

Школа для молодых ученых

«Современные аспекты высокоэффективных твердооксидных топливных элементов и энергоустановок на их основе»

16-17 ноября 2017 года

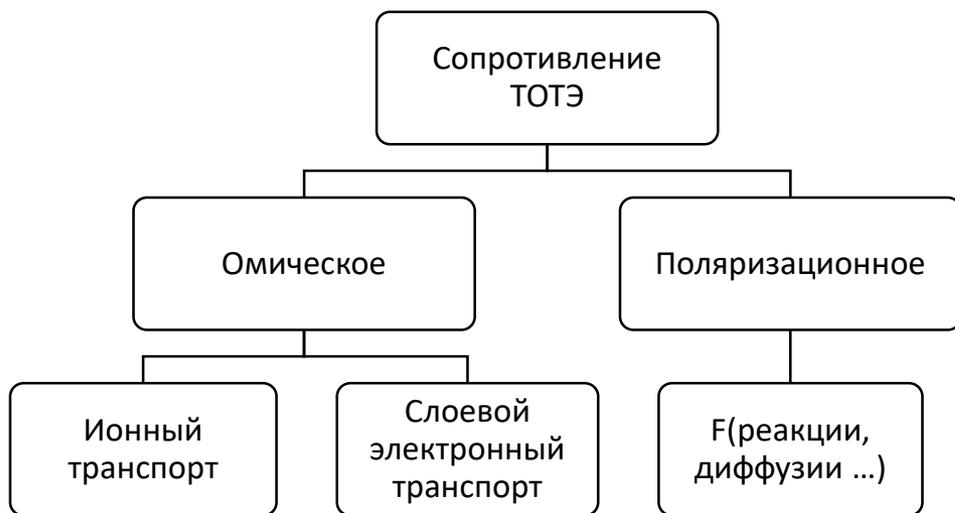
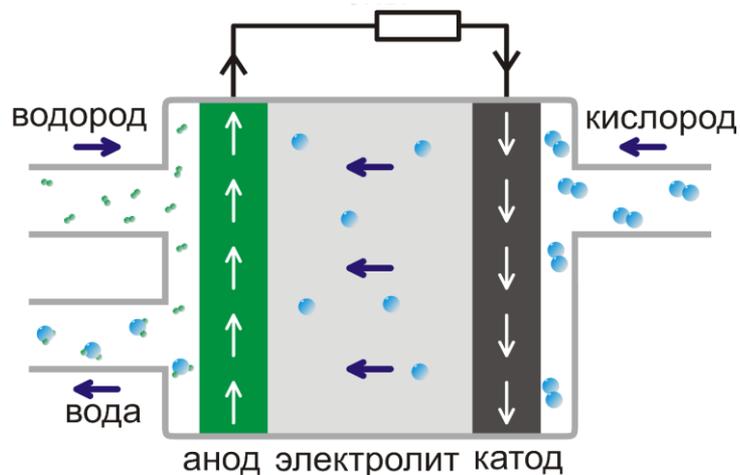
Спектроскопия комбинационного рассеяния света как метод для изучения материалов и "in-situ" исследования токообразующих реакций в композиционных электродах ТОТЭ (часть 2)



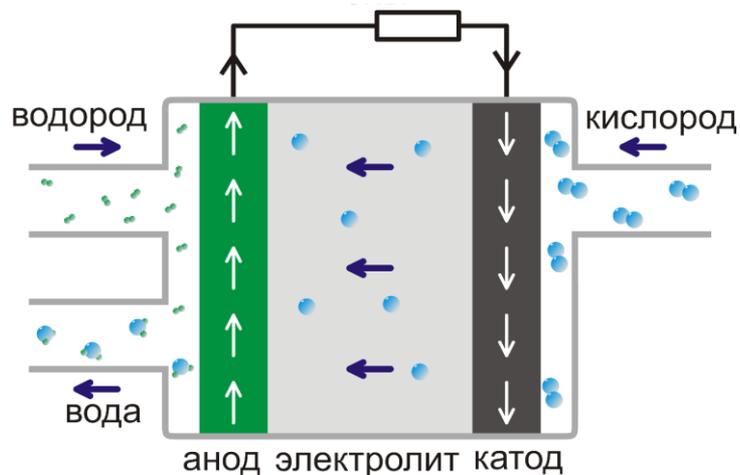
И.И. Тартаковский, Д.А. Агарков

ИФТТ РАН, г. Черноголовка

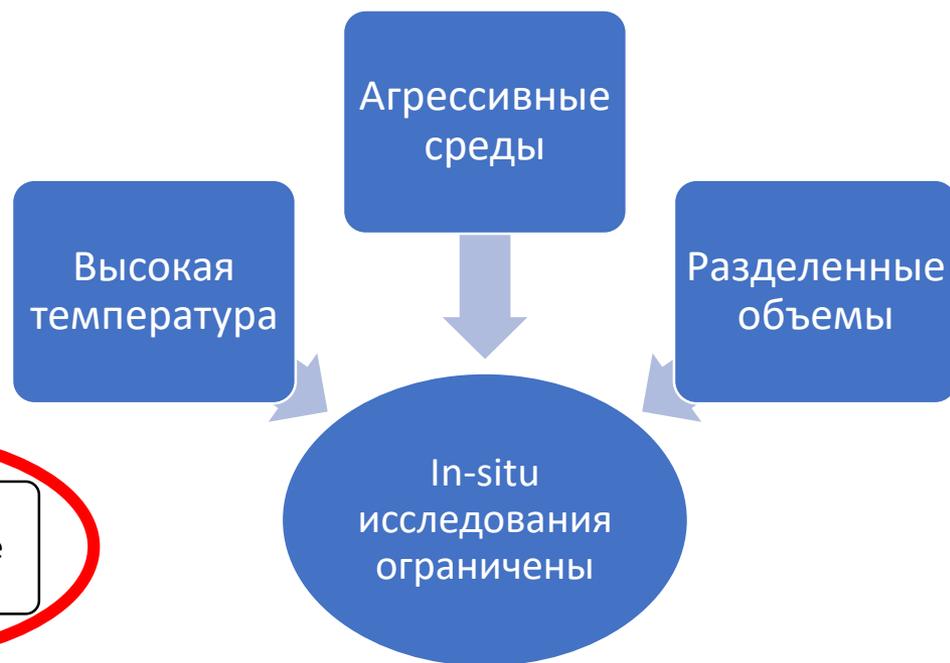
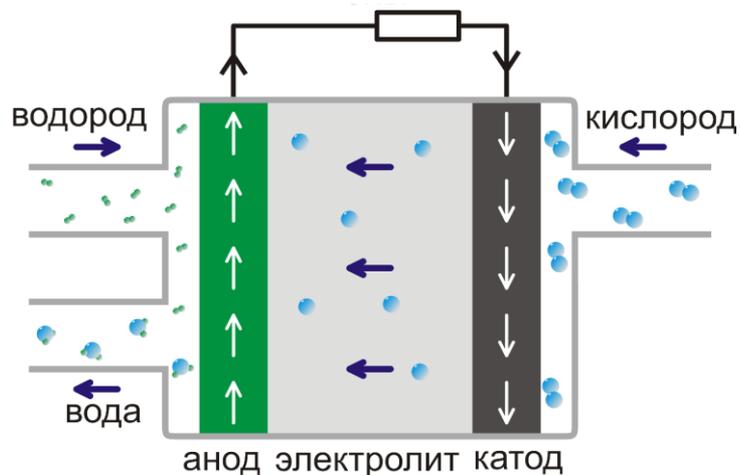
Оптимизация сопротивления ТОТЭ



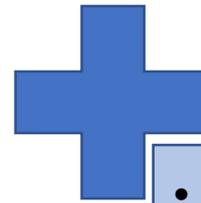
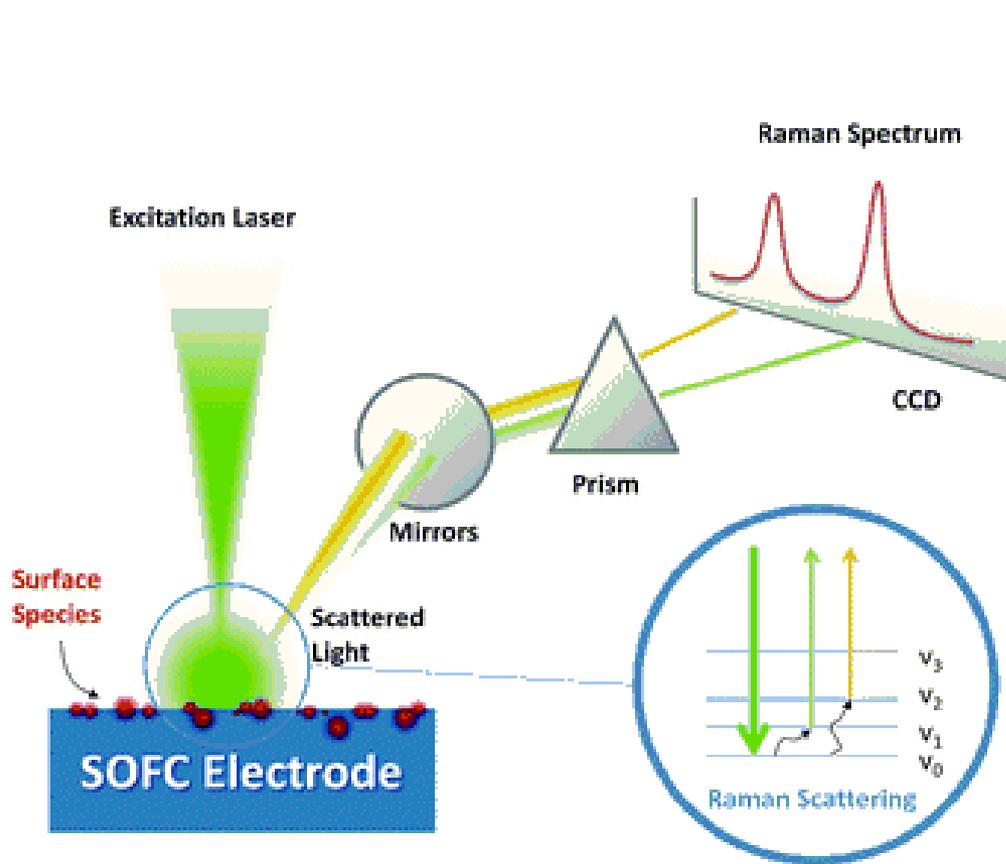
Оптимизация сопротивления ТОТЭ



Оптимизация сопротивления ТОТЭ



Спектроскопия КРС & ТОТЭ

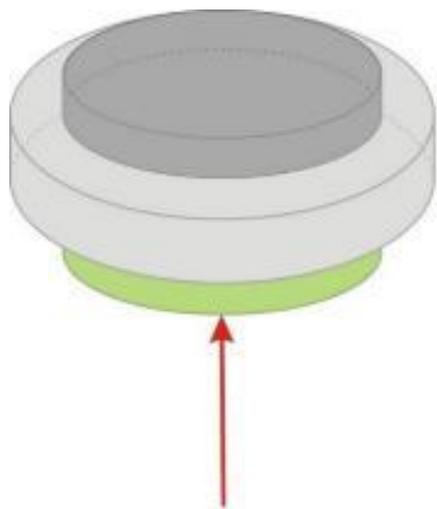


- Неинвазивный
- Дистанционный
- Информация о большом числе материалов и реакций



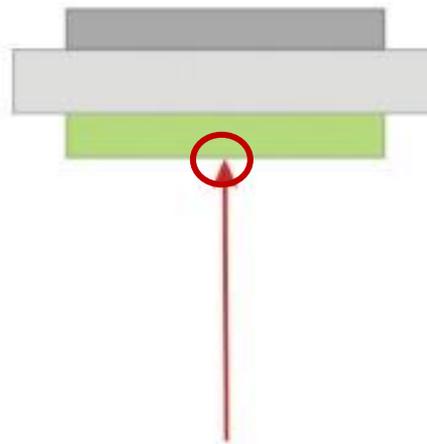
- Малая глубина проникновения
- Тепловое излучение

Специальная геометрия

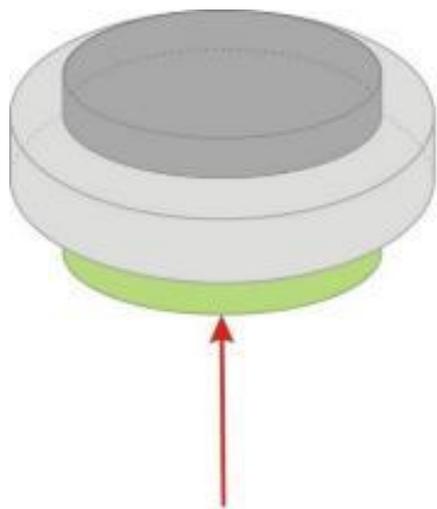


Стандартная геометрия измерений:

катодный электрод
мембрана твердого электролита
анодный электрод

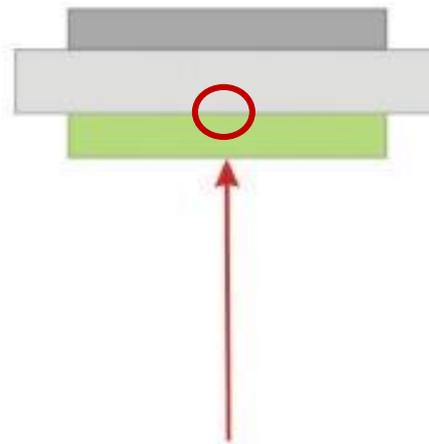


Специальная геометрия



Стандартная геометрия измерений:

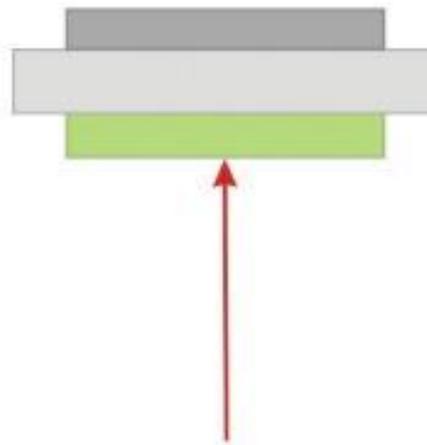
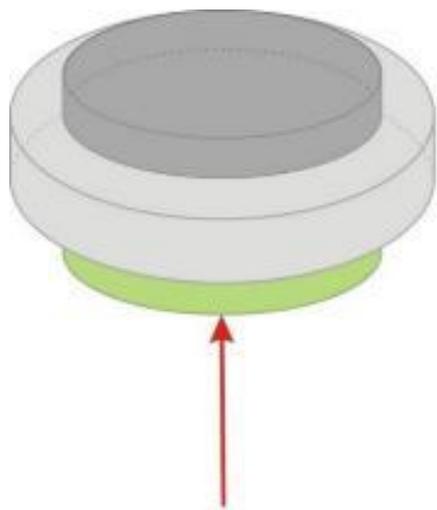
катодный электрод
мембрана твердого электролита
анодный электрод



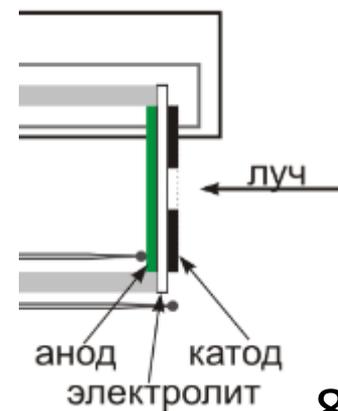
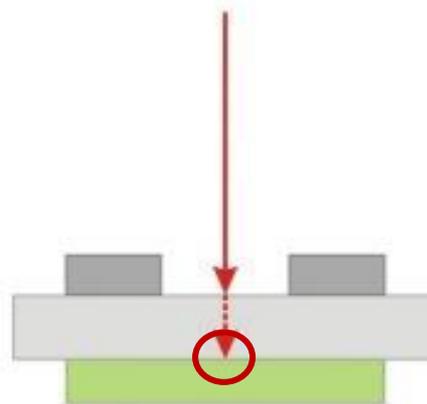
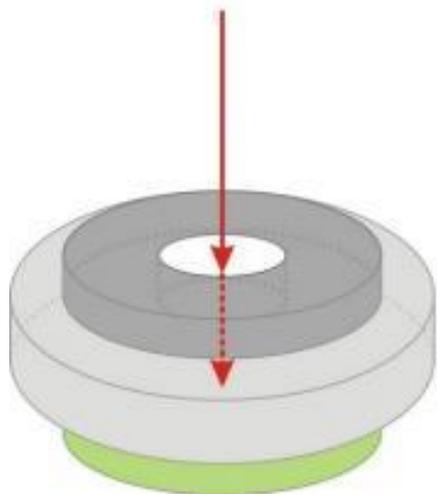
Специальная геометрия

Стандартная геометрия измерений:

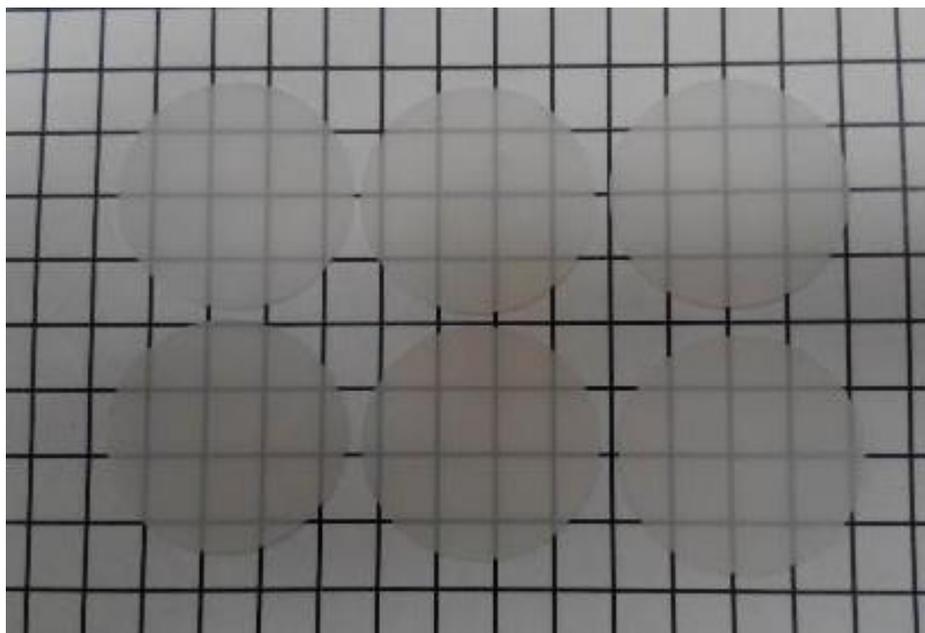
катодный электрод
мембрана твердого электролита
анодный электрод



Новая геометрия:

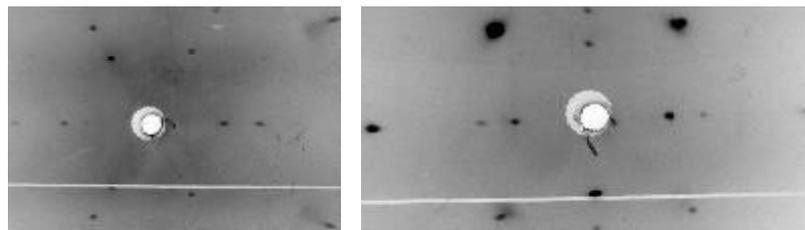


Монокристаллические мембраны



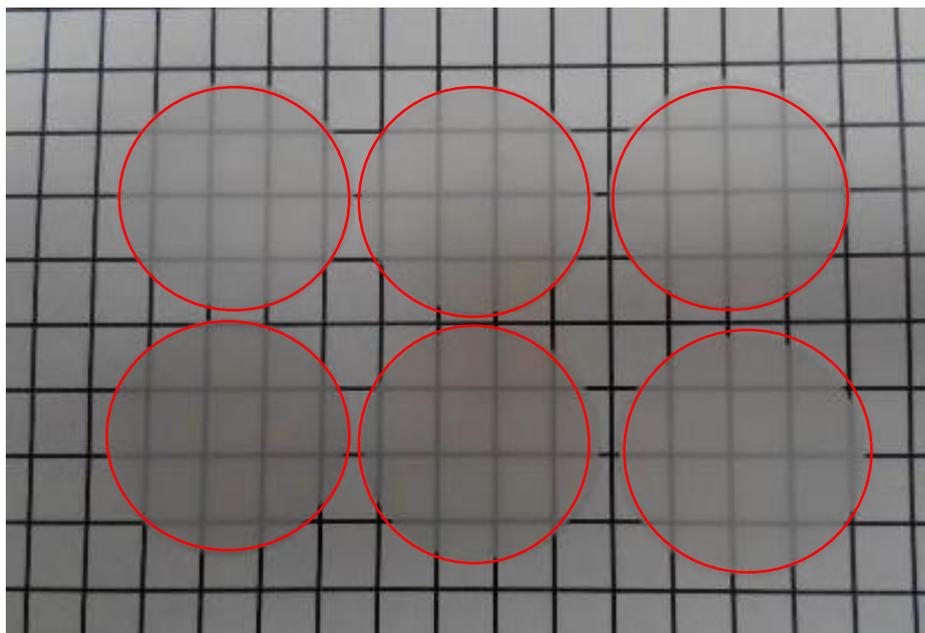
Параметры:

- Метод изготовления: прямой ВЧ нагрев
- Состав: 10Sc1YSZ
- Диаметр 22 мм
- Толщина 250-500 мкм
- Оптически прозрачные



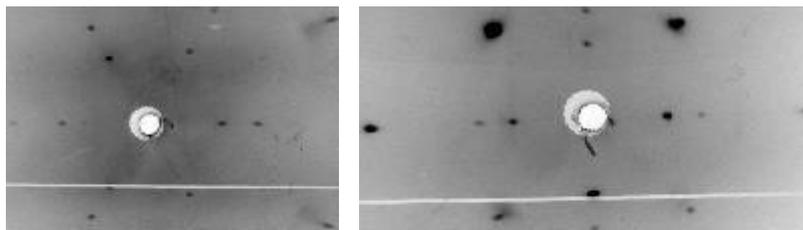
Мембраны твердого электролита имеют монокристаллическую структуру

Монокристаллические мембраны



Параметры:

- Метод изготовления: прямой ВЧ нагрев
- Состав: 10Sc1YSZ
- Диаметр 22 мм
- Толщина 250-500 мкм
- Оптически прозрачные



