

# СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУР

Жуков Юрий Михайлович

К.ф-м.н., Руководитель направления

“Анализ поверхности”, TESCAN

# Содержание

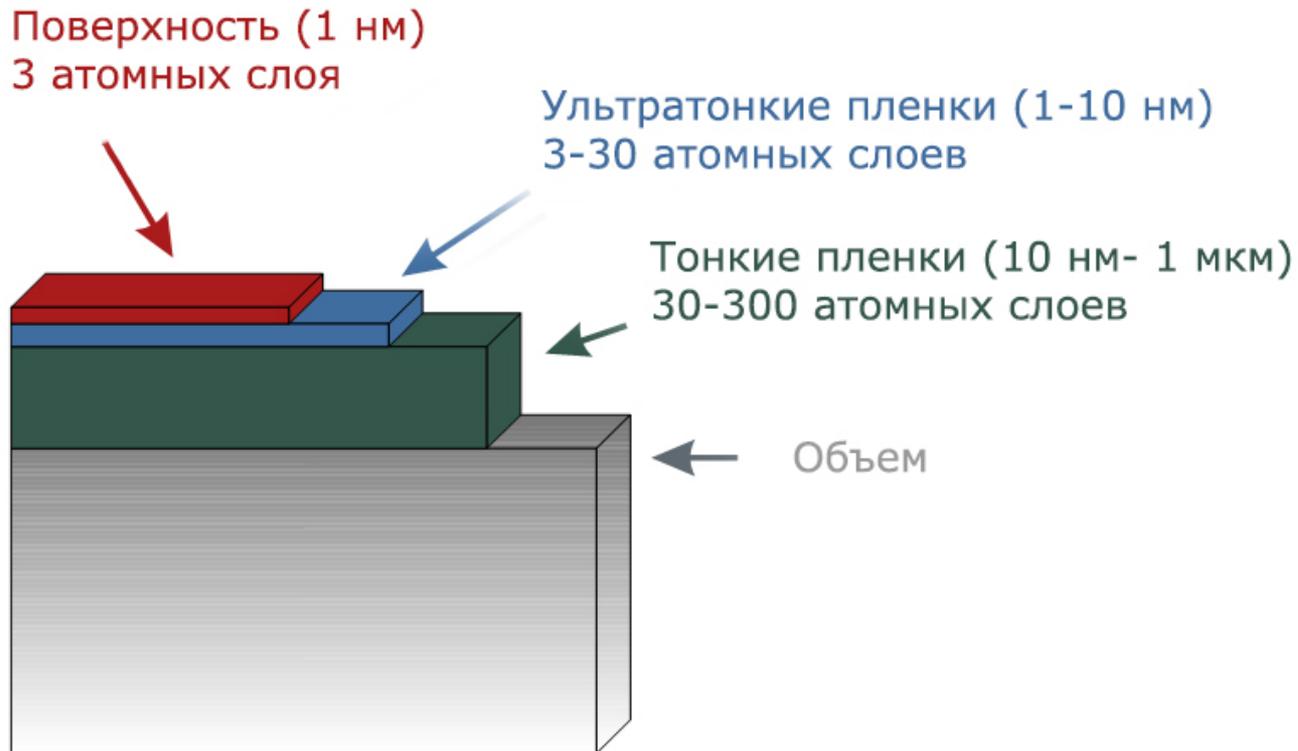
- Что такое поверхность
- Принципы ФЭС
  - Свойства поверхности
  - Преимущества ФЭС
  - Генерация фотоэлектронов
- Применение ФЭС
  - Решаемые задачи
  - Сопутствующие методики
  - Пример системы

# Что такое поверхность?

## Какова толщина поверхностного слоя?

Зависит от того, у кого вы спрашиваете !

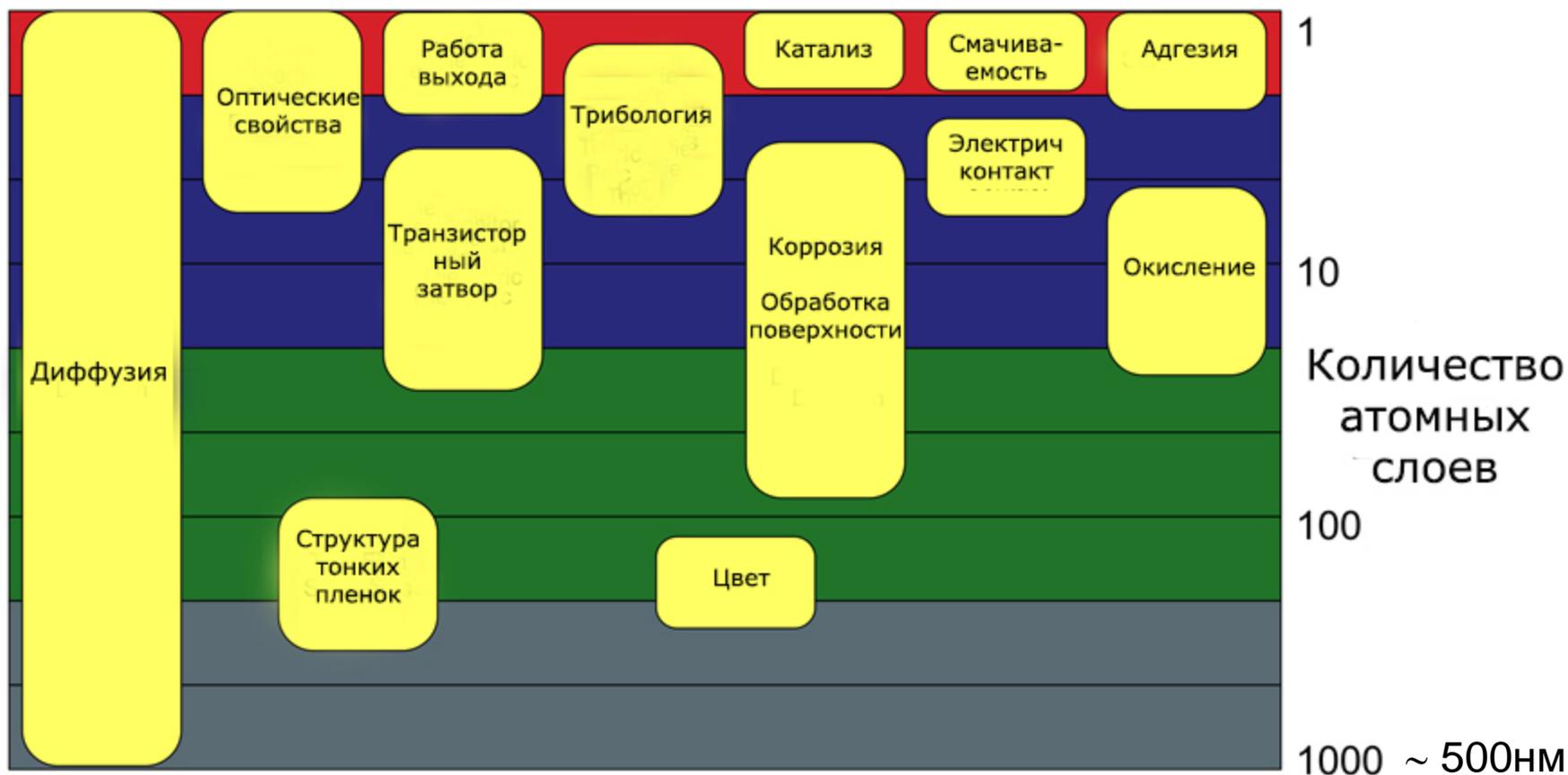
В науке о поверхности:



