

Растровая электронная микроскопия

А.В.КНОТЬКО

Химический факультет МГУ

электронная пушка

электромагнитные
линзы

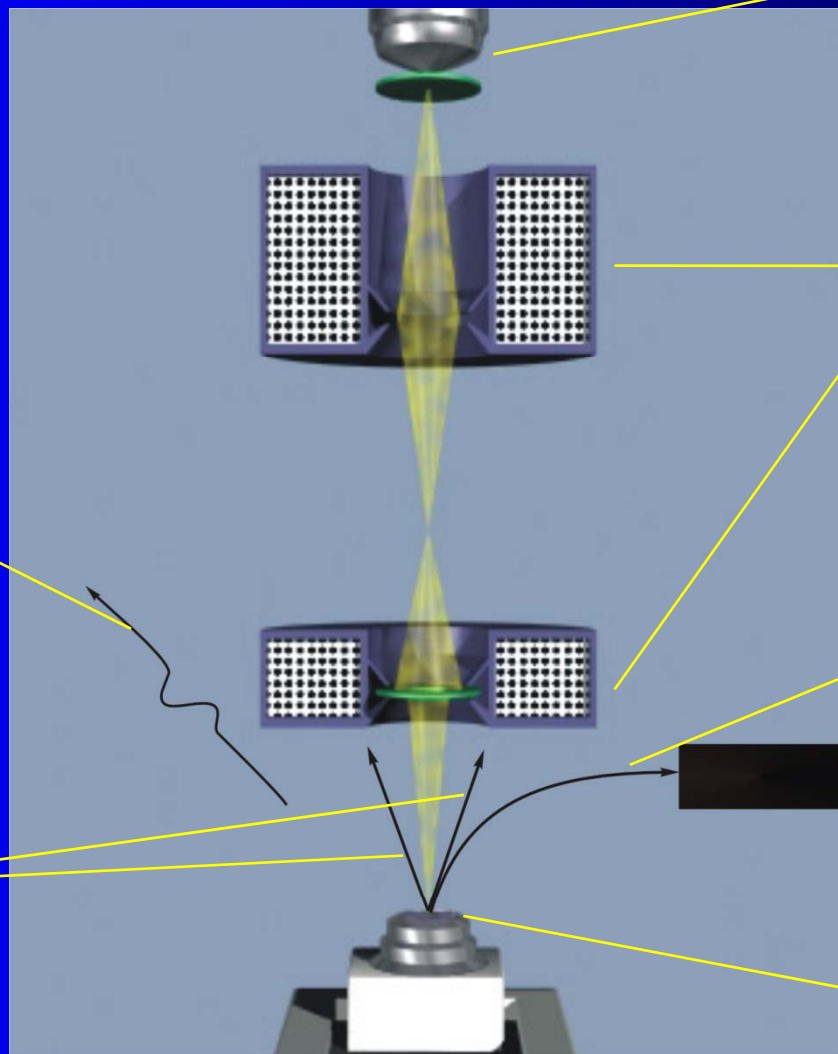
1 вторичные
электроны

образец

4 характеристическое
рентгеновское
излучение

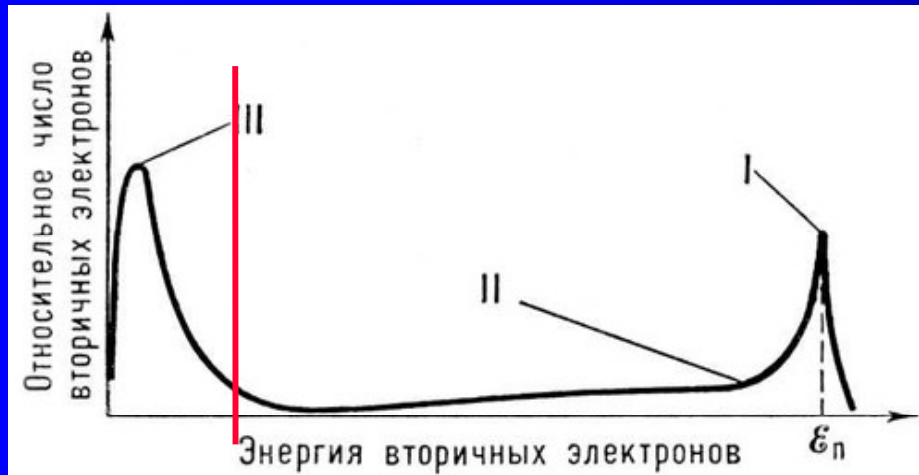
