

扫描电子显微镜

性能指标与维护常识

“材料人”系列讲座——第四讲
2017年11月12日



扫描电镜广泛用于材料科学（金属材料、非金属材料、纳米材料）、冶金、生物学、医学、半导体材料与器件、地质勘探、病虫害的防治、灾害（火灾、失效分析）鉴定、刑事侦察、宝石鉴定、工业生产中的产品质量鉴定及生产工艺控制等。在材料科学、金属材料、陶瓷材料、半导体材料、化学材料等领域，进行材料的微观形貌、组织、成分分析。各种材料的形貌组织观察，材料断口分析和失效分析，材料实时微区成分分析，元素定量、定性成分分析，快速的多元素面扫描和线扫描分布测量，晶体/晶粒的相鉴定，晶粒尺寸、形状分析，晶体、晶粒取向测量。



目录

- 1.不同型号电镜参数对比
- 2.图像常见的几种像差
- 3.电镜的维护与保养
- 4.电镜的安装环境和要求
- 5.能谱仪的性能指标

1 不同型号电镜参数对比

日立 S-4800 场发射扫描电子显微镜

主要性能:

分辨率:

1.0nm(15kv); 1.4nm(1kv, 减速模式);

2.0nm (1kV) 普通模式

加速电压: 0.5 ~ 30kV

放大倍率: $\times 20 \sim \times 800,000$

束流强度: 1pA~2nA

物镜光栏: 加热自清洁式、四孔、可移动物镜光栏



样品室和样品台: 移动范围: X: 0~50mm; Y: 0~5mm; Z: 1.5~30mm;

T: -5~700 旋转 R: 3600, 最大样品尺寸: 100mm

探测器: 高位探头可选择接受二次电子像或背散射像, 并混合 INCA Energy 350 X 射线能谱仪

技术指标:

X-sight Si(Li) 探测器 (专利), SuperATW 窗口 30mm^2 活区, 分辨率优于 133eV (MnK α 处, 计数率为 4000cps), 分析元素范围: Be₄-U₉₂

蔡司SIGMA 500高分辨率场发射扫描电镜

主要参数:



分辨率: 0.8nm @15 kV 1.6 nm @1kV
放大倍数: 10-1,000,000×
加速电压: 0.02-30 kV (无需**减速模式**实现)
探针电流: 4pA-20nA (40nA&100nA可选)
低真空范围: 2-133Pa (Sigma 500VP可用)
样品室: 358 mm (φ), 270.5 mm (h)
样品台: 5轴优中心全自动 X=125 mm (可选

130mm) Y=125 mm (可选130mm) Z=50 mm T=-10°-90° R=360° 连续

系统控制: 基于Windows 7的SmartSEM操作系统,

可选鼠标、键盘、控制面板控制

更低的加速电压, 如500V、300V来成像。同时SIGMA500特别关注提高了不导电样品在低电压下的分辨率。在标准模式下, 500V的加速电压下, 二次电子图像分辨率就可以达到1.2nm。另外据介绍, 蔡司即将推出样品台**减速技术**, 在1kV加速电压下, 二次电子图像的分辨率可达到0.9nm。

蔡日立高新扫描电子显微镜SU3500

主要参数：



分辨率：3.0nm@30kV，7.0nm@3kV

放大倍数：7 - 800,000×

加速电压：0.3-30 kV（无需**减速模式**实现）

探针电流：4pA-20nA（40nA&100nA可选）

低真空范围：2-133Pa（Sigma 500VP可用）

样品室：358 mm（φ），270.5 mm（h）

样品台：5轴优中心全自动 X=125 mm（可选

130mm）Y=125 mm（可选130mm）Z=50 mm T=-10°-90° R=360° 连续

系统控制：基于Windows 7的SmartSEM操作系统，

可选鼠标、键盘、控制面板控制

更低的加速电压，如500V、300V来成像。同时SIGMA500特别关注提高了不导电样品在低电压下的分辨率。在标准模式下，500V的加速电压下，二次电子图像分辨率就可以达到1.2nm。另外据介绍，蔡司即将推出样品台**减速技术**，在1kV加速电压下，二次电子图像的分辨率可达到0.9nm。

Phenom 飞纳电镜能谱一体机 Phenom ProX



- 电子显微镜：130,000 倍
- 探测器：高灵敏度四分割背散射电子探测器
- 灯丝材料：1,500 小时 CeB_6 灯丝
- 分辨率：优于 14 nm
- 放置环境：采用专业防震设计，可摆放于普通实验室或办公室、厂房
- 加速电压：5kV-15kV 连续可调
- 抽真空时间：小于 15 秒
- 探测元素范围：B (5) -Am (95) 元素
- 能谱探测器：硅漂移探测器 (SDD)
- 冷却方式：无液氮 Peltier 效应电制冷
- 能量分辨率：137eV (Mn $\text{K}\alpha$)
- 探测器晶体活性面积：25mm²

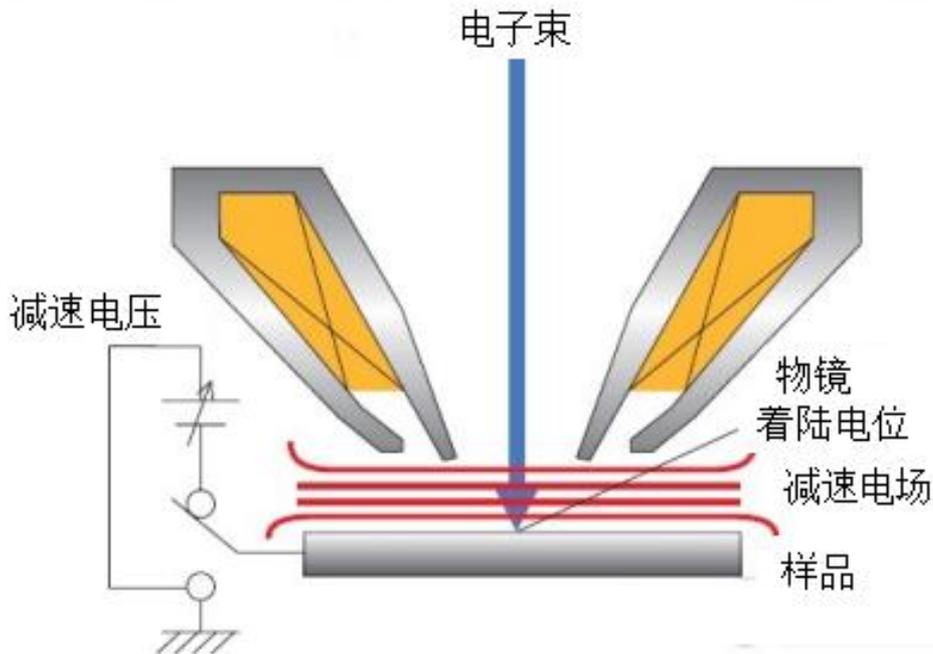
钨灯丝扫描电子显微镜EVO 18



- 分辨率：3.0 nm @ 30 KV 4.0 nm @ 30 KV
- 加速电压：0.2-30KV
- 放大倍数：5-1000000 x
- 探针电流：0.5pA-5 μ A
- X-射线分析工作距离：8.5mm 35° 接收角
- 低真空压力范围：10-400Pa(选配:环扫模式10-3000pa) 用空气或可选的水蒸气
- 工作室：365mm (Φ) x 275 mm (h)
- 5轴优中心自动样品台：
X=125mm Y=125mm Z=50mm T= 0-90°
R=360° (I连续)
- 最大试样高度：145mm 最大试样直径：
250mm 10、系统控制：基于Windows XP 的
SmartSEM 操作系统

