

北海道大学大学院情報科学研究科
情報エレクトロニクス専攻入学試験
平成29年8月24日 13:00～15:00

専門科目2

受験上の注意

- ・机の上に置いてよいものは、筆記用具(鉛筆、消しゴム、鉛筆削りなど)、時計、特に指示があったもののみである。
- ・時計は計時機能のみのもので使用し、アラームの使用を禁ずる。
- ・電卓、電子手帳、辞書の使用を禁ずる。
- ・携帯電話等の情報通信機器類は、必ずアラームの設定を解除した上で電源を切っておくこと。
- ・問題冊子は本表紙を含め7枚ある(2枚目は白紙)。問題は、[1](デジタル回路)、[2](量子力学)、[3](物性工学)、[4](情報通信工学)、[5](光エレクトロニクス)、について各1ページである。問題冊子は回収しない。
- ・答案用紙の枚数は2枚である。[1]～[5]の計5問の中から2問選択し、1枚につき1問を解答すること。
- ・答案用紙の裏面を使用してもよいが、その場合、「裏面記載あり」と答案用紙おもて面の右下に記載すること。
- ・選択した問題の番号、受験番号の誤記、記入もれがないか、各答案用紙を十分に確かめること。これらを別紙の選択問題チェック票にも記入し、提出すること。
- ・草案紙の枚数は2枚である。草案紙は回収しない。

[1] デジタル回路

1. 2つの符号無し4ビット二進数 $A_3A_2A_1A_0$ と $B_3B_2B_1B_0$ の大小を比較する組合せ回路を、下記の手順に従って設計せよ。この回路は $A_3A_2A_1A_0 \geq B_3B_2B_1B_0$ であれば $Y = 1$, $A_3A_2A_1A_0 < B_3B_2B_1B_0$ であれば $Y = 0$ を出力するものとする。ただし、 A_3 及び B_3 が最上位ビット、 A_0 及び B_0 が最下位ビットである。

(1) 4ビットのうち、 i ビット目 ($i = 0, 1, 2, 3$) までの比較結果を Y_i とすると、 $A_i > B_i$ のときは $Y_i = 1$, $A_i < B_i$ のときは $Y_i = 0$ である。 $A_i = B_i$ のとき Y_i が Y_{i-1} でどう表されるかを踏まえて、 Y_i を A_i, B_i, Y_{i-1} のブール代数式で表現せよ。ただし、 $Y_{-1} = 1$ とし、 $Y = Y_3$ である。

(2) (1) で求めたブール代数式から、 $A_i, \overline{B_i}, Y_{i-1}$ を入力として $\overline{Y_i}$ を出力する **Comp_NEG** と、 $\overline{A_i}, B_i, \overline{Y_{i-1}}$ を入力として Y_i を出力する **Comp_POS** の二つの CMOS 複合論理ゲートのトランジスタレベル回路図を示せ。但し、トランジスタ数はそれぞれ 10 個以下とする。

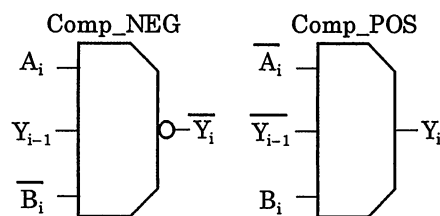


図 1

(3) 入力 $A_3A_2A_1A_0$ と $B_3B_2B_1B_0$ の大小比較結果 Y を出力する組合せ回路のブロックレベル回路図を示せ。但し、図1の2つのブロック記号とインバータ記号とを用い、入出力信号名を明記すること。

2. クロック信号 CLK , クリア信号 \overline{CLR} , 1ビットの信号 X を入力とし、1ビットの信号 Y を出力とする図2の順序回路に関して、以下の問いに答えよ。但し **Comp_NEG** は図1に示した大小比較 CMOS 複合論理ゲートである。その他の回路記号は凡例参照のこと。

