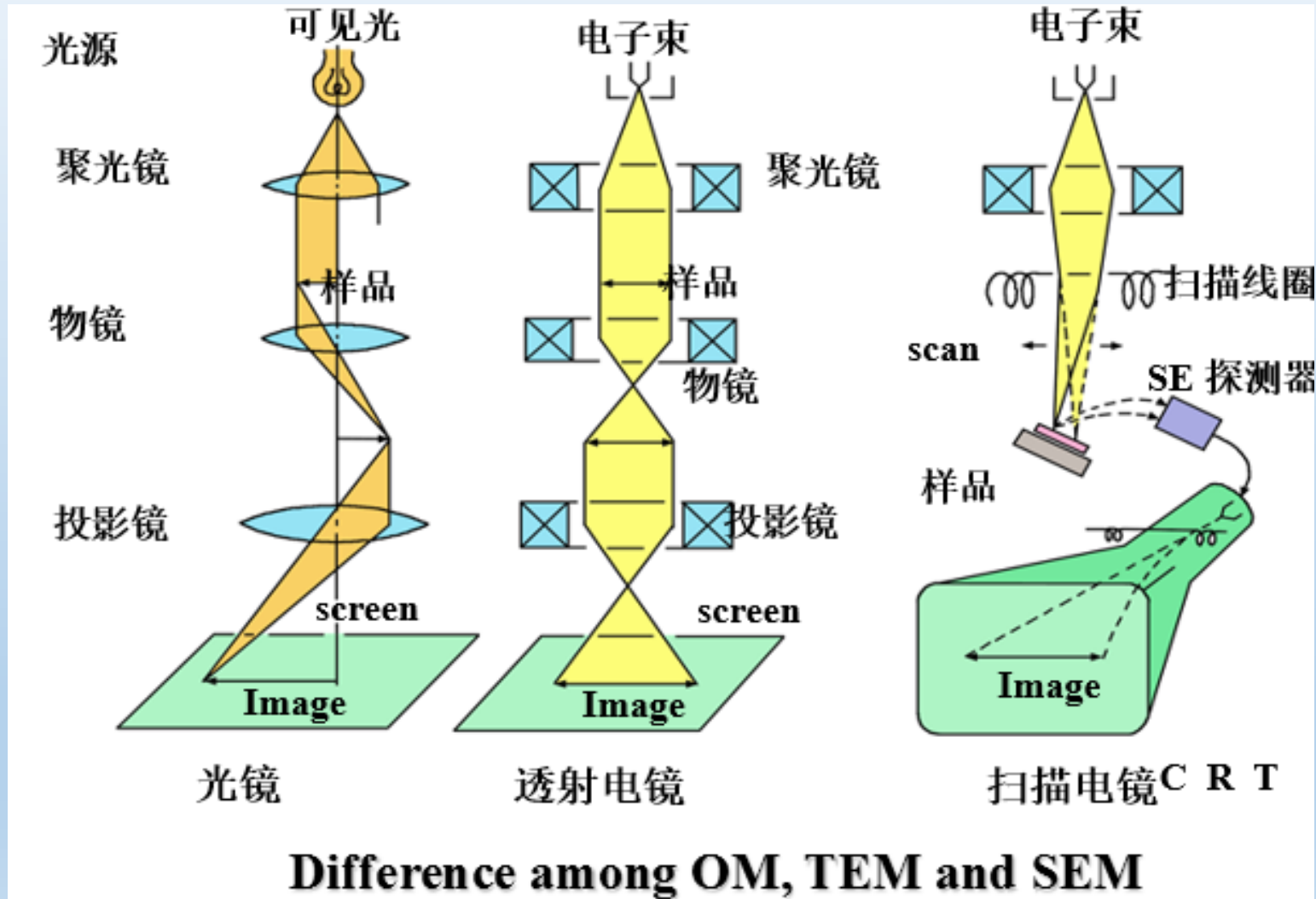




SEM培训

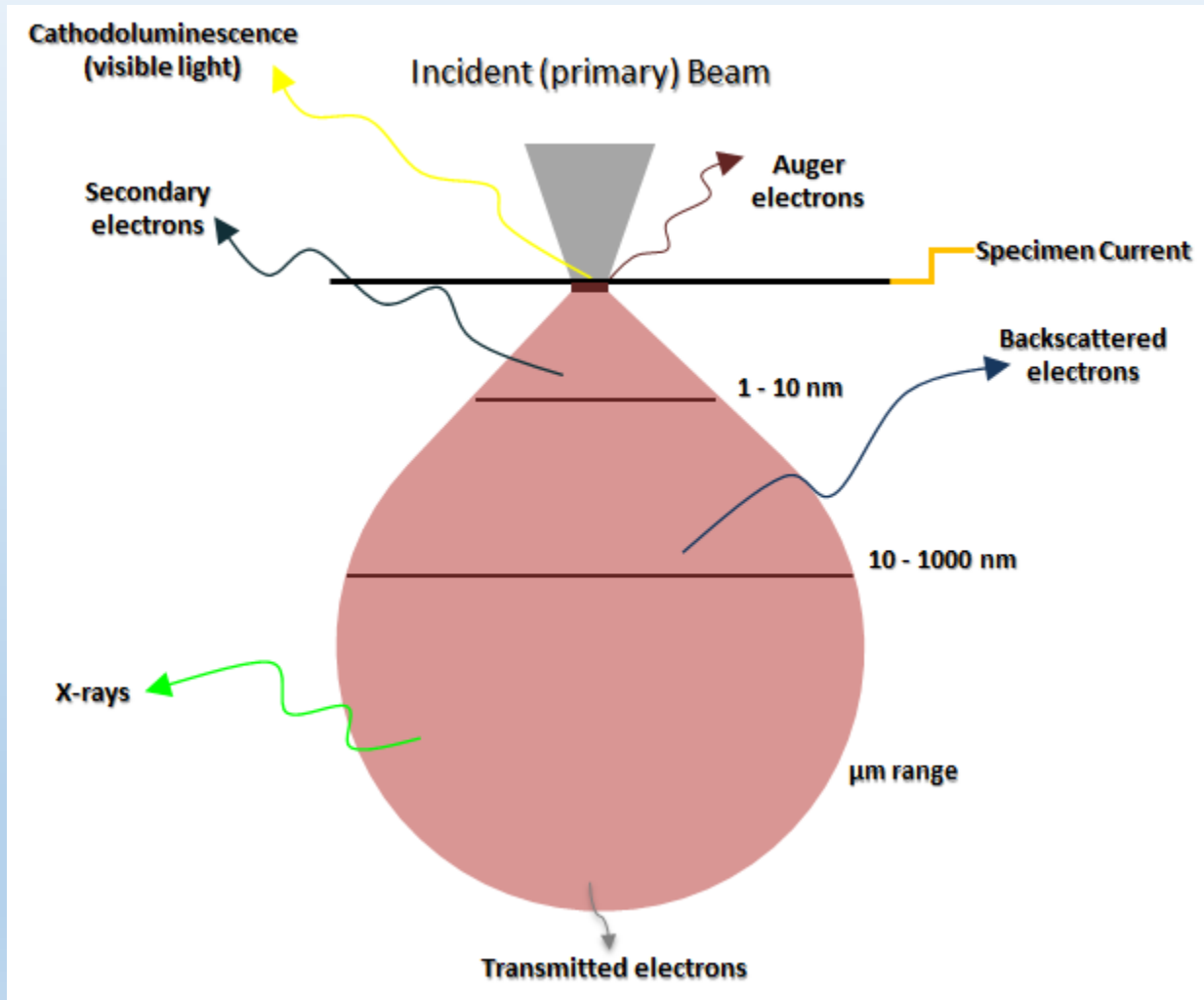


**Global Supplier of Scanning Electron Microscopes**



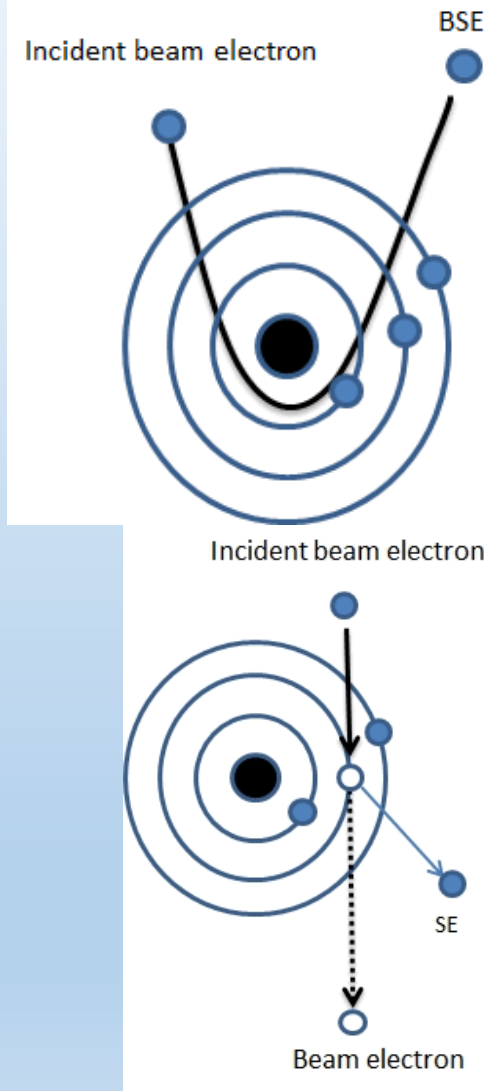
Characteristic		Type	O M	T E M	S E M
Hardware	Voltage		—	High Voltage 25~300kV	High Voltage 0.5~30kV
	Illumination Source		Light	Electron	Electron
	Observation		In Air	In Vacuum	In Vacuum
	Lens		Glass	Pole Piece	Pole Piece
Software · Performance	Resolution		5 ~ 0.1 $\mu$ m	0.5 ~ 0.1 nm	7 ~ 0.6 nm
	Focus Depth (X500)		Shallow (2~3 $\mu$ m)	Deep (500 $\mu$ m)	Deep (0.1~1mm)
	x-rays Analysis		Not possible	Possible	Possible
	Color		Color	Black and White	Black and White
	Magnification		~ × 1K	~ × 1000K	~ × 800K
	Field of View		Large	Small	Large
	Specimen Preparation		Easy	Complicated	Easy
	Specimen Size		Large	Small	Large
	Metal coating		Not necessary	Not necessary	Necessary
	Image		Transmitted Image or Surface Image	Transmitted Image	Surface Image

# 扫描电子束与样品作用产生的主要信号



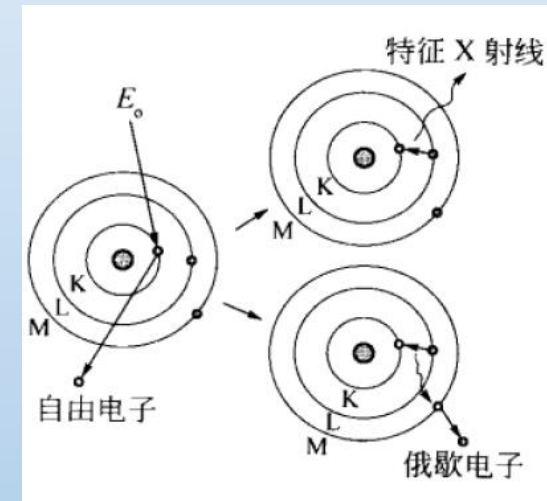
## SEM的主要三种信号

- 背散射电子（**BSE**）：入射电子受到样品中原子核散射而大角度反射回来的原子，能量接近于入射电子，既能反映样品的形貌，又能显示样品的成分信息。
- 二次电子（**SE**）：高能入射电子与样品原子核外电子相互作用，使核外电子电离产生的电子，能够反映样品的表面形貌特征。