电子束减速模式

在试样上加一个负电位，抵消部分入射电子束的加速电位，让登陆到样品表面的入射电子束相对瞬间降低。即继承入射前较高电压时的波长较短、像差较小、分辨率较大的优点，也能应付导电不良或对热损伤要求较高的样品。



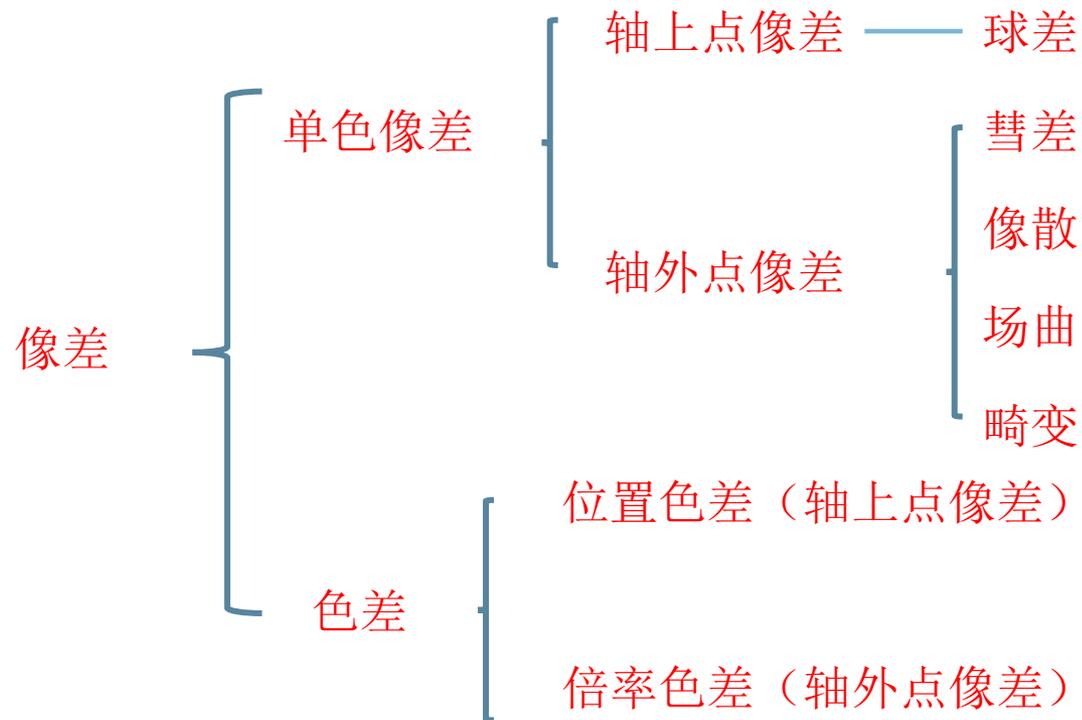
例：用5kV的电压，在开4kV的减速电压，样品上着陆电压只有1kV，1kV的损伤、5kV的分辨率

注：

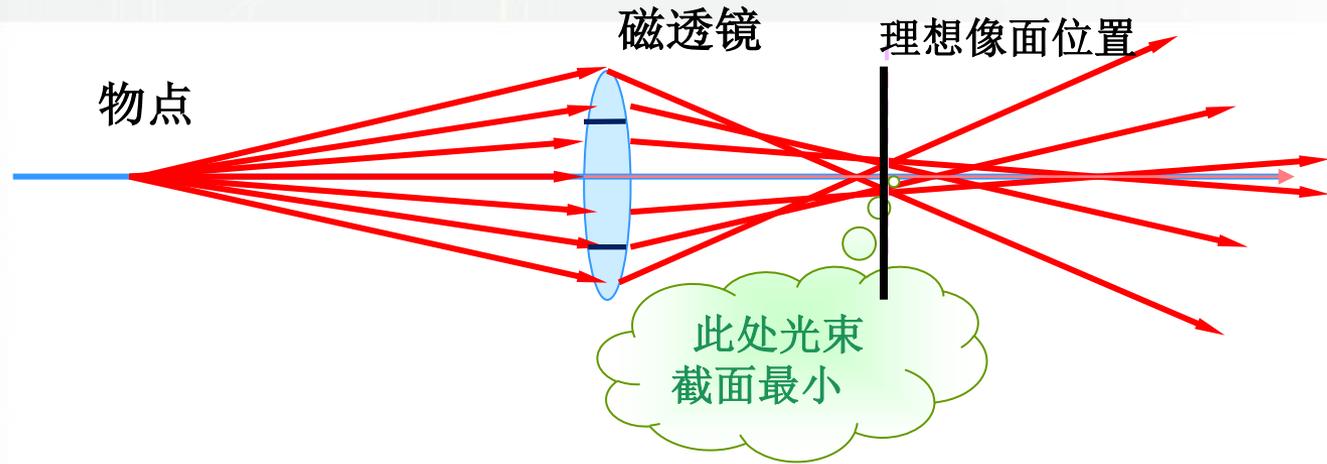
- ✓ 最佳工作距离1.5-3mm，缩短工作距离，减少像差，提高分辨率
- ✓ 试样尽量平整、薄、水平、尽可能处试样座中间，以保持减速空间的电场均匀
- ✓ 厚样品或大块样品尽量导电，以保证减速电位作用明显

2 图像常见的几种像差

电镜中电磁透镜与普通光学中的玻璃透镜一样都存在各种像差问题



2 图像常见的几种像差---球差



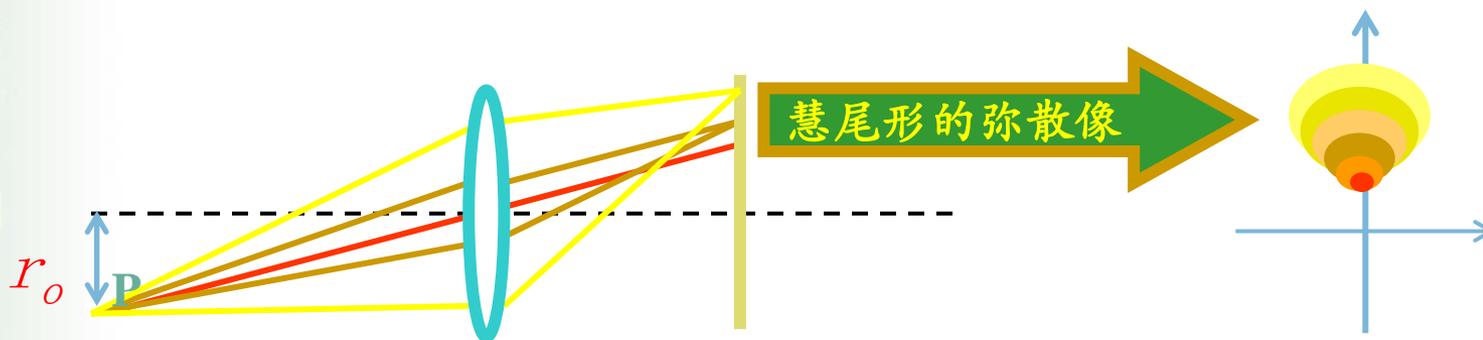
球差弥散圆斑半径： $D_S=C_S D^3$ 式中 C_S -球差系数； D -光阑孔半径

