

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. Н. Диденко, В. М. Петров, В. Н. Слинко,
С. С. Сулакшин, Ю. Г. Юшков, О возможности по-
лучения переохлажденной плазмы в мощном им-
пульсном СВЧ-разряде, *Докл. АН СССР*, 1987,
том 292, номер 3, 601–604

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: 18.97.9.174

19 марта 2025 г., 18:34:55



ЛИТЕРАТУРА

1. Шпольский Э.В. Атомная физика. М.; Л.: ГИТТЛ, 1950. Т. 1. 524 с. 2. Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А. Магнетизм — что это? Киев: Наук. думка, 1981. 207 с. 3. Таблицы физических величин. Справочник/Под ред. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с. 4. Аллен К.У. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977. 446 с. 5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Физматгиз, 1963. 702 с. 6. Горох А.В. — Докл. АН УССР. 1985, сер. А, № 7, с. 46—48. 7. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. М.: Физматгиз, 1958. 334 с.

УДК 537.521

Ф И З И К А

Член-корреспондент АН СССР А.Н. ДИДЕНКО,
В.М. ПЕТРОВ, В.Н. СЛИНКО, С.С. СУЛАКШИН, Ю.Г. ЮШКОВ

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОЙ ПЛАЗМЫ В МОЩНОМ ИМПУЛЬСНОМ СВЧ-РАЗРЯДЕ

Переохлажденная плазма представляет большой интерес как активная среда плазменных лазеров [1]. В работе [2] при непрерывном СВЧ-разряде мощностью 1 кВт в Ar—N₂-смеси (Ar : N₂ = 20 : 1 при P = 1 атм) получено, что на глубине скин-слоя СВЧ-волны плазма близка к термодинамическому равновесию, в то время как за пределами скин-слоя электронная температура плазмы ниже равновесной. В этом эксперименте появление рекомбинирующей плазмы вне скин-слоя СВЧ-разряда может быть объяснено процессом амбиполярной диффузии из скин-слоя в область холодного газа.

Значительно больший интерес для запуска лазеров в СВЧ-разряде высокого давления представляют мощности на 3—6 порядков больше, чем в [2]. Это делает необходимым использование мощных импульсных СВЧ-генераторов [3]. Однако в этом случае диффузия электронов из скин-слоя уже не играет существенной роли.

Действительно, импульсный нагрев плазмы с учетом длительностей СВЧ-импульса $\tau_n = 10^{-8} - 10^{-6}$ с [3], давления газа $P \geq 1$ атм, времени релаксации плазмы [2]

$\tau_{\text{рел}} = \frac{1}{\beta n_e^2} \sim 10^{-7}$ с, где β — коэффициент рекомбинации, при электронной температуре $T_e \approx 1$ эВ, электронной концентрации $n_e \approx 10^{15}$ см³ и характерном времени амбиполярной диффузии $\tau_{\text{диф}} \approx \frac{R_0^2}{6D_A} \sim 10^{-3}$ с, где $R_0 = 0,5$ см —

радиус разрядной трубки, а D_A — коэффициент амбиполярной диффузии, приводит к выполнению следующих соотношений: $\tau_{\text{рел}} \ll \tau_n \ll \tau_{\text{диф}} \ll T_{\text{повт}}$, где $T_{\text{повт}}$ — период следования СВЧ-импульсов. Иными словами, за время действия СВЧ-импульса и релаксации плазмы в послесвечении электроны не успевают продиффундировать из скин-слоя. Тем не менее газ вне скин-слоя может ионизоваться, в частности, жестким ультрафиолетовым излучением, генерируемым в области разряда, аналогично тому, как это происходит в системах с открытым импульсным сильноточным разрядом [4]. Однако данных по наблюдению указанного явления практически нет. В настоящей работе экспериментально исследовались параметры плазмы мощного импульсного СВЧ-разряда в инертных газах атмосферного давления с целью определения состояния плазмы.