(1) 図2の順序回路に図3の入力信号波形を与えた時、図3においてラベル①～⑯の時点の $A_i, \overline{B_i}, Y_{i-1}, Y$ の信号値を、それぞれ 1 か 0 の数値で答えよ。但し、入力信号 X の値の変化は CLK 信号のポジティブエッジ及びネガティブエッジから十分に離れているものとする。

(2) ⑯の時点の Y の値は、2つの符号無し4ビット二進数の大小比較結果となっている。入力となる2つの符号無し4ビット二進数の値を答えよ。

(3) 以下の指定単語を全て用い、図2の回路が実現する機能を 100・200 文字程度で説明せよ。但し、同じ指定単語を複数回用いても構わない。指定単語: CLK , ポジティブエッジ, ネガティブエッジ, $X, A_i, B_i, \overline{CLR}$, 最下位ビット, CLK サイクル毎, シリアル, Y 。

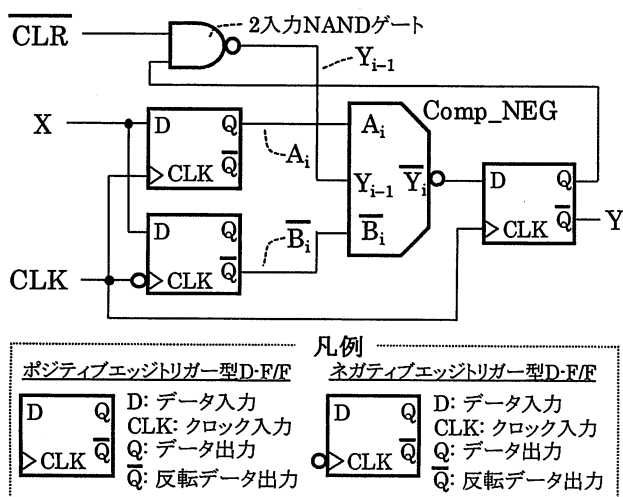


図 2

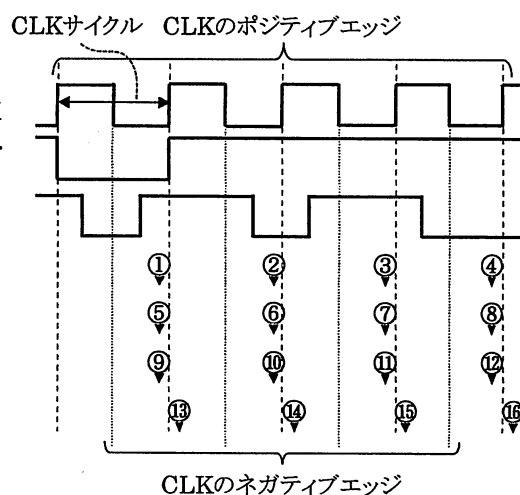


図 3

ポジティブエッジトリガ型D-F/F		ネガティブエッジトリガ型D-F/F	
D	Q	D	Q
>CLK	Q	>CLK	Q
D: データ入力 CLK: クロック入力 Q: データ出力 Q̄: 反転データ出力		D: データ入力 CLK: クロック入力 Q: データ出力 Q̄: 反転データ出力	

[2] 量子力学

1. 以下の問いに答えよ。

(1) 波動関数の規格化とはどのような操作か。また、その意味を述べよ。

(2) エルミート演算子 \hat{A} で表される物理量の期待値とは何か。

また、1次元波動関数 $\psi(x)$ で与えられた状態について、物理量 $\hat{A}(x)$ の期待値の表式を書け。

2. 原点について対称な1次元ポテンシャルに束縛された粒子の固有状態の波動関数は原点について対称または反対称である。今、図1に示す深さ $V > 0$ の井戸型ポテンシャルに質量 m の粒子が束縛されているとする。エネルギー固有値を E ($0 < E < V$) とし、 $0 \leq x \leq a$ における波動関数を $\psi_a(x)$ 、 $x \geq a$ における波動関数を $\psi_b(x)$ とする。以下の問いに答えよ。

(1) 原点について反対称な固有状態を考える。

(a) $0 \leq x \leq a$ と $x \geq a$ のそれぞれの範囲でシュレーディンガー方程式を解き、 $\psi_a(x)$ と $\psi_b(x)$ を定めよ。ただし、規格化定数 A, B は未定のままでよい。

