

Петрозаводский государственный университет
Кафедра информационно-измерительных
систем и физической электроники

Курс «Оптические методы диагностики плазмы»

Лабораторная работа

Лазерно-индуцированная флюоресценция

Составитель: Пикалев А. А.

Петрозаводск, 2014

Цель работы: познакомиться с методом лазерно-индуцированной флуоресценции и определить относительную зависимость концентрации возбуждённых атомов от тока разряда.

Лазерно-индуцированная флуоресценция

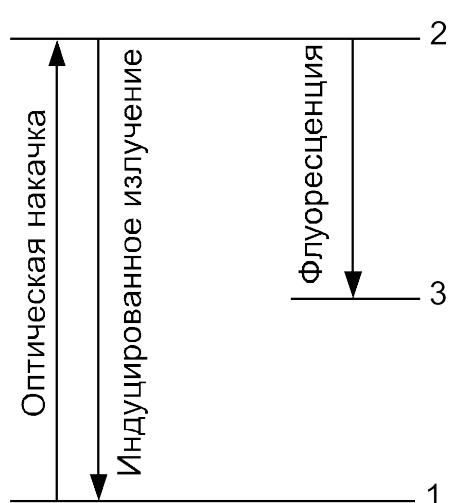


Рисунок 1 — Схема уровней при ЛИФ

Метод лазерно-индуцированной флуоресценции заключается в том, что плазма облучается перестраиваемым лазером, длина волны которого настроена на переход с исследуемого уровня(1) на один из вышележащих(2). Лазерный импульс ведёт к увеличению заселённости этого вышележащего уровня, а значит к импульсу излучения при переходе с него в результате спонтанного распада(2→3) (см. рисунок). Например, при освещении разряда в неоне на длине волны 616,4 нм возникает флуоресценция на длине волны 659,9 нм. Чем выше концентрация атомов на исследуемом уровне, тем сильнее будет импульс излучения.

При низкой мощности накачки флуоресценция пропорциональна мощности лазера, а при высокой наступает насыщение, при котором индуцированное излучение преобладает над спонтанным, а отношение заселённостей уровней 1 и 2 становится равным отношению их статистических весов. Таким образом, увеличение мощности лазера снижает влияние её нестабильности.

В работе используется лазер на красителе, ширина линии генерации которого ~ 10 пм превосходит доплеровскую ширину линии поглощения ($T \sim 300$ К). Таким образом, атомы будут возбуждаться независимо от величины и направления их скорости, однако столь широкая линия требует значительной мощности импульса для достижения насыщения. Необходимо, чтобы точность совпадения длины волны максимума генерации лазера и линии поглощения была лучше ширины линии лазера на протяжении всего эксперимента.

Установка для ЛИФ

Разряд зажигается в стеклянной трубке с плоскими окнами. Система откачки и напуска газа построена на базе высоковакуумной аппаратуры AV 63. При спектральных измерениях в инертных газах требуется тщательная откачка до высокого вакуума с прогревом трубки, так как у них высокий потенциал возбуждения, а значит, возбуждаться будут, в основном, уровни примеси. Для обеспечения чистоты газа в трубку впаян геттер. Давление в трубке контролируется по ионизационно-термопарному вакуумметру ВИТ2, а при напуске газа – по манометру на основе датчика MKS Baratron 626A. Разрядный ток контролируется по напряжению на резисторе сопротивлением 1 кОм.

Оптическая схема установки лазерно-индуцированной флуоресценции представлена на рисунке 2. Возбуждение флуоресценции осуществляется с помощью перестраиваемого лазера на красителе ЛЖИ 504 с накачкой второй гармоникой Nd-YAG лазера ЛТИ 406. Импульс флуоресценции регистрируется ФЭУ, расположенным на выходе спектрометра МДР 2, выделяющего спектральную линию флуоресценции. Импульс прошедшего плазму лазерного излучения регистрируется фотодиодом. Сигналы с ФЭУ и фотодиода фиксируются цифровым осциллографом GDS-840C.

Краситель, используемый в лазере, при накачке излучает в широкой полосе. Для установки длины волны генерации в качестве заднего зеркала резонатора использована дифракционная решётка. Поворачивая решётку, можно менять длину волны излучения лазера. Для сужения контура спектральной линии излучения лазера внутри резонатора

помещён интерферометр Фабри-Перо толщиной 4 мм, который может поворачиваться относительно горизонтальной и вертикальной осей.

Для грубого контроля длины волны излучения применяется спектрограф СДМС 2, на вход которого по оптоволокну передаётся излучение разряда и свет лазера, рассеянный стенками разрядной трубки, а на выходе стоит ПЗС-линейка, что позволяет одновременно наблюдать участок спектра разряда и спектральную линию лазера. Более тонко длина волны контролируется с помощью интерферометр Фабри-Перо (ИФП), на который излучение лазера может быть направлено с помощью зеркала. Интерференционные кольца фокусируются на входной щели спектрографа ИСП 51, на выходе которого стоит ПЗС-линейка, ориентированная вдоль щели. Там же формируется интерференционная картина от лампы, наполненной тем же газом, что и исследуемый. По боковым кольцам интерферограммы можно судить о форме контуров спектральной линии лазера, а совмещая их с интерферограммой спектральной линии возбуждаемого перехода образца добиться их совпадения с точностью до нескольких пикометров.

