

電子光科学 - II

次の[II-1]から[II-5]までの5問についてそれぞれ別の答案用紙に答えよ。なお、各問題に2枚以上の答案用紙を用いる場合は、「[II-1] (2枚目)」などのように明記せよ。[II-3]の解答には、[II-3]と書かれた答案用紙を用いよ。

[II-1]

図1に示す起電力 E の直流電圧源、抵抗 r , R , キャパシタ C , インダクタ L , スイッチ SW から構成される回路について、以下の問に答えよ。 (配点35点)

- (1) スイッチ SW が閉じられ、回路が定常状態に達したものとする。その時、 R , C , L の電圧 v_R , v_C , v_L , 電流 i_R , i_C , i_L を E , r , R , C , L のうち、必要なものを用いて表せ。
- (2) 問(1)の状態からスイッチ SW を開き、定常状態に達するまでの間に抵抗 R で消費されるエネルギーを E , r , R , C , L のうち、必要なものを用いて表せ。
- (3) 問(1)の状態から時刻 $t=0$ でスイッチ SW を開いた時について考える。
 - a) キルヒホッフの法則を適用し、 R , C , L からなる閉回路を右回りに流れる電流 $i(t)$ に関する方程式を求めよ。さらに、 $i(t)$ のラプラス変換 $I(s)$, 及び $i(0)$ を求めよ。
 - b) $i(t)$ が減衰振動する場合の条件を R , C , L を用いて表せ。さらに、角周波数 ω , 減衰の時定数 τ を求めよ。
 - c) $R^2 = 4L / (5C)$ とした時、 $i(t)$ を求めよ。

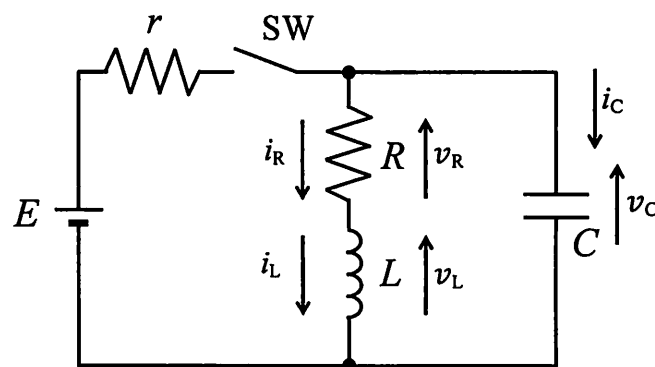


図1

[II-2]

図1および図2に示す演算増幅器と抵抗からなる回路を考える。ただし、演算増幅器の増幅率を A 、入力インピーダンスを ∞ 、出力インピーダンスを 0 とする。なお、演算増幅器の電源回路の表記は省略する。以下の問に答えよ。（配点20点）

(1) 図1の回路において、 v_1 , v_2 , v_p , v_n はそれぞれ、入力信号、出力信号、演算増幅器の正相入力端子および逆相入力端子の電圧である。

- a) v_2 と v_n の関係を増幅率 A を用いて、求めよ。
- b) 問 a) の結果を用い、回路全体の増幅率 $G (= v_2 / v_1)$ を求めよ。
- c) $A \rightarrow \infty$ における G を求めよ。

(2) 図2の回路において、 v_3 , v_4 は入力信号の電圧、 v_5 は出力信号の電圧である。ただし、 $A \rightarrow \infty$ とする。

- a) 二つの入力 v_3 , v_4 の和に比例した出力を v_5 で得るための条件を示せ。
- b) 問 a) の条件が満たされているとき、端子5の後段に回路 X を追加することで、 $v_3 + v_4$ を出力として得たい。演算増幅器と抵抗を用いて、回路 X の回路図を書け。また、そのとき用いた抵抗の値の条件を示せ。

