

【扫描电镜科普】扫描电镜和透射电镜的区别

扫描电镜和透射电镜的区别

电子显微镜已经成为表征各种材料的有力工具。它的多功能性和极高的空间分辨率使其成为许多应用中非常有价值的工具。其中，两种主要的电子显微镜是透射电子显微镜（*TEM*）和扫描电子显微镜（*SEM*）。在这篇博客中，将简要描述他们的相似点和不同点。

扫描电镜和透射电镜的工作原理

从相似点开始，这两种设备都使用电子来获取样品的图像。他们的主要组成部分是相同的；

- 电子源
- 电磁和静电透镜控制电子束的形状和轨迹
- 光阑

所有这些组件都存在于高真空中。

现在转向这两种设备的差异性。扫描电镜（*SEM*）使用一组特定的线圈以光栅样式扫描样品并收集散射的电子。

而透射电镜（*TEM*）是使用透射电子，收集透过样品的电子。因此，透射电镜（*TEM*）提供了样品的内部结构，如晶体结构，形态和应力状态信息，而扫描电镜（*SEM*）则提供了样品表面及其组成的信息。

复纳科学仪器（上海）有限公司

上海总部：上海市闵行区申滨路 88 号
虹桥丽宝广场 T5，705 室

Tel: 400 857 8882 | www.phenom-china.com

而且，这两种设备最明显的差别之一是它们可以达到的最佳空间分辨率；扫描电镜(*SEM*)的分辨率被限制在 $\sim 0.5\text{nm}$ ，而随着最近在球差校正透射电镜(*TEM*)中的发展，已经报道了其空间分辨率甚至小于 50pm 。

哪种电子显微镜技术最适合操作员进行分析？

这完全取决于操作员想要执行的分析类型。例如，如果操作员想获取样品的表面信息，如粗糙度或污染物检测，则应选择扫描电镜(*SEM*)。另一方面，如果操作员想知道样品的晶体结构是什么，或者想寻找可能存在的结构缺陷或杂质，那么使用透射电镜(*TEM*)是唯一的方法。

扫描电镜(*SEM*)提供样品表面的 *3D* 图像，而透射电镜(*TEM*)图像是样品的 *2D* 投影，这在某些情况下使操作员对结果的解释更加困难。

由于透射电子的要求，透射电镜(*TEM*)的样品必须非常薄，通常低于 150nm ，并且在需要高分辨率成像的情况下，甚至需要低于 30nm ，而对于扫描电镜(*SEM*)成像，没有这样的特定要求。

这揭示了这两种设备之间的另一个主要差别：样品制备。扫描电镜(*SEM*)的样品很少需要或不需要进行样品制备，并且可以通过将它们安装在样品杯上直接成像。

相比之下，透射电镜(*TEM*)的样品制备是一个相当复杂和繁琐的过程，只有经过培训和有经验的用户才能成功完成。样品需要非常薄，尽可能平坦，并且制备技术不应产生任何伪像（例如沉淀或非晶化）。目前已经开发了许多方法，包括电抛光，机械抛光和聚焦离子束刻蚀。专用格栅和支架用于安装透射电镜(*TEM*)样品。

复纳科学仪器（上海）有限公司

上海总部：上海市闵行区申滨路 88 号
虹桥丽宝广场 T5, 705 室

Tel: 400 857 8882 | www.phenom-china.com

扫描电镜 (SEM) vs 透射电镜 (TEM)：操作上的差异

这两种电子显微镜系统在操作方式上也有所不同。扫描电镜 (SEM) 通常使用 15kV 以上的加速电压，而透射电镜 (TEM) 可以将其设置在 $60\text{--}300\text{kV}$ 的范围内。

与扫描电镜 (SEM) 相比，透射电镜 (TEM) 提供的放大倍数也相当高：透射电镜 (TEM) 可以将样品放大 5000 万倍以上，而对于扫描电镜 (SEM) 来说，限制在 $1\text{--}2$ 百万倍之间。

然而，扫描电镜 (SEM) 可以实现的最大视场 (FOV) 远大于透射电镜 (TEM)，用户可以只对样品的一小部分进行成像。同样，扫描电镜 (SEM) 系统的景深也远高于透射电镜 (TEM) 系统。

