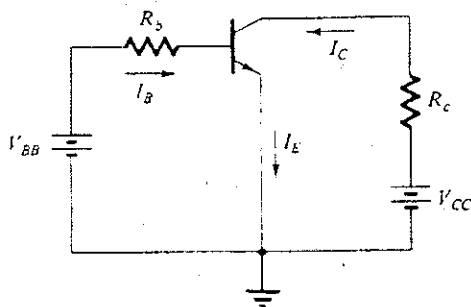
$$\alpha_T \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{W}{L_B} \right)^2$$

$$\beta = 354$$

2010 第3回半導体工学演習問題 (2010/7/12)

次の定数を各問題で共通に使用 $n_i=1.0 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 、 $E_g=1.12 \text{ eV}$ 、 $KT=26 \text{ meV@300K}$ 、 Si の比誘電率 $\epsilon_s=12$ 、真空誘電率 $\epsilon_0=8.854 \times 10^{-14} [\text{F/cm}]$ 基素電荷 $q=1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$ 、 SiO_2 の比誘電率 $\epsilon_{ox}=3.9$

1 下記のトランジスタ回路図において、 $V_{cc}=10 \text{ V}$ 、 $R_b=10 \text{ k}\Omega$ 、 $R_c=500 \Omega$ 、 $\beta=100$ 、 $V_{BE}=0.7 \text{ V}$ 、 $V_{CE, \text{sat}}$ (コレクタ・エミッタ飽和電圧) $=0.1 \text{ V}$ とする。 $V_{BB}=5.7 \text{ V}$ の場合トランジスタの動作状態は、遮断、活性、飽和のどれか答えよ。また、その時流れるエミッタ電流を求めよ。(10 点 x2)



2 次のような構造、物性定数を持った npn 型バイポーラトランジスタに関して以下の問に答えよ。

(計 30 点)

エミッタ不純物濃度 $N_E=10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ベース不純物濃度 $N_B=10^{18} \text{ cm}^{-3}$ コレクタ不純物濃度 $N_C=10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 電子の拡散長 $L_e=8 \mu\text{m}$ 、ホール拡散長 $L_h=1 \mu\text{m}$ 、電子の拡散係数 $D_e=25 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ ホールの拡散係数 $D_h=5 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ (いずれも少数キャリアで領域によらない) ベース中性領域幅 $W=0.02 \mu\text{m}$ ベース領域断面積 $S=1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ 動作温度は室温とする

(a) ベース領域における熱平衡時の電子濃度 n_{p0} を求めよ。(5 点)

(b) 順方向バイアス 0.6 V をエミッタ・ベースに印加したとき、ベース領域内のエミッタ接合側の電子濃度 n_p を求めよ。(5 点)

(c) 順方向バイアス 0.6 V をエミッタ・ベースに印加したとき、ベース領域に注入された電子の全電荷量を計算せよ。但しベース・コレクタ間には十分大きな逆方向バイアスが印加されていると仮定する。(10 点)

(d) このバイポーラトランジスタでパンチスルーが生じる (ベース・コレクタ間の空乏層がベース層側に伸展し、ベース層全体を覆う) ベース・コレクタ間逆方向バイアス V_{CE} を求めよ (10 点)