背散射电子衍射的原理

Electron **B**ack-**S**catter(ed) **D**iffraction

（**EBSD**）

背散射电子衍射原理

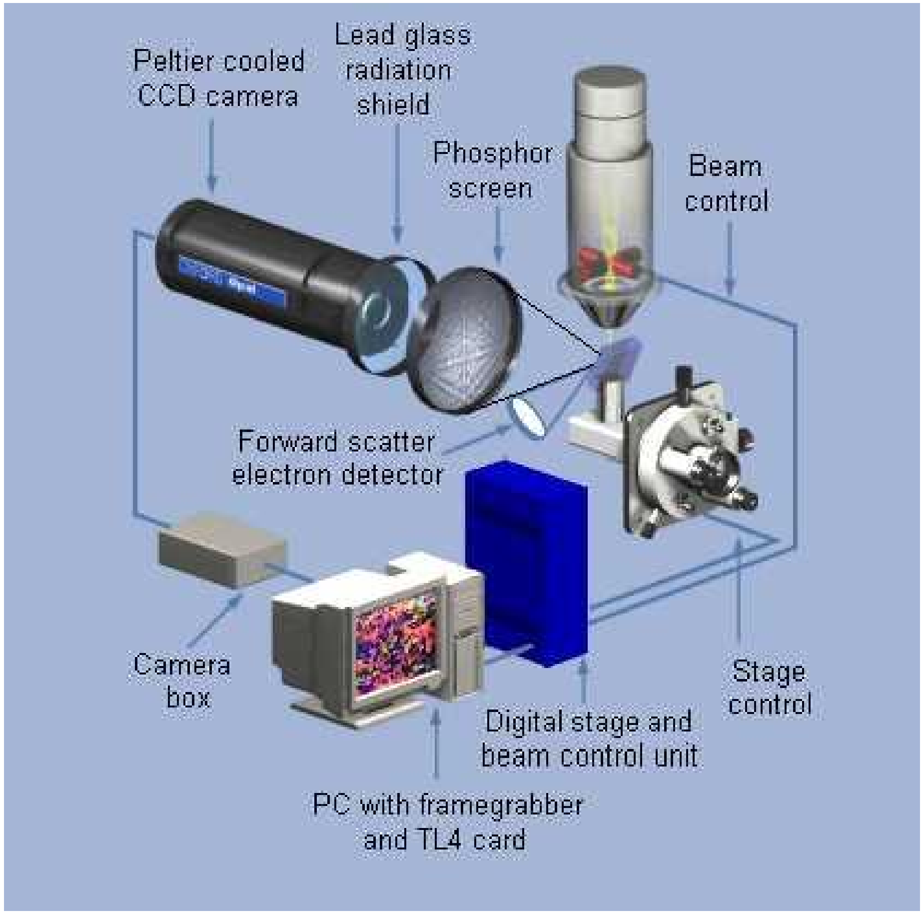
- 背散射电子衍射技术原理
- 背散射电子衍射分析对样品的要求及制备方法
- 背散射电子衍射花样的采集与标定
- 背散射电子衍射分析基本原理