## SEM的主要三种信号

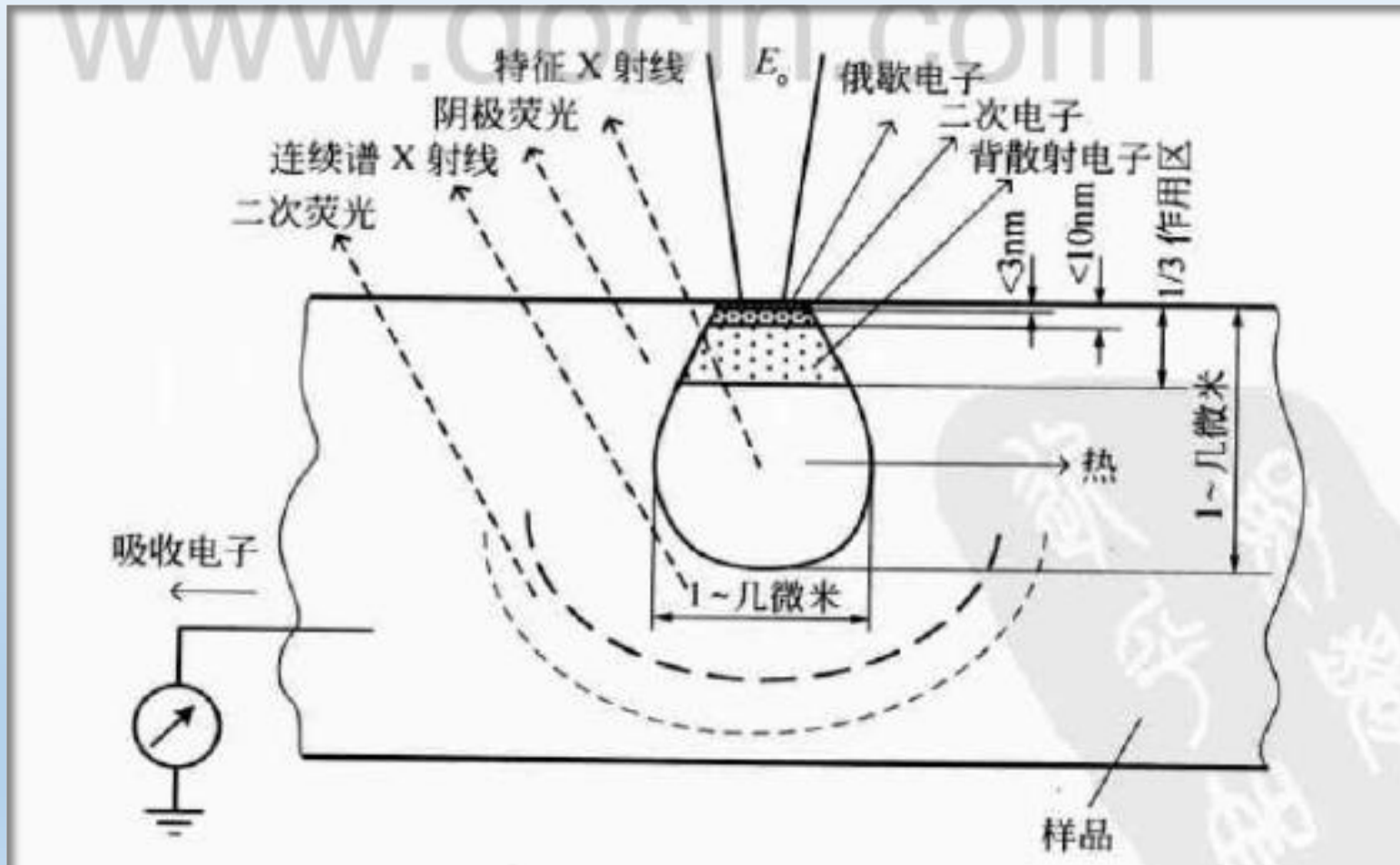
●特征X射线（Characteristic X-ray）：  
入射电子激发样品原子的内层电子，外层电子跃迁至内层时，多余能量以产生特征X射线的形式释放，用于样品化学成分的稳定性和定量分析。



## 其他信号

- 透射电子（TE）：电子穿透样品的部分。被STEM探头接收，可形成类似于TEM的明场和暗场图像。
- 阴极荧光（CL）：入射电子使试样原子的内电子发生电离，高能级的电子向低能级跃迁时发出的光波长较长(在可见光或紫外区)，称为阴极荧光，可用作光谱分析，但它通常非常微弱。
- 俄歇电子（Auger electron）：入射电子激发样品原子的内层电子，外层电子跃迁过程中释放的能量不足以以X射线形式释放。而是将核外另一电子打出，脱离原子变为二次电子，这种二次电子叫俄歇电子，主要用于轻元素和超轻元素(除H和He)的分析。

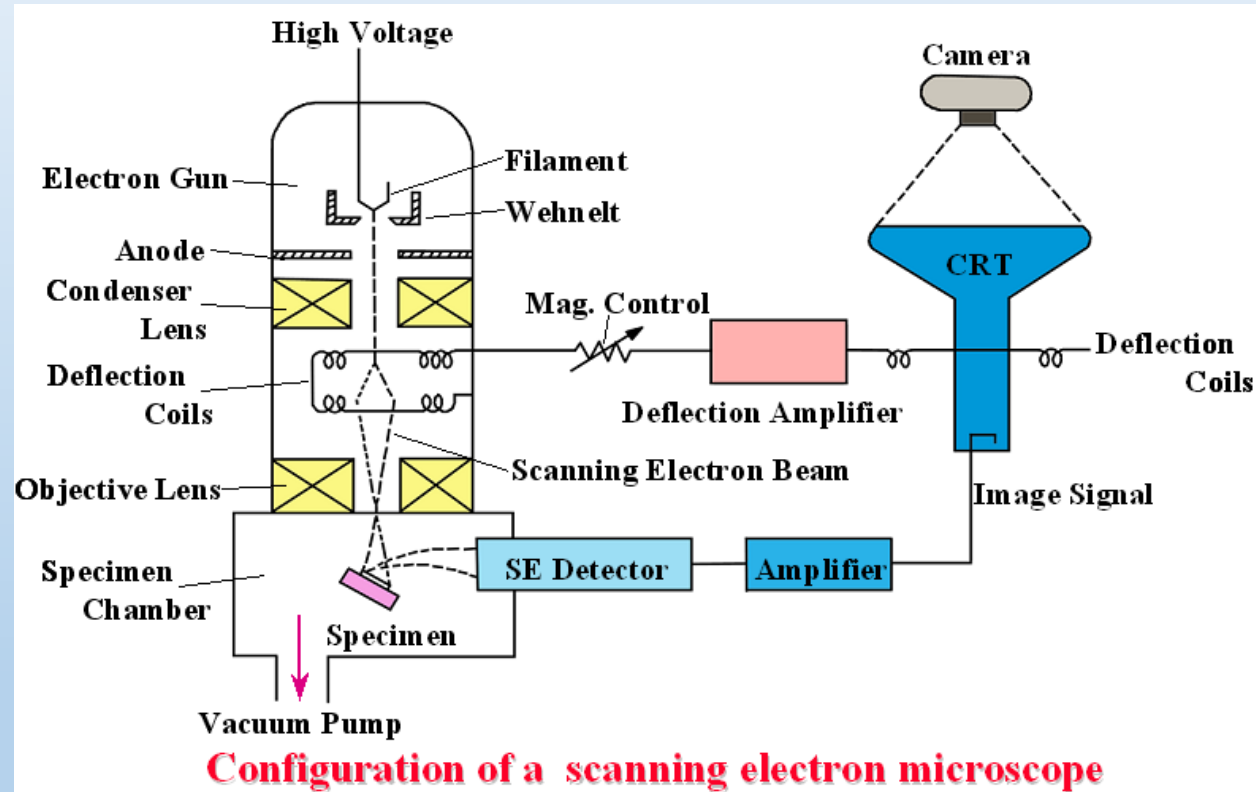
## 电子束与样品相互作用产生信号的体积





## 电子显微镜分为:

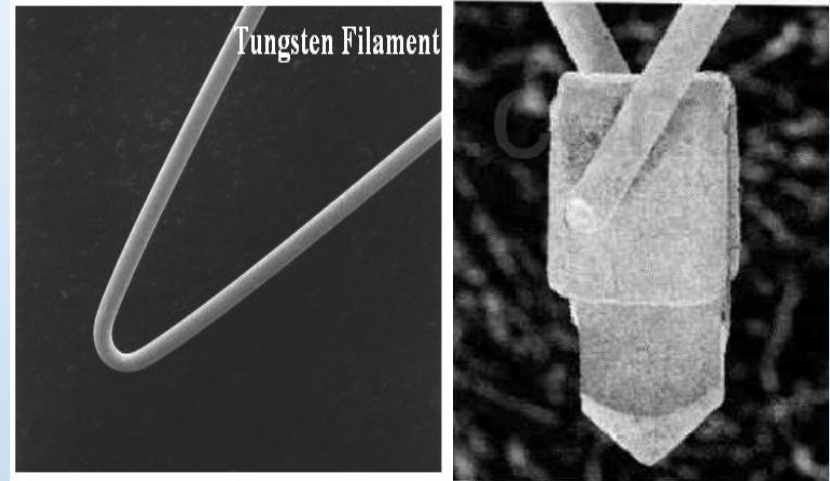
- 电子光学系统
- 信号检测和放大系统
- 图像显示和记录系统
- 样品室及真空系统
- 计算机控制系统
- 电源系统



## 电子枪： 发射电子束的电子源。

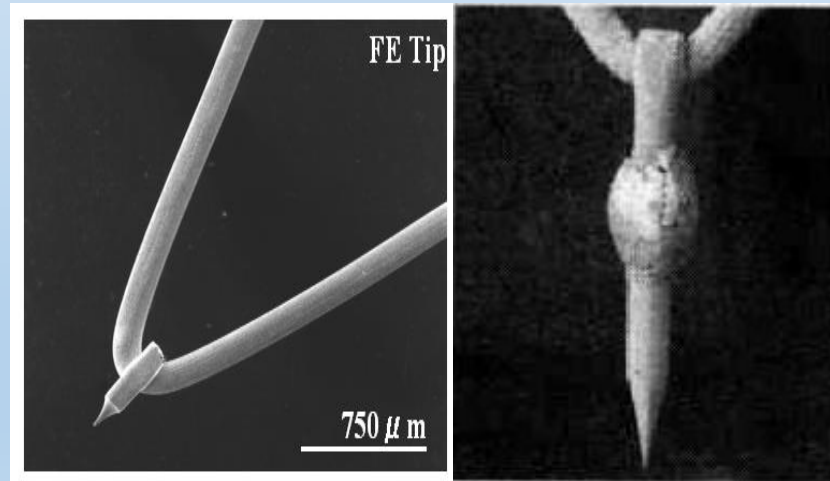
### I. 热发射式电子枪：

1. 钨丝
2. 六硼化镧 (  $\text{LaB}_6$  )