(b) $x=a$ において波動関数が満たす境界条件を $\psi_a(x)$ と $\psi_b(x)$ で表わせ。

(c) 上で求めた境界条件に(a)で求めた波動関数 $\psi_a(x)$ と $\psi_b(x)$ を代入し、エネルギー固有値を与える連立方程式を導け。また、固有状態が存在する(連立方程式の解が存在する)ためのポテンシャル V の条件を求めよ。このとき、図2に示す $\eta = -\xi \cot \xi$ のグラフを用いてもよい。

(2) ポテンシャル V が(1)で求めた条件を満たさないとき、束縛状態は存在するか。

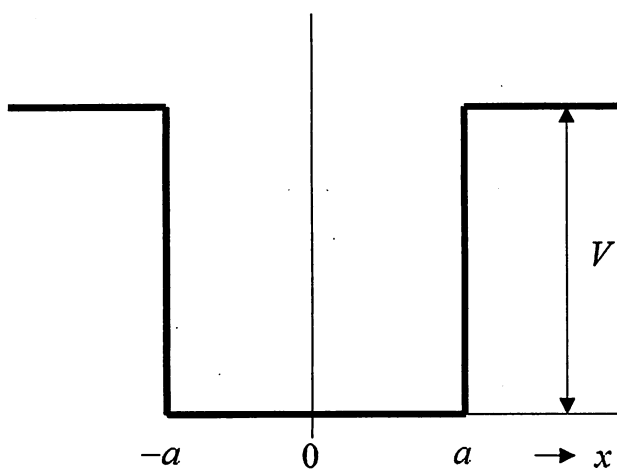


図1 粒子が束縛されている井戸型ポテンシャル

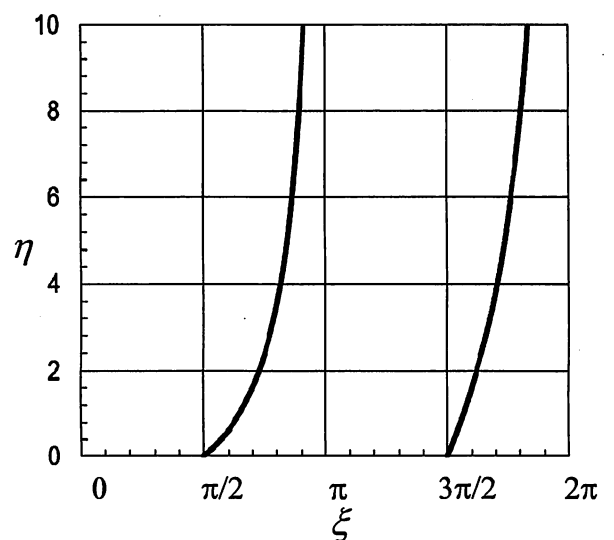


図2 $\eta = -\xi \cot \xi$ のグラフ

[3] 物性工学

1. 基本並進ベクトルが

$$\mathbf{a}_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}ax + \frac{a}{2}y, \quad \mathbf{a}_2 = -\frac{\sqrt{3}}{2}ax + \frac{a}{2}y, \quad \mathbf{a}_3 = cz \quad \text{①}$$

で表される六方最密構造を構成する結晶に関し、以下の問いに答えよ。ここに、 $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$ はそれぞれ x 軸、 y 軸、 z 軸方向の単位ベクトルである。なお、以下の計算では、平方根は小数で近似しなくともよい。

- (1) 基本単位格子の体積を a と c を使って表せ。
- (2) 逆格子の基本ベクトルを求めよ。
- (3) 逆格子空間において、原点から逆格子点までの線分を垂直 2 等分する平面で囲まれた最小の領域を一般に何と呼ぶか。
- (4) (2) で求めたベクトルのうち、 \mathbf{a}_3 と直交するベクトルを $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2$ とする。 $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2$ が張る平面上で、上記(3)で求めた領域を図示せよ。