➢ 背散射电子衍射技术原理

- ➢ 控制方式

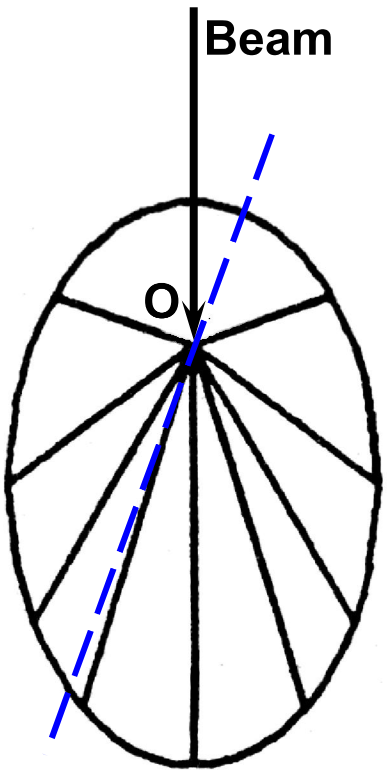
  电子束控制

  样品台控制

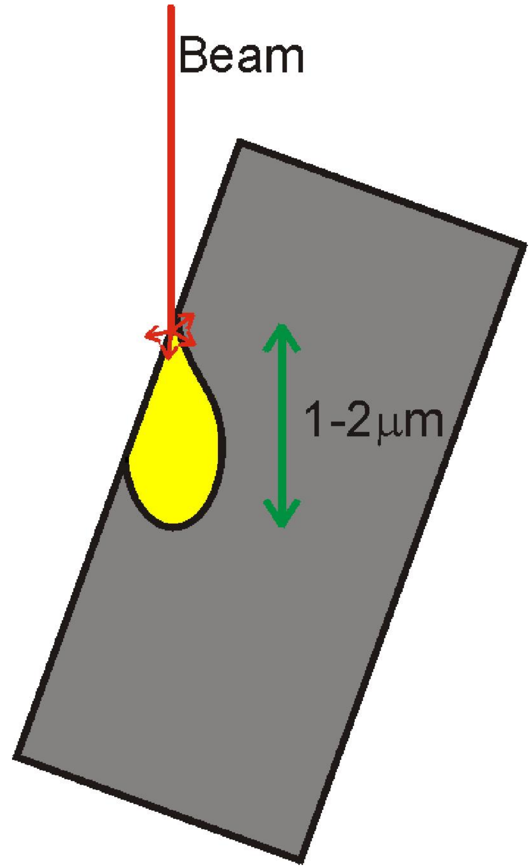


背散射电子衍射仪的工作原理图

➢背散射电子衍射技术原理

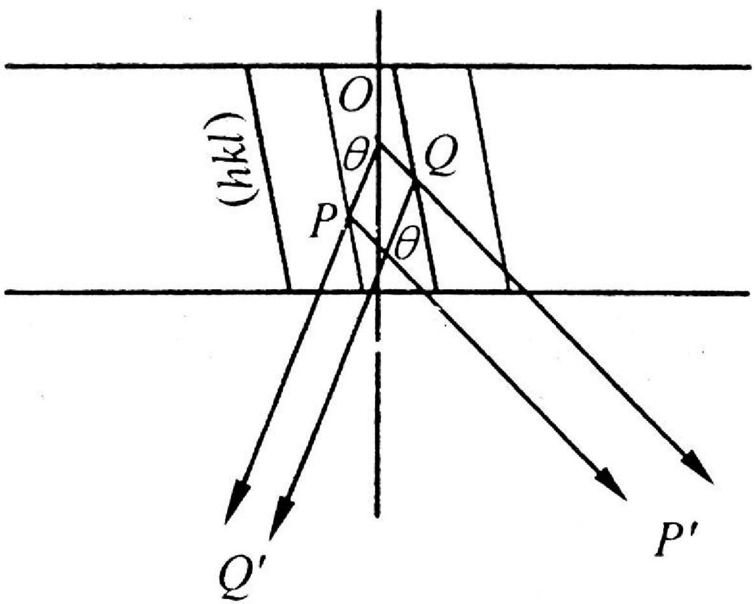


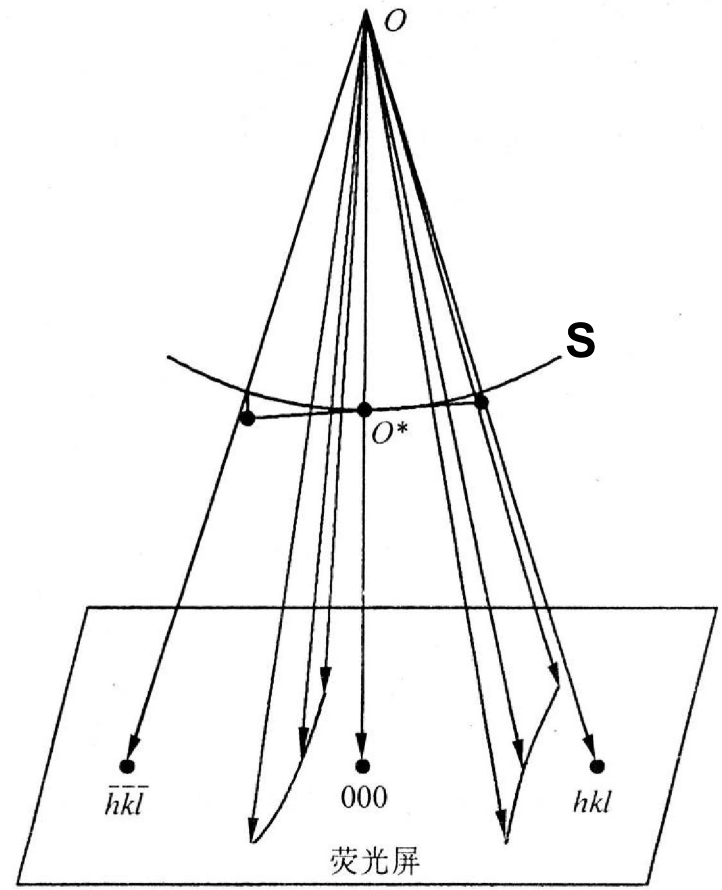
散射电子强度随散射角的变化



EBSD样品相对于入射束的放置

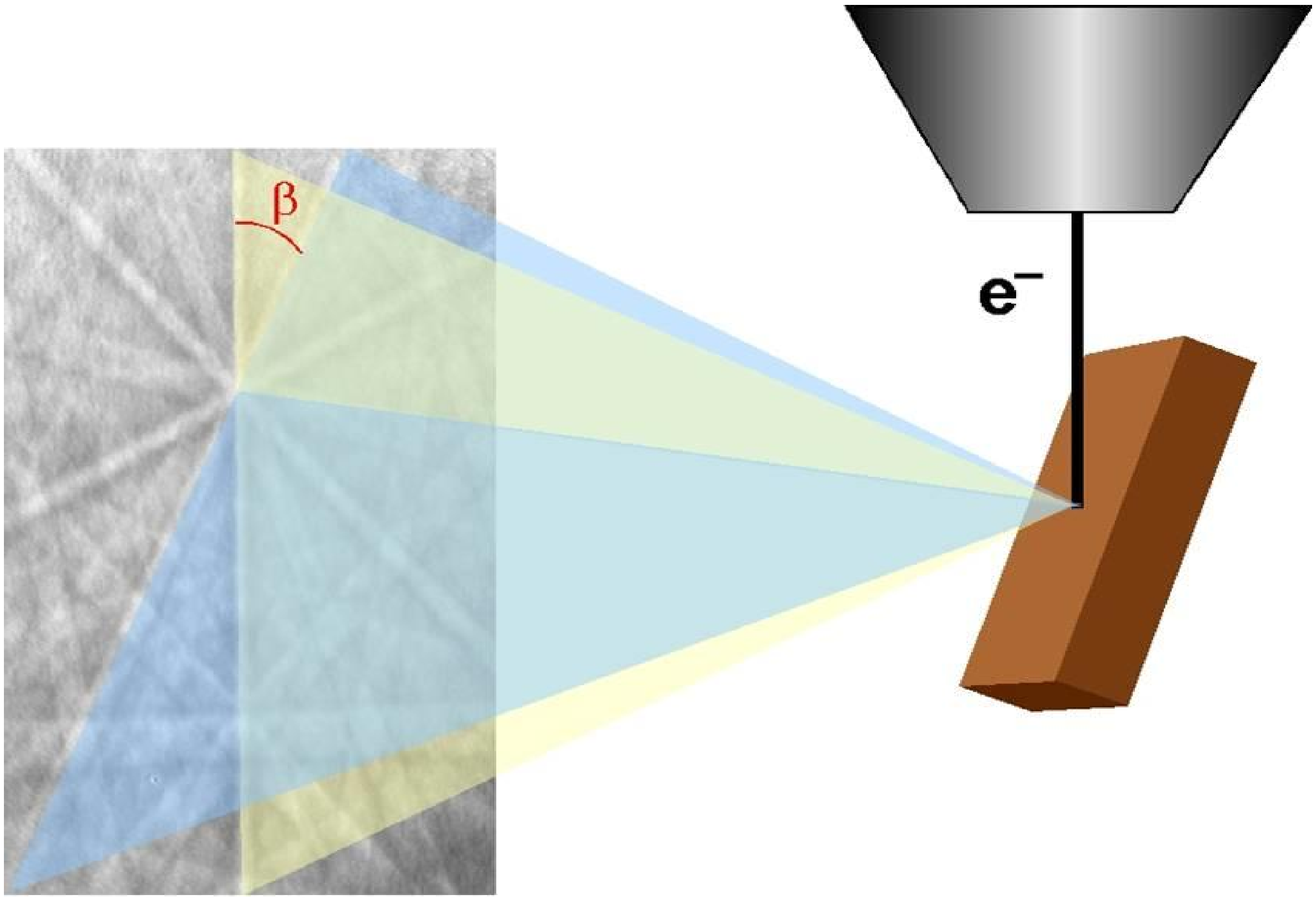
➢背散射电子衍射技术原理





菊池衍射花样的产生

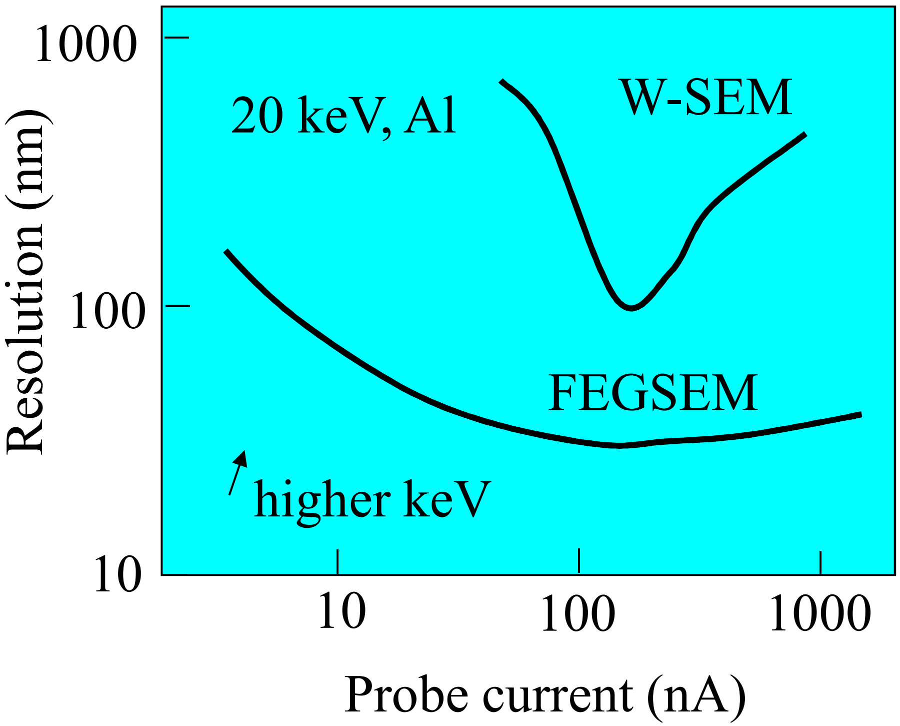
➢背散射电子衍射技术原理

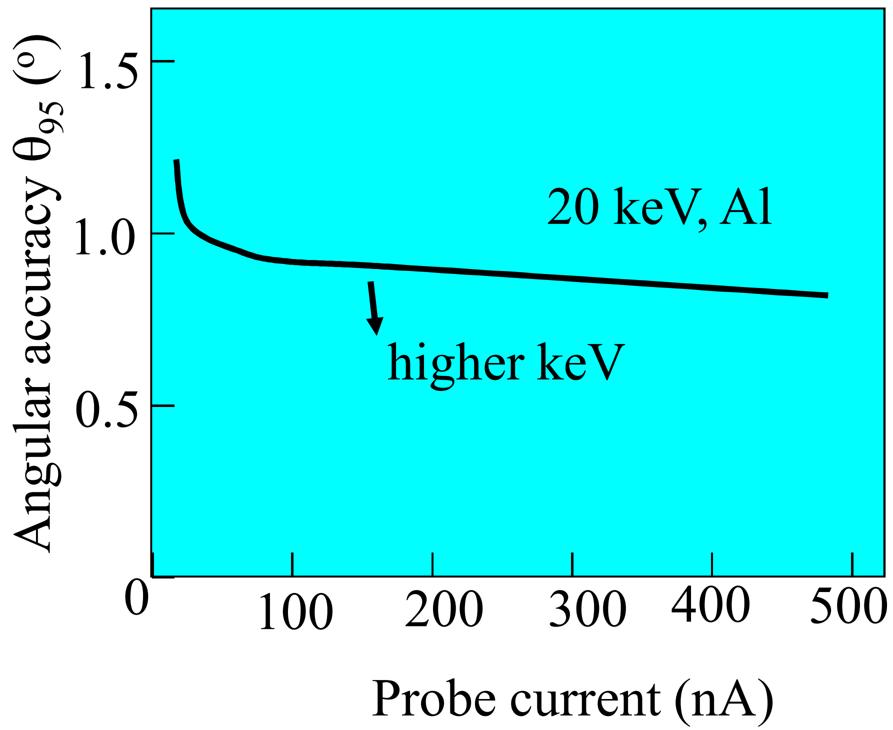


菊池衍射花样的接收

➢ 背散射电子衍射技术原理

➢ 背散射电子衍射的空间分辨率

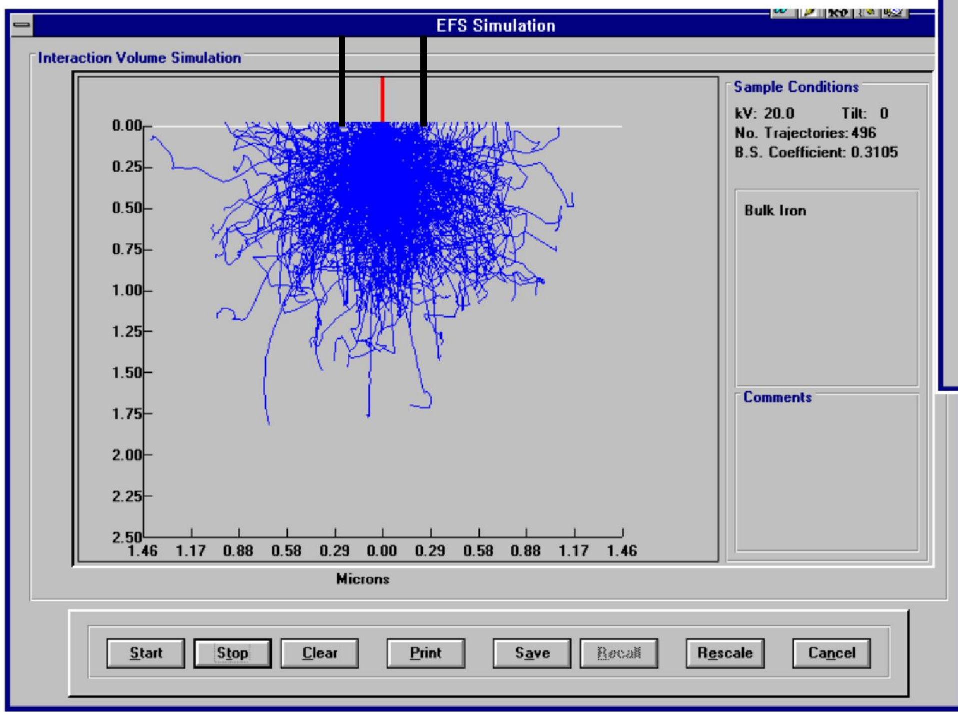


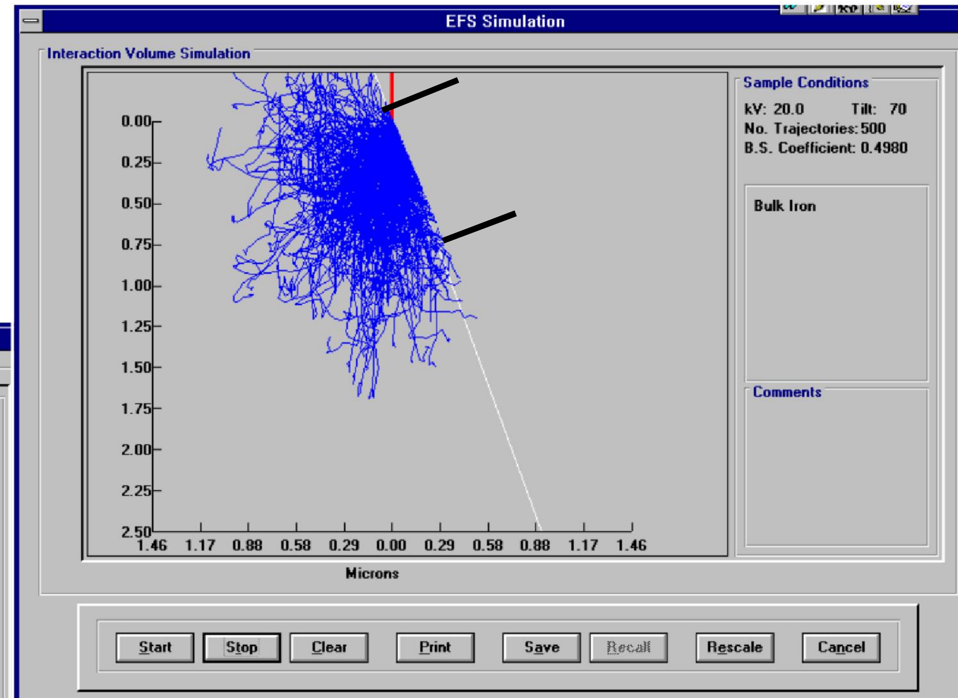


➢ 背散射电子衍射技术原理

➢ 背散射电子衍射的空间分辨率

0° 无倾斜