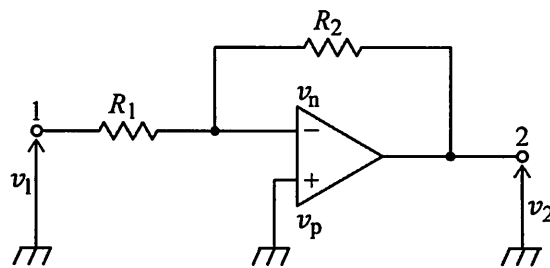


図1

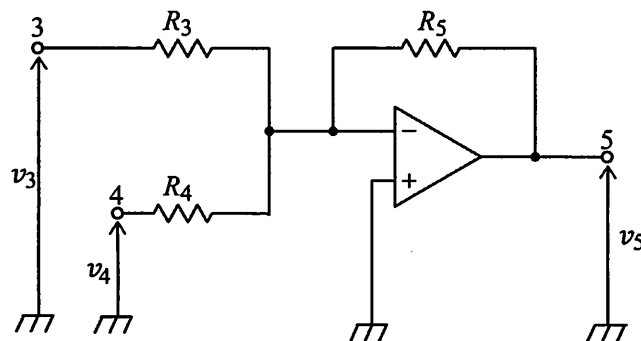


図2

[II-3]

図1に示すように、入力 \bar{S} 、 \bar{R} 、出力 Q 、 \bar{Q} をもつNAND型のSRラッチについて考える。なお、Hレベル信号をH、Lレベル信号をLと表記する。以下の問の解答には、[II-3]と書かれた答案用紙を用いよ。(配点20点)

- (1) 表1は、図1のSRラッチの動作を表すものである。(a)、(b)、(c)、(d)は、前の状態（保存、記憶）、禁止状態、セット状態、リセット状態のいずれかの状態である。(a)から(d)の状態を答えよ。
- (2) 図2に示すような入力信号を与えた時の出力 Q 、 \bar{Q} の時間変化を、答案用紙に記載されている時間-出力（H、L）グラフ中に、各々書き表わせ。
- (3) 図1の回路の入力側に二つのNAND回路と一つのNOT回路を接続して、図3に示す入力 X 、 Y 、出力 Q' 、 \bar{Q}' をもつデジタル回路を作製した。この回路に、図4に示す入力信号を与えた時の出力 Q' の時間変化を、答案用紙に記載されている時間-出力（H、L）グラフ中に、各々書き表わせ。

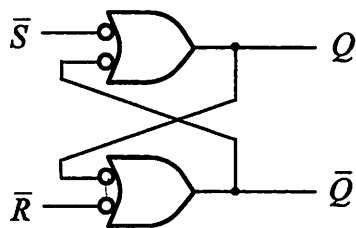


図1

表1

\bar{S}	\bar{R}	Q 、 \bar{Q} の状態
L	H	(a)
H	L	(b)
H	H	(c)
L	L	(d)

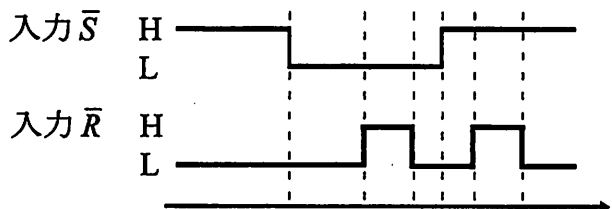


図2 時間

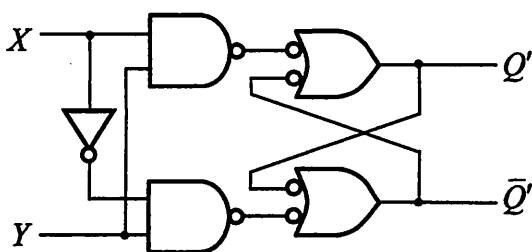


図3

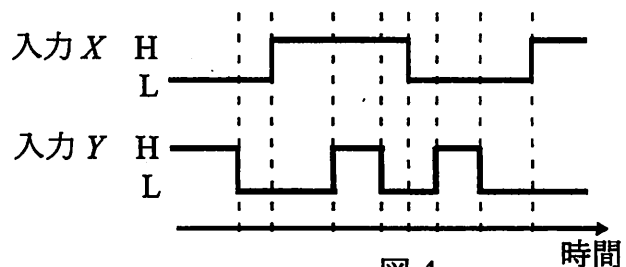


図4 時間

[II-4]

