

# Диагностика процессов в плазменных реакторах для микроэлектроники

Лопаев Д.В., Богданова М.А., Шибанов Д.Р., Готов А.В., Скурихин А.В.,  
Кожин В.А., Минаков П.В.

Лаборатория физики плазмы и физических основ микро-технологии, ОМЭ

# Задачи

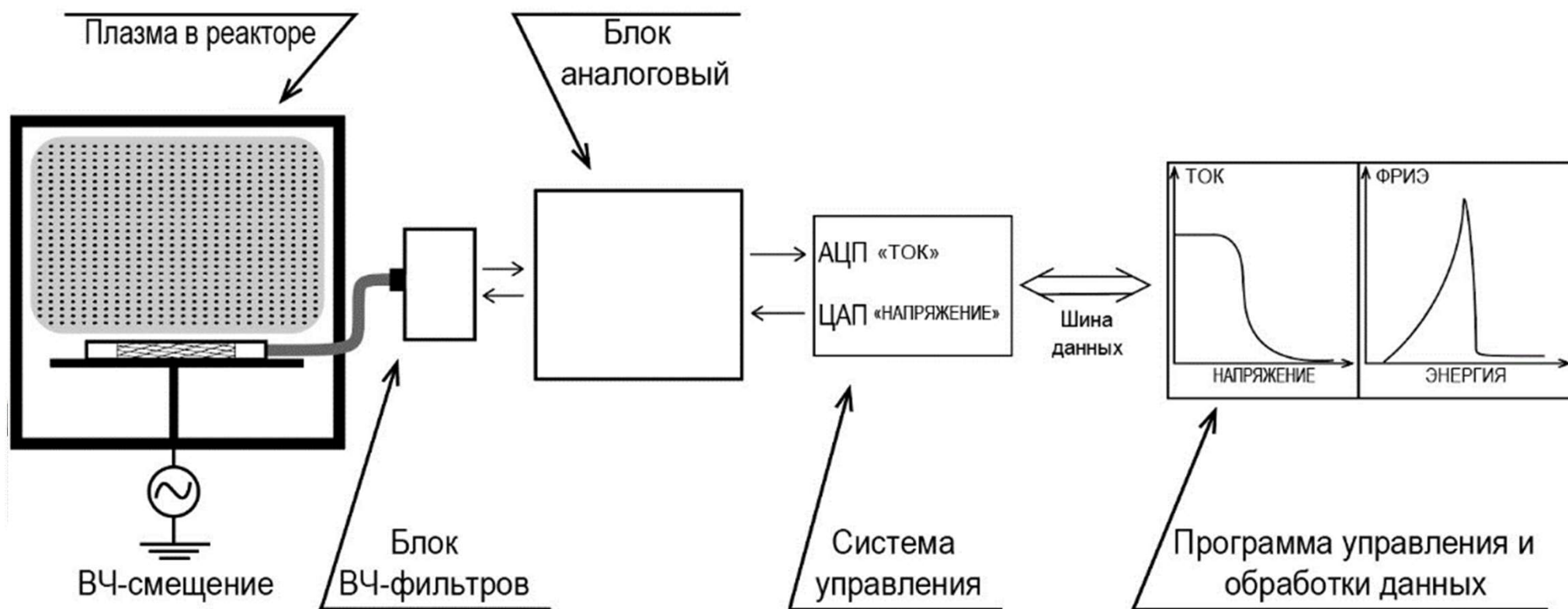
- Определение и устранение конструкционных недостатков разрабатываемых реакторов для обеспечения однородности плазменных условий на всей поверхности обрабатываемой подложки (диаметром до 300 мм).
- Оптимизация плазменных условий при разработке новых плазмо-химических процессов для достижения наибольшей скорости и в тоже время однородности процесса по всей пластине.
- Контроль повторяемости условий в реакторе в ходе плазмо-химического процесса обработки для минимизации брака.

# Цели проекта

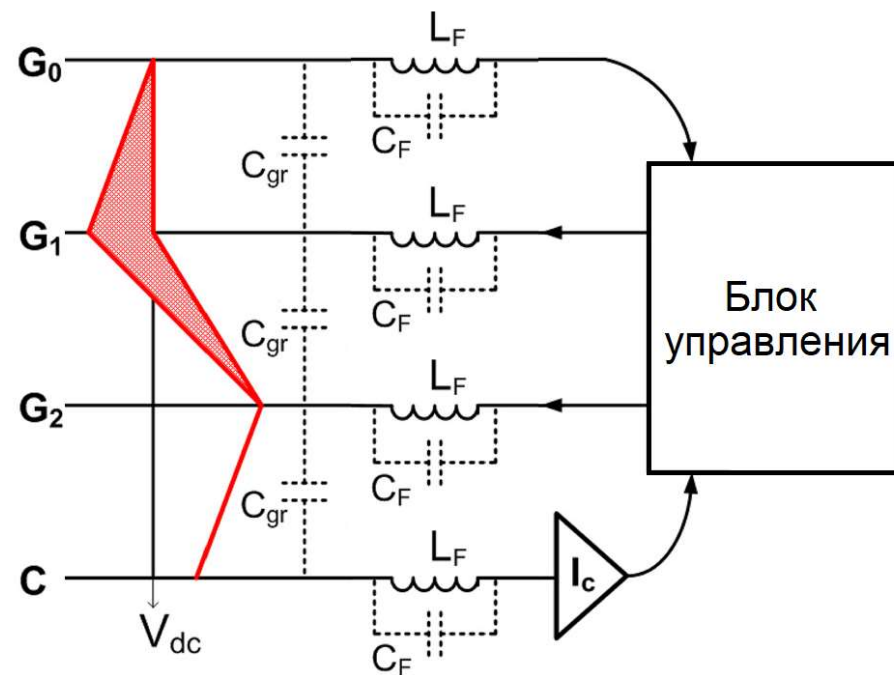
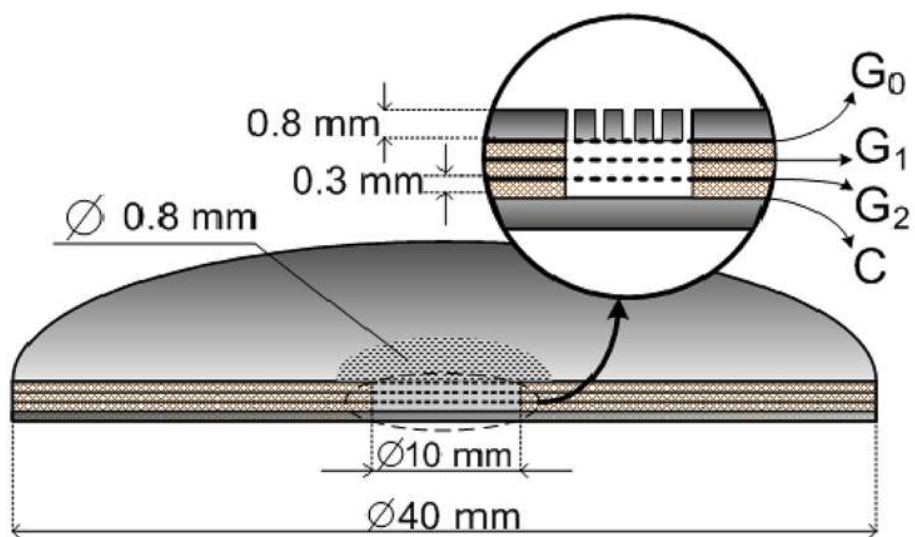
Разработка и создание:

- Сегментной многоканальной системы анализа потока и спектра энергии ионов на пластине до 300 мм.
- Оптической системы оценки однородности плазмы над пластиной до 300 мм на основе пространственно-разрешенной эмиссионной спектроскопии.
- Сегментный многоканальный датчик распределения ВЧ напряжения и тока на пластине 300 мм.
- Системы «виртуального датчика» спектра и потока ионов.

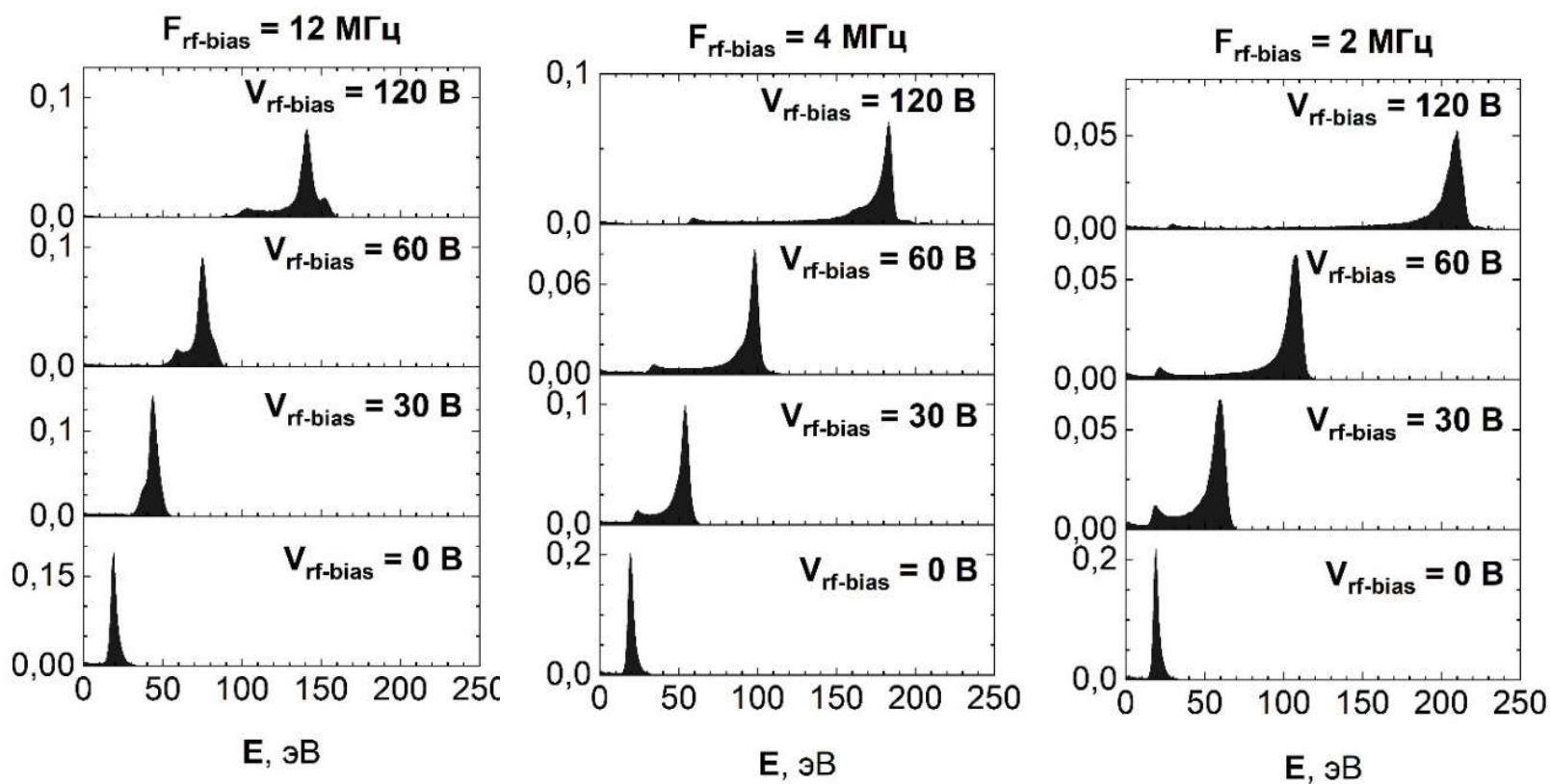
# Модуль сегментного многоканального системы анализа спектра энергии ионов