在高档透镜有的加有球差矫正器，用于矫正球差系数，提高分辨率，但是商品电镜目前还没添加矫正器，一般通过下列几种措施减少球差：

- ✓ 适当减少孔径，缩小束流，但不能过度缩小，否则出现亮度弱、衍射等现象
- ✓ 增大电极系统或励磁线圈半径，使旁轴区域相对扩大，使更多射线满足旁轴条件
- ✓ 提高加速电压，球差系数与加速电压平方近似反比，且提高了加速电压，可以考虑缩小光阑孔径
- ✓ 选取弥散圆斑最小的平面作为最终采集的像平面

2 图像常见的几种像差---彗差

轴外点宽光束像差

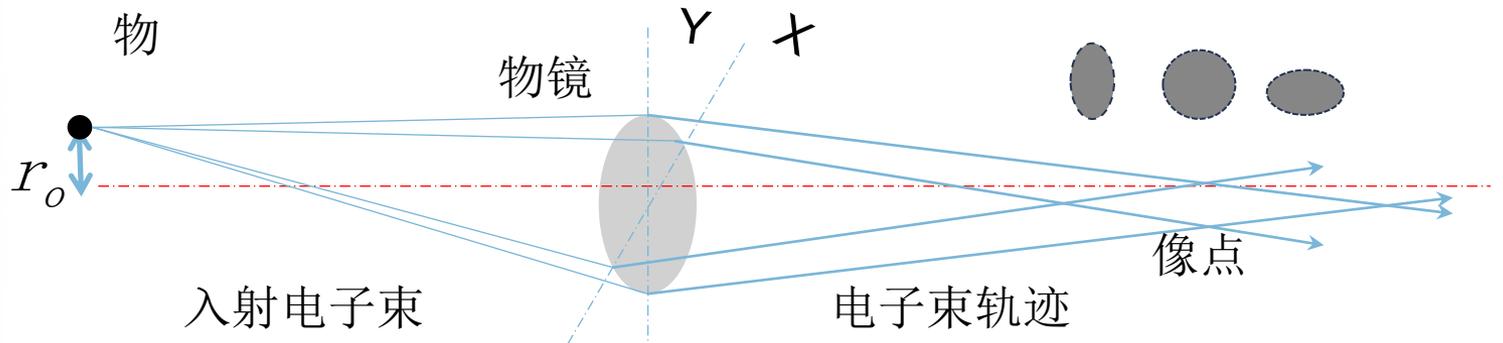


彗差圆斑半径 $D_{co} = C_{co} D^2 r_o$ C_{co} -彗差系数; r_o -物点距离轴距离; D -光阑孔半径



2 图像常见的几种像差---像散

轴外点细光束像散



像椭圆长半径 $a=C_{a1}Dr_o^2$ ，短半径 $b=C_{a2}Dr_o^2$ ，
 C_{a1} C_{a2} -彗差系数； D -光阑孔半径； r_o -物点距离轴距离

- 提高极靴的加工精度：
均匀性好、结构致密、无气孔的软铁或其他铁磁性材料作极靴。
- 提高光阑的加工精度：
良好的旋转对称性和锋利整齐的边缘、保证边缘清洁、及时更换。
- 调整消像散器：
装配精度高、减少及尽量消除像散，一般只能消除低频像散。
- 电子光学通道洁净：
碳氢聚合物沉积形成有机膜层，负电荷难以排出，影响入射电子束的原定路线，电子束斑呈不完全旋转对称。

Po离轴较远时，即使电子束很细，也可能产生另一种像差场曲像散

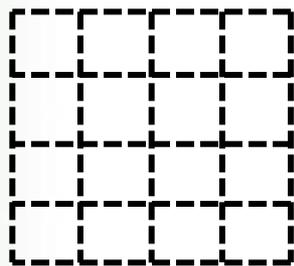
注：
至于高倍率消像散，一般找一块突出颗粒的最好，判断边界圆润清晰

2 图像常见的几种像差---畸变

透镜边缘部分与中心部分的磁力线分布、会聚能力通常会存在差距，因而边缘光线与中心光线的成像平面不同，结果是物平面上的成像点距离光轴的远近变化能导致放大率随之改变。

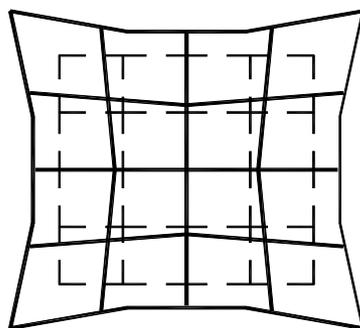
当边缘的放大率大于中心时，影像产生枕形畸变；反之当边缘的放大率小于中心时，影像产生桶形畸变

$$D_d = C_d r_o^3 \quad \text{其中 } C_d \text{ 畸变系数, } r_o \text{ 物点距轴的距离}$$



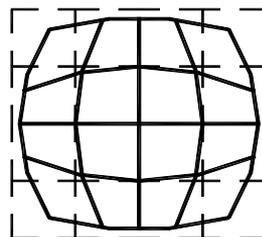
a)

没有畸变图形



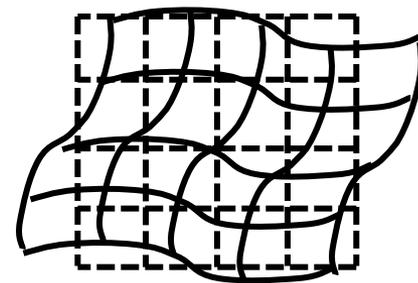
b)

实线负畸变图形



c)

实线正畸变图形



d)

