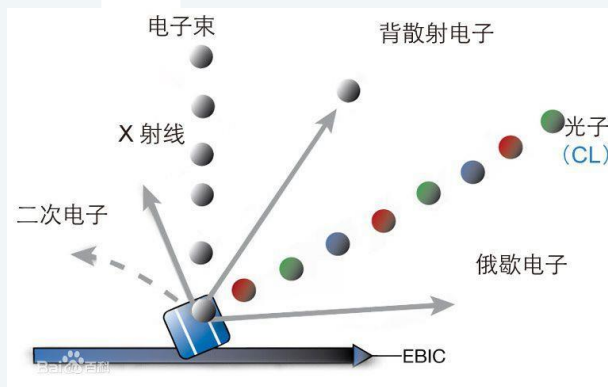


## 阴极荧光——锆石研究利器

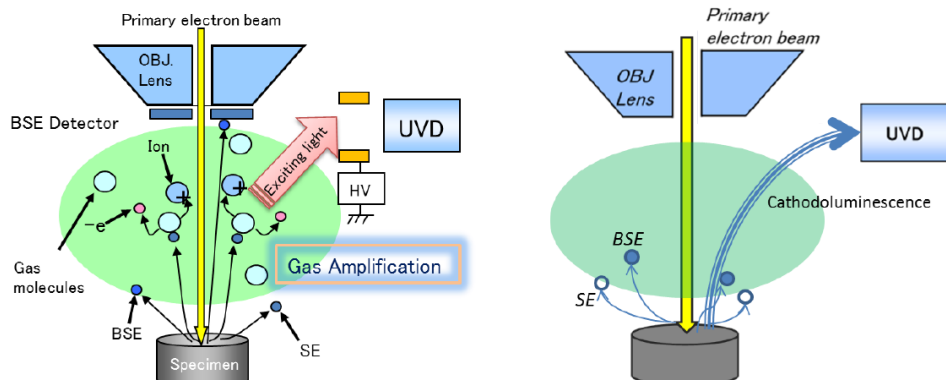
锆石，自然界的普通副产物，广泛分布于各类沉积岩、变质岩和火成岩中，由于含有丰富微量和痕量元素，且保留原始的化学和同位素比值等信息，使其在地质科学研究中占有重要地位。锆石矿物无论内部结构和化学成分还是外部形态都对地质环境变化非常敏感，例如与岩浆和变质结晶作用等等携带了大量的地质历史信息。电子束下对锆石、方解石、独居石、白钨矿、锡石、石英等矿物进行阴极荧光（CL）的综合研究是现在最具优势的研究方法。扫描电镜以其独有的二次电子像、背散射电子像、阴极荧光图像同时获得的优势，在锆石研究中优势明显。

阴极荧光是样品在高能离子束轰击下产生的物理现象。其原理为：当一束高能电子束轰击样品表面时，入射电子与物质作用后，经过一个或多个过渡态自然衰减到基态，同时激发能量以 X 射线、二次电子、背散射电子和俄歇电子、红外-紫外光以及可见光等形式释放出来，阴极荧光通常指可见光部分。在矿物质中，阴极发光现象主要有两方面：I) 矿物含有杂质元素 Mn、Ti、W、Ca、Mg、Cr、Ce、Th 等过渡族或稀土族元素；II) 矿物晶体生长过程中因种种原因造成的晶体多晶、双晶、镶嵌、滑移、生长条纹、应力、位错、杂质分布不均等缺陷引起。



