

Лекция 8. Обзор методов диагностики оптических наноструктур

Твердотельные методы диагностики

1. Методы изображения

- Электронная микроскопия
- Зондовая микроскопия
- Оптическая микроскопия

2. Методы структурного анализа

- Дифракция рентгеновских лучей
- Дифракция электронов

3. Спектроскопия

- Инфракрасная спектроскопия
- Рамановская спектроскопия
- Флуоресцентная и люминесцентная
- Фотоэмиссионная (ФЭС, Оже, ...)
- Магнитная (ЭПР, ЯМР)

4. Масс спектрометрия

Падающее излучение	Анализируемое излучение			
		Электроны	Ионы	Фотоны
	Электроны	ПЭМ, РЭМ ММЭ ХПЭЭ ЭОС		СОФ ДФРЛ
	Ионы		ОРР ВИМС	
	Фотоны	ФЭС ФЭМ		РСА, СПРПТС, РФС Оптическая микроскопия Эллипсометрия

ПЭМ	Просвечивающая Электронная Микроскопия	<i>TEM</i>	<i>Transmission Electron Microscopy</i>
РЭМ	Растровая Электронная Микроскопия	<i>SAM</i>	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
ММЭ	Микроскопия на Медленных Электронах	<i>LEEM</i>	<i>Low Energy Electron Microscopy</i>
ХПЭЭ	спектроскопия Характеристических Потерь Энергии Электронами	<i>EELS</i>	<i>Electron Energy Loss Spectroscopy</i>
ЭОС	Электронная Оже-Спектроскопия	<i>AES</i>	<i>Auger Electron Spectroscopy</i>
ФЭС	ФотоЭлектронная Спектроскопия	<i>XPS</i>	<i>X-ray photoelectron spectroscopy</i>
ФЭМ	Фотоэмиссионная Электронная Микроскопия	<i>PEEM</i>	<i>Photoemission Electron Microscopy</i>
ОРР	метод обратного рассеяния Резерфорда; спектроскопия (обратного) рассеяния Резерфорда/по Резерфорду	<i>RBS</i>	<i>Rutherford Backscattering Spectrometry</i>
ВИМС	Вторичная Ионная Масс-Спектрометрия	<i>SIMS</i>	<i>Secondary Ion Mass Spectrometry</i>
СОФ	Спектроскопия Обращенной Фотоэмиссии	<i>IPES</i>	<i>Inverse photoemission spectroscopy</i>
ДФРЛ	Дисперсионный Анализ Рентгеновских Лучей	<i>EDX</i>	<i>Energy Dispersive X-ray analysis</i>
РСА	Рентгеноструктурный анализ	<i>XRD</i>	<i>X-ray diffraction</i>
СПРПТС	Спектроскопия Поглощения Рентгеновских лучей Протяженной Тонкой Структуры	<i>EXAFS</i>	<i>Extended X-ray Absorption Fine Structure</i>
РФС	РентгеноФлуоресцентная Спектрометрия	<i>XRF</i>	<i>X-ray Fluorescence spectrometry</i>