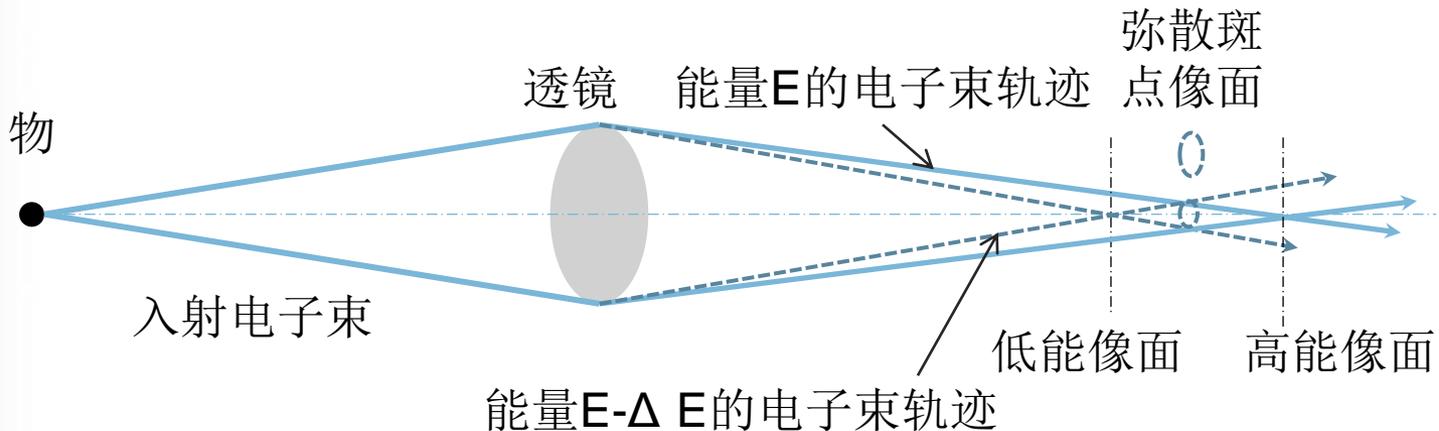
实线各向异性
畸变图形

磁场存在使图像发生旋转，且旋转不按比例，使图像产生扭曲

注：畸变图像虽失真，但图像是清晰的，静电透镜易引起枕形畸变，电磁透镜易引起各向异性畸变，需消除杂散磁场！

2 图像常见的几种像差---色差

色差主要由电子束能量的差异而来，此差异主要由加速电压不稳定，使电子束能量（波长）不一，电磁透镜的焦距随入射电子束能量变化而变。



原因：

- ✓ 供电电压不稳定，特别是电子枪加速电压不稳定，对电子束能量波动很大；
- ✓ 电子发射部位不同，使电子发射初速度不同，产生能量差异；
- ✓ 当电子束射到试样表面，在与试样相互作用时，一部分电子发射非弹性散射，致使电子能量发生变化。

对策：

供电电源加稳压器或启动不停电电源（UPS）；
采用小孔径光阑将散射角大的非旁轴电子遮掉。



- ✓ 机械加工或装配精度低，导致电极孔径产生椭圆或其他偏差
- ✓ 调整合轴不良，光线错位
- ✓ 光阑、极靴材料不均匀或机械加工精度不够，束斑不完全旋转对称
- ✓ 光阑受到碳氢聚合物污染，产生局部荷电
- ✓ 电子光学通道不洁净，有异物吸附



3 电镜的维护与保养

3.1 电镜及电镜室的卫生状况保持良好

保持电镜室洁净、无尘,采用空调、抽湿等手段,控制好室内环境因素,使室内温度在**15~ 25℃**之间,湿度在**50%**以下。

设备管理者必须加强电镜室的卫生管理,应做到每天一小扫每周一大扫。清扫地面时,应避免直接使用扫把,防止地面灰尘飞扬到空气中。

在清洁镜筒、光阑及样品仓门外表面附近时应十分小心,一是防止抹布未拧干造成水的侵入,二是一定用不掉毛的镜头纸擦拭,切不可用绒布或卫生纸、餐巾纸等。这样做的目的就是防止因灰尘造成设备电器元件短路,使仪器出现故障。

样品仓也要定期清洁,样品仓里有样品工作台,工作台的移动是靠电动马达的转动,来带动装有弹簧的连接螺栓位移完成的,为防止螺栓受到粉末等样品的污染而影响工作台的移动,必须经常清洁样品仓。



3 电镜的维护与保养

3.2 电镜始终保持真空状态

扫描电镜在工作的时候要处于高真空状态关机之前必须抽好真空，使之始终处于真空保持状态。这样做的目的是防止电子枪、镜筒及样品仓内进入空气，以免造成电镜灯丝和各种传感器的氧化损坏。若电镜长期不用(如大学的寒暑假期间)，也必须 3~5 天开机抽一次真空。

