Общероссийский математический портал

А. А. Гилев, А. М. Гурьянов, В. И. Зынь, А. В. Манько, А. В. Пашин, В. Б. Опарин, Автоматизированный измерительный комплекс для диагностики химически активной плазмы, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2000, выпуск 9, 143–146

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu39>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.93.64.190

26 апреля 2023 г., 16:13:01

Химическая физика

УДК 537.52

А.А. Гилев, А.М. Гурьянов, В.И. Зынь, А.В. Манько, А.В. Пашин, В.Б. Опарин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ПЛАЗМЫ

Описан автоматизированный измерительный комплекс, позволяющий проводить измерения в химически активной плазме. Приведены результаты тестовых исследований плазмы протяженного отрицательного свечения, полученной в многоэлектродном разрядном устройстве.

В химически активной плазме, в объеме и на твердых поверхностях, протекают необратимые процессы, которые приводят к образованию ненужных, мешающих чистоте эксперимента веществ, изменяют концентрации исследуемых компонентов и искажают характеристики разряда. Эти изменения происходят в процессе измерений характеристик разряда, в частности, при помощи зондов. Для получения достоверных экспериментальных данных необходимо проводить измерения в стационарных условиях, поэтому после каждого опыта следует менять рабочий газ и очищать объект, а сами измерения производить как можно быстрее. Практически время измерений не должно превышать 0,1 с. В данной работе описана установка для получения и комплексного исследования плазмы протяженного отрицательного тлеющего свечения, которая формируется цилиндрической электродной системой с чередующимися анодами и катодами.

Для быстрой диагностики разрядной плазмы низкого давления был создан измерительный комплекс (ИК) (рис. 1) на базе аналого-цифрового преобразователя (АЦП L264 фирмы L-CARD), управляемого персональным компьютером. ИК позволяет работать как с отпаянными объектами, так и с объектами, подсоединенными к вакуумному посту. ИК дает возможность быстро создать цифровые файлы с данными о спектре излучения и зависимости интенсивности отдельных спектральных линий от силы анодного тока, ВАХ разрядного промежутка и зондовой характеристике.

Р и с 1. Блок – схема измерительного комплекса:

1 – объект; 2 – модулятор; 3 – монохроматор МСД-III; 4 – ФЭУ; 5 – усилитель постоянного тока У 5-9; 6 – синхронный детектор; 7 – зондовая цепь, содержащая блок развертки; 8 – схема измерения ВАХ зонда; 9 – схема регистрации амплитуды второй гармоники зондового тока; 10 – АЦП L-256

Установка состоит из нескольких частей:

1. Схема питания обеспечивает работу измерительной аппаратуры, а также позволяет менять ток и напряжение, подаваемые на разрядное устройство.
2. Вакуумный пост стандартной конструкции. В системе откачки используются форвакуумный и масляный диффузионный насосы. Контрольно-измерительная аппаратура состоит из ионизационно-термопарного вакуумметра ВИТ-2 и U-образного масляного

манометра. Для удаления адсорбированных молекул газа предусмотрен прогрев объекта до 400 °С. Данная конструкция вакуумного поста позволяет откачивать газ из объекта до давления 10^{-6} Тор и заполнять его рабочим газом. Вакуумный пост имеет устройство для напуска и прокачки рабочего газа. Система может работать как в проточном, так и в автономном режиме.

3. Схема спектральных измерений. За основу взят монохроматор МСД-III со сменными дифракционными решетками по 1200 и 2400 штрихов на миллиметр и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Предусмотрено автоматическое сканирование спектра излучения с подачей сигналов с ФЭУ и с углового датчика на вход АЦП. Для исследования линий слабой интенсивности установлен синхронный детектор, позволяющий выделить на фоне шума полезный сигнал. Предусмотрена возможность сканирования протяженного источника излучения. Измерение абсолютной и относительной интенсивности спектральных линий позволяет рассчитать концентрацию возбужденных молекул газа.

4. Схема измерения зондовых характеристик. В схеме осуществляется аппаратная регистрация амплитуды второй гармоники зондового тока при его модуляции гармоническим сигналом. Измерения проводятся с помощью узкополосного усилителя и фазового детектора. Благодаря применению специальных микросхем удается увеличить динамический диапазон измерений функции распределения до 15 эВ. Подвижная конструкция зонда позволяет получать характеристики плазмы в различных частях разряда.

5. Аналого - цифровой преобразователь (АЦП). На вход АЦП при помощи коммутатора может быть подан один из 16 или 32 аналоговых сигнала с внешнего разъёма платы. Параметры АЦП приведены в таблице.

Характеристики АЦП L-256

Количество каналов	16 дифференциальных 32 с общей землёй
Разрядность	12 бит
Время преобразования	1.7 мкс
Входное сопротивление	≥ 1 Мом
Диапазон входного сигнала	$\pm 5.12\text{В}$, $\pm 2.56\text{В}$, $\pm 1.024\text{В}$, $\pm 0.256\text{В}$, $\pm 5.12\text{В}$, $\pm 2.56\text{В}$
Максимальная частота преобразования	200 кГц
Защита входов	При включенном питании компьютера входная защита выдерживает $\pm 20\text{В}$ При выключенном питании входная защита выдерживает $\pm 10\text{В}$
Интегральная нелинейность преобразования	± 0.8 МЗР, макс. ± 1.2 МЗР
Дифференциальная нелинейность преобразования	± 0.5 МЗР, макс. ± 0.75
Отсутствие пропуска кодов	гарантировано 12 бит
Время установления аналогового тракта при максимальном перепаде напряжения (временные параметры приведены для точности установления аналогового тракта до 1 МЗР)	4 мкс
Межканальное прохождение	На полосе 10 кГц меньше 0.5 МЗР На полосе 100 кГц Для остальных: 1.0 МЗР
Смещение нуля	± 0.5 МЗР, макс. 1 МЗР

Характеристики АЦП позволяют использовать его для измерения разрядного тока и анодного напряжения, для записи интенсивности линий спектра и их угловых координат.

