

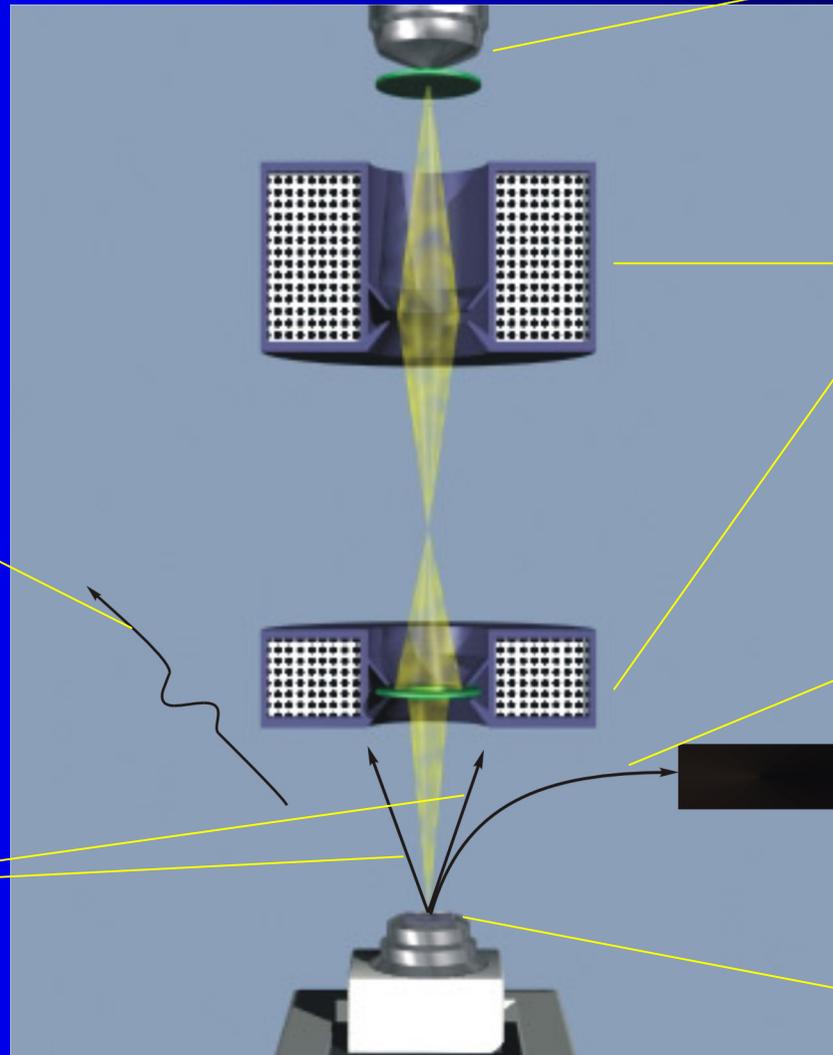
Растровая электронная микроскопия

электронная пушка

электромагнитные
линзы

1 вторичные
электроны

образец



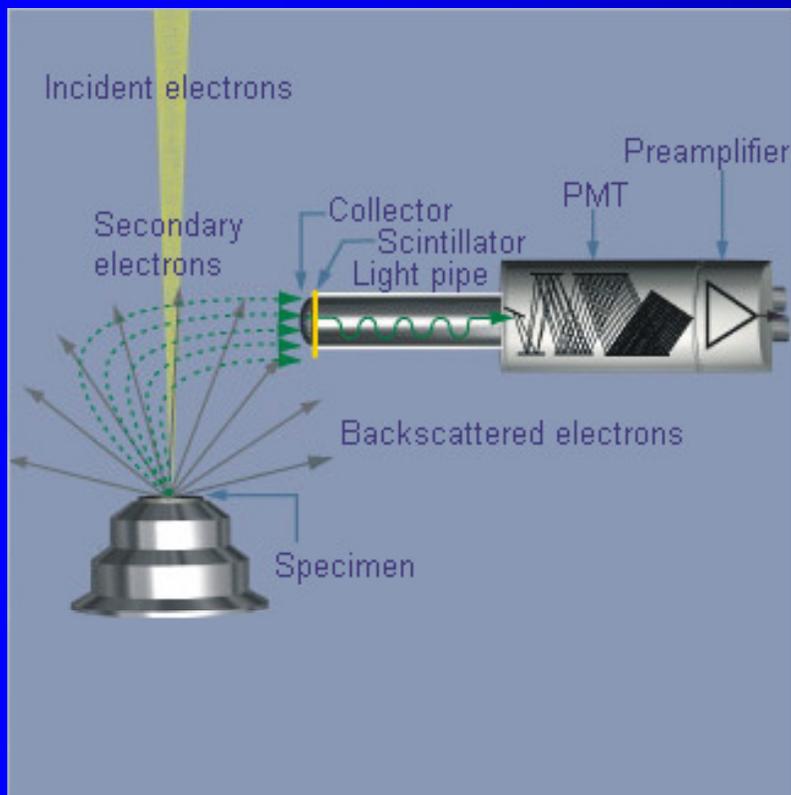
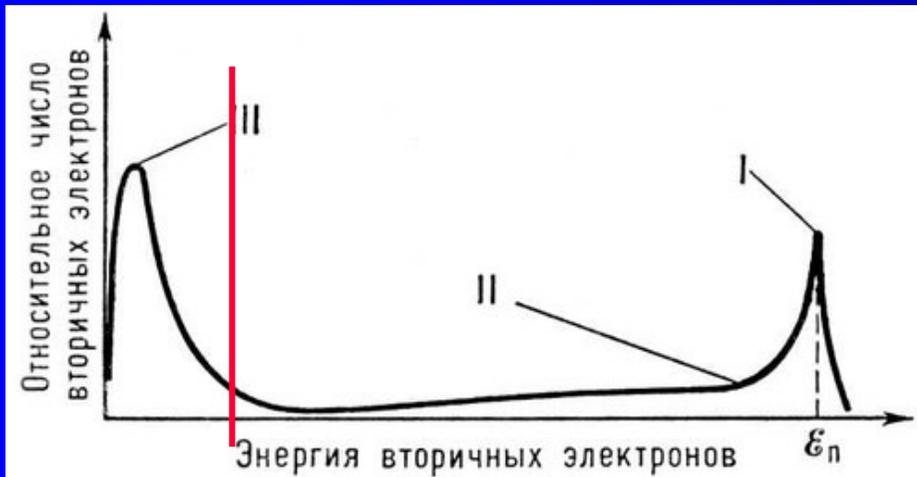
4 характеристическое
рентгеновское
излучение