随时注意镜筒是否存在微小泄露，同时保证各级泵的性能，必要时更换泵油。再有就是待观察样品应尽量干燥、无挥发性物质。

注：在正常加速电压和发射电流工作条件下，灯丝寿命明显越来越来短，可能是真空系统部件连接变差，可检查真空系统连接部位是否松动，查明原因。



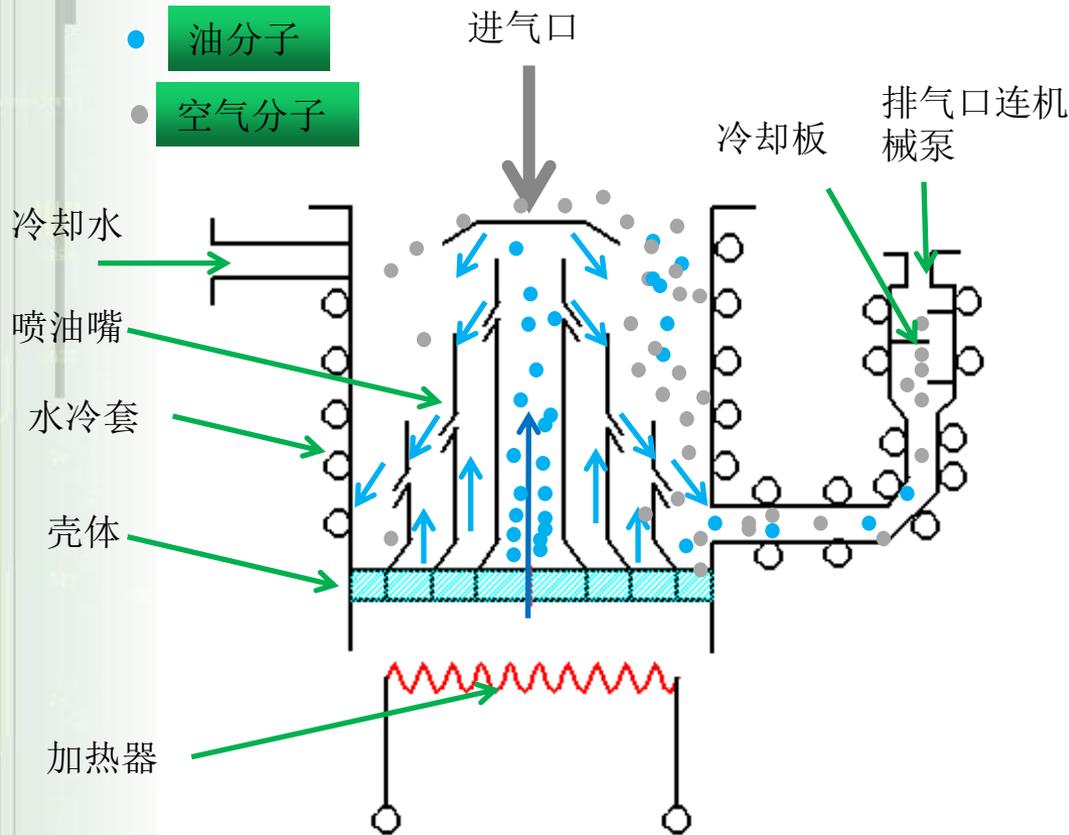
3.3 扫描电镜钨灯丝更换、维护和保养

更换新灯丝时要戴洁净的薄塑料手套，将灯丝垫环轻轻的装入灯丝座上，再将灯丝小心准确的推入栅极帽，然后观察灯丝尖端是否处于栅极帽孔的中心，旋转灯丝圆周位置使灯丝定位孔与栅极帽定位孔一致后再适度拧紧定位螺钉。电镜使用过程中，当发现图像突然变暗时要注意及时手动调节灯丝饱和点使之达到最亮，注意尽量不要经常使用自动调节功能，以防止灯丝损耗过大，影响灯丝寿命。

- 灯丝平时要保存在干燥器里比较好，最好用干燥箱
- 灯丝换前一定要清洗灯丝帽，用显微镜或放大镜观察确认是否有污染物
- 灯丝安装要严格，尽量对中，否则偏了很容易灯丝亮度偏暗
- 灯丝安装高度，适当远离栅极孔（保证亮度）可延长寿命
- 高真空抽到后等几分钟，让真空度更高，低真空对钨灯丝有损伤
- 新灯丝第一次加电流慢一些，饱和点调低一点，满足要求即可
- 平时电压尽量在15~20kV，如果一旦定了电压，尽量不要经常换电压
- 换样品放气前等几分钟，让灯丝冷却下来再放气
- 更换灯丝时，抽真空或持续通入N₂，保证样品室无空气。

3 电镜的维护与保养

3.4 常检查机械泵油面位置和机械泵油的颜色



扩散泵的结构图

- 首先，油扩散泵里的气体压强不能超过1帕，高于1帕会加速油的氧化，所以需要排气来满足油扩散泵的工作环境。
- 其次，扩散泵不能独立将气体排出，所以需要与机械泵连用（相当于前级），借助机械泵把气体抽走。



钨灯丝扫描电镜的真空是由机械泵和油扩散泵共同作用完成的。

其工作流程是：首先由机械泵预抽，当抽到某一真空度时，油扩散泵再启动工作。油扩散泵将镜筒系统内的空气与因电阻炉加热而扩散进来的硅油蒸汽一起抽出。

因此，机械泵的正常工作的至关重要，而机械泵能否正常工作，除了泵体和电器元件以外，其泵体腔内的**油量和油的纯净程度**也十分重要。我们一般采用检查机械泵油面位置和机械泵油的颜色的方法，来判断是否添加和更换泵油。

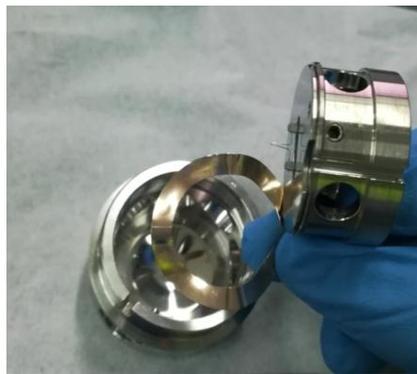
泵体腔内是否缺油，要**观察其油面在不在泵体侧面窗口中间的水平线上**，如果油面位置低于窗口刻线下面较多，就说明泵体该加油了；泵体腔内的油是否需要更换则要观察油的颜色，**正常未被氧化的泵油呈蛋清色，如果氧化严重便呈茶色或褐色**，这时就必须立即更换新的泵油。

注：建议每月检查机械泵油面，是否漏油、缺油；
每年至少更换一次机械泵油；
更换或维护油泵时一定要按照说明书操作。

3 电镜的维护与保养

3.5 经常清洗栅极帽和物镜光阑

由电子枪发射的电子能量首先作用在栅极帽处，发散的高速电子直接轰击栅极，长时间会造成栅极帽氧化变黑，若不及时清洗将不利于电子束通过，影响图像效果，所以必须经常清洗栅极帽。我们一般采用**不掉毛的脱脂棉球**蘸取无水酒精，再和极细的**优质抛光膏**混合后反复研磨，将氧化黑皮层去掉呈光亮后，放到装有**酒精**的烧杯里，用**超声波**清洗干净。



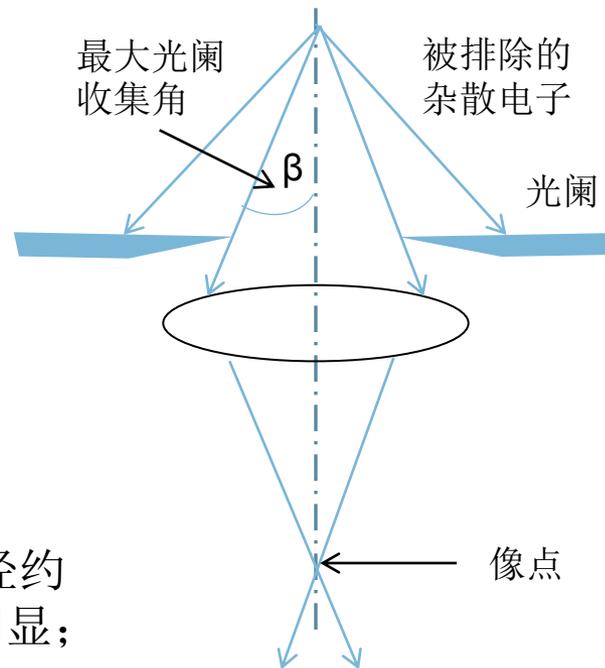
当像散难以消除时，就应该考虑清洗或更换光阑，一般钨灯丝非加热型物镜光阑0.5~1年就需清洗或更换，加热型物镜光阑一般2年，但是清洗后，光阑孔径会扩宽变钝，可考虑直接更换成新光阑。

物镜光阑的作用是将聚光镜聚焦的电子束再进行过滤，过滤掉电子束杂散能量，减小能量色差。物镜光阑一般有三个档位，从3号到1号，孔径依次缩小。它距离样品台最近，因此很容易被污染使孔径缩小或变形，影响观察效果，所以定期清洗物镜光阑十分必要，但物镜光阑的清洗必须在厂家的指导下谨慎进行(如真空喷涂加热法等)，切不可草率行事。

物镜下极靴的固定型物镜光阑：钨阴极、 LaB_6 孔径约 $200\mu\text{m}$ 或 $150\mu\text{m}$ ，擦拭或刻蚀带来的孔径增大不明显；物镜上可调物镜光阑孔径较小，场发射一般孔径 $30\mu\text{m}$ ，擦拭或刻蚀带来的孔径增大影响明显。