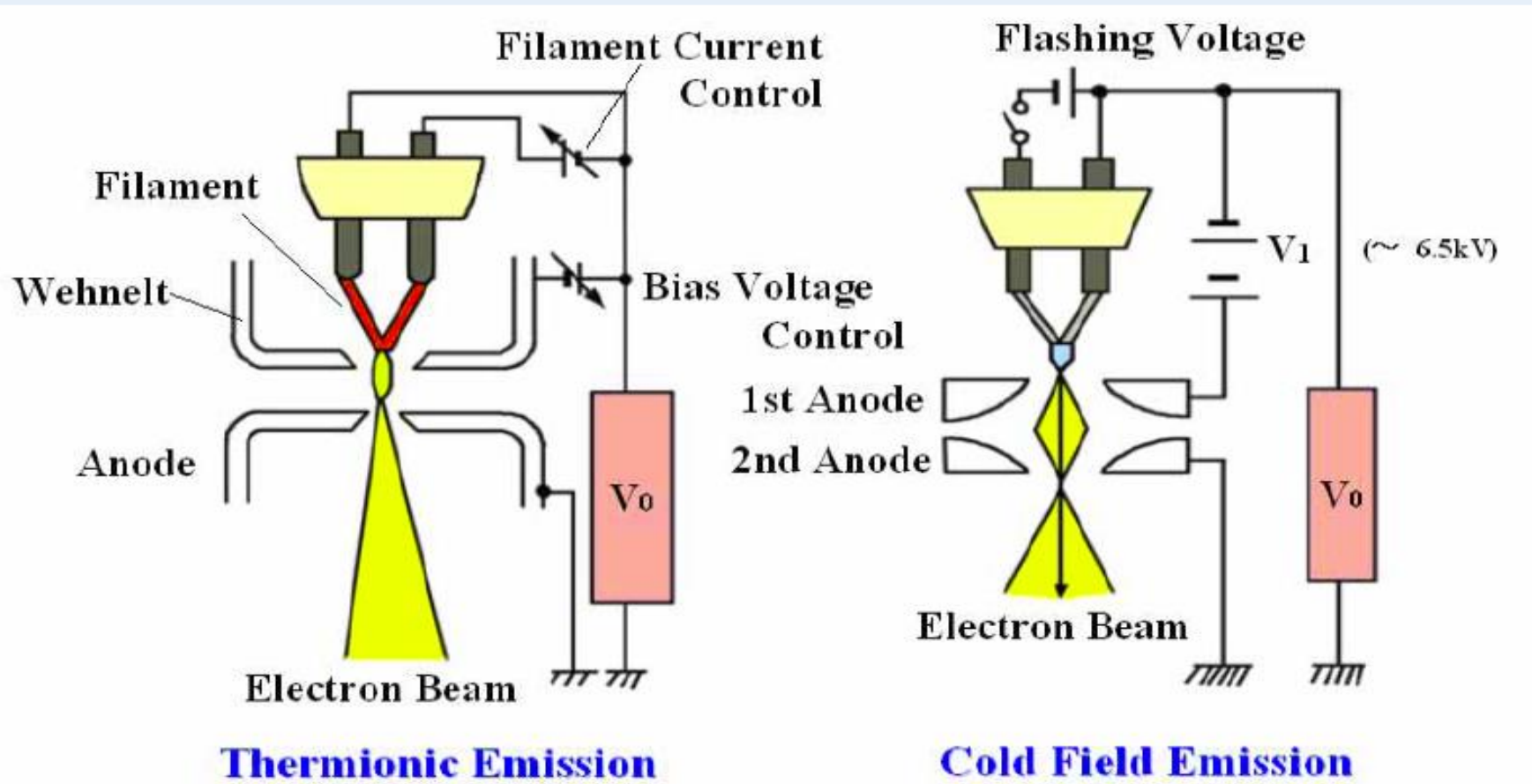


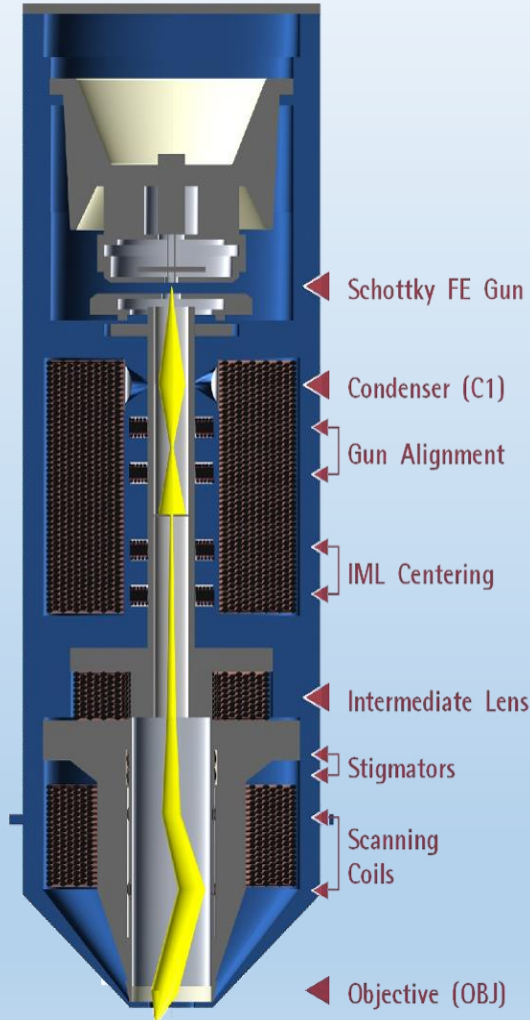
### II. 场发射式电子枪 (FEG) :

1. 冷场 (CFE).
2. 热场 (TFE) - 常使用 Schottky 场发射电子枪 (SFE)



	热发射	热发射	冷场发射	热场发射
阴极材料	W	LaB <sub>6</sub>	W (310)	W/ZrO <sub>2</sub> (100)
工作温度 (K)	2800	1900	300	1800
亮度 (A/(cm <sup>2</sup> ·sr))	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>
束流密度 (A/cm <sup>2</sup> )	3	30	15000	5300
电子源直径 (nm)	50000	5000	2.5	15
最大束流 (nA)	1000	1000	0.2	10
束流稳定 (%/h)	0.1	0.2	5	<0.5
能量分散 (eV)	1.5~2.5	1.5~2.5	0.3~0.7	0.4~0.7
阴极寿命 (h)	50~100	~1000	>2000	~2000
真空度 (Pa)	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-8</sup>	<10 <sup>-7</sup>
图像分辨率 (nm)	3.0	<2.5	<1.0	1.0



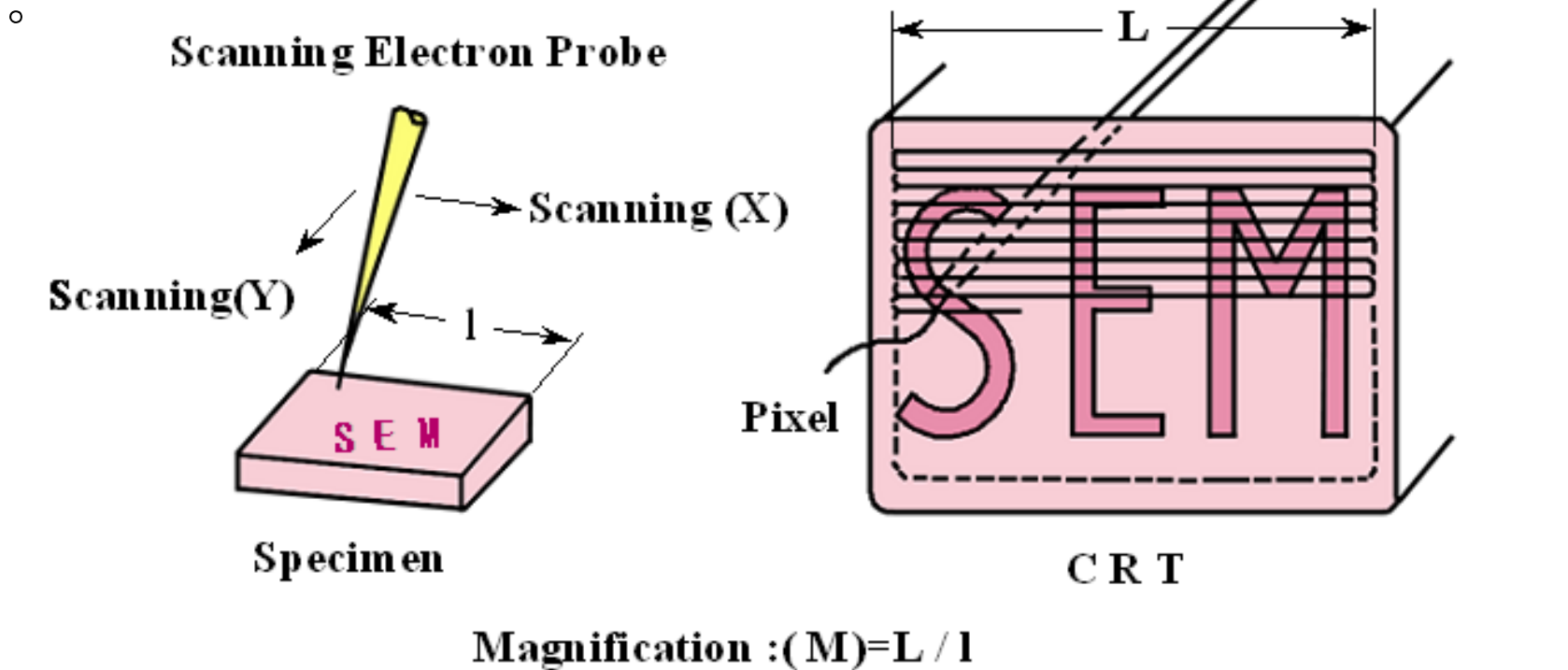


电磁透镜的功能是把电子枪的束斑逐级聚焦缩小，照射到样品上的电子束光斑越小，其分辨率就愈高。

聚光镜系统属于强透镜，由一个或两个透镜组成，调节聚光镜激励可以改变束流大小。物镜属于弱透镜，焦距长，决定了电子束的最终束斑尺寸。主要功能是控制电子束在样品表面聚焦。

此外，物镜内放置扫描线圈、消像散器。

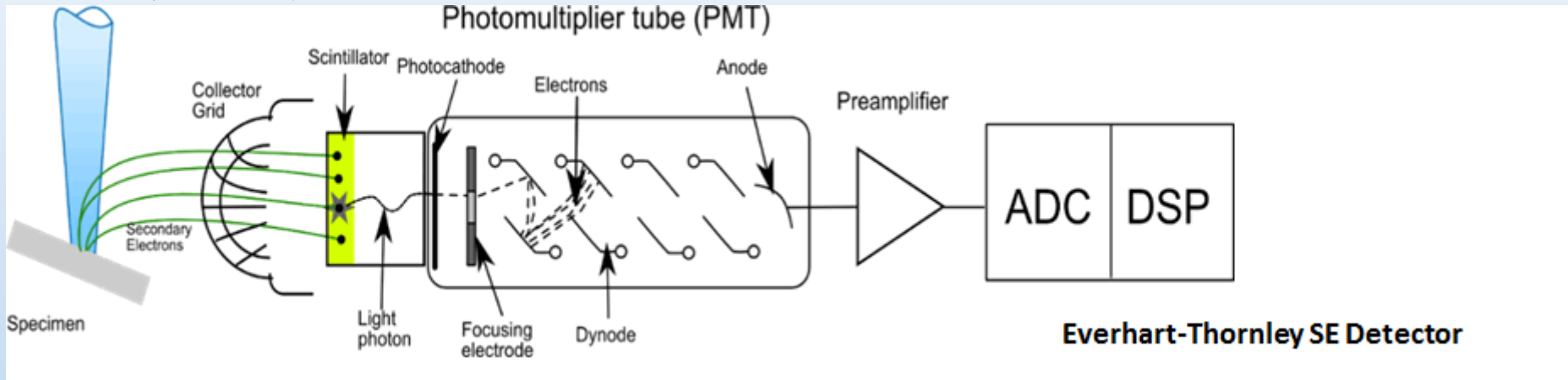
**扫描线圈：**通常由两个偏转线圈组成。在扫描发生器的作用下，电子束在样品表面做光栅状扫描。



样品室的主要部件是样品台，它能进行三维空间的移动，还能倾斜和转动样品以满足观察要求。样品台还可以带有多种附件，例如样品在样品台上加热，冷却或拉伸，可进行动态观察。

此外样品室中四壁应有数个备用窗口，除安装电子检测器外，还能同时安装其他检测器和谱仪，以便进行综合性研究。

## 二次电子探测器

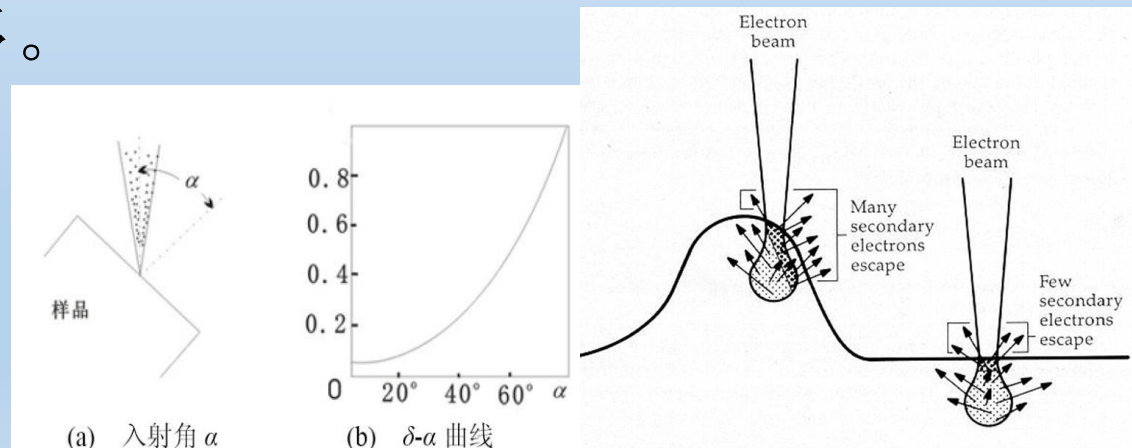


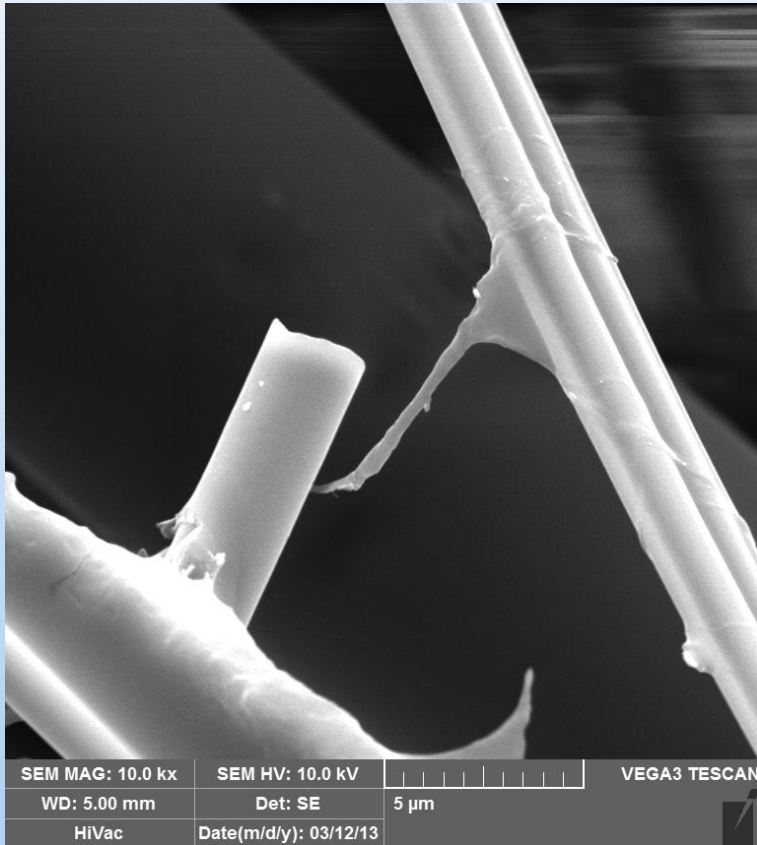
**工作原理：**信号电子撞击并进入闪烁体后，将引起电离，当离子与自由电子重新复合时，产生光子，这些光子沿着具有全反射性能的光导管送至光电倍增管又转换成大量电子，并且被放大，输出可达10mA，经前置放大器放大后作为显示屏亮点的调制信号；实际上是信号电子先转换为光子，再大量转换成电子的过程。



