



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

扫描电镜分析技术

成像衬度

主讲：杨治刚

目录



在线开放课程

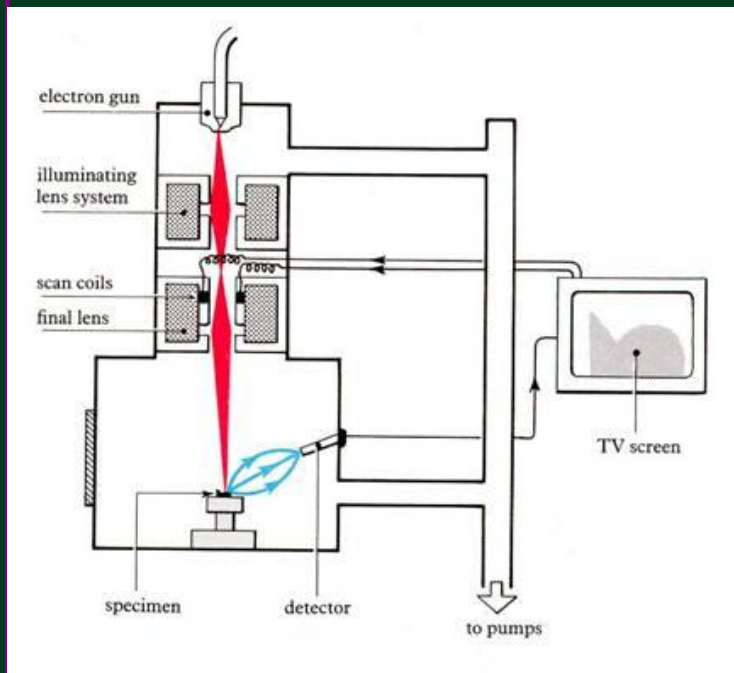
- 扫描电镜工作原理
- 二次电子成像衬度
- 背散射成像衬度

扫描电镜的工作原理

- 扫描电镜的工作原理可以简单地归纳为“**光栅扫描，逐点成像**”。
- 扫描电镜图像的放大倍数定义为

$$M=L/l$$

L 显象管的荧光屏尺寸；
l 电子束在试样上扫描距离。



扫描电镜的主要性能参数



在线开放课程

- 分辨率
- 放大倍数
- 景深



分辨率

SEM的分辨本领与以下因素有关：

➤ 电子束直径

由于扫描成像，小于入射电子束束斑的细节不能分辨。热阴极电子枪的最小束斑直径6nm，场发射电子枪可使束斑直径小于3nm。

分辨率

- 信号的种类
 - 二次电子扫描象的分辨本领最高，约等于入射电子束直径，一般为5-10nm
 - 背散射电子为50-200 nm
 - 吸收电子和X射线为100-1000nm
- 原子序数
- 其他。信噪比、杂散电磁场和机械震动等。