p型半導体に過剰キャリアを注入したときの発光を考える。以下の問に答えよ。

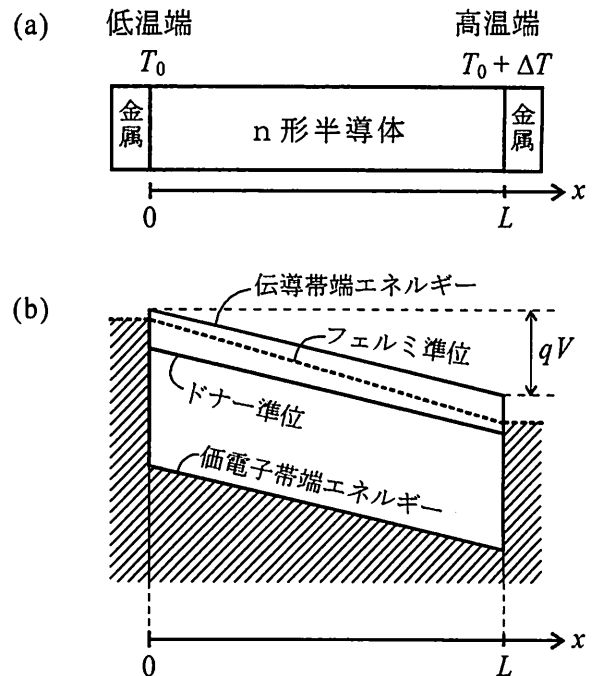
(配点 35 点)

- (1) 注入された電子は、ある寿命をもって再結合する。単位時間、単位体積あたり注入される過剰電子の数を G 、注入された過剰電子の寿命を τ_n 、過剰電子密度を Δn としたとき、 $\frac{d\Delta n}{dt}$ を G 、 Δn 、 τ_n を用いて表せ。
- (2) 注入された過剰電子の発光再結合の寿命を τ_r 、非発光再結合の寿命を τ_{nr} とする。定常状態における過剰電子のうち、単位時間、単位体積あたりに発光再結合する電子数（過剰電子の発光再結合割合） S_r および非発光再結合する電子数（過剰電子の非発光再結合割合） S_{nr} を τ_r 、 τ_{nr} 、 τ_n 、 G のうち、必要なものを用いて表せ。さらに、発光再結合による光子生成の効率 η を τ_r と τ_{nr} で表せ。なお、 η は定常状態において、単位時間、単位体積あたりに再結合する過剰電子数に対する S_r の比率である。
- (3) 電子、正孔相互に相手が多いほど再結合割合は増えるから、電子密度を n 、正孔密度を p 、比例定数を B とすると、発光再結合割合は Bnp と表せる。いま、熱平衡状態での電子密度が n_0 、正孔密度が p_0 の半導体に密度 Δn の電子および密度 Δp の正孔を注入し非平衡状態にしたところ、発光再結合割合が ΔR_r 増加した。 ΔR_r を R_r 、 p_0 、 n_0 、 Δn 、 Δp で表せ。なお、 $R_r = Bn_0p_0$ とする。
- (4) 注入される電子 Δn および正孔 Δp が p_0 よりも十分小さい時を考える。電荷中性条件が成り立つとして、発光再結合寿命 τ_r を R_r と n_0 を用いて表せ。この場合、 $\Delta R_r = S_r$ が成り立つ。
- (5) 下表に半導体 A、B、C の n_0 、 R_r 、 τ_{nr} を示す。各半導体の η を求めて比較し、発光素子としてもっとも適しているものを選べ。

半導体	n_0 (cm^{-3})	R_r ($\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	τ_{nr} (s)
A	1.4×10^6	4.0×10^5	1.0×10^{-3}
B	2.4×10^9	8.0×10^9	1.0×10^{-3}
C	2.2×10^{12}	5.5×10^{18}	1.0×10^{-7}

