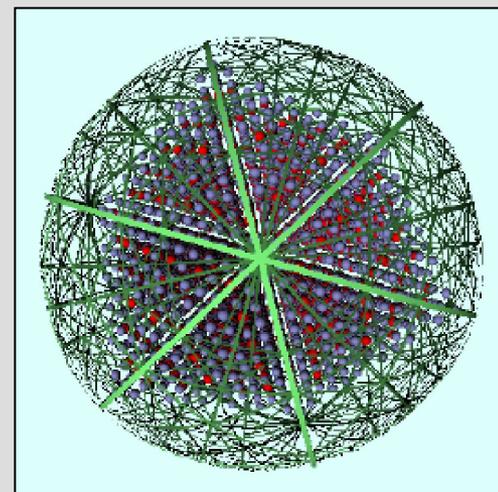
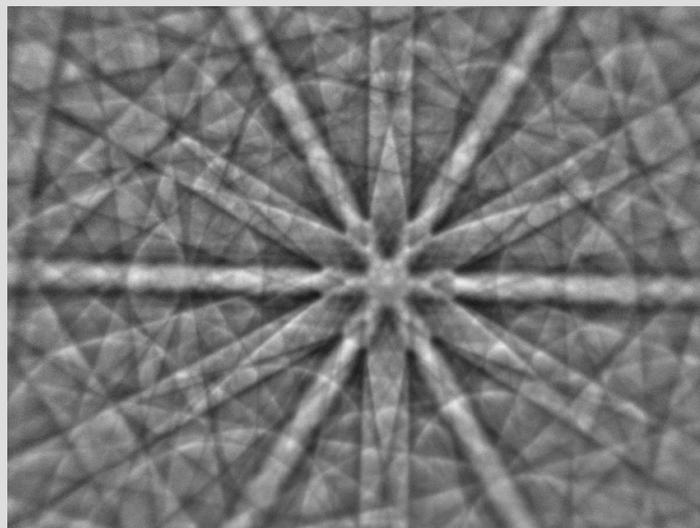
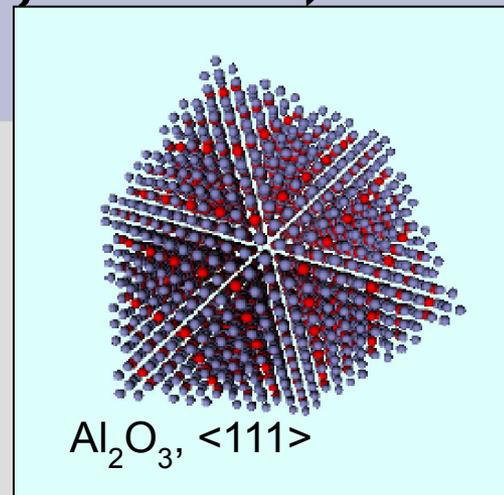
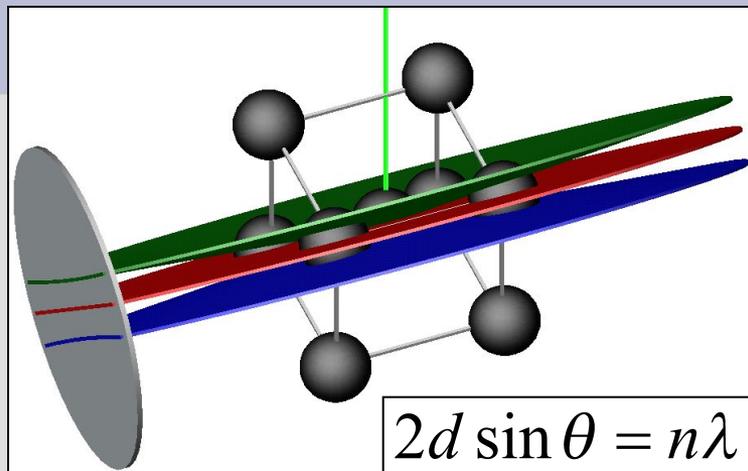
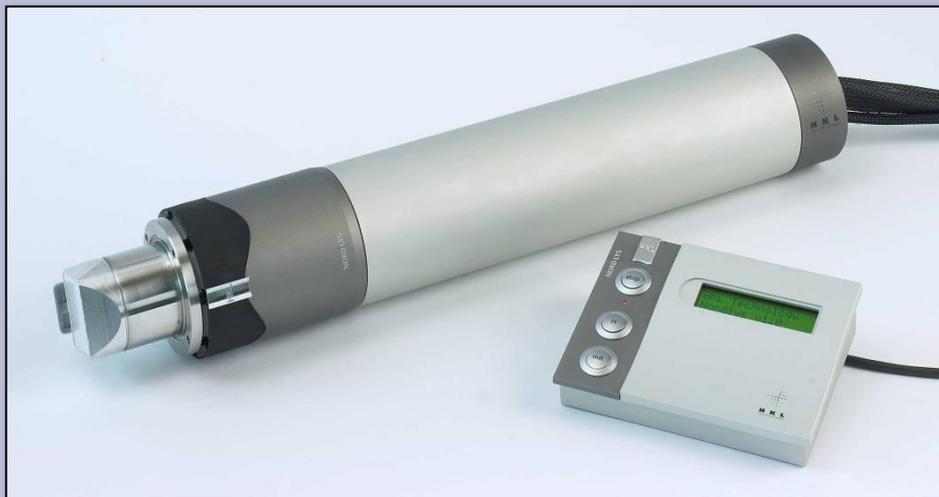