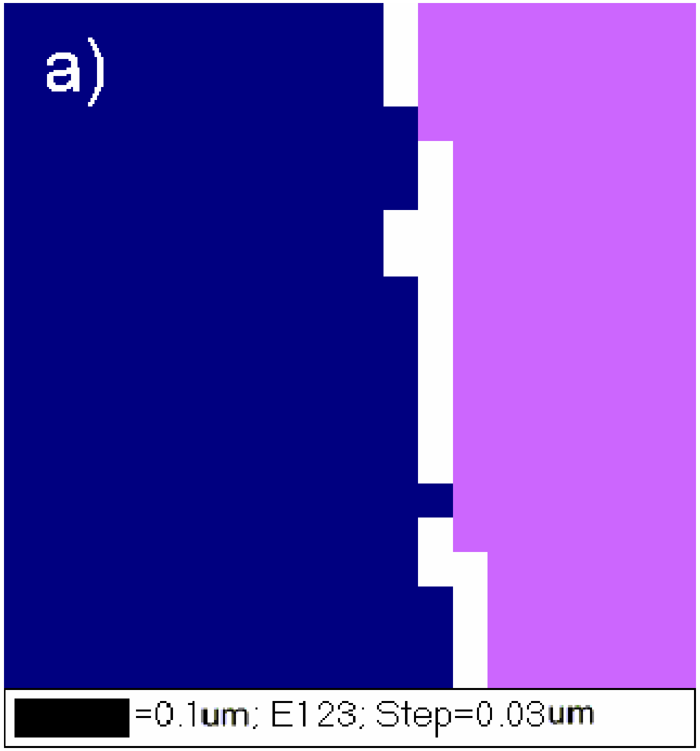


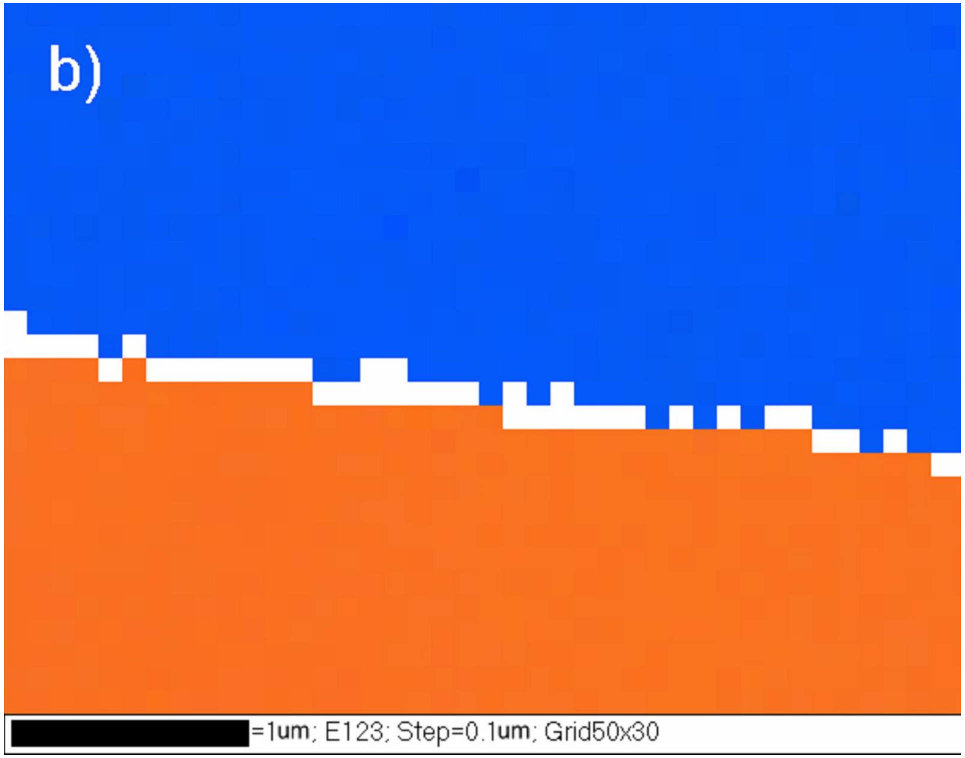


70° 倾斜

➢背散射电子衍射技术原理

➢ EBSD空间分辨率的测定





（**a**）平行于转轴，（**b**）垂直于转轴

➢ 背散射电子衍射分析对样品的要求及制备方法

- ➢ 对样品的要求

  样品能产生计算机可以识别且能正确标定的菊池衍射花样

  要求样品表面平整，无较大的应变

- ➢ 样品的制备方法

  金属样品：电解抛光

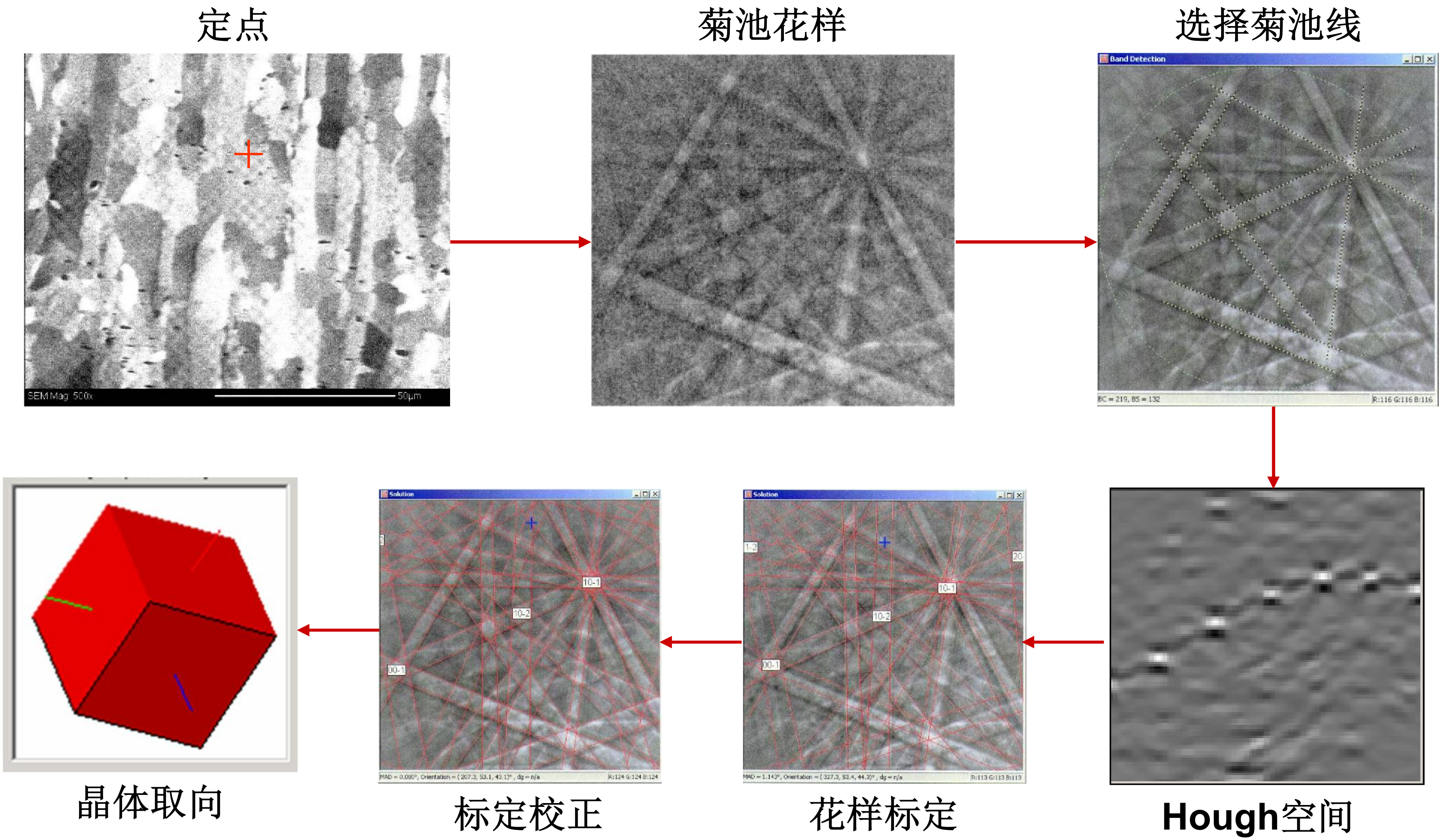
  陶瓷样品：机械抛光

  金属基复合材料：离子束刻蚀

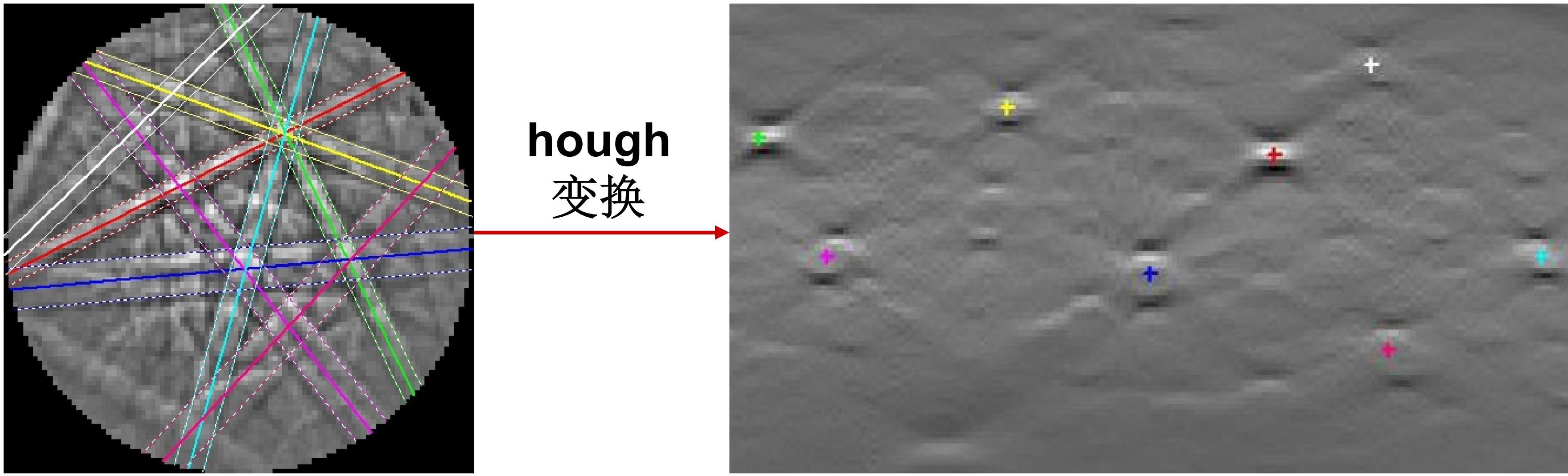
- ➢ 实验需要的样品信息

  样品中各相的晶体结构，原子在单胞中的位置坐标

➢ 背散射电子衍射花样的采集与标定



➢ 背散射电子衍射花样的采集与标定



利用**hough**变换，将菊池衍射花样中的菊池线变换为**hough**空间（**r**，θ）中的点

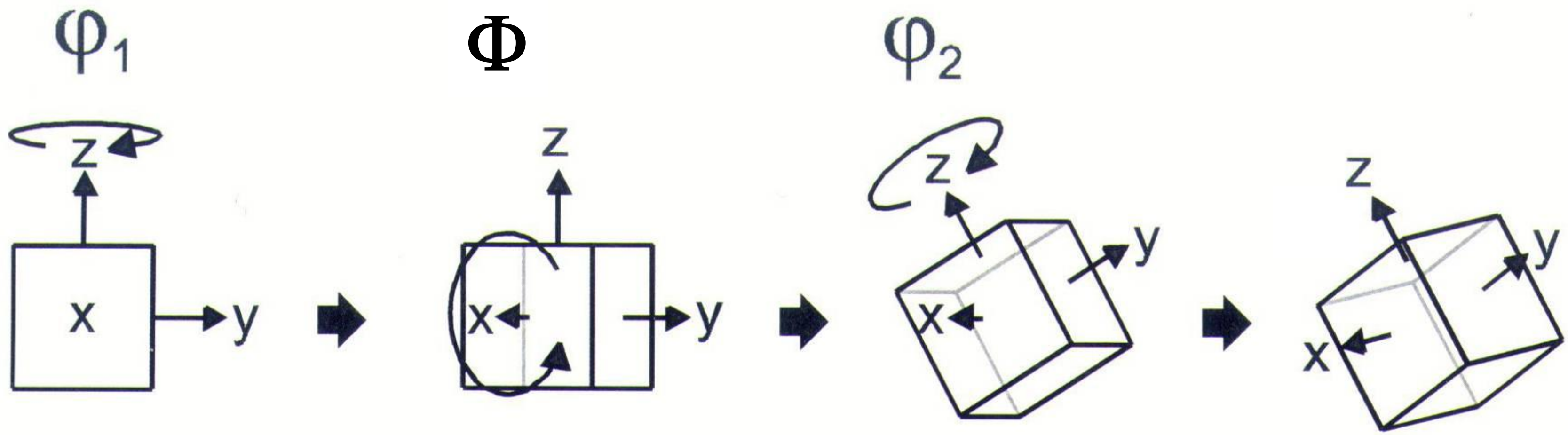
Peak Info

Color	Theta	Rho	Height	d-Spacing
+	117.0	63.1	133	1.54
+	26.0	66.1	118	1.41