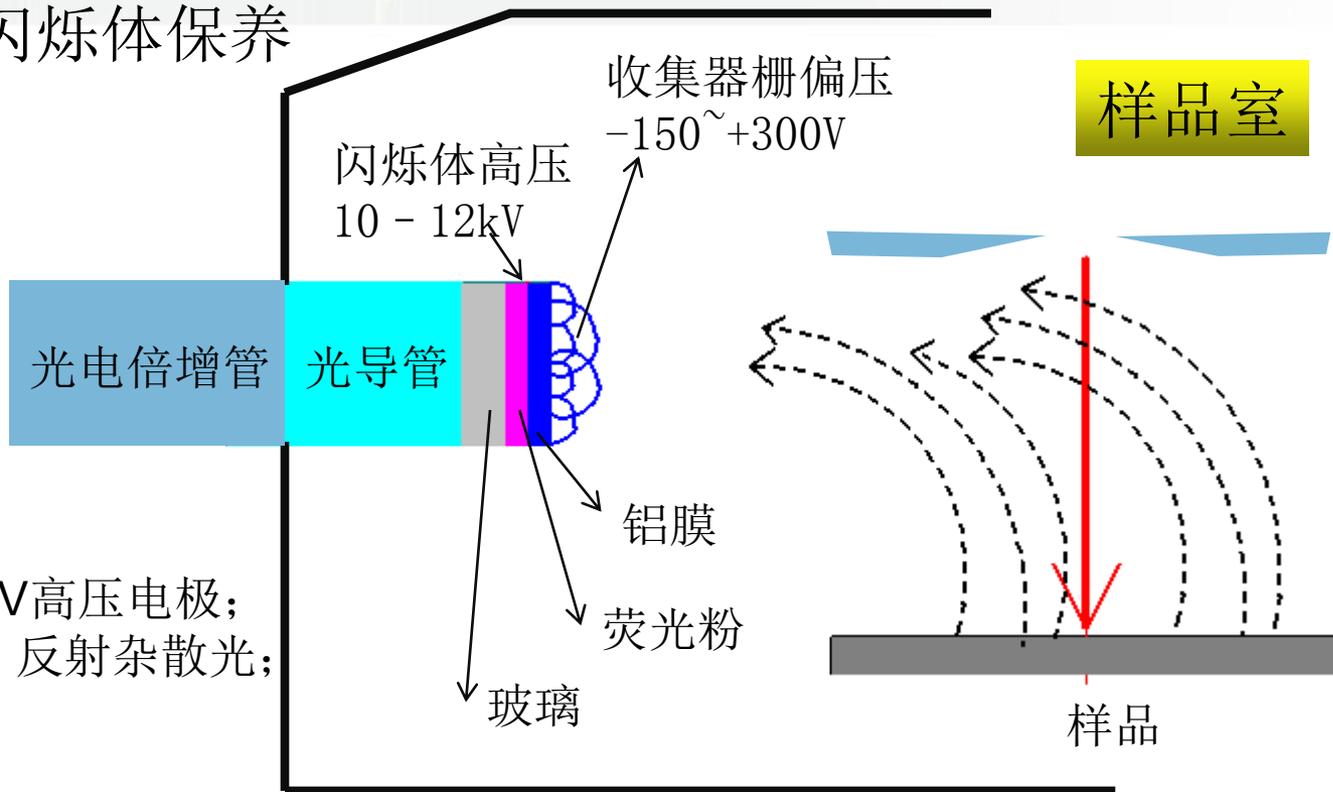
注：

为更好延长光阑的使用寿命，应尽量减少电镜真空系统自身带来的污染：真空系统的机械泵和油扩散泵及时换油；冷却循环制冷量需足够；在购买时尽量选用涡轮分子泵加无油机械泵真空系统，减少真空系统对电子光学系统的污染。



3 电镜的维护与保养

3.6 闪烁体保养



铝膜作用：10kV高压电极；理想的反光层，反射杂散光；

工作机理：二次电子被高压电位吸引，加速打到荧光粉上，使其发光，闪烁体把电信号转化成光信号，借助光导管传到光电倍增管。



早起的E-T二次电子探测器闪烁体用塑料作基材，成本低，寿命短，发光率低，现在电镜一般采用洁净玻璃作基材，另在其表面涂覆一层无机发光材料，后蒸镀一层约70nm铝膜作电极。

基材：塑料 → 玻璃

发光材料：P15闪烁体、P47闪烁体、YAG(钇铝石榴石)、YAP(铝酸钇)

