

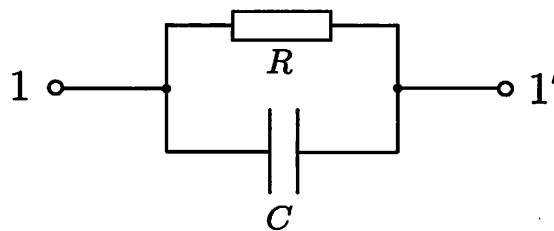
電子光科学 II

次の [II-1] から [II-8] までの8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-1]

図のような抵抗 R とキャパシタ C からなる回路がある。1-1' 間に角周波数 ω の交流信号を印加する場合を考える。虚数単位を j として、以下の問に答えよ。

(配点25点)



- (1) 1-1' 間の複素インピーダンス $Z(j\omega)$ を求めよ。分母を実数化して答えよ。
- (2) 1-1' 間の力率を求めよ。
- (3) 1-1' 間の力率を最大値まで上げるために受動素子を1つ追加することを考える。どの素子をどのように接続すれば良いのかを図示し、なぜその回路の力率が最大になるのかを説明し、素子の値を R , C , ω のうち必要なものを用いて答えよ。

[II-2]

特性インピーダンス Z_0 の伝送線路の受端が負荷インピーダンス Z_L で終端されている。受端での電圧反射係数と電流反射係数を導出せよ。

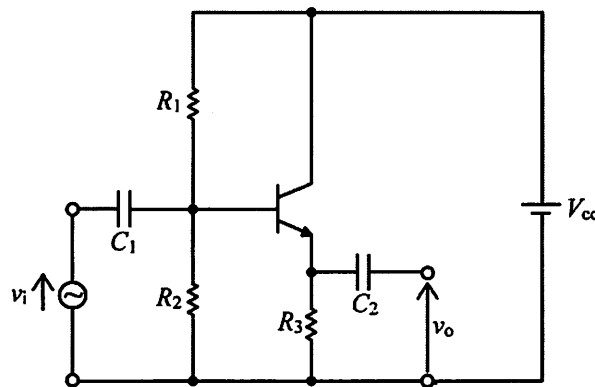
(配点15点)

[II - 3]

下図に示す回路を考える。 v_i は入力交流信号の電圧、 v_o は出力信号の電圧である。ただし、 $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ 、 $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ 、 $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$ であり、各キャパシタのインピーダンスは、入力交流信号の周波数帯において、十分に小さいものとする。以下の問に答えよ。

(配点20点)

- (1) トランジスタがエミッタ接地回路の h パラメータ h_i 、 h_f を用いた小信号等価回路で表されるとき、下図の小信号等価回路を図示せよ。ただし、 $h_i = 2 \text{ k}\Omega$ 、 $h_f = 99$ として、 h パラメータのうち、 h_r と h_o は十分に小さく無視できるものとする。
- (2) 電圧利得 $A_v (= v_o/v_i)$ の式を問(1)の等価回路から導出し、 A_v の値を有効数字2桁で求めよ。
- (3) 問(1)の等価回路から入力インピーダンス Z_i と出力インピーダンス Z_o の値をそれぞれ有効数字2桁で求めよ。

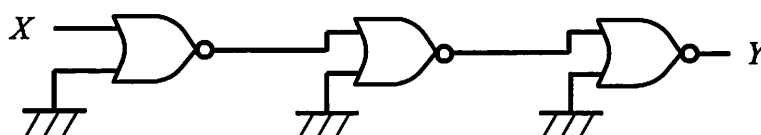


[II - 4]

下表に示す電気特性をもつ2入力のCMOS-NORゲートについて考える。このCMOS-NORゲートは、動作条件、負荷容量、負荷抵抗にかかわらず下表の電気特性を示すものとする。以下の問に答えよ。（配点15点）

- (1) このCMOS-NORゲートのHレベルとLレベルのノイズマージンを各々求めよ。ただし、ワーストケースデザインで考えること。
- (2) 下図は、このCMOS-NORゲートを3つ用いて構成されるデジタル回路である。入力電圧、出力電圧は、各々 X 、 Y と表記されている。入力電圧 X をHレベルからLレベルに変化させた。このとき、出力電圧 Y にはどのような変化が起こるか、もしくは変化が起こらないかを答えよ。
- (3) 問(2)の回路で入力電圧 X をHレベルからLレベルに変化させてから、出力電圧 Y が変化するまでにかかりうる最大の時間を求めよ。ただし、出力電圧 Y が変化しない場合は、変化なしと答えよ。