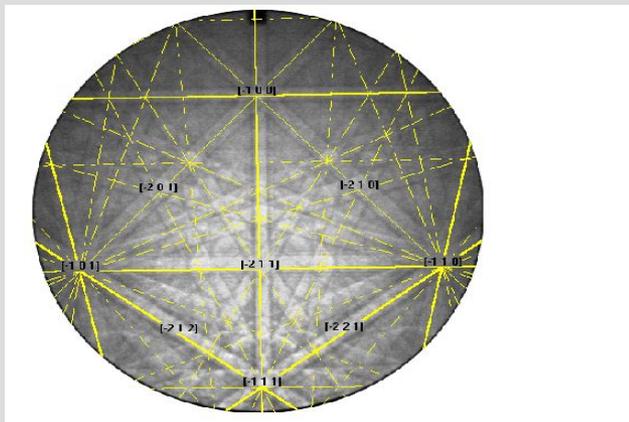
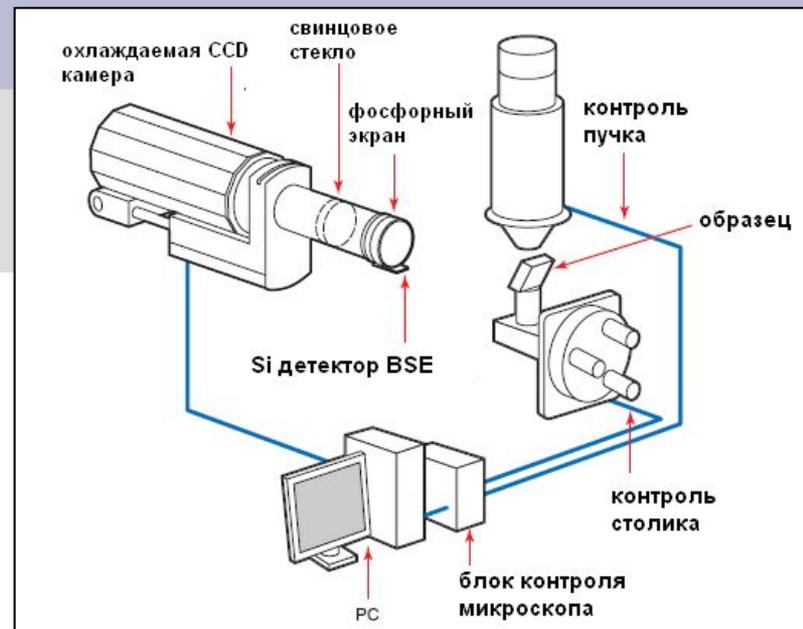
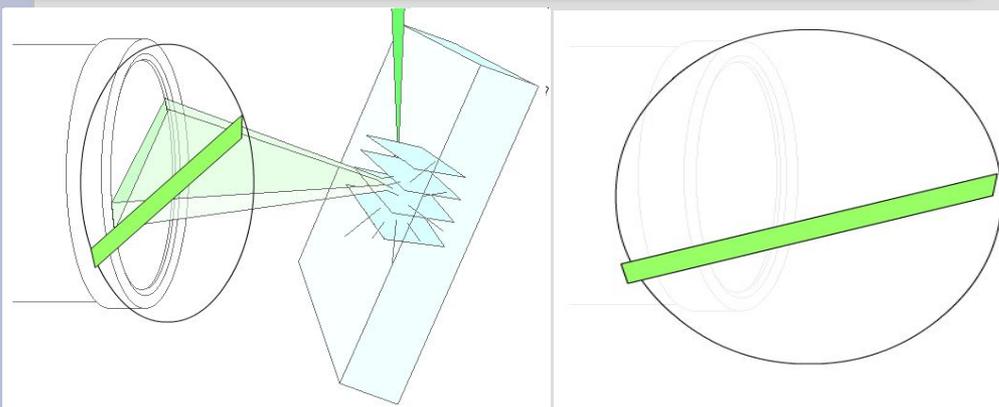
***Некоторые дополнительные
детекторы излучения
образовавшегося при
взаимодействии электронов с
веществом***

Детекторы в РЭМ – ориентационная микроскопия (ДОЭ, EBSD)



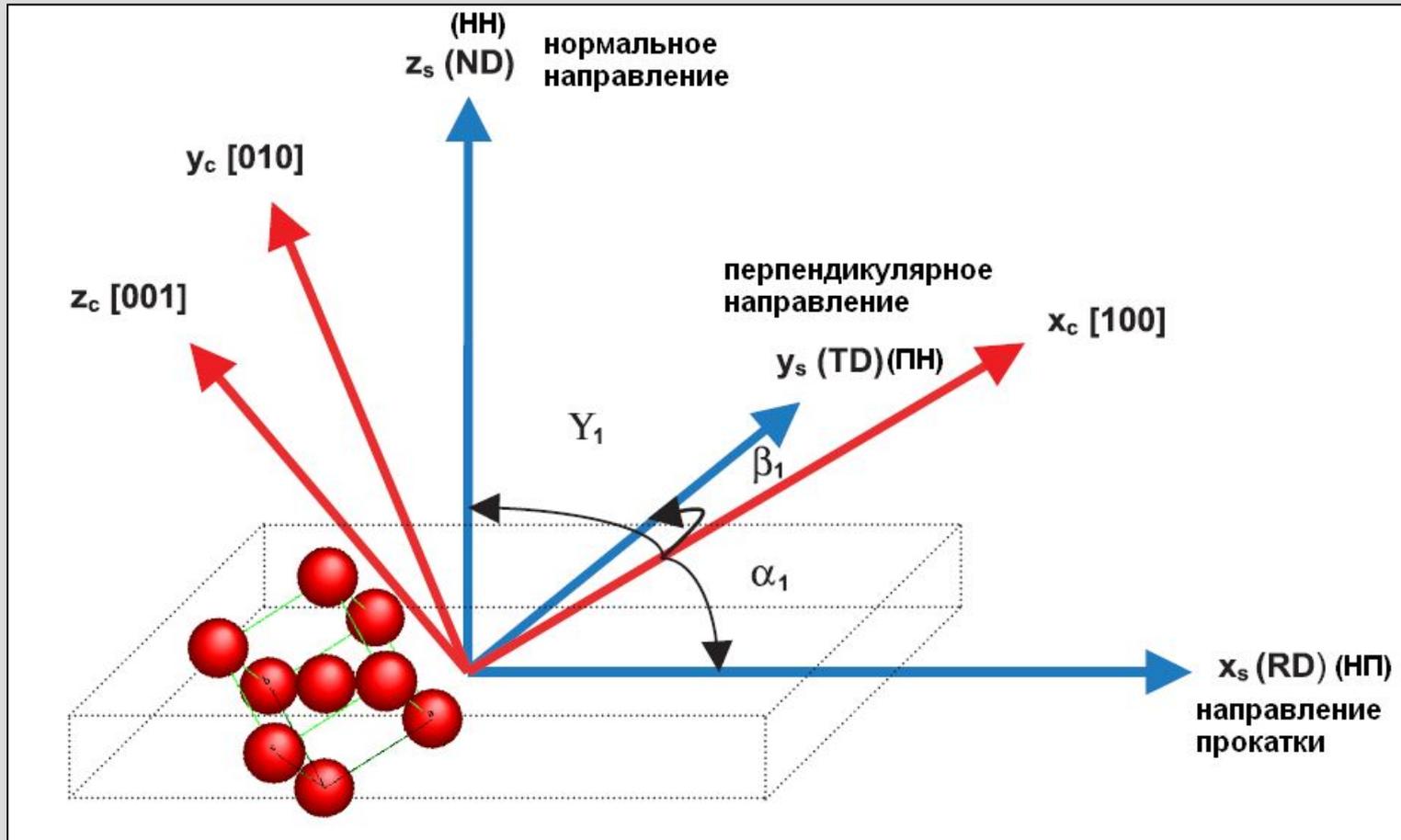


EBSD детектор HKL Nordlys F+



Образец для EBSD исследований обычно **наклоняется на угол 70°** для максимизации выхода обратнорассеянных электронов

Описание пространственного положения элементарной ячейки: матрица направляющих косинусов



$X_s Y_s Z_s$ – система образца

$X_c Y_c Z_c$ – система кр. решетки

Описание пространственного положения элементарной ячейки: матрица направляющих косинусов

