固体電子工学　平成 19 年前期　期末試験解答

１．[30 点]

(1)[10 点]　$U = \frac{3}{5} N E_F = \frac{3\hbar^2 N}{10m}\left(3\pi^2 \frac{N}{V}\right)^{\frac{2}{3}}, \ E_F = \frac{\hbar^2}{2m}\left(3\pi^2 \frac{N}{V}\right)^{\frac{2}{3}}$

(2) [10 点]　$p = -\frac{\partial U}{\partial V} = \frac{2}{3}\frac{U}{V} = \frac{\hbar^2\left(3\pi^2\right)^{\frac{2}{3}}}{5m}\left(\frac{N}{V}\right)^{\frac{5}{3}}, \ B = -V\frac{\partial p}{\partial V} = \frac{5}{3}p = \frac{\hbar^2\left(3\pi^2\right)^{\frac{2}{3}}}{3m}\left(\frac{N}{V}\right)^{\frac{5}{3}}$

(3) [10 点] 体心立方格子の単位胞には 2 個の原子が存在し、カリウムの最外殻電子数（価電子数）は 1 であることから、金属内を自由に動き回れる電子の密度は次で与えられる。

$$n = \frac{N}{V} = \frac{2}{\left(5.02\times10^{-10}\right)} = 1.58\times10^{28} \quad [\mathrm{m}^{-3}]$$

体積弾性率 B の式に代入して、B = 3.88 x 10^9 Nm^{-2} を得る。この値は実験値 3.7 x 10^9 Nm^{-2} と良く一致し、カリウムの体積弾性率が電子により決められていることがわかる。

２．[25 点]

(1)[5 点]　$M\frac{d^2}{dt^2}s_{n,1} = f_2 s_{n-1,2} - \left(f_1 + f_2\right)s_{n,1} + f_1 s_{n,2}$,

$$M\frac{d^2}{dt^2}s_{n,2} = f_1 s_{n,1} - \left(f_1 + f_2\right)s_{n,2} + f_2 s_{n+1,2}$$

(2) [5 点] 平面波の表式を代入して

$$\begin{bmatrix} M\omega^2 - f_1 - f_2 & f_1 + e^{-iqa} f_2 \\ f_1 + e^{iqa} f_2 & M\omega^2 - f_1 - f_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = 0$$

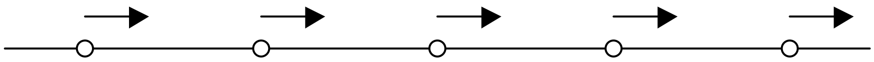
これが $u_1 = u_2 = 0$ 以外の解をもつためには行列式=0 でなければならない。これから

$$\omega = \sqrt{\frac{f_1 + f_2}{M}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 f_1 f_2}{\left(f_1 + f_2\right)^2}\sin^2\left(\frac{qa}{2}\right)}\right)}$$ を得る。

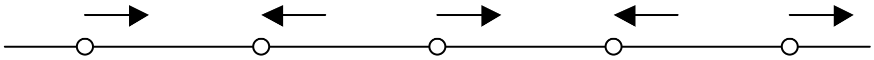
(3) [5 点] q =0 のとき、ω = 0, $\omega = \sqrt{\frac{2\left(f_1 + f_2\right)}{M}}$

q = π/a のとき、$\omega = \sqrt{\frac{2 f_1}{M}}$, $\omega = \sqrt{\frac{2 f_2}{M}}$

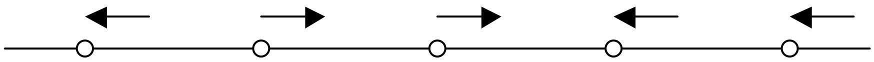
(4) [5 点] q =0、ω = 0 のとき $u_1 = u_2$, $s_{n,1} \propto u_1$, $s_{n,2} \propto u_2$



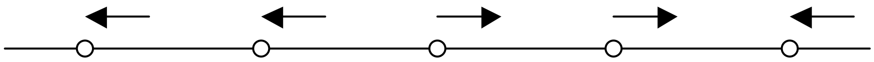
q =0、$\omega = \sqrt{\dfrac{2\left(f_1 + f_2\right)}{M}}$ のとき $u_1 = -u_2$, $s_{n,1} \propto u_1$, $s_{n,2} \propto u_2$