2 отраженные
электроны

3 дифракция
отраженных
электронов

< 50 эВ

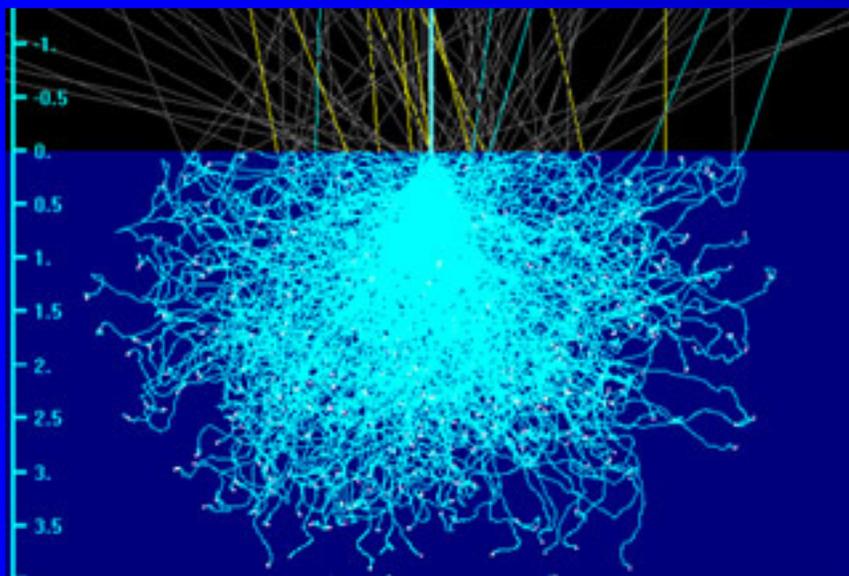
Вторичные электроны



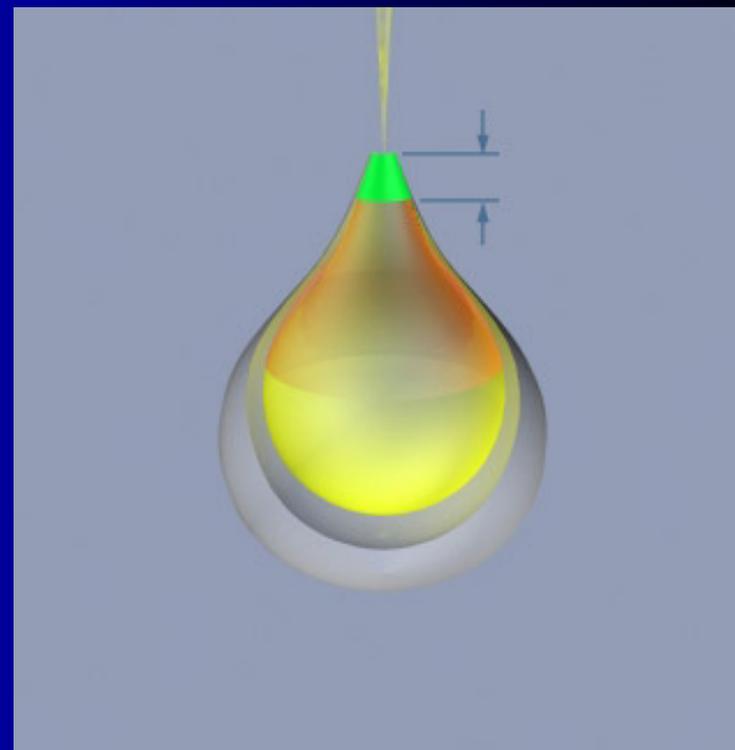
Интенсивность:

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

Взаимодействие электронов с веществом



Монте-Карло моделирование распространения электронов в образце

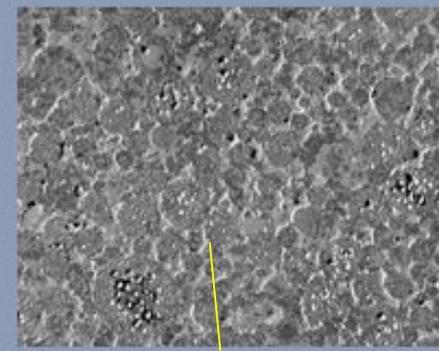
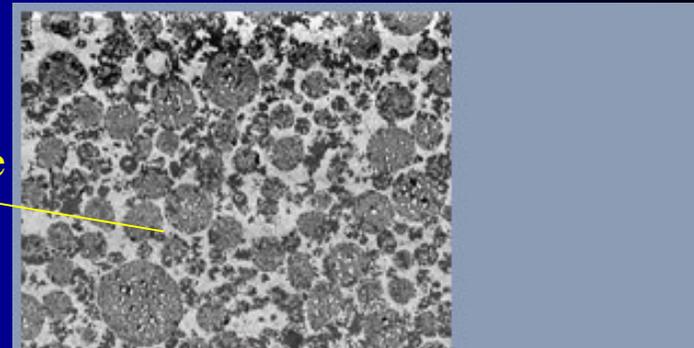