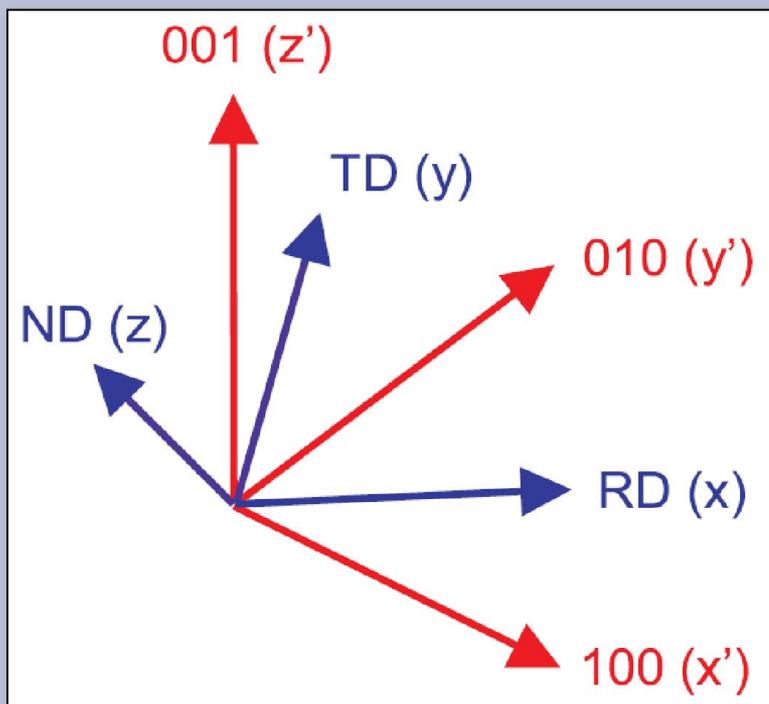
Направление в системе координат кристаллической решетки \vec{r}_C может быть связано с направлением в системе координат образца \vec{r}_S с помощью *матрицы направляющих косинусов*:

$$\vec{r}_C = G \vec{r}_S$$

$$G = \begin{pmatrix} \cos \alpha_1 & \cos \beta_1 & \cos \gamma_1 \\ \cos \alpha_2 & \cos \beta_2 & \cos \gamma_2 \\ \cos \alpha_3 & \cos \beta_3 & \cos \gamma_3 \end{pmatrix}$$

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ - углы между i -й осью системы координат решетки и каждой из трех осей системы координат образца

Описание пространственного положения элементарной ячейки: углы Эйлера



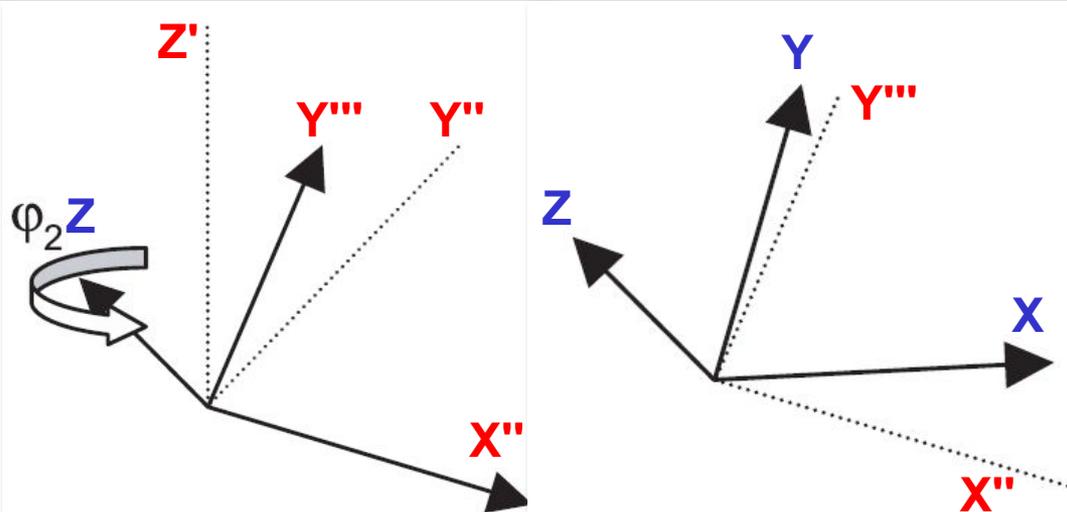
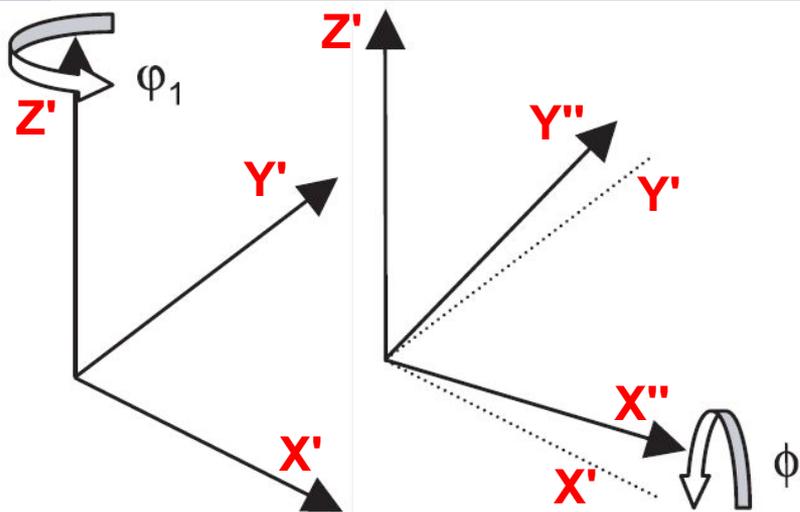
Переход из системы координат кристаллической решетки $(x' y' z')$ в систему координат образца $(x'' y'' z'')$ может быть описан с помощью трех последовательных поворотов:

φ_1 - вокруг z' : $y' \rightarrow y''$; $x' \rightarrow x''$

Φ - вокруг x'' : $z' \rightarrow z$; $y'' \rightarrow y'''$

φ_2 - вокруг z : $x'' \rightarrow x$; $y''' \rightarrow y$

$$\varphi_1 \Phi \varphi_2$$

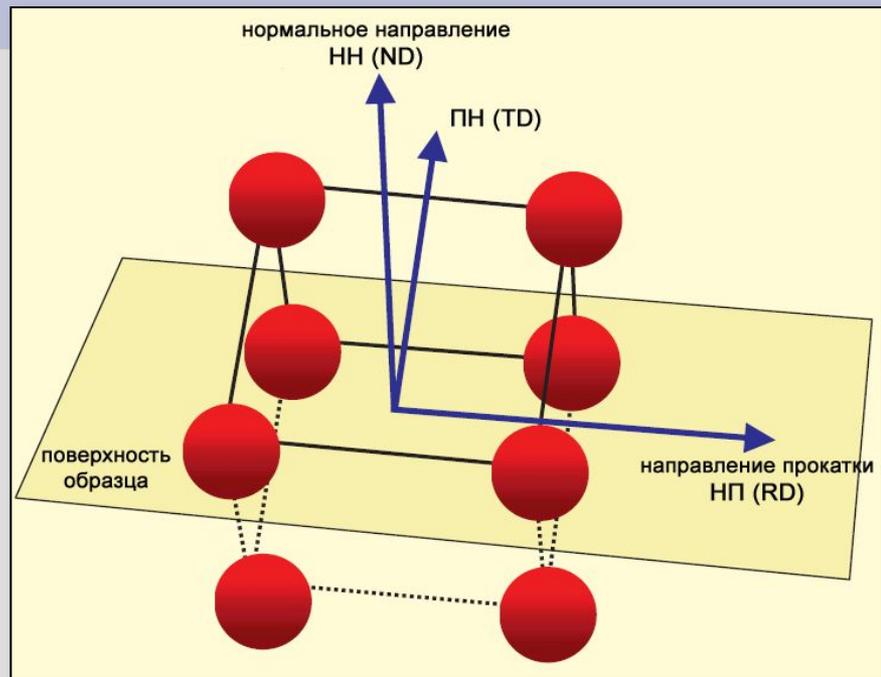


Описание пространственного положения элементарной ячейки: ориентационные соотношения

