



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

透射电镜分析技术

电磁透镜

主讲：杨治刚

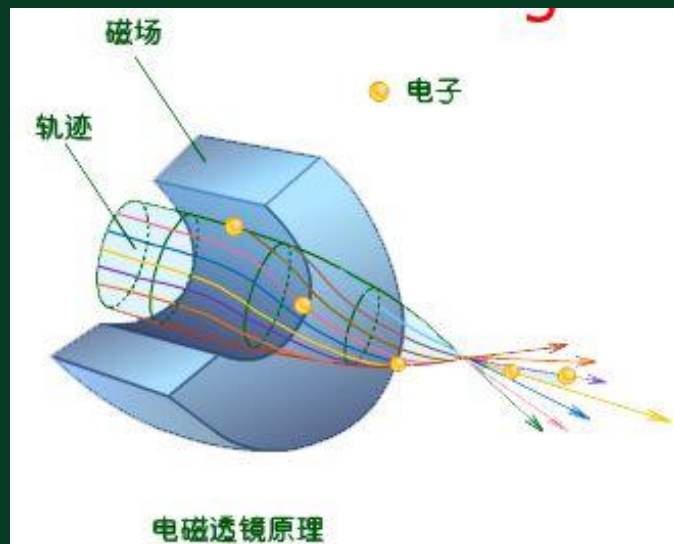
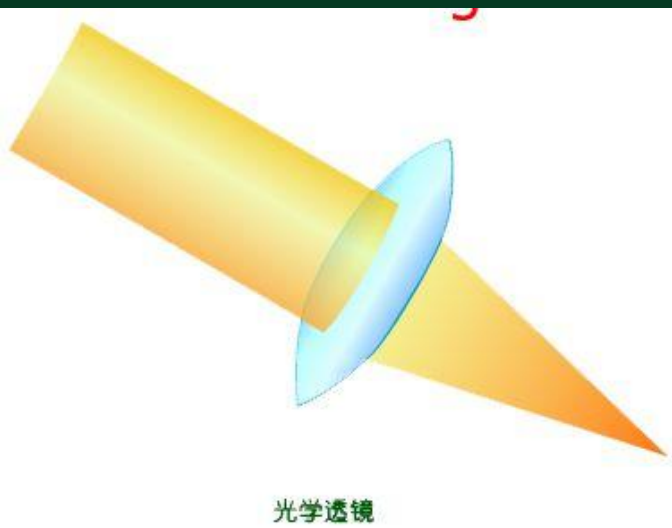
目录



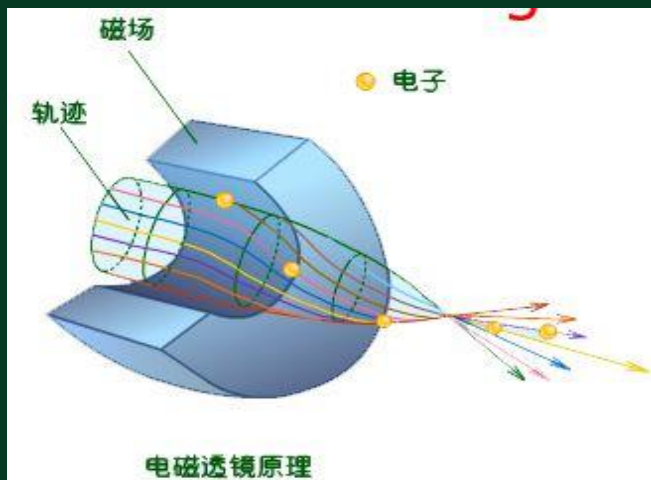
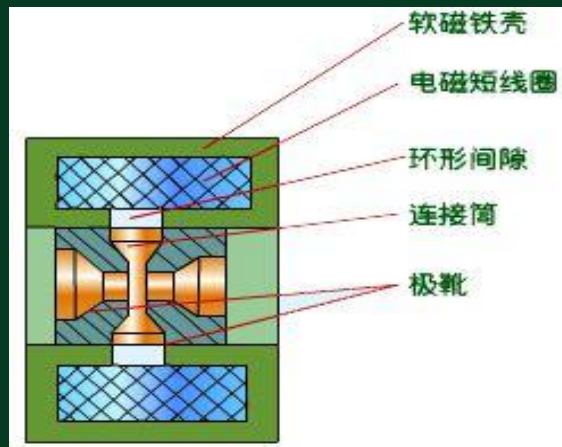
在线开放课程