放大倍数

扫描电镜的放大倍数可用表达式

$$M=A_C/A_S$$

A_C 是荧光屏上射线的扫描幅度， A_S 是电子束在样品上的扫描幅度。

目前大多数商品扫描电镜放大倍数为**20-200000倍**，介于光学显微镜和透射电镜之间。

景深

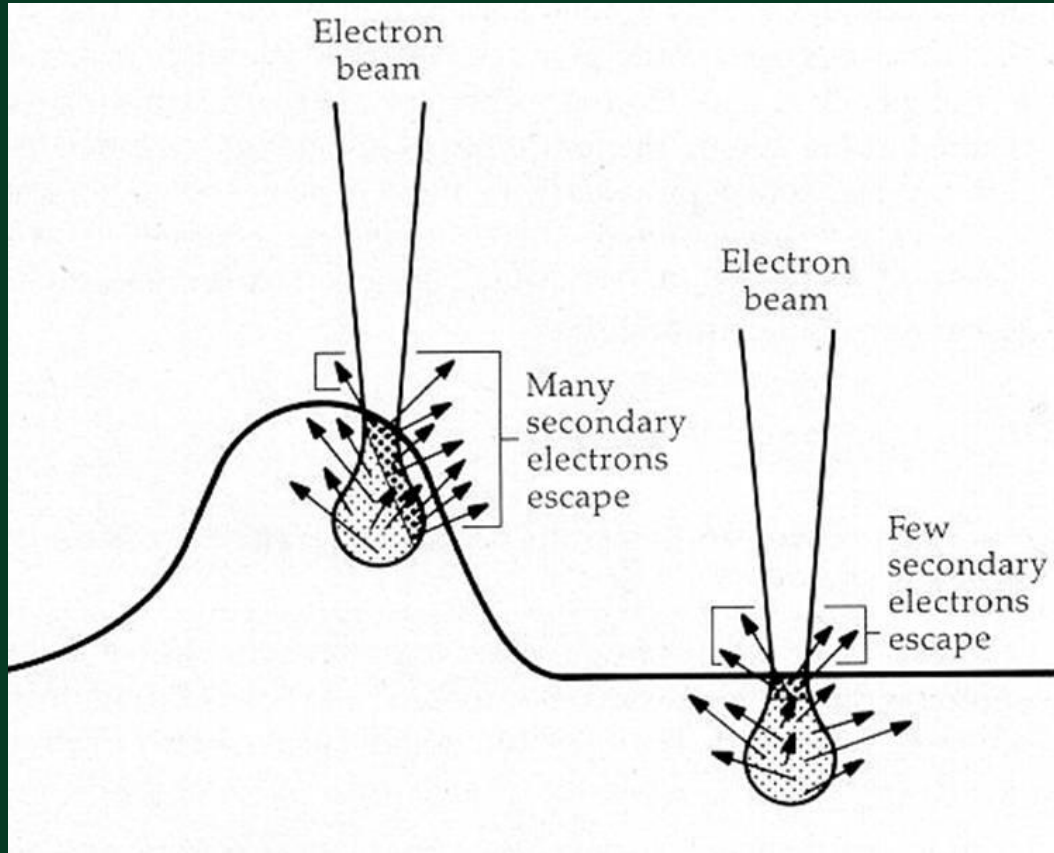
SEM景深 D_f 取决于分辨本领和电子束入射半角 α 。

$$D_f = \frac{2r_0}{\tan \alpha} \approx \frac{2r_0}{\alpha}$$

1. 扫描电子显微镜末级透镜采用小孔径角（约 10^{-3}rad ），所以它的景深很大。
2. 它比一般光学显微镜景深大100-500倍，比透射电子显微镜的景深大10倍。