Правило записи
ориентации элементарной
ячейки относительно
поверхности образца

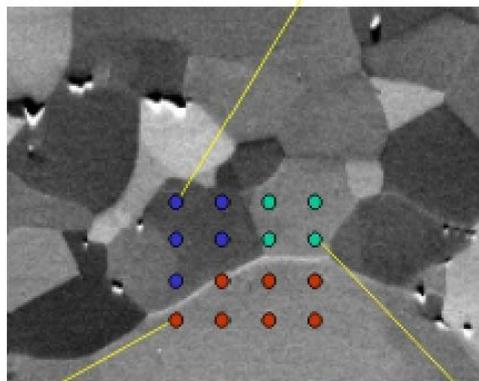
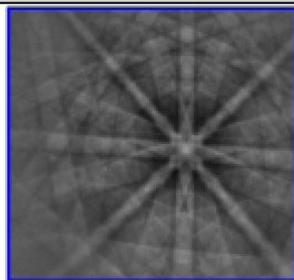
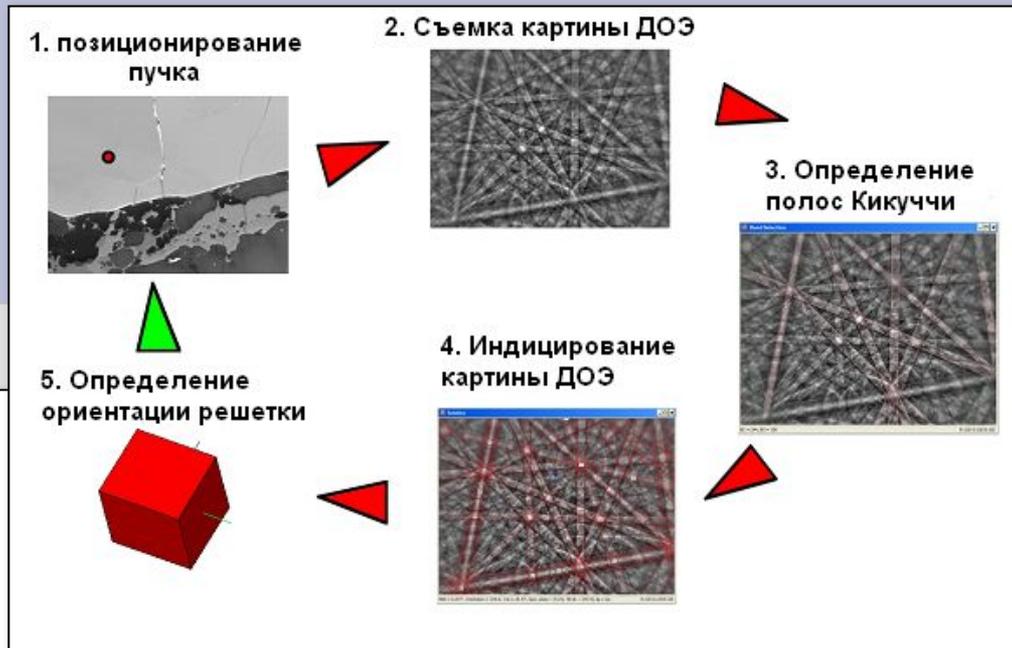
$$\{110\}\langle 001\rangle$$

Семейство плоскостей $\{hkl\}$,
нормаль которых совпадает с
НН

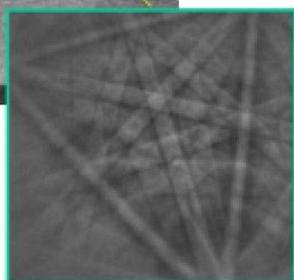
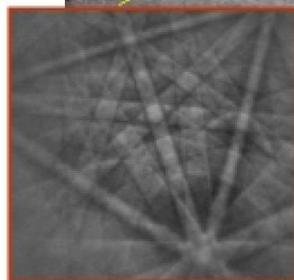
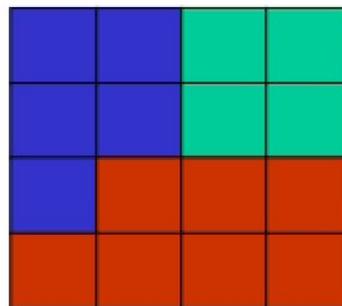
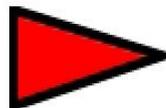


Семейство направлений $\langle uvw\rangle$,
совпадающих с НП

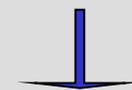
Работа системы анализа картин дифракций обратнорассеянных электронов в РЭМ