- 电磁透镜介绍
- 球差
- 像散
- 色差

电磁透镜: 电镜区别于光镜的显著标志



- 静电透镜
- 电磁透镜



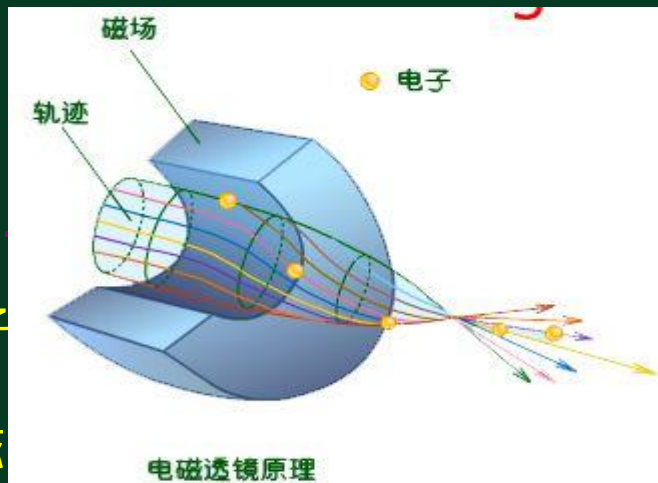
电磁透镜的焦距

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

式中：u、v与f——物距、像距与焦距。

$$f = K \frac{U_r}{(NI)^2}$$

K——与透镜结构有关的比例常数；
 U_r ——经相对论修正后的电子加速电压；
I——励磁电流；
N——线圈的匝数；
 NI ——励磁线圈安匝数。



电磁透镜的像差

