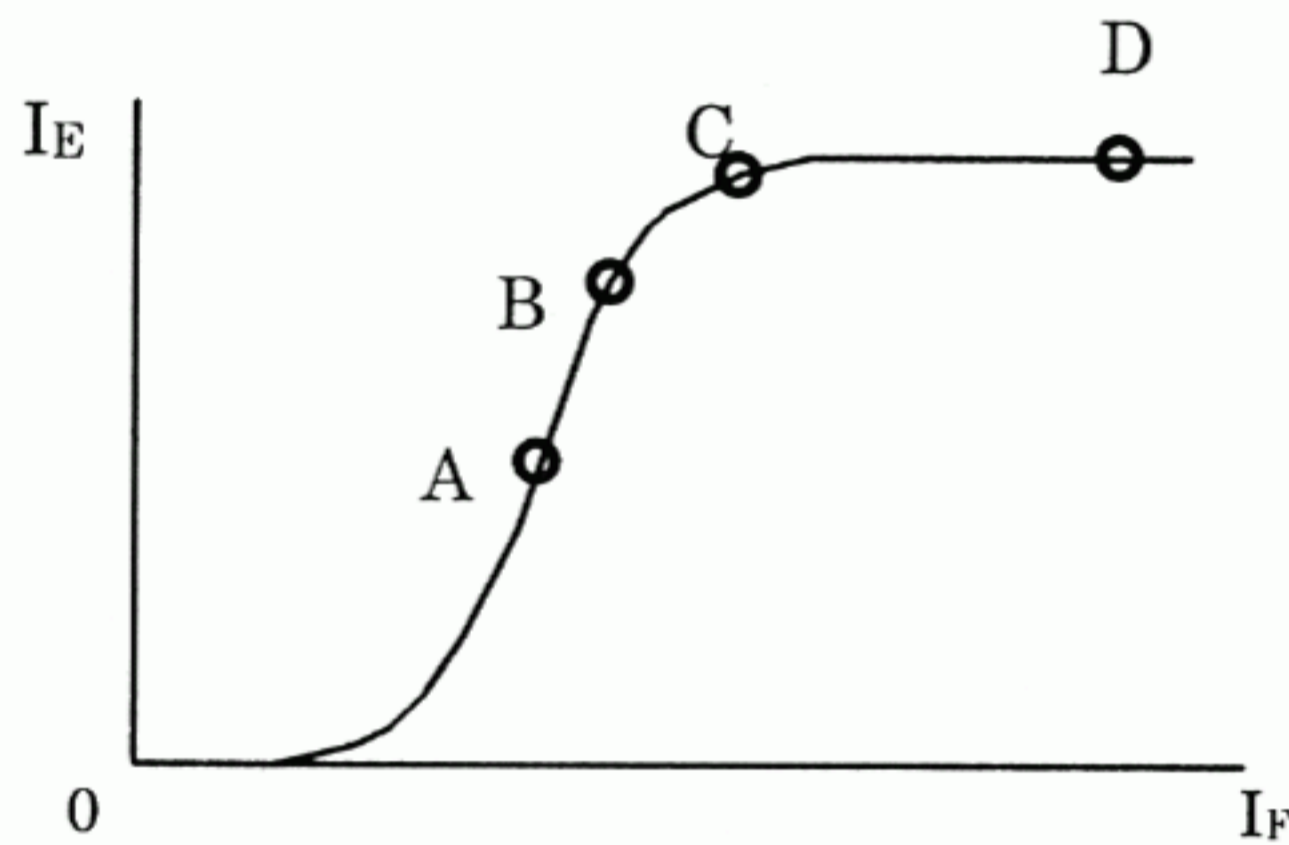


1996年度日本電子顕微鏡学会技術認定試験問題

特殊技術 II 筆記 (鏡体・共通技術)

問 1. セルフバイアス方式のタングステンヘアピン電子銃における、フィラメント電流 I_F と電子放出電流 I_E の関係は、図のようになる。次の問に答えよ。

- (1) A, B, C, D の動作点において観察される電子源の像 (クロスオーバー) の概略を図示せよ。
- (2) A, B, C, D のうち、どの点が最適動作点か。また、その理由を説明せよ。
- (3) セルフバイアス方式のバイアス抵抗は電子放出電流の安定に役立つ。その理由を説明せよ。