2 отраженные
электроны

3 дифракция
отраженных
электронов



< 50 эВ

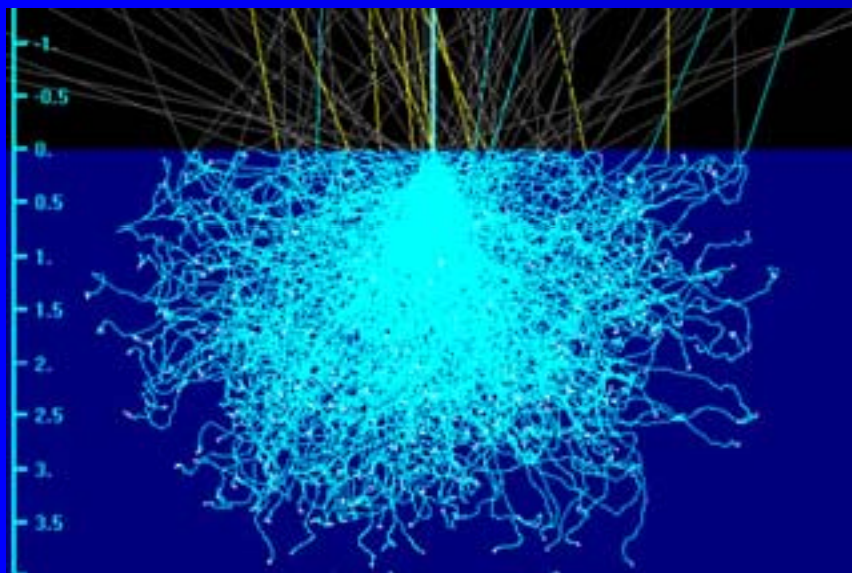
Вторичные электроны



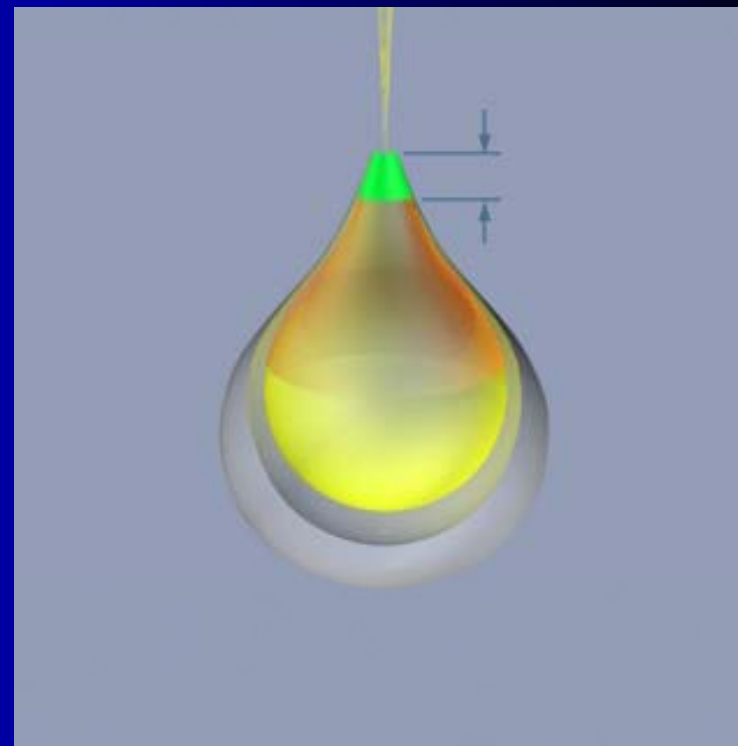
Интенсивность:

- ① $I \sim \sec \theta$
- ② химический состав
- ③ ориентация
кристаллических
частиц