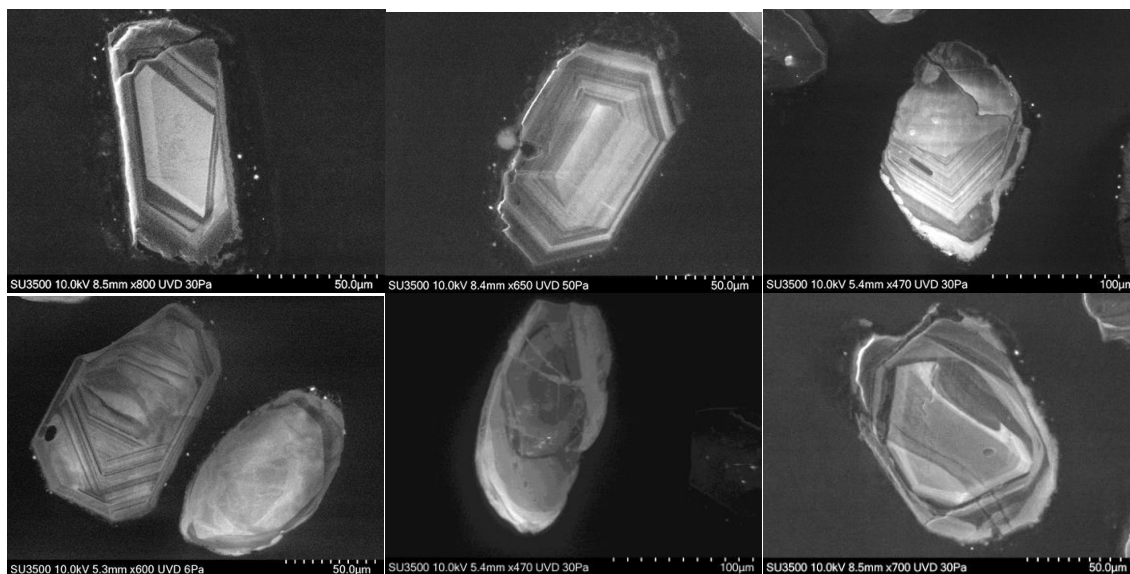
电子与物质的相互作用

CL 探测器的种类很多，但对于锆石的分析来说，最简单的 CL 探测器即可满足要求。扫描电镜中 CL 探测器由光导管和光电倍增管构成，光导管将搜集到光信号送入后一级光电倍增管，将光信号转化为电信号并加以放大，再经放大电路放大为有一定幅度的视频信号，最后调制显像管的栅极形成 CL 图像。日立扫描电镜上的超级可变压力探测器 UVD ( Ultra Variable-pressure Detector ) 接收的为二次电子和空气分子相撞产生的携带二次电子信息的光信号，设计原理和 CL 探测器类似，同时可实现接收 CL 的功能，其工作原理如下图：



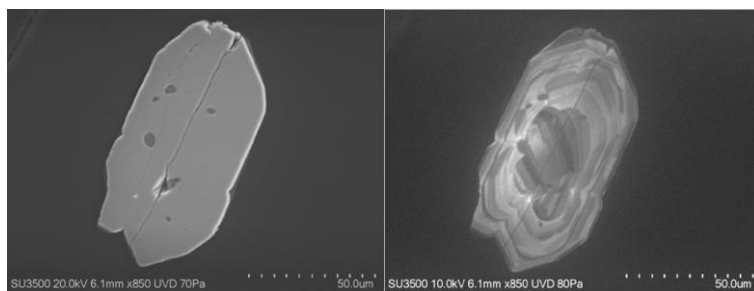
UVD 探测器接收 SE 及 CL 信号的原理

CL 图像除了可以表达锆石地质年代发展过程、化学成分信息等以外，还通常会与其他诸如背散射电子成分像、二次电子形貌像、X 射线特征能谱分析等结合分析，达到指定位置的特定分析。



不同锆石的 CL 图像

通常从 CL 图像中可以观察到振荡环带结构，振荡环带的宽度受锆石结晶时熔浆的温度、不同元素扩展速率等因素的影响，例如高温条件下微量元素扩散快，形成的结晶环带较宽，温度较低条件下微量元素扩散慢振荡环带往往会窄而密。根据锆石的颗粒大小，有他形、半自形和自形的外形，等轴状、短柱状棱柱形等晶体形态，CL 斑块状或带状等可判断锆石来自沉积岩还是变质岩，结晶时间等等，进而研究地质运动情况。



日立 SEM 能对 SE（或 BSE）及 CL 同时成像。二次电子能量低，对样品表面的形貌反映直观，可观察锆石表面的形貌结构，如表面磨光度，磨坑和裂缝等，背散射电子清晰显示包体、裂缝、磨片缺陷和边缘结构等信息，CL 图像则在显示锆石生长的期次上有明显优势。