

『

工科系学生のための
光・レーザ工学入門

』

演習問題解答

2018年1月22日現在

第 1 章

1. 式 (1-1) の $c = v\lambda$ の関係から

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 [\text{m/s}]}{0.5 \times 10^{-6} [\text{m}]} = 6 \times 10^{14} [\text{Hz}]$$

2. 石英ガラスの可視光に対する絶対屈折率は 1.45 であり、式 (1-6) で示した $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ の関係から $n_1 = 1.0$, $n_2 = 1.45$, $\theta_1 = 30^\circ$ を代入すると

$$1.0 \times \sin 30^\circ = 1.45 \times \sin \theta_2$$
$$\theta_2 \approx 20 [\text{度}]$$

3. 光子 1 個のエネルギーは式(1-29)より

$$E = h \frac{c}{\lambda} = 6.626 \times 10^{-34} [\text{J}\cdot\text{s}] \times \frac{3.0 \times 10^8 [\text{m/s}]}{0.6 \times 10^{-6} [\text{m}]} \approx 3.3 \times 10^{-19} [\text{J}] = 3.3 \times 10^{-16} [\text{m}]$$

であるから、1mJ の光に含まれる光子数は

$$\frac{1}{3.3 \times 10^{-16}} \approx 3.0 \times 10^{15} [\text{個}]$$

4. 省略

5. 式(1-31)より

$$\lambda_c = \frac{ch}{q\phi} = \frac{3.0 \times 10^8 [\text{m/s}] \times 6.626 \times 10^{-34} [\text{J}\cdot\text{s}]}{1.6 \times 10^{-19} \times 4.52 [\text{J}]} \approx 0.274 [\mu\text{m}]$$

第 2 章

1. ウィーンの変位則により

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (b = 2.8978 \times 10^{-3} [\text{m}\cdot\text{K}])$$

$$T = \frac{b}{\lambda_{max}} = \frac{2.8978 \times 10^{-3} [\text{m}\cdot\text{K}]}{0.5 \times 10^{-6} [\text{m}]} \approx 5796 [\text{K}]$$

と推定される。

2. 波長 $0.45\mu\text{m}$ で発光する青色 LED の光子エネルギーは

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6.626 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}] \times \frac{3.0 \times 10^8 [\text{m/s}]}{0.45 \times 10^{-6} [\text{m}]} \approx 4.4 \times 10^{-19} [\text{J}]$$

したがって、禁制帯幅は $2.75[\text{eV}]$

3. 省略

第 3 章

1. 省略

- 2.

$$E_2 - E_1 = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6.626 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}] \times \frac{3.0 \times 10^8 [\text{m/s}]}{1.0 \times 10^{-6} [\text{m}]} \approx 2.0 \times 10^{-19} [\text{J}]$$

eV の単位で表せば、 $1[\text{eV}] = 1.6 \times 10^{-19} [\text{J}]$ であるから、上記より、 $1.3[\text{eV}]$

3. 式(3-8)より

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{kT}\right) = \exp\left(-\frac{6.626 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}] \times \frac{3.0 \times 10^8 [\text{m/s}]}{0.5 \times 10^{-6} [\text{m}]}}{1.38 \times 10^{-23} [\text{J/K}] \times 300 [\text{K}]}\right) \approx 2.0 \times 10^{-42}$$

4. 式(3-19)より

$$\begin{aligned} \exp[\alpha \cdot L [\text{cm}]] &= G \\ \exp[\alpha \cdot 10 [\text{cm}]] &= 15 \\ \alpha &= \frac{1}{10} \ln 15 \approx 0.27 [\text{cm}^{-1}] \end{aligned}$$

5. 式(3-19)より

$$\begin{aligned} \exp[5 [\text{cm}^{-1}] \cdot L] &= 2 \\ L &= \frac{1}{5} \ln 2 \approx 0.14 [\text{cm}] \end{aligned}$$

6.

$$\begin{aligned}e^{\alpha L} R_1 R_2 e^{\alpha d} &> 1 \\e^{150\alpha} \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot e^{0.02} &> 1 \\ \alpha &> 0.074[\text{cm}^{-1}]\end{aligned}$$