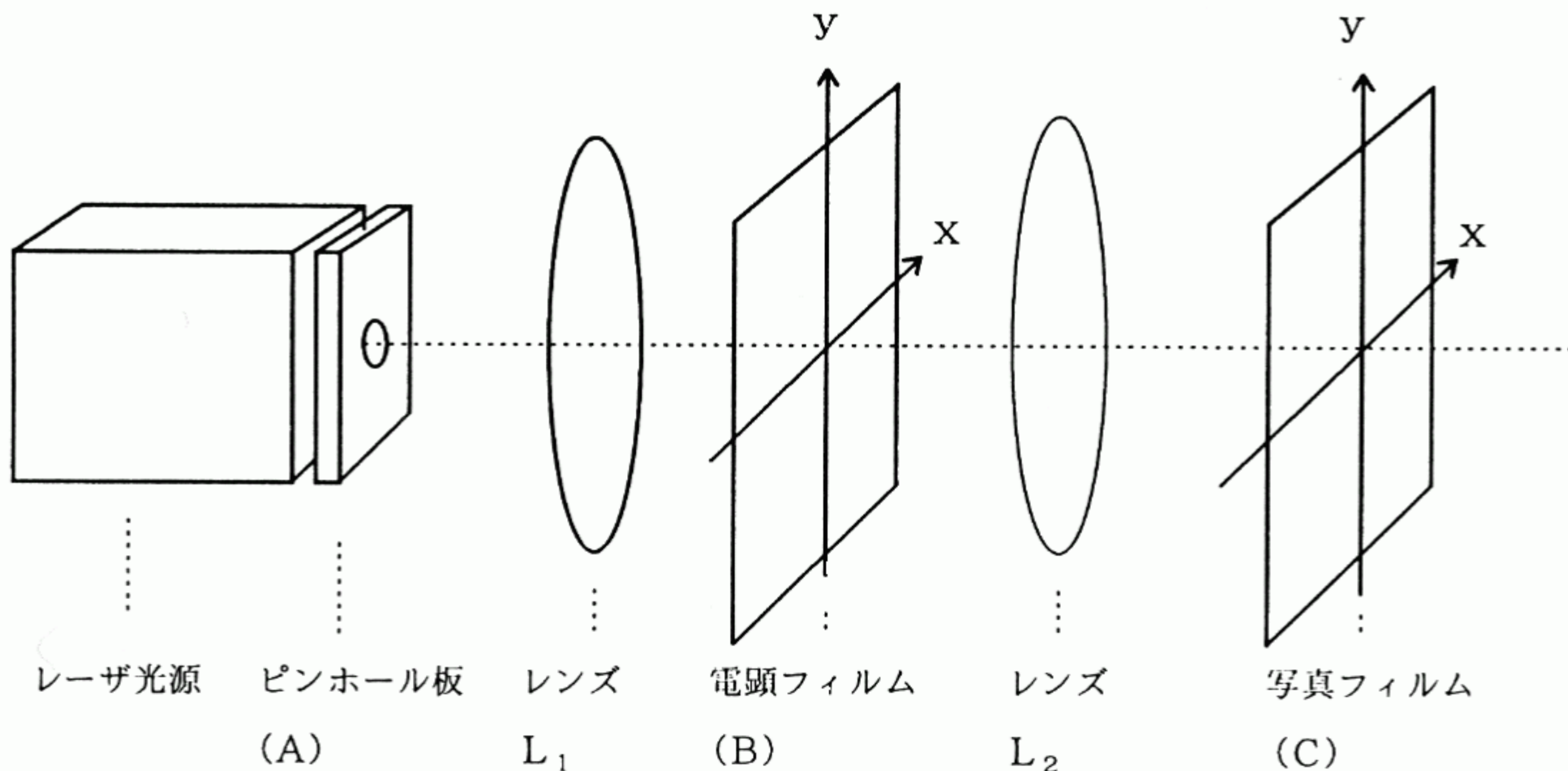
- 問 2. 透過電子顕微鏡で1段集束レンズ系が用いられず、2段集束レンズ系が用いられる理由を、それぞれの系での集束レンズの機能(働き)を含めて説明せよ。
- 問 3. 試料と入射電子の相互作用を利用した元素分析法として、エネルギー分散X線分光法 (EDS) と、電子

エネルギー損失分光法 (EELS) がある。それぞれの原理と特徴を述べよ。

- 問 4. 生物の超薄切片試料の透過電顕観察で、コントラストを上げるための切片作製法や、観察・記録方法を5つあげ、その理由を述べよ。
- 問 5. 透過電子顕微鏡が正常に作動しているか否かのチェックをする場合の点検項目を5つあげてそれぞれ説明せよ。