# Модуль сегментного многоканального системы анализа спектра энергии ионов



# Измерения энергетических спектров ионов в Ar-плазме

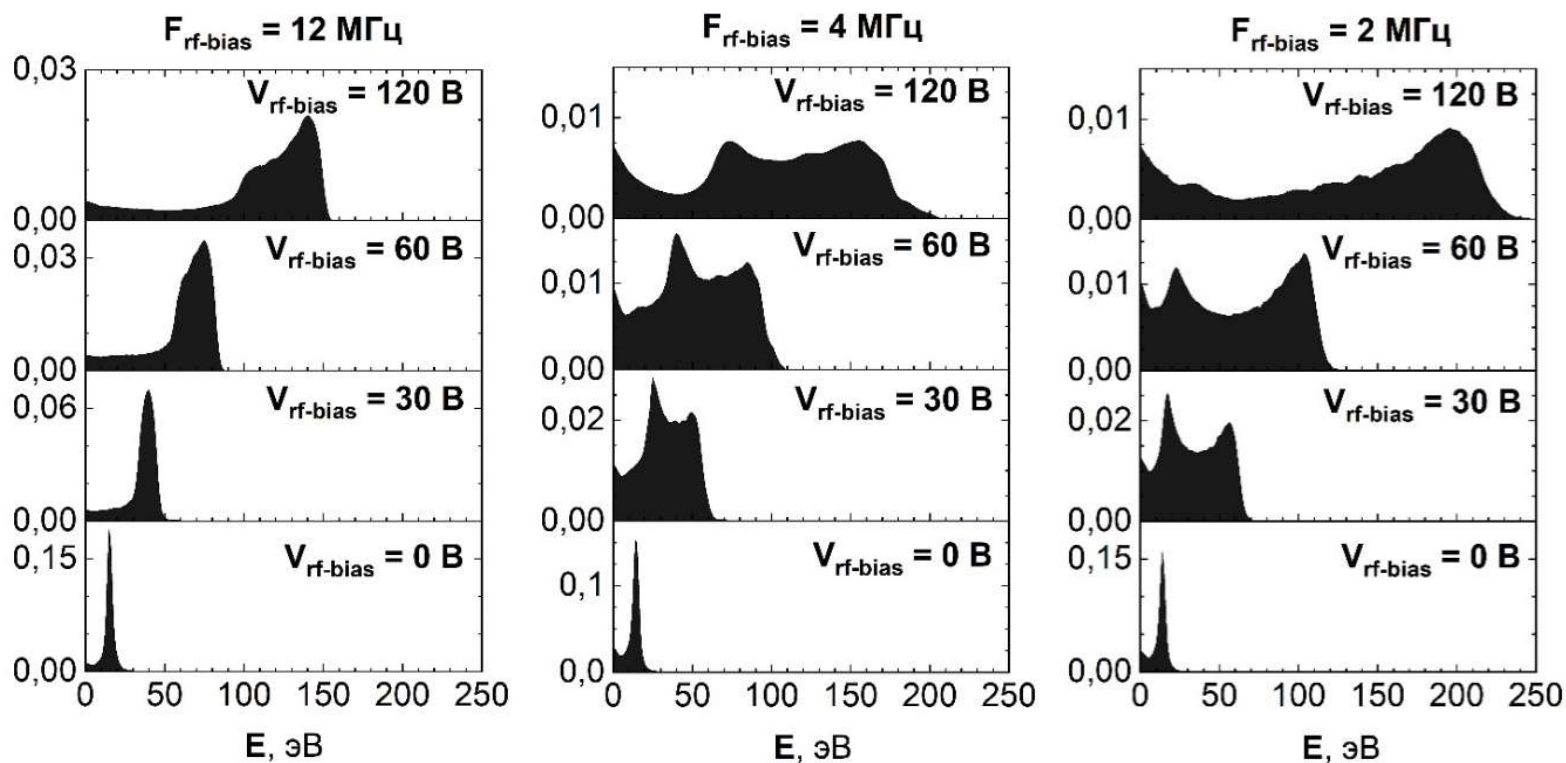


Асимметричный двухчастотный ВЧ ёмкостный разряд (81 МГц)

ВЧ-смещения: частоты ( $F_{\text{rf-bias}}$ ) – 12; 4; 2 МГц (слева направо) и амплитуды напряжения  $V_{\text{rf-bias}}$  – 0; 30; 60; 120 В (снизу вверх).

