

対物レンズの種類と性能

対物レンズは、電子プローブを作るための最終段のレンズで、SEMの分解能を決める重要な構成要素です。ここでは、対物レンズの性能と分解能の関係について述べましょう。理想的なレンズでは、1点から放射された電子線はレンズを通った後で1点に集まりますが、実際のレンズではボケた像となってしまいます。このボケを収差と呼びますが、球面収差、色収差、回折収差といった収差が混じったものです。球面収差を小さくするにはレンズの開き角を小さくする（光軸付近のみを使う）必要がありますが、回折収差は大きくなってしまいます。したがって、これらのバランスから最適な使用条件（開き角）が決まり、最小プローブ径が決まります。図33にその様子を示します。一方、加速電圧が低い場合は色収差の影響が大きくなるので、これを考慮に入れる必要が出てきます。

対物レンズには汎用形対物レンズと高分解能を目的とした強励磁対物レンズがあり、メーカーではそのSEMの使用目的に合わせて、最適な性能が得られるようなレンズを作っています。

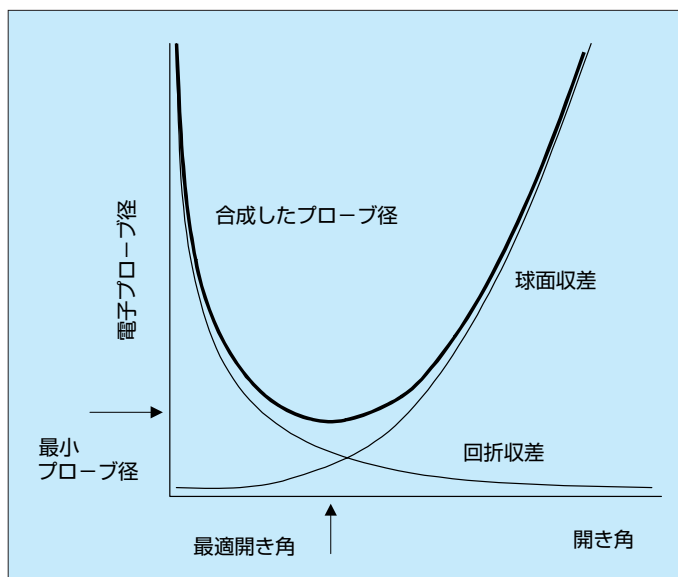


図33 対物レンズの収差と電子プローブ径

汎用形対物レンズ

汎用形対物レンズは、アウトレンズとも呼ばれますが、EPMA (p28) 等の分析装置を含めて最も多く使われているものです。図34に示すように、大きな試料を傾斜してもレンズにぶつからないように、試料は対物レンズの下方に置かれています。自由度が高い代わりに、試料とレンズの距離が長くなり（焦点距離を長くする必要があります）、収差が大きくなります。この結果、高い分解能を得ることができません。

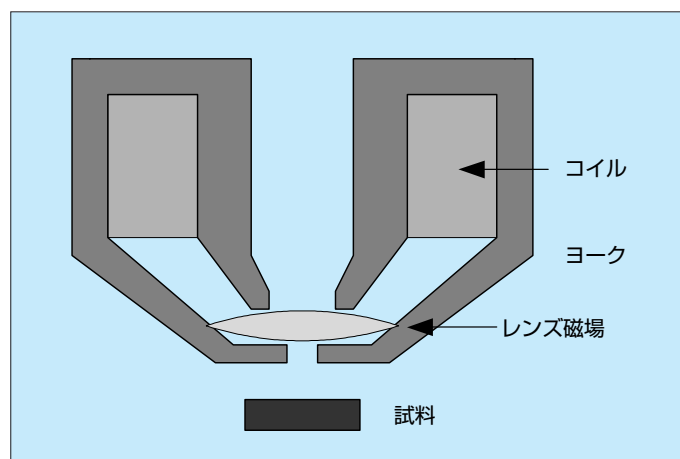


図34 汎用形対物レンズの構造

高分解能用強励磁対物レンズ

試料をレンズ磁場の中に置くことで試料とレンズの距離を短くして、レンズの性能を上げ、高い分解能を得ようとするものです。このようなレンズとしては、インレンズ形対物レンズ、シュノーケル形対物レンズ（セミインレンズ形対物レンズとも呼ばれます）の2種類の対物レンズがあります。図35に示すインレンズ形対物レンズは、透過電子顕微鏡の対物レンズのようにポールピースの磁場空間に試料を入れるもので、試料の大きさは数mmに制限されます。一方、シュノーケル形対物レンズは、図36に示すように、ポールピースの形状を工夫することで対物レンズ下部の空間に強磁場を漏洩させてレンズを形成するもので、大きな試料が扱えます。いずれのレンズでも、二次電子検出器はレンズの上方の空間に置かれるので、像のコントラストが汎用形対物レンズとは若干異なります（p14参照）。

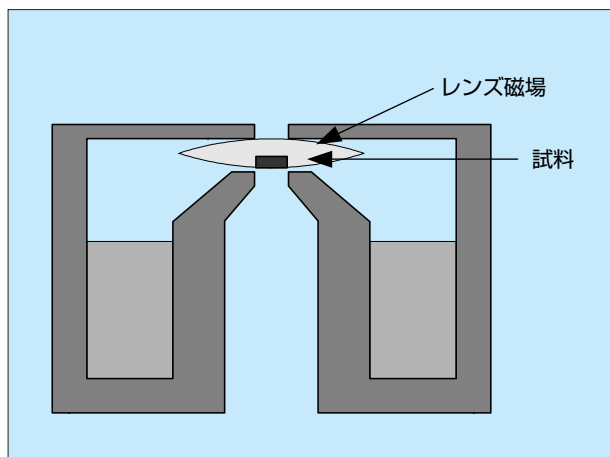


図35 インレンズ形対物レンズの構造

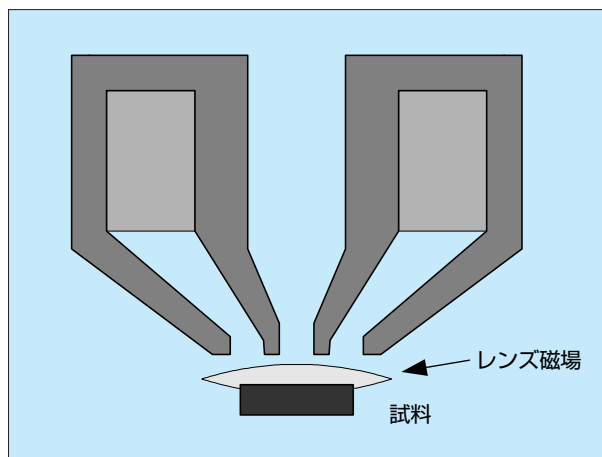


図36 シュノーケル形対物レンズの構造

対物レンズ絞りの役割

対物レンズの開口部全体を使うと、レンズの収差のために細い電子プローブを作ることができません。このため、薄い金属板に小さい孔があいた“絞り”でレンズの中心部だけを電子線が通るようにします。この絞りを対物レンズ絞りと呼んでいますが、この絞りが対物レンズの中心からずれると対物レンズの収差が大きくなり細い電子プローブを得ることができません。したがって、対物レンズ絞りはレンズの光軸上にきちんと置かれていなければなりません。