Мембраны твердого электролита имеют монокристаллическую структуру

Спектр пропускания мембран

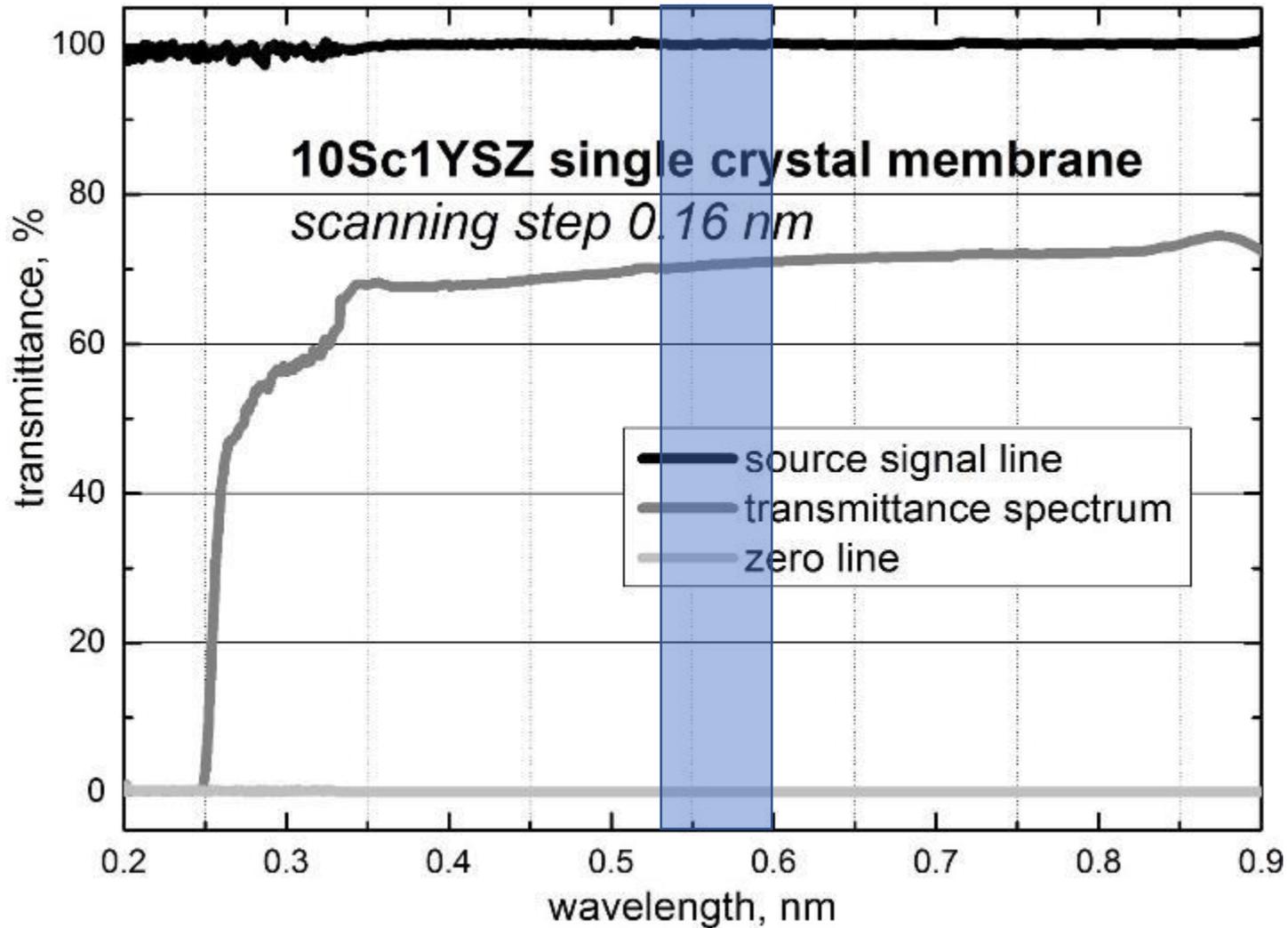


Схема установки

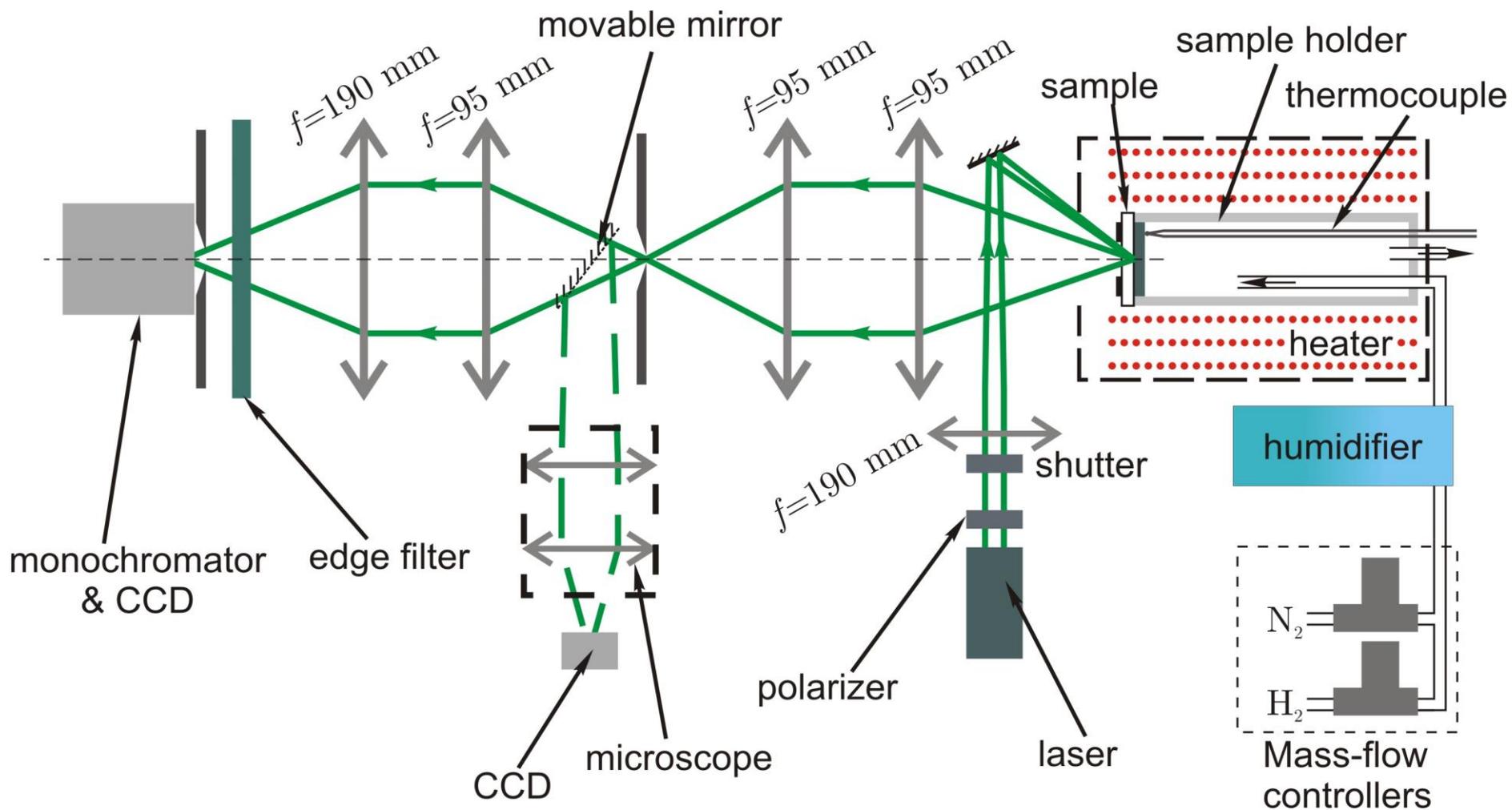