**Давление Ar: 20 мТорр,**  
плотность плазмы:  $2 \cdot 10^{10}$  см<sup>-3</sup>

# Измерения энергетических спектров ионов в Ar-плазме

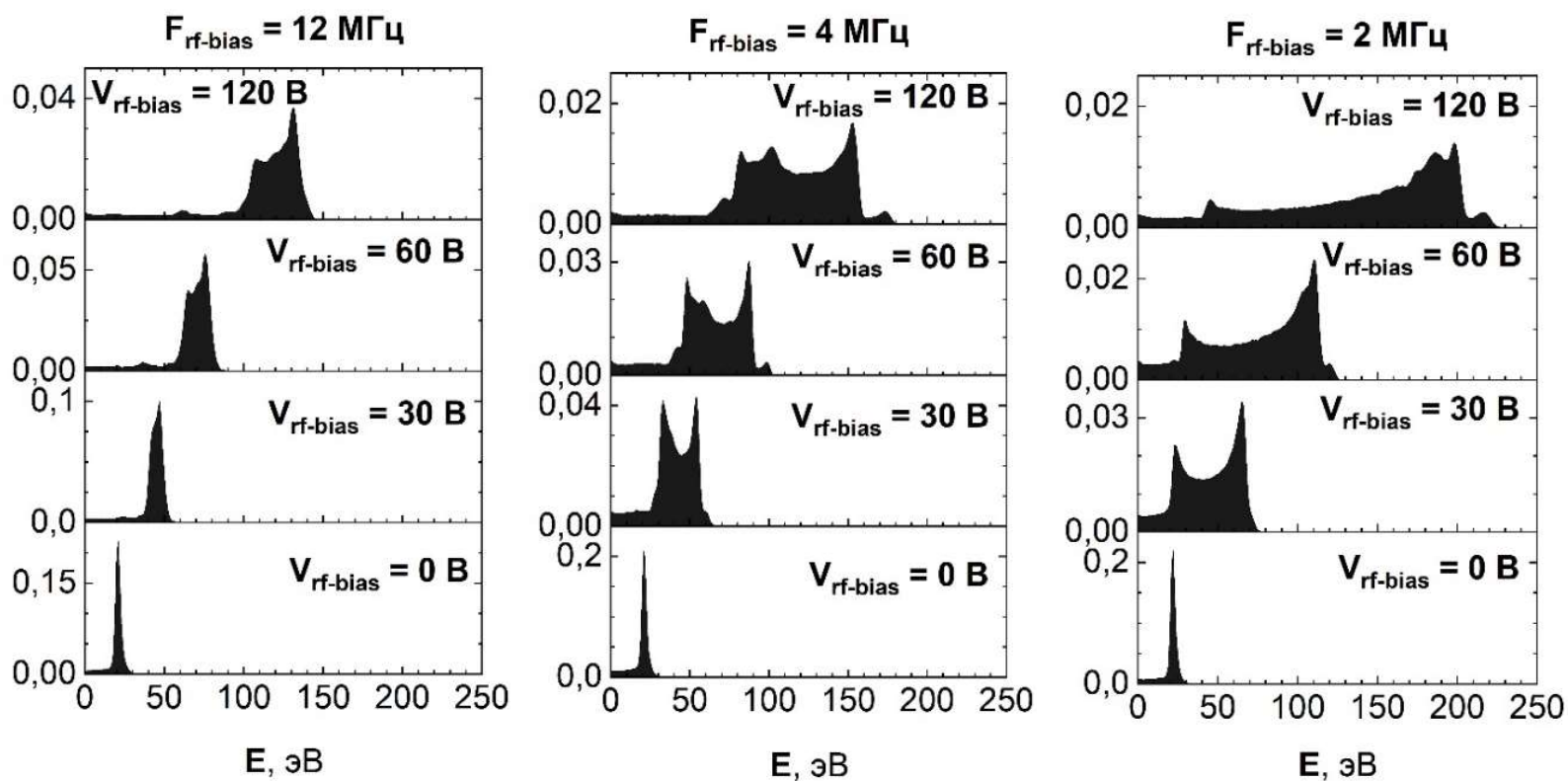


Асимметричный двухчастотный ВЧ ёмкостный разряд (81 МГц)

ВЧ-смещения: частоты ( $F_{\text{rf-bias}}$ ) – 12; 4; 2 МГц (слева направо) и амплитуды напряжения  $V_{\text{rf-bias}}$  – 0; 30; 60; 120 В (снизу вверх).

Давление Ar: 100 мТорр,  
плотность плазмы:  $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$

# Измерения энергетических спектров ионов в $N_2$ -плазме



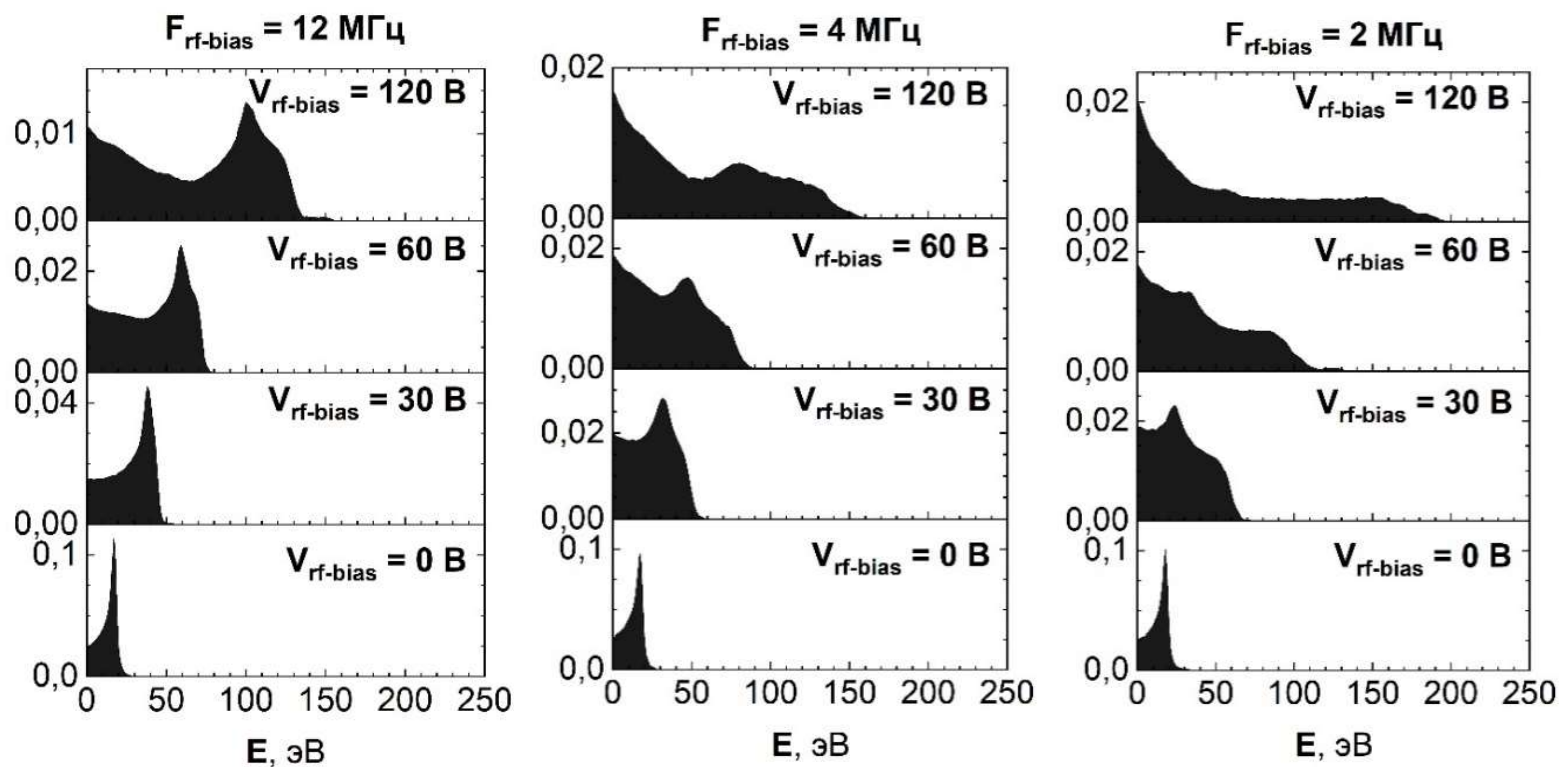
Асимметричный двухчастотный  
ВЧ ёмкостный разряд (81 МГц)

