

Ж
У
Р
Н
А
Л

ПРИКЛАДНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ



ТОМ XXIV

МАРТ
МИНСК-1976

ВЫПУСК 3

УДК 533.9

В. А. Бондарь, Л. И. Киселевский, Ч. М. Федорков

ИМПУЛЬСНЫЙ РАЗРЯД С ОДНОВРЕМЕННЫМ ВЫСВЕЧИВАНИЕМ ЛИНИЙ ИОНОВ РАЗНОЙ КРАТНОСТИ

Возбуждение и высвечивание линий ионов разной зарядности при искровом разряде, как правило, разделено как в пространстве, так и во времени. Линии ионов повышенной кратности в основном возбуждаются в начальной стадии разряда и вблизи его оси [1]. Это затрудняет возможность диагностики разряда с использованием линий ионов разной зарядности, а также проведение других спектроскопических измерений.

Пространственное совмещение линий разнозарядных ионов в равновесных условиях принципиально ограничено термодинамическими свойствами плазмы, допускающими при заданной температуре преобладающее существование ионов только двух — трех соседних кратностей ионизации [2]. Что касается временного различия в высвечивании линий отдельных ионов, то оно в основном объясняется изменением плотности тока во время разряда, обусловленным, в частности, расширением канала разряда. Можно поэтому предположить, что применение режимов разряда с принудительной стабилизацией канала должно улучшить синфазность высвечивания линий. Такая возможность рассмотрена в настоящей работе.

Источником высокоионизованной плазмы служил импульсный разряд, локализованный двумя приэлектродными короткими цилиндрическими соплами из диэлектрического материала (плексиглас, эбонит и т. п.) [3]. Спектры регистрировались из области центрального поперечного сечения разряда. Состав плазмы определялся материалом стенок стабилизирующих сопел. Использовались режимы разряда: $C = 150 \div 600$ мкф, $U = 1 \div 3$ кв. Импульс тока был близким к прямоугольному, его максимальная величина достигала 10^4 а, средняя скорость нарастания тока $1,5 \cdot 10^8$ а/сек. Длительность токового импульса составляла 270 мксек. Осциллограмма тока разряда ($C = 300$ мкф, $U = 2$ кв) представлена на рис. 1, а.

При выбранных условиях сечение канала в области наблюдения оставалось постоянным. Это подтверждают временные развертки поперечного сечения разряда, полученные с помощью камеры СФР [4]. Спектр по сечению разряда, полученный без временного разрешения, представляет собой последовательно распределенные в радиальном направлении линии разнозарядных ионов с постепенным понижением кратности ионизации при удалении от оси канала [3].

Временные развертки интенсивности спектральных линий были получены с помощью фотоэлектрической приставки к спектрографу ИСП-30, позволяющей выделять спектральные области в пределах одной спектральной линии.

Исследования проведены с линиями ионов кислорода (O II—O V), которые интенсивно представлены в спектре при использовании локализирующих сопел из плексигласа. На рис. 1, б — г приведены осциллограммы, соответствующие близко расположенным в спектре линиям: O II 347,0 нм, O III 304,7 нм и O IV 306,3 нм. Видно, что указанные линии имеют близкий временной ход интенсивности. В начальный момент времени (до 50—60 мксек) наблюдаются небольшие колебания интенсивности, которые связаны с процессами формирования канала в стадии нарастания тока. После этого интенсивность линий возрастает все время, пока значение тока остается постоянным. У всех спектральных линий наблюдает-



Рис. 1. Осциллограммы тока и свечения спектральных линий ионов разной кратности; а — ток; б — O II 347,0 нм; в — O IV 307,1 нм; г — O III 326,0 нм

ся практически одновременно максимум свечения, положение которого для рассматриваемого режима ($C=300$ мкф, $U=2$ кв) приходится на начало спада тока ($t \sim 150$ мксек). После максимума интенсивность линий монотонно убывает со временем. Для всех спектральных линий наблюдается длительное послесвечение, в котором синфазность практически не нарушается. Поэтому свечение линий, принадлежащих ионам разной кратности, прекращается практически одновременно, приблизительно через 200 мксек после обрыва тока, что по времени совпадает с длительностью разряда.

Обнаруженное длительное послесвечение линий ионов повышенной кратности, наблюдаемое после прекращения тока, т. е. подачи электрической энергии в канал, по-видимому, связано с инерцией испарения стенок приэлектродных сопел, стабилизирующее действие которых на канал не прекращается мгновенно после обрыва тока.

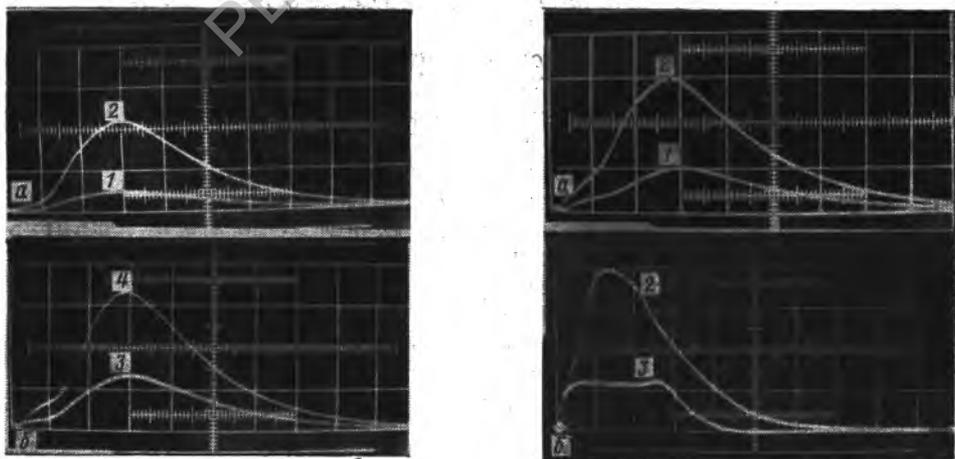


Рис. 2. Осциллограммы свечения линии O III 304,7 нм (2, 4) и непрерывного излучения (1, 3) при начальных напряжениях разряда: $U=1$ (а) и 2 кв (б)