$\varphi_1 \Phi \varphi_2$

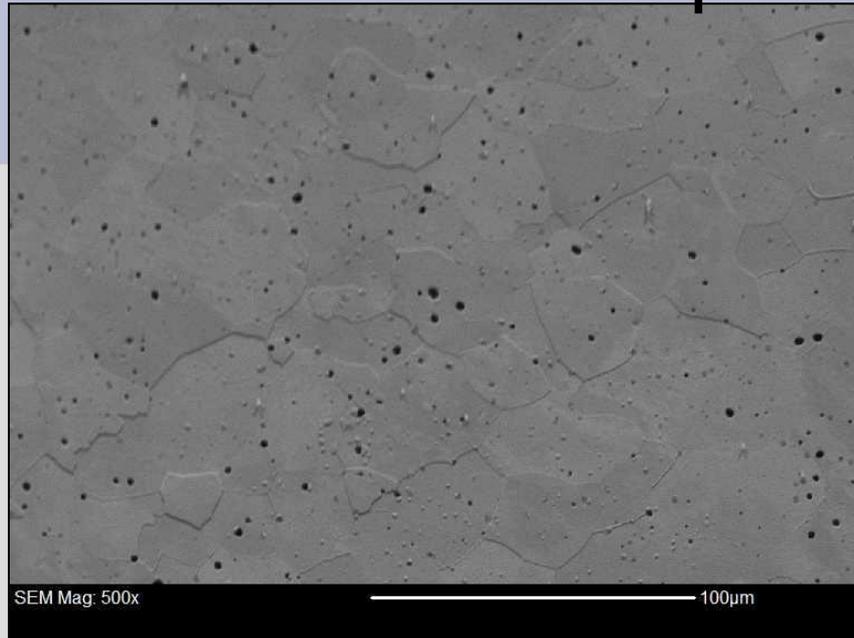


$(x, y, \text{фаза})_i$

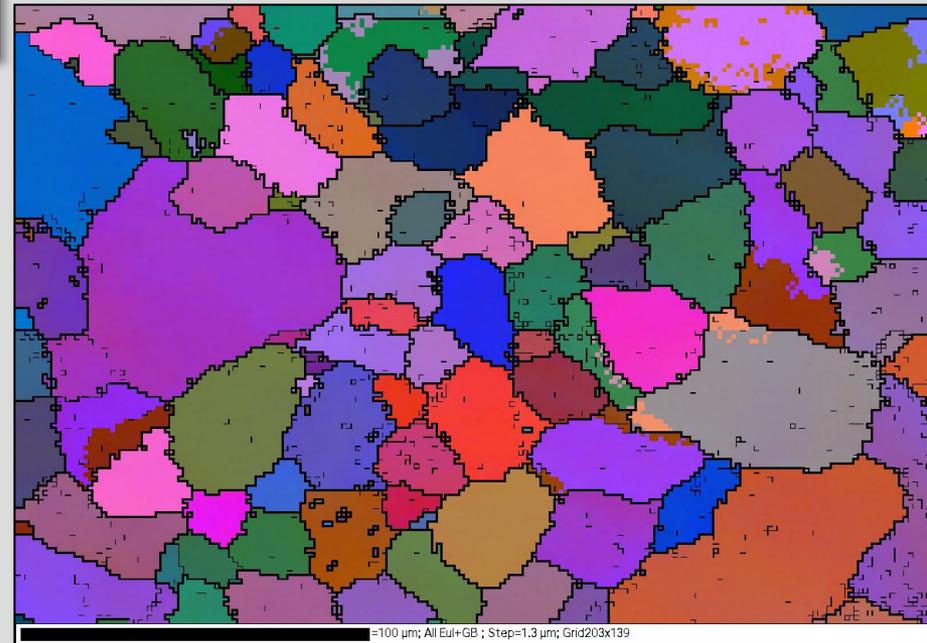
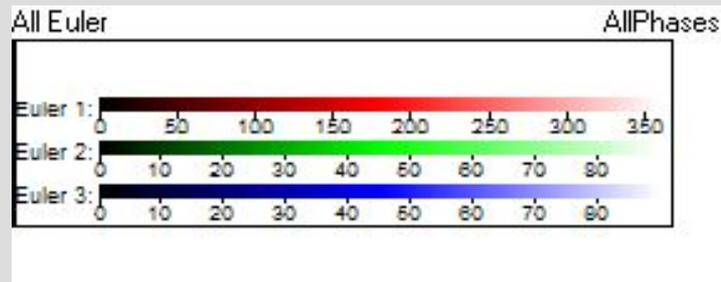


$(\varphi_1 \Phi \varphi_2)_i$

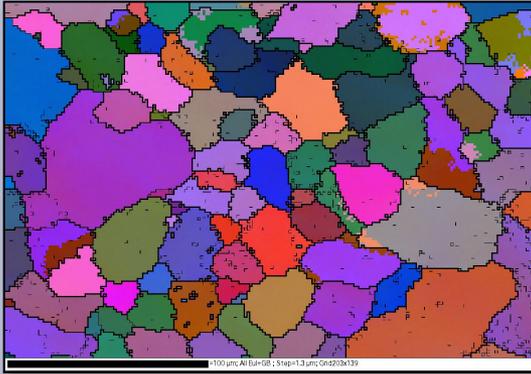
Карта (раз)ориентировок кристаллической решетки



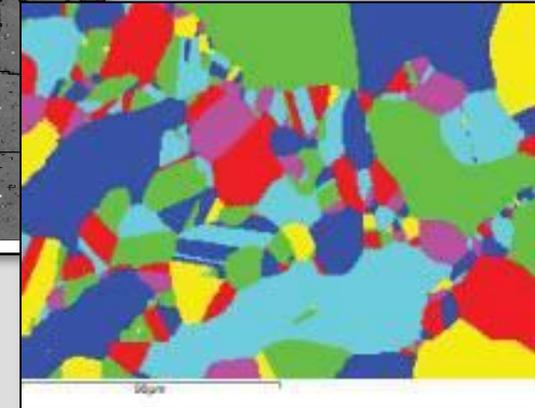
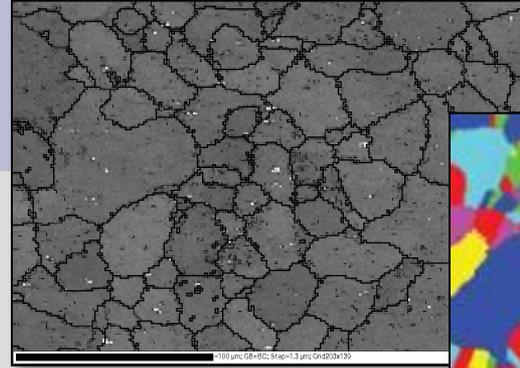
Проиндицировав картину дифракции обратнорассеянных электронов в каждой точке растра, система EBSD-анализа сохраняет информацию в виде трех углов Эйлера и строит карту разворотов системы координат кристаллической решетки (решеток) относительно системы координат образца.



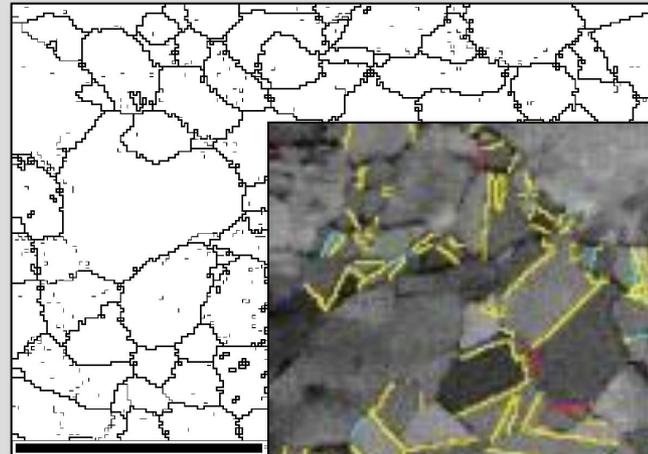
Карта (раз)ориентировок



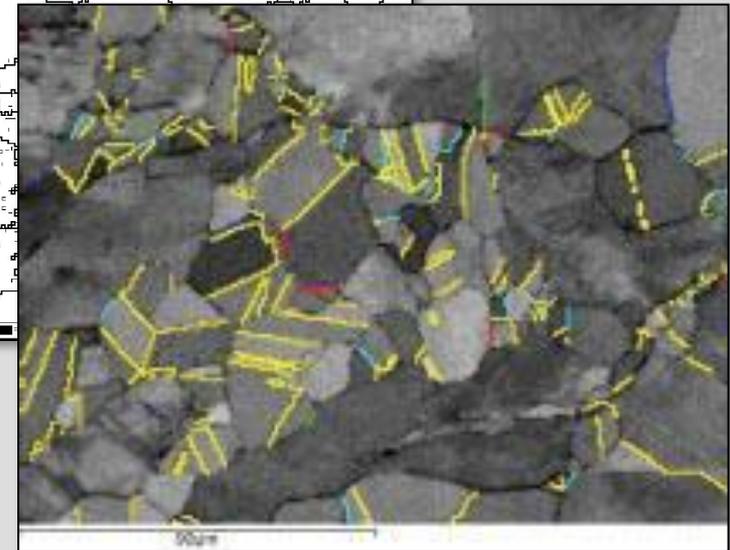
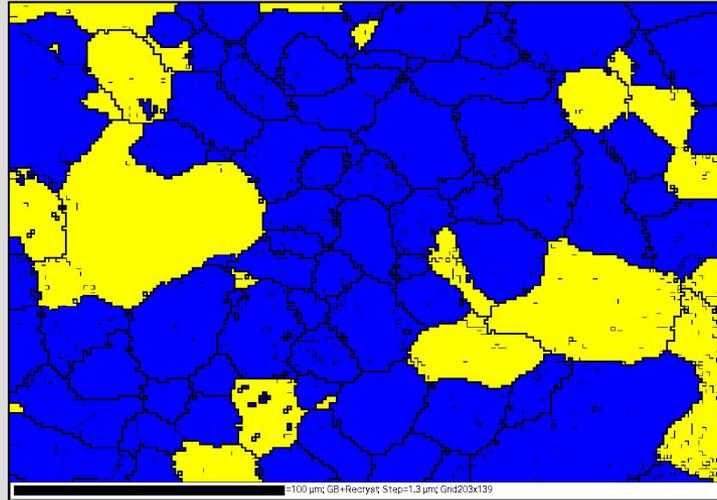
зеренная
структура