铝膜电极：高加速电压 → 高能背散射电子 → 铝膜升温膨胀氧化 → 转化率下降



重新蒸镀铝膜 ← 高压升不上去 ← 铝膜脱落 ← 图像信噪比差

延长闪烁体寿命：

提高冷却水制冷效果；保证样品腔真空度；减少高加速电压采集图像；

配油扩散泵钨灯丝电镜闪烁体5年左右更换一次、配油扩散泵场发射电镜闪烁体

8年左右更换一次；无油扩散泵钨灯丝电镜闪烁体7年左右更换一次、无油扩散

泵场发射电镜闪烁体10年左右更换一次；若采用YAG或YAP材料做成的探测器，

一般可伴随电镜主机使用终身。

YAG和YAP探测器的缺点？



4 电镜的安装环境的要求

4.1 安装地点

- 无外来磁场干扰；
- 远离大功率用电设备：变电站及配电房；
- 减少外来振动干扰：冲床、拉伸机、冲击试验机、离心加速器；
- 远离交通要道、地面、地铁路线。

4.2 空间、接地、照明

4.3 室内温度、湿度、排气

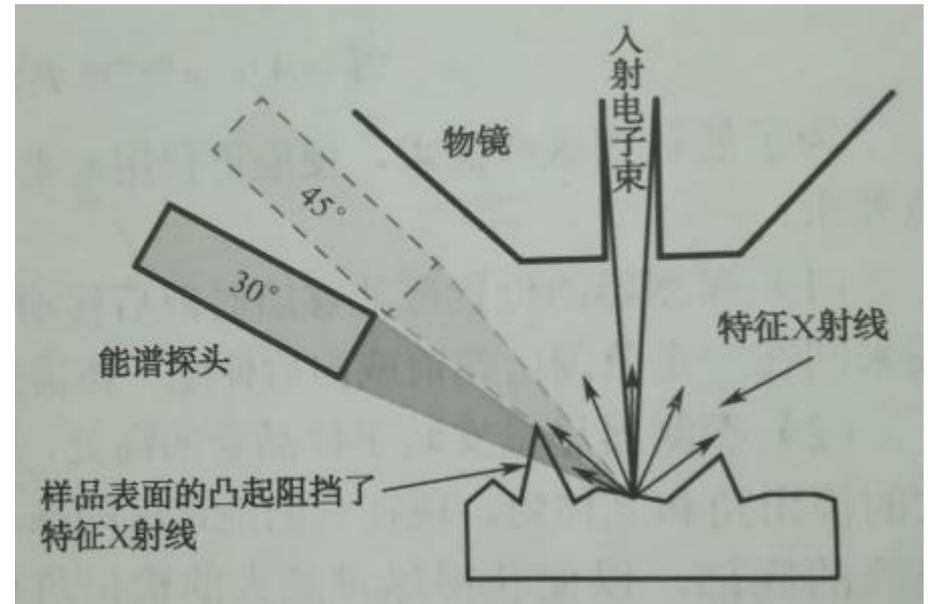
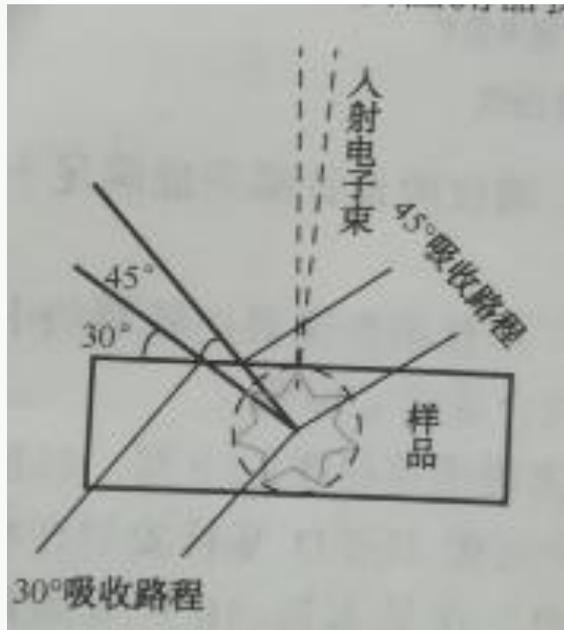
- 保持机器稳定：15~25℃；
- 相对湿度控制在50%左右：减少抽真空时间、保证电器触点不氧化腐蚀（湿度过小易造成电路板干曲变形、影响电子线路接触）；
- 保证室内空气质量：机械泵排气、换真空气体N₂/Ar；
空调制冷机

4.4 防震防磁、供电稳定、冷却水、环境噪声、检查X射线是否泄漏

5 能谱仪的性能指标--检出角

检出角：试样水平面与探测器中心轴线延长线夹角称为检出角。理论上该角度越大越好，最好能大于或等于 35° 。

因为检出角越大，试样基体对所激发的特征X射线的吸收越少，且由于试样表面凹凸不平产生的粗糙度所带来的粗糙度带来的影响也会越小，基体吸收长度随检出角余角的增大而增大。



5 能谱仪的性能指标--探测限

- 探测限：在特定分析条件下，能检测到元素或化合物的最小量值。
- 与加速电压、X射线谱线、试样组分、探测器效率、采谱计数率、采集时间、峰背比等有关。探测限估算公式：

$$C_{dl} = \frac{3.29\alpha}{\left[nt (p^2 / B)^{1/2} \right]}$$

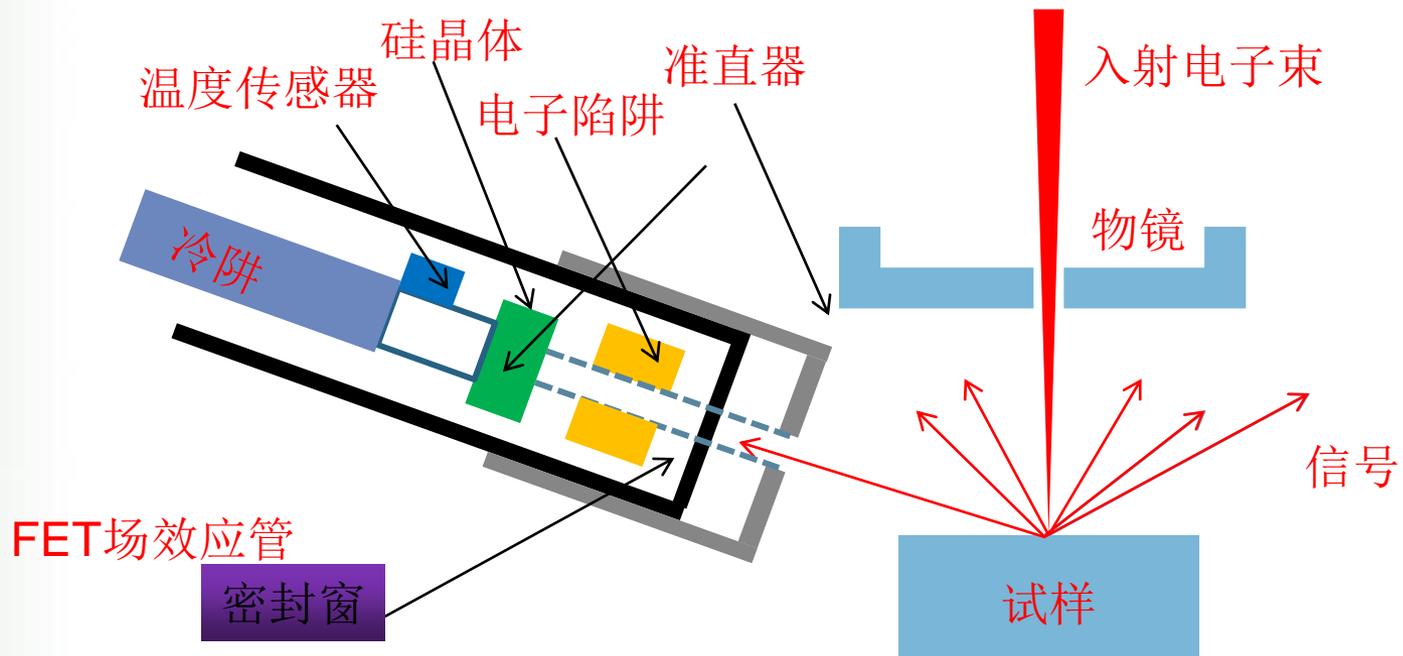
- 其中， α 是对基材的实验参数， n 是测量重复数， t 是基数时间， p 是纯元素谱线峰的计数率， B 是纯元素被测谱线峰中背底计数。
- 如果在谱峰的一定区域内计数 N 超过背底的 $3\sqrt{I_B}$ ，则有谱峰存在的可信度为**99.9%**，其中 N 是X射线峰值净计数

即使试样定性分析时没有检测到某元素，也不能推断该元素不存在，只能说在该分析条件下，该元素的含量低于仪器的探测限。（<0.5%）

5 能谱仪的性能指标--探测元素范围

7.5 μm 的Be密封窗: Na11-U92,

0.34 μm 的有机窗: Be4-Am95, 可用Be块体做测试, 观察是否能检测到Be峰



Si(Li)检测器探头结构示意图

5 能谱仪的性能指标—空间几何分辨力

能谱显微分析与二次电子像的构造特征相差较大，两者的空间分辨力相差较大，不能完全等同二次电子像分辨力优于4nm，但是X射线空间分辨力与其相比较低，空间分辨力只有微米级，即使是场发射也只能达亚微米级。