# Поверхностные свойства

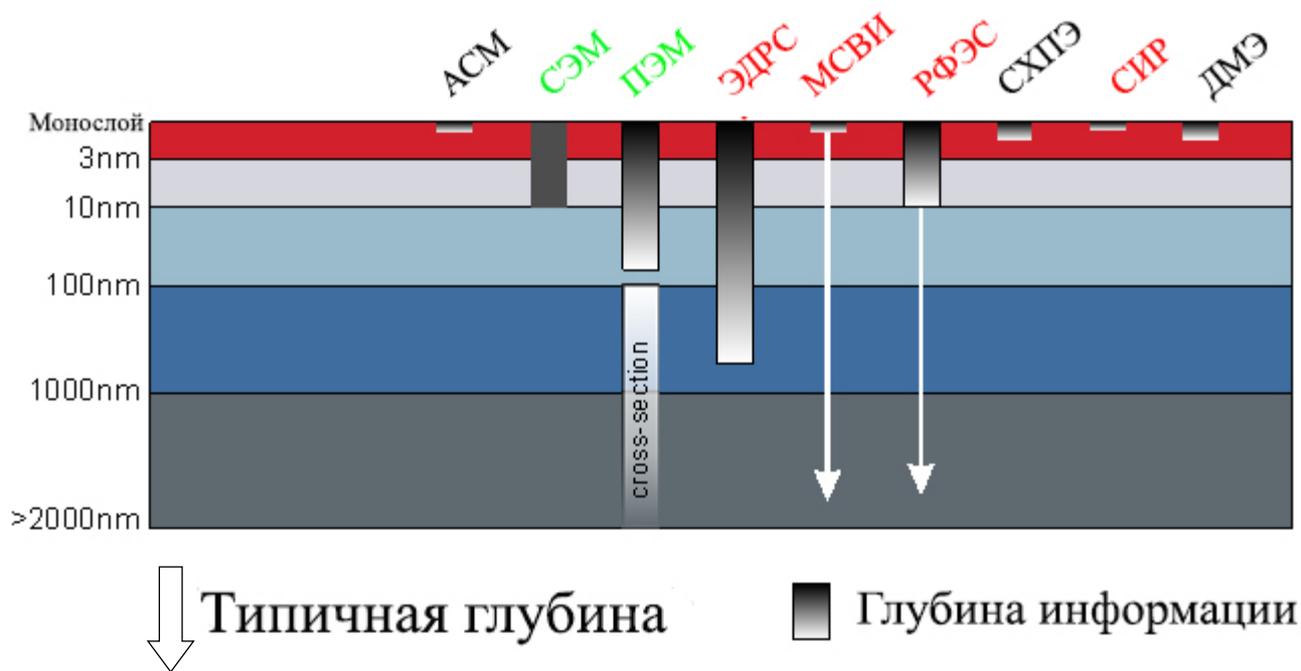
## Почему „поверхность“ важна?

Øволоса: ~50мкм  
=50 000нм



# Как анализировать поверхность?

- Структурная информация
- Элементная информация
- Элементная/химическая информация



**РФЭС:** Рентгеновская Фотоэлектронная Спектроскопия  
**СХПЭ:** Спектроскопия характеристических потерь энергии  
**СИР:** Спектроскопия ионного рассеивания  
**ДМЭ:** Дифракция медленных электронов

**АСМ:** Атомно-силовая микроскопия  
**СЭМ:** Сканирующая электронная микроскопия  
**ПЭМ:** Просвечивающая электронная микроскопия  
**ЭДРС:** Энерго-дисперсионная спектроскопия  
**МСВИ:** Масс-спектрометрия вторичных ионов

# ФЭС Фотоэлектронная Спектроскопия

ФЭС = {РФЭС, УФЭС}

## РФЭС Рентгеновская Фотоэлектронная Спектроскопия

**РФЭС = ЭСХА**

**Электронная Спектроскопия для  
Химического Анализа**

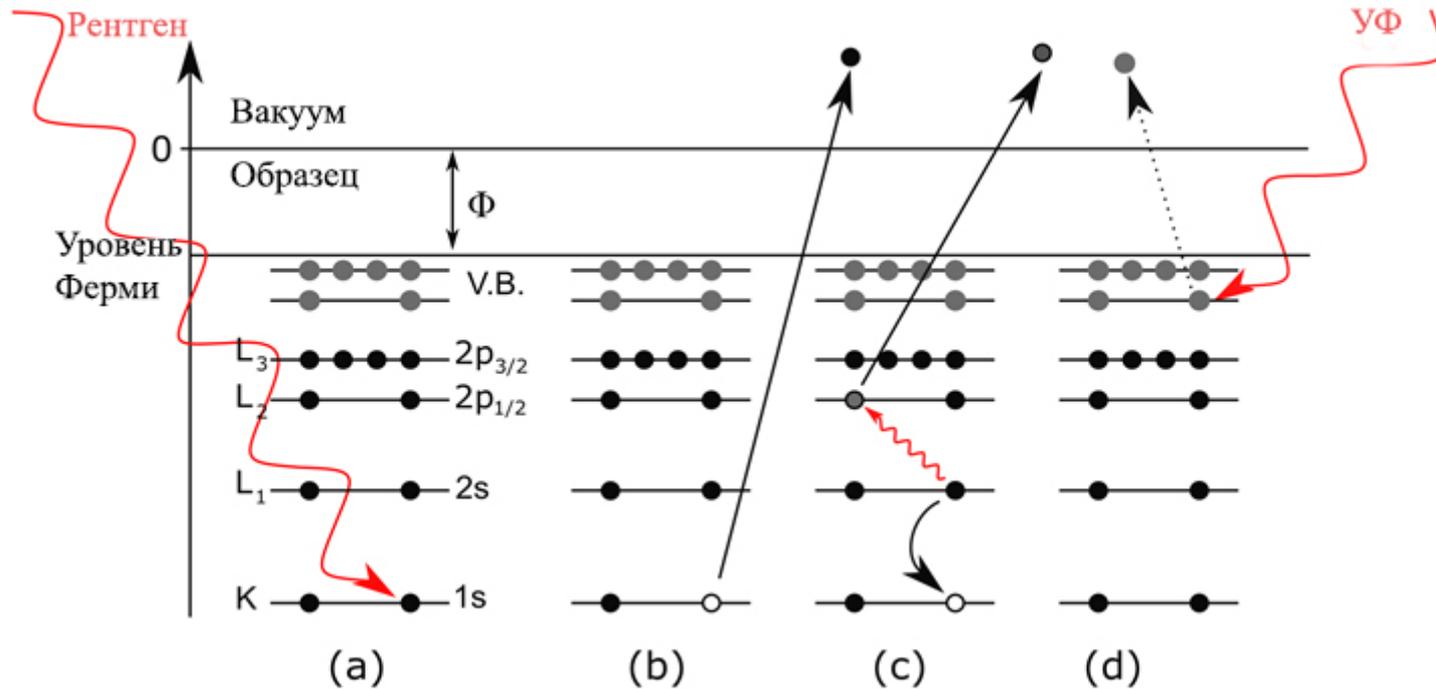
# РФЭС преимущества:

- Неразрушающий метод
- Поверхностная чувствительность
- Исследование практически всех элементов
- Электронное состояние (химическое состояние)
- Все типы образцов (изоляторы, металлы, полупроводники)
- Комбинация с другими методами (ИК, Раман и т.д.)
- Время-разрешённые измерения (изучение электронной структуры и динамики )

# РФЭС применение:

- Наноматериалы
- Металлы, Коррозия
- Микроэлектроника и полупроводники
- Покрyтия и тонкие пленки
- Полимеры и пластик
- Ткань
- Биоматериалы
- Энергетические материалы и приборы
- Катализ
- Минералы

# Генерация фотоэлектронов



Энергия Источника

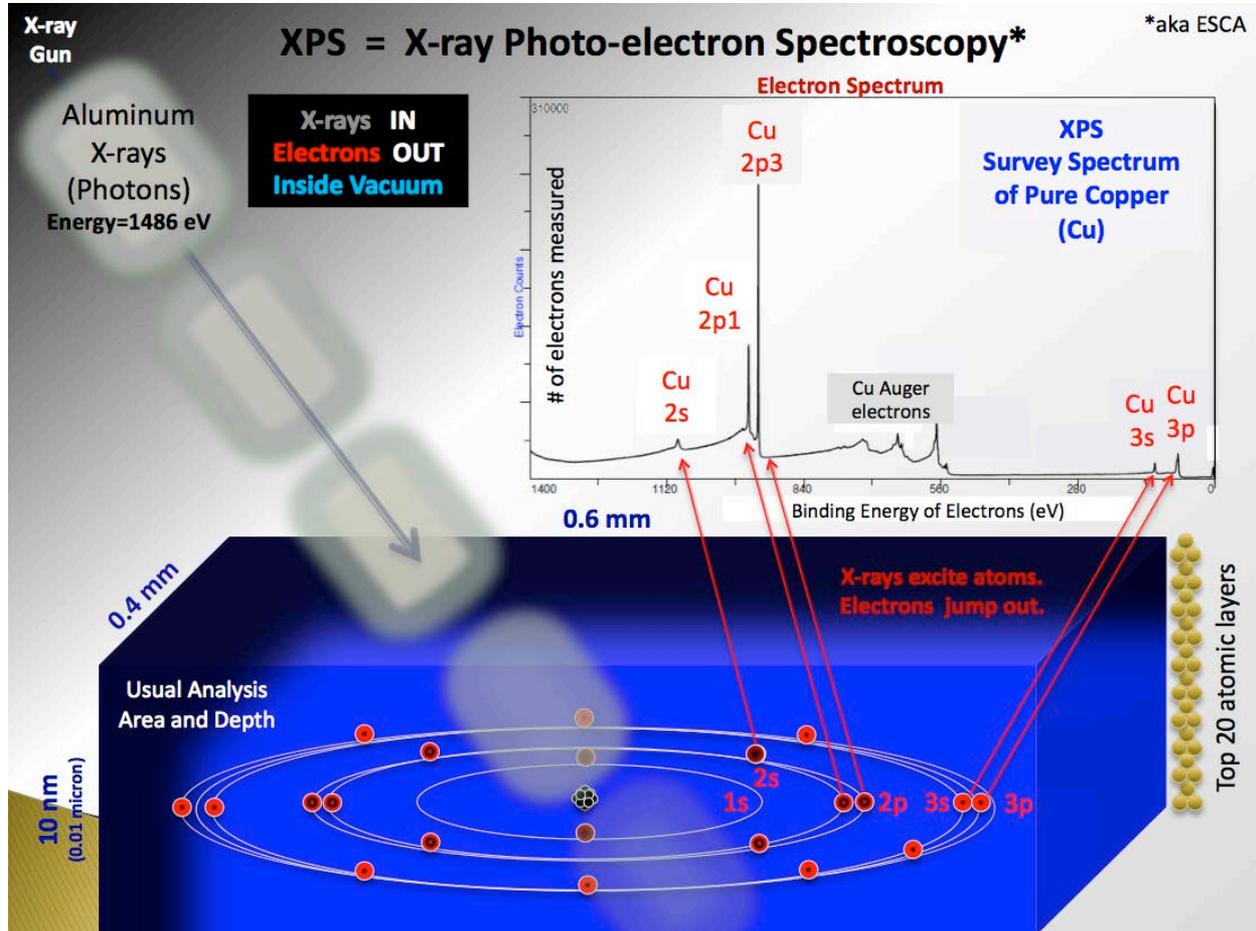
$$E_{\text{Кин}} = h\nu - E_{\text{Св.}} - \Phi$$

Работа выхода  
(зависит от образца)