項目	記号	最小値	標準値	最大値
入力電圧	V_{IH}	—	2.8 V	3.9 V
	V_{IL}	1.7 V	2.8 V	—
出力電圧	V_{OH}	5.4 V	5.5 V	—
	V_{OL}	—	0.001 V	0.1 V
入力電流	I_{in}	—	—	$\pm 0.1 \mu A$
伝搬遅延時間	t_{PLH}	1.0 ns	5.8 ns	7.8 ns
	t_{PHL}	1.0 ns	4.3 ns	6.4 ns
内部等価容量	C_{PD}	—	30.0 pF	—

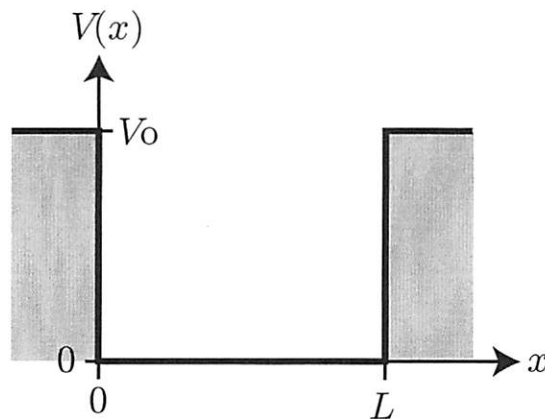


[II-5]

下図のように、高さ V_0 、長さ L の一次元井戸型ポテンシャルの中に閉じ込められた質量 m の電子の運動を考える。ポテンシャルを $V(x)$ とすると、一次元のハミルトニアンは $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x)$ ($\hbar = h/2\pi$, h はプランク定数) で表される。 $0 < x < L$ で $V(x) = 0$ 、電子のエネルギーを E として、以下の間に答えよ。

(配点 25 点)

- (1) $0 < x < L$, $x < 0$ および $x > L$ の場合に分けて、波動関数 $\phi(x)$ が満たす、時間に依存しない一次元のシュレディンガー方程式をそれぞれ示せ。
- (2) $V_0 \rightarrow \infty$ のとき、 $x \leq 0$ および $x \geq L$ で電子の存在確率が 0 となる。このとき、 $0 < x < L$ の領域について考える。
 - a) 波数 k を用いると、一般に波動関数は $\phi(x) = A \exp(ikx) + B \exp(-ikx)$ (A, B は任意の定数) の形で与えられる。 k が満たすべき条件を示せ。
 - b) 基底状態の E を求めよ。
 - c) 基底状態における、規格化された波動関数 $\phi(x)$ を求め、 $|\phi(x)|$ のグラフを描け。
必要であれば $\int_0^a \sin^2(bx) dx = -\frac{1}{2} \frac{\cos(ba) \sin(ba) - ba}{b}$ を用いてもよい。



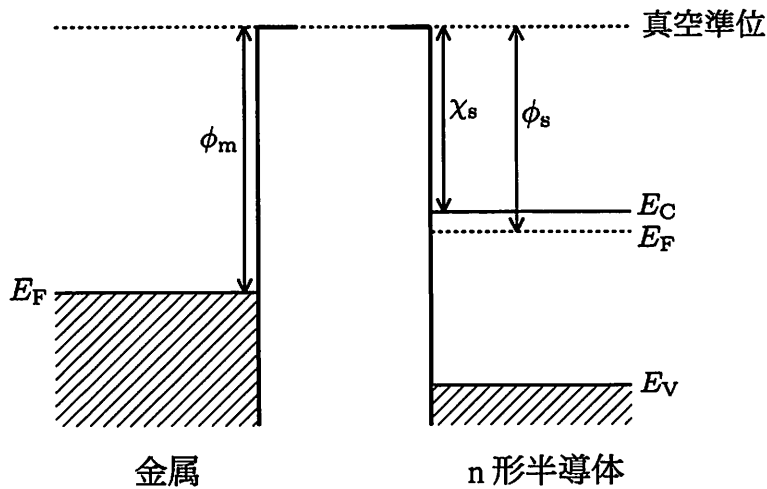
[II-6]

金属-半導体ショットキー接合に関する以下の問に答えよ。

(配点 30 点)

下図は、仕事関数 ϕ_m の金属と、仕事関数および電子親和力がそれぞれ ϕ_s, χ_s の n 形半導体のエネルギーバンド図である。図中の E_F, E_C, E_V は、それぞれ、フェルミ準位、伝導帯下端のエネルギー、価電子帯上端のエネルギーを表している。これらの金属と半導体を接触させ、熱平衡状態になったときに形成された理想的なショットキー接合について考える。ただし、鏡像力効果と界面準位の影響は無視できるとする。

