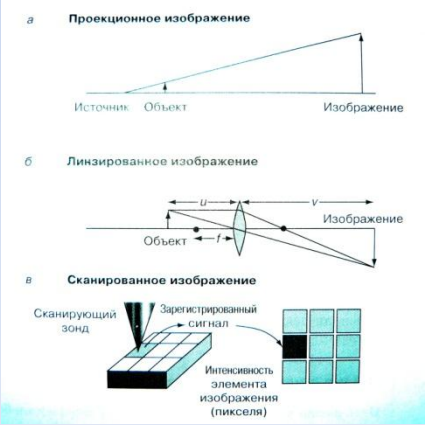
5. Методы микроскопии наноструктур

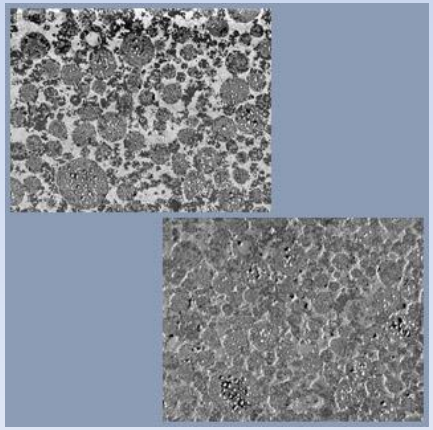
- **Способы увеличения изображений**

- **Оптическая микроскопия**

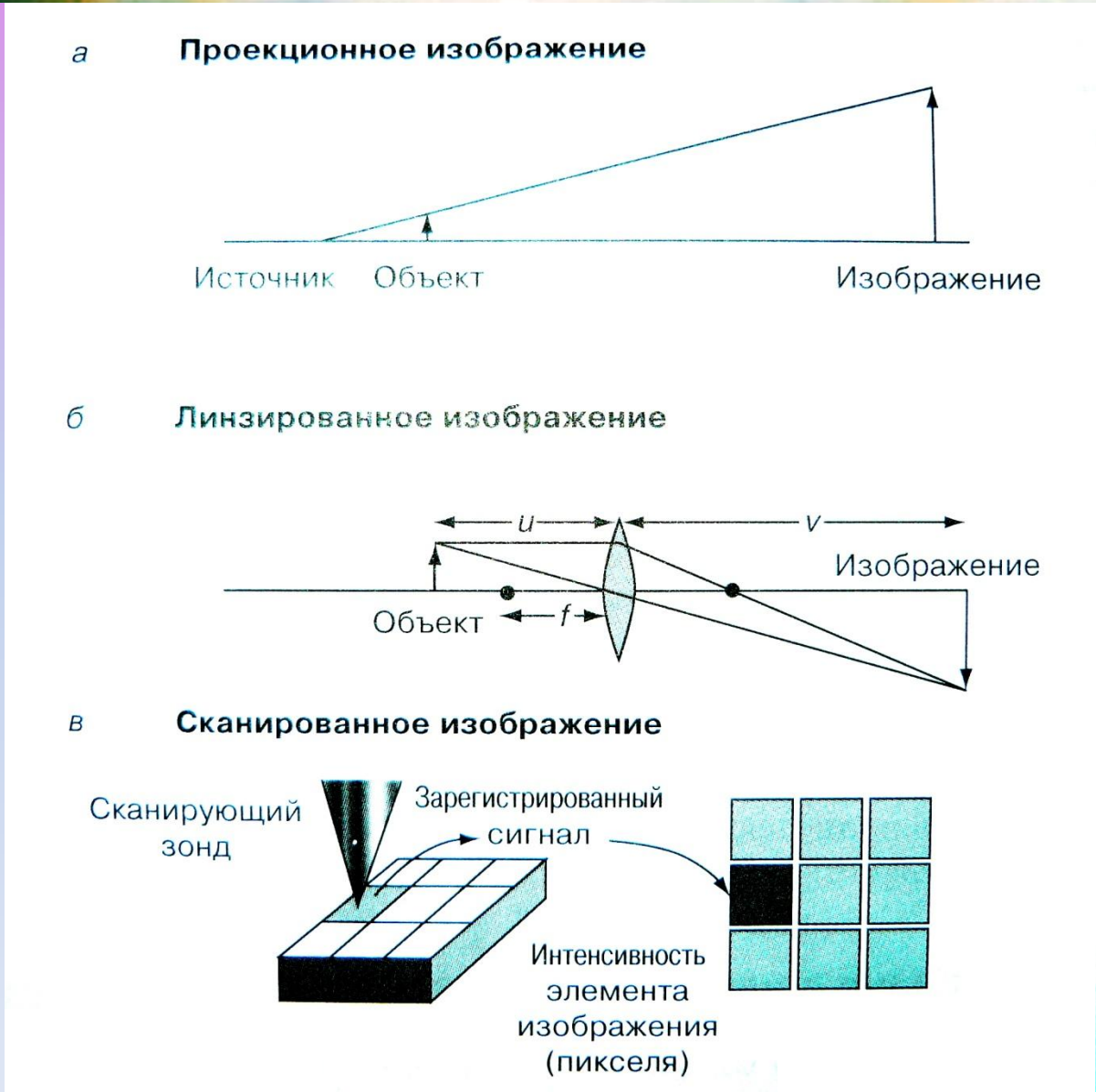
- **Электронная микроскопия:** сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия.

- **Сканирующие зондовые методы:** сканирующая туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, другие методы зондовой микроскопии.