薄样用小束斑和高密度电子束流可明显改善X射线空间分辨力；

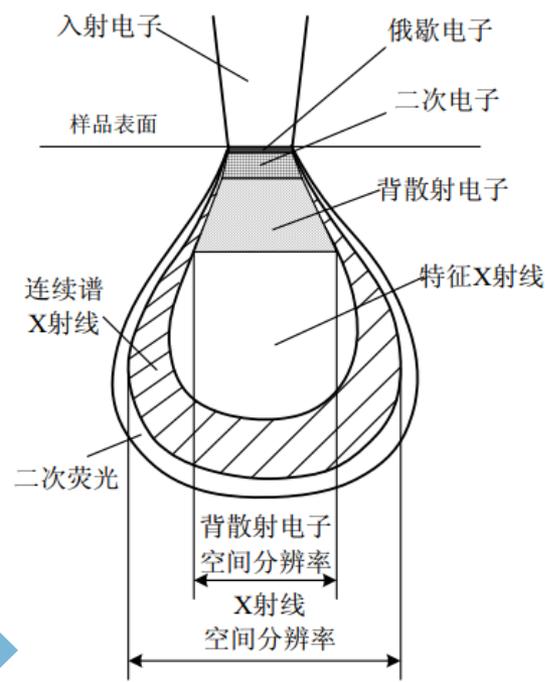
厚样空间分辨力低的主要原因是**成像的**二次电子、背散射电子、X射线是低能的。

- ❖ 相互作用体积在电子束入射面上的投影面积，**95%的X射线**从此面发射并由谱仪接收。直径**d**可用蒙特卡罗方法计算。

可根据蒙特卡罗模拟电子束入射到试样的激发作用区，便于估计能谱定性定量分析。

	空间分辨率
二次电子	<10nm
背散射电子	1/3作用区范围 <2 μ m
特征X射线	1~几个 μ m

二次电子、背散射电子、X射线激发作用区





注：

- 1.在二次电子像中看到的特征构造不能与用X射线进行准确的一一对应分析，例如，试样表面有颗微米级颗粒，但厚度仅几纳米，该颗粒在二次电子像中很容易看到，但在X射线信号下大部分信息来自颗粒底部部位，我们得到的X射线分析结果就不能完全属于图像中看到的颗粒的化学组分。
- 2.产生背散射电子图像信息的单元体积与X射线信息的单元体积更接近，所以X射线分析结果与背散射电子像关系比二次电子像对应关系更接近。

改善办法：降低加速电压，使电子束穿透试样的深度降低。但不能把过压比降低太多。

- 1、提高空间分辨率，分析小颗粒、薄膜、高放大倍率的亚微米区域的成分。
- 2、为了减小或者避免试样放电，不导电试样需要低加速电压观察图像和成分分析（例如FESEM分析）。
- 3、减小X射线在样品中的吸收，如轻元素分析。
- 4、减小试样损伤。



5 能谱仪的性能指标--死时间

死时间：系统不能接受脉冲的时间，即在系统处理一个脉冲期间或系统发生堆积而关闭的时间。脉冲处理器无法处理入射的X射线光子的时间总和。

- 测量时间太短X射线总计数太小，导致统计偏差过大，测量时间太长，要考虑仪器稳定性的影响。
- 活时间一般根据计数率R和相对标准偏差S确定，
- $S = \frac{\sigma}{N} = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$ ，S一般用0.2%，即总计数为250000。如果R=2500cps，因为N=RT，所以 **T=N/R=250000/2500=100**（秒）。



5 能谱仪的性能指标--SDD和Si (Li)

最初的SDD是为了研究核科学军工研发，2003年USA“勇气号”火星探测器发射，其中探测火星表面图谱即采用SDD芯片，目前全球仅Pnsensor和Ketek两家SDD芯片供应公司。

相比于Si(Li)能谱仪，SDD能谱仪具有众多优势：首先，电制冷，免去了适时添加液氮的麻烦；其次，分辨率较少受高计数的影响，具有高转换率、超高速的特点，可以得到高质量的元素面分析图。

Si(Li)能谱仪，由于其工作温度低，易发生污染，探头上可能结冰霜。要消除污染，用户就需加热能谱仪，让冰霜挥发，但这会影响能谱仪的稳定性、测量的精度与灵敏度。

透射电镜的高能场合，电子束激发的X射线能量很高，SDD探测器因其只有0.4毫米厚而易被穿透；但Si(Li)探测器有3毫米厚，不易被穿透，所以现在95%以上的透射电镜上还是配备Si(Li)能谱仪。



(1)**不需液氮冷却**。硅漂移探测器的阳极面积很小，使得探测器的电容也很小，它的漏电电流也很小，所以硅漂移探测器的噪声很低（即使在室温下），用电荷灵敏前置放大器可低噪声、快速地读出电子信号。

(2)**能量分辨率同探测器面积的关系不大**。硅漂移探测器的阳极面积小且基本不会随着探测器面积的变化而变化，因而大面积的探测器的电容也很小，所以硅漂移探测器的能量分辨率随面积的变化要比其他探测器小得多。

(3)**分辨率高**。在漂移过程中电子云是被漂移电极屏蔽的，只有当电子云越过最里边的漂移环以后才产生信号，这有效地提高了分辨率；在漂移至阳极的过程中电子云会扩散，所以信号的上升时间和信号的大小都与漂移距离有关。

(4)**计数率高**。硅漂移探测器可以同时探测到几个同时被吸收的X光子，因此有助于提高计数率并减少和峰。

(5)**噪声低**。硅漂移探测器的漏电流和电容均比硅漂移锂探测器小得多，且电容几乎不随面积变化，所以噪声很低，并且可以快速地读出电子信号，是探测光信号、X射线信号的最佳选择，在简单半导体制冷下其能量分辨本领和高计数率性能是所有硅半导体探测器中最好的，最佳分辨率可以达到125eV，同最好的液氮冷却硅漂移锂探测器探测器相当。

(6)**速度快**。能在很短时间（几十秒内）就可以得到很高的计数(大于100000cps)。同液氮冷却的探头相比，进行面分析的

课后自主学习SDD的工作原理？



5 能谱仪的性能指标--EDS专用软件

现在的EDS除了成分分析外，还有非常强大的图像分析和图像处理功能。例如Aztec软件，是材料显微结构综合表征系统，能快速、准确、全面的对各种颗粒、夹杂物、不同相的特征进行表征。

可自动实现大面积图像及能谱采集功能，包括纳米级颗粒的分析与统计；
通过结合形貌及能谱信息能自动分析样品中几万、几十万的颗粒信息；

能在大块样品中寻找小颗粒或微小相；

能统计相及颗粒尺寸、形状等特征，并进行分类别属；

峰校正功能优点明显；

另外如：可以进行粒度分析、枪击残留物分析（GSR）、自动矿物解离度分析、钢中夹杂物分析等。

除此之外还有谱图合成、薄膜厚度测量及相分析等专用软件。

扫描电子显微镜 基础课

谢谢收听，如有不妥，敬请指出
邮箱：1412365584@qq.com

注：本ppt借助ZEISS 培训资料