- (1) この金属-半導体接合のエネルギーバンド図を描け。ただし、 E_C, E_F, E_V を明示すること。また、エネルギー障壁の高さを、 $\phi_m, \phi_s, \chi_s, E_C, E_F, E_V$ の中から必要なものを用いて表し、図中に記せ。
- (2) 拡散電位を V_D として、n 形半導体中の空乏層幅 d を求めよ。ただし、n 形半導体中のドナー密度を N_D とし、すべてのドナーはイオン化しているとする。また、この半導体の誘電率を ϵ とし、電気素量を q とする。
- (3) この金属-半導体接合に逆バイアス V を印加したときの、単位面積あたりの静電容量 C を求めよ。また、 $1/C^2$ を V の関数として、グラフの概略を描け。



[II-7]

図1は格子定数 a の単純立方格子をもつ結晶の逆格子点の一部を表している。また、図2には、この結晶の(001)面に向かって垂直に、波数 $4\pi/a$ の X 線を入射した場合のエバルト球の一部が描かれている。 k は入射波を表す波数ベクトルであり、エバルト球は逆格子点 022 と交わっている。このとき、(022)面の面間隔を求め、その面がブラッグ条件を満たしていることを示せ。

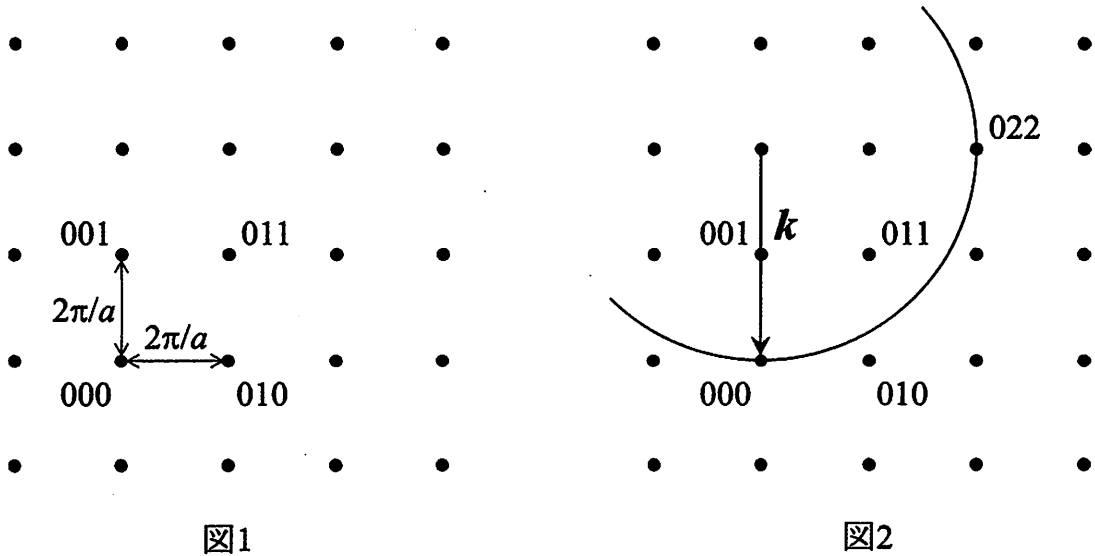


図1

図2

(配点 10 点)

[II-8]

ある温度 T において磁気モーメント $g\mu_B J$ をもつ原子またはイオンが N 個存在している常磁性絶縁体に、磁場 H を印加した際の磁化 M は、 $M = N g\mu_B J B_J(\alpha)$ と表記される。ここで、 g はランダウー g 因子、 μ_B はボーア磁子、 J は角運動量の量子数であり、 k_B をボルツマン定数とすると、 $B_J(\alpha)$ および α は次式で表される。

$$B_J(\alpha) = \frac{2J+1}{2J} \coth\left(\frac{2J+1}{2J} \alpha\right) - \frac{1}{2J} \coth\left(\frac{1}{2J} \alpha\right), \quad \alpha = \frac{g\mu_B J H}{k_B T}$$

高温・低磁場では、磁化率が温度に反比例することを示せ。

ただし、 $|x| \ll 1$ のとき $\coth x \approx \frac{1}{x} + \frac{x}{3}$ と近似してよい。

(配点 10 点)