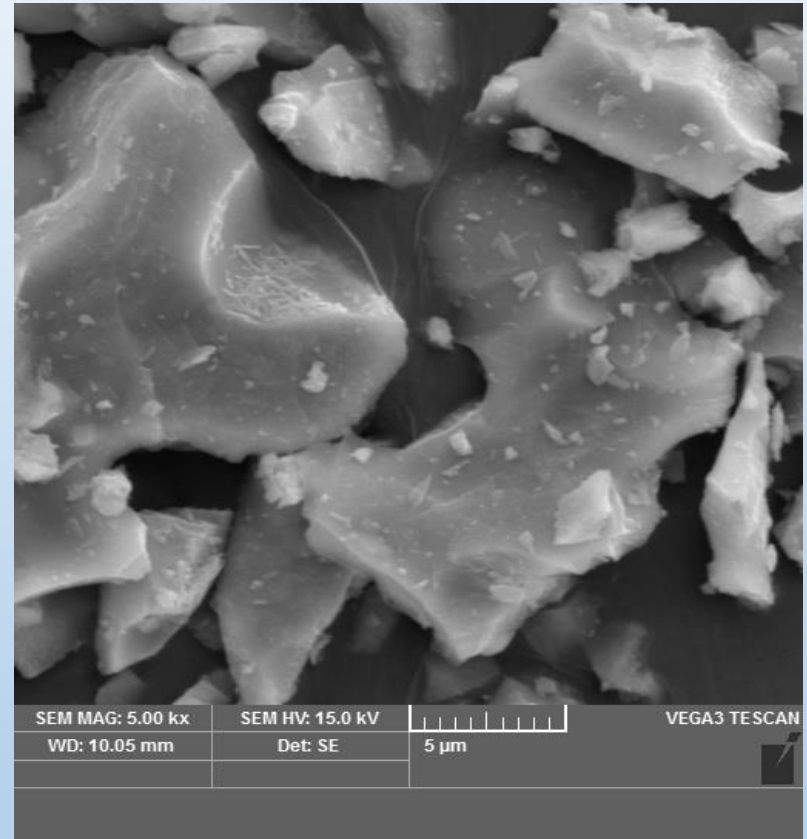
## 二次电子像 (SEI)

二次电子主要来自表面下  $<10\text{nm}$  的浅层区域，它的强度与样品微区的形貌相关。二次电子产额  $\delta$  与二次电子束与试样表面法向夹角有关， $\delta \propto 1/\cos\theta$ 。因为随着  $\theta$  角增大，入射电子束作用体积更靠近表面层，作用体积内产生的大量自由电子离开表层的机会增多；其次随  $\theta$  角的增加，总轨迹增长，引起价电子电离的机会增多。





纤维二次电子像



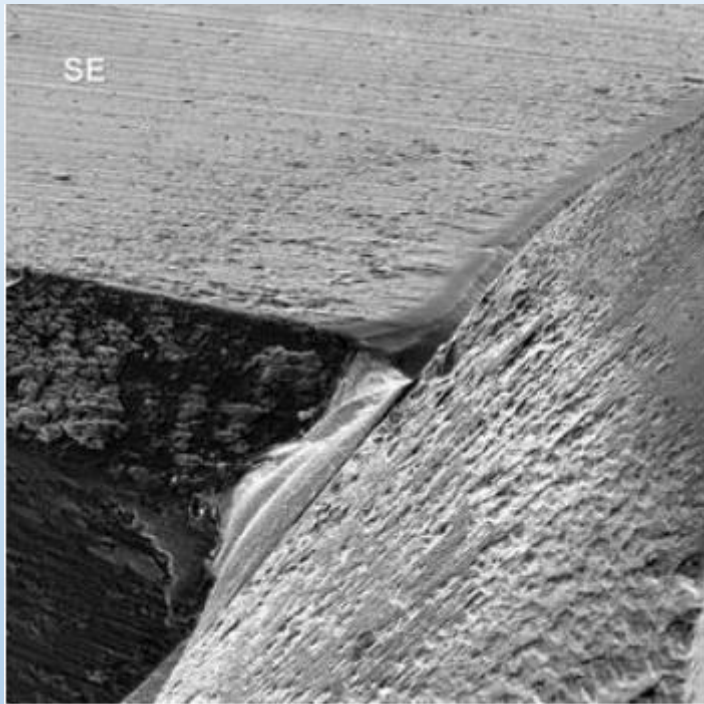
陶瓷粉末二次电子像

## 背散射电子像（BEI）

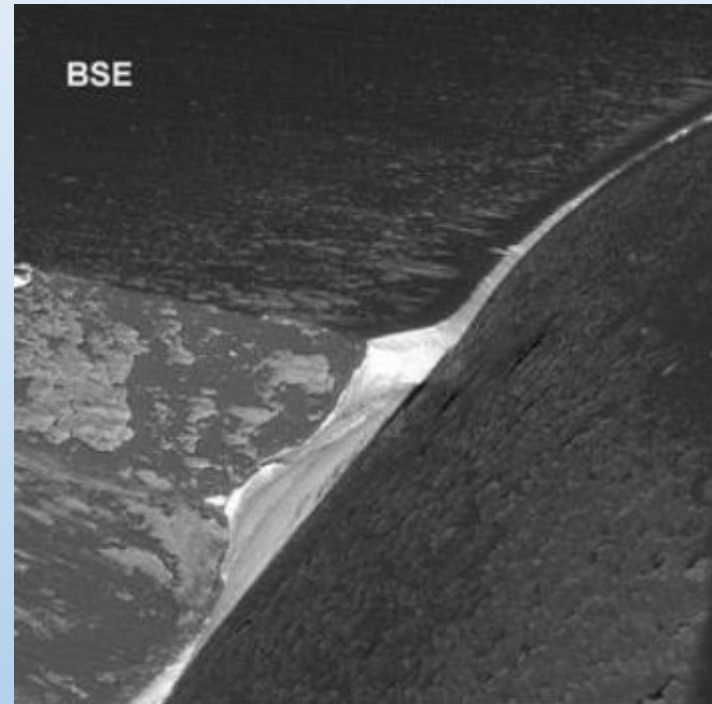
背散射电子既可以用来显示形貌衬度，也可以用来显示成分衬度。

- 1、形貌衬度：用背散射信号进行形貌分析时，其分辨率比二次电子低。因为背散射电子来自一个较大的作用体积，此外，背散射电子能量较高，它们以直线轨迹逸出样品表面，对于背向检测器的样品表面，因检测器无法收集到反射电子，而掩盖了许多有用的细节。
- 2、成分衬度：成分衬度也是原子序数衬度。样品中原子序数较高的区域中由于收集到的电子数量较多，荧光屏上的图像较亮。样品中重元素区域在图像上是亮区，而轻元素在图像上是暗区。

## SEI和BEI的对比



(a) 二次电子图像



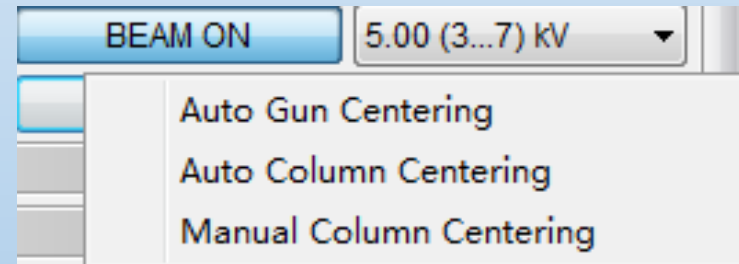
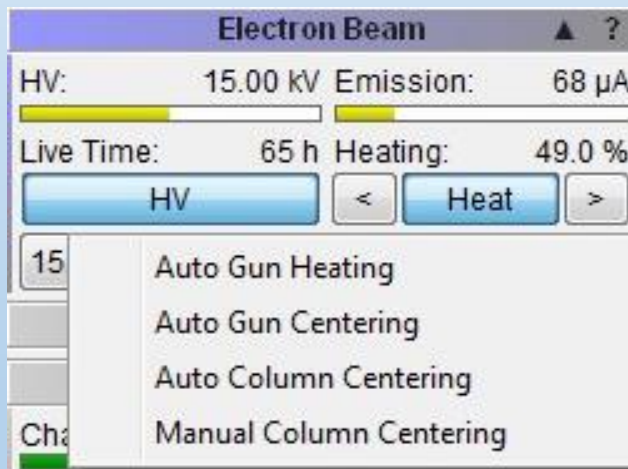
(b) 背散射电子图像

- 导电性、干燥样品：如金属，直接观察；
- 不导电、坚硬样品：如矿质、木材，使其干燥程度予以干燥并镀金；
- 不导电、潮湿样品：如生物样品，固定（fixation）  
——→ 脱水(dehydration) ——→ 干燥（drying） ——→  
覆膜（coating）。

## □ 电子光学系统合轴

扫描电镜的电子光学系统由电子枪、聚光镜、物镜和物镜光阑组成，为保证电子束沿这些部件的轴线穿行，必须调节这些部件同轴，这就是“合轴调整”，也称“轴线对中”。合轴好的系统成像最亮，像差最小，分辨率明显改善。

