第8問

図1は均一にドープされたドナー濃度 N_D の n 型半導体と，均一にドープされたアクセプタ濃度 N_A の p 型半導体で構成された pn 接合である．n 型半導体中の正孔の熱平衡濃度を p_{n0}，p 型半導体中の電子の熱平衡濃度を n_{p0} とする．素電荷を q，ボルツマン定数を k_B，温度を T，n 型半導体中性領域の長さを W_N とする．x は n 領域の空乏層端からの距離を表す．n 型領域における正孔の拡散定数を D_p，正孔の少数キャリア寿命を τ_p とし，正孔の拡散距離 L_p は $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ で与えられる．ここで $W_N >> L_p$ であり，$x=W_N$ において正孔濃度は熱平衡濃度に等しくなっているとする．

この pn 接合に時間的に変化する電圧 $V(t)$ を印加した場合の，n 型半導体中性領域における正孔濃度について考える．ある時刻 t，座標 x における正孔濃度を $p(x,t)$ と表したとき，正孔の拡散方程式は以下の式で与えられる．

$$\frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = -\frac{p(x,t) - p_{n0}}{\tau_p} + D_p \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2} \qquad \text{(i)}$$

以下の問いに答えよ．

(1) まず，時間変化のない場合について考察する．すなわち $V(t)= V_{DC}$ の直流順方向バイアス電圧を印加したときの $p(0) - p_{n0}$ を V_{DC} の関数で表せ． ここで $p(0)$ は $x=0$ における正孔濃度を表す．

次に，順方向の直流電圧 V_{DC} に微小交流電圧 $V_{AC}e^{j\omega t}$ が重畳した電圧 $V(t) = V_{DC} + V_{AC}e^{j\omega t}$ を印加したときを考える．ここで $V_{AC}<<V_{DC}$，$V_{AC}<< k_BT/q$ の条件があり，j は虚数単位，ω は角周波数である．

以下の問いに答えよ．

(2) 時間的に変化する正孔濃度 $p(x,t)$ が，$p(x,t) = p_{DC}(x)+p_{AC}(x)\, e^{j\omega t}$ の形で表されると仮定する．ここで $p_{DC}(x)$ は直流成分，$p_{AC}(x)$ は交流成分の振幅を表す．$p_{DC}(x)$，$p_{AC}(x)$ がそれぞれ満たすべき微分方程式は式(ii)，(iii)で表されることを導け．

$$D_p \frac{\partial^2 p_{DC}(x)}{\partial x^2} - \frac{p_{DC}(x) - p_{n0}}{\tau_p} = 0 \qquad \text{(ii)}$$

$$D_p \frac{\partial^2 p_{AC}(x)}{\partial x^2} - j\omega p_{AC}(x) - \frac{p_{AC}(x)}{\tau_p} = 0 \qquad \text{(iii)}$$

(3) x=0 における境界条件を求めたい．$p_{DC}(0) - p_{n0}$ を V_{DC} の関数で表せ．また $p_{AC}(0)$ を V_{DC} と V_{AC} の関数で表せ．ここで，導出には次の式で与えられるテーラー展開 $f(\alpha+\beta) = f(\alpha) + \beta f'(\alpha)$ $(\alpha >> \beta)$ を用いること．

(4) 上記の微分方程式(ii)を解き，直流成分 $p_{DC}(x)$ を x の関数で表せ．また，これをグラフで示せ．このとき，x=0，x=W_N，x=L_p，p_{n0}，$p_{DC}(0)$ をグラフ中に明記すること．

(5) 上記の微分方程式(iii)を解き，交流成分 $p_{AC}(x)$ を x の関数で表せ．（グラフで示す必要はない）

(6) $\omega\tau_p << 1$ とき，$p(x,t)$ はどのような時間的，空間的変化をするか．図を用いて簡単に説明せよ．

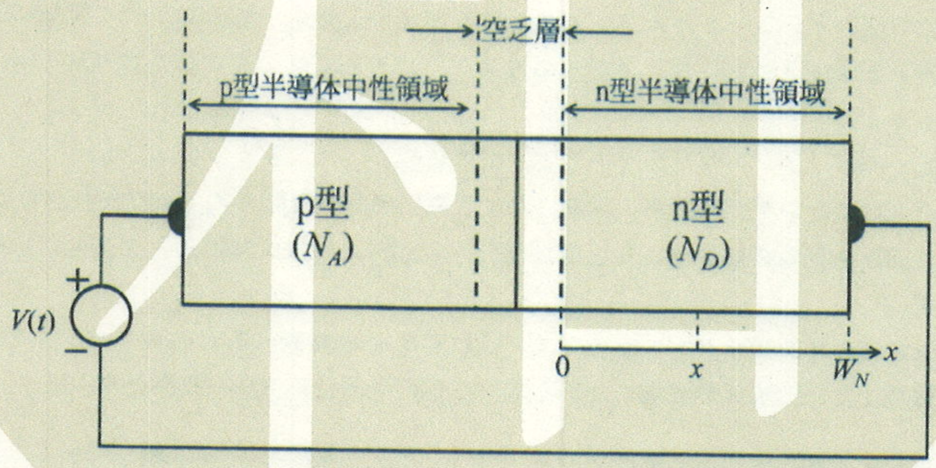

図 1