Способы увеличения изображений



Оптическая микроскопия

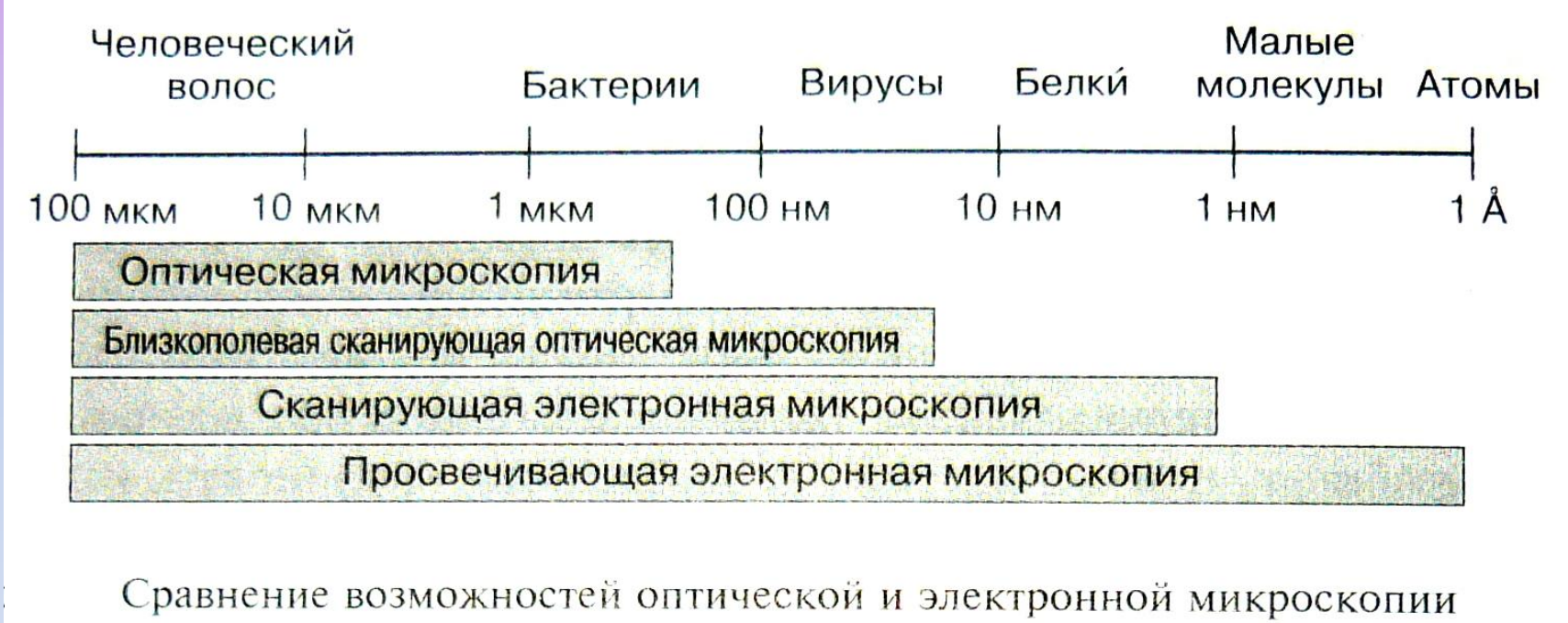
- **Предельное разрешение** $r = \dfrac{0{,}61\,\lambda}{n \sin\alpha} \sim \lambda/2$

- **Сферическая аберрация**

- **Хроматическая аберрация**

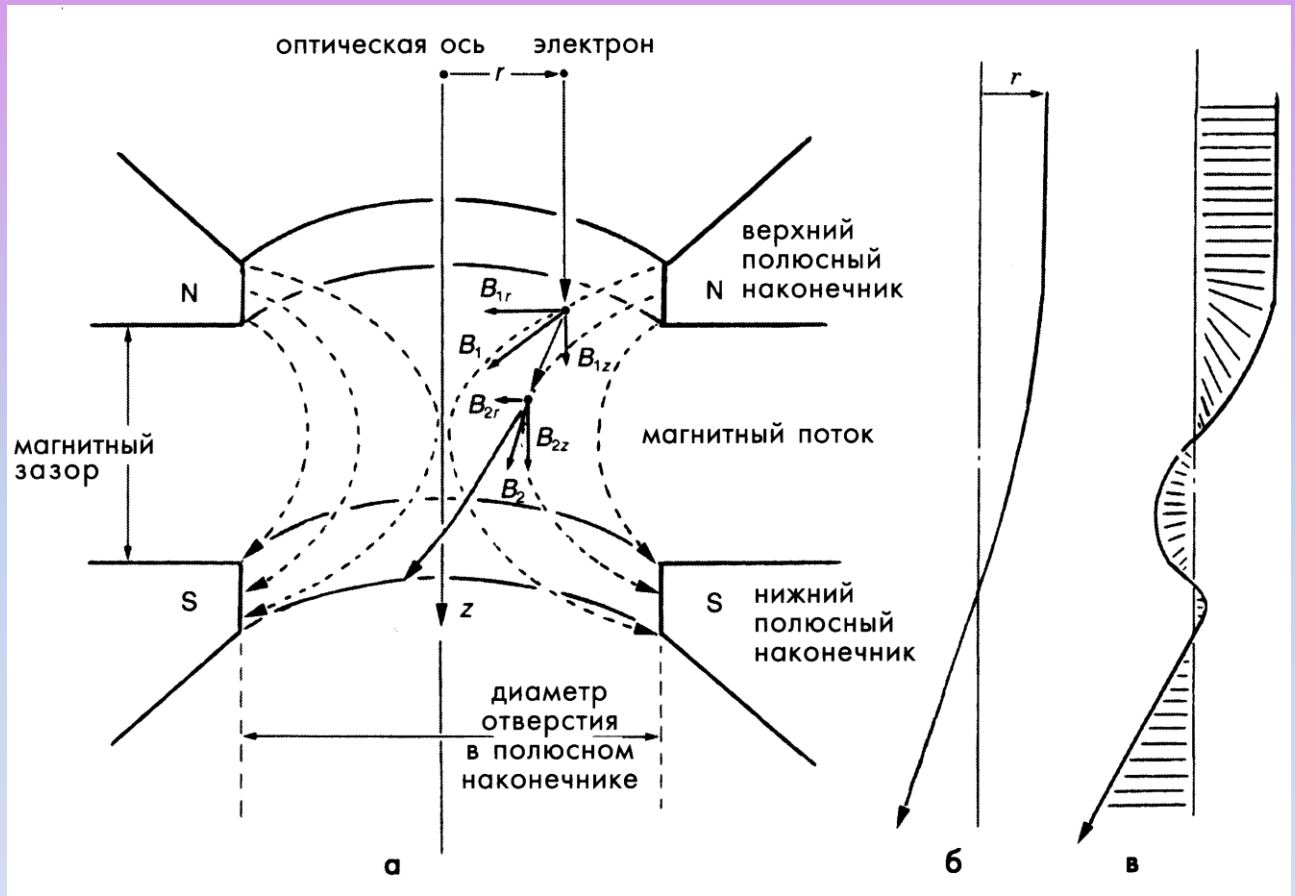
Для визуализации наноструктур подходит **<u>сканирующая ближнеполевая оптическая микроскопия.</u>**