1. Методы изображения

- **Электронная микроскопия**
- Зондовая микроскопия
- Оптическая микроскопия

2. Методы структурного анализа

- Дифракция рентгеновских лучей
- Дифракция электронов

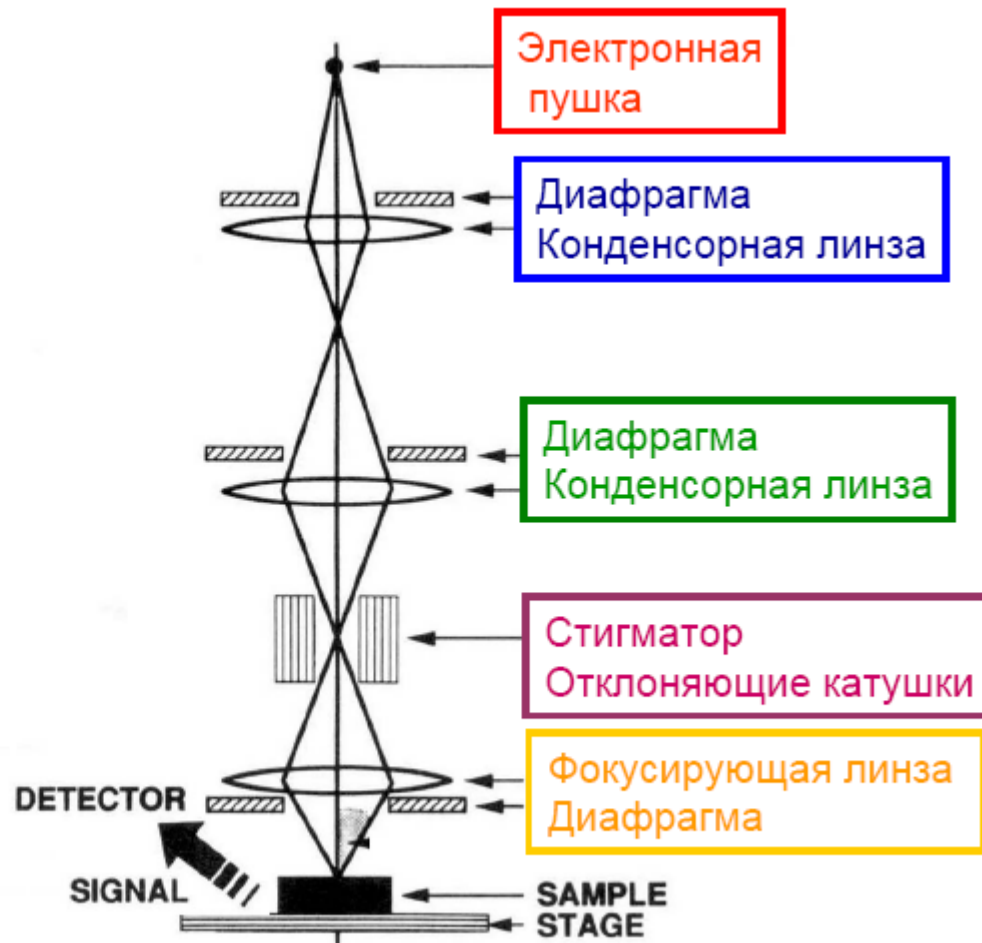
3. Спектроскопия

- Инфракрасная спектроскопия
- Рамановская спектроскопия
- Флуоресцентная и люминесцентная
- Фотоэмиссионная (ФЭС, Оже, ...)
- Магнитная (ЭПР, ЯМР)

