提出期限：2025 年 11 月 27 日 (木) 12:30

# 電子工学 課題 1 レポート

学籍番号：　　　　　　　　氏名：

## 使用定数

$$
\begin{aligned}
k &= 1.38 \times 10^{-23}\,[\mathrm{J \cdot K^{-1}}] & e &= 1.60 \times 10^{-19}\,[\mathrm{C}] \\
m &= 9.11 \times 10^{-31}\,[\mathrm{kg}] & h &= 6.63 \times 10^{-34}\,[\mathrm{J \cdot s}] \\
c &= 3.00 \times 10^{8}\,[\mathrm{m/s}] & &
\end{aligned}
$$

---

## 課題 1

**条件:**

- 温度 $T = 2500\,[\mathrm{K}]$
- 半径 $r = 1.50 \times 10^{-4}\,[\mathrm{m}]$
- 全電流 $I = 2.00 \times 10^{-3}\,[\mathrm{A}]$
- 仕事関数 $\phi = 4.52\,[\mathrm{eV}]$

**解答:**

リチャードソン定数 $A$（理論値）

$$
\begin{aligned}
A &= \frac{4\pi mek^2}{h^3} \\
&= \frac{4\pi(9.11 \times 10^{-31})(1.60 \times 10^{-19})(1.38 \times 10^{-23})^2}{(6.63 \times 10^{-34})^3} \\
&\approx 1.201 \times 10^{6}\,[\mathrm{A \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}}]
\end{aligned}
$$

リチャードソン・ダッシュマンの式より、電流密度 $J$

$$
\begin{aligned}
J &= AT^2 \exp\left(-\frac{e\phi}{kT}\right) \\
&= (1.201 \times 10^{6}) \times (2500)^2 \times \exp\left(-\frac{(1.60 \times 10^{-19}) \times 4.52}{(1.38 \times 10^{-23}) \times 2500}\right) \\
&= (7.506 \times 10^{12}) \times \exp(-20.9623\ldots) \\
&\approx 5.912 \times 10^{3}\,[\mathrm{A/m^2}]
\end{aligned}
$$

全電流の式 $I = J \cdot S = J \cdot (2\pi r L)$ より、フィラメント長 $L$

$$
\begin{aligned}
L &= \frac{I}{2\pi r J} \\
&= \frac{2.00 \times 10^{-3}}{2\pi \times (1.50 \times 10^{-4}) \times (5.912 \times 10^{3})} \\
&\approx 3.589 \times 10^{-4}
\end{aligned}
$$

$$\therefore L = 3.59 \times 10^{-4}\,[\mathrm{m}]$$

## 課題 2

**条件:**

- 仕事関数 $\phi = 4.27\,[\mathrm{eV}]$
- 波長 $\lambda = 45.5\,[\mathrm{nm}] = 4.55 \times 10^{-8}\,[\mathrm{m}]$

**解答:**

光電効果の式より最大速度 $v_m$

$$\frac{hc}{\lambda} = e\phi + \frac{1}{2} m v_m^2 \quad \Longleftrightarrow \quad v_m = \sqrt{\frac{2}{m}\left(\frac{hc}{\lambda} - e\phi\right)} \tag{1}$$

数値を代入

$$
\begin{aligned}
v_m &= \sqrt{\frac{2}{9.11 \times 10^{-31}}\left(\frac{(6.63 \times 10^{-34})(3.00 \times 10^{8})}{4.55 \times 10^{-8}} - (1.60 \times 10^{-19})(4.27)\right)} \\
&= \sqrt{\frac{2}{9.11 \times 10^{-31}}(4.3714\cdots \times 10^{-18} - 6.832 \times 10^{-19})} \\
&= \sqrt{\frac{7.376\cdots \times 10^{-18}}{9.11 \times 10^{-31}}} \\
&\approx 2.845 \times 10^{6}
\end{aligned}
$$

$$\therefore v_m = 2.85 \times 10^{6}\,[\mathrm{m/s}]$$

## 課題 3

**条件:**

- 二次電子放出比 $\delta = 4.0$
- 段数 $n = 10$
- コレクタ電流 $I_o = 0.125 \times 10^{-3}\,[\mathrm{A}]$

**解答:**

総合利得 $G = \delta^n$ より、一次光電流 $I_p$

$$
\begin{aligned}
I_p &= \frac{I_o}{\delta^n} \\
&= \frac{0.125 \times 10^{-3}}{4.0^{10}} \\
&= \frac{1.25 \times 10^{-4}}{1.048576 \times 10^{6}} \\
&\approx 1.192 \times 10^{-10}
\end{aligned}
$$

$$
\therefore I_p = 1.19 \times 10^{-10}\,[\mathrm{A}]
$$

## 課題 4

**条件:**

$$
V = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\,[\mathrm{V}]
$$

**解答:**

電界 $\boldsymbol{E} = -\nabla V$

$$
\boldsymbol{E} = -\left( \frac{\partial V}{\partial x}\boldsymbol{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\boldsymbol{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\boldsymbol{k} \right)
$$

$x$ 成分の計算

$$
\begin{aligned}
E_x &= -\frac{\partial}{\partial x}(x^2 + y^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} \\
&= -\left(-\frac{1}{2}\right)(x^2 + y^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} \cdot \frac{\partial}{\partial x}(x^2 + y^2 + z^2) \\
&= \frac{1}{2}(x^2 + y^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} \cdot (2x) \\
&= \frac{x}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}
\end{aligned}
$$

対称性より

$$
\begin{aligned}
E_y &= \frac{y}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \\
E_z &= \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}
\end{aligned}
$$

$$
\therefore \boldsymbol{E} = \frac{1}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}(x, y, z)\,[\mathrm{V/m}]
$$