Возможности разных методов



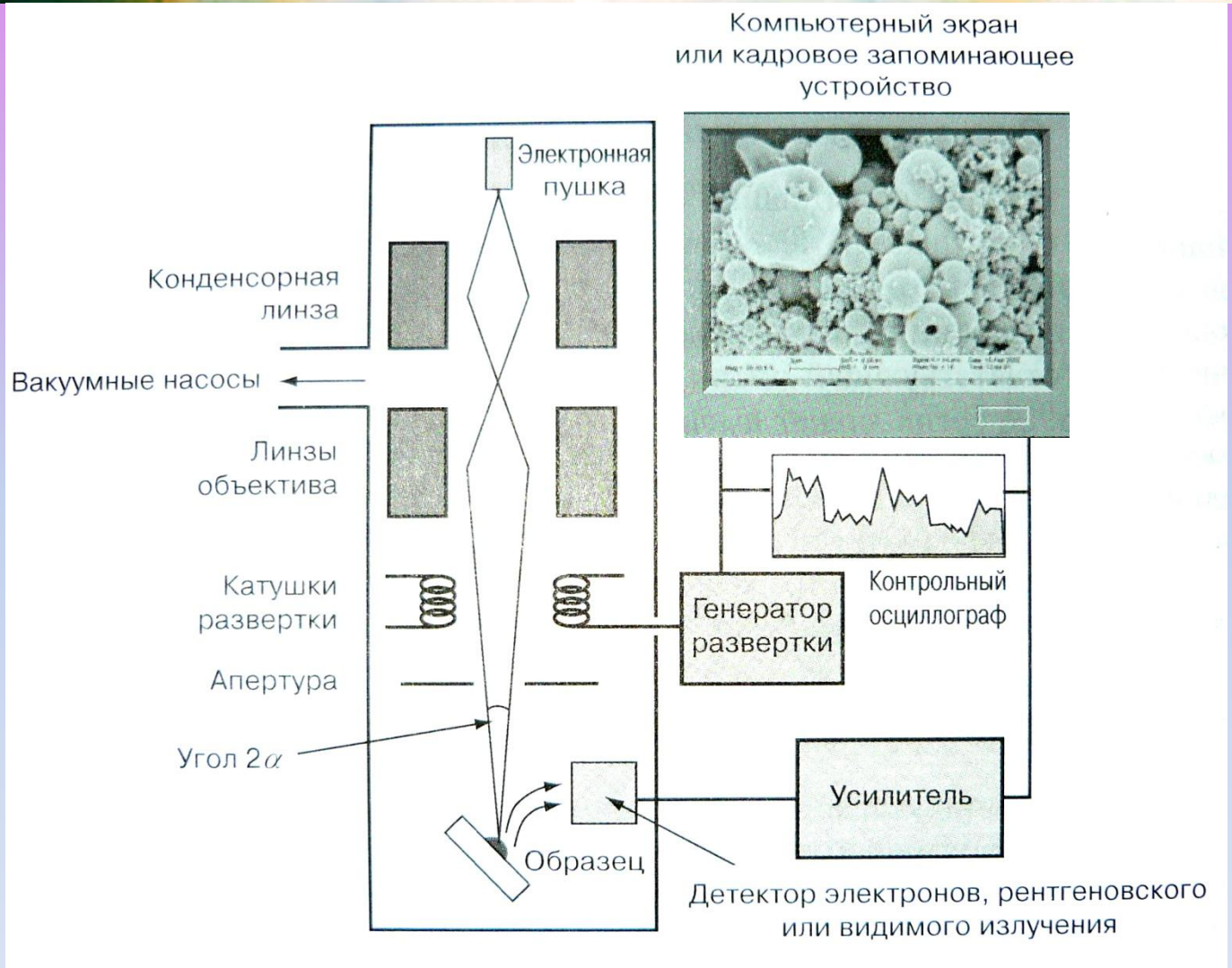
Сравнение возможностей оптической и электронной микроскопии