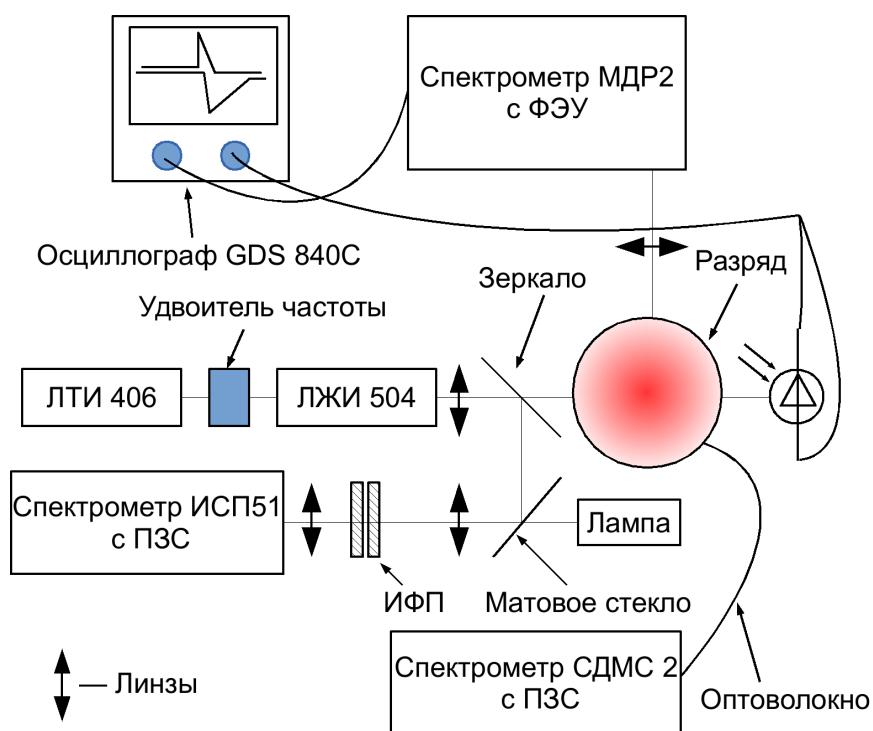


Рисунок 2 - Оптическая схема установки ЛИФ

Порядок выполнения работы

0. Ознакомьтесь с правилами техники безопасности. Работу следует выполнять только в присутствии преподавателя или инженера.
1. Ознакомьтесь с устройством установки, работой с цифровым осциллографом и программой SPDA для работы с ПЗС-линейкой.
2. После зажигания разряда и включения лазера направить луч лазера на разряд и совместить линию излучения лазера с выбранной линией плазмы, поворачивая дифракционную решётку резонатора лазера и наблюдая спектр с помощью спектрометра СДМС2 с ПЗС-линейкой.
3. Зеркалом направить луч лазера на матовое стекло и получить интерференционную картину на входной щели ИСП 51. Посмотреть, как она меняется при повороте решётки и интерферометра Фабри-Перо в резонаторе лазера.
4. Получив интерферограмму от лампы отметить положение одного из максимумов. Совместить максимум интерферограммы лазера с максимумом интерферограммы лампы.

5. Осветить лазером разряд. Настроить запуск осциллографа от импульса с фотодиода.
6. Проверить, что на входной щели спектрометра видно изображение той части разряда, в которой должна возникать флуоресценция. Настроить МДР 2 на длину волны флуоресценции, получить импульс флуоресценции на осциллографе, проверить, что это действительно флуоресценция, а не отблеск лазера. Настроить усреднение по нескольким импульсам. Рекомендуется выбирать линию флуоресценции значительно отличающуюся по длине волны от накачки для предотвращения засветки от лазера.
7. Установив максимальный ток, исследуемый в эксперименте и увеличивая мощность лазера, добиться насыщения.
8. Измерить величину импульсов флуоресценции при разных разрядных токах.
9. Проверить, сместилась ли за время работы длина волны лазера, направив луч лазера на ИФП и наблюдая интерференционную картину на ПЗС линейке на выходе ИСП 51 (см. пункты 3-4).

Отчёт должен содержать:

- параметры разряда (газ, давление, токи);
- длины волн накачки и флуоресценции;
- интерферограмму лазера, толщину ИФП и фокусное расстояние рисующей линзы для её регистрации;
- график зависимости величины импульса флуоресценции от разрядного тока с погрешностями.

Контрольные вопросы

1. Оцените ширину контура спектральной линии плазмы, считая что она определяется доплеровским уширением.
2. Определите разницу длин волн между главным и побочными максимумами спектральной линии лазера.
3. Как меняется величина флуоресценции при изменении мощности лазера?
4. Как влияет лазерный импульс на электрические характеристики разряда?
5. Для чего необходима постоянная прокачка красителя?