Взаимодействие электронов с веществом



Монте-Карло моделирование
распространения электронов в образце

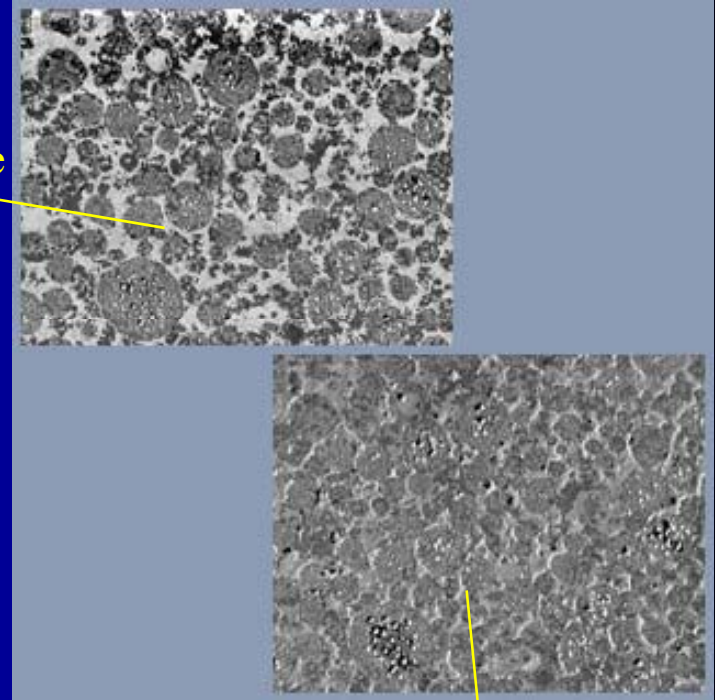


глубина выхода вторичных электронов

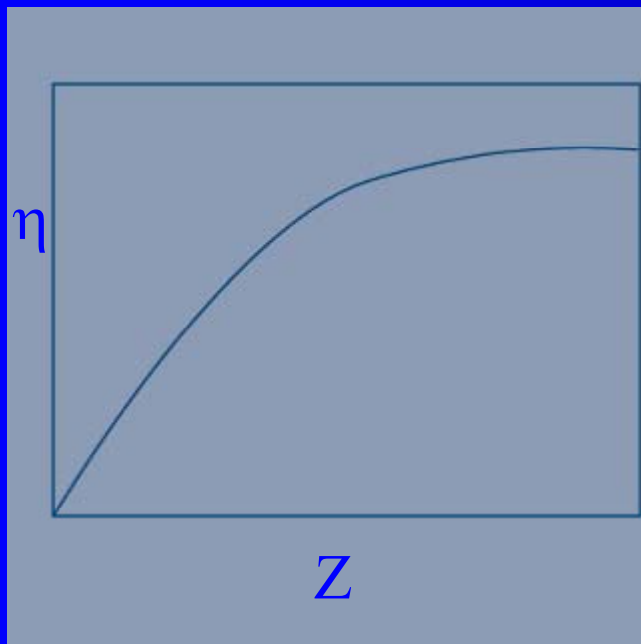
Отраженные электроны



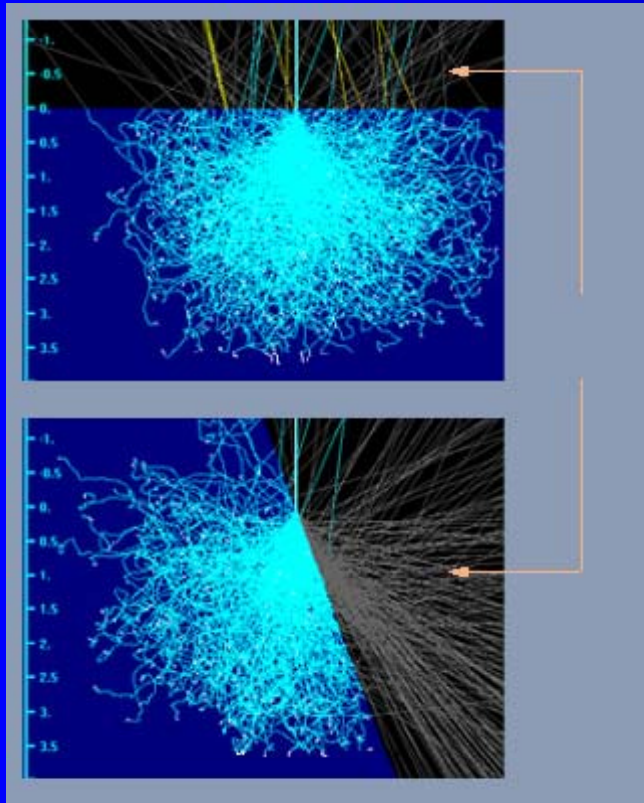