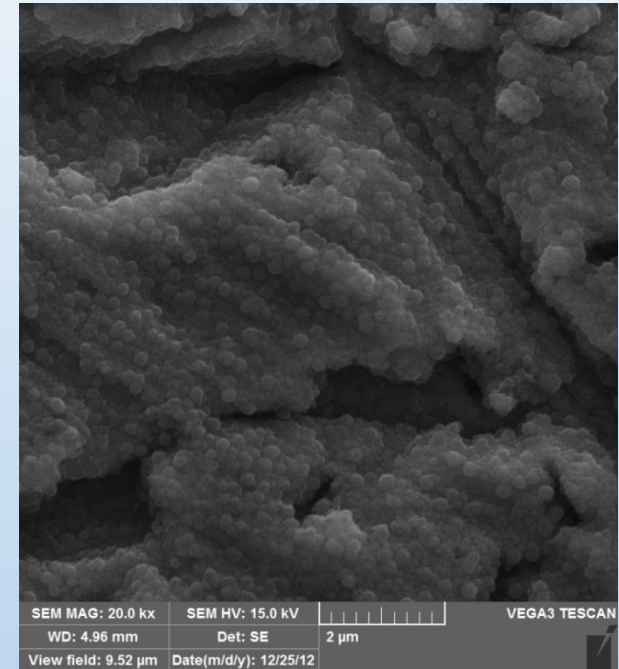
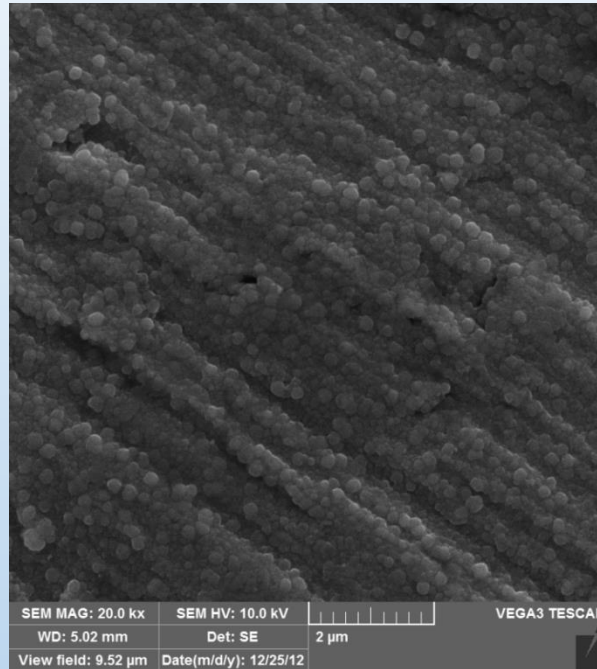
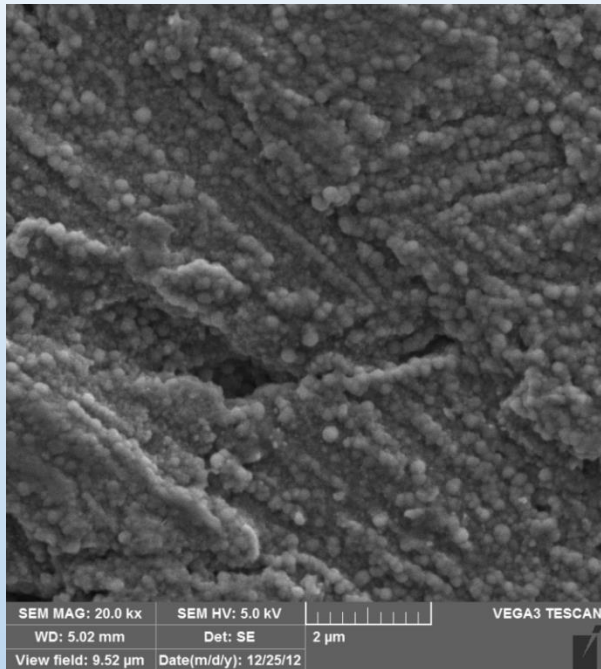
对于TESCAN的电镜，电子枪合轴和透镜合轴分别通过软件“Auto Gun Centering”、“Auto Column Centering”实现；聚焦时若出现图像漂移，需通过“Manual Column Centering”手动进行物镜光阑合轴；



## □ 加速电压的选择

加速电压对于钨灯丝扫描电镜通常选15kV-20kV，场发射选5kV-10kV，然而这不是绝对的。对于纤维、橡胶、塑料、有机物或生物材料等热敏样品，高加速电压会引起热损伤或荷电效应，即使镀了导电膜也无济于事，须选用10kV以下的加速电压或减低束流操作。有时为了观察样品表面细节，加速电压高电子束穿透太深，表面细节看不到，需选用较低的加速电压。





加速电压分别为5kV、10kV、15kV的SEM图像

## □ 工作距离

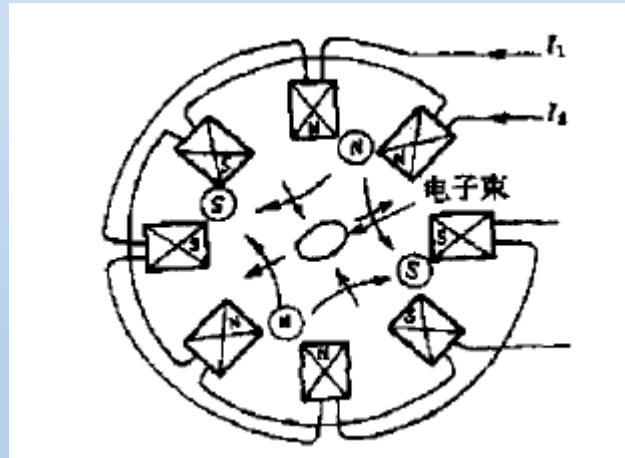
工作距离是指样品与物镜下端的距离。要获得高的图像分辨率，必须选择小的工作距离，以获得小的束斑直径，但是景深差。如果观察的试样是凹凸不平的表面，要获得较大的景深，必须采用较大的工作距离。

## □ 聚光镜调节

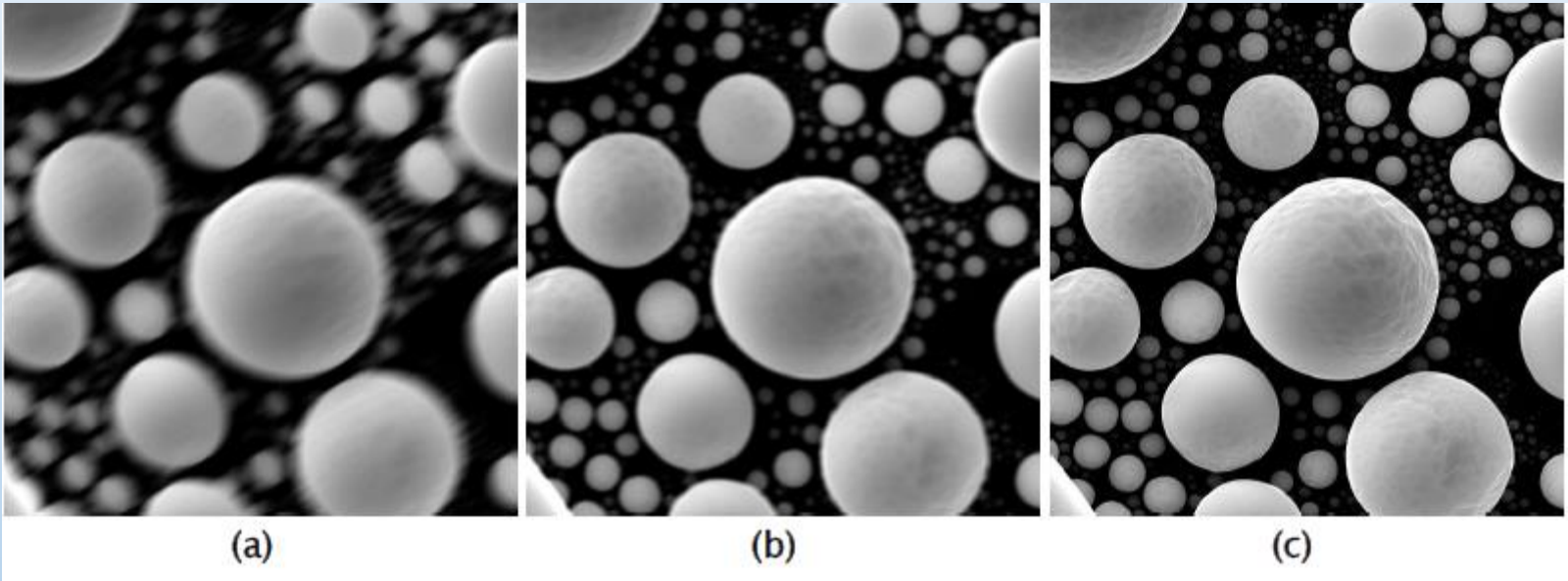
电子束的束斑直径是随着聚光镜电流的增加而减小的，因此高的聚光镜电流对提高图像的分辨率是有利的，但对信噪比不利；低的聚光镜电流则刚好相反。为了兼顾这种矛盾，一般方法是：（1）先选取中等水平的聚光镜电流；（2）如果对观察试样所采用的观察倍数不高，并且图像质量的主要矛盾是由于信噪比不够，则采用较小的电流值；（3）如果要求观察的倍数较高，并且图像质量的主要矛盾是在分辨率，则应逐步增加电流。

## □ 消像散

由于透镜污染或残留磁场的影响，导致透镜磁场不是理想的旋转对称磁场，从而引起像散，无法获得清晰的高倍图像。



八级电磁式消像散器



## □ 样品倾斜

如果样品表面比较光滑，图像衬度比较弱，可将样品向着探测器方向倾斜某个角度，使更多的二次电子离开倾斜表面，增加信号电子的强度。改善图像衬度和分辨率。样品台倾斜时要注意避免碰到物镜下表面或背散射探测器。

## □ 选择合适的视野和放大倍数

随着放大倍数的增加，观察视野相应缩小，英雌应根据观察要求选择合理的放大倍数，确保图像是整个画面既具有研究的内容，又没有遗漏或杂散景物的干扰。

如果样品表面比较光滑，图像衬度比较弱，可将样品向着探测器方向倾斜某个角度，使更多的二次电子离开倾斜表面，增加信号电子的强度。改善图像衬度和分辨率。样品台倾斜时要注意避免碰到物镜下表面或背散射探测器。

## □ 反差和亮度的调节

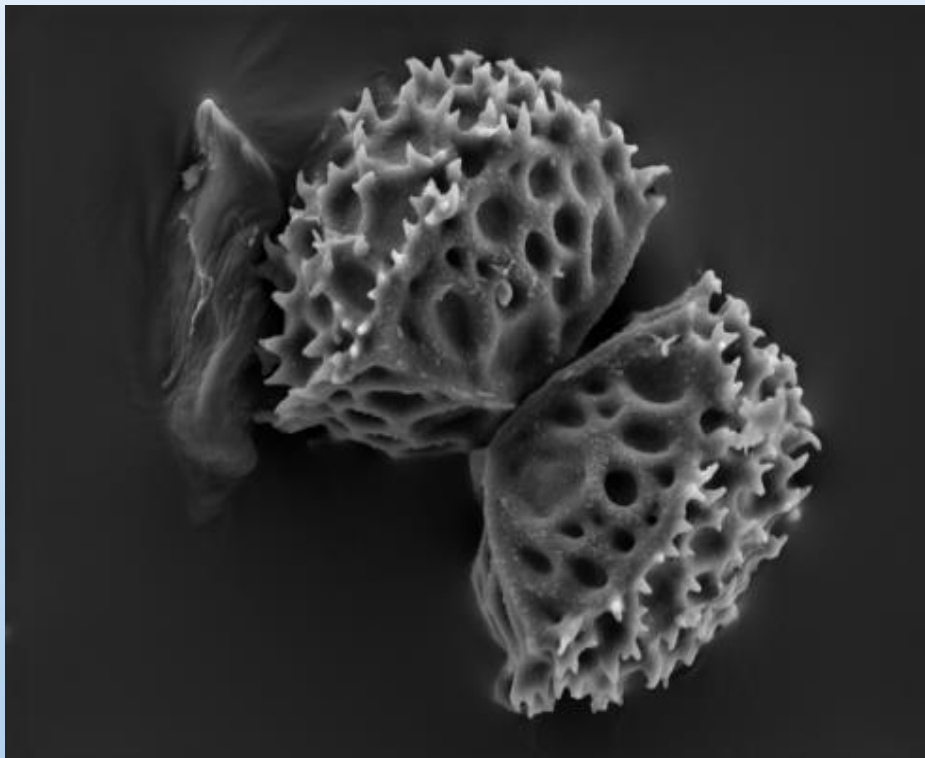
图像的反差是指在图像中最大亮度和最小亮度的比值。如果图像的反差与亮度调整不当，层次少，就会使图像中细节丢失。另外，由于扫描电镜图像的最终成品为照片，那么就有个愿反差大或小的问题，可随个人爱好或研究的目的，调节合适的对比度和光亮度。