Схема установки

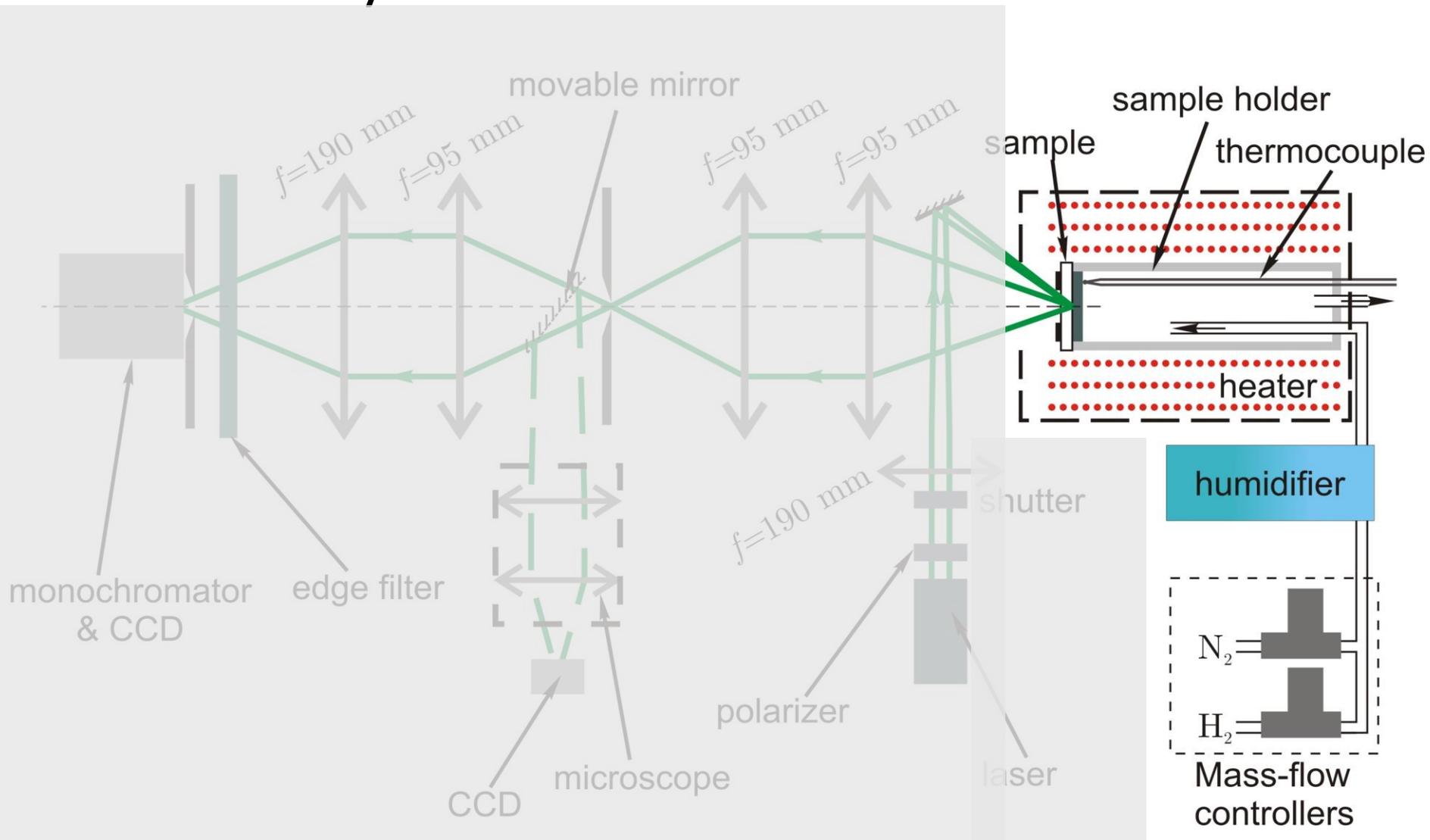


Схема установки

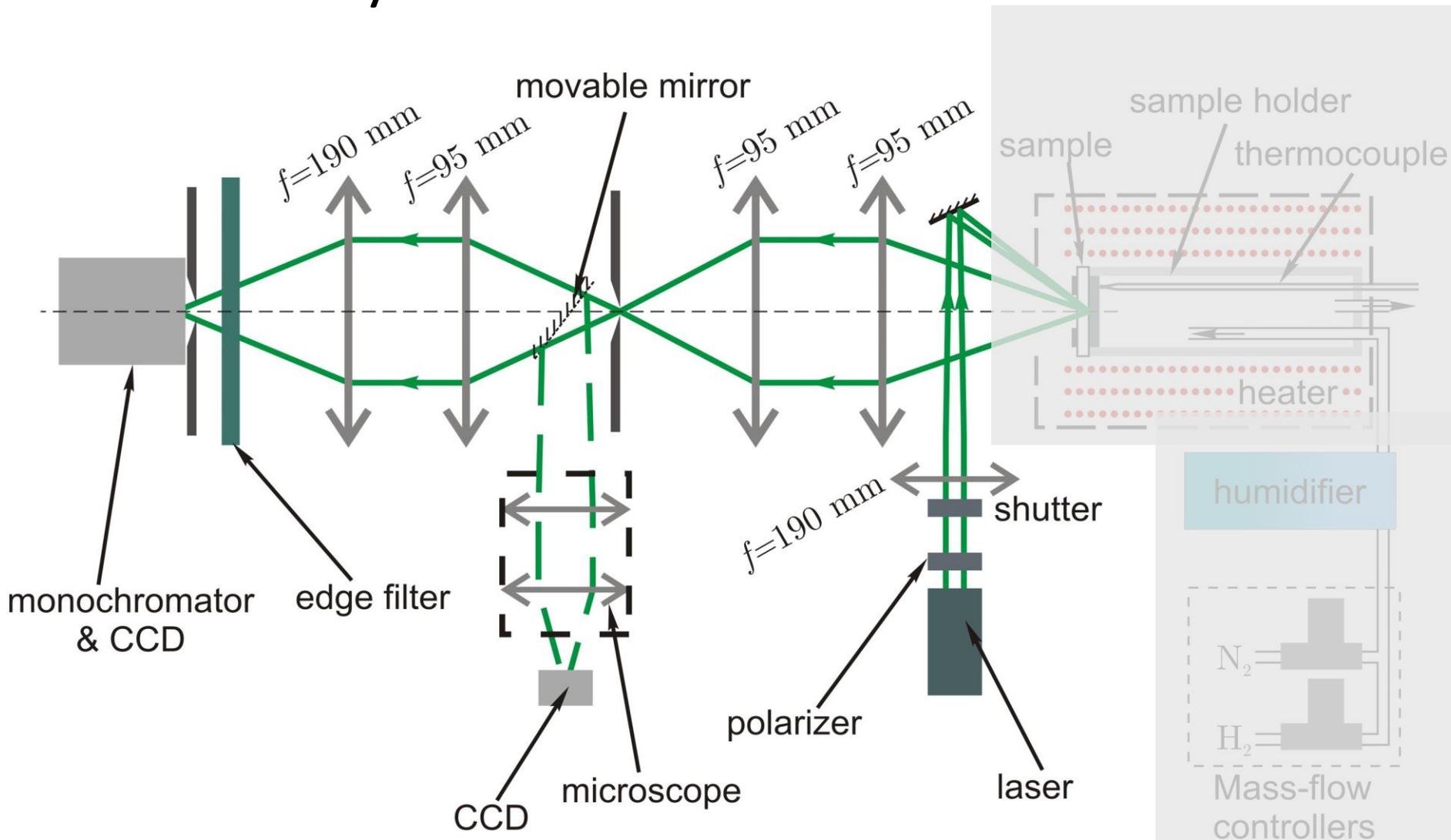
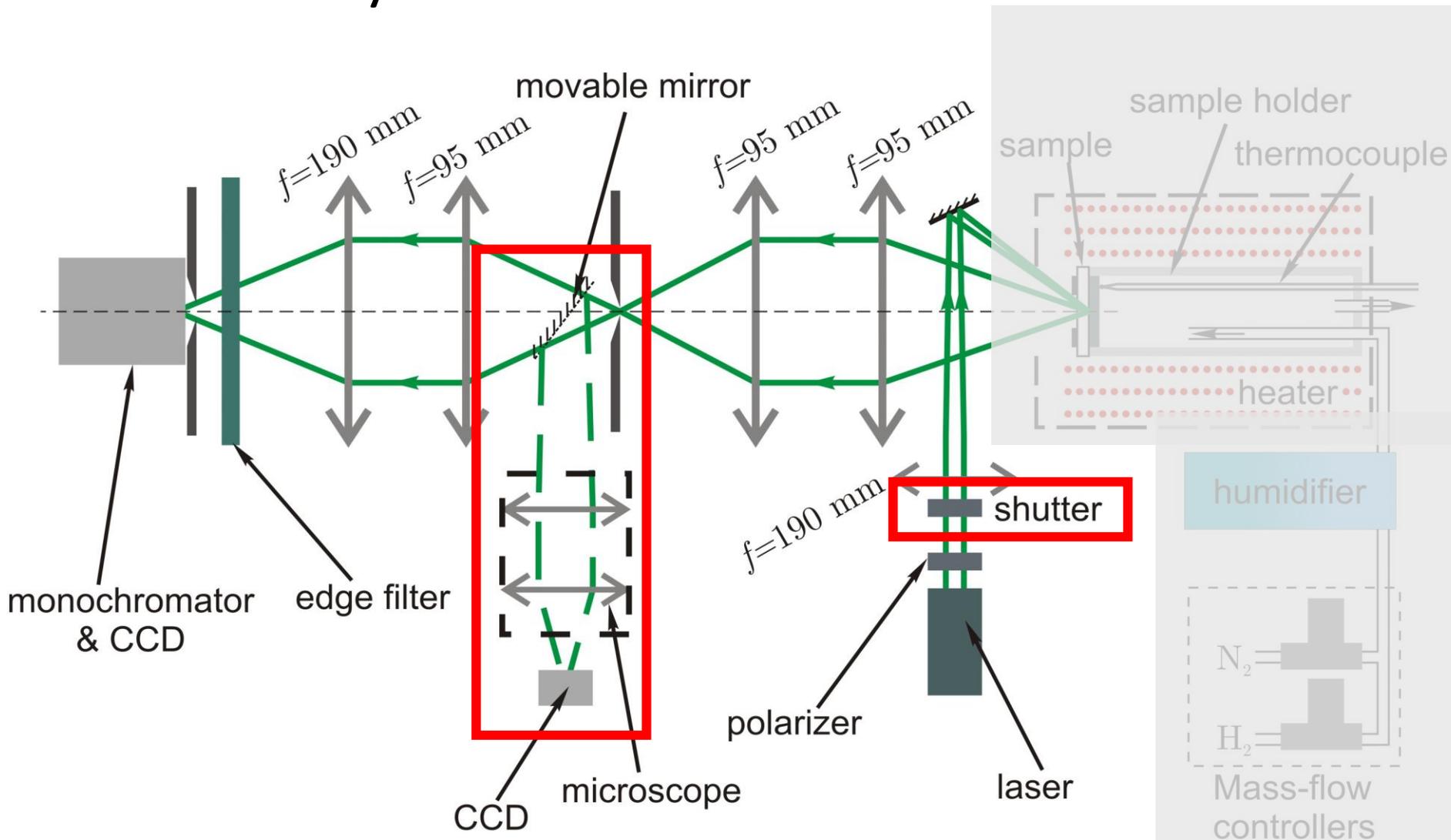
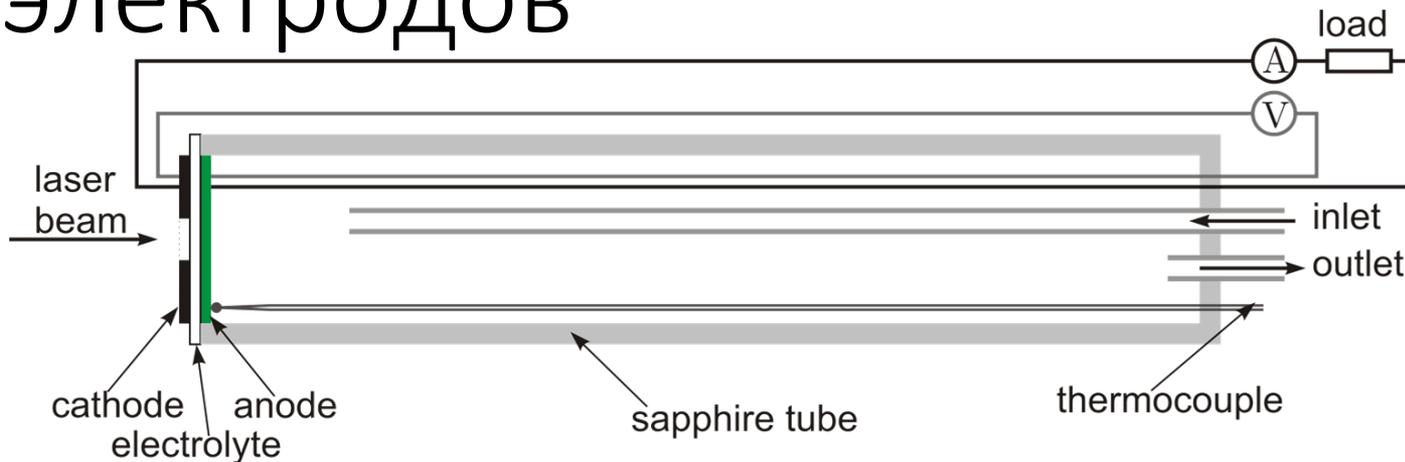