Электронная микроскопия



Фокусировка электронного пучка, магнитная линза

Сканирующая электронная микроскопия



Принципиальная схема сканирующего электронного микроскопа

Сканирующая электронная микроскопия

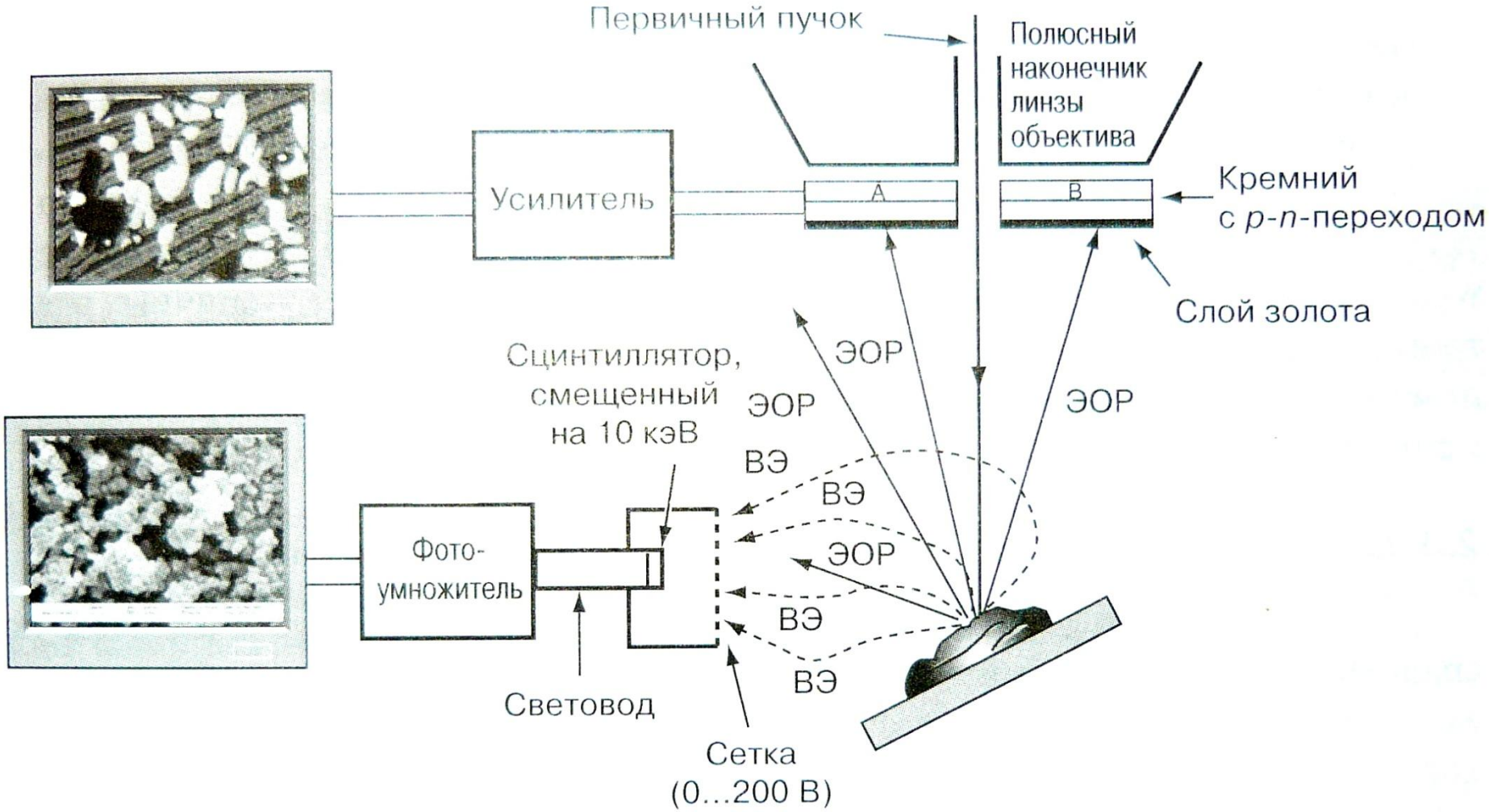
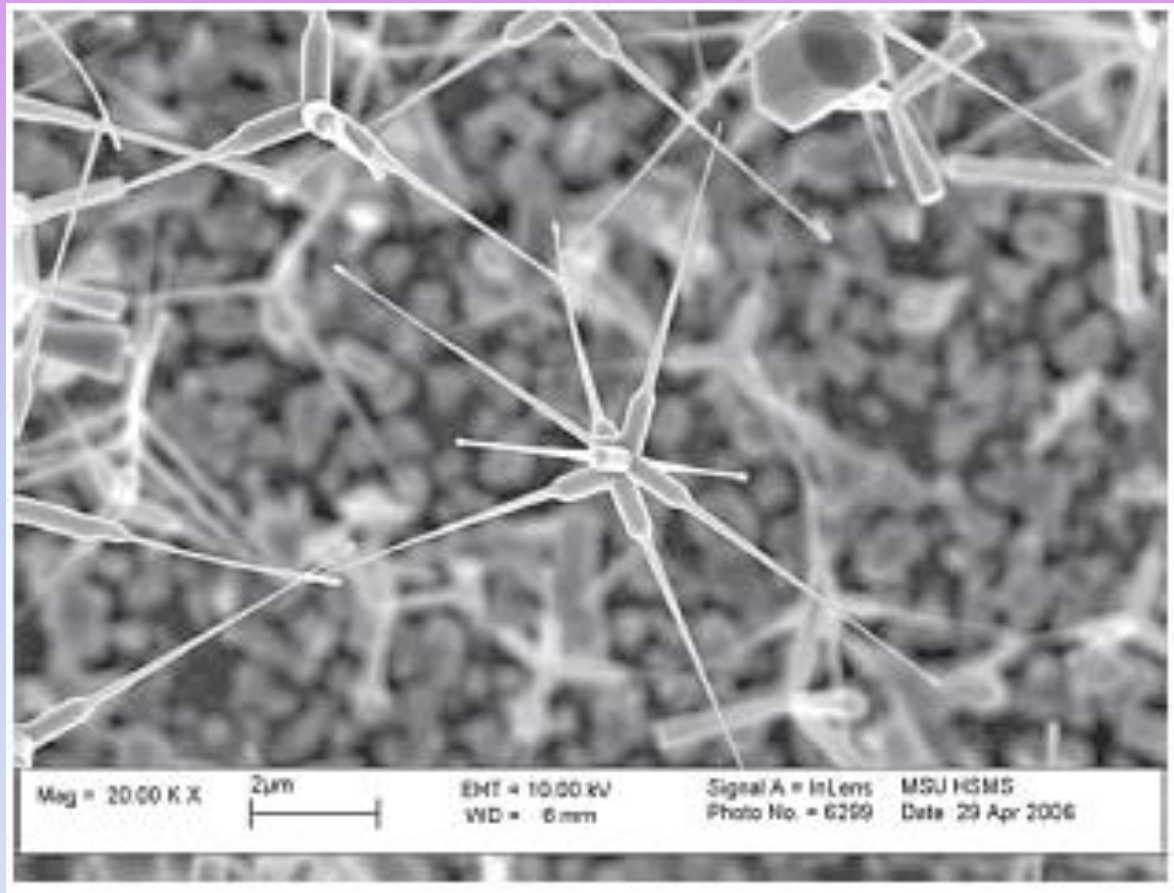