- 二次电子成像衬度
 - 成分衬度
 - 形貌衬度
- 背散射电子成像衬度
 - 成分衬度
 - 形貌衬度

二次电子形貌衬度

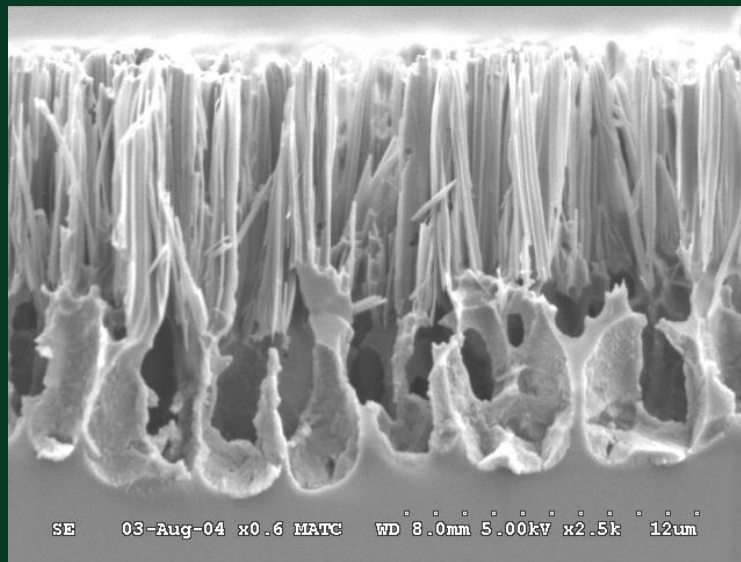
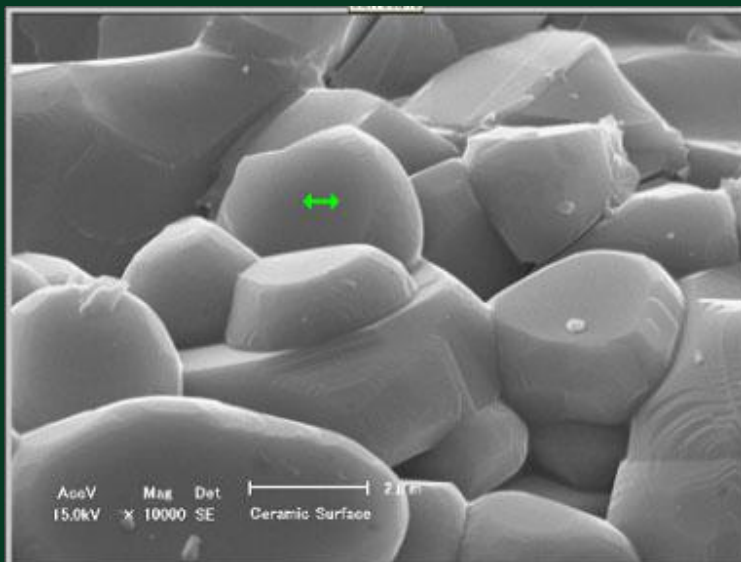


二次电子形貌衬度



在线开放课程





(a) 陶瓷烧结体的表面图像 (b) 多孔硅的剖面图

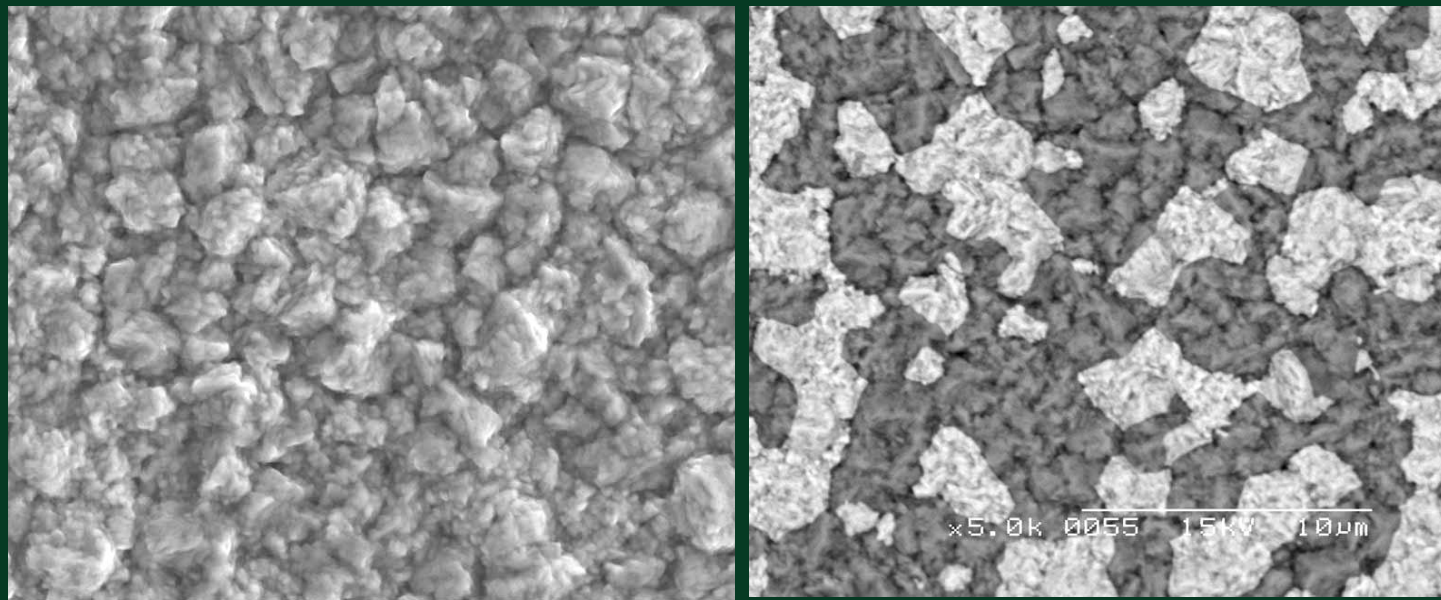
1. 形貌衬度

- 分辨率远比二次电子低。
- 作用体积大，能量高，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背反射电子，而掩盖了许多有用的细节。