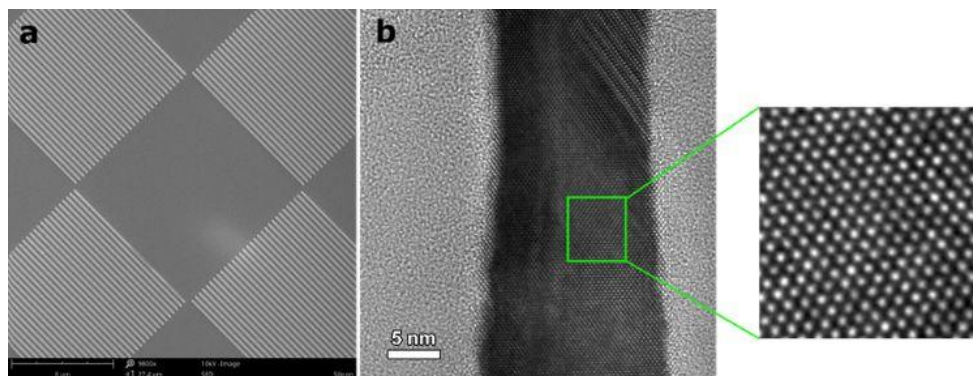


图 1：硅的电子显微镜图像。a) 使用扫描电镜 SEM 成像的二次电子图像，提供关于表面形态的信息，而 b) 透射电镜 (TEM) 图像显示关于样品内部的结构信息。

另外，在两个系统中创建图像的方式也是不同的。在扫描电镜中，样品位于电子光学系统的底部，散射电子（背散射或二次）被电子探测器捕获，然后使用光电倍增管将该信号转换成电信号，该电信号被放大并在屏幕上产生图像。

复纳科学仪器 (上海) 有限公司

上海总部：上海市闵行区申滨路 88 号
虹桥丽宝广场 T5, 705 室

Tel: 400 857 8882 | www.phenom-china.com

在透射电镜（*TEM*）中，样品位于电子光学系统的中部。入射电子穿过它，并通过样品下方的透镜（中间透镜和投影透镜），图像直接显示在荧光屏上或通过电荷耦合器件（*CCD*）相机显示在 *PC* 屏幕上。

	SEM	TEM
电子的类型	散射电子	透射电子
高压	~1 - 15 kV	~60 – 300 kV
试样厚度	任何厚度	通常 <150nm
信息类型	表面的 3D 图像	内部结构的 2D 投影图像
最大放大倍数	高达~1-2 百万	超过 5000 万
最大 FOV	大	有限
最佳的空间分辨率	~0.5nm	<50 pm
图像形成	电子被检测器捕获并计数，在 <i>PC</i> 屏幕上显示图像	用 <i>CCD</i> 在荧光屏或 <i>PC</i> 屏幕上直接成像
操作	很少或没有样品制备，易于使用	复杂的样品制备，需要培训用户

表 1: 扫描电镜（*SEM*）和透射电镜（*TEM*）之间主要差异的总结

一般来说，透射电镜（*TEM*）的操作更为复杂。透射电镜（*TEM*）的用户需要经过强化培训才能操作设备。在每次使用之前需要执行特殊程序，包括几个步骤以确保电子束完美对中。在表 1 中，您可以看到扫描电镜（*SEM*）和透射电镜（*TEM*）之间主要区别的总结。

结合 *SEM* 和 *TEM* 技术

还有一种电子显微镜技术被提及，它是透射电镜（*TEM*）和扫描电镜（*SEM*）的结合，即扫描透射电镜（*STEM*）。

在扫描透射电镜（*STEM*）模式下工作时，用户可以利用这两种技术的功能；他们可以在高分辨率先看到样品的内部结构（甚至高于透射电镜 *TEM* 分辨率），但也可以使用其他信号，如 *X* 射线和电子能量损失谱。这些信号可用于能量色散 *X* 射线光谱（*EDX*）和电子能量损失光谱（*EELS*）。

当然，*EDX* 能谱分析在扫描电镜（*SEM*）系统中也是常见分析方法，并用于通过检测样品被电子撞击时发射的 *X* 射线来识别样品的成分。

电子能量损失光谱（*EELS*）只能在以扫描透射电镜（*STEM*）模式工作的透射电镜（*TEM*）系统中实现，并能够反应材料的原子和化学成分，电子性质以及局部厚度测量。

在 *SEM* 和 *TEM* 之间做出选择

从所提到的一切来看，显然没有“更好”的技术；这完全取决于需要的分析类型。当用户想要从样品内部结构获得信息时，透射电镜（*TEM*）是最佳的选择，而当需要样品表面信息时，扫描电镜（*SEM*）是首选。当然，主要决定因素是两个系统之间的巨大价格差异，以及易用性。透射电镜（*TEM*）可以为用户提供更多的分辨能力和多功能性，但是它们比扫描电镜（*SEM*）更昂贵且体型较大，需要更多操作技巧和复杂的前期制样准备才能获得满意的结果。