+	70.0	71.3	103	1.17
+	95.0	41.9	92.9	1.09
+	38.0	45.0	85.4	0.935
+	164.0	45.1	79	1.1
	134.0	78.9	64.3	0.986
+	137.0	28.4	56.2	1.14

- 取向分析基本原理
  - 晶体取向的表示方法
    - 米勒指数： $\{h \quad k \quad l\}\langle u \quad v \quad w\rangle$
    - 欧拉角： $(\varphi_1 \quad \Phi \quad \varphi_2)$
    - 取向矩阵： $\begin{bmatrix} u & r & h \\ v & s & k \\ w & t & l \end{bmatrix}$
    - 轴角对： $(l_1 \quad l_2 \quad l_3)\theta$
    - 四元数法： $(Q0 \quad Q1 \quad Q2 \quad Q3)$

➢ 取向分析基本原理

➢ 晶体转动对应的欧拉角



$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 & \sin\varphi_1 & 0 \\ -\sin\varphi_1 & \cos\varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Phi & \sin\Phi \\ 0 & -\sin\Phi & \cos\Phi \end{bmatrix} \quad M_3 = \begin{bmatrix} \cos\varphi_2 & \sin\varphi_2 & 0 \\ -\sin\varphi_2 & \cos\varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M = M_3 M_2 M_1$$

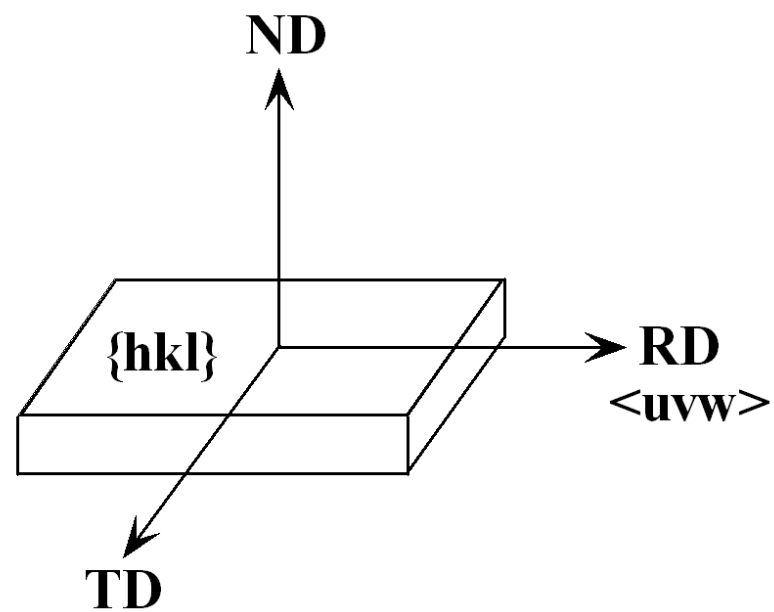
反映晶体转动过程中取向变化的取向矩阵

取向分析基本原理

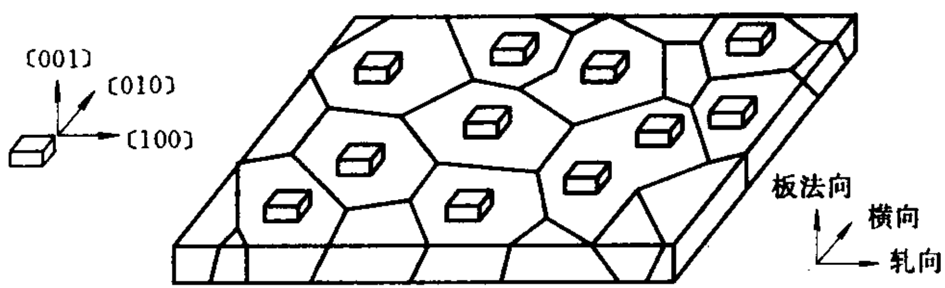
- 样品坐标系的选择
  - 晶体坐标系

    a_1，a_2，a_3
  - 样品坐标系

    RD，TD，ND



晶体坐标系



样品坐标系与晶体坐标系的相对关系

➢ 晶体取向分析基本原理

➢ 晶体坐标系和样品坐标系的变换

设 $[U \quad V \quad W]$ 和 $[X \quad Y \quad Z]$ 是同一方向分别用晶体坐标系和样品坐标系表示的指数，则它们可用下式变换

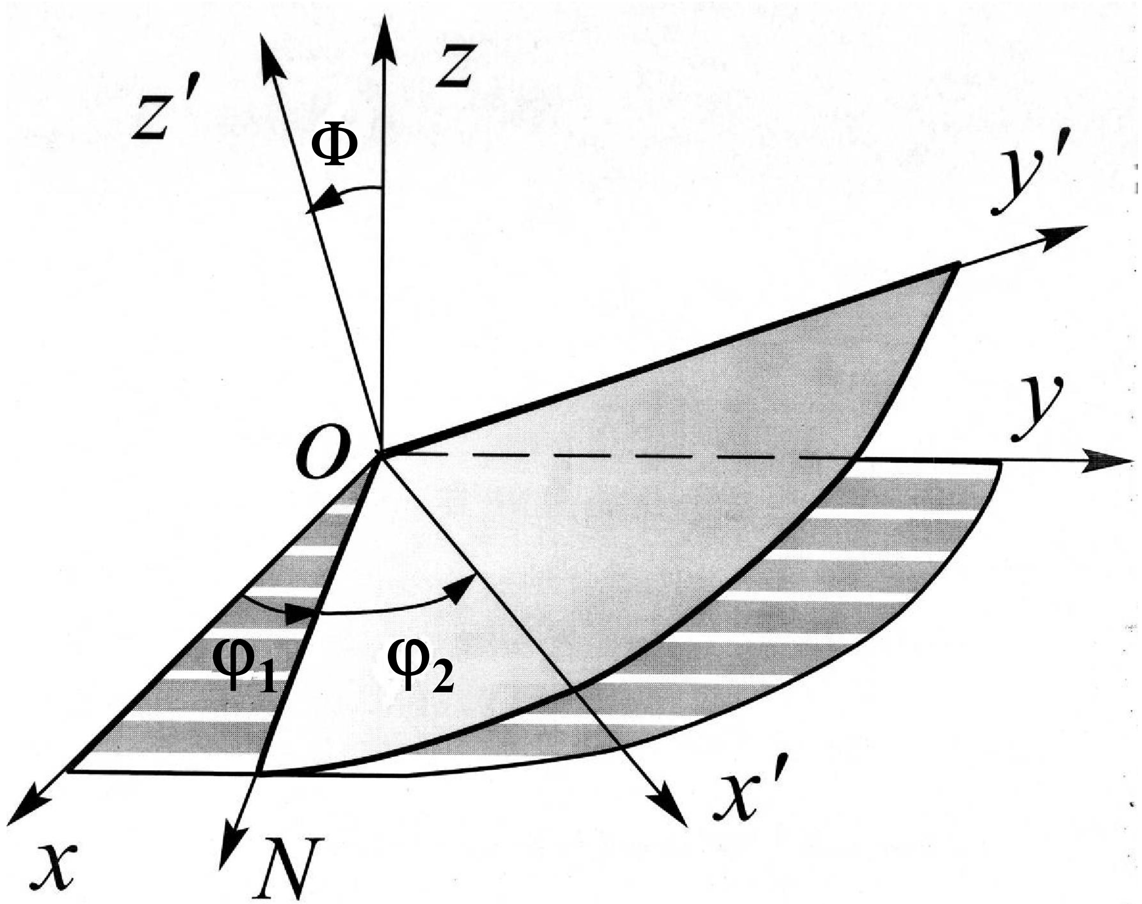
$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

