

Измерение функции распределения электронов по энергиям в высокочастотной плазме методом вторых гармоник

Степанов Тимофей, 205 группа

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Лопаев Дмитрий Викторович

Московский Государственный Университет

Физический факультет

Кафедра атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники

2024



- Определение функции распределения электронов и их температуры в плазме – важная задача в области ее промышленных применений
- Зондовый метод – наиболее распространенный метод плазменной диагностики
- Формула Дрювестейна позволяет связать вторую производную зондовой ВАХ и функцию распределения электронов, но ее получение связано с погрешностями численного дифференцирования
- С помощью *метода вторых гармоник* можно непосредственно получить величину второй производной



- 1 Ознакомиться с выбранными методами диагностики
- 2 Написать программу, позволяющую получать ФРЭ двумя методами: численного дифференцирования и вторых гармоник
- 3 Провести измерения в плазме
- 4 Проанализировать результаты, сравнить оба метода, выявить достоинства и недостатки каждого.



Описание метода

Формула Дрювестейна позволяет связать вторую производную тока по напряжению с ФРЭ:

$$i_e'' = S \frac{2\pi e^3}{m^2} f(eV) \quad (1)$$

При приложении к зонду модулирующего напряжения $a \cos \omega t$ плазма дает нелинейный отклик. Раскладывая снимаемый ток в спектр, получаем вторую производную при второй гармонике:

$$i'' = \frac{4}{a^2} i_{2\omega} \quad (2)$$

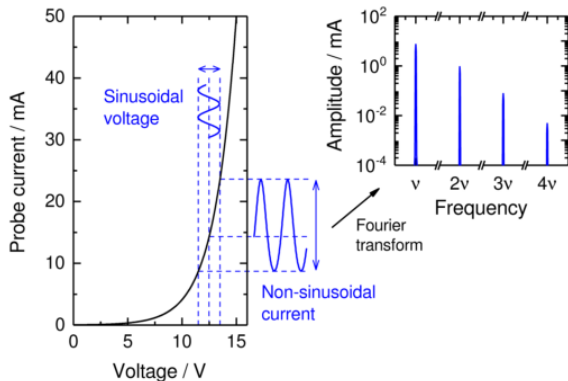


Иллюстрация метода вторых гармоник



Техническая реализация метода

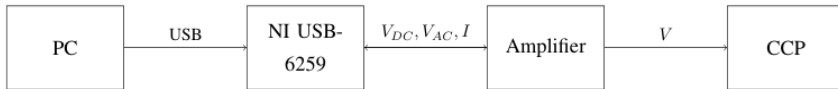


Схема эксперимента

Ход работы программы при одном измерении:

- 1 Выставить значение постоянного напряжения на канал V_{DC} и модулирующий сигнал на канал V_{AC}
- 2 Снять указанное количество точек значений зондового тока
- 3 Разложить сигнал в спектр с помощью быстрого преобразования Фурье, записать амплитуды нулевой и второй гармоник

На выходе получается два графика второй производной: численным дифференцированием и непосредственно из второй гармоники, по которым вычисляется ФРЭ.



Анализ результатов

Параметры разряда

газ аргон, частота 80 МГц,
мощность 50 Вт, давление 50
мторр

Параметры измерений

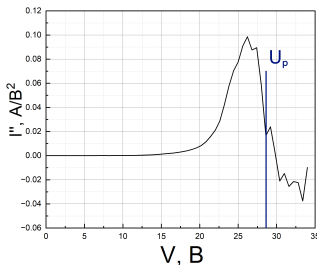
диапазон напряжений от -25 до
35 В, частота модуляции 10 кГц,
частота сэмплирования 200 кГц,
количество точек 8196

Справа: вид второй производной
и ФРЭ.

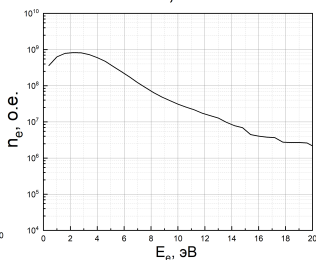
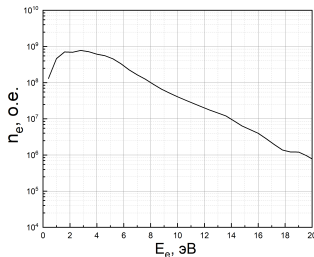
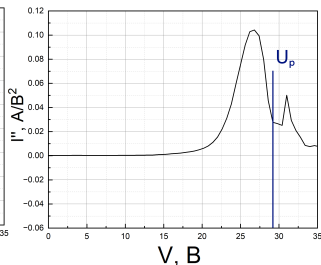
$U_{\text{step}} = 0.6 \text{ В}$, $U_{\text{mod}} = 0.9 \text{ В}$

$T_e = 2.2 \text{ эВ}$, $n = 1.03 \times 10^{10} \text{ см}^{-3}$

Differentiation



Harmonics



Заключение

В ходе работы:

- ① Написана программа для проведения измерений
- ② Проведен ряд тестовых запусков в плазме для определения хода измерений и их параметров
- ③ Проведено и записано 12 измерений
- ④ Проанализированы измерения, дано сравнение обоих методов



Заключение

В ходе работы:

- 1 Написана программа для проведения измерений
- 2 Проведен ряд тестовых запусков в плазме для определения хода измерений и их параметров
- 3 Проведено и записано 12 измерений
- 4 Проанализированы измерения, дано сравнение обоих методов

По результатам измерения были сделаны выводы:

- Метод вторых гармоник дает надежную ФРЭ и параметры плазмы при амплитуде модуляции большей шага напряжений
- Метод вторых гармоник дает лучшее разрешение в области низких энергий, жертвуя высокими



Заключение

В ходе работы:

- 1 Написана программа для проведения измерений
- 2 Проведен ряд тестовых запусков в плазме для определения хода измерений и их параметров
- 3 Проведено и записано 12 измерений
- 4 Проанализированы измерения, дано сравнение обоих методов

По результатам измерения были сделаны выводы:

- Метод вторых гармоник дает надежную ФРЭ и параметры плазмы при амплитуде модуляции большей шага напряжений
- Метод вторых гармоник дает лучшее разрешение в области низких энергий, жертвуя высокими

Дальнейшая работа может вестись:

- В области исследования и реализации других высокочастотных методов (демодуляции, биений, прямоугольных сигналов)



Спасибо за внимание