ВЧ-смещения: частоты ( $F_{rf-bias}$ ) –  
12; 4; 2 МГц (слева направо) и  
амплитуды напряжения  $V_{rf-bias}$  –  
0; 30; 60; 120 В (снизу вверх).

**Давление  $N_2$ : 20 мТорр,**  
плотность плазмы:  $3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$



# Измерения энергетических спектров ионов в $N_2$ -плазме

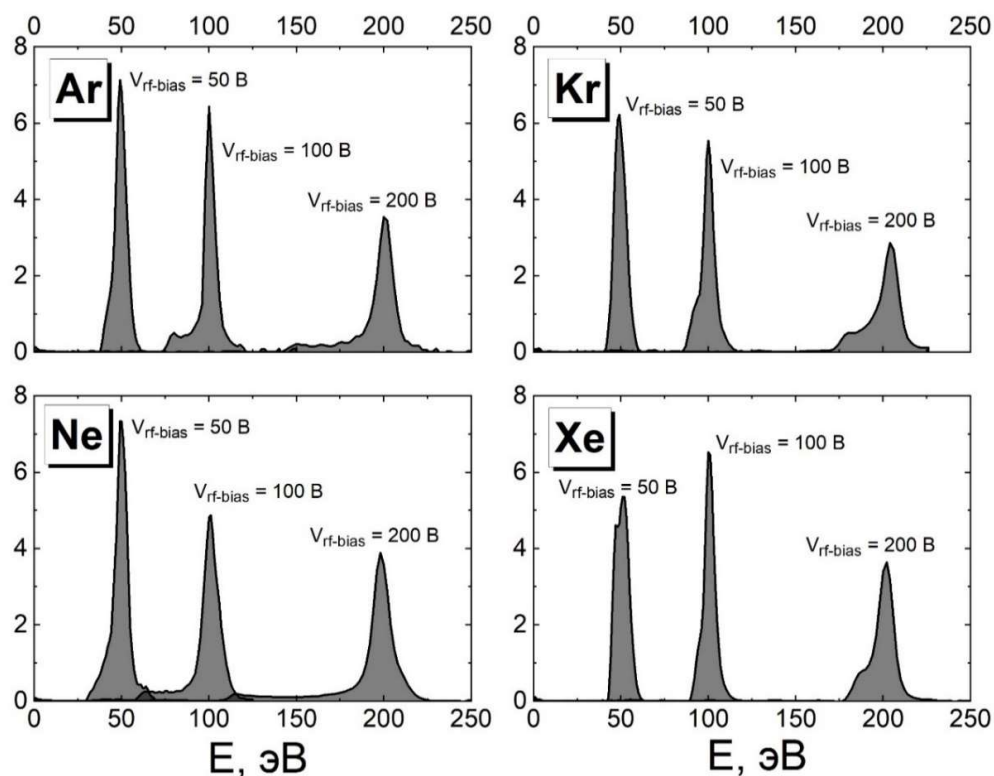


Асимметричный двухчастотный ВЧ ёмкостный разряд (81 МГц)

ВЧ-смещения: частоты ( $F_{rf-bias}$ ) – 12; 4; 2 МГц (слева направо) и амплитуды напряжения  $V_{rf-bias}$  – 0; 30; 60; 120 В (снизу вверх).

Давление  $N_2$ : 100 мТорр,  
плотность плазмы:  $3 \cdot 10^9$  см<sup>-3</sup>