➤ 电磁透镜存在缺陷，使得实际分辨率远小于理论分辨率，产生像差。



球差

像散

色差

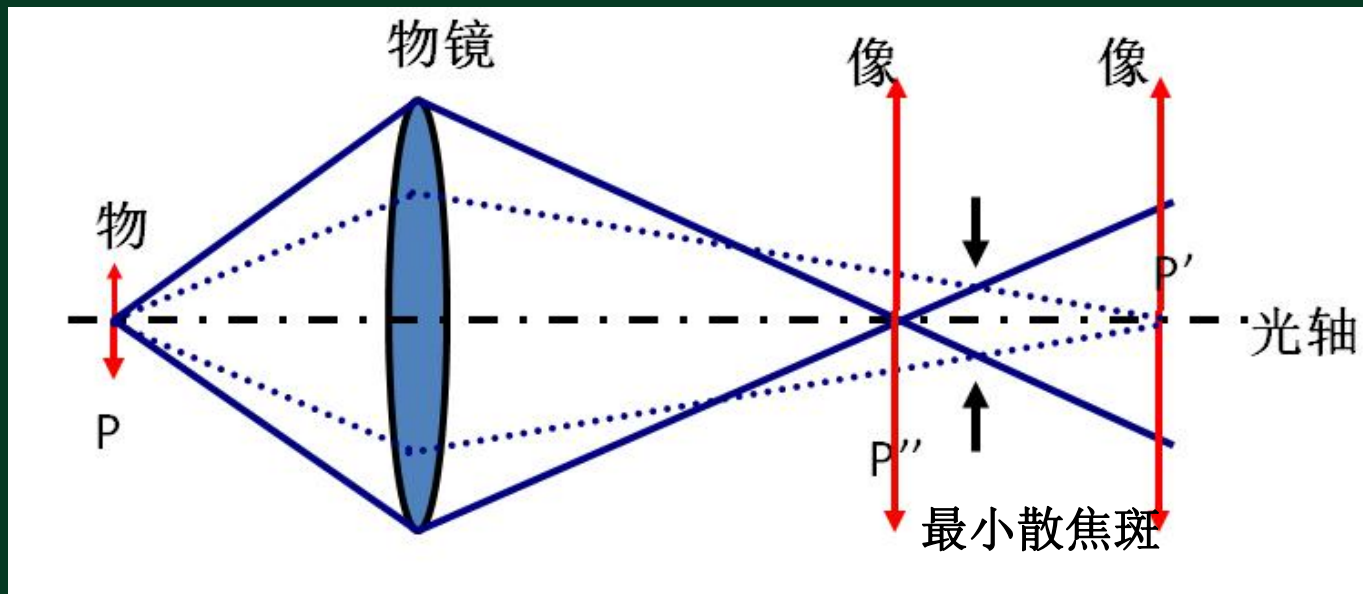


几何原因



波长稳定性

球差（远近磁场折射不同）



球差

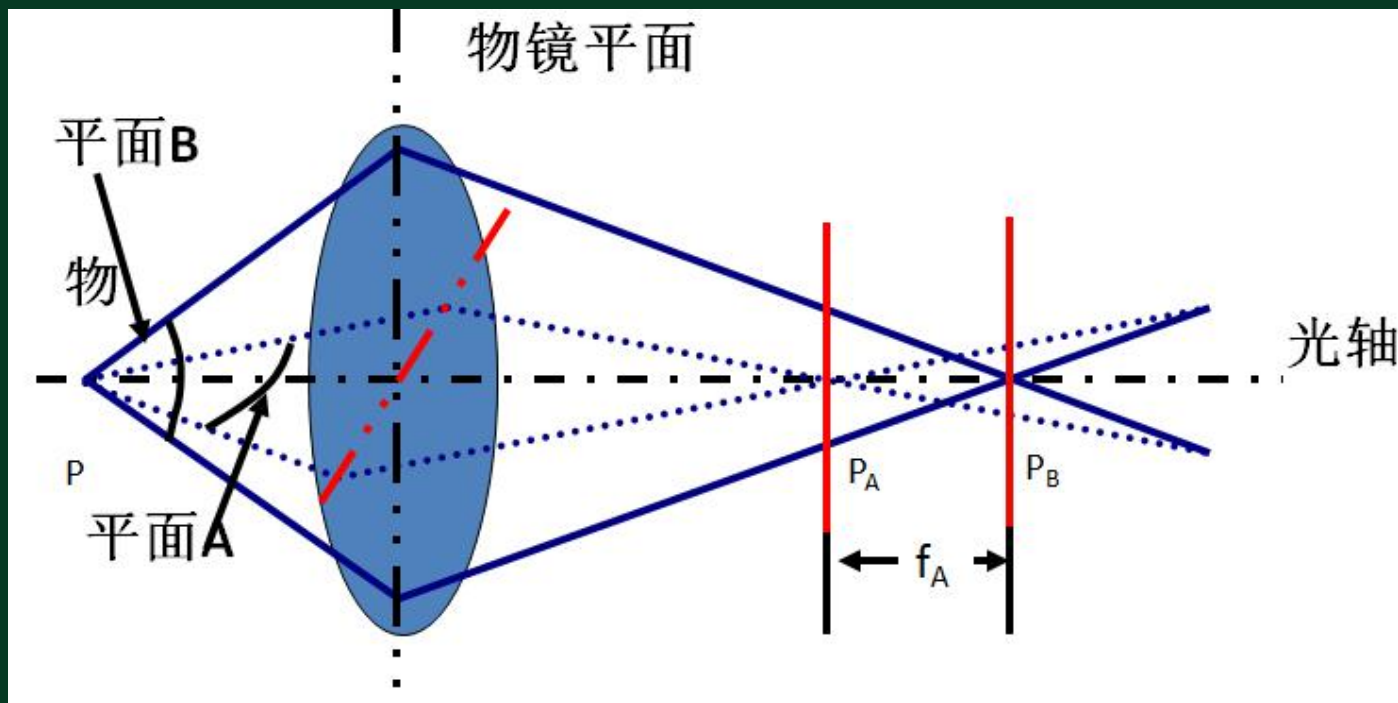
- 球差：中心区域和边沿区域对电子的折射能力不同
- 折射能力不同——漫散圆斑。

$$\text{球差系数: } r_s = \frac{1}{4} C_s \alpha^3$$

C_s 为球差系数，一般为透镜焦距，约1~3mm，最佳值是0.3 mm。

α 为孔径半角，透镜分辨本领随其增大而迅速变坏。

像散 (非旋转对称)