отраженные электроны



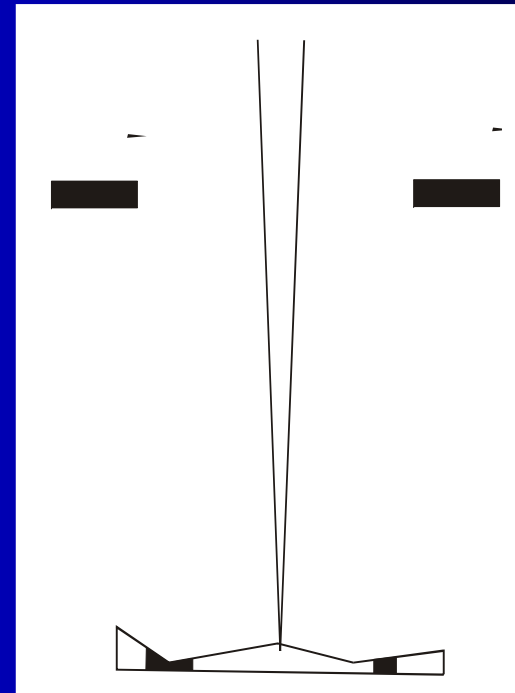
вторичные электроны



Зависимость коэффициента отражения электронов от среднего атомного номера вещества



отраженные
электроны

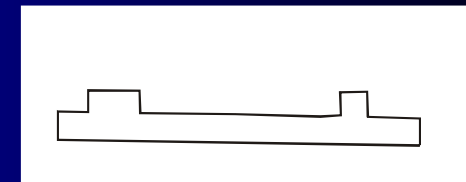
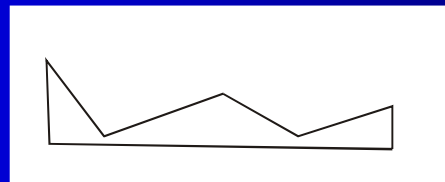