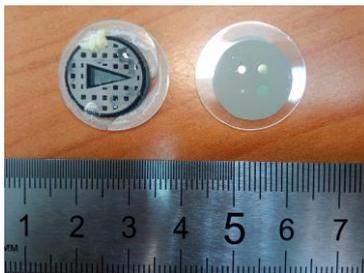
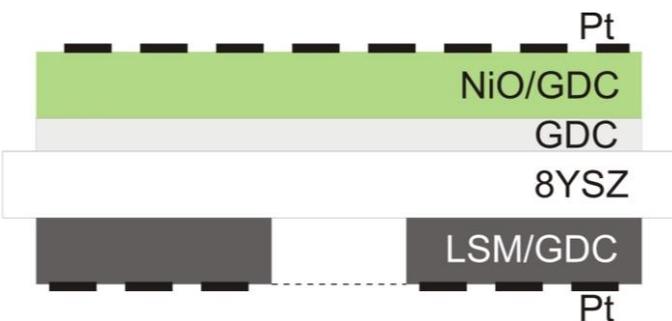
Схема установки



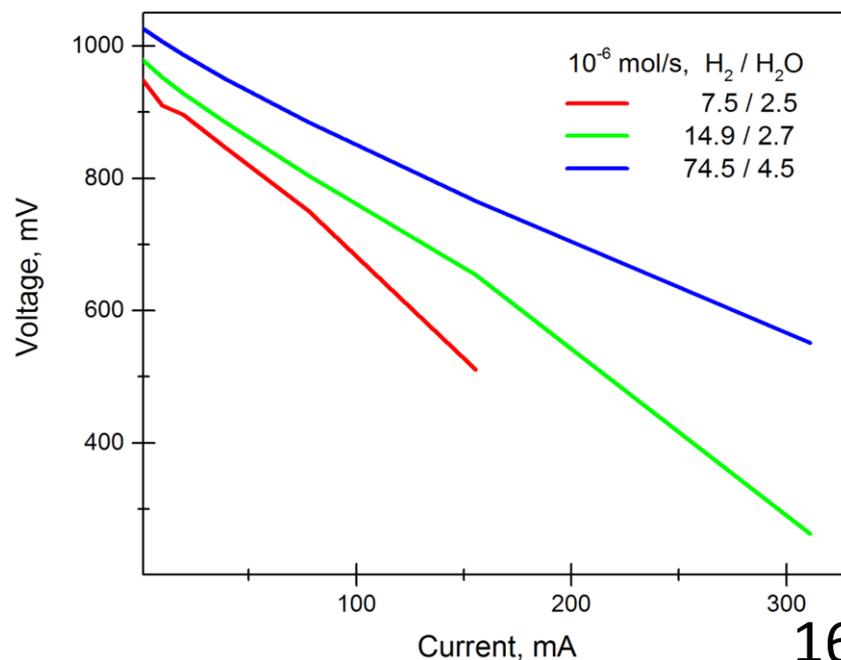
ВТ держатель и конструкция электродов



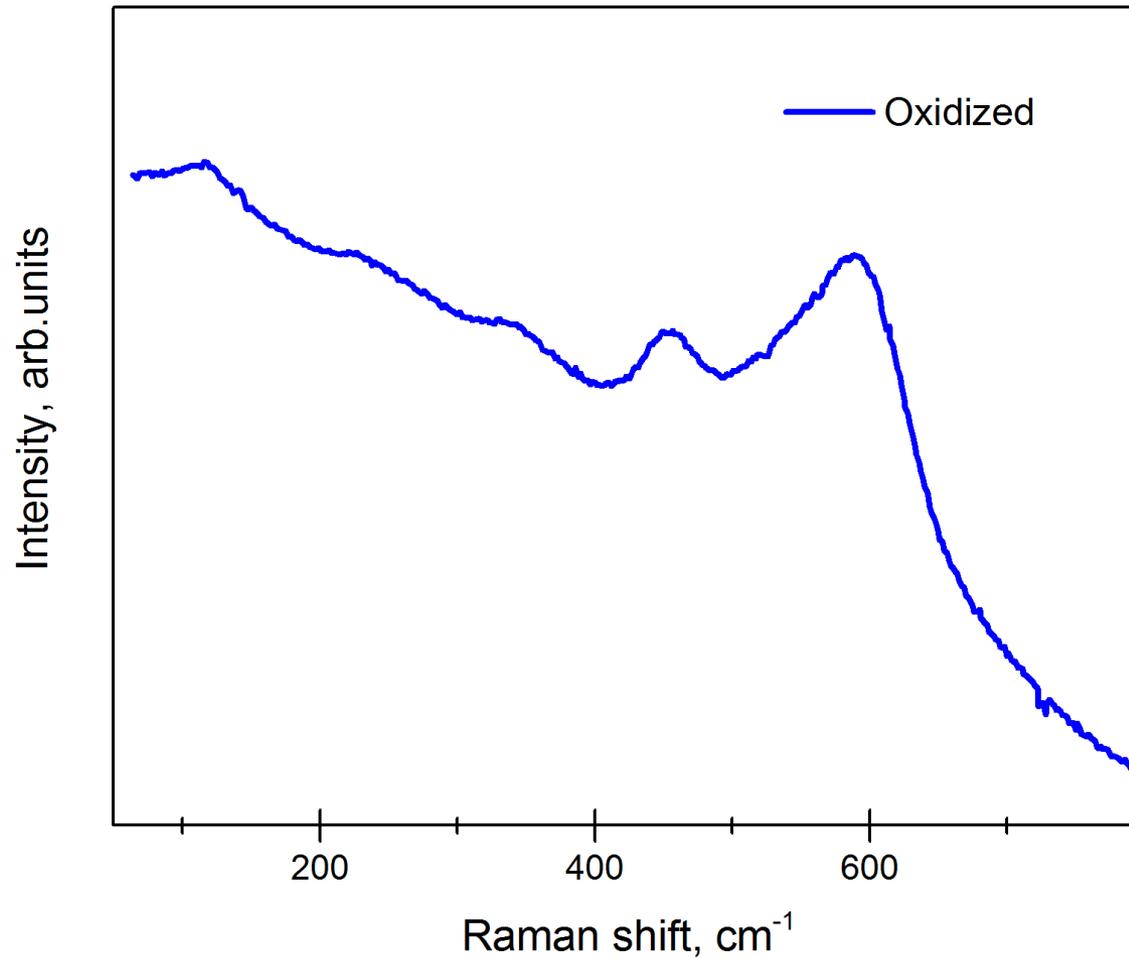
ВТ держатель образцов



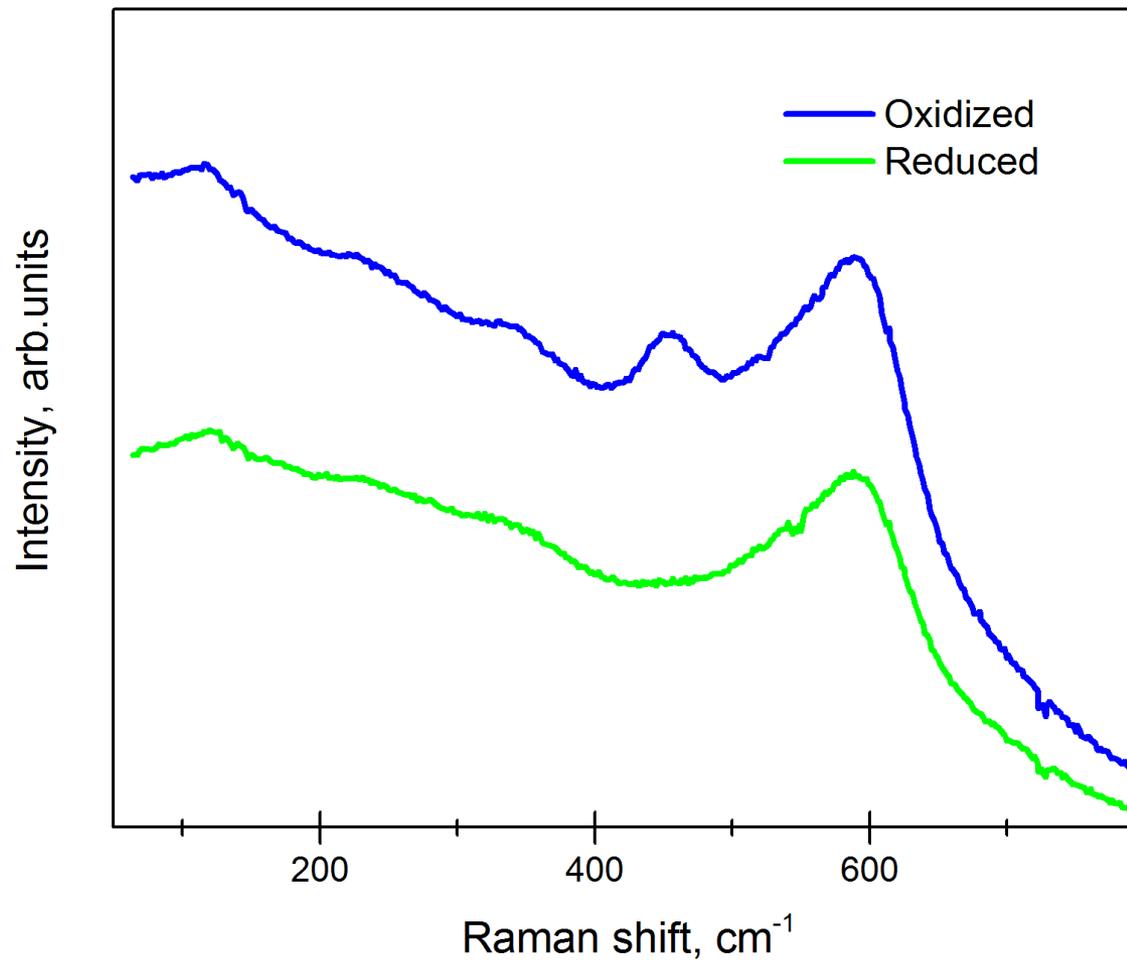
Конструкция образцов и фото



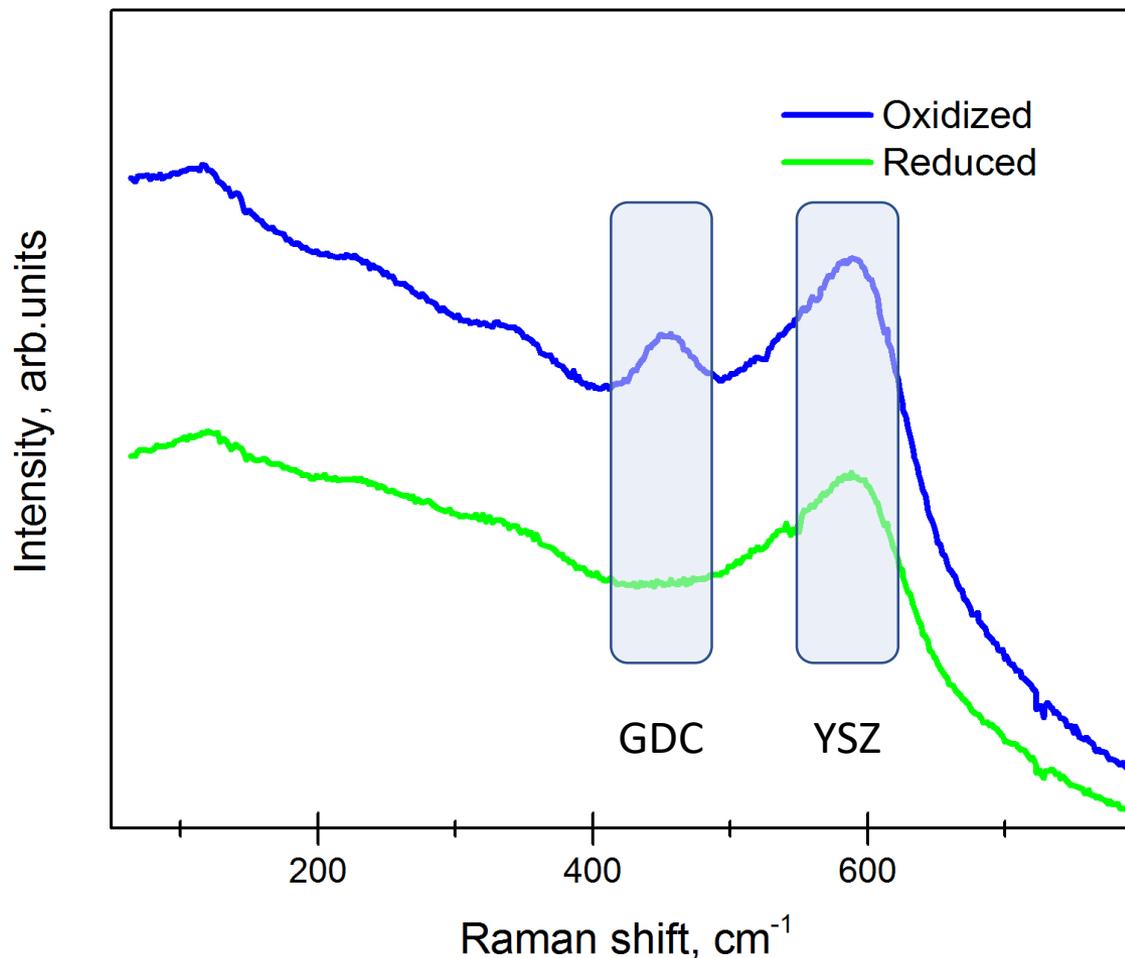
Восстановление и окисление модельного электрода



Восстановление и окисление модельного электрода

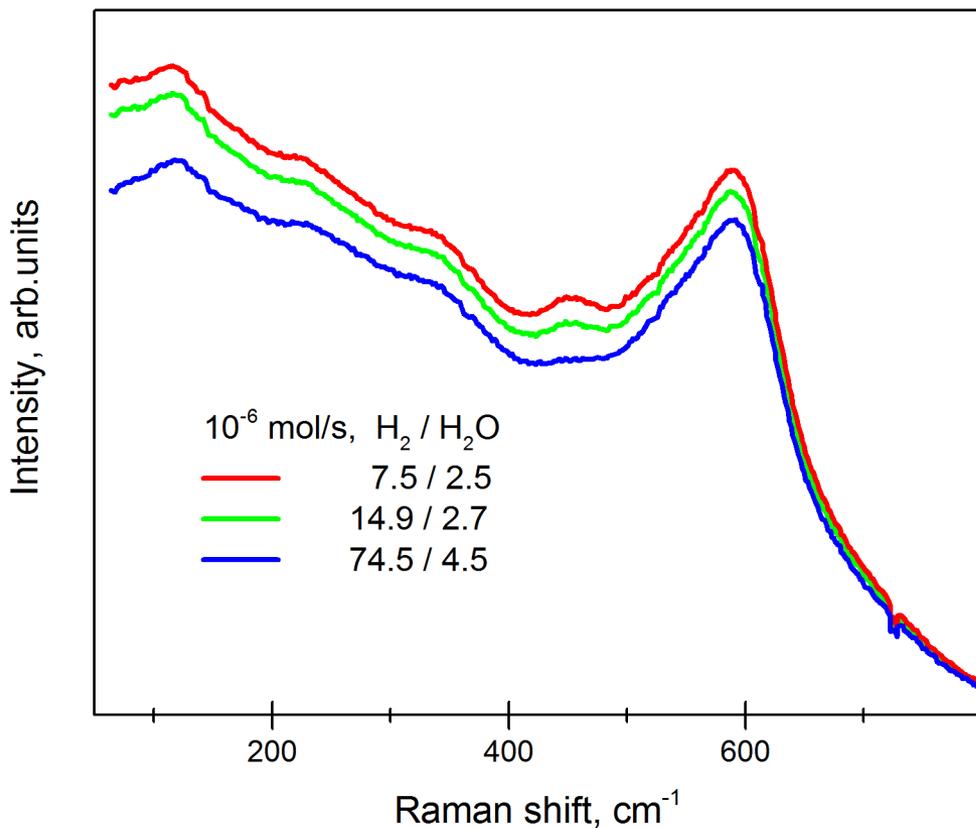


Восстановление и окисление модельного электрода



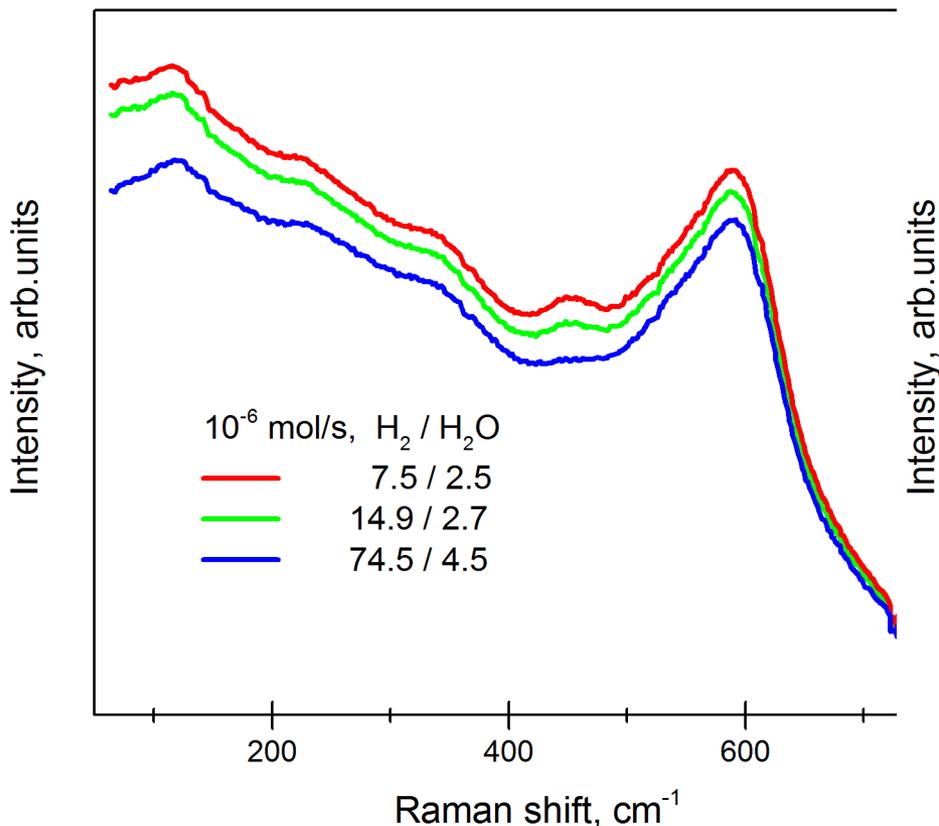
В спектре КРС легко выделяемы пики, отвечающие YSZ и GDC

Спектры КРС для разных топливных смесей

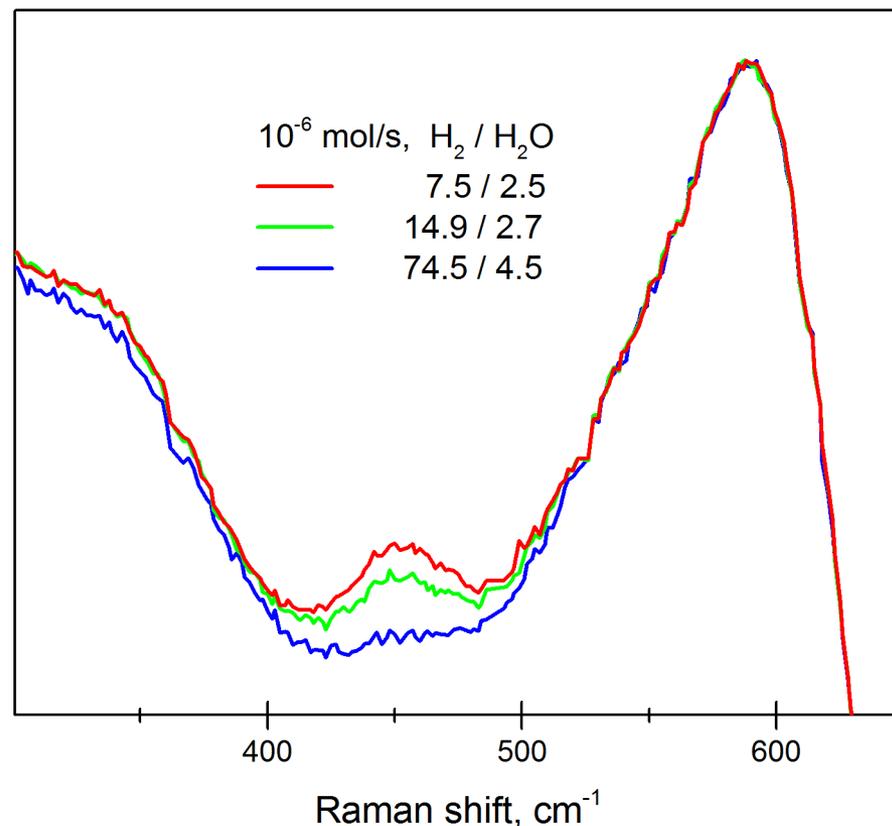


Спектры КРС были получены для разных концентрация водорода в топливной газовой смеси