Кинетическая Энергия  
Измеряется анализатором

Энергия связи  
Зависит от атома

# РФЭС принципы



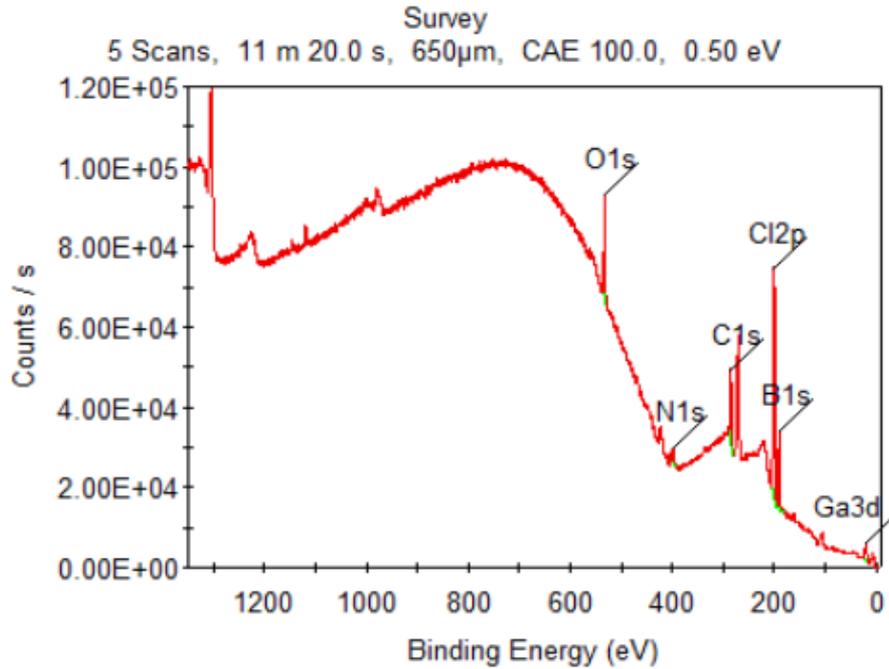
Reference: wikipedia

# РФЭС применение

- Применение РФЭС
  - Элементный состав
  - Химические сдвиги
  - Фотоэлектронные карты
  - Ионное профилирование

# РФЭС применение

## Элементный состав тонких пленок

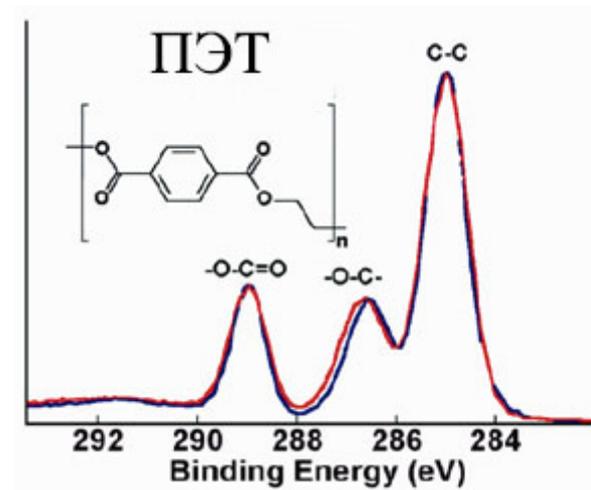


Элемент (линия ФЭС)	Атомный %
Бор (B1s)	37.43
Хлор (Cl2p)	28.81
Углерод (C1s)	16.84
Кислород (O1s)	9.18
Галлий (Ga3d)	4.64
Азот (N1s)	1.6

Спектр слоистой структуры GaN/AlGaN.

# РФЭС применение

## Химические сдвиги

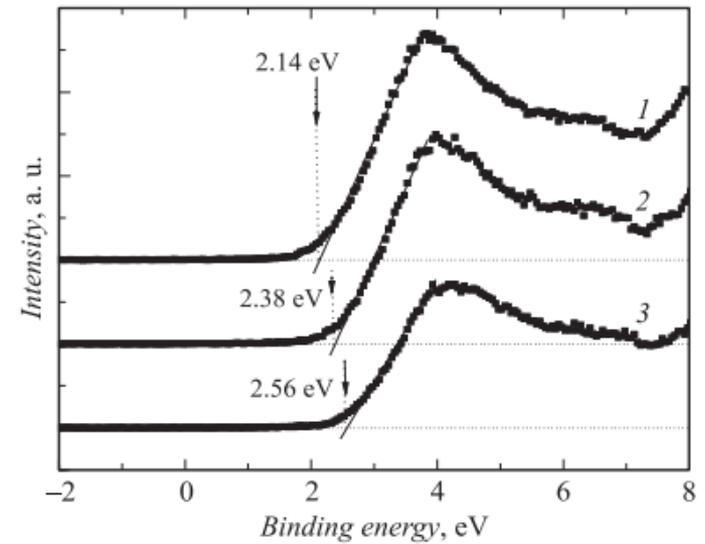
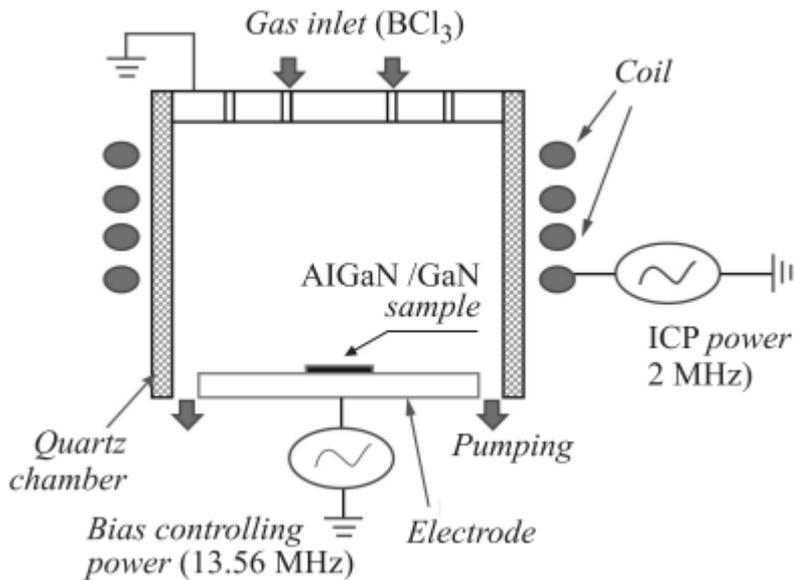


Область C 1s в спектре полиэтилентерeftалата (ПЭТ).

Углерод присутствует в трех различных химических состояниях.