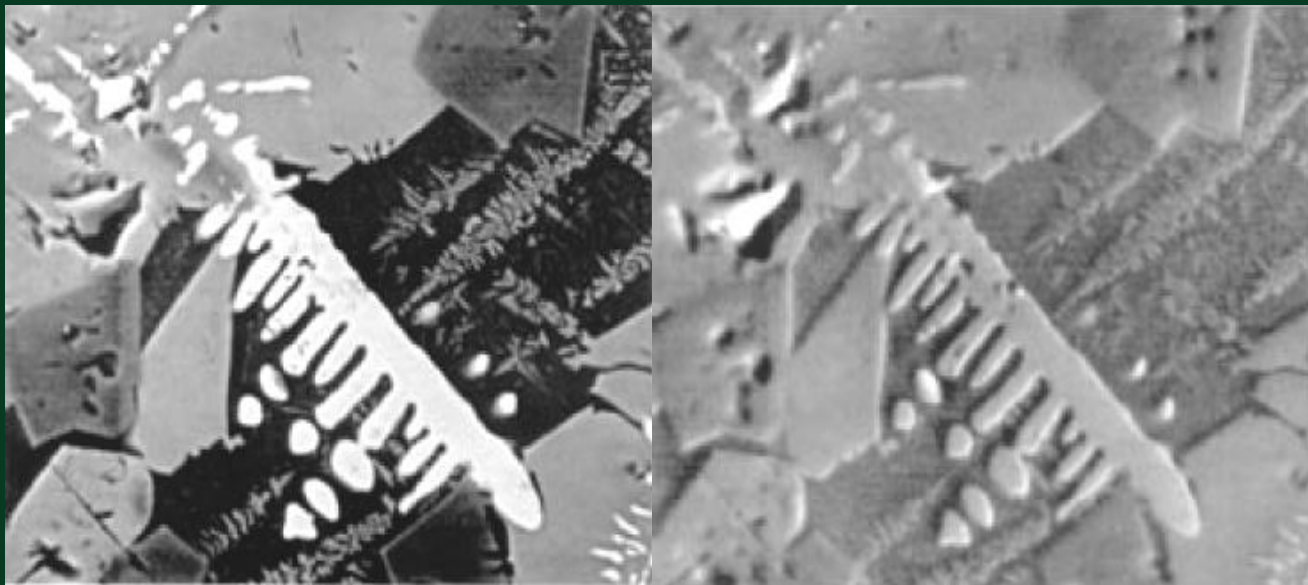
2. 成分衬度

- 重元素区域在图像上是亮区，轻元素是暗区。利用原子序数造成的衬度变化可以对各种材料进行定性分析。

两种图像的对比

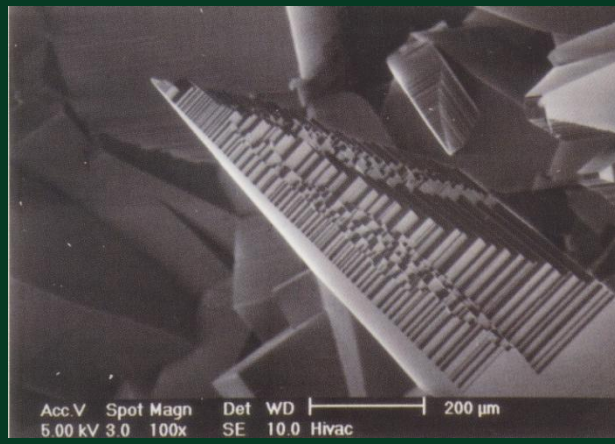
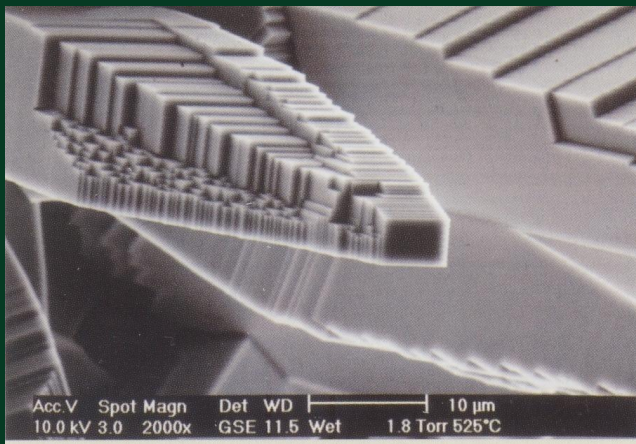
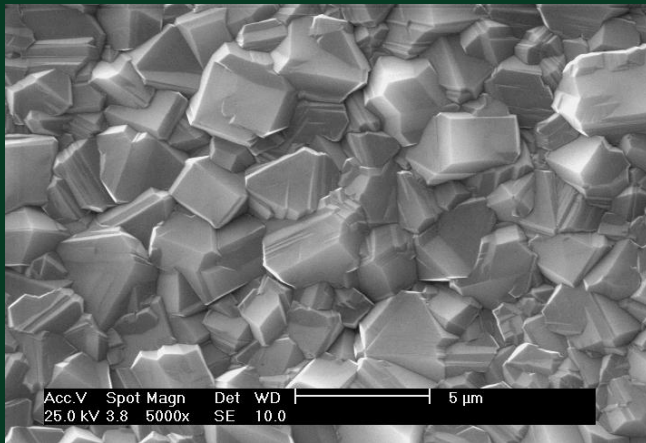


锡铅镀层的表面图像 (a) 二次电子图像 (b) 背散射电子图像



