

電子工学 (5E) 試験範囲ポイント完全解説

重要ポイント①～⑱網羅版

学習の指針

配布された「試験範囲ポイント (①～⑱)」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 (アインシュタイン)、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** (ポ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 ϕ :**

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

「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 熱電子放出 (ポイント⑧～⑩)

2.1 リチャードソン・ダッシュマンの式 (⑧)

熱電子の飽和電流密度 $J[\text{A}/\text{m}^2]$ 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 ϕ 」を、切片から「定数 A 」を求めることができる。

2.3 熱陰極の具備条件 (⑩)

良い陰極材料の条件:

1. 仕事関数 ϕ 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: タングステン (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 ν_0 ****: $h\nu_0 = e\phi$
- ****限界波長 λ_0 ****: $\lambda_0 = \frac{hc}{e\phi}$
- 波長が λ_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 η_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⑭～⑰)

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 δ ****: $\delta = I_s/I_p$ (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 δ は増加するが、ある電圧 (V_{pmax}) で最大値 (δ_{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⑱, ⑲)

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 ρ 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。