其中**M**为取向变换矩阵，与欧拉角φ_1，Φ，φ_2有关

$$M = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1\cos\varphi_2 - \sin\varphi_1\cos\Phi\sin\varphi_2 & \sin\varphi_1\cos\varphi_2 + \cos\varphi_1\cos\Phi\sin\varphi_2 & \sin\Phi\sin\varphi_2 \\ -\cos\varphi_1\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1\cos\Phi\cos\varphi_2 & -\sin\varphi_1\sin\varphi_2 + \cos\varphi_1\cos\Phi\cos\varphi_2 & \sin\Phi\cos\varphi_2 \\ \sin\varphi_1\sin\Phi & -\cos\varphi_1\sin\Phi & \cos\Phi \end{bmatrix}$$

➢ 取向分析基本原理

➢ 欧拉角

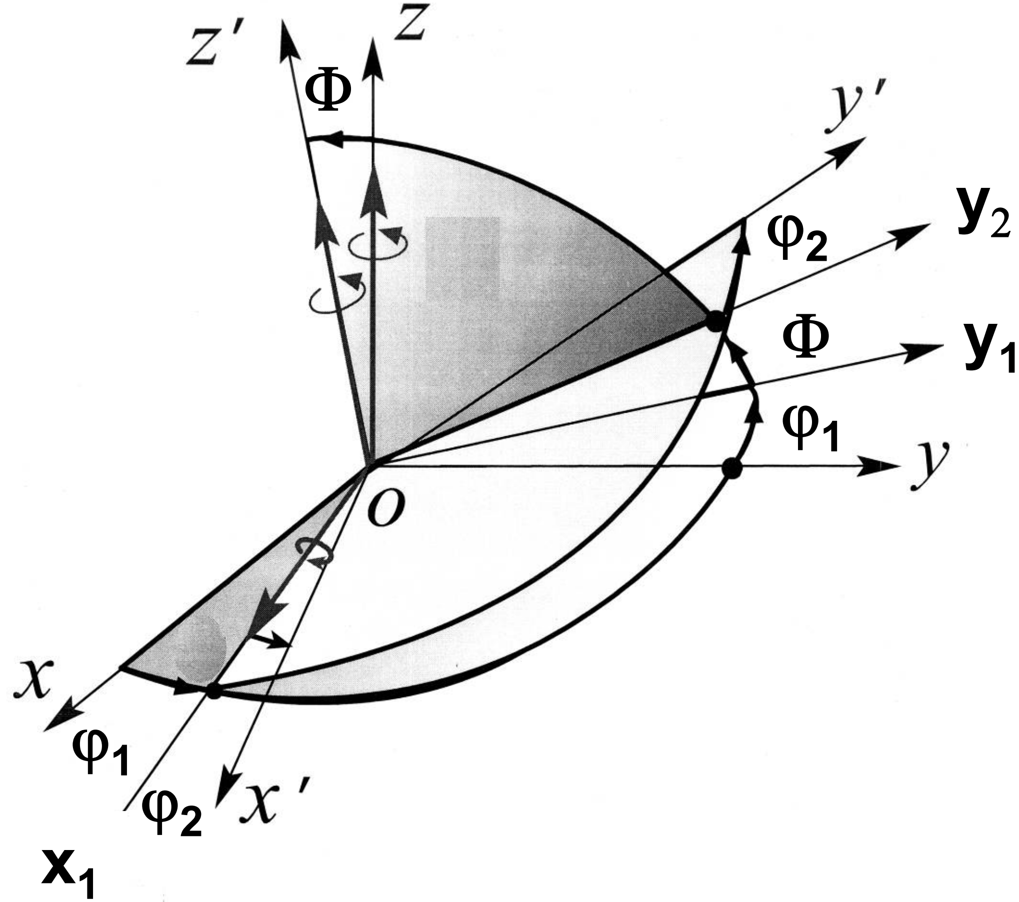


欧拉角

➢ 取向分析基本原理

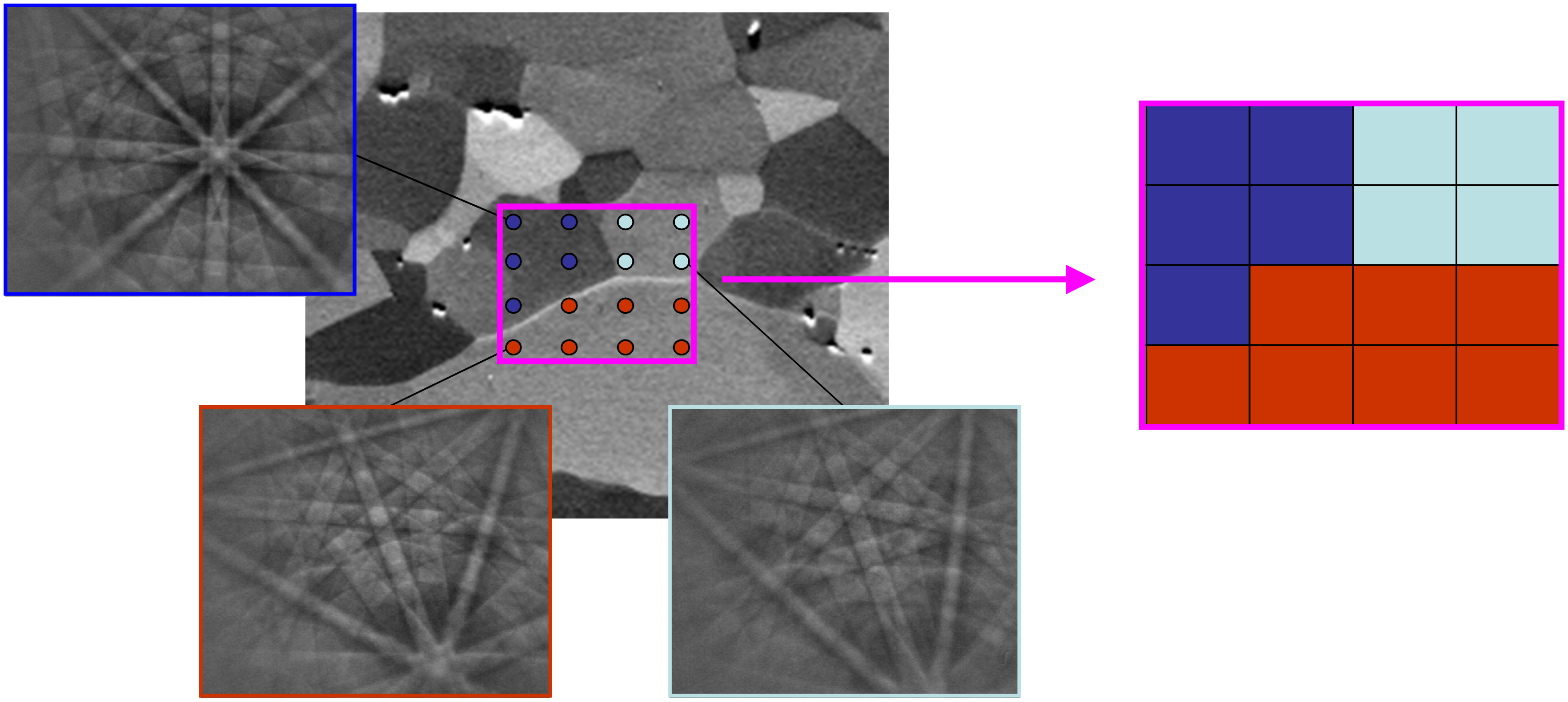
➢ 欧拉角的形成

1. 绕OZ轴旋转φ_1角；
2. 绕OX_1轴旋转Φ角，OZ轴到达OZ′轴位置；
3. 绕OZ′轴旋转φ_2角，（XYZ）坐标系与（X′ Y′ Z′） 坐标系重合