2. 自由電子気体に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 電子はフェルミ・ディラック分布に従うことが知られている。電子のエネルギーを E 、フェルミレベル（化学ポテンシャル）を E_F 、絶対温度を T 、ボルツマン定数を k_B としたとき、フェルミ・ディラック分布関数 $f_{FD}(E)$ の式を示せ。また、 $T=0$ と $T>0$ のそれぞれの場合について、両者の違いがわかるように、 $f_{FD}(E)$ を E の関数として模式的に図示せよ。ただし、グラフの横軸を E とし、 E_F の位置を明示すること。なお、 $f_{FD}(E)$ を図示する際、 E_F は温度によらず一定としてよい。
- (2) 電子の状態密度 $D(E)$ を $D(E) = AE^{1/2}$ とおく。ここに A は定数である。 $T=0$ のときの電子密度を n としたとき、 A を n および E_F を用いて表せ。また、このとき $D(E_F)$ の値を求めよ。
- (3) $T=0$ のときの電子の平均エネルギー $\langle E \rangle$ が

$$\langle E \rangle = \frac{3}{5}E_F \quad \text{②}$$

となることを示せ。

3. 図 1 のように、厚さ D 、長さ L 、幅 W の直方体形状を有する半導体試料に電流 I が x 方向に流れている。半導体中のキャリアは全て電子とし、そのキャリア密度を n 、移動度を μ 、電子の電荷を q として以下の問いに答えよ。

- (1) 半導体中の電流密度を J 、電子の平均速度を v とすると、 $J = qnv$ となる。この関係式を使って、試料 x 方向の両端の電位差 V と電流 I は比例することを示せ。また、そのときの電気抵抗の大きさを求めよ。ただし、半導体内の電場の強さは一様とし、電子は全て平均速度で運動しているとする。
- (2) 次に、磁束密度 B の一様な磁場を z 方向に印加したとき、試料の y 方向の両端に生じるホール起電力の大きさ V_H を求めよ。なお、半導体の磁性は無視できるほど小さいものとする。解答の際、電子に働く力を考察し、導出過程を示すこと。

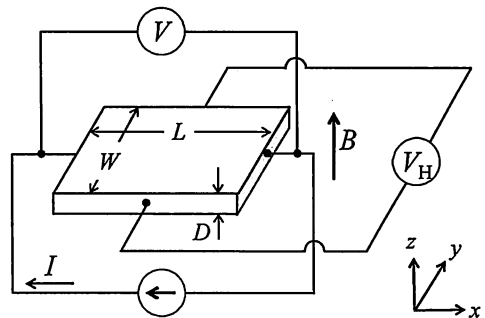


図 1

[4] 情報通信工学

1. ドメインネームシステム (DNS: Domain Name System) の説明を 50 文字程度で記述せよ。また、このシステムは、ネットワーク上での分散処理が必要であり、特にツリー構造の分散処理が適している。その理由について述べよ。
2. パケットによるデータ転送を用いて、機器の制御を行う。必要とするデータ量は、1 時間あたり 144G バイトである。伝送効率 20% の通信経路、および、ヘッダ部 4 バイト、データ部 20 バイトを持つパケットを使用したデータの伝送を行なったとき、要件を満足する最低の回線速度 (ビット/秒) を求めよ。
3. サンプリング処理では、連続信号 $a(t)$ に対し、特定の周期で信号値を取り出す。これは、図 1(a) に示す標本化信号 $s(t)$ により、 $a(t)$ の値 (図 1(b)) を標本化することと等価である (図 1(c))。