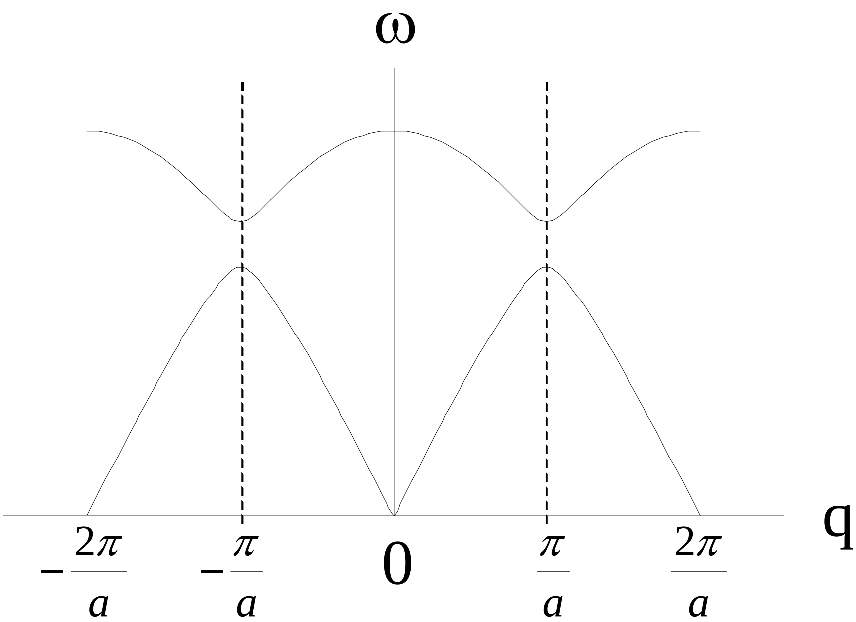
q = π/a、$\omega = \sqrt{\dfrac{2 f_1}{M}}$ のとき $u_1 = -u_2$, , $s_{n,1} \propto \left(-1\right)^n u_1$, $s_{n,2} \propto \left(-1\right)^n u_2$



q = π/a、$\omega = \sqrt{\dfrac{2 f_2}{M}}$ のとき $u_1 = u_2$, $s_{n,1} \propto \left(-1\right)^n u_1$, $s_{n,2} \propto \left(-1\right)^n u_2$



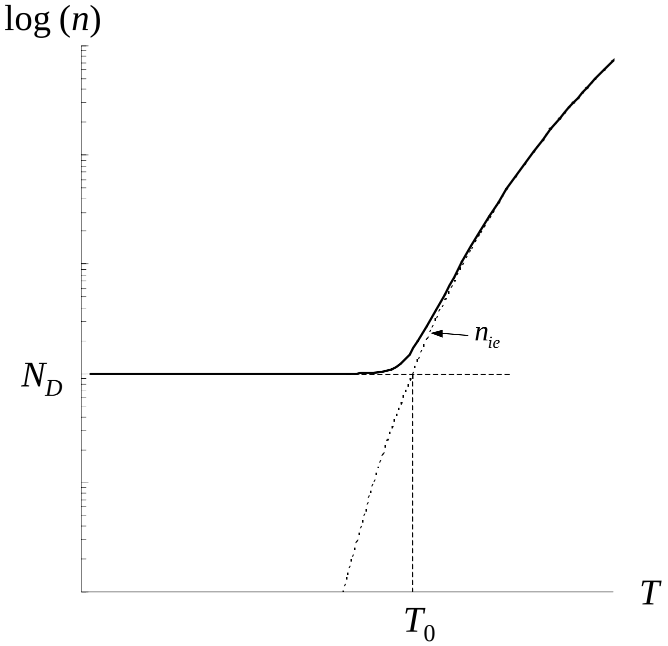
(5) [5 点]



3. [25 点]

(1) [5 点] $np = n_{ie}^2$, $n = p + N_D$ より、$n = \dfrac{N_D + \sqrt{N_D^2 + 4n_{ie}^2}}{2}$

(2) [5 点] $n_{ie} = n_{ie}(300K)\left(\dfrac{T}{300}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{2k_B}\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{300}\right)}$ を用いて



T_0 は $N_D = n_{ie}$ となる温度で、$T_0 \approx \dfrac{1}{\dfrac{1}{300} + \dfrac{2k_B}{E_g}\ln\left(\dfrac{n_{ie}(300K)}{N_D}\right)}$

(3) [5 点]値を入れて、T_0 = 373 K 従って、100℃以下。

(4) [5 点] $\rho = \dfrac{1}{q\mu_n n}$ に値を入れて、4.16x10^3 Ωcm

(5) [5 点] シリコンの単位体積あたりの原子数は単位胞に 8 個の原子があることから 8/(0.543x10^{-7}cm)^3 = 4.9 x 10^{22} cm^{-3} 従って、ドナー原子とシリコン原子の個数の比は 10^{12}/(4.9 x 10^{22}) = 2 x 10^{-11} 従って、テン・ナインの純度と言える。

４．[30 点]

(1) [10 点] pn 接合の空乏層の厚さは　$d=\sqrt{\dfrac{2\varepsilon_{Si}\varepsilon_0\left(N_D+N_A\right)}{qN_AN_D}\left(V_{bi}+V\right)}$

pn 接合の面積を A とすると、キャパシタンスは　$C=A\sqrt{\dfrac{q\varepsilon_{Si}\varepsilon_0N_AN_D}{2\left(N_D+N_A\right)\left(V_{bi}+V\right)}}$

また、ビルトイン電圧は　$V_{bi}=\dfrac{k_BT}{q}\ln\left(\dfrac{N_DN_A}{n_{ie}^2}\right)$

(2) [10 点]　値を入れると Vbi = 0.695V
V = 1V のとき C = 1.58 x10^{-10} F で共振周波数は 1.27MHz
V = 10V のとき C = 6.28 x10^{-11} F で共振周波数は 2.01MHz

(3) [10 点]　T = 373K で nie = 1.39x10^{12} cm^{-3}, Vbi = 0.567 V となる。
V = 1V のとき、373K で共振周波数は 1.24MHz となる。
すなわち 27℃から 100℃で共振周波数は 1.27MHz から 1.24MHz に変化する。