глубина выхода вторичных электронов

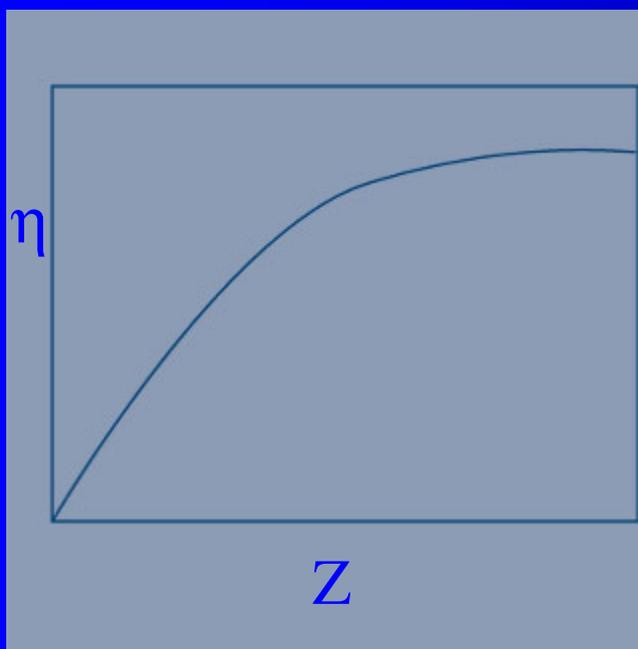
Отраженные электроны



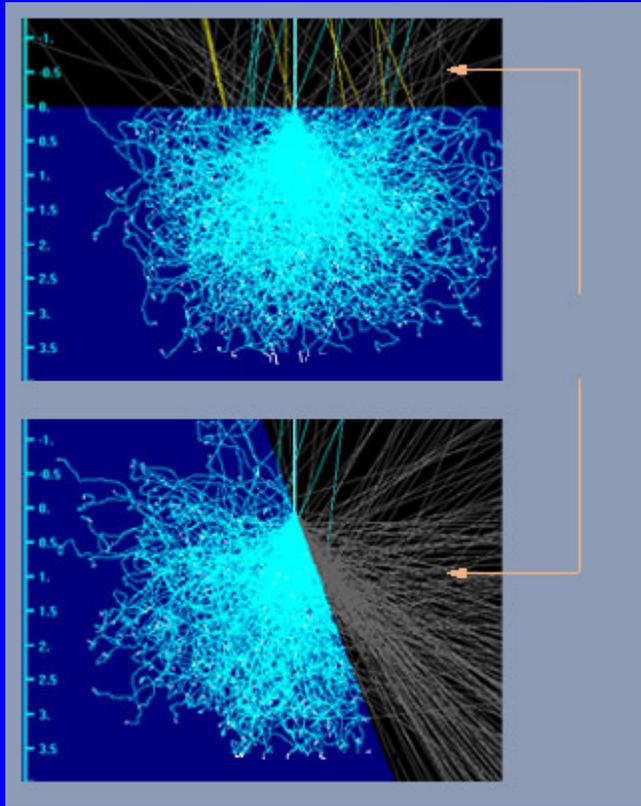
отраженные электроны



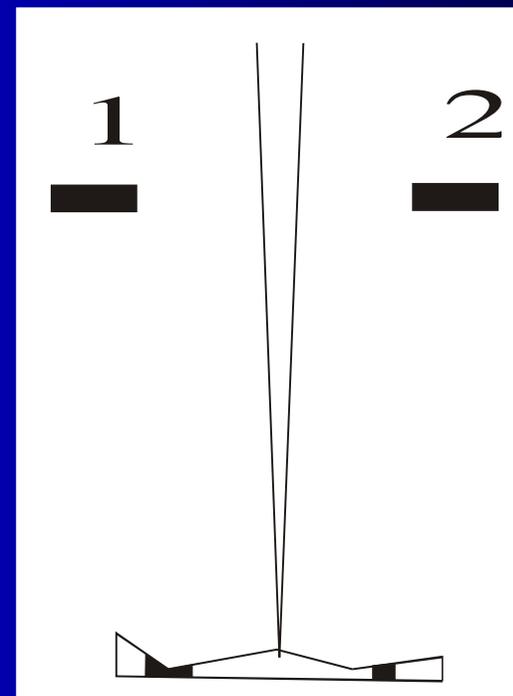
вторичные электроны



Зависимость коэффициента отражения электронов от среднего атомного номера вещества



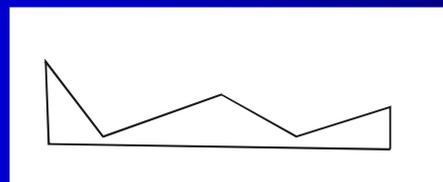
отраженные
электроны



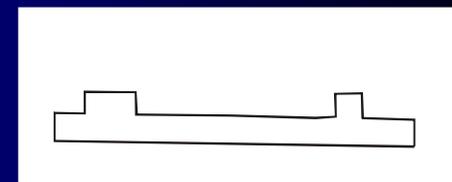
$$\eta(\theta) = (1 + \cos \theta)^{-p}$$