像散

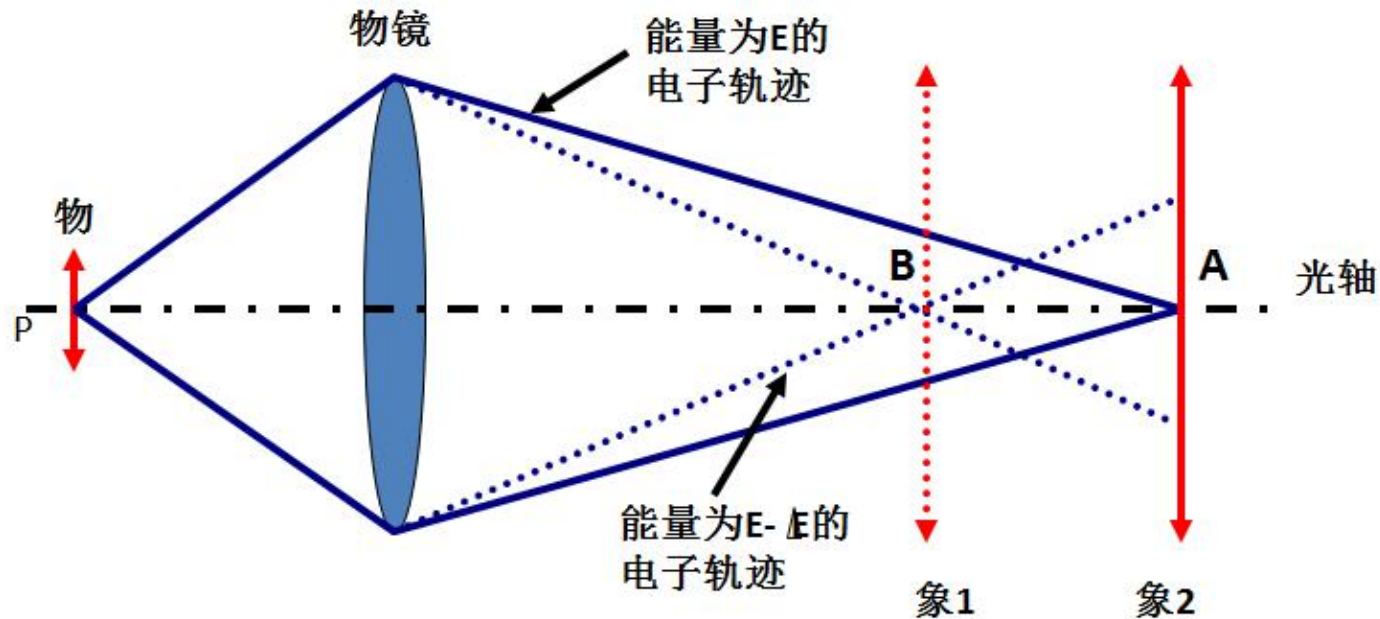
- 磁场不对称时，就出现像散。
- 圆形物点的象就变成了椭圆形的**漫散圆斑**。