# РФЭС применение

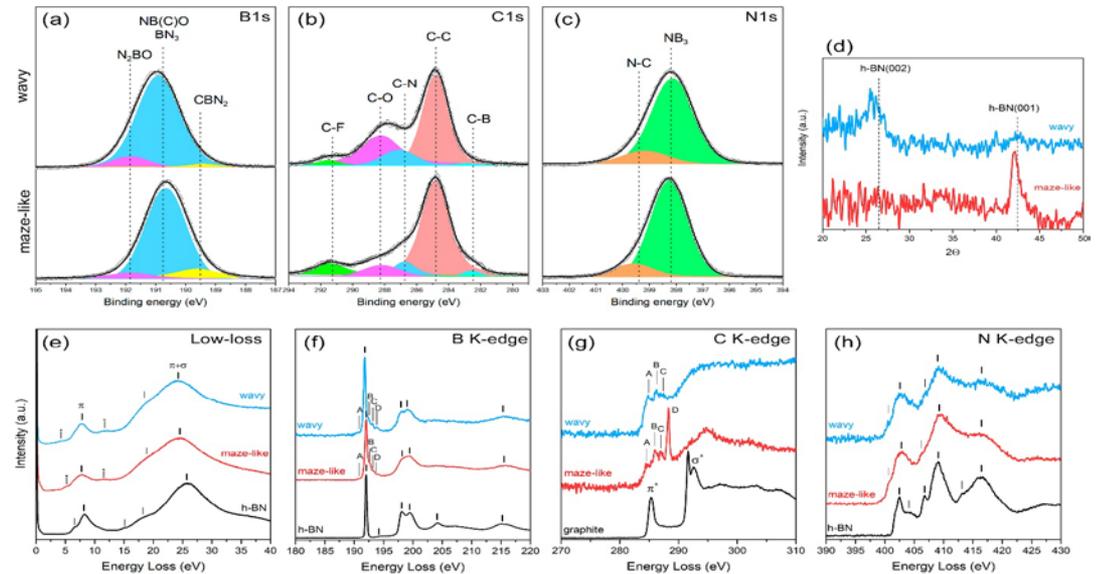
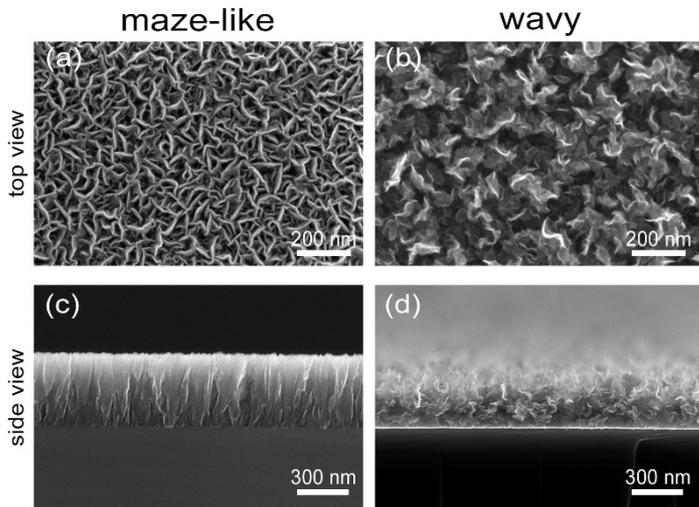
## Поверхностный барьер в НЕМТ структурах



XPS-спектры потолка валентной зоны: 1 — необработанный образец, 2 — обработка в  $\text{BCl}_3$ -плазме при напряжении смещения 20 V, 3 — обработка при напряжении смещения 40 V

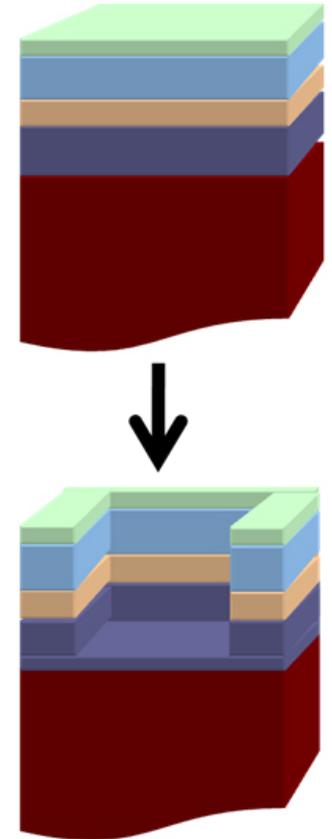
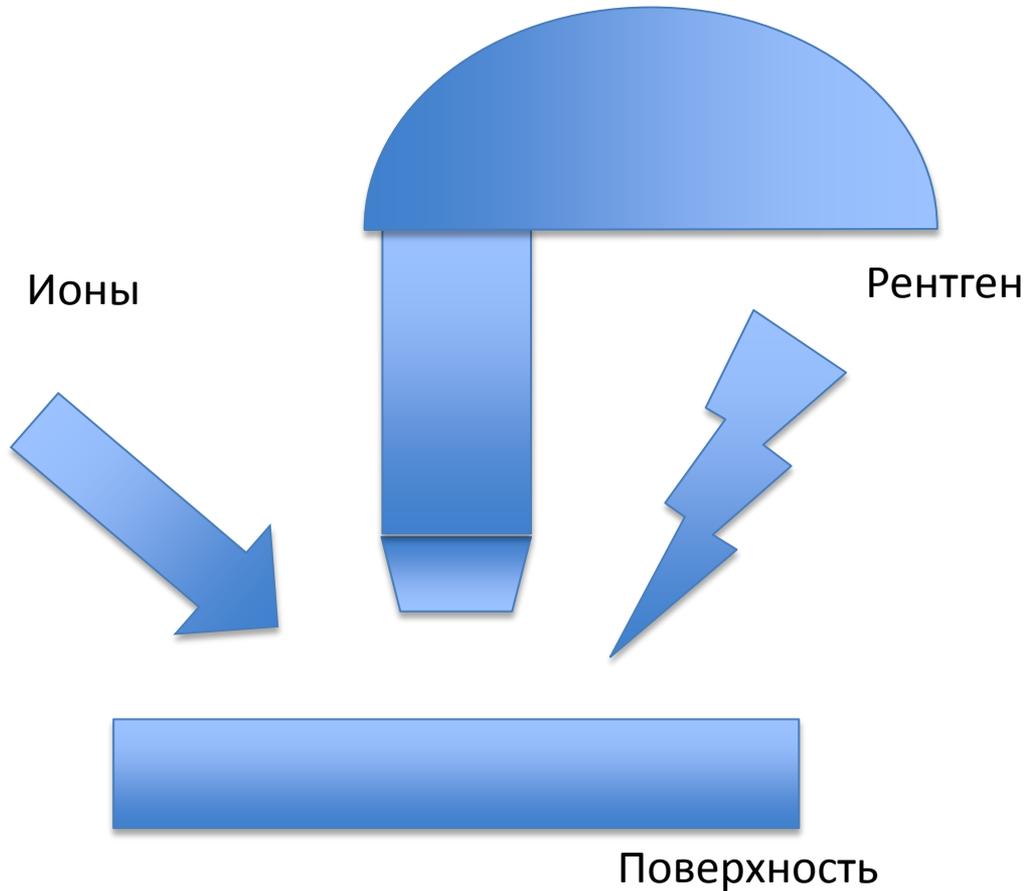
# РФЭС применение