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

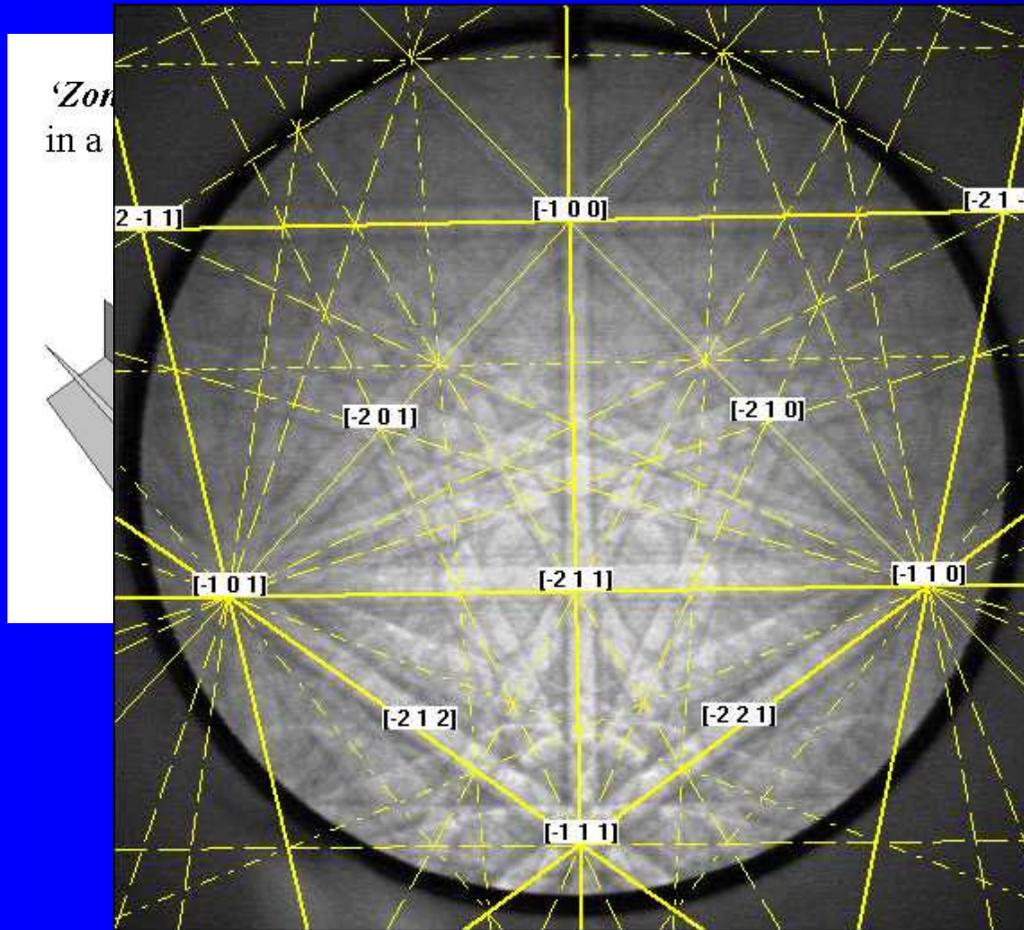
$$I_1 - I_2$$



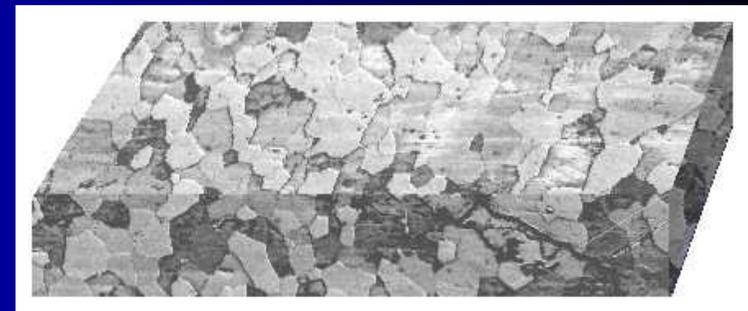
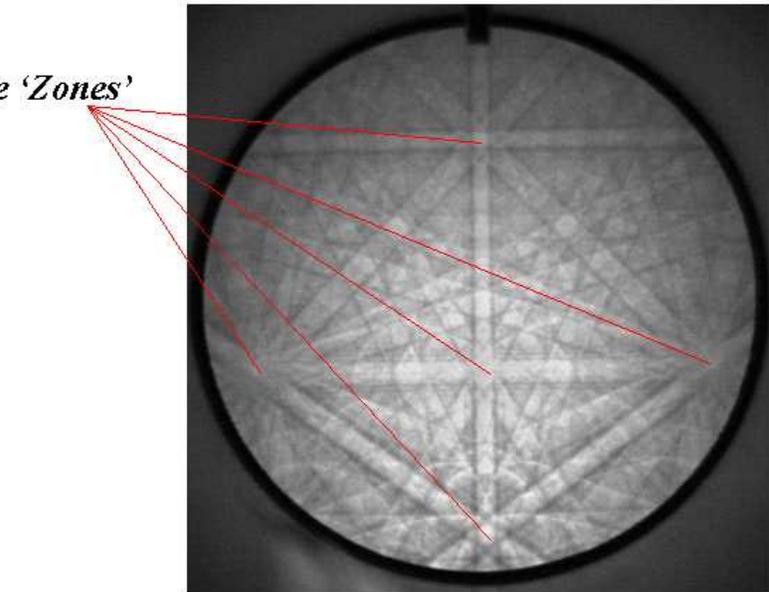
$$I_1 + I_2$$



Дифракция отраженных электронов

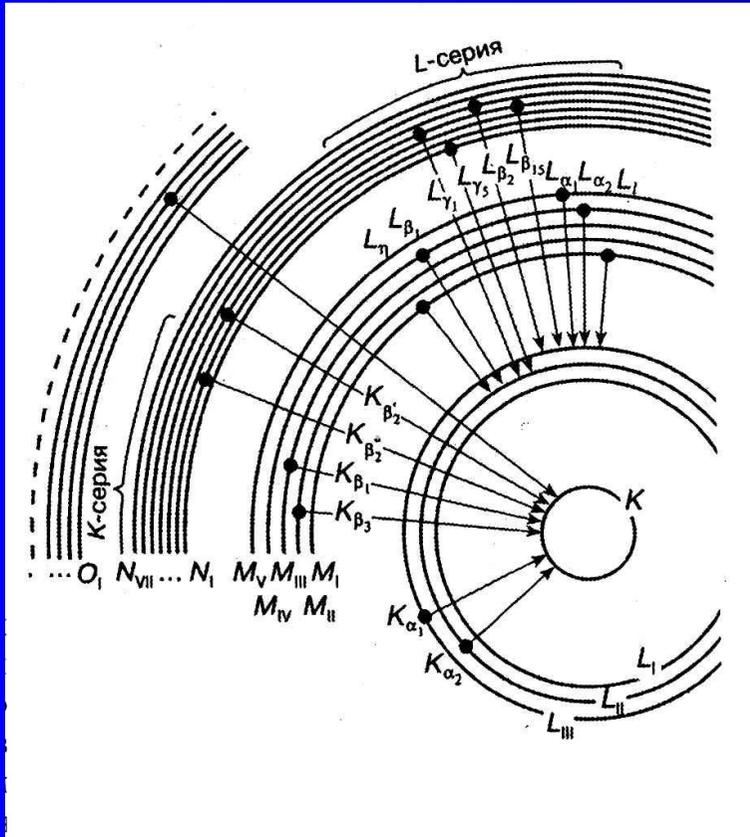


'EBSP' Ge single crystal at 20keV



Аналог для ПЭМ – “линии Кикучи”

