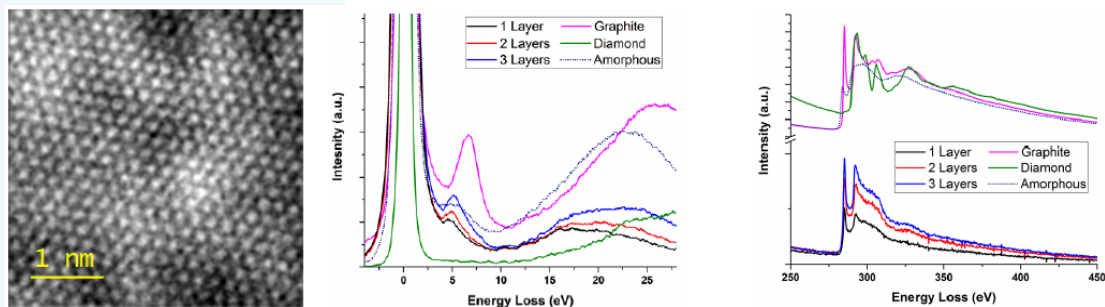


SU9000 在低电压电子能量损失谱中的应用

电子能量损失谱 (EELS) 作为一种元素分析方法已经在透射电镜中被广泛使用。当电子束穿透样品时，与样品发生非弹性散射相互作用，电子将损失一部分能量，对出射电子按其损失的能量进行统计计数，就可以得到电子的能量损失谱。EELS 在成分分析方面与 X 射线能谱功能相似，但相比于能谱，EELS 具有更高的能量分辨率 ($\sim 1\text{eV}$)，远优于能谱 ($\sim 130\text{eV}$)，因而不仅可以用来对样品进行定性和定量的成分分析，还可以提供元素的化学键态，相邻原子配位等结构信息，这是其他电子显微学分析方法所不能相比的。

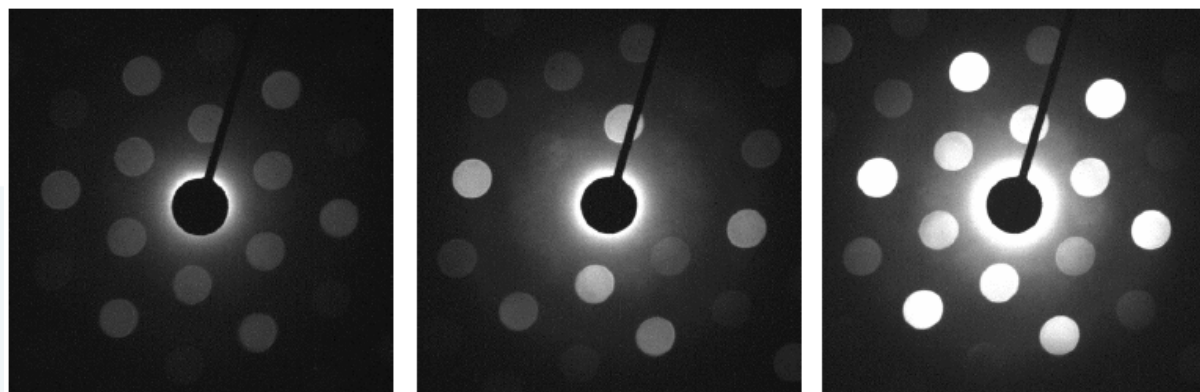
但是，传统的透射电镜由于电压过高，对于某些材料（如纳米材料、弱相位）进行 EELS 分析时会产生较大的损伤，或者无法显示足够的衬度，这类材料往往需要低电压 ($<30\text{kV}$) 的 EELS 分析。而将 200/300kV 透射电镜的电压降低往往会产生较大的色差，无法获得高分辨的图片，而专门的低电压透射电镜成本又太高，因此日立专门推出了具有内透镜结构的扫描电镜 SU9000。SU9000 既有扫描电镜的功能，同时又带有 EELS 和电子衍射等透射电镜的分析功能，很好的填补了透射电镜在低电压 EELS 和电子衍射方面的缺陷。

石墨烯作为目前最热门的新材料，以其特殊的结构和优异的物理性能，正越来越多的被应用到传感器、储能和新型显示材料、半导体材料、生物医学等领域。下图是 SU9000 在 30kV 下获得的石墨烯原子像及其 EELS 谱图。从下图左可以清晰地看到单层石墨烯的六边形结构，而从 EELS 的低能损失区和高能损失区（图中、右）可以看到石墨烯与钻石、无定形碳的谱图有明显的红移，可见三者的结构有区别，即使成分都是以碳为主。



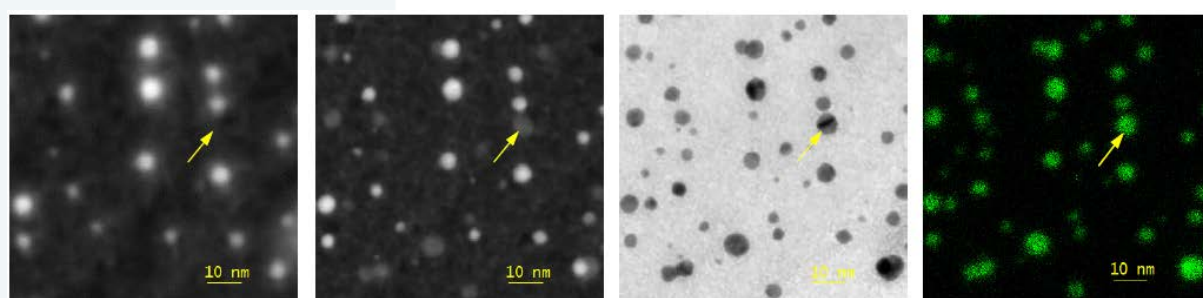
30kV 下石墨烯的原子像及 EELS 谱图

同时，SU9000 也具有衍射功能，可以对石墨烯的晶体结构进行研究。下图是 SU9000 对不同层数的石墨烯进行会聚束衍射得到的结果，从左到右可以清晰地看到衍射点逐渐增多，根据衍射点的位置和多少可以判断从左到右依次是单层、双层和三层石墨烯的结构。



从左到右依次是单层、双层和三层石墨烯的衍射图案

SU900 同样具有常规扫描电镜的功能，下图左一和左二分别是在 1kV 和 30kV 下用二次电子探测器观察石墨烯表面的金纳米颗粒。如图中箭头所示，在 1kV 下看到的是石墨烯表面的金颗粒，而在 30kV 下则可以看到石墨烯反面的金颗粒。结合图右一、右二的能谱结果和 STEM 明场像也可以确定在 30kV 下图左二箭头所指的是石墨烯反面的金颗粒。



1kV (左一) SE 图片、30kV (左二) SE 图片、30kV (右二) BF-STEM 图片、EDS 图片 (右一)

通过二次电子探测器、STEM 探测器、X 射线能谱、电子衍射以及 EELS 等方法，SU9000 可以对材料的形貌、结构等进行多方位的观察和分析，尤其适合易受电子束损伤或相位衬度较差的样品。