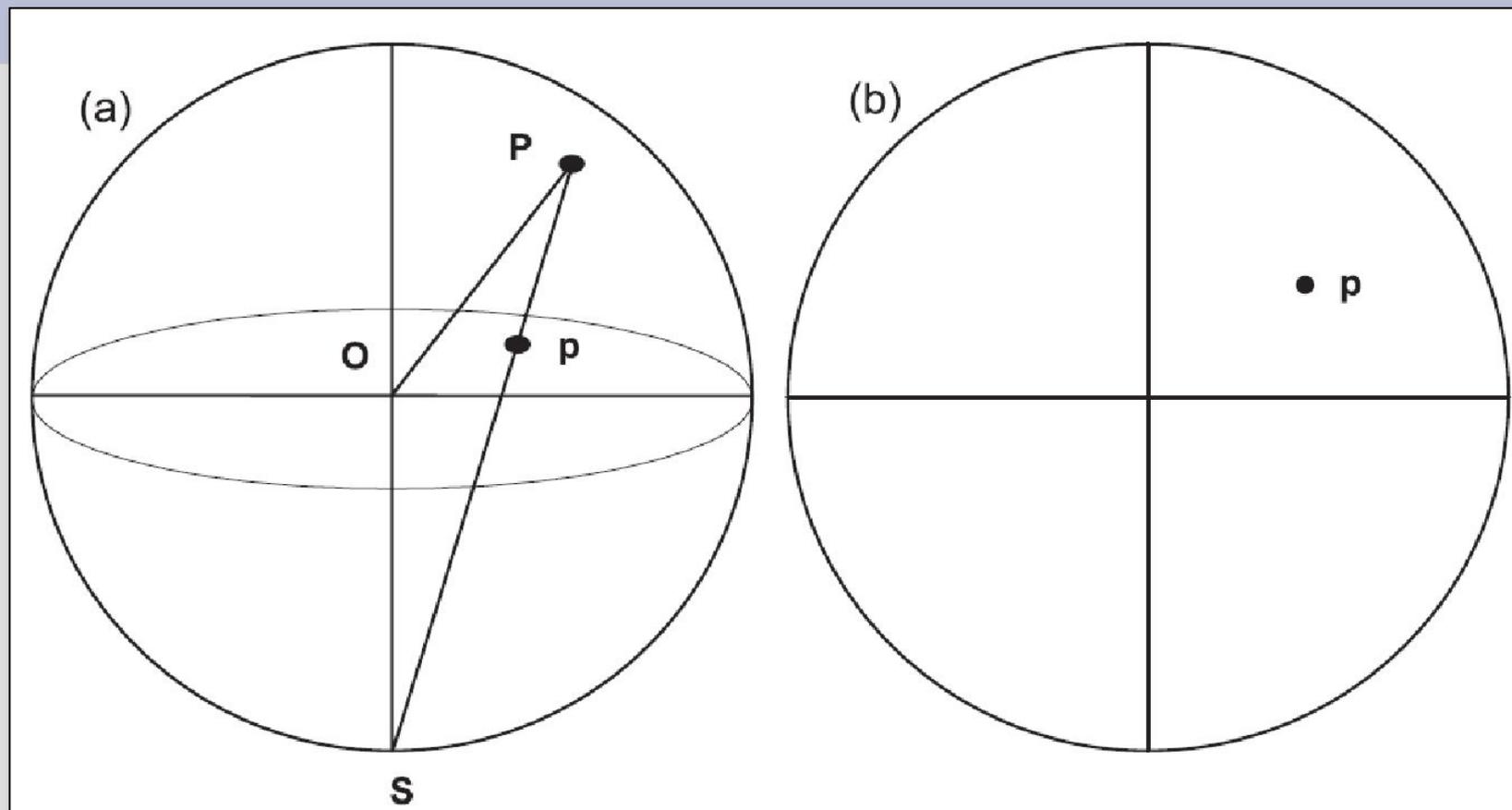
границы



деформация, рекристаллизация

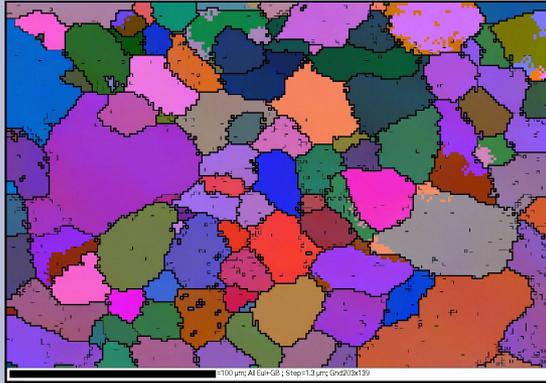


Изучение текстуры материалов методом ДОЭ: стереографические проекции



Стереографические проекции используются для представления элементов кристаллической структуры (направления, плоскости) в двумерном пространстве

Изучение текстуры материалов методом ДОЭ

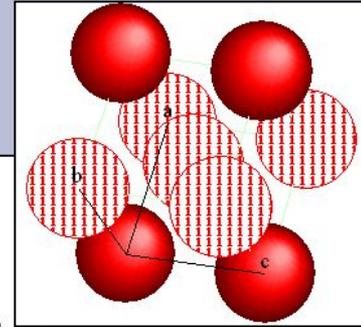
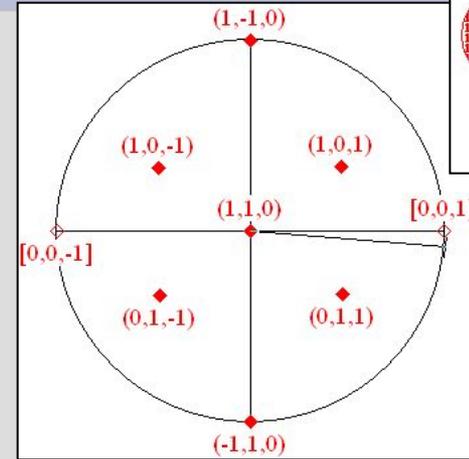


$(x, y, \text{фаза})_i$

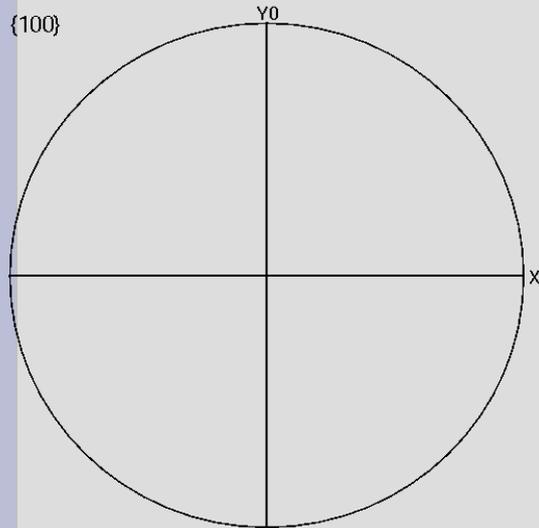
$(\varphi_1 \overset{+}{\Phi} \varphi_2)_i$