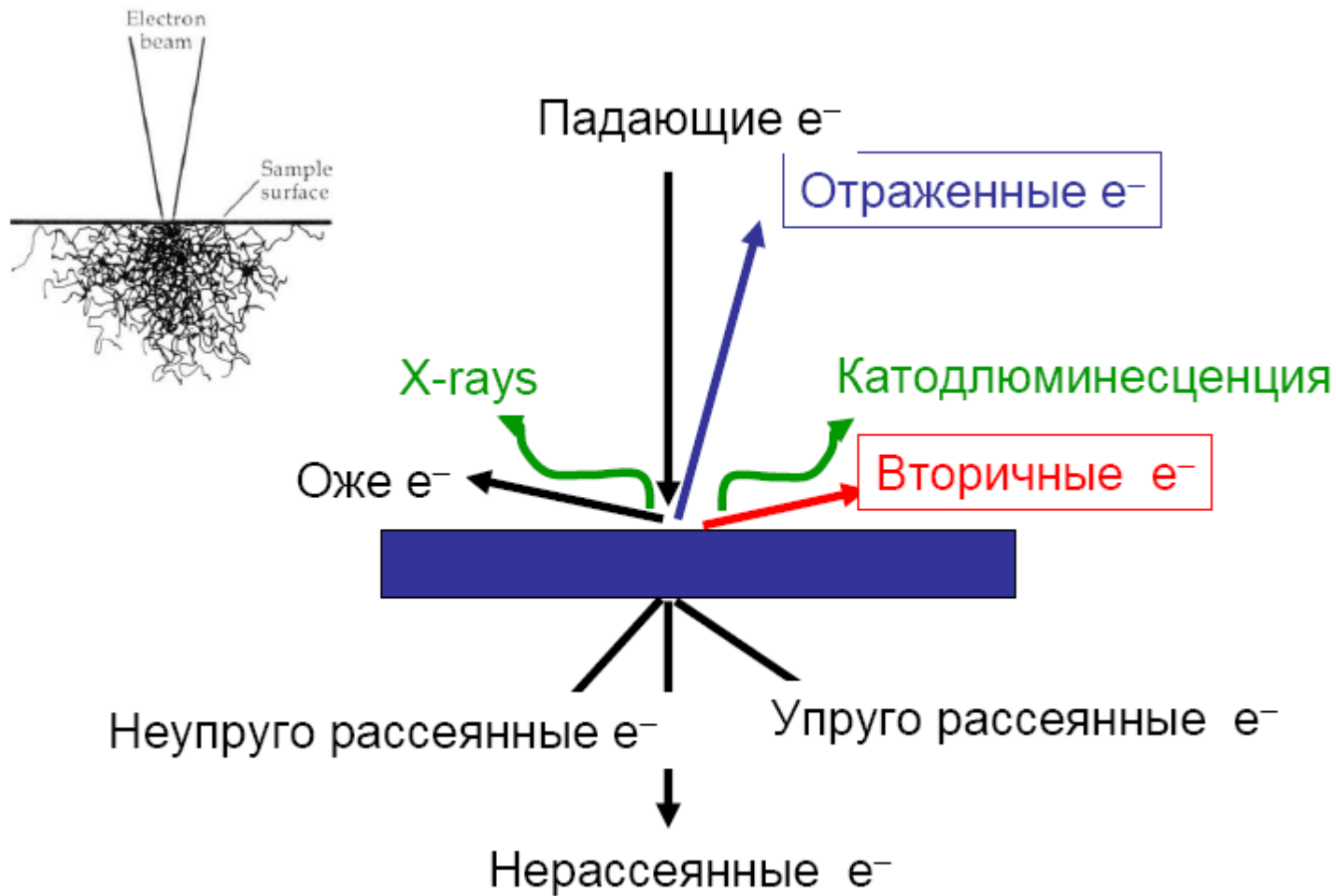
4. Масс спектрометрия

РЭМ – принципиальная схема

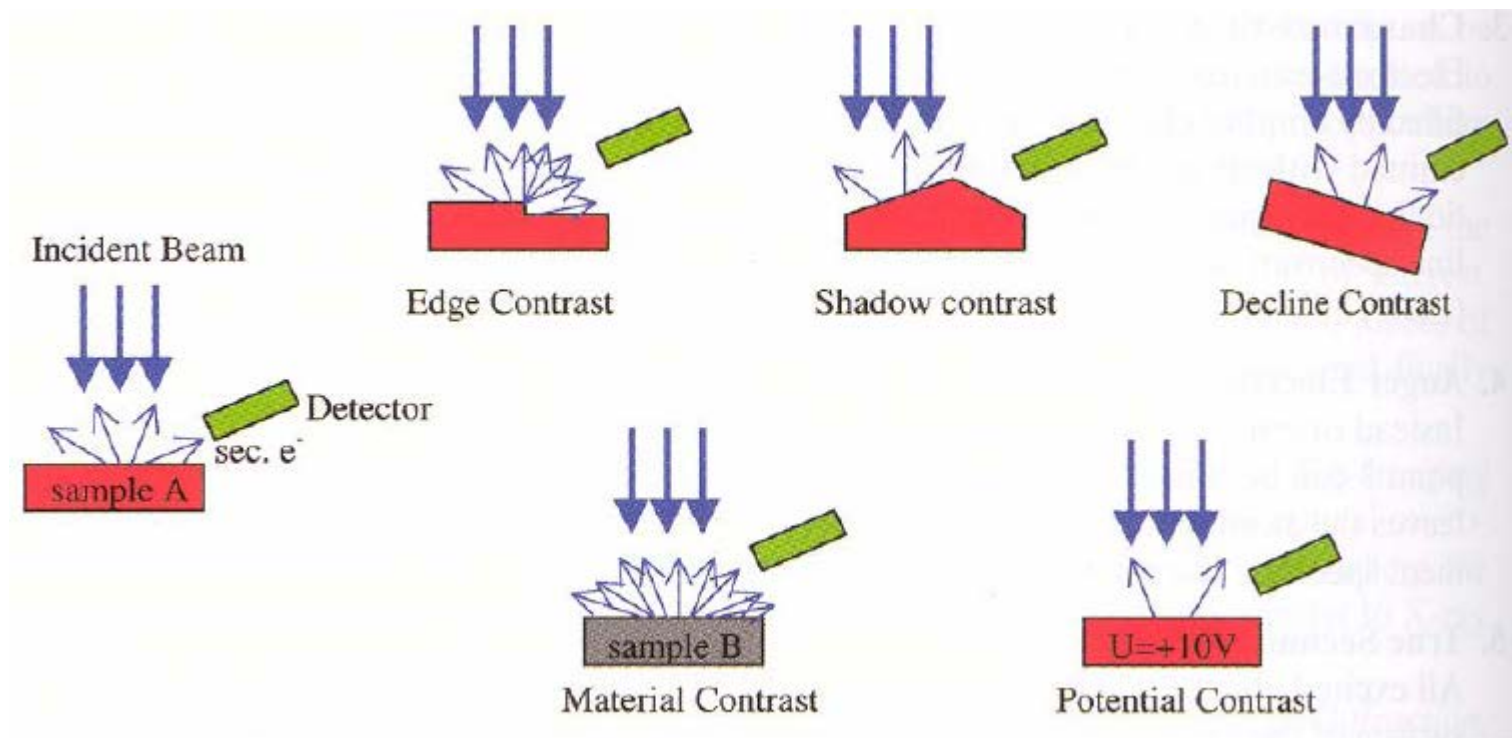
- **Электронная пушка** – создает пучок электронов
- **Первая конденсорная линза** формирует пучок и ограничивает ток (грубая настройка)
- **Конденсорная диафрагма** ограничивает электроны, летящие под большими углами
- **Вторая конденсорная линза** формирует коллимированный когерентный пучок (тонкая настройка)
- **Вторая и третья диафрагма** еще больше ограничивают электроны, летящие под большими углами
- **Отклоняющие катушки** сканируют пучок и формируют изображение
- **Фокусирующая линза** фокусирует пучок на образце



