

電子デバイス工学第一 試験問題：担当教官 宮尾正信, 佐道泰造
問題1. (35点) 下記の設問に答えよ。

- (1) ①直接遷移型半導体、及び②間接遷移型半導体に対応する半導体の化学式を1つずつ列挙せよ。
- (2) 発光デバイスを作製するには、直接遷移型バンド構造、あるいは間接遷移型バンド構造のいずれを有する半導体が好適か？ 好適な方を答えよ。
- (3) 長さ $3.0 \times 10^{-2} \text{m}$ の n 型 Si 結晶の両端に 15V の電圧を加えた時の電子のドリフト速度及び電子が両端を移動するのに要する時間を求めよ。但し、電子移動度は $0.14 \text{m}^2/\text{Vs}$ とする。
- (4) 長さ $3.0 \times 10^{-2} \text{m}$ の半導体結晶の一端から少数キャリアを注入した処、長さ方向に $1.0 \times 10^{-2} \text{m}$ 離れた点迄ドリフトするのに $83.2 \mu\text{s}$ を要した。キャリアの移動度を求めよ。但し印加電圧は 20V である。
- (5) $2 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ のボロン(B)原子を含む p 型の Si 結晶がある。この Si 結晶中の室温における電子及び正孔の濃度を求めよ。但し、室温での Si の真性キャリア濃度は $1.5 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ とする。
- (6) $4 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の磷(P)原子と $2 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ のボロン(B)原子を含む Si 結晶がある。この Si 結晶中の室温における電子及び正孔の濃度を求めよ。但し、室温での Si の真性キャリア濃度は $1.5 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ とする。

問題2 (20点)

シリコン (Si) を用いて不純物濃度が階段型に変化する pn 接合ダイオードを作製した。この時、p 型領域の比抵抗 (抵抗率) は $1.0 \times 10^{-4} \Omega\text{m}$ 、n 型領域のそれは $1.0 \times 10^{-2} \Omega\text{m}$ であった。また、各領域の室温における電子及び正孔の移動度は、各々 $0.10 \text{m}^2/\text{Vs}$ 、 $0.02 \text{m}^2/\text{Vs}$ であった。この時、下記の設問に答えよ。但し、電子の電荷を $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ とする。

- (1) p 型領域及び n 型領域に含まれる不純物の濃度を求めよ。
- (2) このダイオードの、①順方向バイアス状態 (バイアス電圧: V_F)、及び②逆方向バイアス状態 (バイアス電圧: V_R) におけるバンド図を描け。図には、価電子帯の頂き (E_V)、伝導帯の底 (E_C)、フェルミ・エネルギーの位置 (E_F)、pn 接合の拡散電位 (ϕ_d) 及び印加バイアスの大きさ (V_F 或いは V_R) を記入する事。但し電荷素量を q とせよ。
- (3) このダイオードに逆方向バイアスを印加したまま、波長が① $5.0 \mu\text{m}$ (光エネルギー: 0.24eV)、② $0.5 \mu\text{m}$ (光エネルギー: 2.4eV) の光を照射した。光照射によって逆方向電流が増加するのは、①、②のいずれか。理由と共に答えよ。但し、Si のバンドギャップは 1.1eV である。

問題3 (20点)

エミッタ (E)、ベース (B)、コレクタ (C) からなる pnp バイポーラトランジスタに関して、下記の設問に答えよ。

- (1) 熱平衡状態でのバンド図を描け。バンド図には、価電子帯の頂き (E_V)、伝導帯の底 (E_C)、フェルミ・エネルギーの位置 (E_F)、pn 接合の拡散電位 (ϕ_d) を記載する事。但し電荷素量を q とせよ。
- (2) ベース領域を接地したとする。通常の動作状態 (活性状態) で、①エミッタに印加する電圧 (V_E)、及び②コレクタに印加する電圧 (V_C) は正か負か? その極性を答えよ。
- (3) 活性状態におけるバンド図を描け。バンド図には、価電子帯の頂き (E_V)、伝導帯の底 (E_C)、フェルミ・エネルギーの位置 (E_F)、pn 接合の拡散電位 (ϕ_d) 及び印加バイアスの大きさ (V_E 及び V_C) を記載する事。但し電荷素量を q とせよ。
- (4) トランジスタのベース接地電流増幅率を向上するには、エミッタからベースに注入された少数キャリアを効率よくコレクタへと到達させる必要がある。このためには、ベースの不純物濃度を高くすべきか、低くすべきか? 理由と共に答えよ。

問題4 (25点)

ソース(S)、ドレイン(D)、ゲート(G)からなる n チャネル MOS 型電界効果トランジスタ(MOSFET)を p 型の Si 基板上に形成した。この MOSFET に関して、下記の設問に答えよ。但し、ゲート長を L 、ゲート幅を W 、ゲート酸化膜容量(単位面積当たり)を C_{ox} とする。また、ソースからドレイン方向の位置(x)に関しては、ソース端を $x=0$ 、ドレイン端を $x=L$ とする。

- (1) ソース・ゲート間にゲート電圧(V_G)、ソース・ドレイン間にドレイン電圧(V_D)を印加した時、シリコン表面の x 点($0 \leq x \leq L$)に発生する表面キャリア層(チャンネル)の電荷密度 $Q(x)$ を式で示せ。但し、しきい値電圧を V_{th} 、 x 点における電位を $V(x)$ とし、 $|V_G| > |V_{th}|$ とする。
- (2) ソース・ドレイン間に正のドレイン電圧(V_D)を印加すると、ドレイン電流(I_D)が流れる。このドレイン電流(I_D)は次式で与えられることを示せ。

$$I_D = \frac{W}{L} \mu C_{ox} \left[(V_G - V_{th}) V_D - \frac{1}{2} V_D^2 \right]$$

但し、キャリアの移動度を μ とする。

- (3) V_D を増加し、 $[V_D \geq V_G - V_{th}]$ の領域になると、 I_D は V_D に依存しなくなる。この動作領域を飽和領域と呼ぶ。飽和領域において I_D を与える式を求めよ。
- (4) チャンネル領域に p 型不純物を導入し、その濃度を増加した。増加する前と比較して、 V_{th} はどのように変化するかを答えよ。
- (5) MOSFET を高速で動作させるには、n チャネル MOSFET と p チャネル MOSFET のいずれが好適か? 理由と共に答えよ。