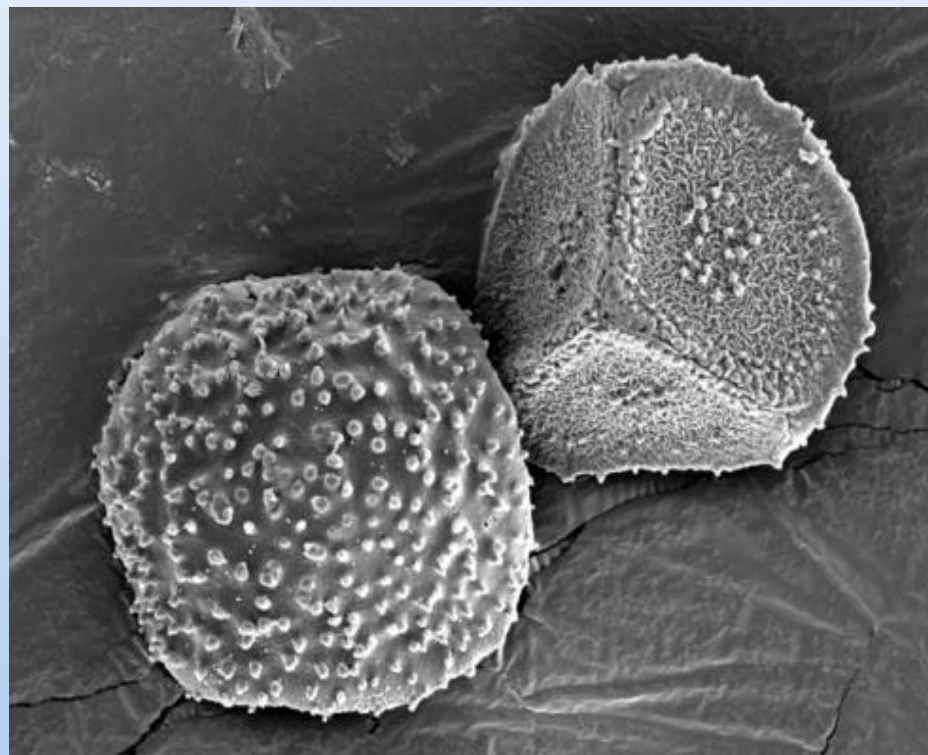
## □ 扫描速度

扫描速度的选择应遵循低倍快扫、高倍慢扫的原则，同时要兼顾导电好的慢扫导电差的快扫以避免荷电效应。

## 植物学

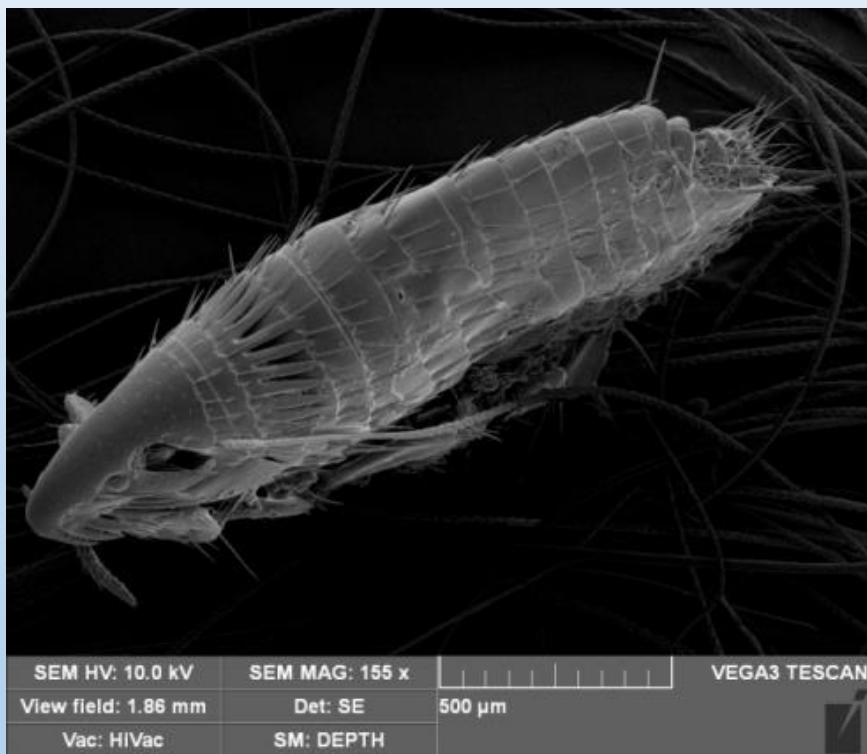


苔藓植物

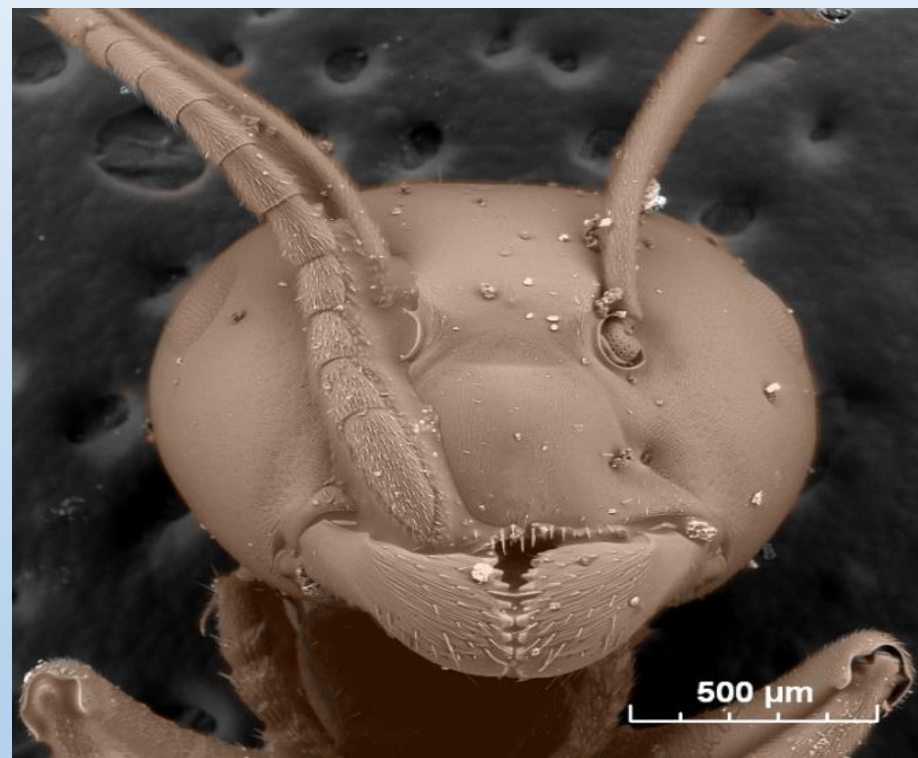


高领黄角苔植物

## 动物学

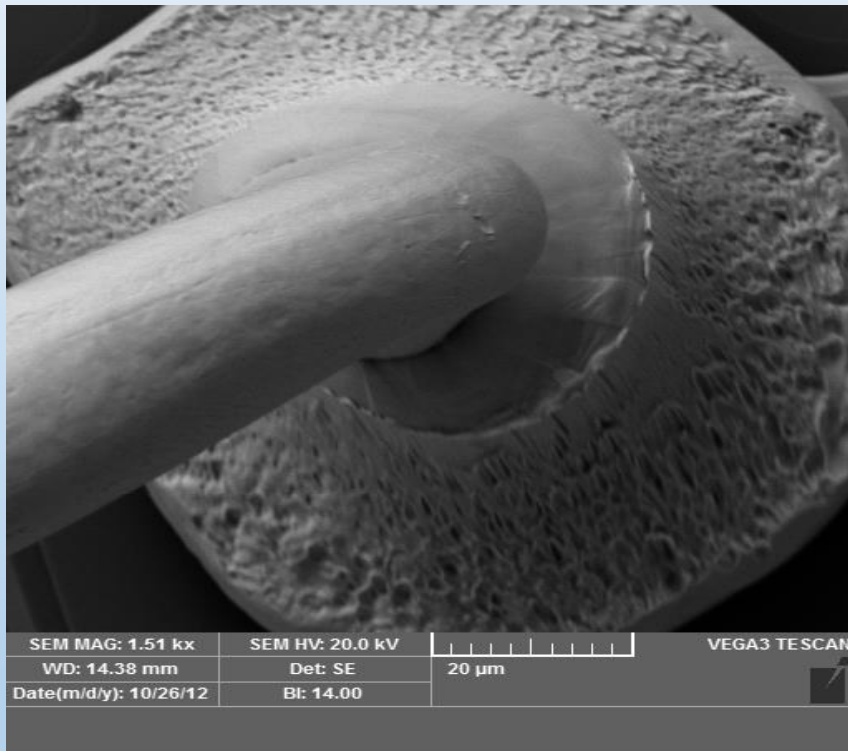


跳蚤

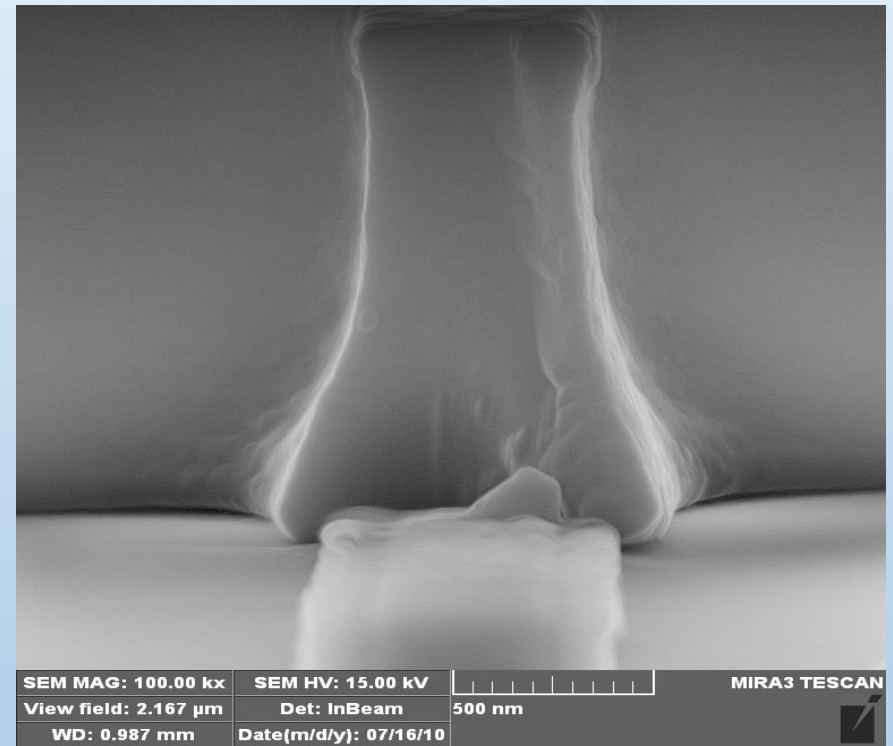