# Измерения энергетических спектров ионов в плазме различных благородных газов

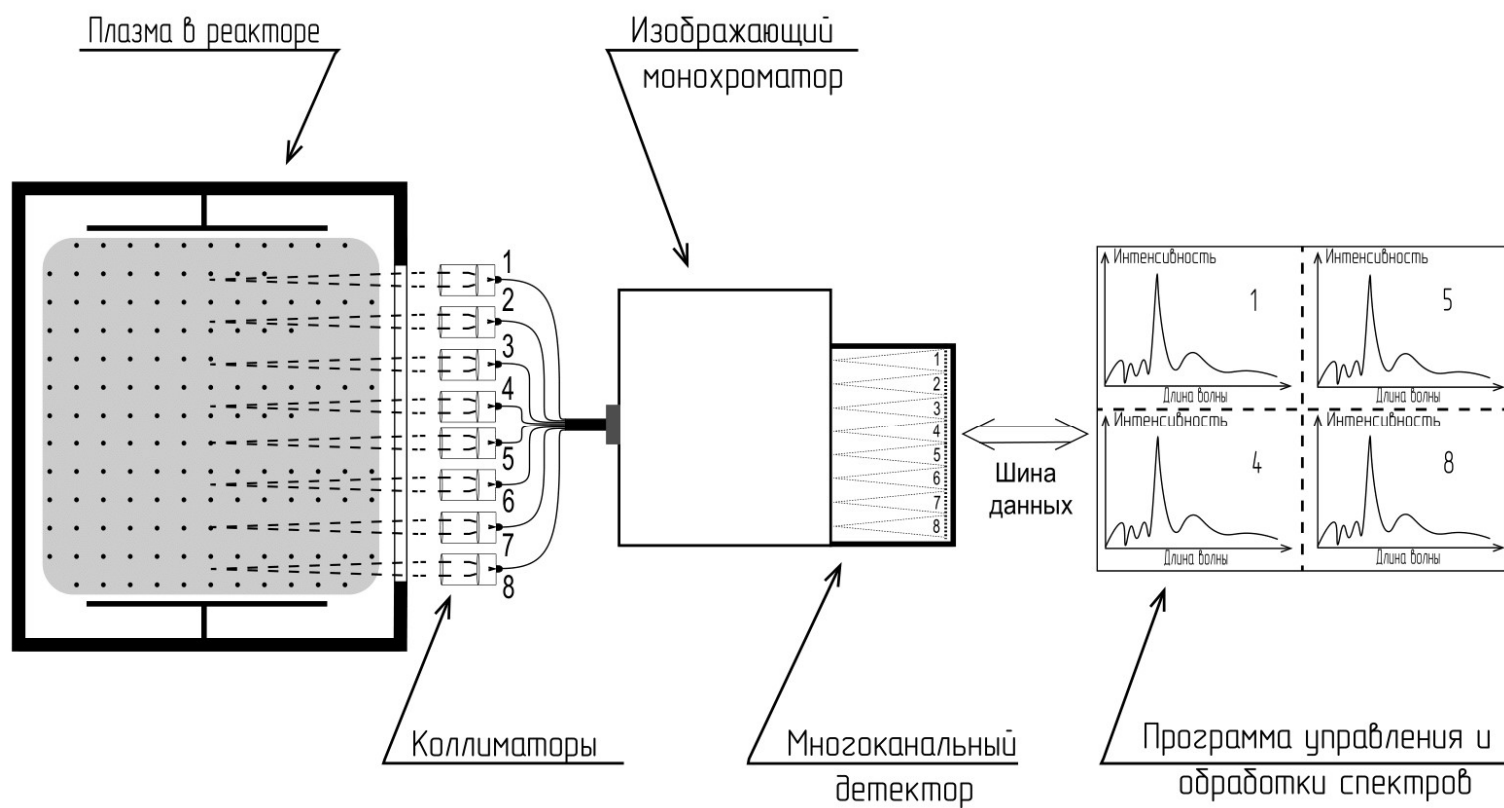


Асимметричный двухчастотный ВЧ  
индукционный разряд (13,56 МГц)

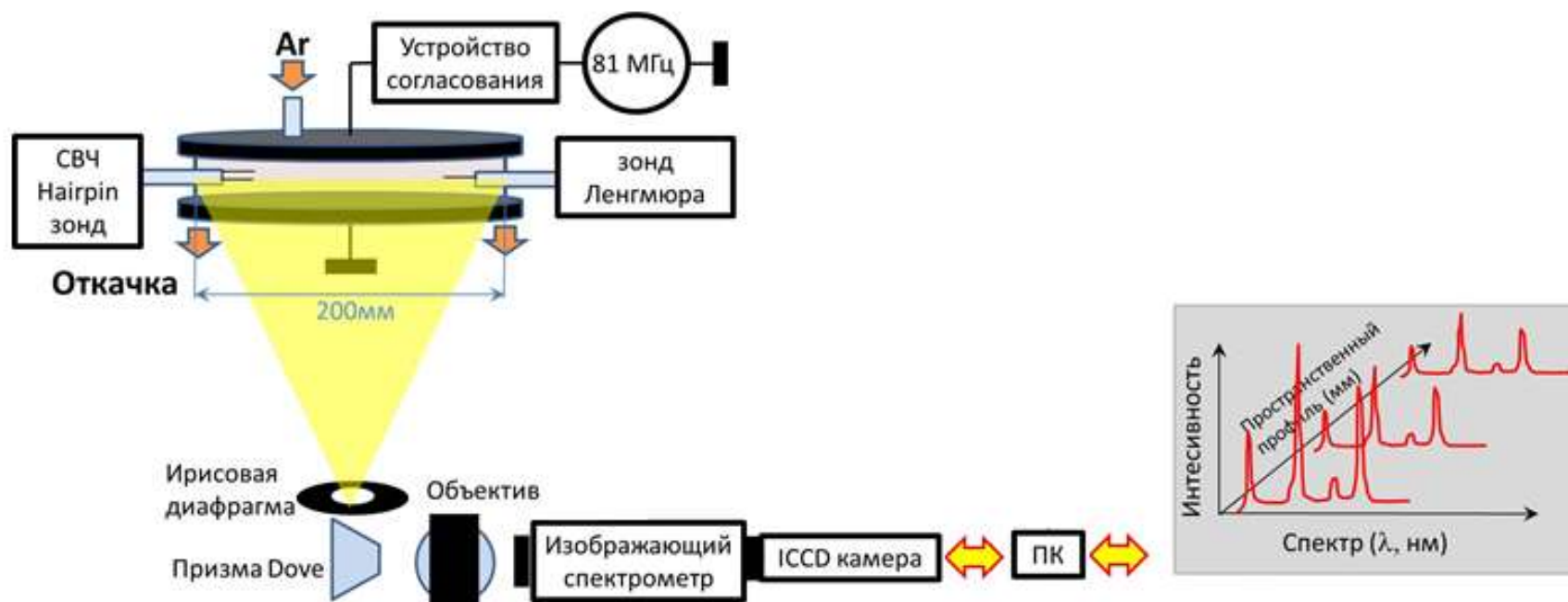
ВЧ-смещения: частота ( $F_{rf-bias}$ ) – 12 МГц и  
амплитуды напряжения  $V_{rf-bias}$  – 50; 100; 200 В

