

問1～問3 青色の用紙に解答

問4 緑色の用紙に解答

半導体工学 I A 試験 問題

2009.7.29

以下の各設問の()の指示に従って解答しなさい。また、記号や数式の意味は、特に指定がない限り、講義で用いたプリントの内容に従うものとする。計算問題は、計算の過程がわかるように表記しなさい。必要に応じて、以下の数値を用いてもよい。

$$\sqrt{2.6}=1.6, \sqrt{26}=5.1, \sqrt{10}=3.2, \exp(10) \cong 2.2 \times 10^4, \ln(10) \cong 2.3$$

〔問題1〕以下の各項目について答えなさい。

1) 有効質量 m_e の伝導電子について考える。300K における電子の平均熱速度 v_{th} をボルツマン定数 k_B を用いて表すと $v_{th} =$ (① 数式) となる。外部電界 E を作用させると、平均衝突時間 τ ならば、電子は平均速度 $\langle v_d \rangle =$ (② 数式) で電界と反対方向に移動する。

2) 多数キャリアの移動度 μ と温度 T 依存性を示す $\ln \mu - \ln T$ のグラフを(③ 図)に描きなさい。このグラフを用いて、キャリアの散乱要因となる主に2つの要因についても(④⑤ 説明)に説明しなさい。

3) n 型半導体の多数キャリア密度 n は温度 T によって変化する。 $\ln n - 1/T$ のグラフを(⑥ 図)に描きなさい。この図で、300K 前後の、一般に電子デバイスが使用される温度領域では、キャリアは(⑦ 語句)している状態にある。

3) 直接遷移型半導体の代表的な材料には、(⑧ 語句) などがあり、電子機器としては(⑨ 語句) などに応用されている。その理由は、(⑩ 説明) だからである。

4) ツェナー降伏とはどのような現象か(⑪ 説明)に説明しなさい。

5) ホール係数の単位が m^3/C となることを電場、磁場、電流密度の単位を変形しながら(⑫ 説明)に説明しなさい。

6) LSI の主流となったのは、増幅現象が発見された Ge ではなく、Si であった理由について(⑬ 説明)に説明しなさい。また、LSI 製造においては、(⑭ 語句) などの元素による汚染が避けられる。その理由を(⑮ 説明)に説明しなさい。

〔問題2〕エネルギーギャップ: $\varepsilon_g = 1.12 \text{ eV}$ 、電子親和力: $\chi = 4.05 \text{ eV}$ の半導体がある。300K において ε_i は ε_g の中間に存在するとする。この半導体のドナー密度 $N_D =$ (① 数値) の場合、フェルミ準位 $\varepsilon_F = \varepsilon_i + 0.47 \text{ eV}$ である。したがって、 $\varepsilon_F = \varepsilon_c -$ (② 数値) eV となる。この半導体と、仕事関数 $\phi_m = 4.80 \text{ eV}$ の金属 A と接触した場合は(③ 語句) 接触となる。また、仕事関数 $\phi_m = 6.30 \text{ eV}$ の金属 B と接触した場合は(④ 語句) 接触、仕事関数 $\phi_m = 4.01 \text{ eV}$ の金属 C と接触した場合は(⑤ 語句) 接触になる。この金属 C と接触している場合のバンド図を(⑥ 図)に描きなさい。必要に応じて、次の記号を記入すること。(ε_F 、 ε_c 、 eV_D 、 ϕ_m 、 ϕ_B 、 ε_V 、 χ)

〔問題3〕一般に、n 型半導体に p 型領域を作るには、(① 語句) などの元素をドーピングする必要がある。pn 接合の電流(J)-電圧(V)を(② 図)に示せ。飽和電流密度 J_s も図中に記入して説明すること。また、順方向になるようにバイアスするにはプラス極を n 型、p 型のいずれに接続すればよいか。(③ 語句) 解答しなさい。

電子密度 $N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の n 型半導体と正孔密度 $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の p 型半導体とで pn 接合を形成した場合、熱平衡状態における pn 接合の拡散電位は $V_D =$ (④ 数値) V である。

正孔の拡散長は(④ 数値) μm で、熱平衡状態で、不純物濃度 N_D および N_A をともに 100 倍高めると、空乏層の厚みは(⑤ 数値) 倍になる。順方向バイアス $V_a = 0.26 \text{ V}$ から $V_a = 0.52 \text{ V}$ に増加すると、電子電流の値は(⑥ 数値) 倍になる。

ただし、真性キャリア密度 $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 、キャリア寿命 $\tau_h = 10^{-6} \text{ s}$ 、
移動度 $\mu_h = 4 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ とする。

〔問題4〕以下の文章を読んで問いに答えよ。ただし、必要ならば、数値として、 $e^{0.3}=1.35$ 、素電荷 $e=1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ を用いてよい。また、計算は有効数字二桁でよい。

吸収係数 α の光伝導セルの動作原理について考える。伝導セルの電極間距離を L 、幅を w 、厚さを d とする。光伝導セルにおいて、単位面積当たり、短時間当たり生成される電子・正孔対の数 G は $G = I(0)\{1 - \exp(-\alpha d)\}$ (1) で与えられる。ここで、 $I(0)$ は、単位面積・単位時間当たりに表面に入射する光子数(光子束)である。

光励起により生成される過剰電子数(単位体積当たり)を Δn とし、その電子再結合寿命

$$\tau \text{ をとすると、生成された過剰電子は、 } \Delta n = n_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (2)$$

に従って、時間 t とともに減少する。ここで n_0 は比例定数である。

単位時間・単位体積当たりに生成される剰電子数は、(1) 式より、 G/d であるので、

$$\text{過剰電子数の時間変化は、次式であらわされる。} \quad \frac{d\Delta n}{dt} = [\quad A \quad] \quad (3)$$

$$\text{ここで、定常状態では、} \frac{d\Delta n}{dt} = 0 \text{ であるので、} \quad \Delta n = [\quad B \quad] \quad (4)$$

と求められる。

今、生成される過剰電子数と過剰正孔数は同じなので、光を吸収することで変化する導電率の増加分 $\Delta\sigma$ は $\Delta\sigma = e\Delta n(\mu_e + \mu_h)$ (5)

で求められる。ここで、 μ_e は電子の移動度、 μ_h は正孔の移動度である。この式に、(4) 式および(1)式を代入して、 $\Delta\sigma = [\quad C \quad]$ (6)

と求められる。この導電率の変化を電流として検知することによって、光導電セルが、光検出器として動作する。

問1 $[\quad A \quad]$ 、 $[\quad B \quad]$ 、 $[\quad C \quad]$ にあてはまる数式を入れよ。

問2 $L=2\text{mm}$ 、 $w=3\text{mm}$ 、 $d=300\mu\text{m}$ の光伝導セルについて、吸収係数 10cm^{-1} 、光子束 $10^{12}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の光が照射されているときの導電率の増加分 $\Delta\sigma$ を求めよ。ただし、電子再結合寿命 τ を 10^{-3}s 、電子の移動度 μ_e を $100\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ とし、正孔は再結合寿命が小さいため、その寄与は考えないものとする。回答には単位を忘れないように。

また、電極間に 3V の電圧を印加したときの電子の電極間走行時間 t_r を求めよ。

問3 地上における太陽エネルギーは 1kW/m^2 である。これを波長 589nm の光と等価と考え、1秒間に到達する 1m^2 当たりの光子数を求めよ。ただし、波長 $\lambda(\text{nm})$ の光子のエネルギー $E(\text{eV})$ は $1239.85/\lambda$ で与えられるものとする。