$$\eta(\theta) = (1 + \cos \theta)^{-p}$$

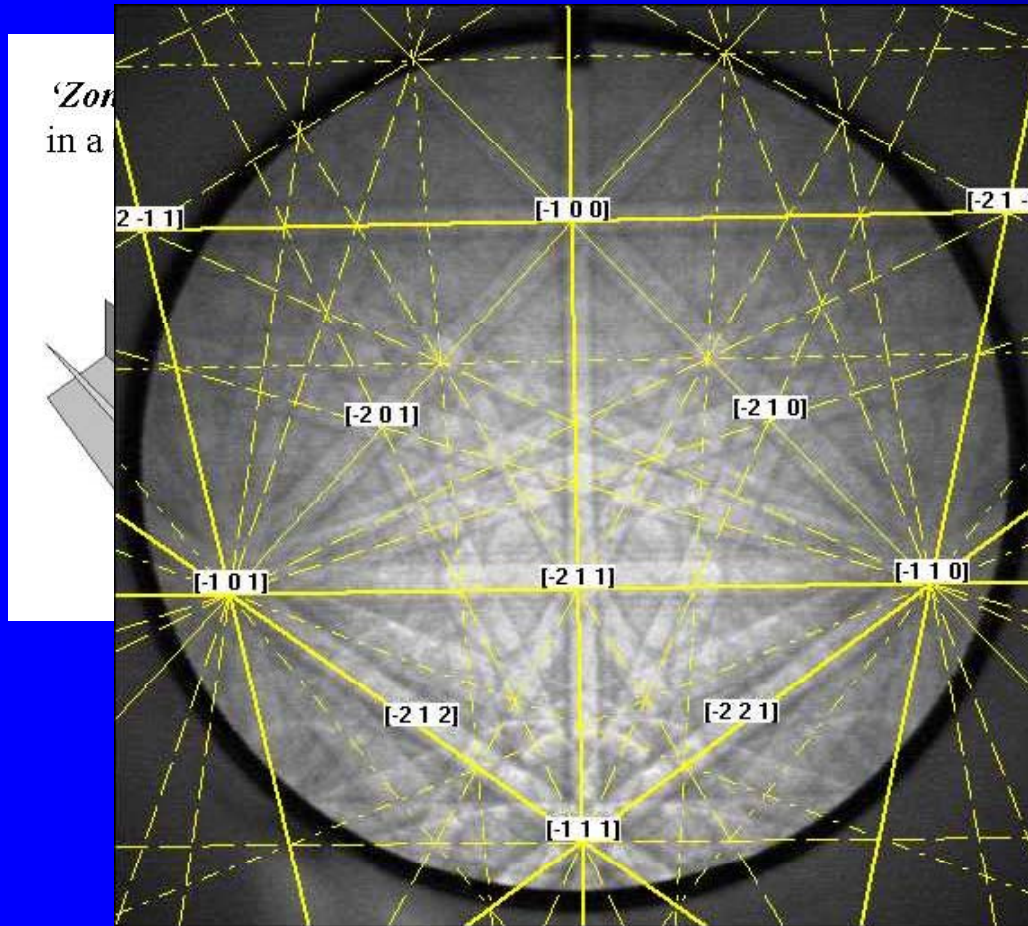
$$p = 9/Z^{1/2}$$

$$I_1 - I_2$$

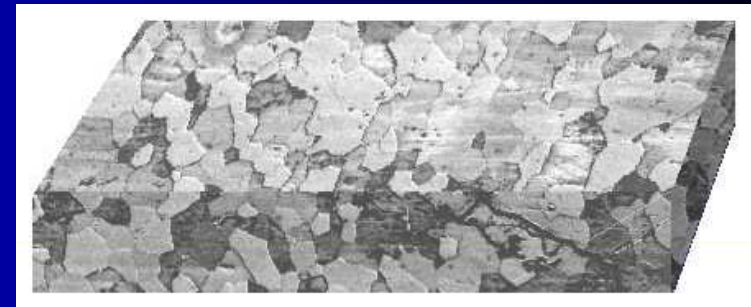
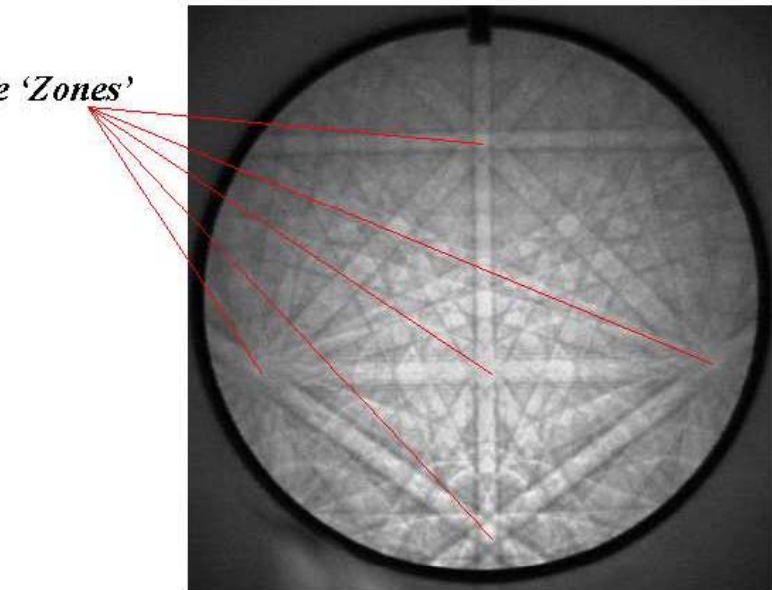
$$I_1 + I_2$$