蚂蚁头

## 半导体行业

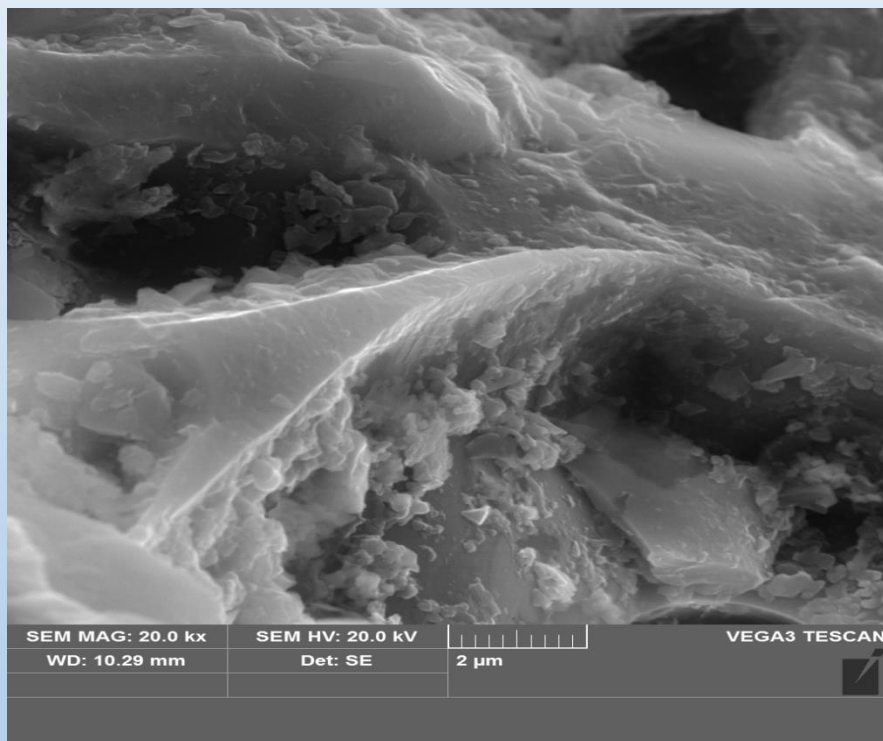


电子产品

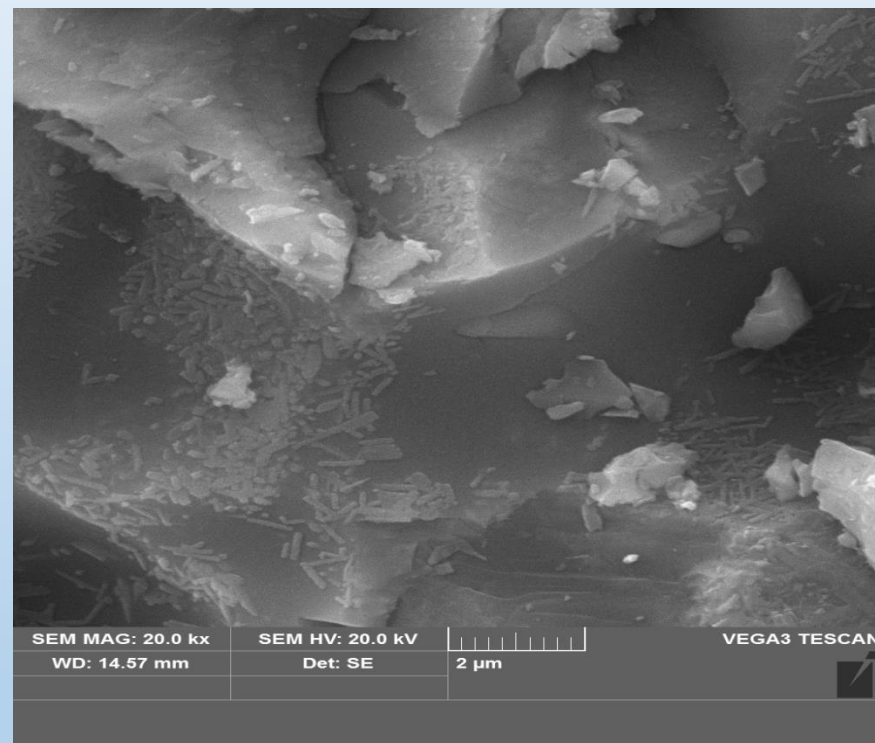


硅片

## 陶瓷行业

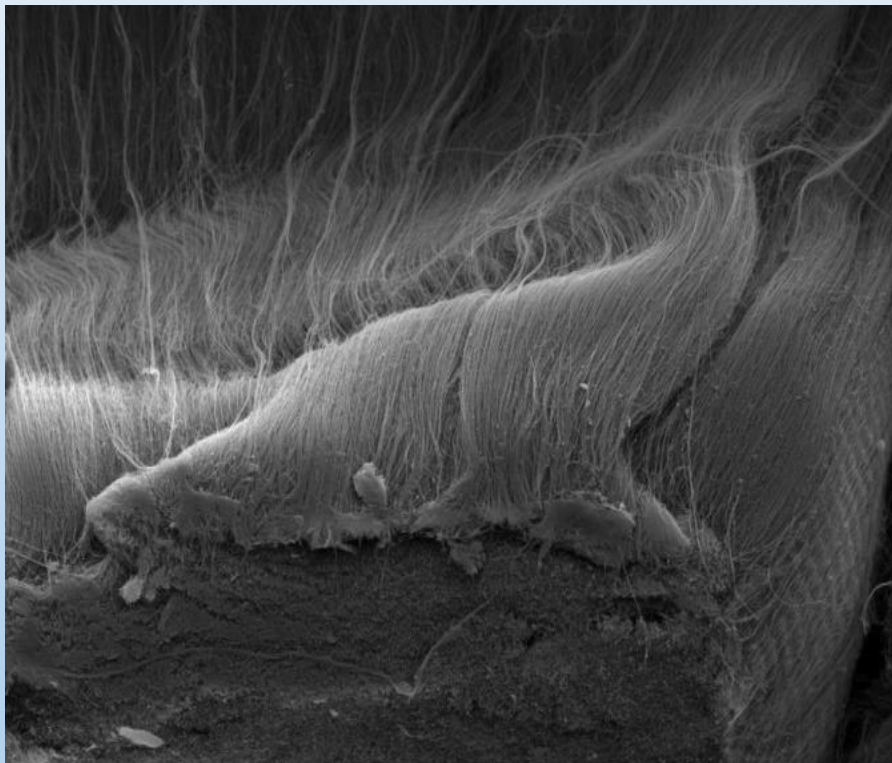


陶瓷断面

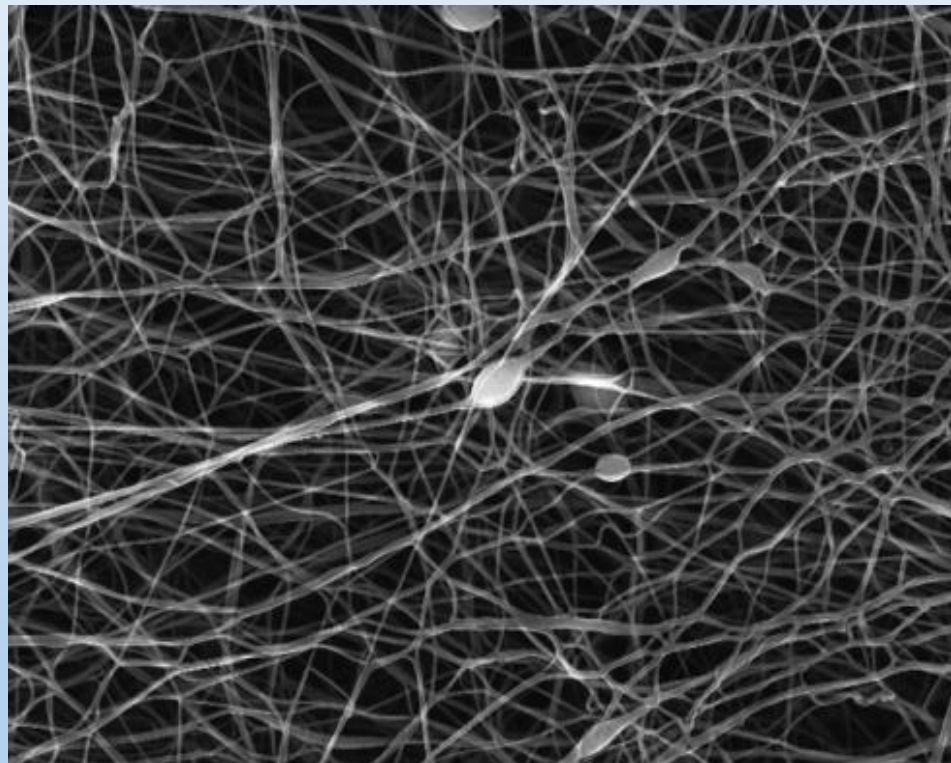


陶瓷粉末

## 材料学

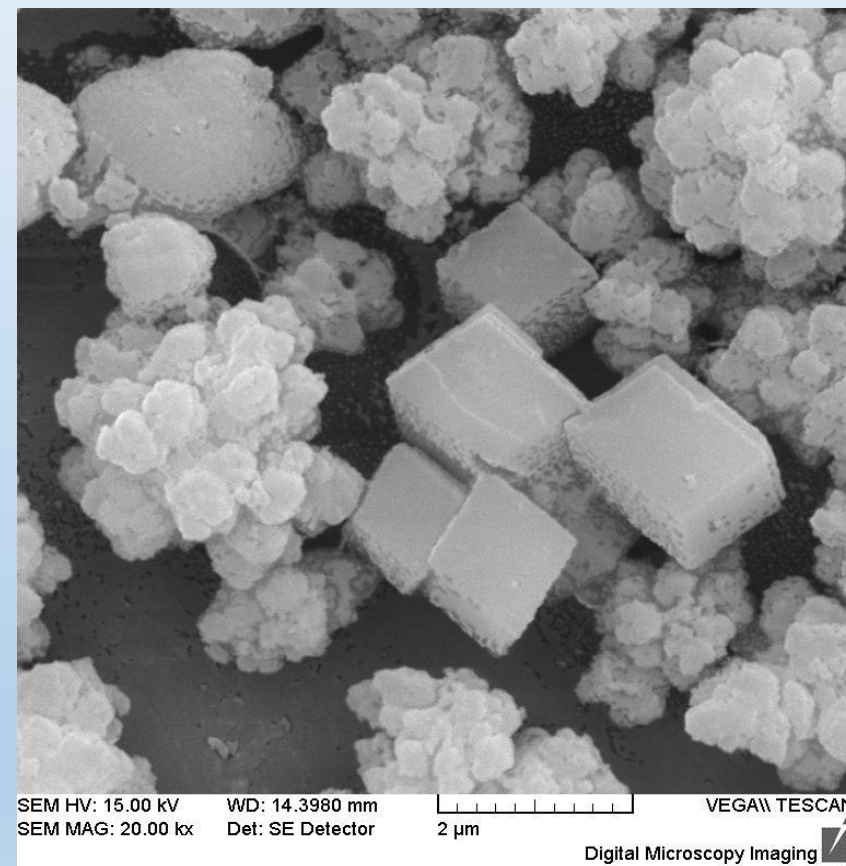
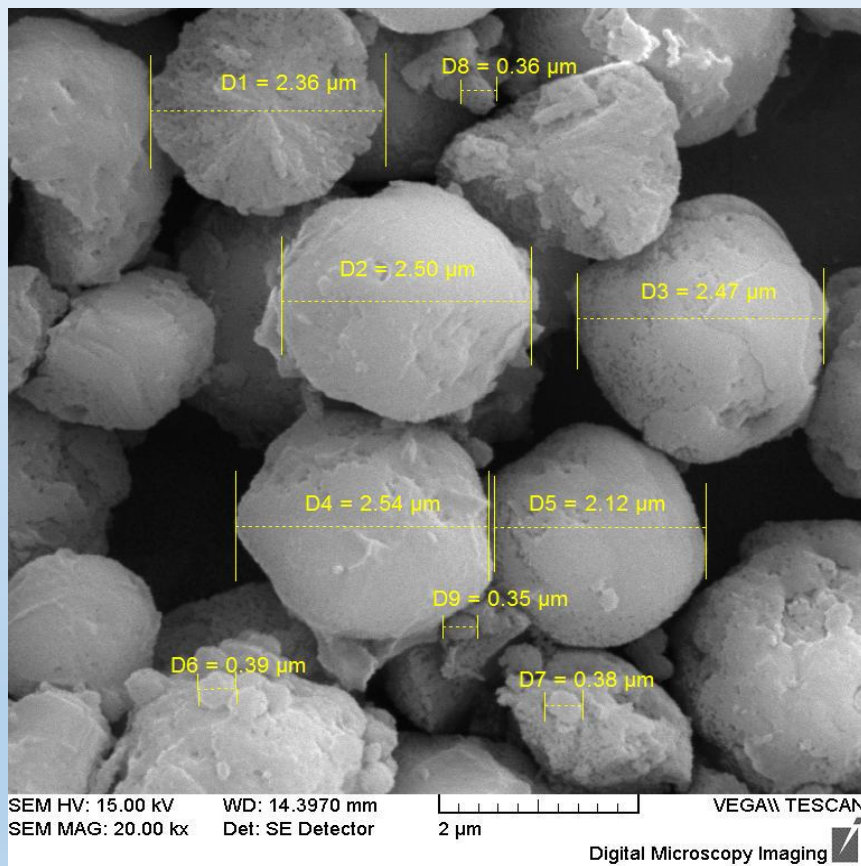