$$r_A = \Delta f_A \alpha$$

Δf_A 为椭圆度引起的最大焦距差； α 为孔径半角。

1. 透镜磁场不对称，可能是由于极靴被污染，或极靴的机械不对称性，或极靴材料各项磁导率差异引起。
2. 像散可由附加磁场的电磁消象散器来校正。

色差（电子波长）



色差

色差：电子波长不稳定---折射程度不同
产生的**漫散圆斑**半径为

$$r_c = C_c \alpha \left| \frac{\Delta E}{E} \right|$$

C_c 是透镜的**色差系数**，大致等于其焦距， α 是**孔径半角**； $\Delta E/E$ 是**电子能量的变化率**。

➤ 电子束能量变化的两个主要原因：

一是加速电压不稳定；

二是非弹性散射，致使电子的能量发生变化。

修正方法：薄试样和小孔径光阑将散射角大的非弹性散射电子挡掉，将有助于减小色差。

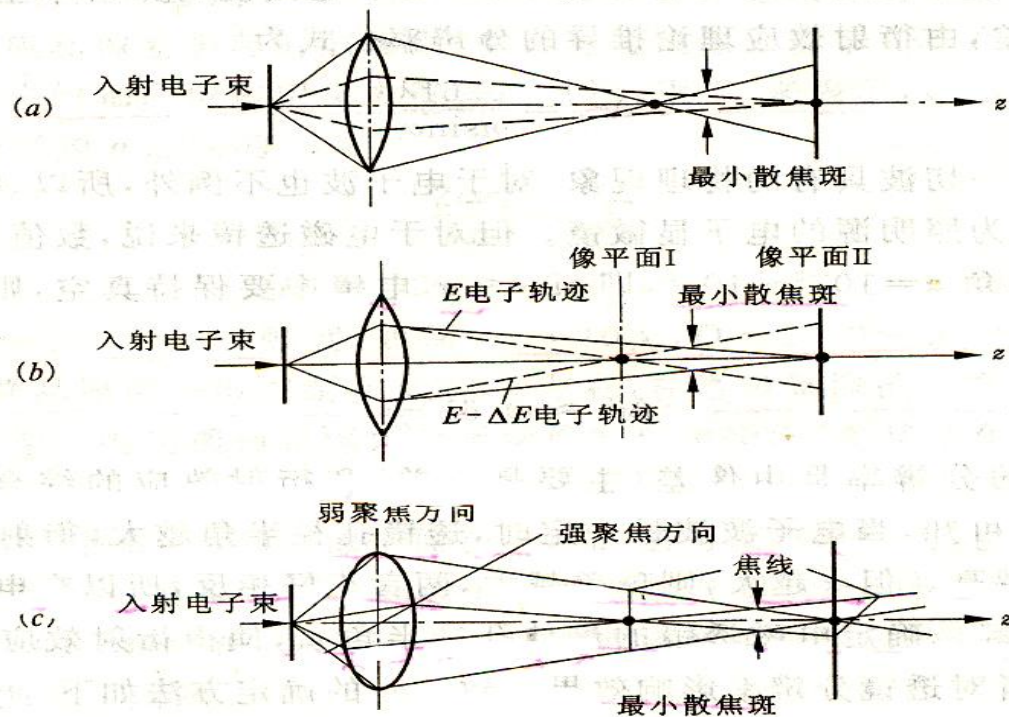


图 8.5 电磁透镜的像差示意

(a)球差;(b)色差;(c)像散

Pay Attention!



在线开放课程

球差： 主要控制因素，无法消除

其它像差： 可采取适当的措施
消除。

电磁透镜的景深和焦长

页大。

沿镜

轴可

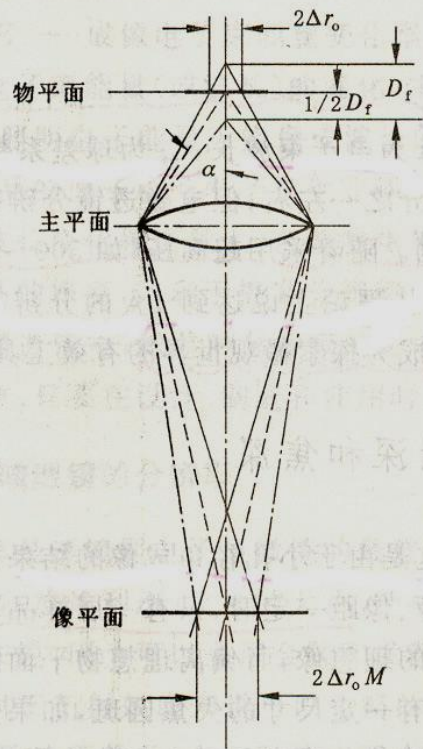


图 8.6 电磁透镜景深

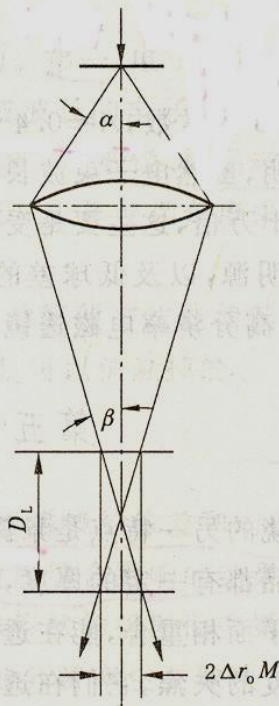


图 8.7 透镜焦深

目
轴
移

小结



在线开放课程

- 球差：主要控制元素，不可消除
- 像散和色差：可采取适当措施消除