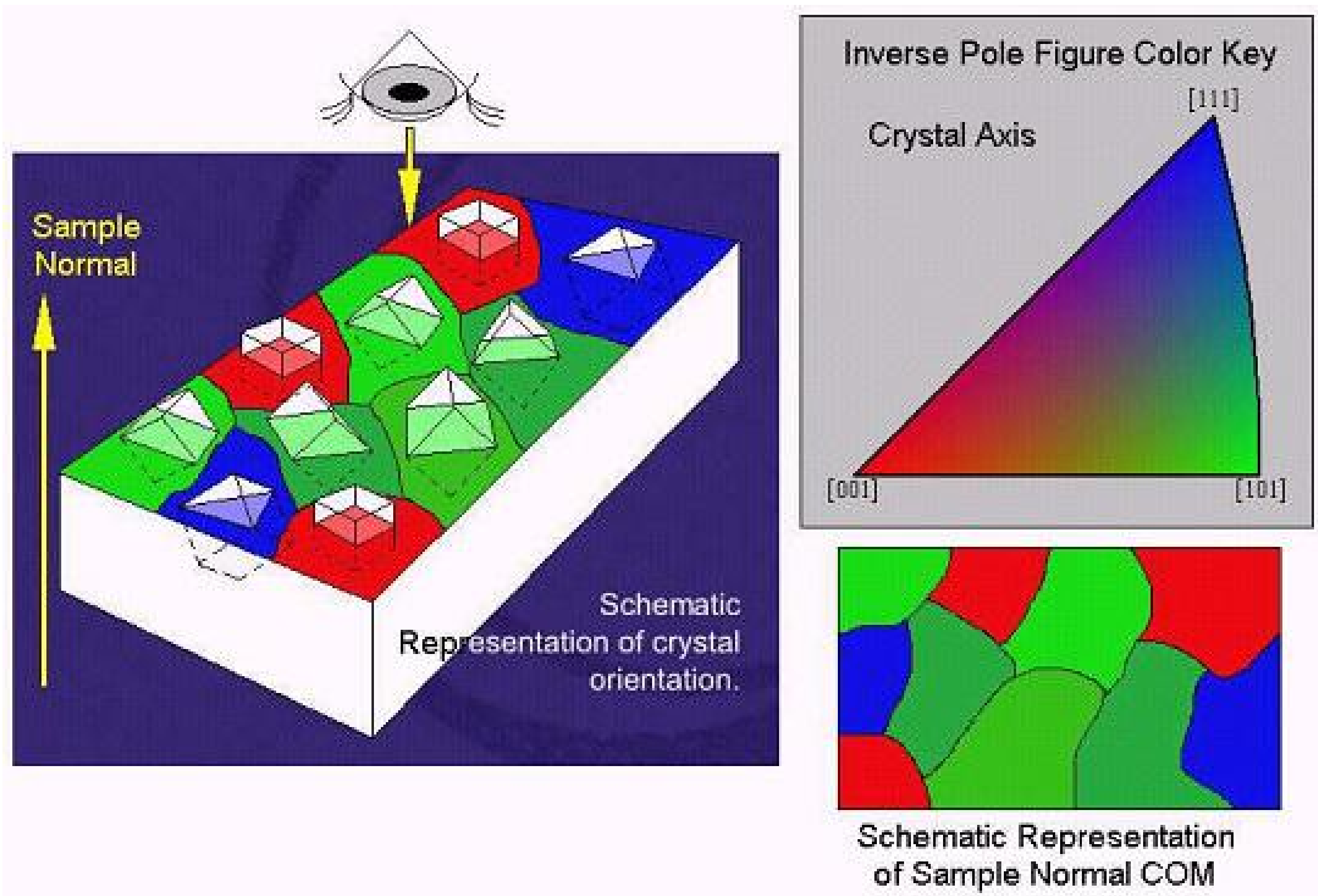


欧拉角（φ_1，Φ，φ_2）

- 背散射电子衍射取向成像（OIM）原理



➢ 背散射电子衍射取向成像（OIM）原理



取向成像（OIM）示意图

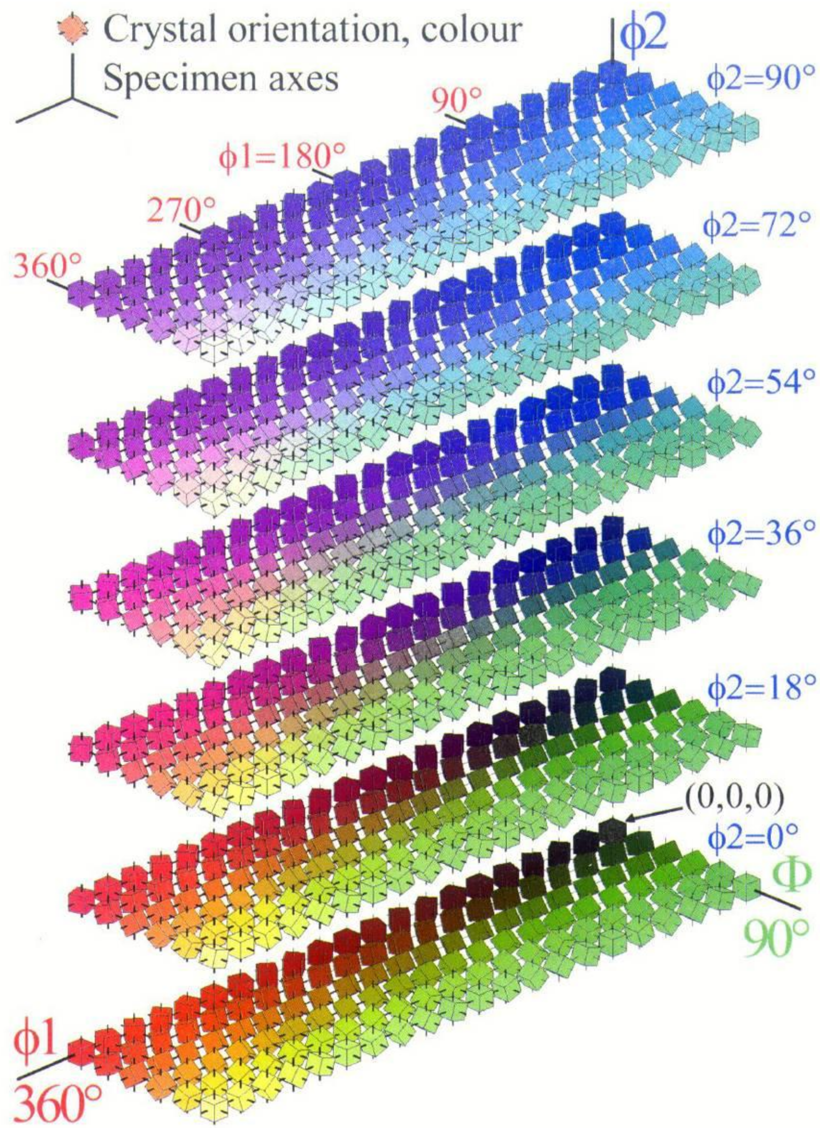
➢ 背散射电子衍射取向成像（OIM）原理

➢ 取向成像图配色

$$Rad = 255 \cdot \frac{\varphi_1}{360}$$

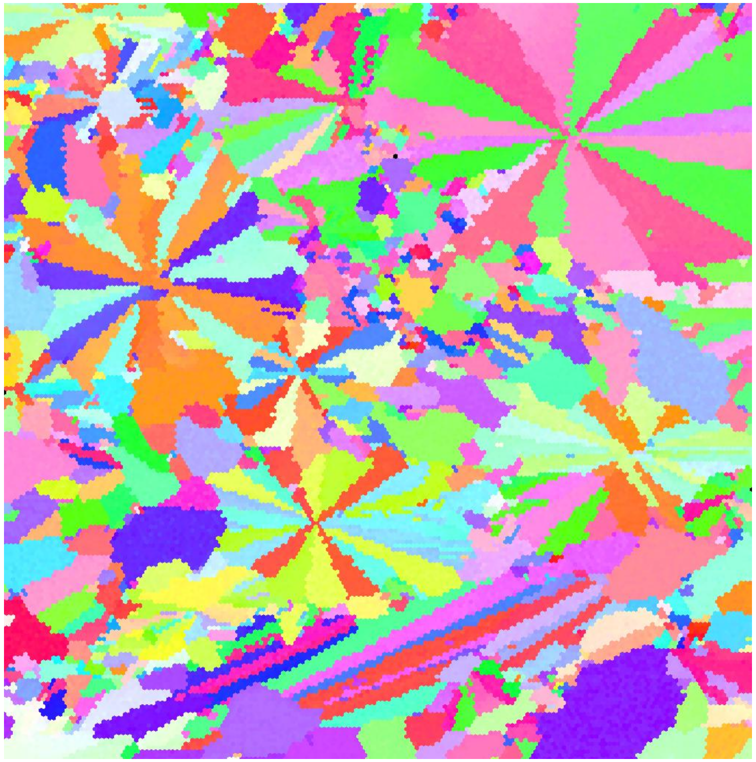
$$Green = 255 \cdot \frac{\Phi}{90}$$

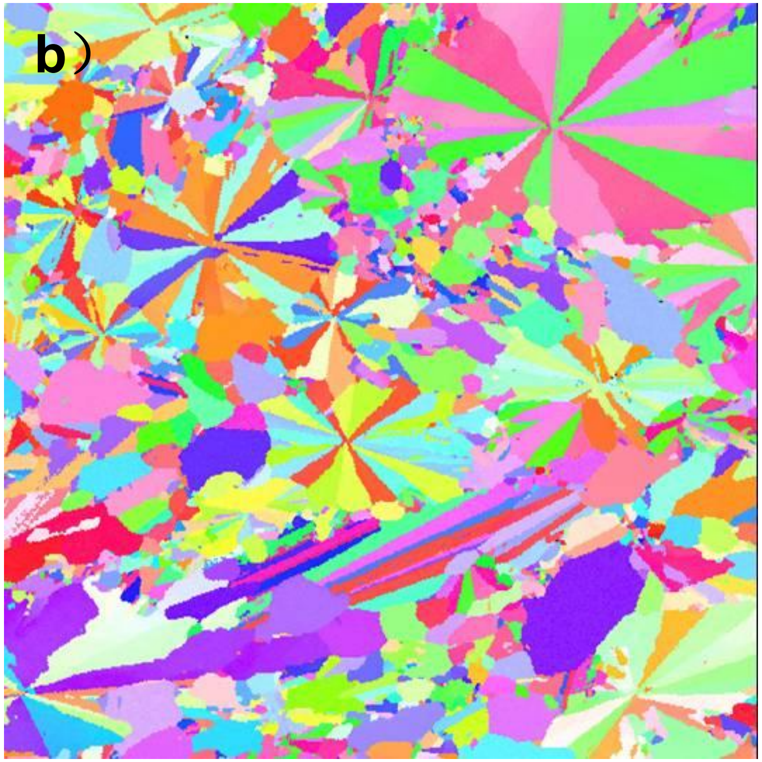
$$Blue = \frac{\varphi_2}{90}$$



➢ 背散射电子衍射取向成像（OIM）原理