よって必要な利得は $0.074[\text{cm}^{-1}]$ 以上

7. 共振器長を L とすると

$$\begin{aligned}\frac{L}{2} &= 2 \\ L &= 4 [\text{m}]\end{aligned}$$

第 4 章

1. 式(4-8)より

$$d = f \cdot \beta \frac{\lambda}{D} = 38 \times 10^3 [\text{万 km}] \times 1.27 \times \frac{0.6 \times 10^{-6} [\text{m}]}{1 \times 10^{-3} [\text{m}]} \approx 290 [\text{km}]$$

2. 式(4-10)より

$$f = d \times \frac{D}{\alpha \lambda} = 20 \times 10^{-6} [\text{m}] \times \frac{5 \times 10^{-3} [\text{m}]}{1.27 \times 1.0 \times 10^{-6} [\text{m}]} \approx 79 [\text{mm}]$$

3. 式(4-1)より, パルスエネルギーは

$$E = \frac{P_{av}}{f} = \frac{2 [\text{W}]}{10 \times 10^6 [\text{Hz}]} = 2 \times 10^{-7} [\text{J}]$$

式(4-2)より, ピークパワーは

$$P_P = \frac{E}{\tau} = \frac{2 \times 10^{-7} [\text{W} \cdot \text{s}]}{2 \times 10^{-9} [\text{s}]} = 100 [\text{W}]$$

4. 式(4-2)より, レーザーフルエンスの大きさは

$$\begin{aligned}2 [\text{GW}/\text{cm}^2] &= \frac{E}{10 \times 10^{-9} [\text{s}]} \\ E &= 2 \times 10 \times 10^{-9} [\text{GJ}/\text{cm}^2] = 20 [\text{J}/\text{cm}^2]\end{aligned}$$

また, $500 \mu\text{m}$ の大きさに集光したときの単位面積当たりのピークパワーは

$$\frac{2 \text{ [GW/cm}^2\text{]}}{25} = 0.08 \text{ [GW/cm}^2\text{]}$$

第 5 章

1. 省略
2. 省略
3. 省略
4. 省略

第 6 章

1. 式(6-9)より

$$v_F = \frac{c}{2L} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ [m/s]}}{2 \times 1.0 \text{ [m]}} = 150 \times 10^6 \text{ [Hz]}$$

2. 反射率 R とすると

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} = \frac{(0.45)^2}{(2.45)^2} \approx 0.0337$$

3. 式(6-14)より, $-ma - \frac{b}{m} + f_1 + f_2 = 0$, $m = \frac{f_2}{f_1}$ より

$$-1.5 \times 0.5 - \frac{b}{1.5} + 1 + 1.5 = 0$$

$$b \approx 2.6 \text{ [m]}$$

4. 式 (6-6) より

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{1 + \frac{I}{I_s}}$$

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{1}{1 + \frac{12}{3}} = 0.2 \text{ [倍]}$$

第7章

1. 式(7-1)より，光ファイバー長を L とすると

$$-0.2 = \frac{10 \log 0.8}{L}$$

$$L \approx 4.8 \text{ [km]}$$

また，光ファイバー長が 100 km であったときの P_o/P_i の大きさは

$$-0.2 = \frac{10 \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right)}{100}$$

$$\frac{P_o}{P_i} = 0.01$$

2. 省略

3. 式(7-2)より，物質の吸収係数の大きさを α とすると

$$\frac{1}{\alpha} \times \ln \frac{5}{0.1} = 0.0015$$

$$\alpha \approx 2608 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$$

4. 式(7-4)より，熱拡散距離 L_{TD} は

$$L_{TD} \approx \sqrt{K_{TD} \cdot \tau_P} = \sqrt{1.0 \times 100 \times 10^{-12}} = 10 \times 10^{-6} \text{ [cm]}$$

この熱拡散距離が侵入長と同程度になればよいので

$$\frac{1}{\alpha} = 10 \times 10^{-6}$$

$$\alpha = 100000 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$$

5. 省略

以上