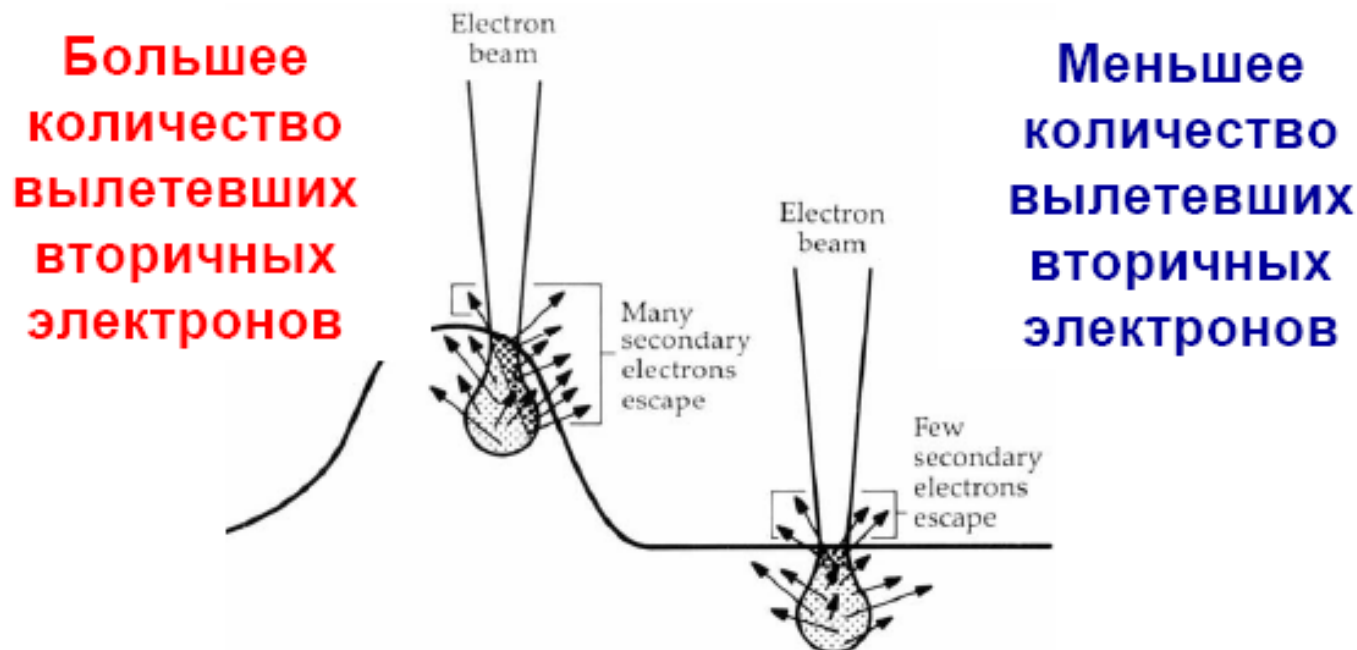
Взаимодействие электронов с образцом



Типы контраста



Вторичные электроны



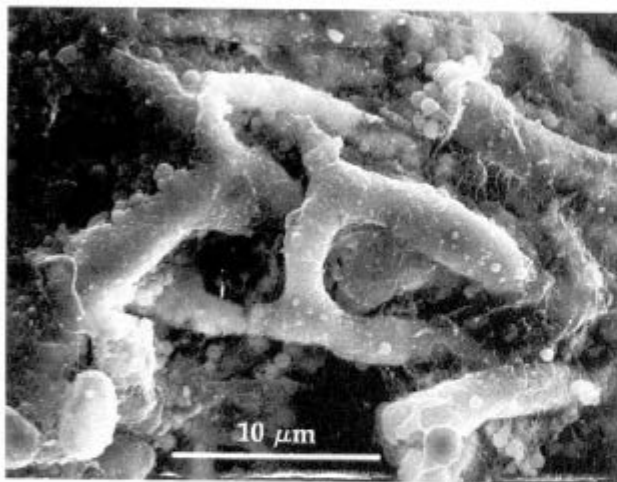
- Вызваны падающими электронами, которые, пролетая «мимо» атомов образца, ионизуют (выбивают) из него вторичные электроны (неупругий процесс); каждый падающий электрон может произвести несколько вторичных электронов
- Ионизованные электроны покидают образец с очень маленькой кинетической энергией (5 эВ)
- Выход вторичных электронов связан с топографией поверхности: только вторичные электроны, возникшие в непосредственной близости у поверхности (<10 нм) могут покинуть образец.