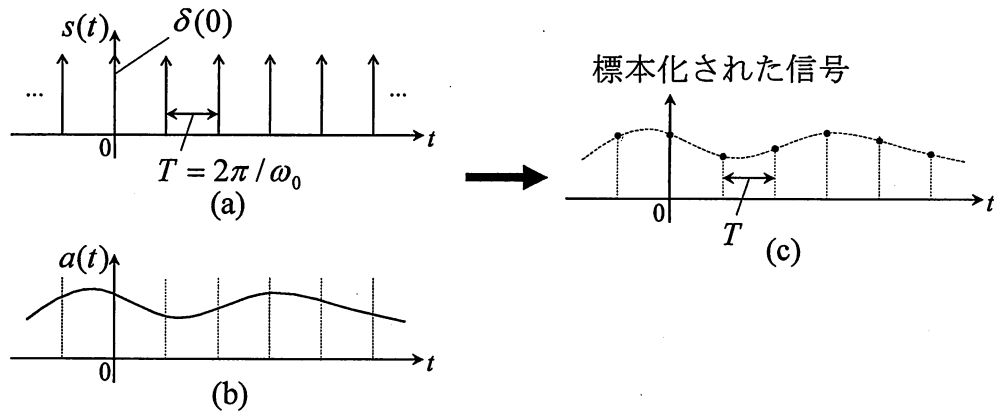


図 1

標本化信号 $s(t)$ は、複数のデルタ関数 $\delta(t-nT)$ ($n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) を重ね合わせた信号系列とする (図 1(a))。ここで、 t は時間、 T は周期 ($= 2\pi/\omega_0$)、 ω_0 は角周波数である。 $\delta(x)$ は、 $x \neq 0$ に対して $\delta(x) = 0$ 、かつ

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1$$

で与えられるデルタ関数である。

以上をふまえ、信号 $s(t)$ の周波数特性を複素フーリエ級数展開によって解析する。関数 $g(t)$ の複素フーリエ級数展開は、

$$g(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t}, \quad C_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} g(t) e^{-jn\omega_0 t} dt$$

で与えられるものとする。ここで、 $j = \sqrt{-1}$ である。次の問いに答えよ。

- (1) 標本化信号 $s(t)$ の複素フーリエ係数 C_n を求めよ。
- (2) T 、 $\cos \omega_0 t$ 、正の整数 k を用いて、標本化信号 $s(t)$ を複素フーリエ級数展開せよ。

[5] 光エレクトロニクス

1. 屈折率 n_1, n_2 の2つの透明媒質1, 2が図1のように直交する面A, Bにおいて接しているとき, 平面波の光が面Aに角度 θ_1 で入射する場合を考える. ただし, $n_2 > n_1$ とし, 平面波は電場ベクトルが入射面に平行なP偏光とする.

(1) 面Aに入射した光が媒質2に角度 θ_2 で屈折光を生じるとき, 入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 の関係を示せ.

(2) 面Bに入射した媒質2の光が, 媒質1に角度 θ_3 で屈折光を生じ, 媒質2に角度 θ_4 で反射光を生じるとき, 入射角 θ_1 と屈折角 θ_3 の関係, および, 入射角 θ_1 と反射角 θ_4 の関係を示せ.

(3) 面Aで反射光が生じなくなる入射角をなんと呼ぶか答えよ. また, その条件について説明せよ.

ただし, 振幅反射率 r は,

$$r = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}$$

と与えられる.

(4) 面Aに入射した光が面Bにおいて全反射を生じるとき, 入射角 θ_1 が満たすべき条件を求めよ.

2. 次の事項について, それぞれ100~200字で説明せよ. 適宜, 図を用いてもよい.

(1) フェルマーの原理

(2) エバネッセント場

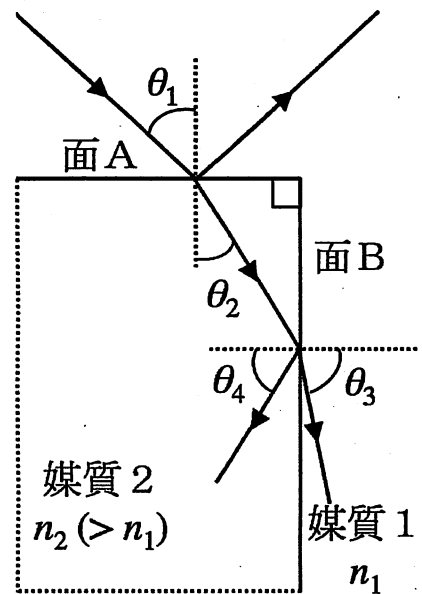


図 1