背散射电子探头采集的成分像 (a) 和形貌像 (b)

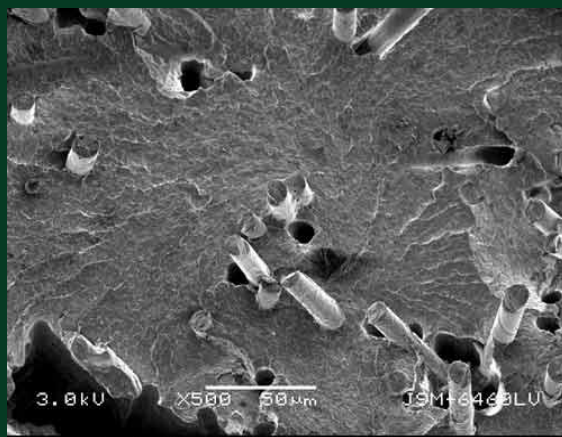
材料表面形态（组织）观察



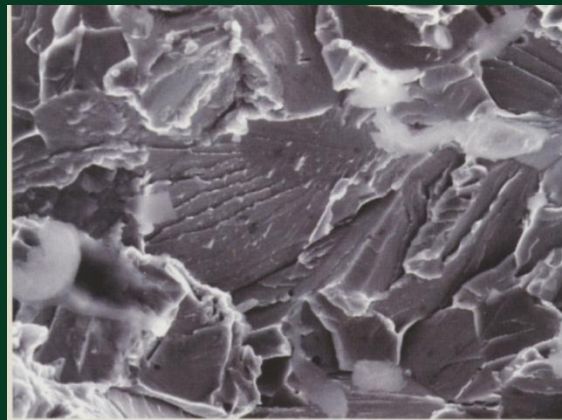
断口形貌观察



SEI, fatigue striations in fractured aluminum



Low kV SEI Uncoated fiber reinforced composite



小结



在线开放课程

- 形貌衬度原理
- 成分衬度原理