Рентгеноспектральный микроанализ



Качественный анализ: закон Мозли

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

Количественный анализ:

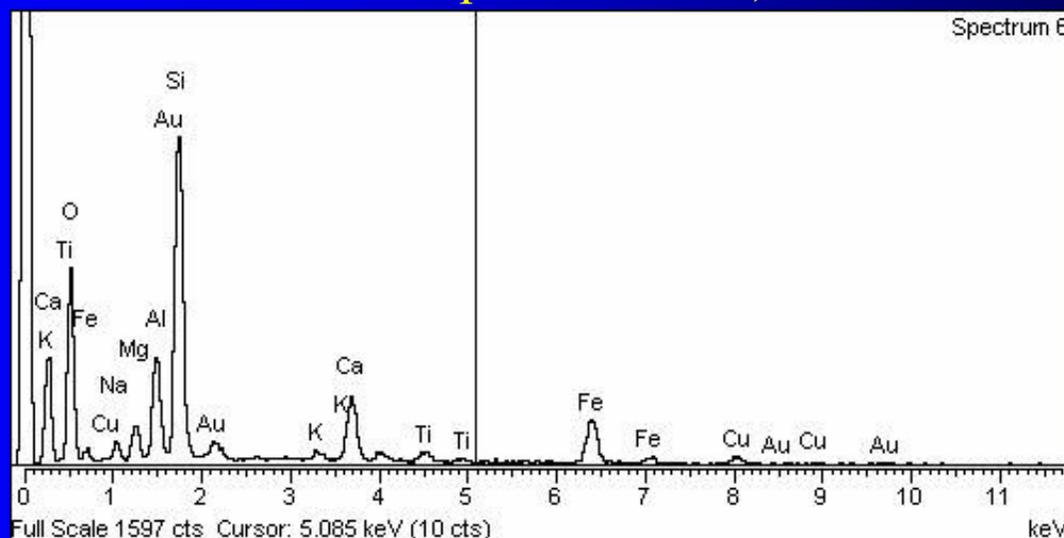
$$C_{об} = Z \cdot A \cdot F \cdot \frac{I_{об}}{I_{эт}} C_{эт}$$

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

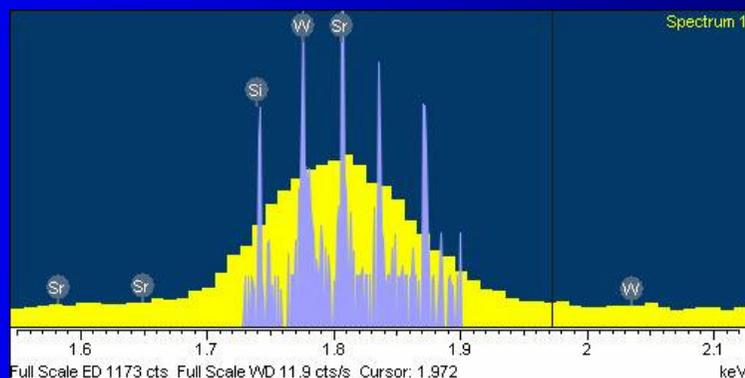
Детектирование рентгеновского излучения в РСМА