Электроны, рассеянные назад

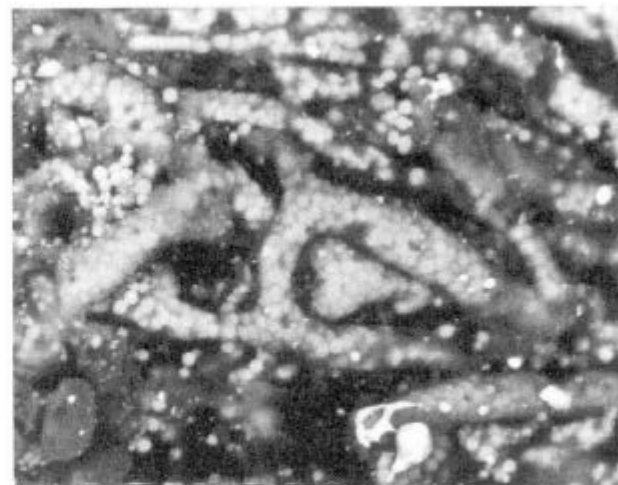
- Упругий процесс, рассеяние назад на 180 град
- Выход электронов, рассеянных назад, зависит от атомного номера
- Атомы с большими номерами рассеивают более эффективно, изображение получается ярче
- Результирующее изображение имеет контраст по материалу

