

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ БССР
МИНСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. А.М.ГОРЬКОГО

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОВ
И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Сборник научных трудов

Минск 1982

интенсивности излучения. Начиная с $t \sim 30-35$ мкс, интенсивность непрерывного излучения плазмы монотонно возрастает и достигает максимума в момент времени $150-180$ мкс.

Сопоставление данных спектроскопических исследований с полученными непрерывными развертками показывает, что прекращение роста интенсивности в центре канала разряда совпадает по времени с образованием цилиндрического токопроводящего слоя. При скоростях изменения разрядного тока $\frac{dI}{dt} \approx 0$ ($t > 50$ мкс) деление канала разряда прекращается, канал превращается в сплошную токовую цилиндрическую область.

Литература

1. Арцимович Л.А. Управляемые термоядерные реакции. ГИФМЛ, 1961.
2. Малкин О.А. Импульсный ток и релаксация в газе. М.: Атомиздат, 1974.
3. Козлов Н.А., Фомин В.В. О расширении газоразрядного канала в трубчатых импульсных лампах. - ТВТ, 1976, 14, № 3.
4. Басов Ю.Г., Болдырев С.А., Дзюбанов С.Ф., Фомин В.В. Особенности развития ограниченного кварцевыми стенками мощного импульсного разряда в ксеноне. - Теплофизика высоких температур, 1978, 16, в. 5, с. 1095-1097.
5. Бондарь В.А., Киселевский Л.И. Получение и спектроскопические наблюдения плоскопараллельного осесимметричного слоя плазмы импульсного разряда с широким температурным диапазоном. - ЖПС, 1966, 5, в. 5, с. 568-573.

В.А.Бондарь, Ч.М.Федорюв, Е.А.Микулич

ОЦЕНКИ СКОРОСТИ РЕКОМБИНАЦИИ В ПЛАЗМЕ ИМПУЛЬСНОГО ЛОКАЛИЗОВАННОГО РАЗРЯДА

Различные практические приложения низкотемпературной плазмы требуют всестороннего исследования ее свойств. Многообразие свойств плазмы обусловлено различными протекающими в ней элементарными процессами.

Основными элементарными процессами в плазме явля-

ются возбуждение, ионизация и рекомбинация. Вообще говоря, процессы всех трех типов протекают в газе одновременно. Однако часто один из процессов оказывается преобладающим.

В реальных условиях процессы ионизации и рекомбинации протекают сравнительно сложными путями. Имеет место так называемая ступенчатая ионизация, при которой атом сначала возбуждается, а затем либо сразу ионизируется, при последующих электронных ударах, либо предварительно проходит через несколько ступеней повышения степени возбуждения. Сложным образом часто протекает и обратный процесс рекомбинации в тройных столкновениях: электрон захватывается ионом на возбужденный уровень атома, а затем происходит ступенчатая дезактивация атома, причем здесь действуют конкурирующие механизмы дезактивации: электронные удары второго рода и спонтанные переходы между уровнями.

В сильно разреженной плазме рекомбинация электронов и ионов происходит главным образом при парных столкновениях с излучением светового кванта. В плотной плазме преобладает рекомбинация при тройных столкновениях с участием электрона в качестве третьей частицы.

Исследованию процессов рекомбинации в плазме посвящен целый ряд работ. Экспериментально процесс рекомбинации в распадающейся ксеноновой плазме при средних давлениях исследован в работе [1]. Показано, что увеличение скорости рекомбинации с давлением связано с диссоциативным механизмом.

В работе [2] указывается, что спад заселенности резонансного уровня P_1 носит сложный характер. В начале послесвечения наблюдается быстрый спад заселенности, а затем более медленное разрушение состояния аргона.

Резкий рост интенсивности излучения после прекращения тока связан с сильной зависимостью коэффициента рекомбинации от электронной температуры [3]. Это же является причиной заметного сдвига во времени максимумов излучения из осевой и периферической зон разрядного столба.

В настоящей работе произведены оценки скоростей рекомбинации на различные уровни ионов кислорода разной кратности в плазме импульсного локализованного разряда.

Источником высокоионизованной плазмы, содержащей ионы

кислорода различной кратности, являлся импульсный разряд, локализованный двумя диэлектрическими приэлектродными соплами. Особенности такого разряда; экспериментальная установка и свойства получаемой плазмы описаны в работе [4]. Для временного разрешения спектров использовалась фотоэлектрическая приставка к спектрографу ИСП-30 на базе фотоумножителя ФЭУ-39 и измерительного микроскопа.