Для сбора и обработки информации, поступающей с автоматизированного комплекса, использовались два пакета: Oscilloscop, фирмы L-Card, и MathCad Plus 7.0 Professional.

Пакет Oscilloscop, входящий в комплект поставки аналого-цифрового преобразователя, позволяет вводить данные непосредственно в бинарный файл и визуализировать их на экране дисплея, практически не ограничивая время сбора информации. Полученный файл обрабатывался программами, написанными на языке программирования пакета MathCad.

Выбор данного продукта обусловлен следующими критериями:

легкость освоения интерфейса программы и приемов работы;

возможность программирования на встроенном языке;
достаточный набор базовых операций для работы с массивами данных.

Программа обработки результатов зондовых измерений по вольт амперной характеристике зонда и второй производной зондового тока, полученным аппаратно, позволяет определять электронную температуру, потенциал плазмы, концентрацию зарядоносителей и функцию распределения электронов по энергиям в большом динамическом диапазоне до 15 эВ. При расчете функции распределения учитывается влияние на нее ионного тока. Зависимость ионного тока от напряжения зонда получена экстраполированием исходных данных степенной функцией, приведенной в работе [1]. Результаты расчета сравниваются с максвелловской и дрюйвестейновской функциями распределения при данных условиях.

Первоначальной задачей спектроскопических исследований является определение спектрального состава излучения плазмы в инертных и молекулярных газах. Программа обработки результатов спектральных измерений позволяет идентифицировать линии, присутствующие в спектре излучения плазмы многоэлектродного разряда с точностью до 2-3 ангстрем. Градуировка аппаратуры проводилась по спектру ртути, гелия и др.[2].

Описанный автоматизированный измерительный комплекс применим для исследования тлеющего разряда в электродных системах сложной геометрии, которые обладают рядом особенностей по сравнению с разрядами в обычных плоскопараллельных системах. Электрические процессы в таких системах имеют специфику, определяемую формой и размерами электродов. Во всех устройствах такого типа [3] формируется плазма общего отрицательного свечения, которая образуется сложением элементарных разрядов в неоднородных полях с затрудненными условиями зажигания. Предварительно проведенные зондовые и спектральные измерения показали, что плазма общего отрицательного свечения однородна во всем объеме и обладает значительной интенсивностью свечения.

Описание разряда связано с рядом специфических факторов, учет которых принципиально необходим:

- 1) наличие потока быстрых электронов, особенно интенсивного при уменьшении толщины темного катодного слоя до величин, соизмеримых с длиной свободного пробега электронов;
- 2) эмиссия электронов из катода возможна за счет γ - процессов (ионно-электронная эмиссия), в результате засветки катода высокоэнергичными фотонами и под действием бомбардировки катода быстрыми нейтралами, образованными в процессах перезарядки быстрых ионов;
- 3) изменение давления газа по сечению разрядного промежутка в рабочем режиме.

Подобные устройства могут быть использованы для проведения плазмохимических реакций. Предполагается анализ диссоциации азота в условиях данных разрядов. Наличие быстрых электронов, очевидно, должно приводить к добавлению несколько новых процессов, о влиянии которых можно судить, решив соответственно измененную систему уравнений. Проведенный анализ указывает на возможные нетрадиционные каналы реакций, происходящих в плазме тлеющего разряда в азоте. Возрастает степень ионизации частиц. Меняется соотношение возбужденных и невозбужденных атомов азота. Существенно более высока колебательная температура.

Р и с. 2. Спектр излучения многоэлектродного разряда в гелии

Для многоэлектродного разряда в гелии были получены: зависимости интенсивностей спектральных линий от тока разряда (рис. 2 и 3), зависимость второй производной зондового тока от величины задерживающего потенциала (рис.4). Они позволили определить температуру электронов, их среднюю энергию, функцию распределения электронов по энергии, концентрацию электронов и потенциал пространства. Установка обеспечивала: точность измерения давления газа в объекте – 10 Па; спектральное разрешение около $2 \text{ \AA}$; идентификацию спектральных линий с точностью до $2 \text{ \AA}$; точность измерения ФРЭЭ около 20% для электронов с энергией до 4-5 эВ, для электронов с большей энергией – ошибка возрастает.

Р и с. 3. Зависимость относительной интенсивности спектральных линий от тока разряда в гелии ($\lambda_1=5015 \text{ \AA}$, $\lambda_2=4713 \text{ \AA}$, $\lambda_3=5047 \text{ \AA}$)

Р и с. 4. Зависимость второй производной зондового тока от потенциала зонда

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методы исследования плазмы / Под ред. В. Лохте-Хольтгревен, М.: Мир, 1971. С. 552.
2. Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М., Славный В.А., Шрейдер Е.Я. Таблицы спектральных линий. М: Наука, 1969. С. 784.
3. Васильева Н.В., Волков Н.В., Новгородов М.З., Соболев Н.Н. Свойства плазмы вольерного разряда // Физика плазмы. 1982. Т.5. С.619-624.