Дифракция отраженных электронов

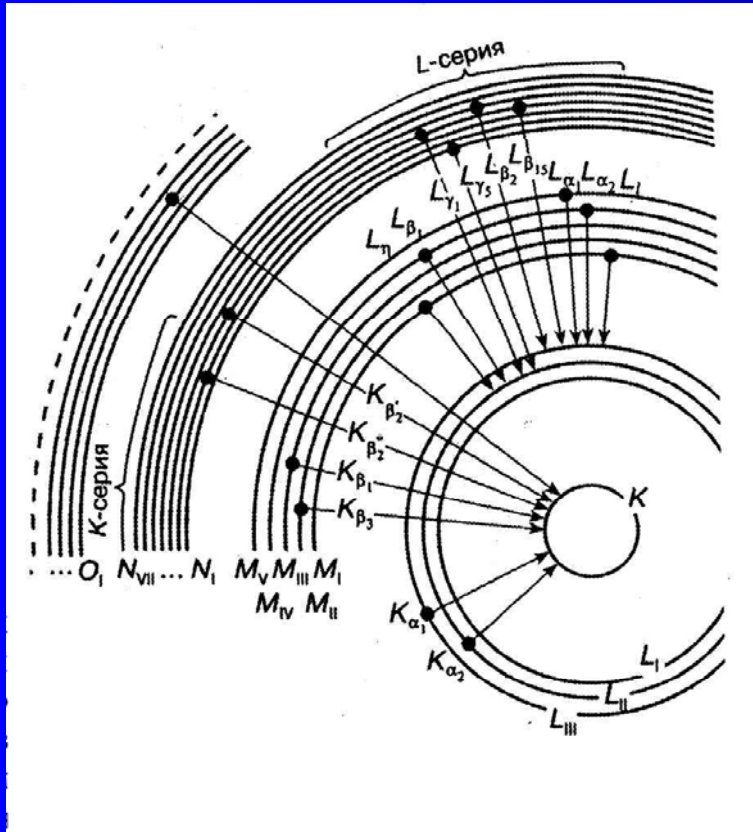


'EBSP' Ge single crystal at 20keV



Аналог для ПЭМ – “линии Кикучи”

Рентгеноспектральный микроанализ



Качественный анализ: закон Мозли

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = a \cdot Z + b$$

Количественный анализ:

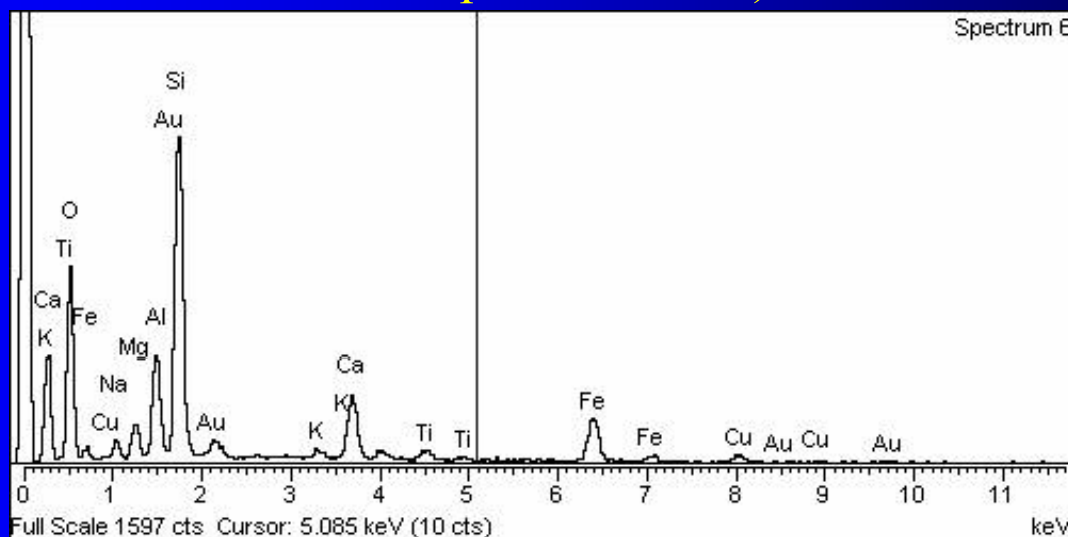
$$C_{об} = Z \cdot A \cdot F \cdot \frac{I_{об}}{I_{эт}} C_{эт}$$

Z - поправка, зависящая от среднего атомного номера исследуемого образца и определяемая процессами отражения и поглощения электронов первичного пучка
A - поправка на поглощение излучения
F - поправка на флуоресценцию

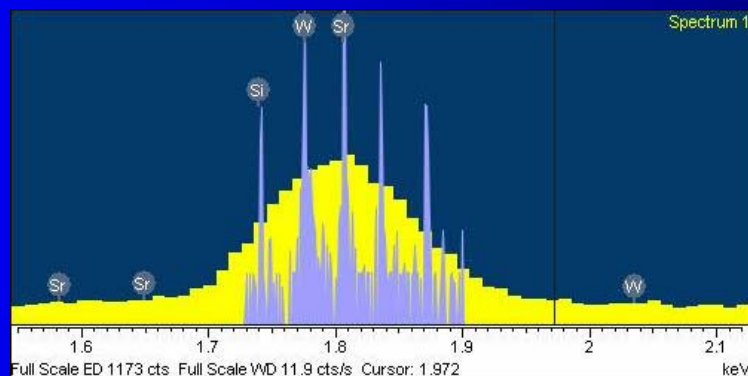
Детектирование рентгеновского излучения в РСМА