полюсные фигуры

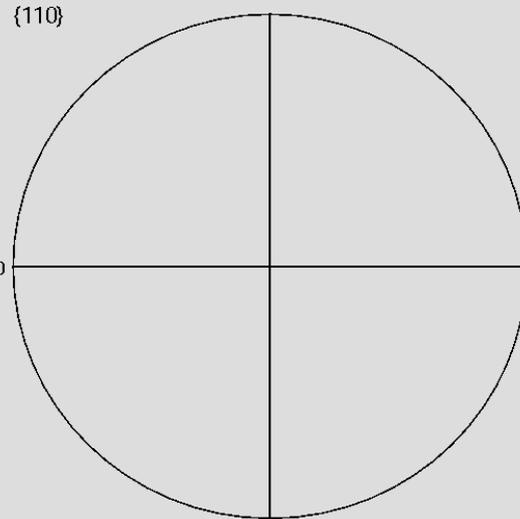
(x_i, y_i)



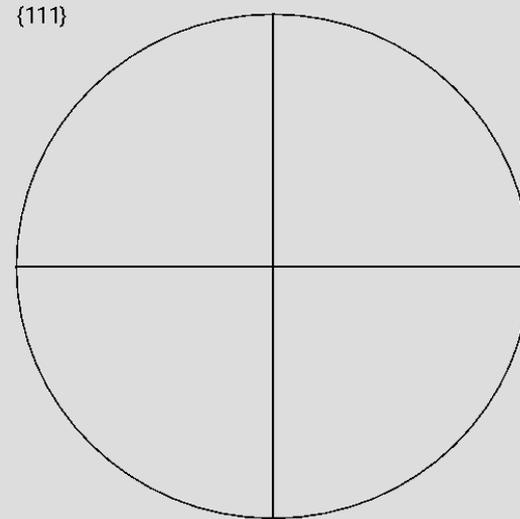
{100}



{110}



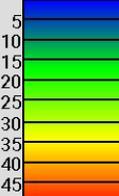
{111}



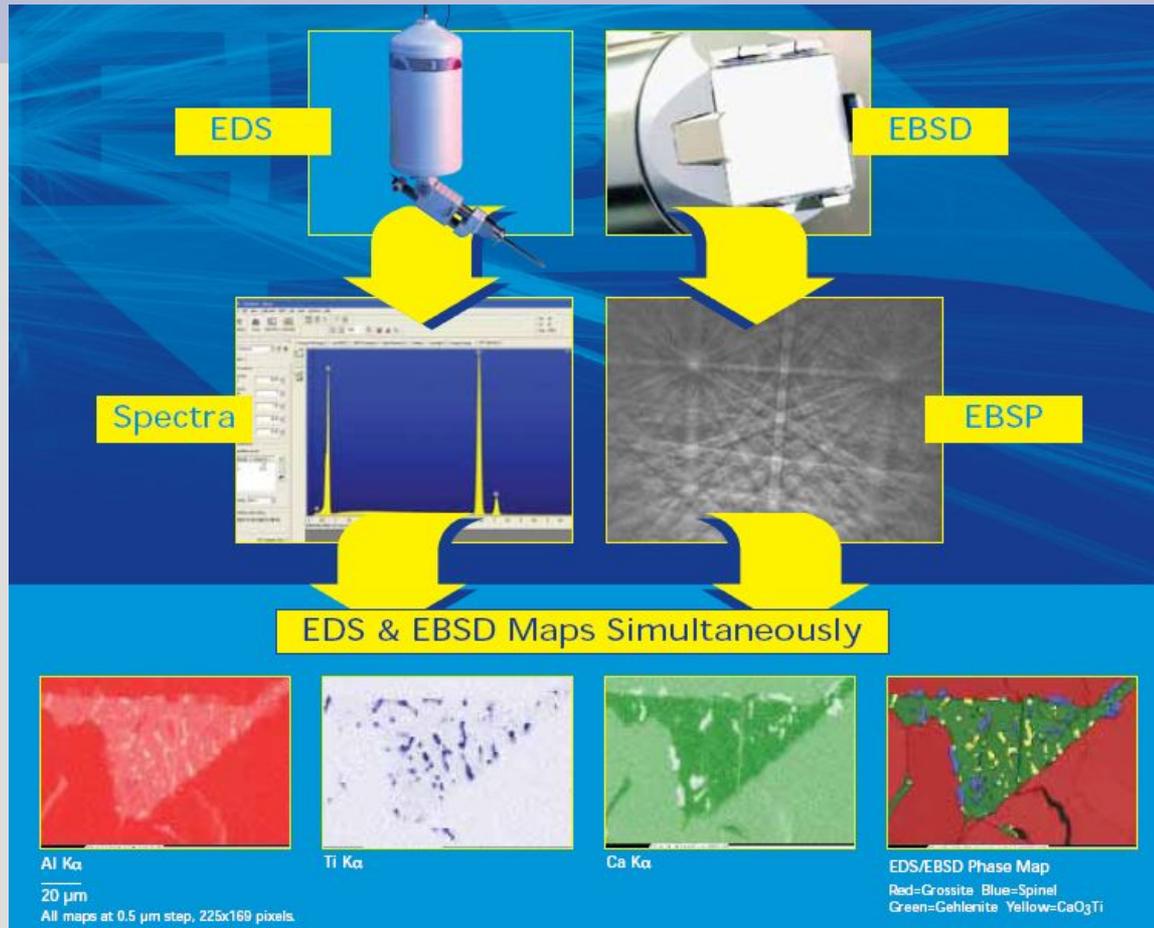
Pole Figures

[9.cpr]
Iron (m3m)
Complete data set
5736 data points
Equal Area projection
Upper hemispheres

Half width: 10°
Cluster size: 3°
Exp. densities (mud):
Min= 0.00, Max=51.77

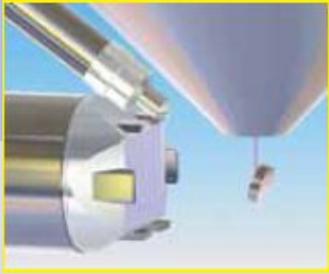


Совмещенное картирование EDS и EBSD

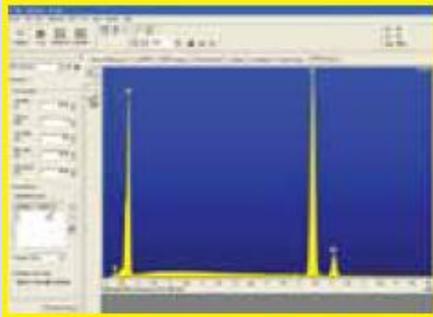


Одновременное использование методов ДОЭ и ЭД-рентгеновского микроанализа позволяет автоматически идентифицировать фазы и осуществлять картирование (карты распределения фаз, карты ориентации кристаллитов, рентгеновские карты распределения элементов).