Спектры КРС для разных топливных смесей

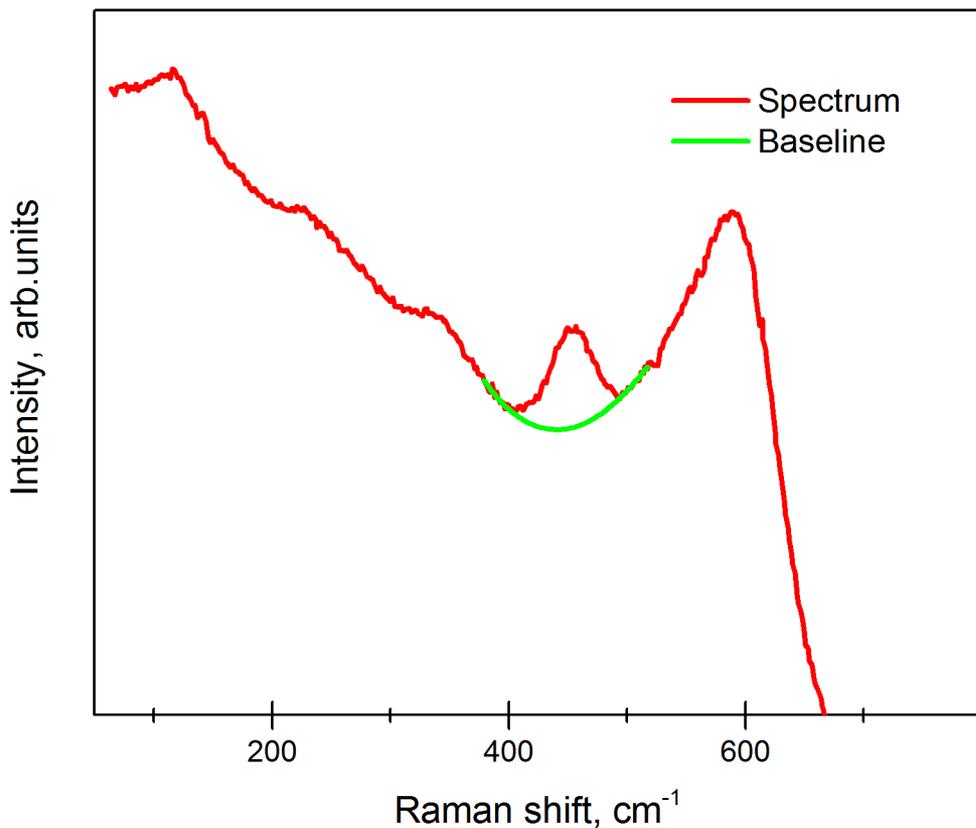


Спектры КРС были получены для разных концентрация водорода в топливной газовой смеси



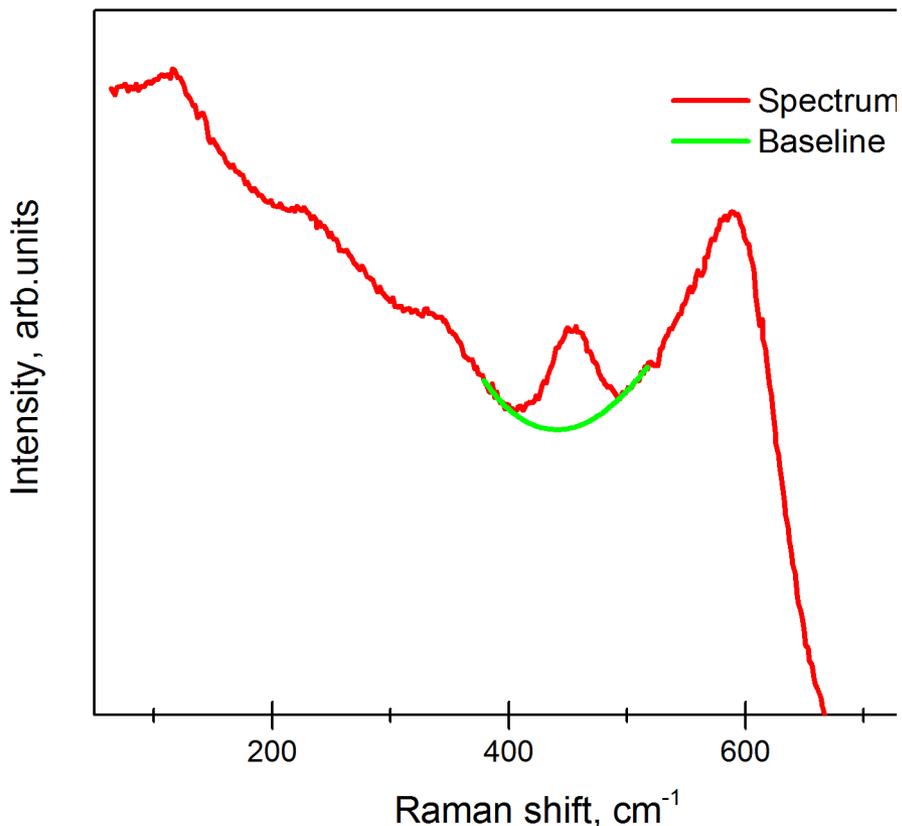
Спектры были отнормированы на интенсивность пика YSZ

Методика выделения пика и результаты

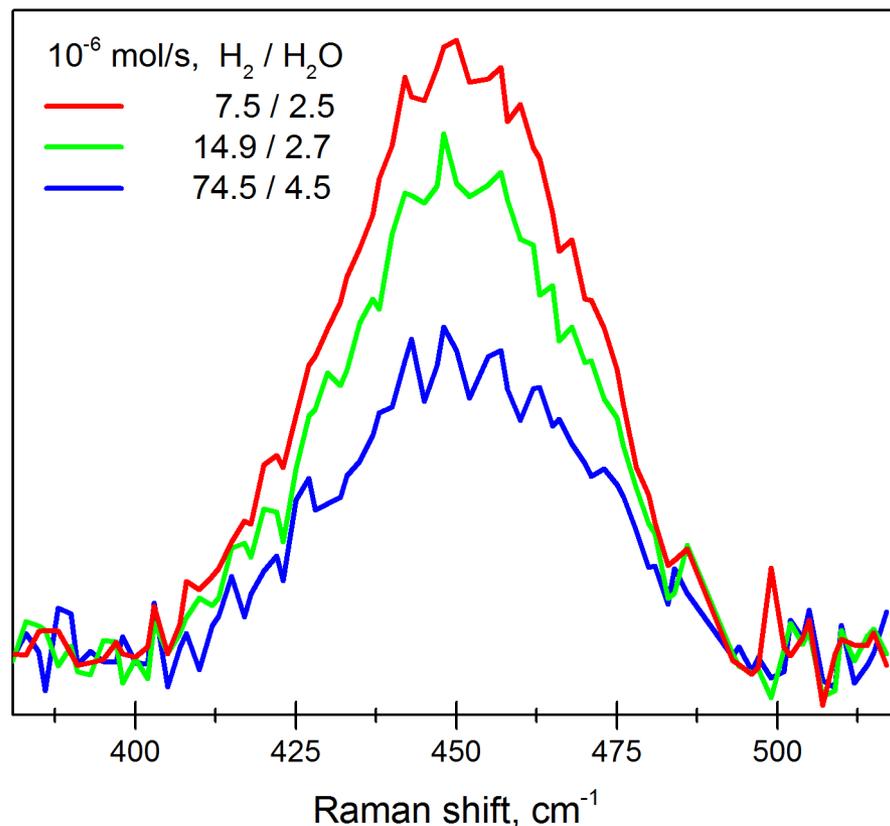


Для выделения пика GDC из спектра КРС использовалась следующая методика

Методика выделения пика и результаты

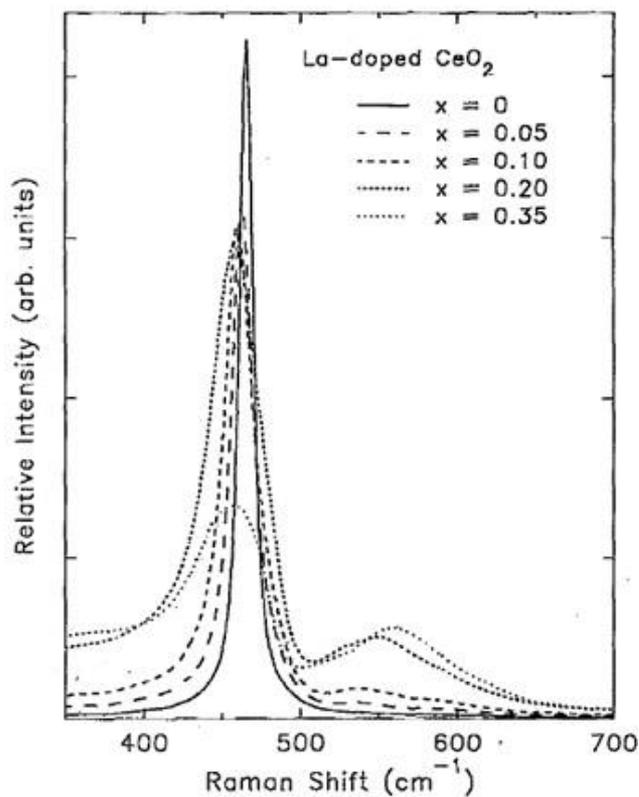


Для выделения пика GDC из спектра KPC использовалась следующая методика

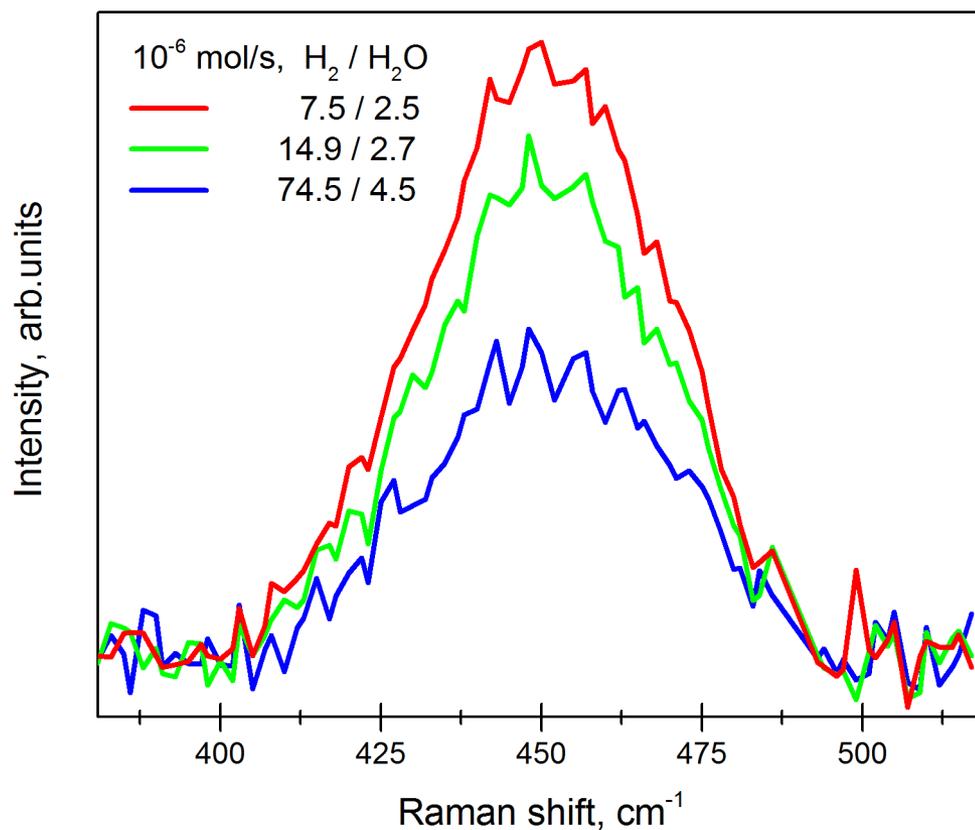


Результаты выделения пика GDC для различных составов топливной смеси

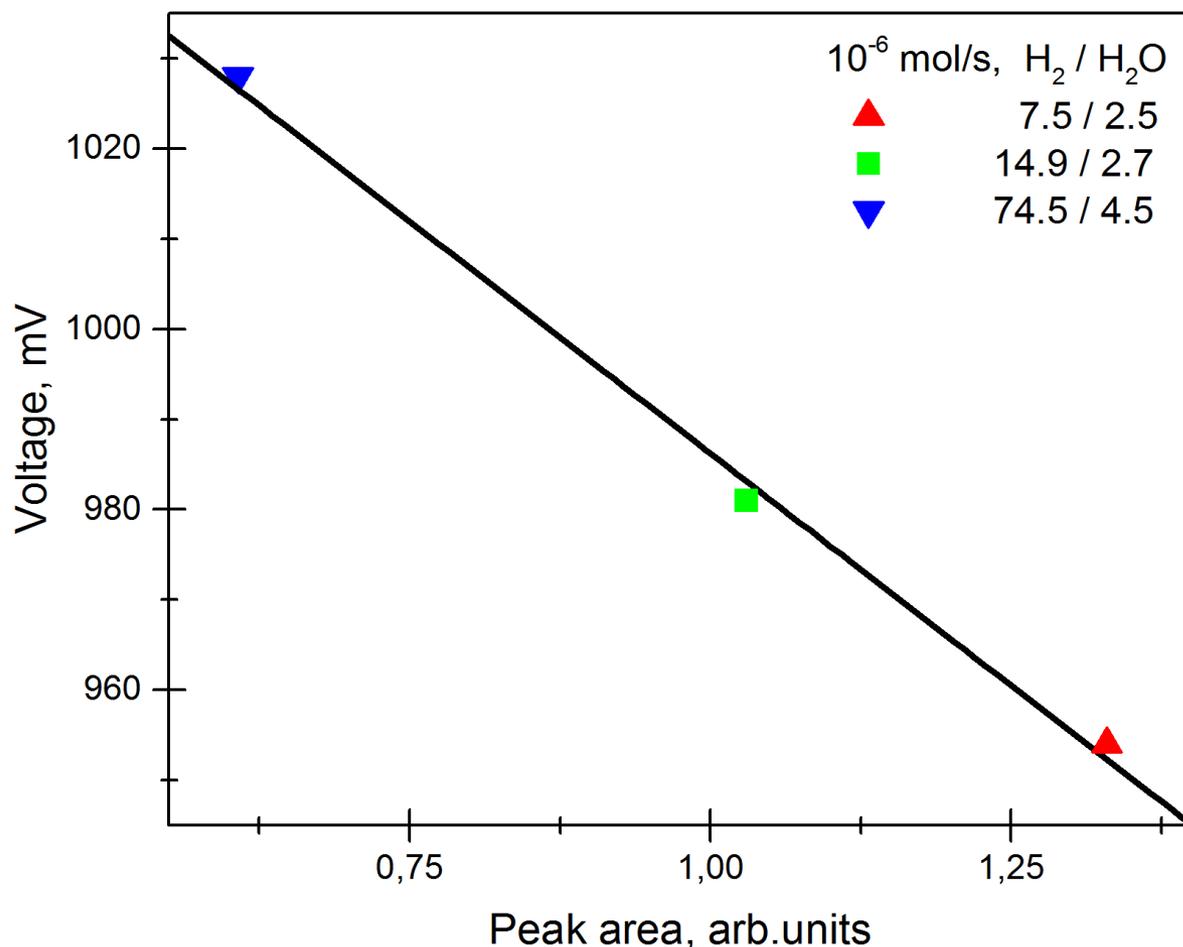
Сравнение с литературными данными



J.R.McBride, Journal of Applied Physics 76, 2435 (1994)