Примеры изображений

Вторичные e^-



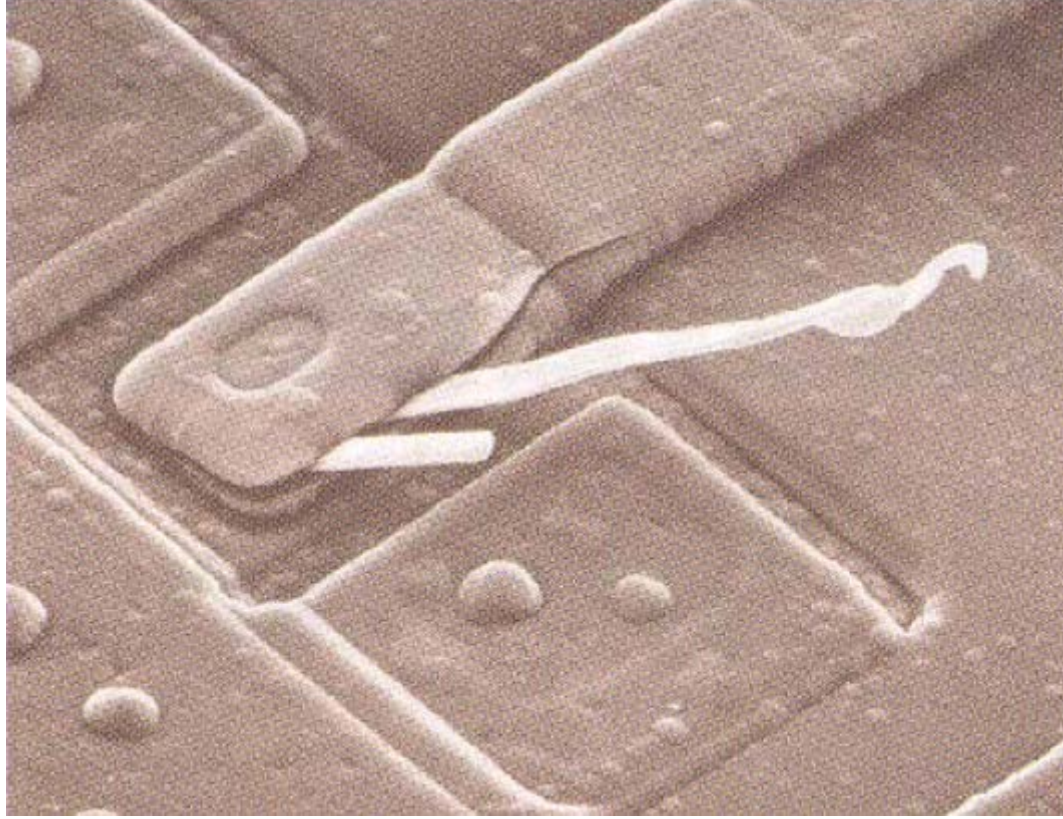
Отраженные назад e^-



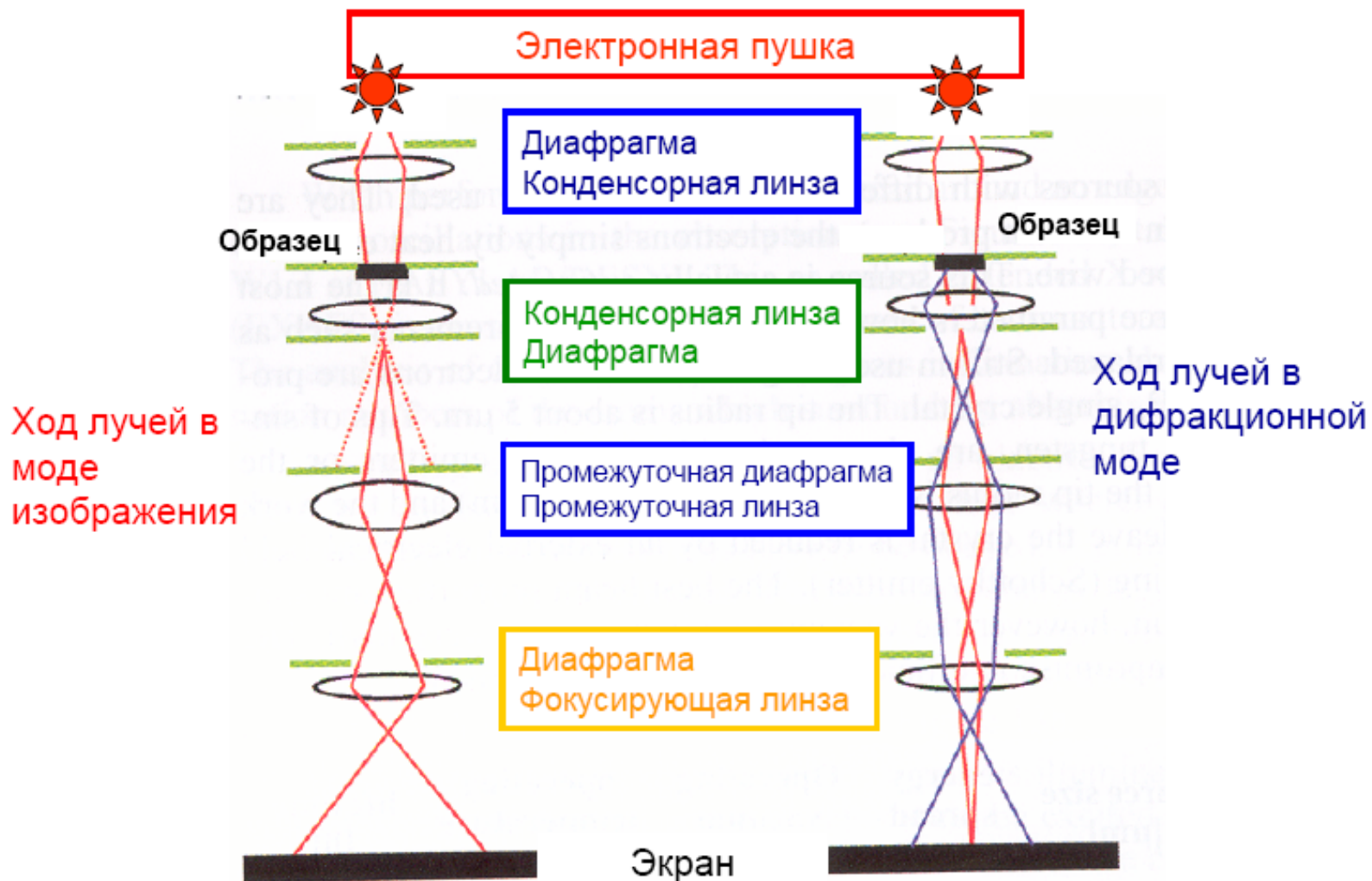
Fungal hyphae deposited at polysaccharides

Вторичные электроны отображают топографию поверхности,
отраженные назад электроны отображают состав образца

Примеры изображений



Просвечивающий электронный микроскоп

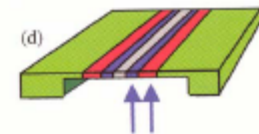
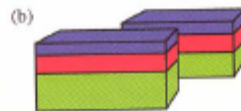
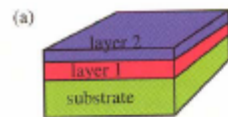