問 6. 下図は光回折装置の基本構成を示す。レンズ L_1 , L_2 の焦点距離はそれぞれ f_1 および f_2 である。レンズ L_1 は、ピンホール板 (A) から f_1 の位置に、写真フィルム (C) はレンズ L_2 から f_2 の位置におかれている。次の問に答えよ。ただし、レーザー光の波長を λ とする。

- (1) レンズ L_1 , L_2 はどのようなはたらきをするかを説明せよ。
- (2) B 面の電子顕微鏡フィルムに、x 方向に平行な線状構造が記録されている場合に、C 面上の写真フィルムに撮影されるパターンはどのようなになるか、概略図も併せて示せ。
- (3) (2) の線状構造の間隔が a のとき、C 面上のパターンはどのようなになるか数式で示せ。



問 7. 透過電子顕微鏡の対物レンズの非点収差の原因とその対策を述べよ.

問 8. 走査電子顕微鏡で高い解像度を得るために高輝度の電子源が必要となる理由について, 次の記述の(①)~(④)には数式を記入し, (⑤)~(⑩)には適切な語句を下記の選択肢の中から選び, その番号を記入せよ.

高解像度を得るための最大の要件は, 試料上の電子ビームスポット径 d をできるだけ小さくすることである. 一般に電子線の輝度は, 単位立体角当たりの電流密度として定義される. したがって, 電子源のクロスオーバーの直径を d_0 , そこでの収束開き角を α_0 , その中に含まれる電子線の電流値を I とすると, クロスオーバーにおける輝度 β_0 は

$$\beta_0 = \frac{4I}{\pi d_0^2 \cdot \pi \alpha_0^2}$$

である. このクロスオーバーをコンデンサレンズで M 倍に縮小 ($M < 1$) して試料上に結像すると, その直径 d と収束角 α は

$$d = \text{(①)} d_0$$

$$\alpha = \text{(②)} \alpha_0$$

であるから, 試料上の電子線スポットにおける輝度 β は

$$\beta = \frac{4I}{\pi d^2 \cdot \text{(③)}} = \beta_0$$

となり, 電子源の輝度と同じであることがわかる.

したがって, d を電子源の輝度 β_0 と I を用いて表せば次式となる.

$$d = \frac{2}{\pi \alpha} \cdot \text{(④)}$$

この式から, d を小さくするには, α を大きくするか, I を (⑤) すればよいことが分かる.

一方, 画像においてあるコントラストの構造を検出・認識するためには, 画像信号の信号対雑音比 (S/N) が, そのコントラストで決まる必要最小限の値以上でなければならない. このためには I をある値より (⑥) しなければならない. また, レンズの収差による d の広がりを小さくすることが必要であるが, (⑦) 収差は α の 3 乗に比例し, (⑧) 収差は α に比例し, (⑨) 収差は α に逆比例するので, 総合的に収差による広がりが最小となるような α の (⑩) 値が存在する.

したがって, I と α を決めたらえで d を小さくするには, β_0 を大きくすることが必要となるわけである.

1. 球面 2. 色 3. 非点 4. 歪み 5. 回折
6. 最大 7. 最小 8. 最適 9. 大きく 10. 小さく

問 9. 解像度 r が $20 \mu\text{m}$ の電子顕微鏡フィルムを用いて, 透過電子顕微鏡像を撮影する場合を考え, 以下の設問に答えよ. ただし, 円周率 $\pi = 3.14$, $3.2 \times \pi = 10$ として計算せよ.

- (1) 解像したい試料構造のサイズ d が 10 nm としたとき, 最低限必要な撮影倍率 M を求めよ.
- (2) 輝度 β が $3.2 \times 10^5 \text{ (A/cm}^2 \cdot \text{str)}$ の電子銃を用いて, 試料を $3.2 \mu\text{m}$ のスポット径の電子ビームで, 照射角 $\alpha = 1.0 \times 10^{-4} \text{ rad}$ で照射した. このときのビーム電流 $I \text{ (A)}$ を求めよ.
- (3) このときの試料照射電流密度 $J_s \text{ (A/cm}^2)$ を求めよ.
- (4) フィルム上で必要な電子線照射量 E が $1.0 \times 10^{-10} \text{ C/cm}^2$ とするとき, 上記の倍率 M で撮影するのに必要な露出時間 $t \text{ (sec)}$ を求めよ.

問 10. 走査電子顕微鏡 (SEM) と原子間力顕微鏡 (AFM) は, どちらも試料表面の構造を観察する装置である. それぞれの原理と特徴について説明せよ.