Примеры совместного использования EBSD- и EDS-анализа



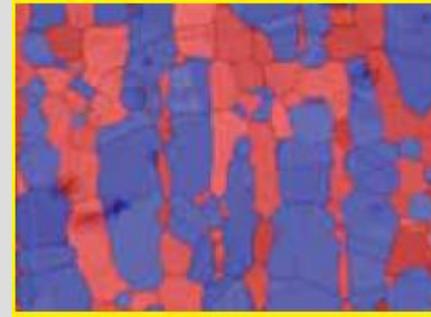
В каждой точке карты осуществляется накопление спектра ЭДС и картины ДОЭ. На основе этих данных фазы одинаковой структуры, но разного состава дискриминируются по составу, а фазы одинакового состава, но разной структуры – по кристаллической структуре.



Спектр EDS двухфазной стали, показывающий наличие железа и углерода



Карта EDS содержания железа не показывает наличие двух фаз



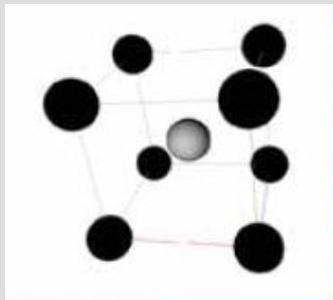
Карта с использованием EBSD показывает наличие фаз феррита (красный) и аустенита (синий)



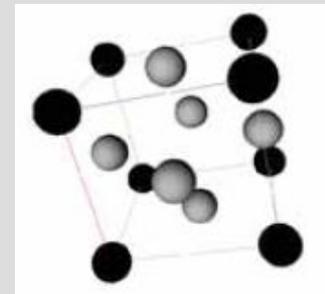
Ferrite



Austenite

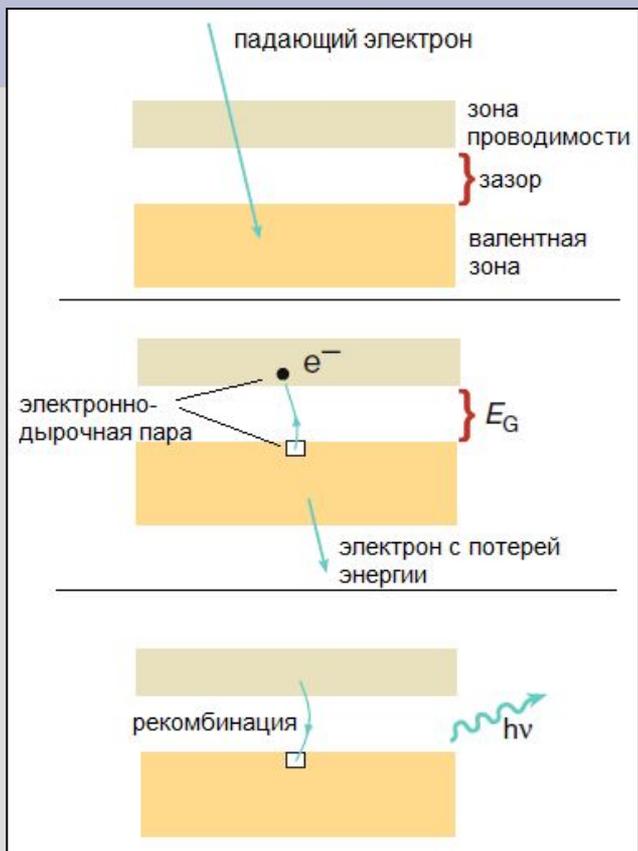


Ячейка феррита при ориентации атомов Fe ОЦК, группа 229, $a=2,87\text{Å}$



Ячейка аустенита при ориентации атомов Fe ГЦК, группа 225, $a=3,66\text{Å}$

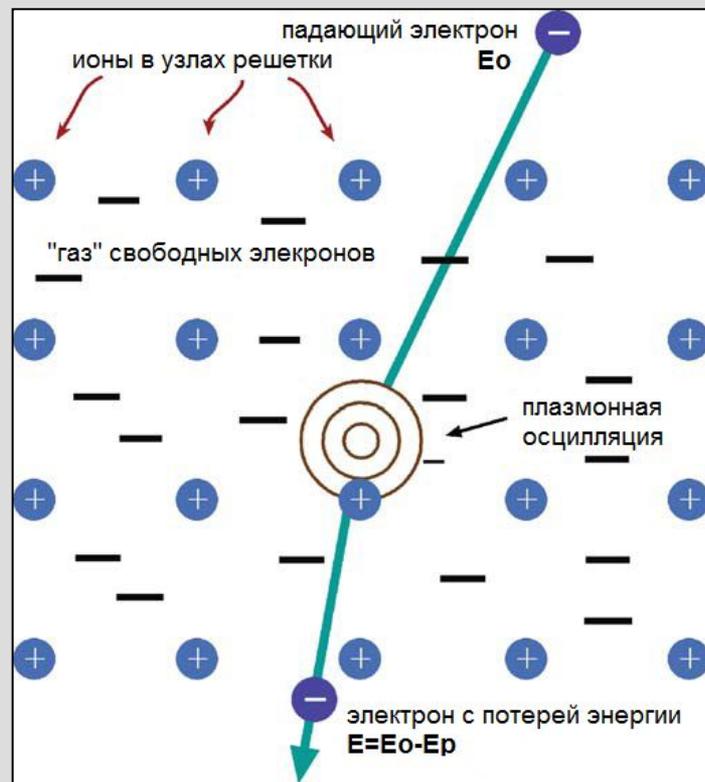
Катодолюминесценция, электронно-дырочные пары и плазмоны



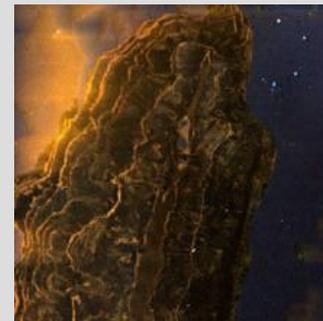
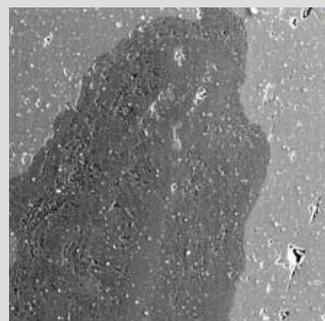
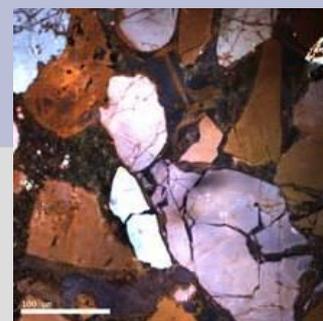
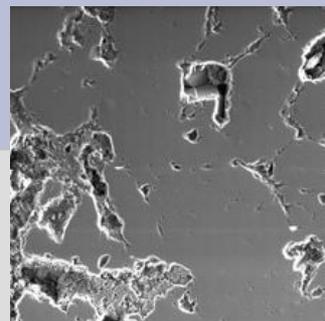
Катодолюминесценция – процесс испускания кванта видимого света при рекомбинации электронно-дырочных пар, возникших в материале под действием электронов пучка.

Плазмоны – кванты коллективных продольных колебаний (осцилляций) свободных электронов материала («электронного газа») под действием электронов пучка.

$E_p \approx 15-25$ эВ



Детекторы катодолюминесценции



Детектор
катодолюминесценции



Примеры РЭМ
изображений в режиме
КЛ