## Морфология наностенок нитрида бора



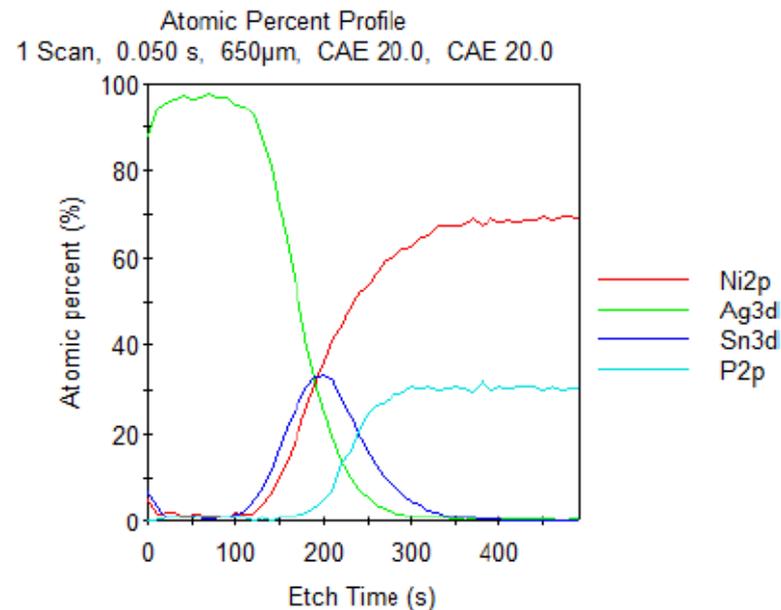
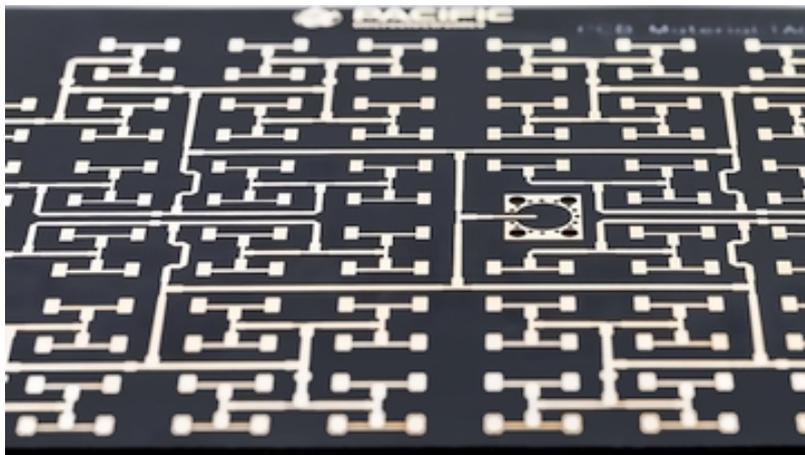
XPS-спектры двух различных морфологий наностенок. Различия по B-C связям (углеродные домены в решетке наностенок).

# Профилирование по глубине



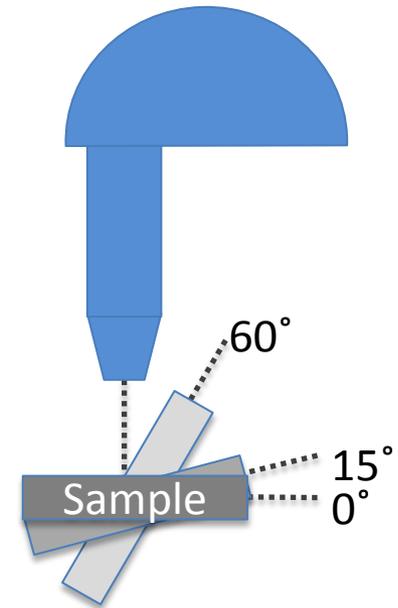
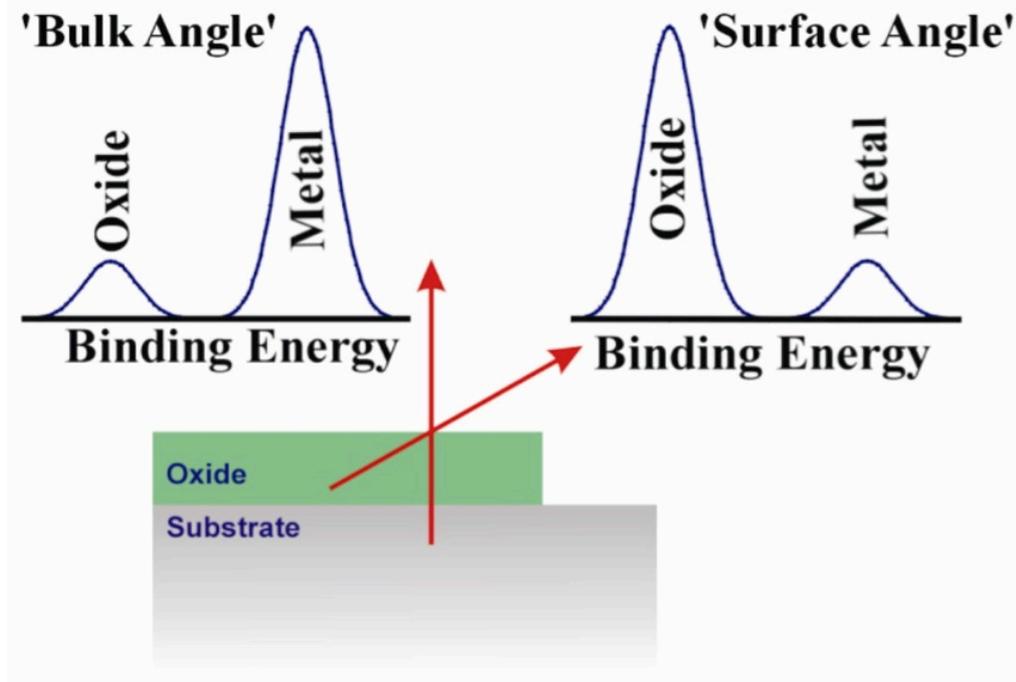
# РФЭС применение

## Тонкие пленки



Распределение элементов по глубине (в зависимости от времени травления) для системы с двухслойным покрытием из химического никеля и иммерсионного серебра