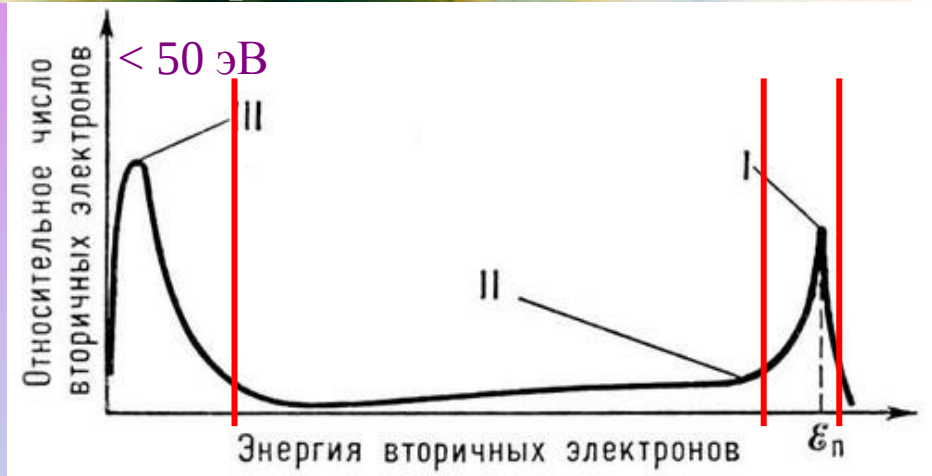
Схема детектирования в сканирующем электронном микроскопе