Рис. 3. Осциллограммы свечения линии O IV 306,3 нм при различных режимах разряда: $U=1$ (1) и 2 кв (2, 3); $C=300$ (а) и 600 мкф (б); 3 — ток

Изменение интенсивности непрерывного спектра имеет такой же вид, как и изменение интенсивности спектральных линий. На рис. 2 представлены осциллограммы свечения линии O III 304,7 и непрерывного излучения плазмы в спектральной области 305,5 нм. Относительная интенсивность спектральных линий и непрерывного излучения зависит от начального напряжения разряда. С ростом напряжения интенсивность непрерывного излучения увеличивается быстрее, чем интенсивность линии. При $U=1$ кВ отношение интенсивности фона к интенсивности линии равно 0,23, а при $U=2$ кВ это отношение возрастает до 0,40.

Величина начального разрядного напряжения оказывает влияние также и на характер возбуждения и высвечивания отдельных спектраль-

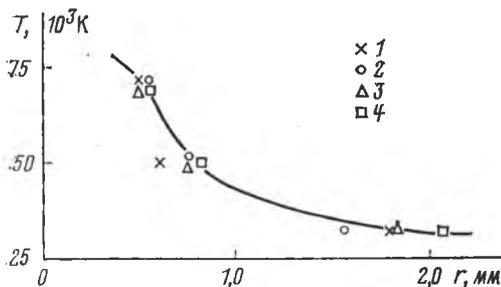


Рис. 4. Усредненный температурный профиль плазмы. $t=75$ (1), 175 (2), 275 (3) и 425 мксек (4)

ных линий ионов разной кратности. На рис. 3, а представлены осциллограммы свечения линии O IV 306,3 нм, из которых видны следующие закономерности. С увеличением начального напряжения разряда увеличивается по величине максимум интенсивности линий. При высоких напряжениях становятся незначительными колебания интенсивности линий в начальный момент разряда. Следует отметить также тот факт, что имеет место некоторое смещение во времени положения максимума интенсивности линии с ростом начального напряжения. Это смещение происходит в сторону начальной фазы разряда. При увеличении напряжения от 1 до 2 кВ такое смещение составило ~ 10 мксек. Аналогичное влияние на положение максимума интенсивности линий ионов оказывает и увеличение емкости разрядной цепи. На рис. 3, б представлена осциллограмма свечения линии O IV 306,3 при $C=600$ мкФ и $U=2$ кВ. Максимум свечения при указанных условиях приходится не на начало спада тока, а на середину плато ($t \sim 150$ мксек).

Возрастание интенсивности спектральных линий при постоянной силе тока, а следовательно, и его плотности (так как сечение разряда остается неизменным) можно объяснить увеличением плотности плазмы со временем за счет испарения стенок сопел. Об увеличении плотности плазмы, в частности, свидетельствует и рост интенсивности непрерывного излучения в рассматриваемый промежуток времени.

Проведенные исследования показывают, что в локализованном двумя приэлектродными соплами импульсном разряде практически с самого его начала линии ионов разной зарядности начинают высвечиваться одновременно и их интенсивность изменяется синфазно. Это открывает возможность диагностики плазмы канала разряда по относительной интенсивности указанных линий с использованием интегральных во времени спектров и подтверждает достоверность выполненных ранее измерений температурного профиля и сил осцилляторов без временного разрешения [3, 5, 6]. Температурный профиль в канале разряда можно построить, используя положение максимумов интенсивности линий ионов разной кратности, которые соответствуют определенным значениям тем-

пературы плазмы. Полученный таким образом радиальный профиль температуры в предположении локального термодинамического равновесия показан на рис. 4. Наибольшие отклонения от усредненного профиля имели место в различные фазы разряда в зонах высвечивания линий ионов $O II$ (до $0,3 \text{ мм}$).

Характерно, что спад интенсивности всех составляющих спектра после прекращения тока разряда происходит одинаково. Наличие в плазме ионов более высокой степени ионизации не оказывает заметного влияния на послесвечение ионов низкой кратности ионизации. Это может свидетельствовать о том, что при распаде исследуемой плазмы происходит в основном понижение плотности электронов без заметного снижения их температуры.

Литература

1. С. М. Райский. ЖТФ, 10, 529, 1940.
2. А. Унзольд. Физика звездных атмосфер. ИЛ, 1949.
3. В. А. Бондарь, Л. И. Киселевский. ЖПС, 5, вып. 5, 568, 1966.
4. В. А. Бондарь, Л. И. Киселевский. ТВТ, 5, вып. 6, 949, 1967.
5. В. А. Бондарь, Л. И. Киселевский. ЖПС, 5, вып. 3, 273, 1966.
6. Е. П. Трухан, Л. И. Киселевский. Опт. и спектр., 23, вып. 5, 691, 1967.

Поступило в редакцию 24 июня 1975 г.