

## 5-3 扫描电子显微镜（教案）

### 实验的目的要求：

1. 了解扫描电子显微镜的工作原理和掌握其使用办法
2. 用扫描电子显微镜观察不同金刚石膜的形貌像并加以讨论

### 教学内容：

1. 画出扫描电子显微镜的原理图，
2. 能够看说明书自己正确操作扫描电子显微镜，
3. 通过观察不同粗糙度 Si 衬底表面上生长出金刚石膜的相貌像，讨论为什么粗糙度大的衬底上金刚石膜厚，并对之作出解释。

### 实验过程中可能涉及的问题：

1. 扫描电子显微镜是一种比较理想的表面分析工具，可以直接观察大块样品的表面，且样品制备方便。
2. 扫描电子显微镜的景深大，放大倍数连续可调的范围大，分辨本领较高，所以它成为了固体材料断口和显微组织三维形态的观察用的有效工具。
3. 扫描电子显微镜不仅能做表面形貌像的分析，而且配备相关附件后，还可以做表面成分分析及表层晶体学位相分析。
4. 扫描电子显微镜中也要用到外加磁场对其电子枪发射出的电子束进行约束。此约束的最终目的是什么？它与透射电子显微镜中的磁场对电子束的作用有何不同？扫描电镜中的磁场用于使电子束会聚成纳米量级的束斑，透射电镜中的磁场起到光学透镜的作用，使电子束能够穿过样品产生衍射光斑。
5. 扫描电镜和透射电镜的成像原理大不相同。扫描电镜不用什么透镜来进行放大成像，而是像闭路电视那样，逐点逐行扫描成像。
6. 固定光阑和限速光阑的作用是什么？
7. 电子束的粗细和图像分辨率的关系：细则分辨率高。
8. 扫描电子显微镜中的入射电子束打在样品表面会产生哪几种电子？扫描电子显微镜中主要的信号是二次电子和背散射电子。主要工作模式是提供二次电子像。
9. 实验中用的 S450 扫描电子显微镜的抽真空系统与本科生在普通物理实验课中做过的镀铜膜的实验中用的抽真空系统的区别：S450 扫描电子显微镜的抽真空系统用的是机械泵加油扩散泵，此系统工作时必须通冷却水；镀铜膜的实验是用机械泵加分子泵，此系统工作时不用冷却水。应知道原因：油扩散泵工作时产生油蒸气，不通冷却水油蒸气分子会进入到真空反应室，造成实验系统的污染。
10. 若不通冷却水，当试图启动扫描电镜开始工作时，蜂鸣器会响。
11. 扫描电子显微镜的显示屏上看到的图像和样品台实际放置的位置不一样，相差 90 度。因此样品放入之前应该把每个样品的轮廓画出来，以备观察样品分不清时备用。
12. 在一定的放大倍数下观察样品的图像时，调节聚焦旋钮时，看到的图形向左上方或者向右上方拉长，表明聚焦调节得欠焦或过焦。
13. 像散是如何产生的？由于透镜的形状和光阑位置的影响使得像未成在明晰圈处而造成。
14. 高压的作用。
15. 对比度和亮度对成像的影响。
16. 钨灯丝发射出的电子束约在若干微米量级。

17. 亮度和对比度有何区别？

18. 当要打开样品室门更换样品时，必须注意什么？

18. 为什么扫描电镜可以用来检测分析样品中所包含的元素成分？

已知原子内的不同层间的电子可以在外界因素作用下产生跃迁，同时放出光子或吸收光子。如果采用某种手段将内层电子激发出去而产生内层电子空位，外层电子就回向该能级跃迁。此过程中释放出来的光子能量就等于电子跃迁激发前后所处能级的能量差。由于每种元素的电子能级都是固定的，因此可产生跃迁的能级之间可能的能量差也是固定的，它是元素原子的特征量，就像人的指纹一样。由于自然界中化学元素的种类是有限的，因此人类早就将所有元素的各种可能产生电子跃迁的能量差纪录了下来，形成能谱表。将光子能量的实验结果与能谱表对比，立即就可得出该光子是自何种元素的何种跃迁。需要指出两点：1. 不同的元素可能发出某种能量非常接近的光子，但是两种元素的各种跃迁所发出不同光子的能量不会都接近，因此能够将各种元素区别开来。2. 为了确保将不同的元素区分开，需要检测相当宽能量范围的光子，因此称之为能谱分析。另外通过光子计数比较可得出相应化学元素的含量。

为了确保能谱分析结果尽量不受原子结合键的影响，总是选择受结合键影响最小的内层电子能级之间的跃迁所产生的光子。最常用的是所谓的K辐射，它是 $n_2 = 2, 3, 4 \dots$ 的L, M, N,  $\dots$ 层电子向 $n_1 = 1$ 的K层跃迁时释放出来的光子。对于高原子系数的元素，也采用由M, N层向L层跃迁时释放出来的光子，所产生的辐射称为L辐射。

在K辐射中，由于 $n_2 = 2$ 的L层向K层跃迁产生的辐射称为 $K\alpha$ ，而由M层向K层跃迁产生 $K\beta$ 辐射。由于电子由2p态向1s态跃迁产生的 $K\alpha$ 系辐射又可分为 $K\alpha_1$ 和 $K\alpha_2$ 。这类电子跃迁所释放出的光子波长属于X射线波段，因此，这种能谱分析确定化学成分的方法称做X射线能谱分析。

X射线能谱分析实际上经常应用于电子显微镜中。其中，用高压加速后的电子去轰击试样，将内层电子激发出去，随后电子跃迁产生来产生X射线光子，供能谱分析使用如果使用X射线将内层电子激发出去，从而产生X射线，进行化学成分分析，则称做X射线荧光分析。

#### 参考文献

- (1) 王培铭，许前慰 主编，材料研究方法，pp. 169-181 科学出版社(2005)。