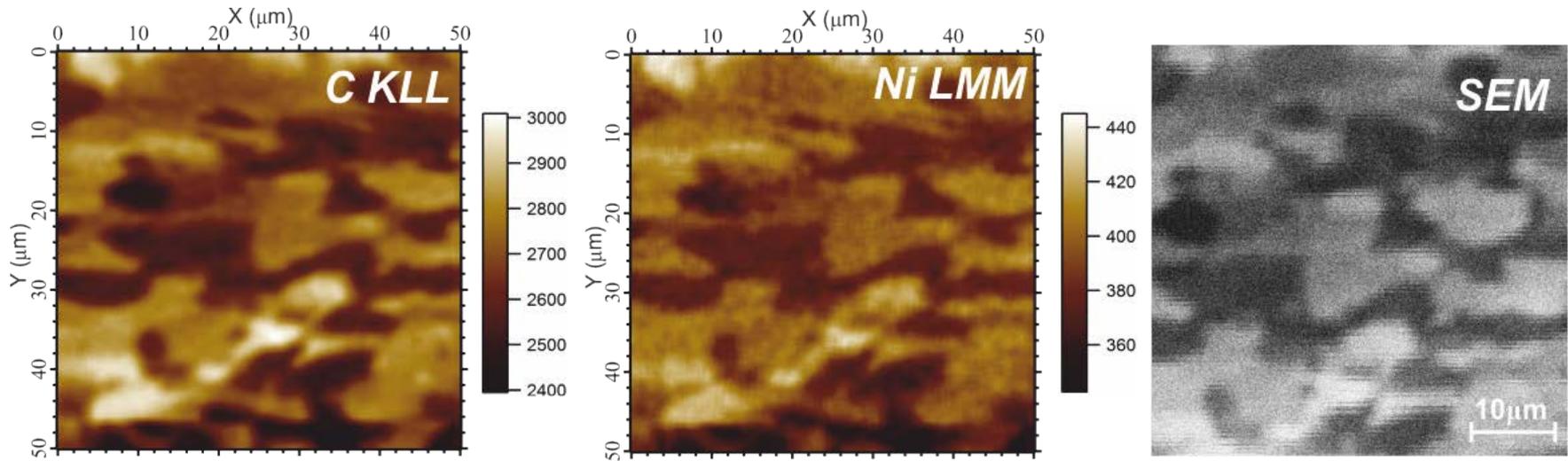
# AR-XPS



- Порядок слоев в ультратонких пленках
- Толщина слоев
- Распределение элементов и химических состояний в пленке (без травления- полимеры и органика)

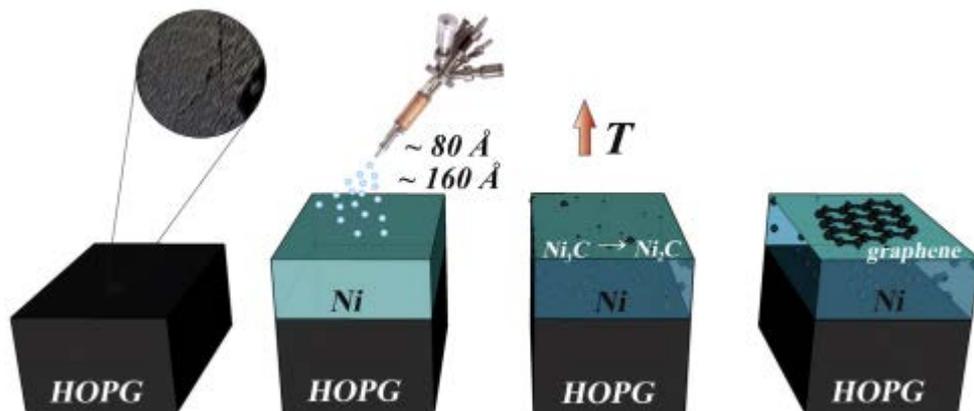
# AES применение

## Оже-картирование

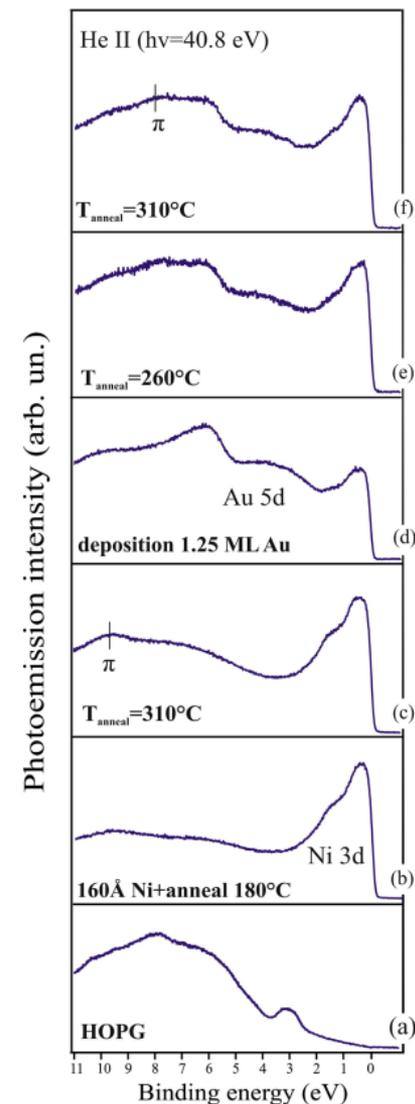
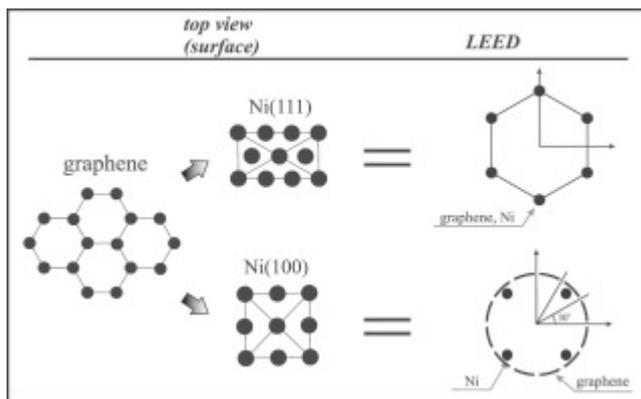


Оже-карты (линии C KLL и Ni LMM) и СЭМ-изображение (50x50 мкм) образца после прогрева системы Ni/ВОПГ до 310°C

# УФЭС применение

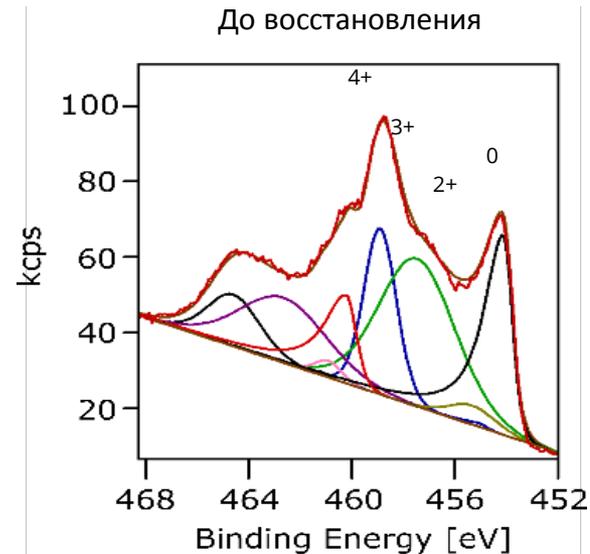
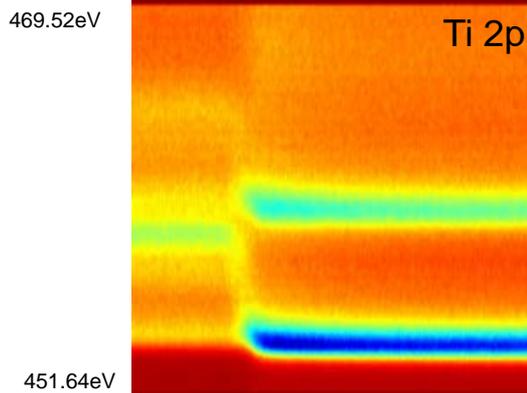