А) детекторы с энергетической дисперсией

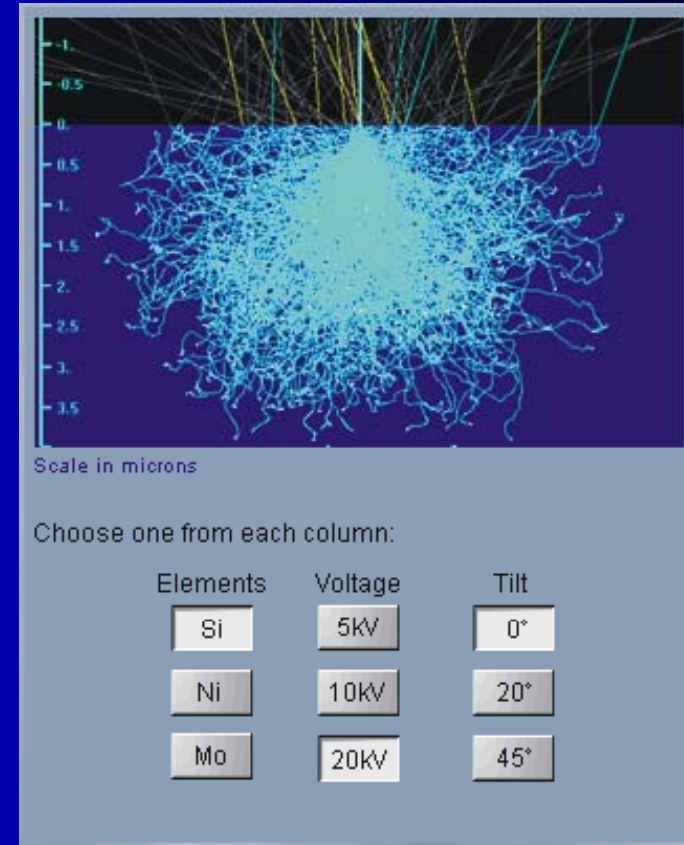
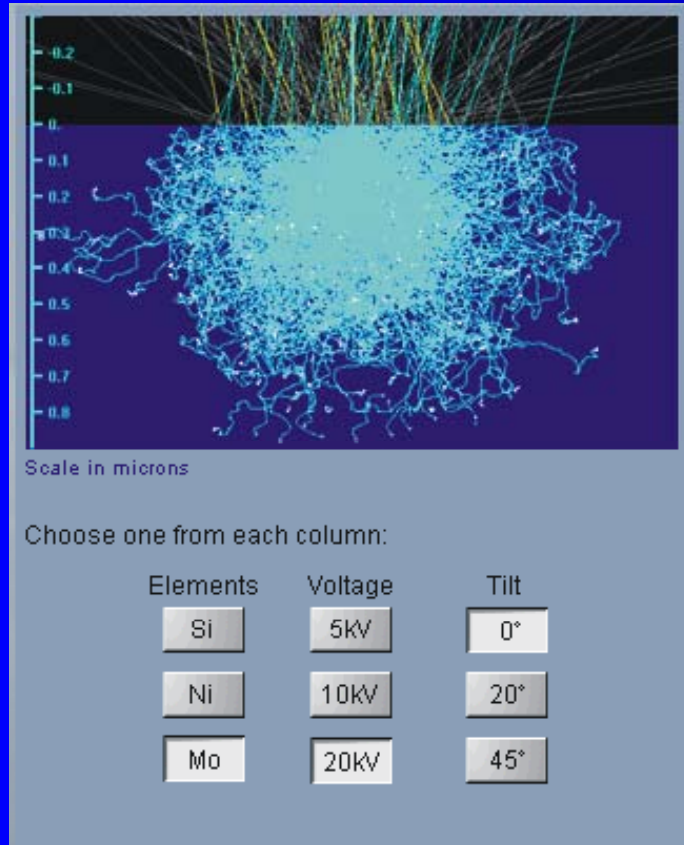
Полупроводниковый детектор - анализ величин импульсов тока при инициированном облучении пробое р-n перехода (энергетическое разрешение на линии $MnK\alpha$ порядка 130 эВ)



В) детекторы с волновой дисперсией – отражение от монокристалла (энергетическое разрешение на линии $MnK\alpha$ порядка 10 эВ)