Для исследований были выбраны спектральные линии ионов кислорода различной кратности: $OII\ 347, O, OIII\ 326, O, OIU\ 306,3$. Исследования излучения в вышеуказанных линиях были проведены для различных пространственных зон, на которые был разбит весь канал разряда, отстоящих друг от друга примерно на 0,3 мм. Начальное разрядное напряжение составляло 1,5кВ, емкость батареи конденсаторов - 300 мкф. Проводилась проверка воспроизводимости результатов измерений от импульса к импульсу. Максимальное отклонение данных измерений не превышало 10-15%.

Наиболее благоприятные условия для процессов рекомбинации в плазме создаются, как правило, в последние фазы разряда, когда разрядный ток спадает и даже полностью прекращается. После этого наступает распад плазмы, образовавшейся в более ранние фазы. Выбранные нами для наблюдений фазы разряда ($t_1 = 185$ мкс, $t_2 = 290$ мкс и $t_4 = 325$ мкс) соответствуют спаду разрядного тока и послесвечению плазмы после полного прекращения разрядного тока. В нашем случае разрядный ток полностью прекращался, уже начиная с момента $t_2 = 290$ мкс. Анализ полученных осциллограмм свечения линий показал, что во всех пространственных зонах канала наблюдается довольно длительное послесвечение.

Скорость рекомбинации в плазме оценивалась по характеру изменения интенсивности линий в различных пространственных зонах канала разряда и в разные фазы. Для этого необходимо было получить истинное распределение интенсивности спектральных линий по диаметру канала во времени. Как показывают оценки [4], плазменный канал можно считать оптически тонким, и для получения истинной радиальной зависимости интенсивности спектральных линий в нем можно воспользоваться методами пересчета, справедливыми для оптически

прозрачных источников [5]. В работе [5] таким образом было получено истинное распределение интенсивности спектральных линий ионов кислорода для указанных ранее фаз разряда. На рис. 1 дано распределение интенсивности спектральных линий ОII 347,0; ОII 326,0; ОIУ 306,3 для момента времени $t_2 = 290$ мкс.

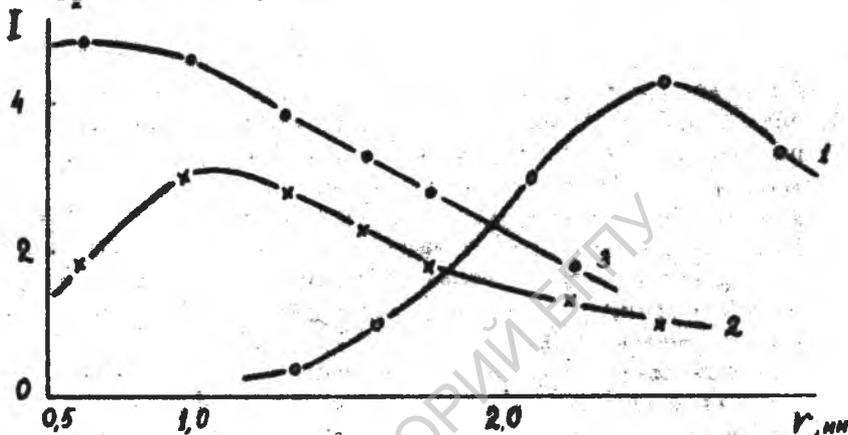


Рис. 1. Распределение интенсивности спектральных линий ОII 347,0 (1), ОII 326,0 (2), ОIУ 306,3 (3) для момента времени $t_2 = 290$ мкс.

Если проследить за изменением величины $\frac{dI}{dt}$, то можно оценить характер изменения скорости рекомбинации. Малая величина $\frac{dI}{dr}$ обусловлена большой скоростью рекомбинации в соответствующей зоне канала разряда. Данные о значениях $\frac{dI}{dr}$ позволили получить зависимости $\frac{dI}{dr}(r)$ для различных фаз импульсного локализованного разряда. На рис. 2 представлена одна из таких зависимостей $\frac{dI}{dr}(r)$ для $t_3 = 325$ мкс.