Формирование графена на поверхности никеля

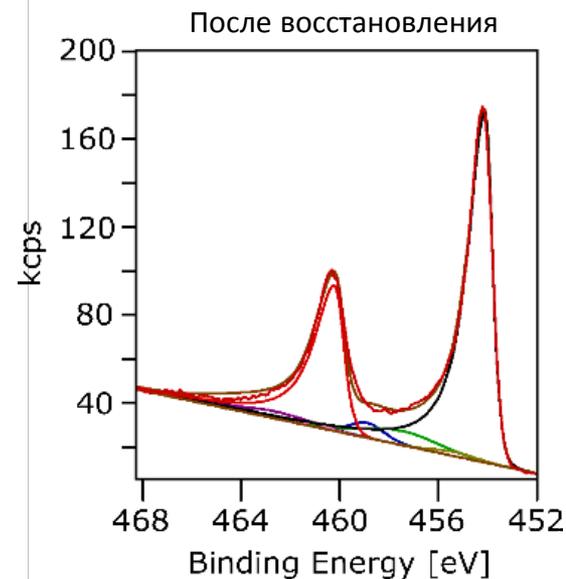
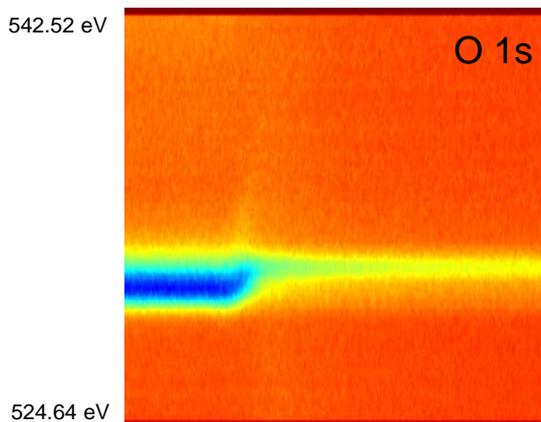


# Динамический РФЭС

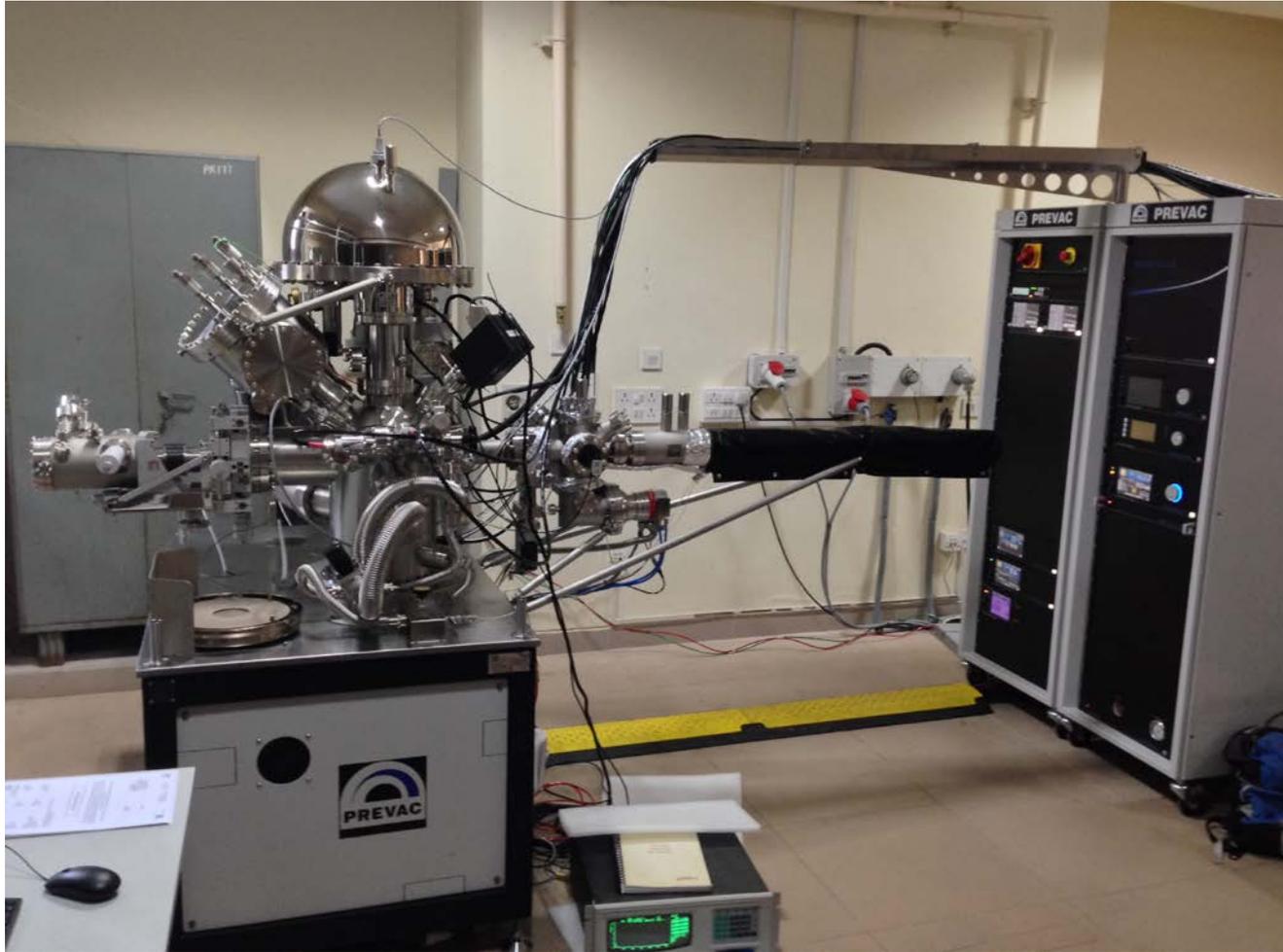
## Термическое восстановление оксида титана



Изменение химического состояния титана и кислорода в реальном времени



# РФЭС спектрометр



**Спасибо  
за  
внимание!**