Просвечивающий электронный микроскоп: подготовка образцов

Изображение в плоскости пленки

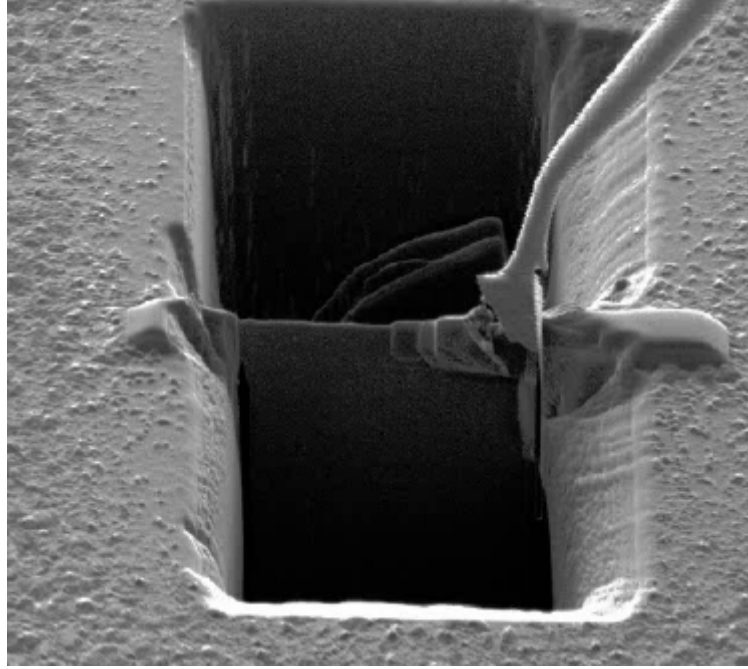


Cross-sectional изображение

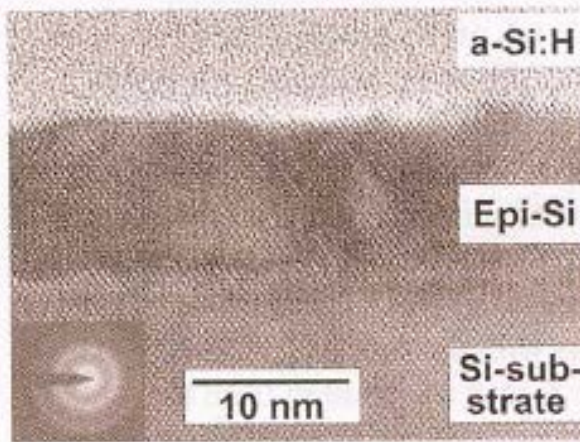


Толщина пленки до 100 нм
Для ПЭМ высокого разрешения – 10 нм

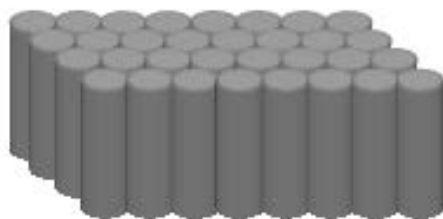
Подготовка образцов с использованием ФИЗ (FIB)



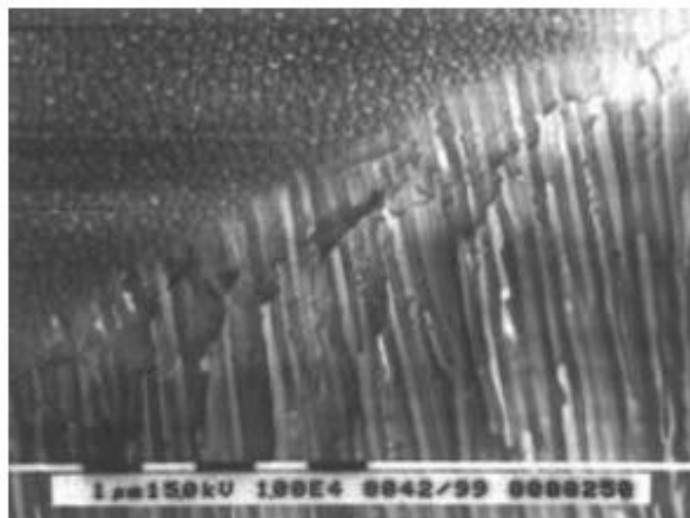
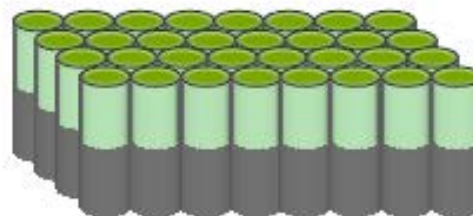
Примеры изображений