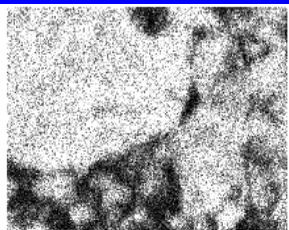
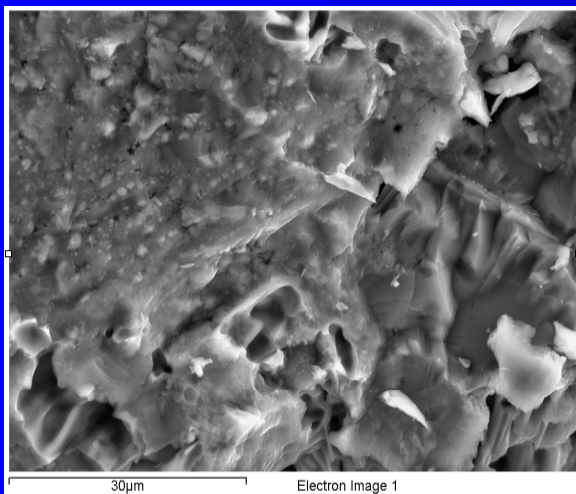


Пространственное разрешение микроанализа

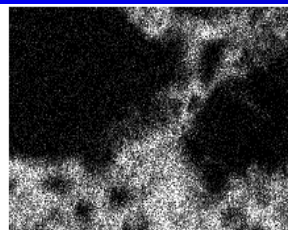


Рентгеновские карты распределения элементов в образце

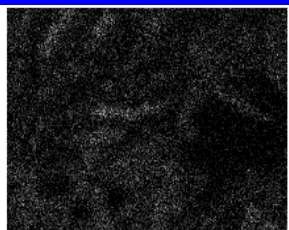
по площади



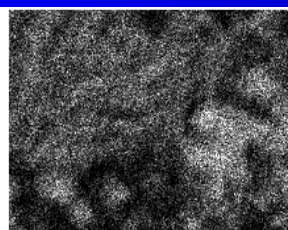
Si Ka1



P Ka1

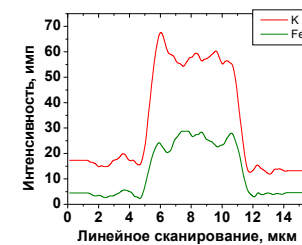
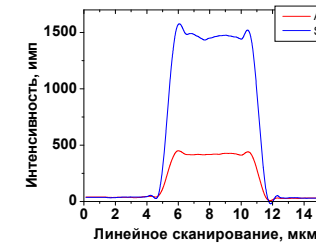
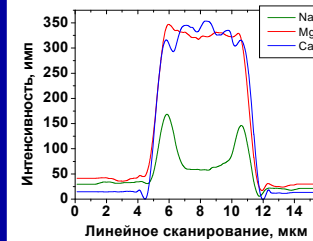
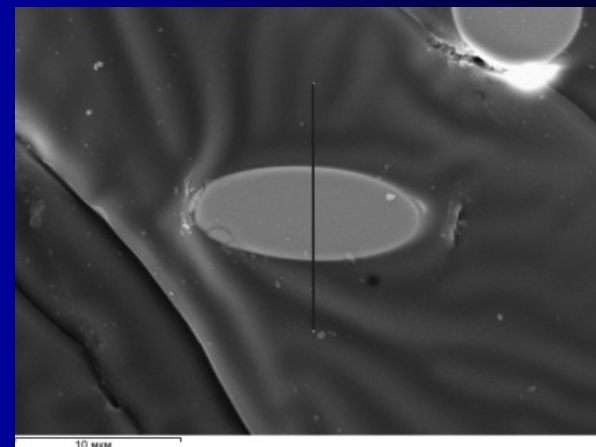


Fe Ka1



Al Ka1

по линии



Обработка микрофотографий (распределение частиц по размерам)

А) Ручная

Б) Автоматическая (полностью автоматическое выделение частиц по контрасту границ после применения фильтрации по различным алгоритмам)

работает на **ОЧЕНЬ** небольшом количестве изображений:

-равномерная (по картинке) яркость частиц, границ и фоновой матрицы

-малое перекрывание частиц

В) Полуавтоматическая

Электрическая зарядка образца

- А) напыление проводящего слоя
- Б) уменьшение ускоряющего напряжения и/или тока на образце
- В) наблюдение изображений в режиме низкого вакуума