А) детекторы с энергетической дисперсией

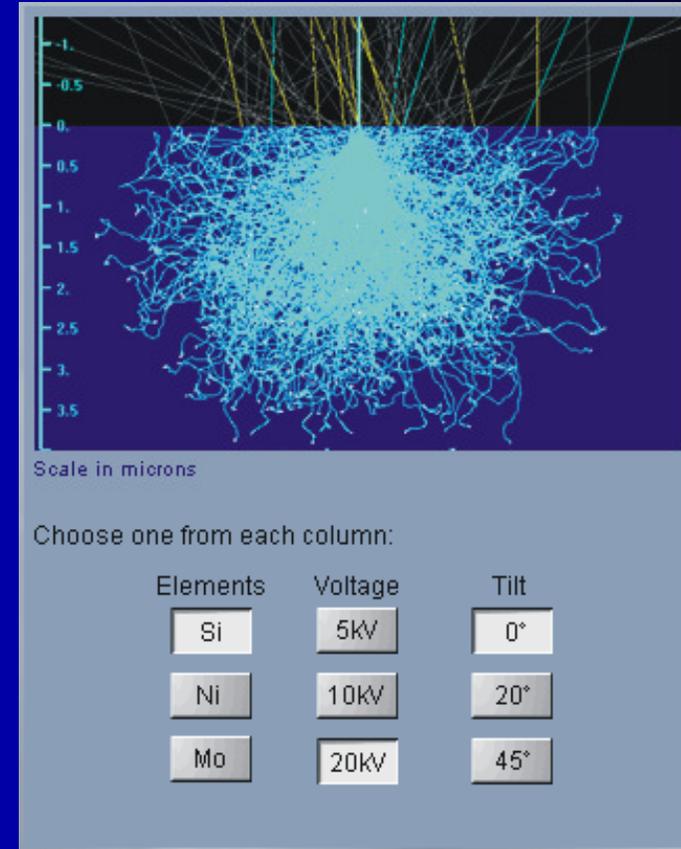
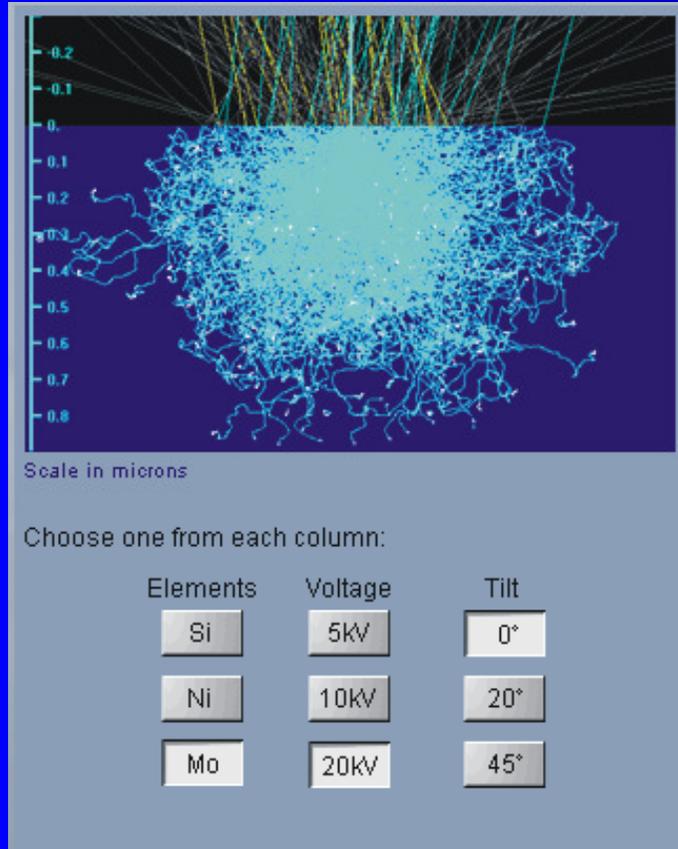
Полупроводниковый детектор - анализ величин импульсов тока при иницированном облучении пробое р-п перехода (энергетическое разрешение на линии $MnK\alpha$ порядка 130 эВ)



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

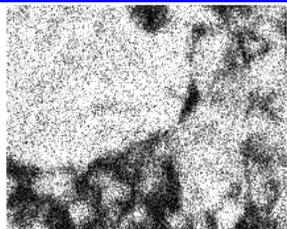
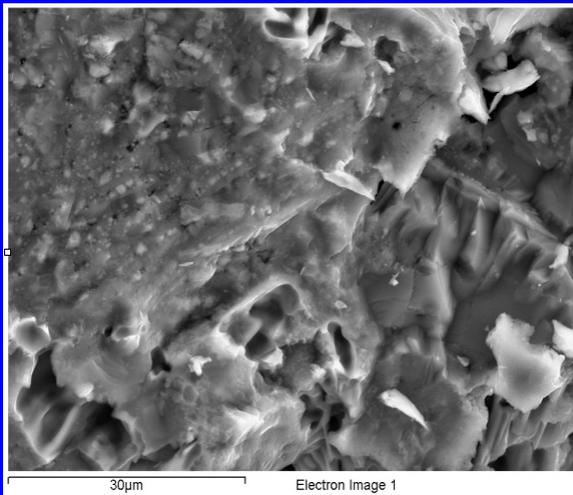