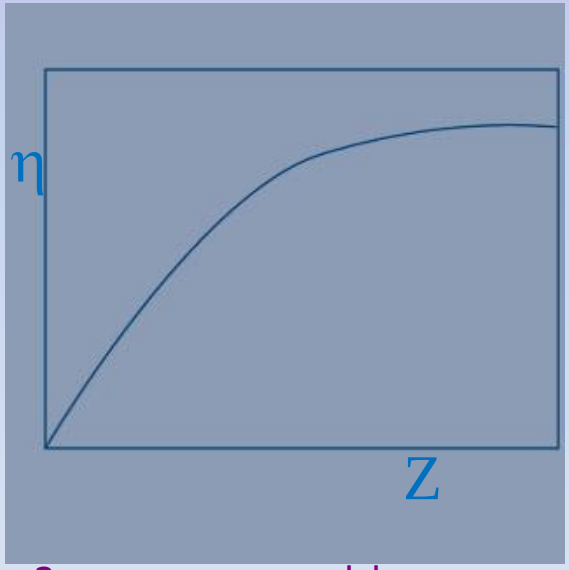
Сканирующая электронная микроскопия



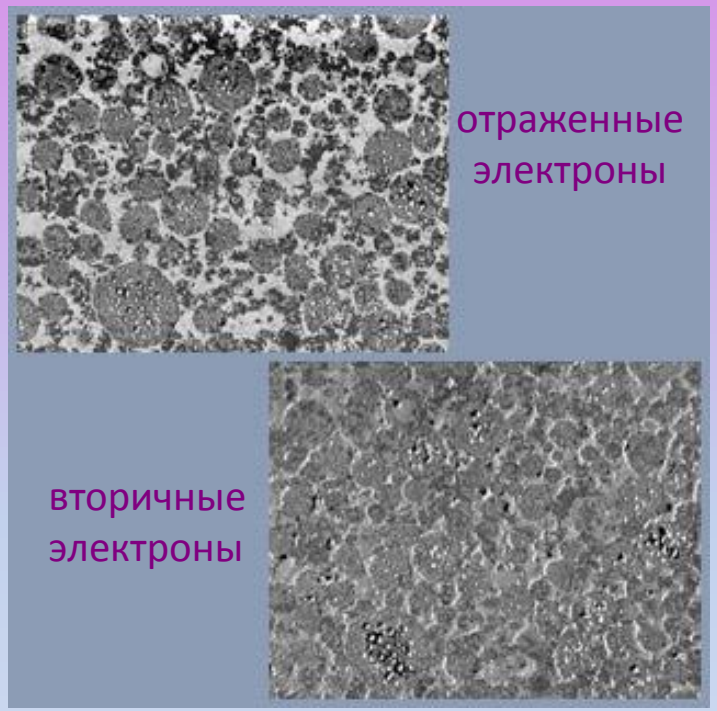
Тетраподы ZnO над кремниевой подложкой

Сканирующая электронная микроскопия





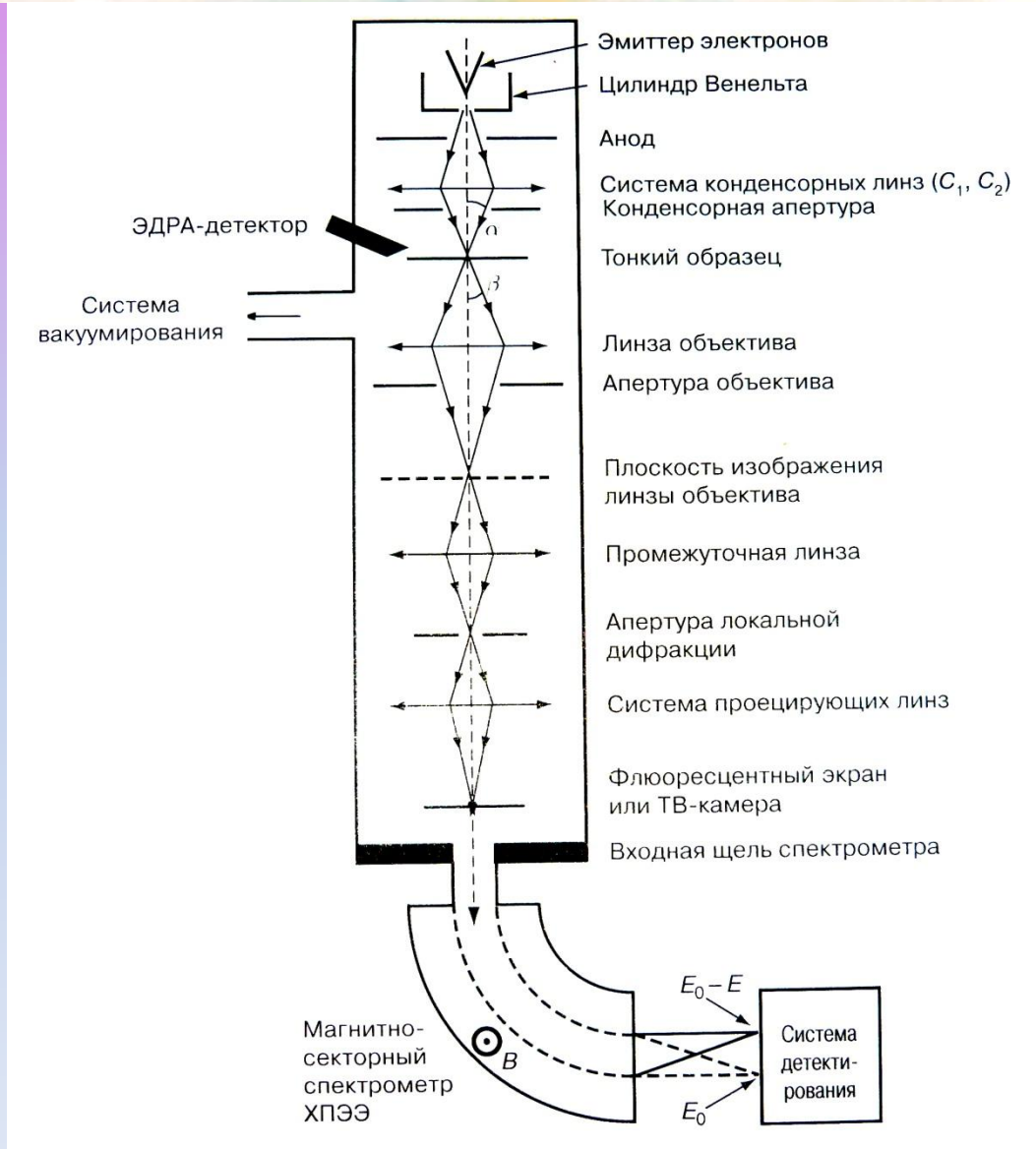
Зависимость коэффициента отражения электронов от среднего атомного номера вещества



Визуализация вторичных электронов и электронов обратного рассеяния

Просвечивающая электронная микроскопия

Принципиальная схема аналитического просвечивающего электронного микроскопа



Просвечивающая электронная микроскопия

<u>Основные типы контраста:</u>

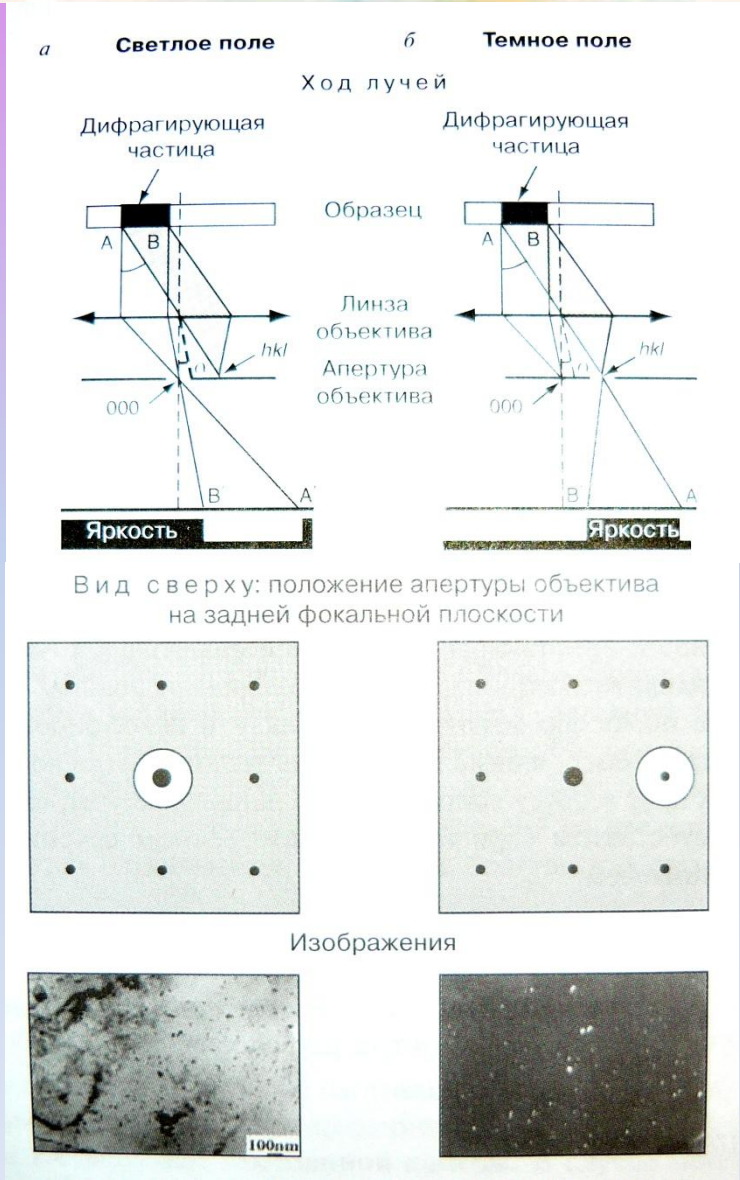
- **контраст уплотнений** (поглощение и рассеяние электронов)