[II-5]

長さ L の非縮退 n 形半導体の一方を絶対温度 T_0 とし、他方を $T_0 + \Delta T$ ($\Delta T > 0$) とした (図(a)参照). このとき、低温端と高温端の間に発生する開放電圧を求めるための以下の問に答えよ. ただし、この n 形半導体の全体は不純物領域の温度範囲にあるとし、 x 軸と垂直方向には一様であるため、 x 軸方向の1次元問題として扱えるとする. また、素電荷とボルツマン定数をそれぞれ q, k とし、位置 x の絶対温度を $T(x)$ とする. (配点 40 点)



(1) 定常状態で、式①が成立することを示せ.

$$E(x) = -\frac{kT(x)}{q} \frac{1}{n(x)} \frac{dn(x)}{dx} \quad \text{①}$$

ただし、 $E(x)$ と $n(x)$ は、それぞれ、位置 x ($0 < x < L$) での内部電界の x 成分と伝導帯電子密度である.

以下では $T(x) = T_0 + \frac{\Delta T}{L}x$ ($\Delta T/T_0 \ll 1$) と仮定する.

(2) 図(b)は図(a)に示された半導体と電極金属のエネルギーバンドを模式的に表したものである. この図中に定義された電位差 V を ΔT に比例する形の近似解として求めよ. ただし、不純物領域の n 形半導体の伝導帯電子密度 n_c は式②で表されるとする.

$$n_c = \frac{1}{\sqrt{2}} N_C^{\frac{1}{2}} N_D^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{E_C - E_D}{2kT}\right), \quad N_C = 2 \left(\frac{2\pi mkT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{②}$$

ここで、 N_D, E_C, E_D, m, h は、それぞれ、ドナー密度、伝導帯端エネルギー、ドナー準位、伝導帯電子の有効質量、プランク定数である.

(3) 問(2)で求めた電位差 V とフェルミ準位の温度依存性の両方を考慮し、この n 形半導体の高温端と低温端の間に発生する開放電圧 V_{oc} を ΔT に比例する形の近似解として求めよ. ただし、不純物領域の n 形半導体中のフェルミ準位を E_F とすると、 $E_C - E_F$ の温度依存性は式③で与えられるとする.

$$E_C - E_F = \frac{E_C - E_D}{2} - \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_D}{2N_C}\right) \quad \text{③}$$

受験科目名	志望専攻領域名		受験番号	※ 成 績
	専攻	創成専攻		点
	領域	領域		

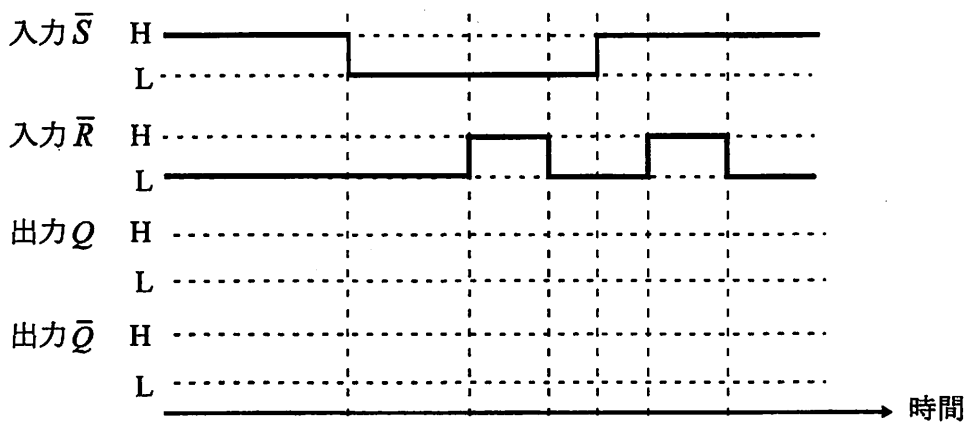
[II-3]

(1)

(a)
(c)

(b)
(d)

(2)



(3)