Анализ полученных зависимостей показывает, что скорость рекомбинации на различные уровни ионов кислорода различна в разных пространственных зонах канала. Величина $\frac{dI}{dr}$ имеет максимум, а затем спадает к периферии канала. Величина $\frac{dI}{dr}$ больше, а, следовательно, скорость рекомбинации на соответствующие уровни меньше в зонах, где температура выше, т.е. ближе к центру канала. Несколько

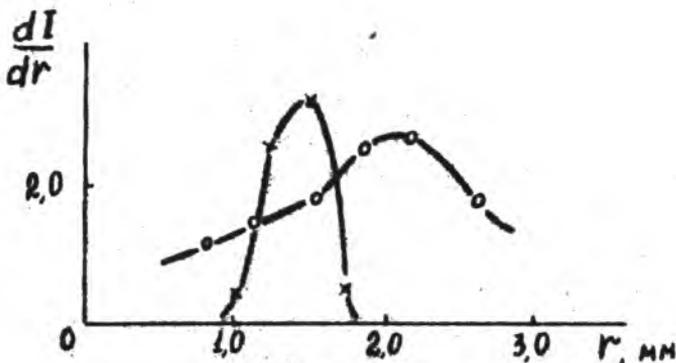


Рис.2. Зависимость $\frac{dI}{dr}$ для $t_3 = 325$ мкс
 x - OII 326,0; o - OIY 306,3

иначе ведет себя кривая $\frac{dI}{dr}$ для OIY 306,3 в момент времени $t_3 = 325$ мкс. Очевидно, это можно объяснить тем, что к этому моменту времени температура плазмы очень сильно падает, падает также и концентрация ионов OIY. Приближаясь к оси канала, скорость рекомбинации на уровнях OII и OIY ведет себя по-разному, со временем удаляясь от оси, это различие уменьшается. Исследования показывают, что скорость рекомбинации на уровнях OII и OIY оказалась во всех пространственных зонах наибольшей в момент времени $t_2 = 290$ мкс, что соответствует моменту прекращения разрядного тока.

Литература

1. Герасимов Г.Н., Хряков Б.В. Исследование рекомбинации в послесвечении ксенона. - Оптика и спектр., 1975, 39, в. 3, с. 453-458.
2. Бочкова О.П., Сукласян З.А. Заселение резонансных уровней аргона при неупругих столкновениях метастабильных атомов с медленными электронами, - ЖПС, 1975, 23, в. 4, с. 590-595.
3. Алесковский Ю.М., Графовский В.Л. Исследование объемной рекомбинации в гелиевой плазме, находящейся в магнитном поле. - ЖЭТФ, 1962, 43, 1253-1262.
4. Бондарь В.А., Киселевский Л.И. Получение и спектроскопия

ческие наблюдения плоскопараллельного асимметричного слоя плазмы импульсного разряда с широким температурным диапазоном. - ЖПС, 1966, 5, в. 5, с. 568-573.

5. Емельянов В.А., Жаврид Г.П. Методы численного решения задач, возникающих при оптических исследованиях асимметричных неоднородностей. - ИФК, 1962, 5, 4, с. 64-70.

УДК 621.378.33

В.И.Януть, А.Н.Макаревич

ИМПУЛЬСНЫЙ НАГРЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ СФОКУСИРОВАННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ CO_2 - ЛАЗЕРА

При воздействии лазерного излучения достаточно большой интенсивности $\sim 10^7$ Вт/см² на плоскую поверхность, вблизи последней возникает оптический пробой окружающего мишень газа.

Зарождающаяся плазма пробоя при достижении определенной плотности, экранирует мишень от прямого воздействия лазерного излучения и впоследствии процесс передачи энергии мишени происходит посредством взаимодействия плазмы с облучаемой поверхностью.

Различают три основных механизма передачи тепловой энергии мишени: непосредственный контакт горячей плазмы с поверхностью, ударный и за счет переизлучения плазмы в более коротковолновой области по сравнению с областью излучения лазера. Поглощение тепловой энергии мишенями определяется параметрами плазмы, контактирующей с поверхностью и динамикой ее развития.

В работе /1/ было отмечено, что динамика развития плазмы оптического пробоя воздуха излучением CO_2 -лазера с длительностью импульса 10-20 мкс. существенным образом зависит от условий фокусировки излучения на мишень, т.е. от положения облучаемой поверхности относительно фокальной плоскости собирающей линзы. Указывалось также, что при длительностях импульсов 1-2 мкс такой зависимости может и