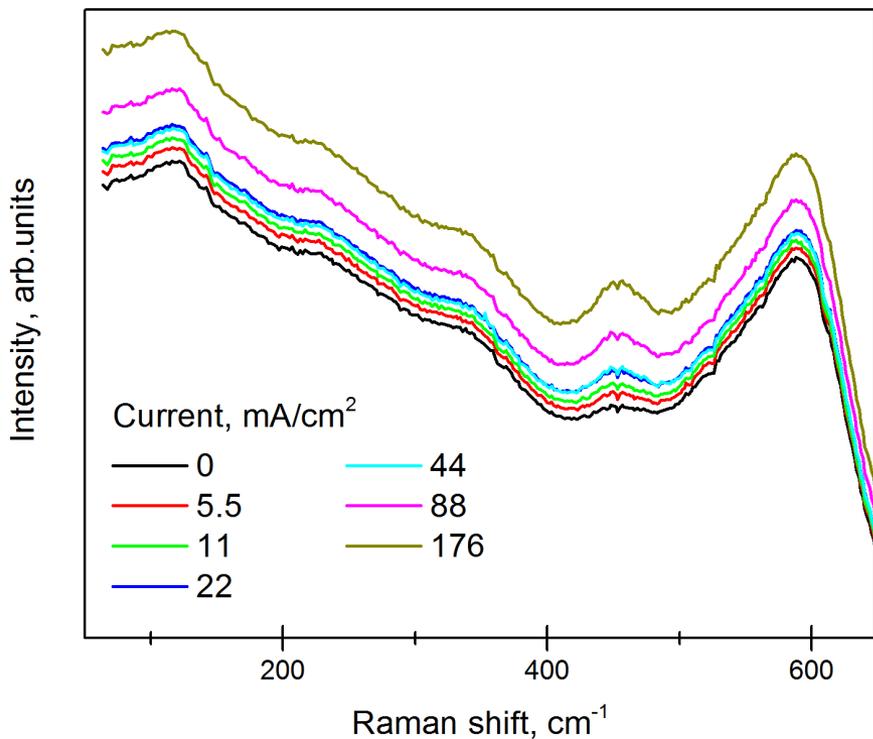
Корреляция между напряжением открытой цепи и площадью пика GDC



Была найдена линейная корреляция между напряжением открытой цепи на модельной ячейке и площадью пика GDC

Влияние токовой нагрузки

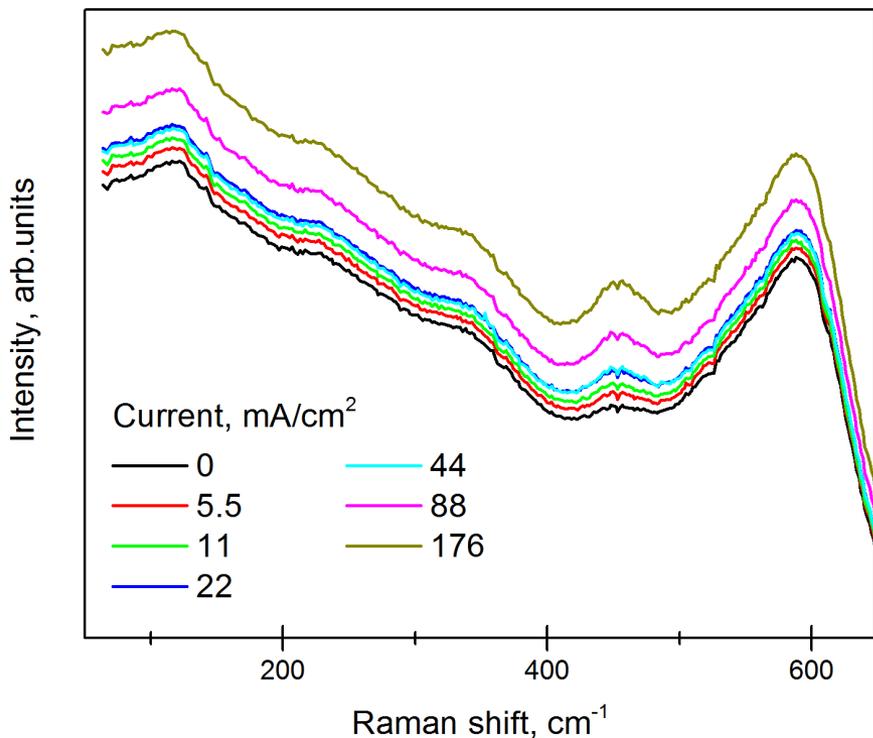
flow(H₂)=14.9 · 10⁻⁶ mol/s, flow(H₂O)=2.7 · 10⁻⁶ mol/s



Были получены спектры для различных значений токовой нагрузки для всех составов топливной смеси

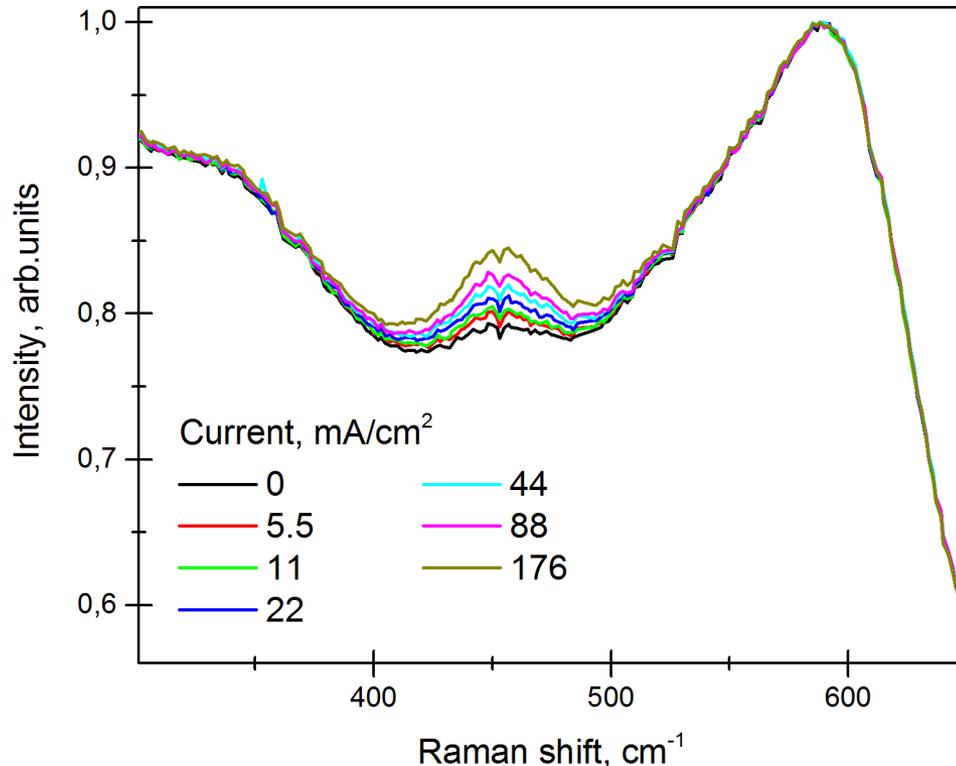
Влияние токовой нагрузки

flow(H₂)=14.9 10⁻⁶ mol/s, flow(H₂O)=2.7 10⁻⁶ mol/s



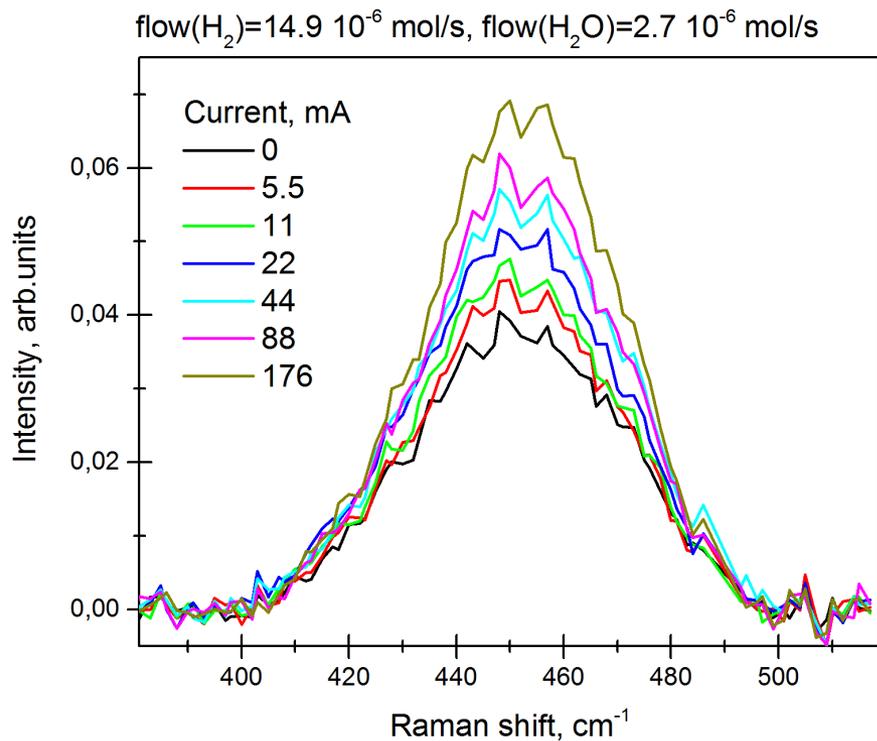
Были получены спектры для различных значений токовой нагрузки для всех составов топливной смеси