Пространственное разрешение микроанализа

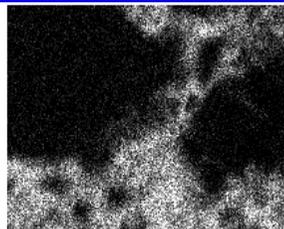


Рентгеновские карты распределения элементов в образце

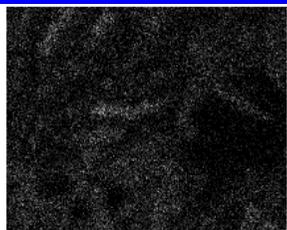
по площади



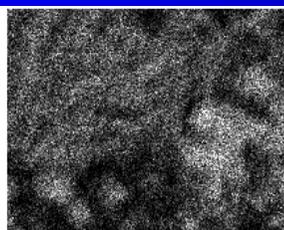
Si Ka1



P Ka1

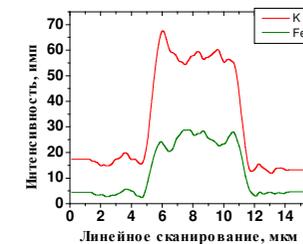
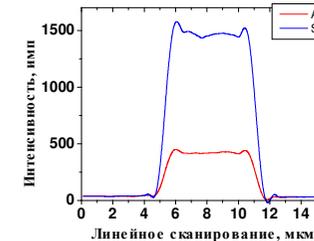
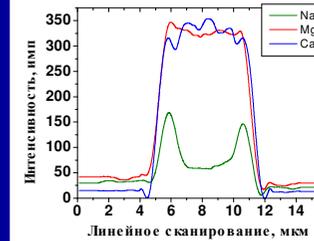
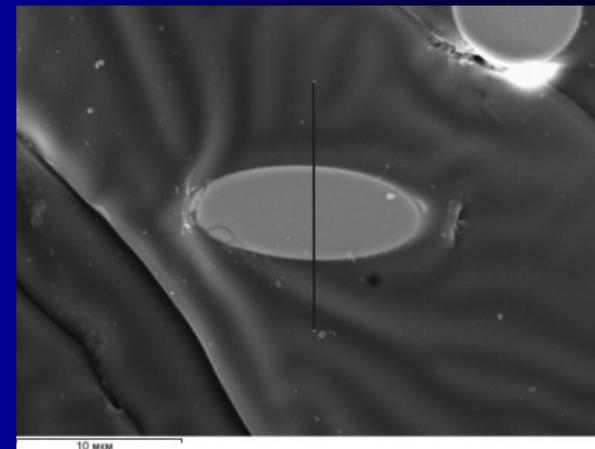


Fe Ka1

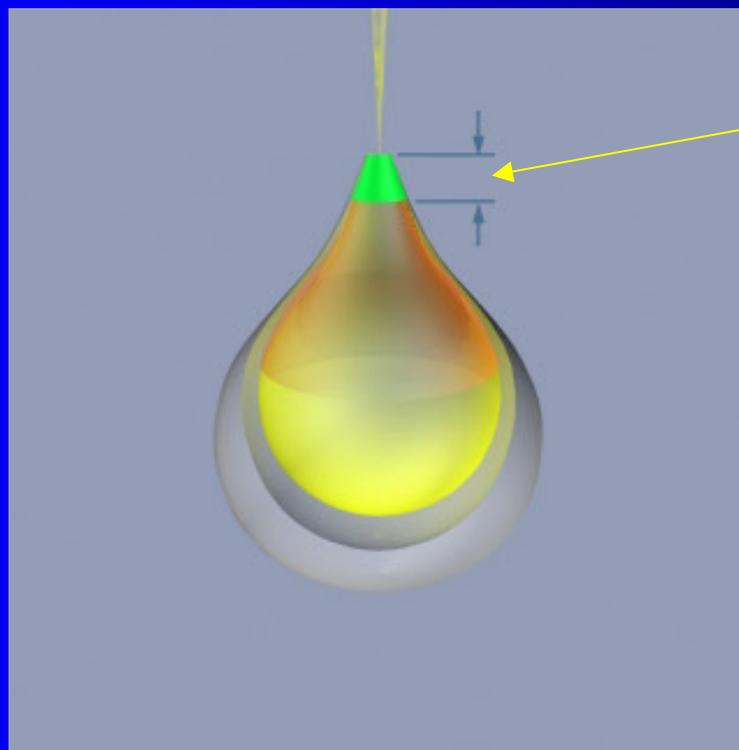


Al Ka1

по линии



Особенности РСМА в ПЭМ



толщина
образца

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

Литература:

ПЭМ:

1. П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон, Д. Пэшли, М. Уэлан. Электронная микроскопия тонких кристаллов., М., Мир, 1968.
2. Г. Томас, М.Д. Гориндж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов., М., Наука, 1983
3. Дж. Спенс. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения, М., Наука, 1986
4. Д. Синто, Т. Оикава. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия., М., Техносфера, 2006
5. D.V. Williams, C.V. Carter. Transmission Electron Microscopy. V. I – IV. NY and London, Plenum Press, 1996

РЭМ:

1. Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. М., Мир, 1984
2. под ред. Ф. Моррис, Тискье. Микроанализ и растровая электронная микроскопия. М., Metallurgia, 1985
3. под ред. Дж.Дж. Грена, Дж.И. Гольдштейна, Д.К. Джоя, А.Д. Ромига. Основы аналитической электронной микроскопии. М., Metallurgia, 1990