碳纳米管

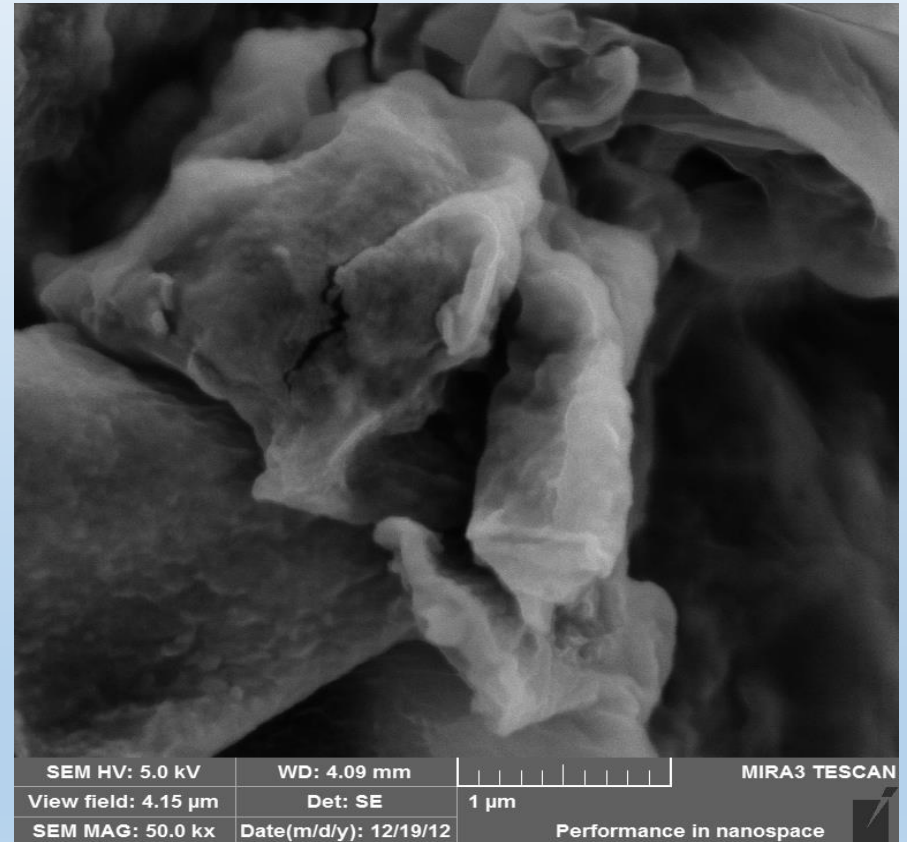
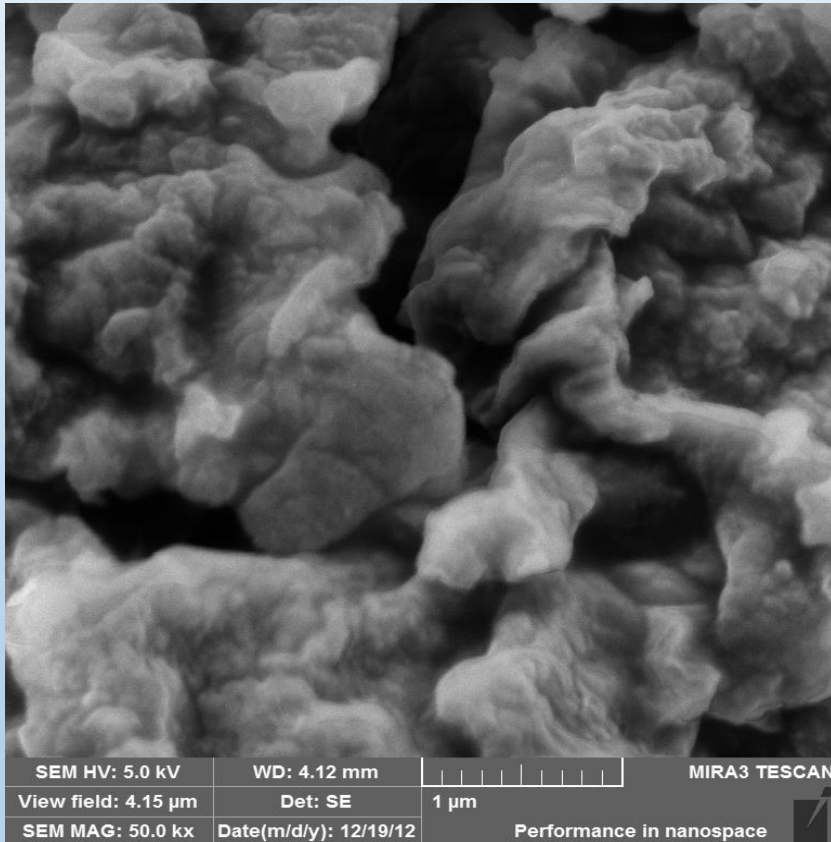


纳米纤维

## 水泥行业

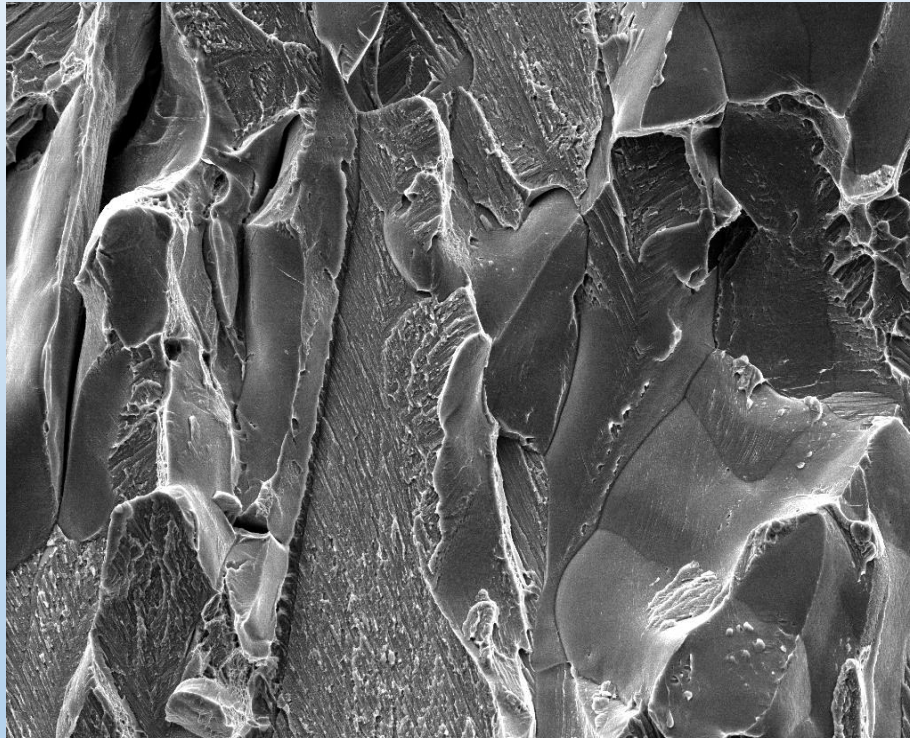


## 制药

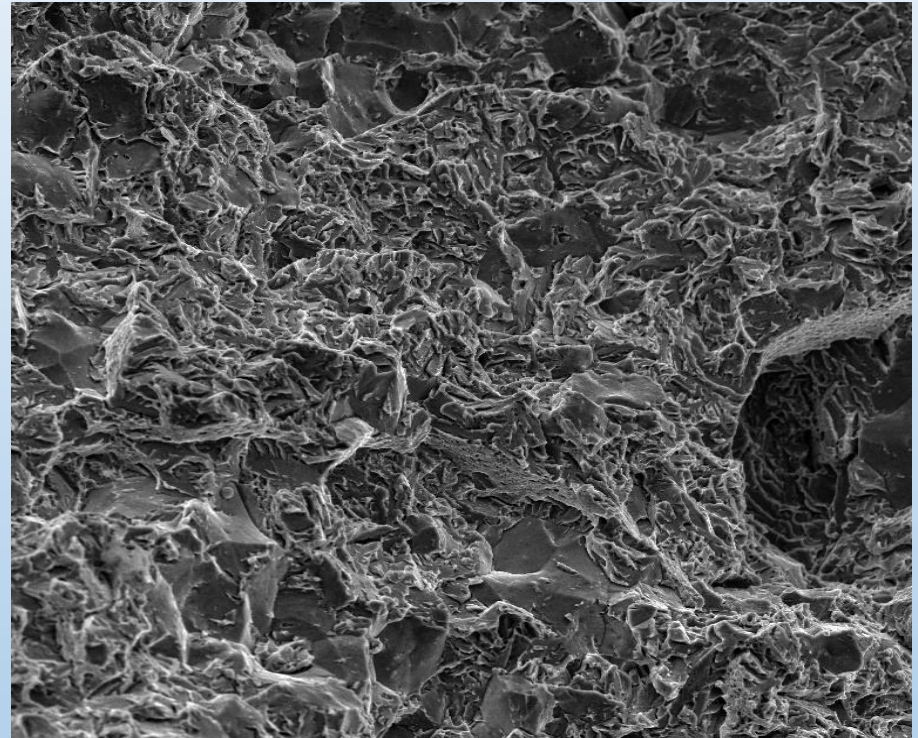




## 断口分析

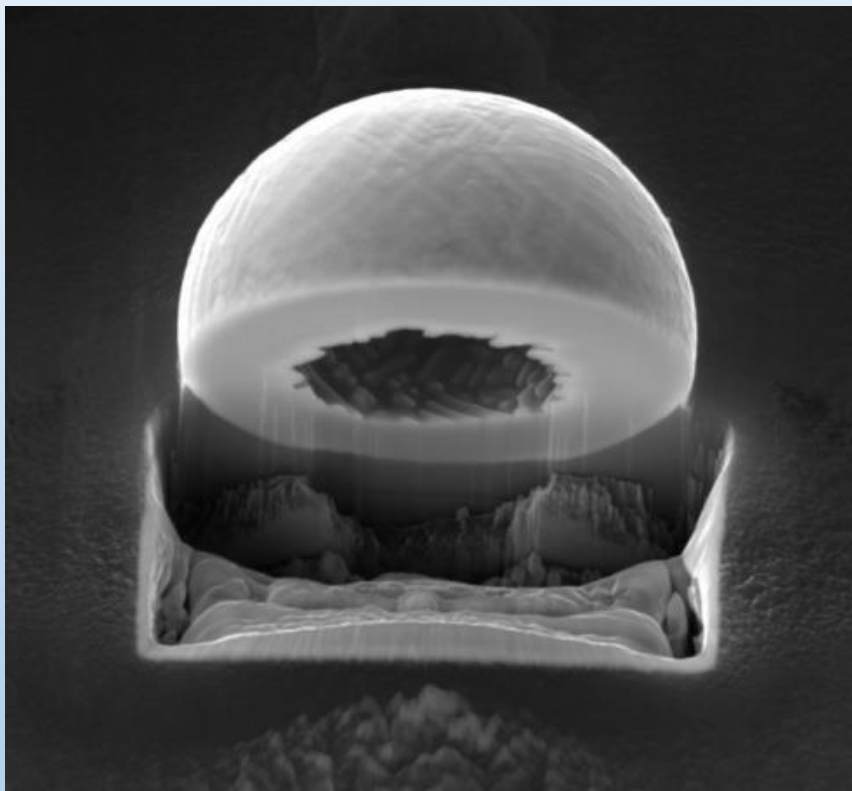


SEM HV: 20.00 kV	WD: 18.73 mm		VEGA3 TESCAN
SEM MAG: 1.00 kx	Det: SE	50 μm	
View field: 253.9 μm	Date(m/d/y): 08/31/10		

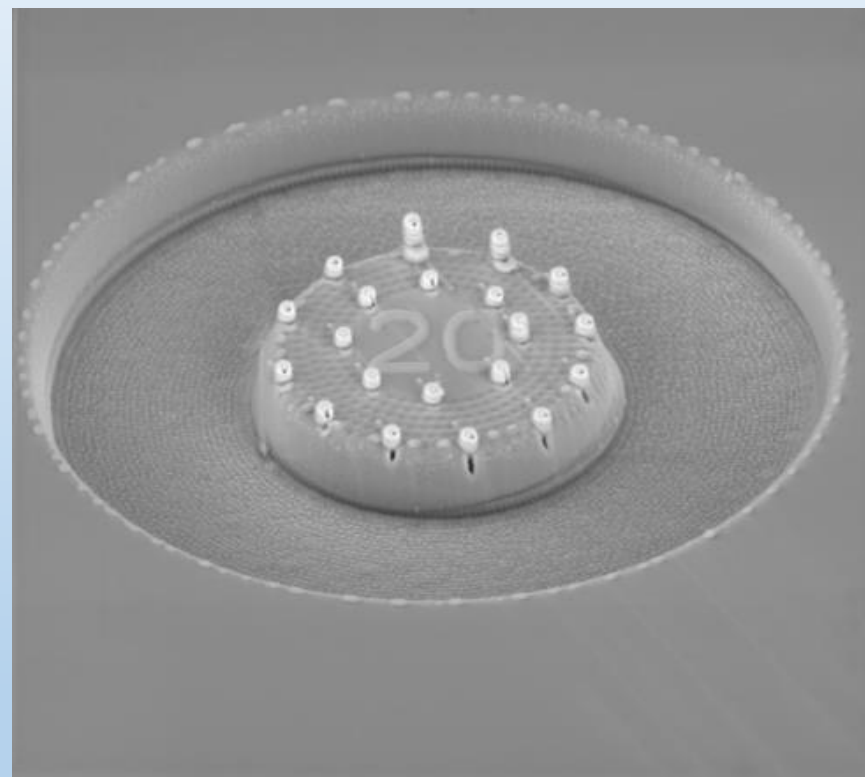


SEM MAG: 957 x	SEM HV: 20.0 kV		VEGA3 TESCAN
WD: 14.11 mm	Det: SE	50 μm	
View field: 199 μm	Date(m/d/y): 12/05/12		

## 其他



Gun shot residue particle cut



蛋糕

# Thank you



泰思肯贸易（上海）有限公司

地址：上海市闵行区莲花路1181号3-105室

电话：021-64398570

传真：021-64806110

[www.tescan-china.com](http://www.tescan-china.com)