

固体電子工学

平成19年前期 期末試験問題

平成19年7月30日

注意

1. 本・ノートを参照しても良い。
2. 電卓を使用しても良い。
3. 試験問題を解くにあたって必要であれば次を用いよ。

電子の質量	m	9.11×10^{-31}	kg
プランク定数	\hbar	1.05×10^{-34}	Js
ボルツマン定数	k_B	1.38×10^{-23}	JK ⁻¹
素電荷	q	1.60×10^{-19}	C
真空の誘電率	ϵ_0	8.85×10^{-12}	C/Vm
アボガドロ数	N_A	6.022×10^{23}	mol ⁻¹

また、シリコンに対して

バンドギャップ・エネルギー	E_g	1.12 eV
300K での真性キャリア密度	$n_{ie}(300K)$	1.45×10^{10} cm ⁻³
比誘電率	ϵ_{Si}	11.9
電子移動度	μ_n	1500 cm ² /Vs
ホール移動度	μ_p	450 cm ² /Vs

1

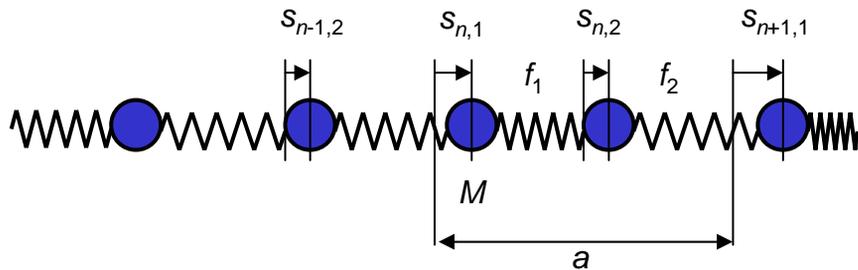
金属の体積弾性率を自由電子モデルで考える。

- (1) 絶対零度の自由電子気体の内部エネルギー U およびフェルミ準位 E_F を体積 V および電子数 N で表せ。
- (2) 電子数 N が一定のまま、 V を変化させたときの圧力 p と体積弾性率 B を求めよ。
ただし、

$$p = -\frac{\partial U}{\partial V} \quad B = -V \frac{\partial p}{\partial V}$$
- (3) 体積弾性率 B への電子の寄与をカリウム (K) に対して計算し、実験的に測定された体積弾性率 $3.7 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}$ と比較せよ。なお、カリウムは格子定数 0.502 nm の体心立方格子 (bcc) をとる。

2

ポリエチレン鎖 $\dots\text{-CH=CH-CH=CH-}\dots$ の伸縮振動のモデルを考える。単一質量 M が交互に f_1 と f_2 の力係数をもつばねにより結合され、1次元鎖を作っている。
 -CH=CH- を1つの単位胞にとり、格子定数を a とする。



- (1) 原子の平衡位置からの変位 $s_{n,1}$, $s_{n,2}$ の運動方程式を示せ。
- (2) 次の平面波の解が存在するための、角振動数 ω と波数 q との関係 (分散関係) を求めよ。

$$s_{n,1} = \frac{1}{\sqrt{M}} u_1(q) e^{i(qan - \omega t)} \quad s_{n,2} = \frac{1}{\sqrt{M}} u_2(q) e^{i(qan - \omega t)}$$

- (3) $q = 0$ および $q = \pi/a$ での ω を求めよ。
- (4) $q = 0$ および $q = \pi/a$ での変位 $s_{n,1}$, $s_{n,2}$ を下図のような形で図示せよ。



- (5) 角振動数 ω と波数 q との関係 (分散関係) を q が $-\pi/a \sim \pi/a$ の範囲で図示せよ。

3

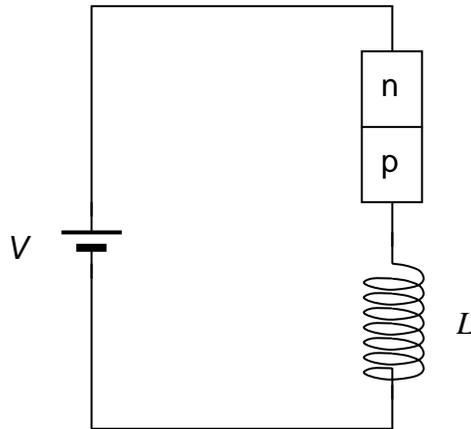
ドナー濃度 N_D のシリコンのサンプルを考える。

- (1) 電子濃度をドナー濃度 N_D と真性キャリア密度 n_{ie} で表せ。
- (2) 温度を横軸、電子濃度を縦軸にプロットせよ。特徴的な値を図中に記入せよ。
- (3) シリコンのサンプルをドナー濃度が 10^{12} cm^{-3} になるまで純度を上げる。電子濃度が温度にあまり依存しなくなるのは何°C以下か。
- (4) 上記サンプルの抵抗率は何 $\Omega\text{-cm}$ となるか。なお、抵抗率 ρ は電場 E 、電流密度 J に対し、 $\rho = E/J$ で与えられる。
- (5) 純度を表すのにスリー・ナインと言った言葉が使われることがある。これは不純物の個数が母体の結晶原子の個数に対し0.1%であるとき、結晶の純度99.9%において9が3個並ぶことを表したものである。ドナー濃度が 10^{12} cm^{-3} のサンプルの純度はこの言い方ではどのようになるか。なお、シリコンは格子定数 0.357 nm のダイヤモンド構造をとる。

4

図のように pn 接合に逆バイアスをかけてコンデンサとして用い、共振回路を作る。コイルのインダクタンス L は $100\mu\text{H}$ である。また、pn 接合において、 $N_A = N_D = 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ 、pn 接合の面積は 1 mm^2 とする。

なお共振周波数は次で与えられる。 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$



- (1) pn接合のキャパシタンスを一般的な式で表せ。
- (2) 27°C において、pn 接合の逆バイアス電圧 V が 1 V から 10 V に変化したとき、共振周波数の変化を求めよ。
- (3) pn 接合の逆バイアス電圧 V を 1 V に固定した状態で、温度が 27°C から 100°C に変化した。共振周波数はどの程度変化するか。