**Давление Ar и Kr: 10 мТорр; Ne: 20 мТорр;  
Xe: 5 мТорр, плотность плазмы:  $1,7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$**

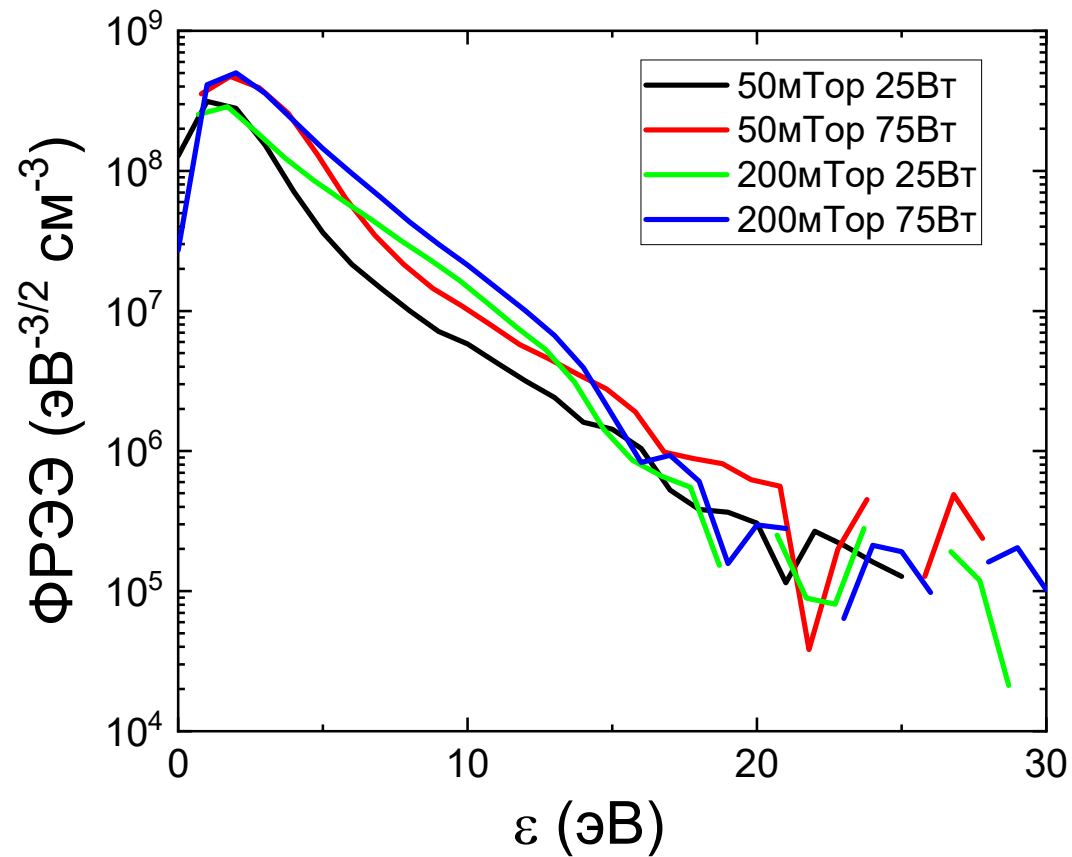
# Прототип оптической системы для оценки однородности плазмы



# Прототип оптической системы для оценки однородности плазмы

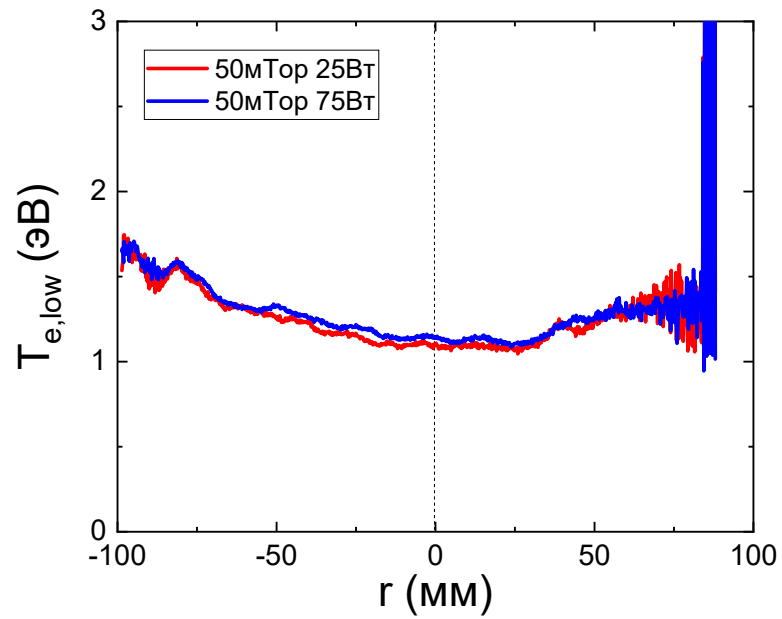
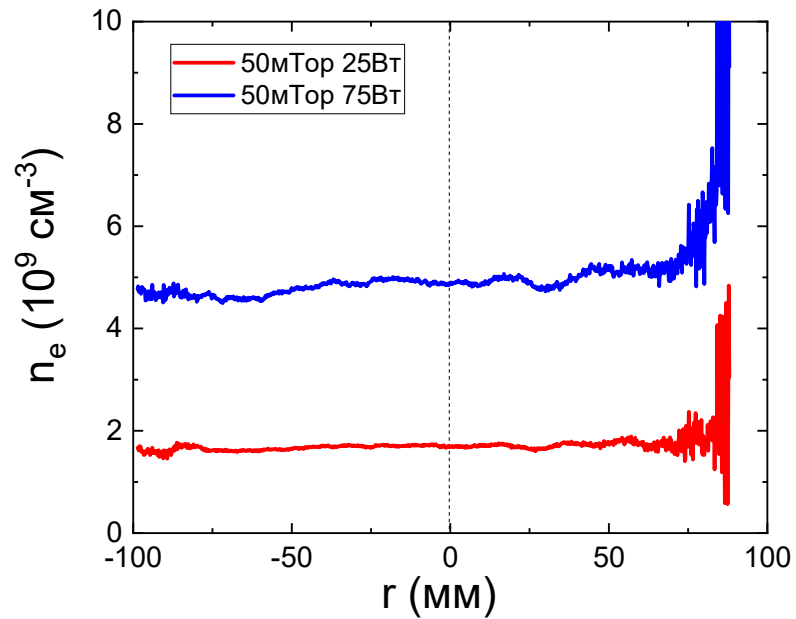


