

# 電子工学 (5E) 試験範囲ポイント完全解説

## 重要ポイント①～⑯網羅版

### 学習の指針

配布された「試験範囲ポイント (①～⑯)」の全てに対し、過去問とノートに基づく解答を作成しました。

- **計算:** 熱電子 (リチャードソン)、光電子 (AINSHUTAIN)、PMT 増倍率、電界計算。
- **理論:** バンド図の名称、フェルミ準位の定義、各種放出の原理。

特に赤字の部分は、記述問題や穴埋め問題で狙われるキーワードです。

## 1 エネルギーバンドと電子放出の基礎 (ポイント①～⑦)

### 1.1 バンド構造の定義 (①)

充满帯 (Filled Band) 電子が隙間なく詰まっている帯。通常、電流に寄与しない。

禁制帯 (Forbidden Band) 電子が存在できないエネルギー領域 (バンドギャップ)。

伝導帯 (Conduction Band) 電子が自由に動ける帯。金属では充满帯と重なっている。

### 1.2 電子放出のメカニズム (②, ③, ④, ⑤)

- **放出の条件:** 外部エネルギー (熱・光・電界) を受け取り、電子のエネルギーが真空準位 (ボテンシャルの壁の高さ  $W$ ) を超えること。
- **飛び出さない理由 (③):** 表面の原子核 (正電荷) による引力 (クーロン力・鏡像力) が働き、電位障壁が形成されているため。
- **仕事関数  $\phi$ :**

$$\phi = W - E_F \quad [\text{eV}] \quad (1)$$

「フェルミ準位  $E_F$  にある電子を、外 (真空) に取り出すのに必要な最小エネルギー」。

- **0K でのエネルギー (⑤):** 絶対零度において、金属内電子は最高でフェルミ準位  $E_F$  までのエネルギーを持つ。

### 1.3 フェルミ準位と分布関数 (⑥, ⑦)

- **フェルミ分布関数  $f(E)$ :** あるエネルギー  $E$  に電子が存在する確率。

- フェルミ準位  $E_F$  の定義:
  - $T = 0\text{ K}$ : 電子が存在する上限のエネルギー。
  - $T > 0\text{ K}$ : 電子の存在確率  $f(E)$  が **1/2 (50%)** になるエネルギー準位。
- 状態密度  $n(E)$ : エネルギー準位の「座席数」。エネルギーが高くなると増える（放物線状）。

## 2 热電子放出 (ポイント⑧～⑩)

### 2.1 リチャードソン・ダッシュマンの式 (⑧)

热電子の饱和電流密度  $J[\text{A}/\text{m}^2]$  を表す最重要公式。

$$J = AT^2 \exp\left(-\frac{e\phi}{kT}\right) \quad (2)$$

計算の注意: 指数部分  $\frac{e\phi}{kT}$  を計算する際、 $\phi[\text{eV}]$  は必ず  $\times 1.6 \times 10^{-19}$  して ジュール [J] に直すこと。

### 2.2 リチャードソン線 (⑨)

式を変形し、対数をとる：

$$\ln\left(\frac{J}{T^2}\right) = \ln A - \frac{e\phi}{k} \cdot \frac{1}{T}$$

- 縦軸:  $\ln(J/T^2)$ , 横軸:  $1/T$
- グラフは直線になる。
- 直線の傾きから「仕事関数  $\phi$ 」を、切片から「定数  $A$ 」を求めることができる。

### 2.3 热陰極の具備条件 (⑩)

良い陰極材料の条件：

1. 仕事関数  $\phi$  が小さいこと（低温で電子が出やすい）。
2. 融点が高いこと（高温に耐える）。
3. 寿命が長いこと（蒸発しにくい）。

※ 例：タンゲステン (W)、酸化物陰極 (BaO など)。

## 3 光電子放出 (ポイント⑪～⑬)

### 3.1 アインシュタインの式と放出条件 (⑪, ⑫)

$$h\nu = e\phi + \frac{1}{2}mv_m^2 \quad (3)$$

- \*\*放出条件\*\*: 光子エネルギー  $h\nu$  が仕事関数  $e\phi$  以上であること。 $(h\nu \geq e\phi)$

- \*\*限界周波数  $\nu_0$ \*\*:  $h\nu_0 = e\phi$
- \*\*限界波長  $\lambda_0$ \*\*:  $\lambda_0 = \frac{hc}{e\phi}$
- 波長が  $\lambda_0$  より短い光でないと放出されない（短波長=高エネルギー）。

### 3.2 量子効率と光電感度 (13)

量子効率  $\eta_q$  入射した光子数に対し、放出された電子数の割合。

光電感度  $S$  入射した光パワー [W] に対する電流 [A] の比 ( $S = I/P$ )。

## 4 二次電子放出（ポイント⑯～⑰）

### 4.1 原理と放出比 (14, 15, 16)

- \*\*原理\*\*: 一次電子が固体に衝突し、そのエネルギーで固体内の電子が弾き飛ばされる現象。
- \*\*二次電子放出比  $\delta$ \*\*:  $\delta = I_s/I_p$  (二次電流 / 一次電流)。
- \*\*放出特性曲線 (16)\*\*: 一次電子の加速電圧を上げると  $\delta$  は増加するが、ある電圧 ( $V_{pmax}$ ) で最大値 ( $\delta_{max}$ ) をとり、それ以降は減少する。（電子が深くまで入りすぎて脱出できなくなるため）。

### 4.2 光電子増倍管 (PMT) (17)

- \*\*構造\*\*: 光電面 → ダイノード群 → アノード。
- \*\*原理\*\*: 二次電子放出を繰り返して電子を増倍する（雪崩増幅）。
- \*\*計算式\*\*: 出力電流  $I = I_{photo} \times \delta^n$  ( $n$ : ダイノード段数)。

## 5 電界放出と電子の運動（ポイント⑯, ⑰）

### 5.1 ショットキー効果 (18)

強い電界  $E$  をかけることによる効果。

- 鏡像力によるポテンシャルと外部電界が合成される。
- 結果として、電位障壁の頂点が低下し、かつ金属側に移動する。
- 仕事関数が見かけ上減少し、熱電子放出が増加する。

### 5.2 電界計算の手順 (19)

空間電荷密度  $\rho$  がある場合の計算フロー（記述問題対策）。

1. ポアソンの方程式を立てる:  $\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$
2. 1回目の積分:  $\frac{dV}{dx} = -E_x$  を求める（積分定数  $C_1$  出現）。

3. **2回目の積分:** 電位  $V(x)$  を求める (積分定数  $C_2$  出現)。
4. **境界条件の適用:**  $V(0) = 0$ 、 $V(d) = V_a$  などを代入し、定数を決定する。