flow(H₂)=14.9 10⁻⁶ mol/s, flow(H₂O)=2.7 10⁻⁶ mol/s



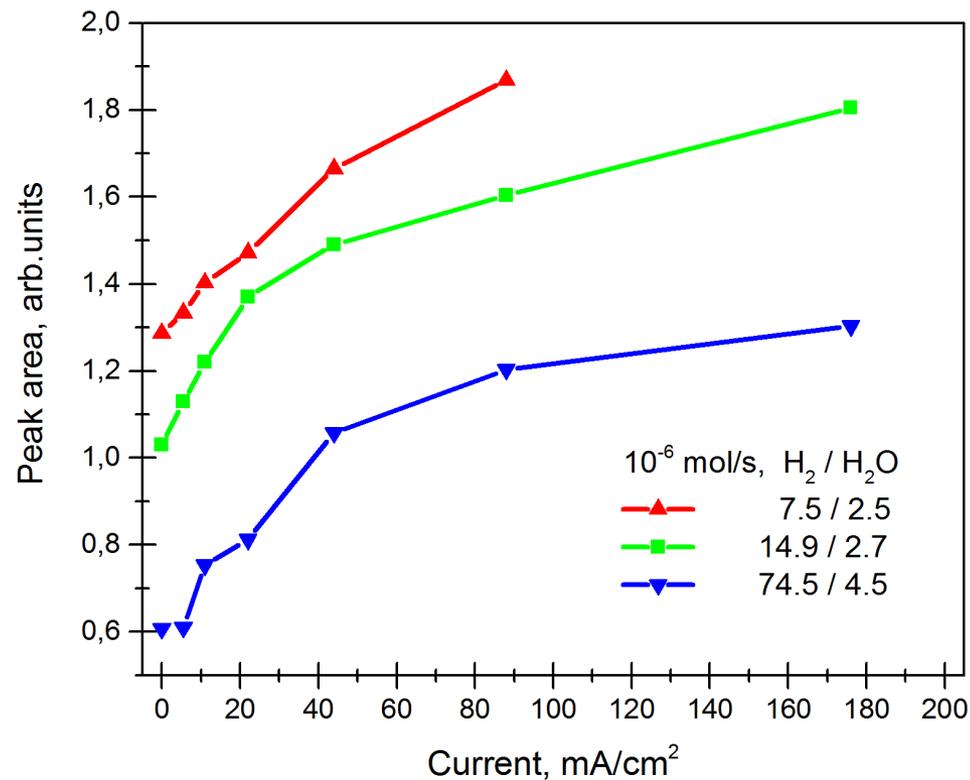
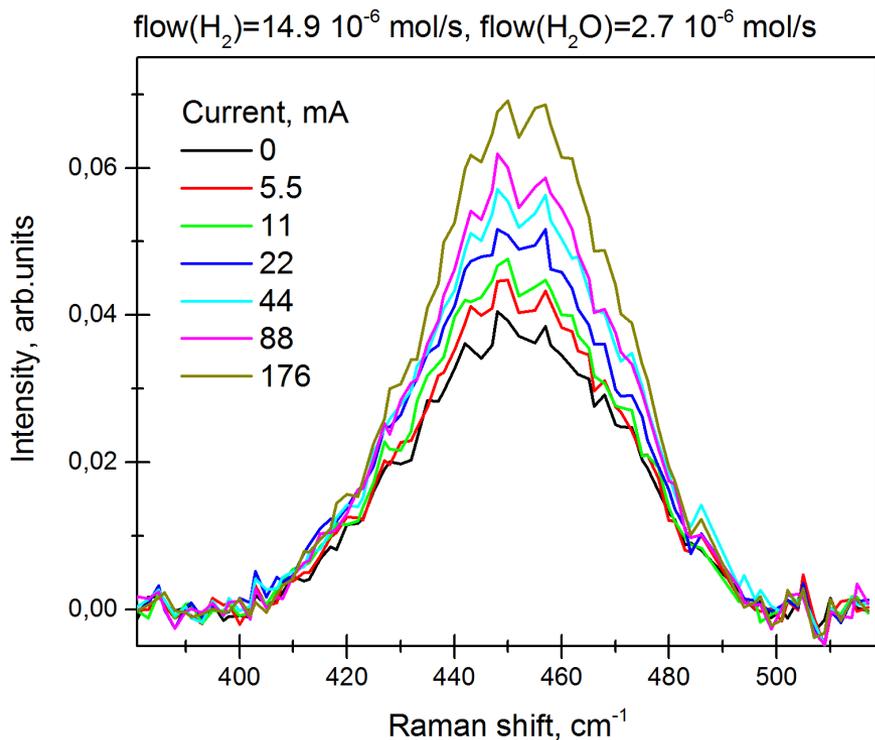
Спектры были отнормированы в соответствии с предыдущей процедурой

Влияние токовой нагрузки



Характеристический пик был выделен в соответствии с предыдущей процедурой

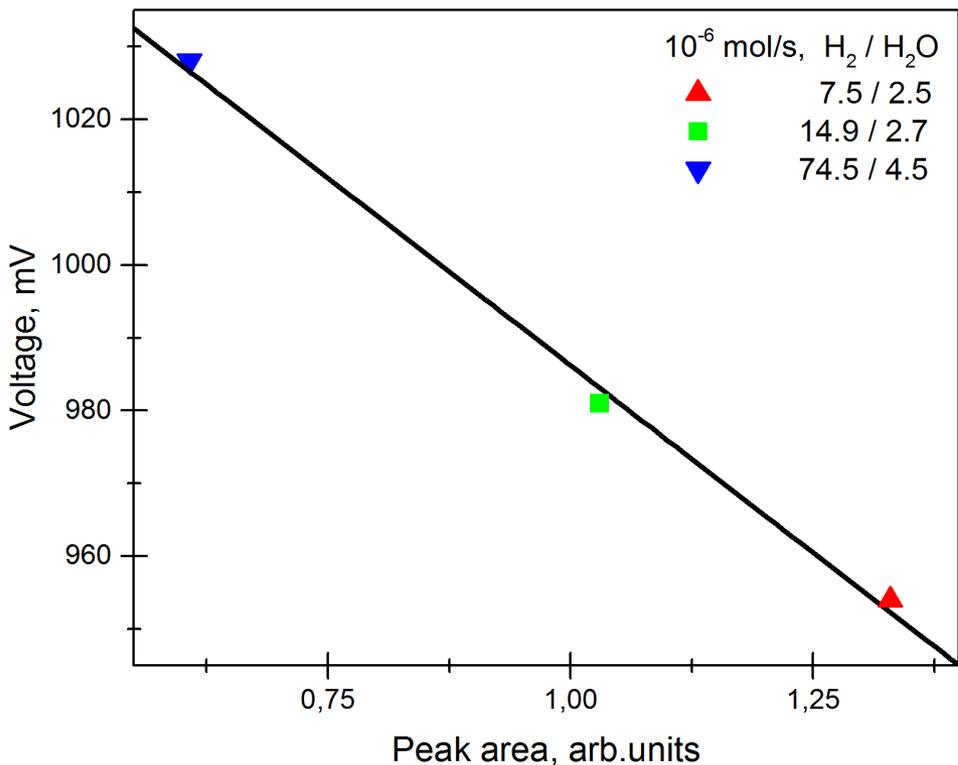
Влияние токовой нагрузки



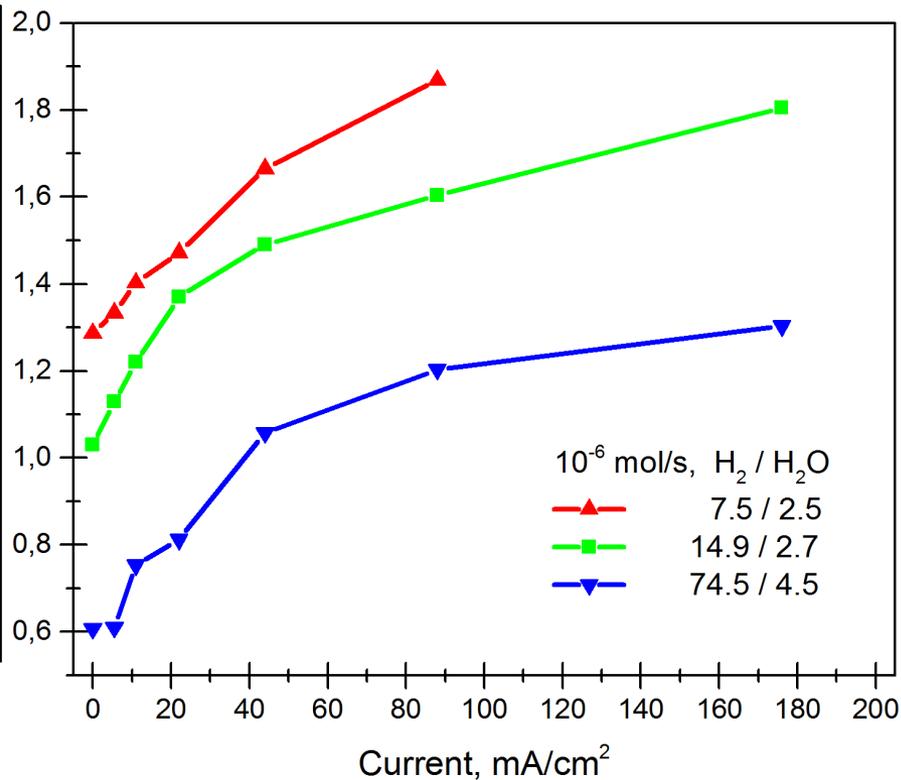
Характеристический пик был выделен в соответствии с предыдущей процедурой

Зависимость площади пика от плотности тока для различных составов топливной смеси

Влияние токовой нагрузки

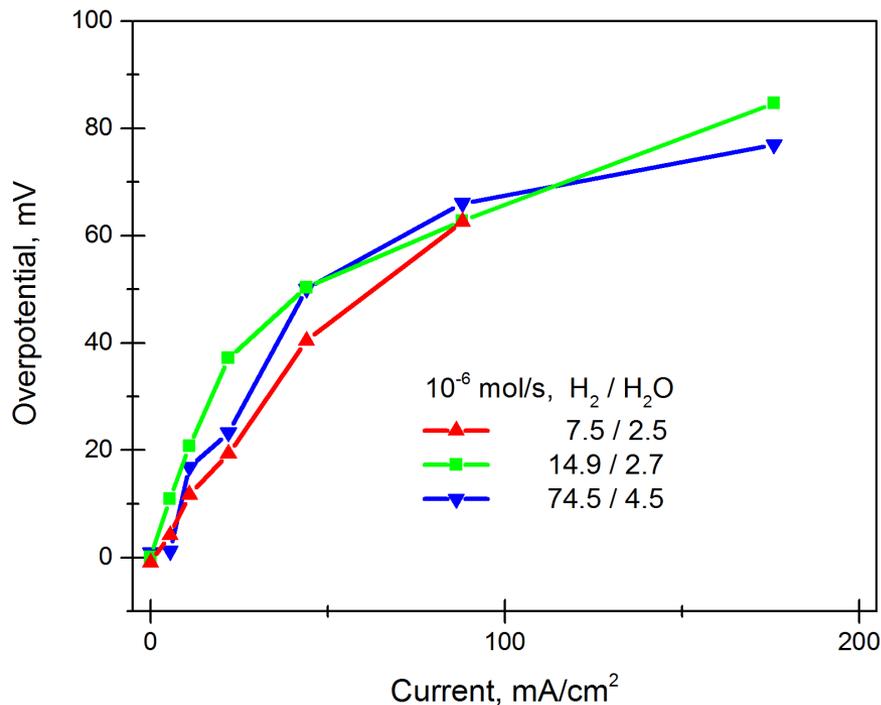


Линейная зависимость площади пика от напряжения открытой цепи была использована для калибровки

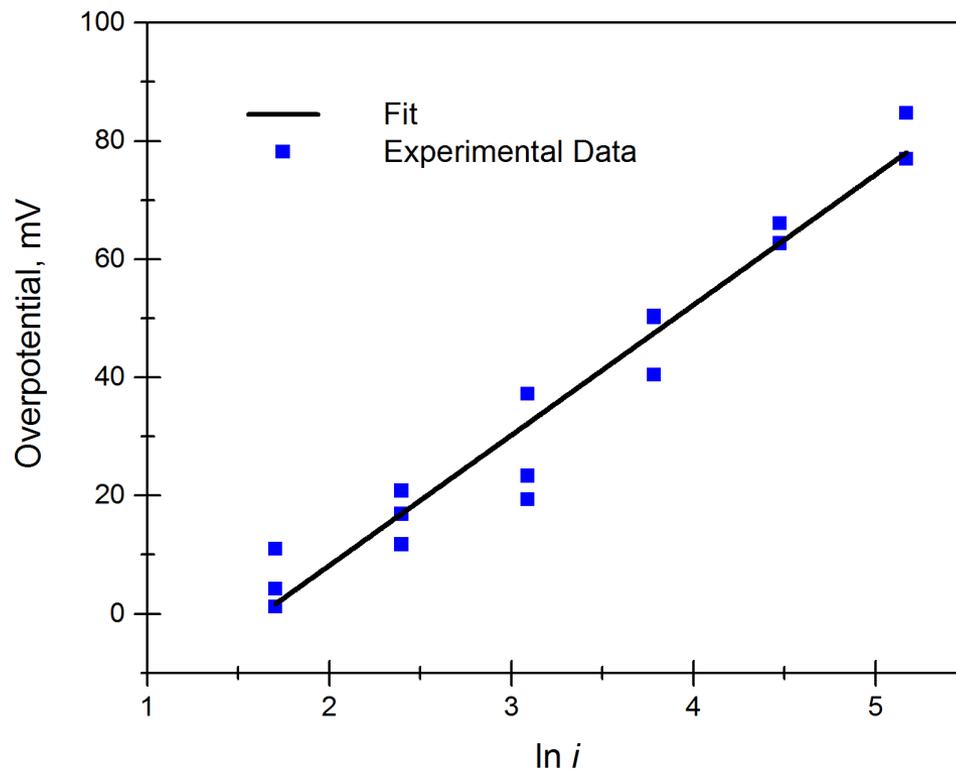


Зависимость площади пика от плотности тока для различных составов топливной смеси

Влияние токовой нагрузки



Площадь пика для ненулевых значений токовой нагрузки была пересчитана в перенапряжение с использованием зависимости напряжения от площади пика



В изученном диапазоне токов и концентраций водорода поведение перенапряжения на границе GDC/YSZ описывается уравнением Тафеля

Выводы

- Были разработаны геометрия модельных образцов и новая комбинированная *in-situ* методика, позволяющие проводить одновременные электрохимические и оптические исследования внутреннего интерфейса «анод | электролит».
- Площадь рамановского пика GDC, чувствительного к химическому потенциалу кислорода, демонстрирует сильную зависимость от состава топливной смеси и токовой нагрузки.
- Зависимость площади пика от напряжения открытой цепи позволяет изучать зависимость перенапряжения на анодном электроде и нестехиометрии кислорода в GDC на интерфейсе «анод | электролит».
- Вычисленное перенапряжение на аноде не зависит от состава топливной газовой смеси, а также может быть линеаризовано в координатах η ($\log i$) для всех составов атмосферы, в результате может быть связано с реакцией на трехфазной границе.

Спасибо за внимание!

Q & A