# Оценка однородности плотности плазмы



$\Phi_{PЭЭ}$ , измеренные зондом Ленгмюра в 81 МГц ССР разряде в Ar для 50 и 200 мТорр и ВЧ мощности 25 и 75 Вт

# Оценка однородности плотности плазмы

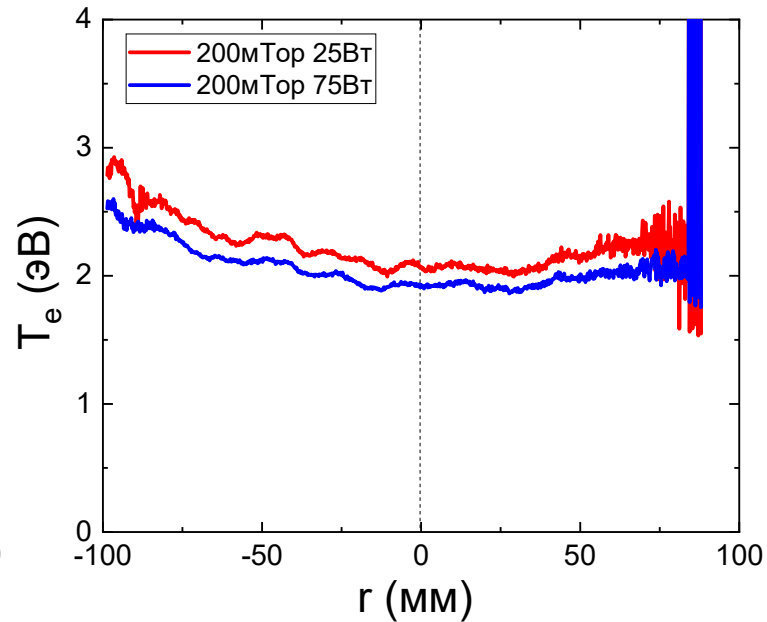
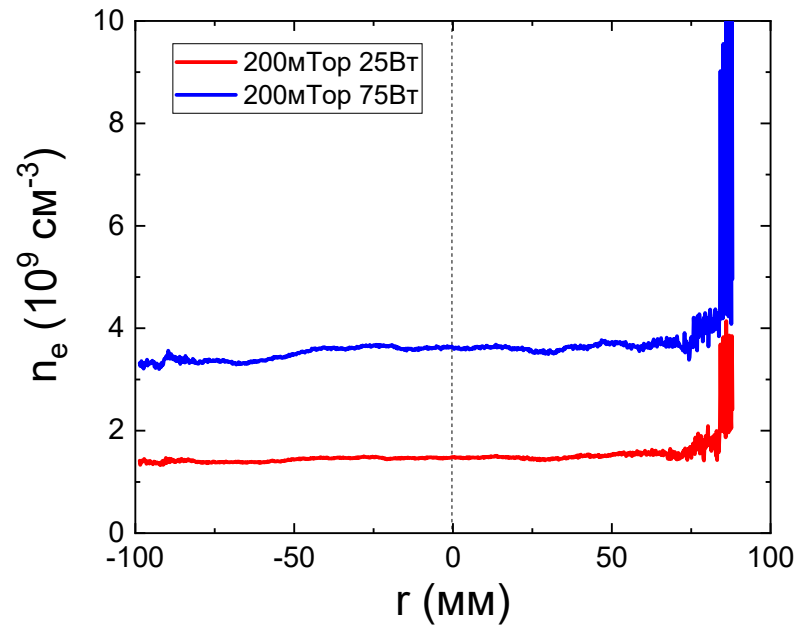


Симметричный ВЧ ёмкостный  
разряд (81 МГц)

ВЧ-мощность: 25 и 75 Вт

Давление Ar: 50 мТорр

# Оценка однородности плотности плазмы



Симметричный ВЧ ёмкостный  
разряд (81 МГц)

ВЧ-мощность: 25 и 75 Вт

Давление Ar: 200 мТорр

# Результаты

- Разработан, создан и протестирован модуль многоканального анализатора спектра энергии ионов на пластине 100 мм
- Разработана оптическая система для оценки однородности плазмы на основе метода актинометрии в пространственно-разрешённой оптической эмиссионной спектроскопии (ПРОЭС)
- Продемонстрирован и проверен принцип работы системы ПРОЭС для оценки однородности плазмы на основе метода актинометрии