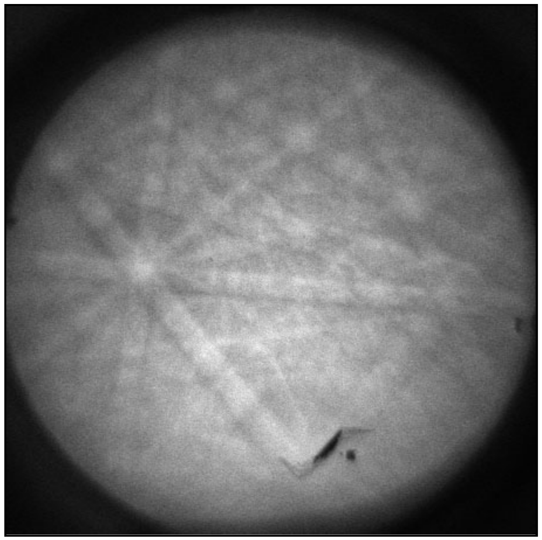
➢ 数据采集时间对取向成像图质量的影响

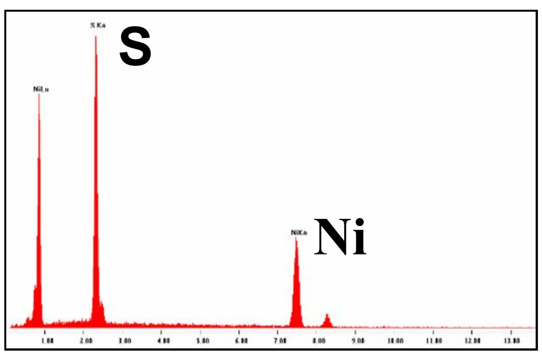


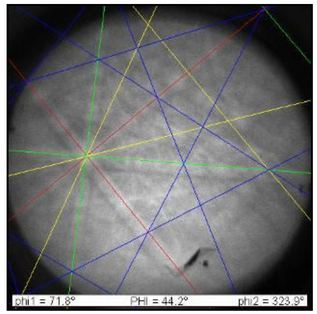


多晶硅的取向图（a）采集10min；（b）采集1h

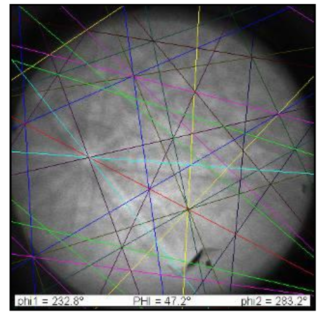
➢ 背散射电子衍射相分析原理



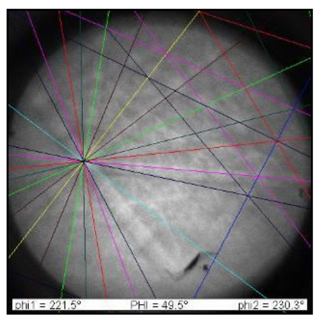




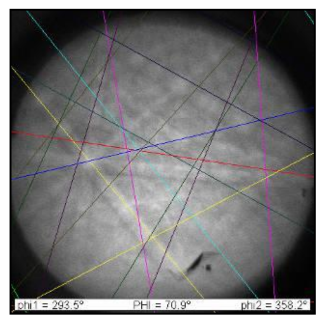
Ni_xS_y
立方



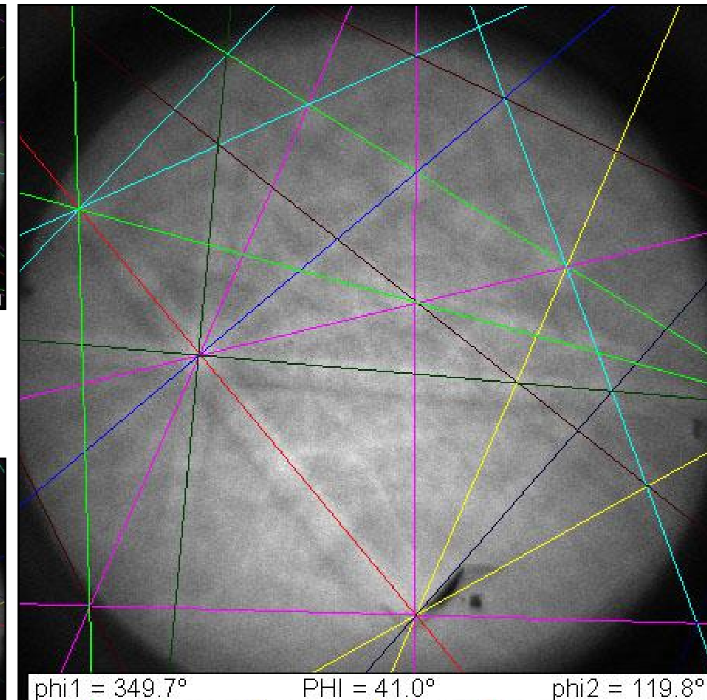
Ni_xS_y
正交



Ni_xS_y
六角



Ni_xS_y
单斜



NiS
斜方

➤ 背散射电子衍射相分析原理