- **дифракционный контраст**

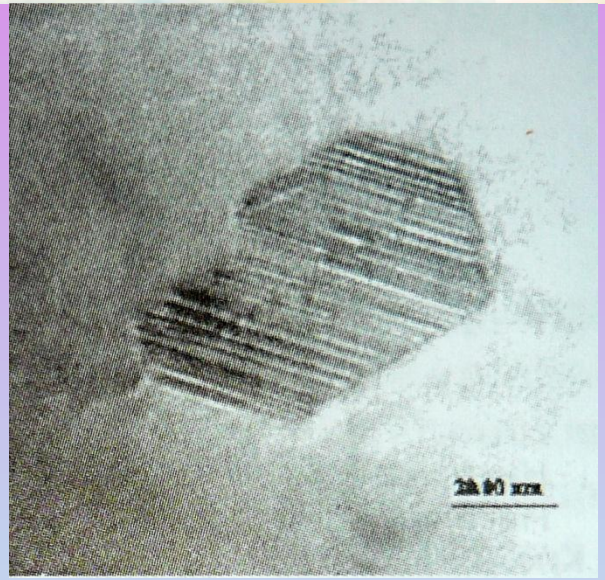
- **фазовый (интерференционный) контраст**

Просвечивающая электронная микроскопия

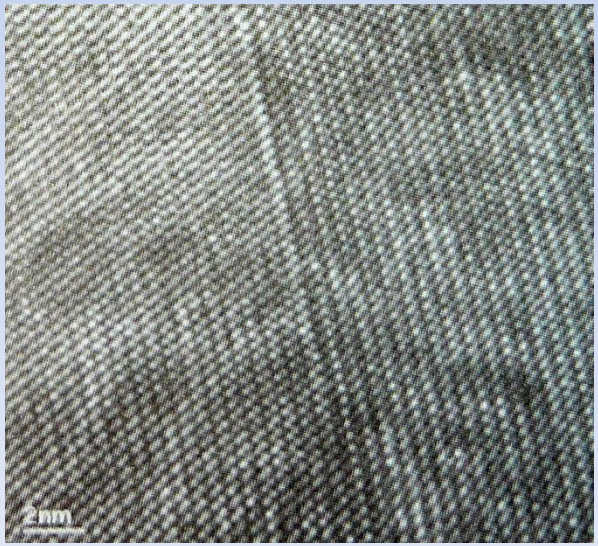
Методы светлого и темного поля



Просвечивающая электронная микроскопия

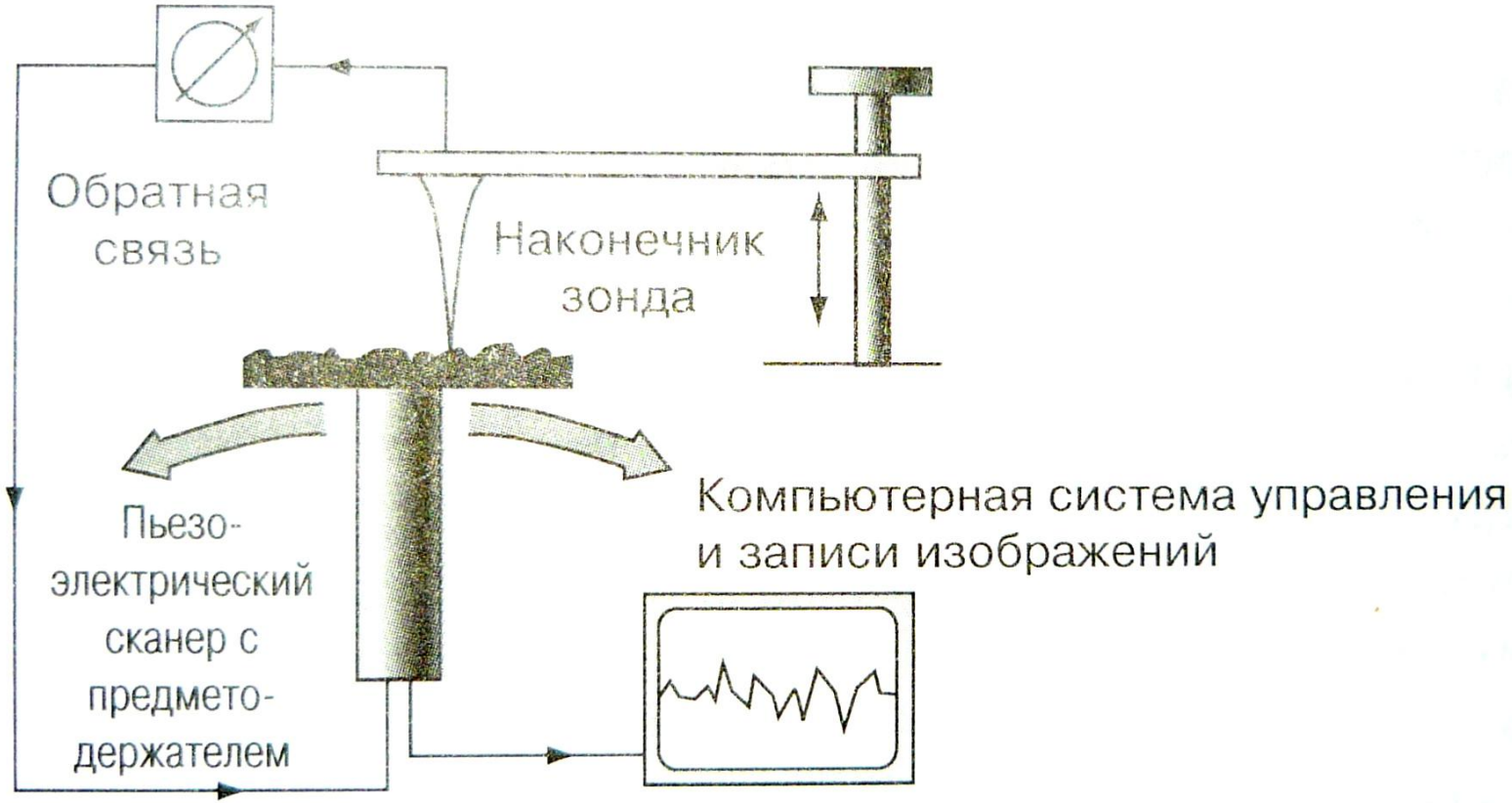


Изображения, полученные с помощью фазового контраста: борид титана в матрице титанового сплава (сверху) и циркониевый поликристалл (снизу)



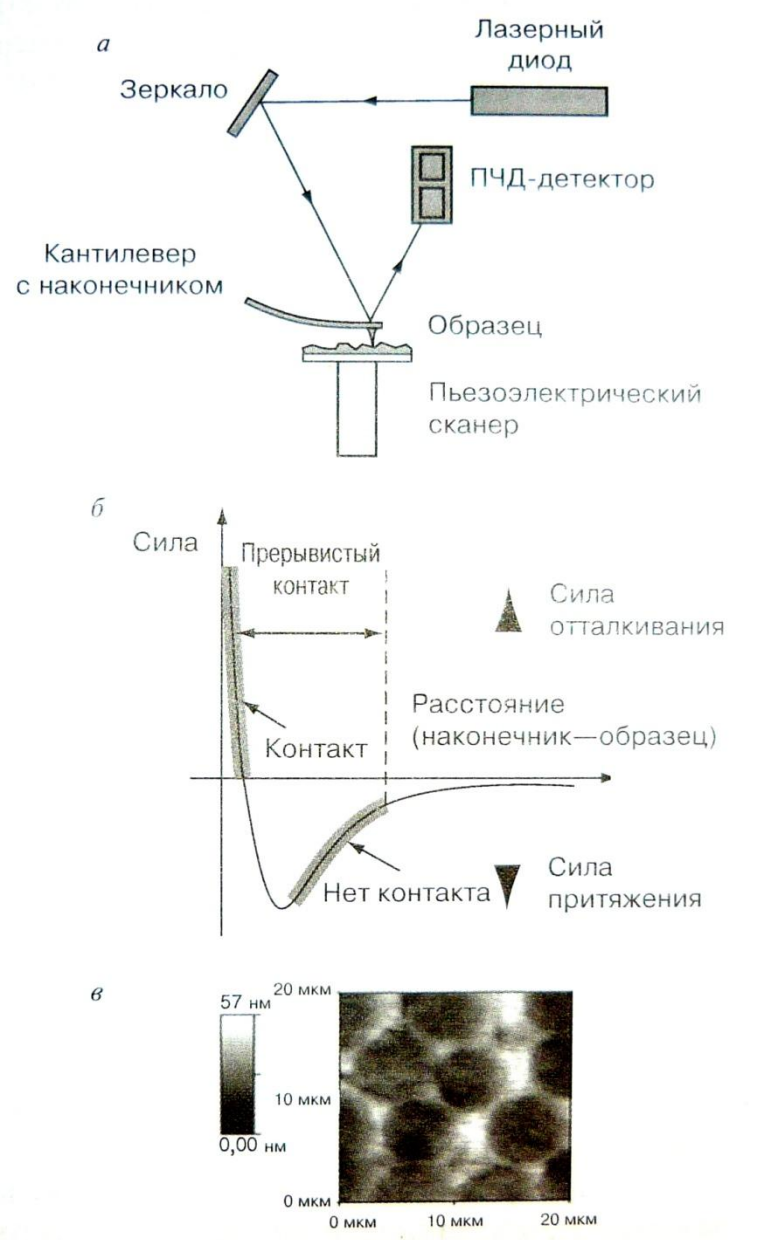
Сканирующие зондовые методы

Общий вид сканирующего зондового микроскопа



Сканирующие зондовые методы

Принцип работы атомно-силового микроскопа



Сканирующие зондовые методы

<u>Методы зондовой микроскопии:</u>

- сканирующая туннельная микроскопия,
- атомно-силовая микроскопия,
- атомно-силовая модуляционная микроскопия,
- микроскопия латеральных сил,
- магнитно-силовая микроскопия,
- микроскопия электростатических сил,
- сканирующая ёмкостная микроскопия,
- сканирующая термомикроскопия.

Вопросы

1. Какие контрасты позволяют получать изображение, связанное с топографией поверхности образца, в режиме визуализации вторичных электронов в сканирующем электронном микроскопе?

2. Какой сигнал измеряет сканирующий туннельный микроскоп в режиме постоянной высоты?

3. Каково разрешение атомно-силового микроскопа по вертикали?