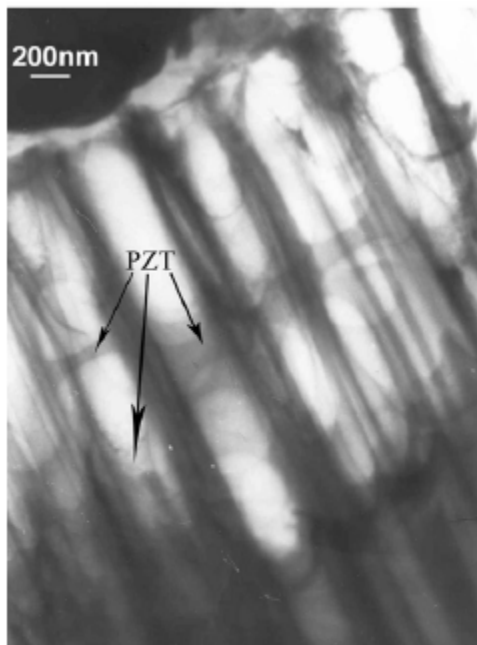
Примеры изображений



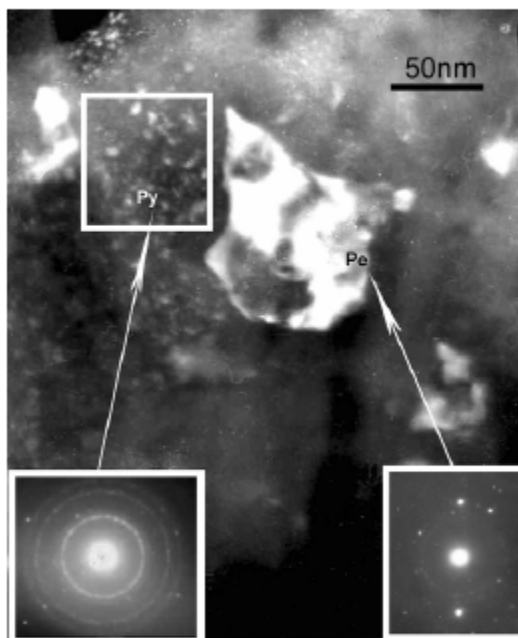
embedding
•Sol-gel
•Rf-sputtering



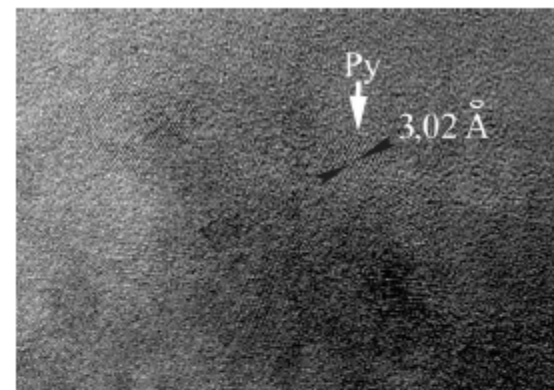
Примеры изображений



TEM cross sectional image of membrane.



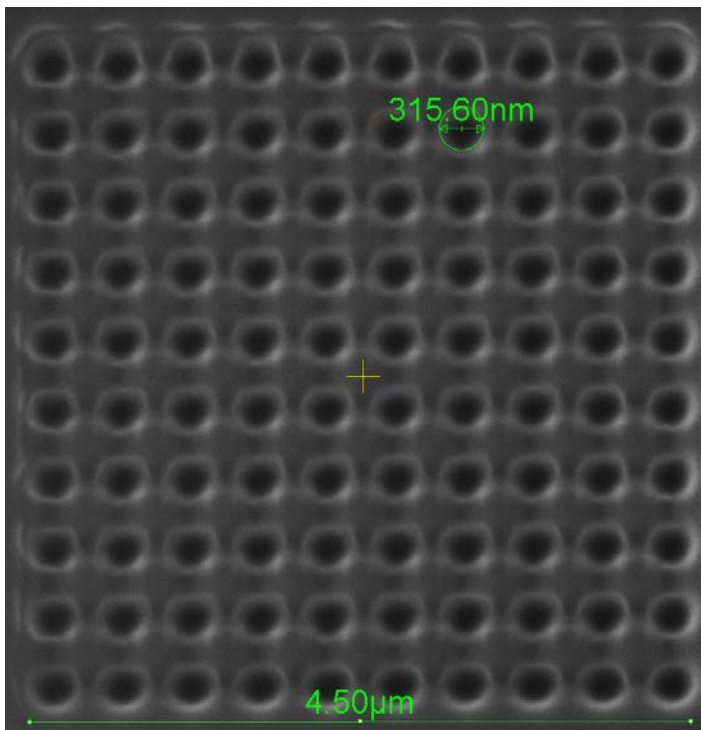
Dark field image of pyrochlore and perovskite particle



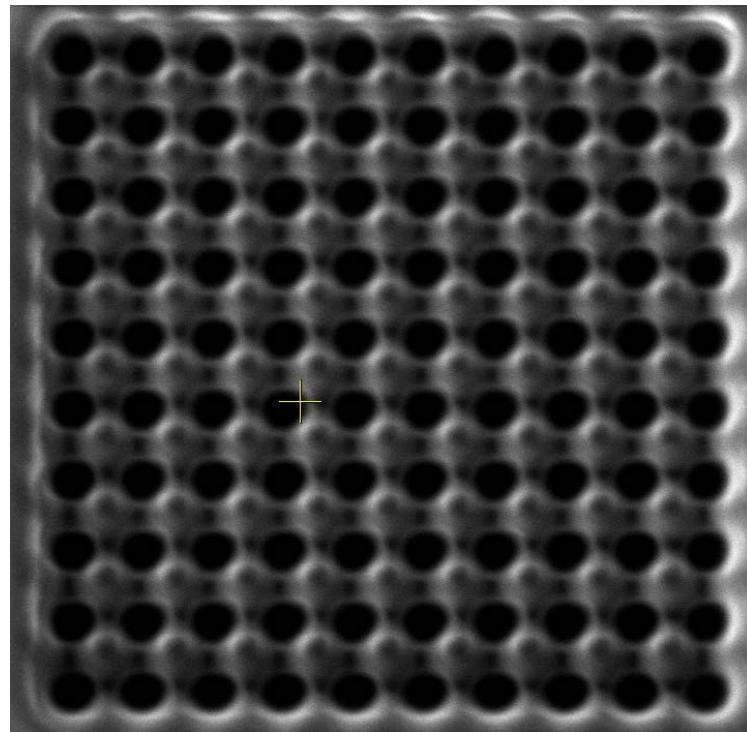
HREM image of Py particles

Примеры изображений

двумерный фотонный кристалл на основе кремния,
изготовленный методом ФИЗ



в электронном пучке



в ионном пучке

Особенности диагностических методов для нанотехнологии

➤ Чувствительность

- к малым объемам (surface-sensitive)
- К химическим элементам в малых количества
- К функциональным свойствами

➤ Разрешение

- пространственное (X-Y, Z)
- спектральное (энергетическое)
- временное

➤ Недеструктивность

➤ Интерпретация