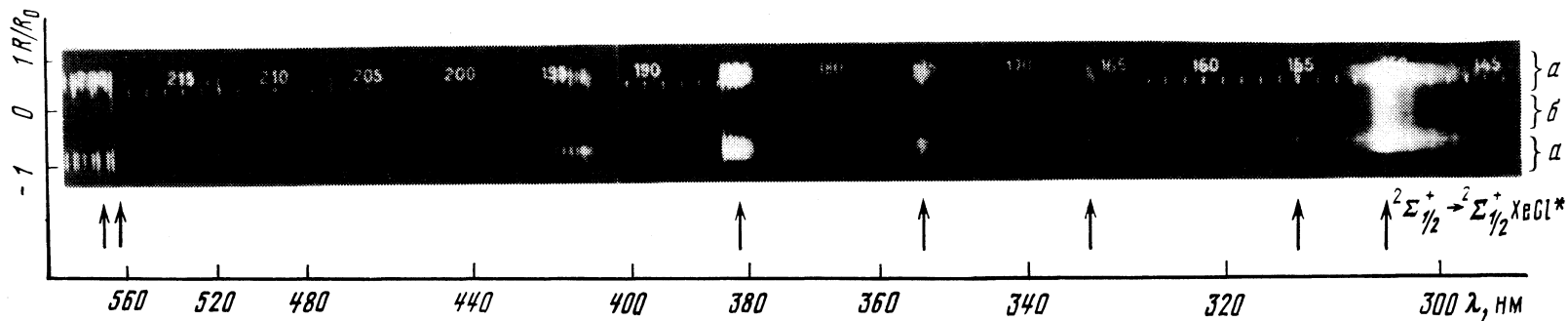


Рис. 1. Спектр свечения смеси Ne-Xe-CCl_4 (1000 : 50 : 1), $P = 1$ атм, a – область скин-слоя, b – внутренняя область. Стрелками отмечены линии, хорошо возбуждаемые во внутренней области

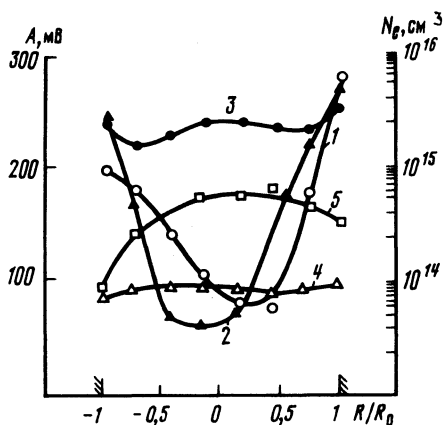


Рис. 2. Радиальные зависимости интенсивности свечения СВЧ-разряда на переходе H_β (486,1 нм) в He (1), в H_2 (2), электронной концентрации в Ne (3) ($P = 3$ атм, доля H_2 5%) и в H_2 (4), интенсивности свечения молекулы XeCl^* (5) (308 нм) в смеси Ne-Xe-CCl_4 (1000 : 50 : 1), $P = 1$ атм (ослаблено в 10 раз)

СВЧ-импульсы длительностью 3,5 мкс и частотой повторения 50 Гц генерировались магнетронным генератором на основной волне H_{01} $\lambda = 10$ см. Мощность в импульсе достигала 1,3 МВт. Разрядная кварцевая трубка с внешним диаметром 15 мм и внутренним 10 мм помещалась по центру прямоугольного волновода сечением 34×72 мм параллельно широкой стенке. В месте расположения трубки ширина узкой стенки волновода уменьшалась до 22 мм. Для инициирования разряда рядом с разрядной трубкой в волноводе помещалась отпаянная кварцевая трубка диаметром 6 мм, наполненная ксеноном при давлении 5 мм рт.ст. Энерговклад в разряд определялся из баланса падающей, отраженной и прошедшей СВЧ-мощности. Он слабо зависел от давления и сорта газа и составлял 750 кВт. Использовались He, Ne, Ar, Xe, Kr, H_2 высокой чистоты. Давление газа могло достигать 15 атм.

Параметры плазмы n_e и T_e определялись спектроскопическими методами с пространственным разрешением по радиусу трубки с помощью кварцевого спектрографа ИСП-30, дифракционного монохроматора МДР-23, ФЭУ-140. Величина n_e определялась из штарковского уширения контура H_β , T_e — из отношения интенсивностей линий $2p^3P^0 - 5d^3D$ (4026 Å), $2p^3P^0 - 4d^3D$ (4472 Å) HeI [5].

Анализ различных механизмов уширения при указанных давлениях подтвердил преимущественный вклад штарковского уширения, что свидетельствует о правильности выбранной методики определения n_e . Электронная концентрация оценивалась в максимуме свечения H_β (первая треть длительности СВЧ-импульса), электронная температура усреднялась по длительности импульса свечения H_β (послесвечение H_β не превышало 10–20% от общей длительности).

Характерным для СВЧ-разряда во всех исследованных газах было наличие двух областей свечения. На глубине скин-слоя (1–2 мм) наблюдалось яркое кольцевое свечение, внутренняя область которого, диаметром 6–8 мм, светилась менее интенсивно. Однако, как видно из спектрограммы рис. 1, полученной с пространственным разрешением по радиусу трубки 125 мкм, интенсивность свечения отдельных спектральных линий во внутренней области была не меньше, чем в скин-слое. Подобный характер спектрограмм наблюдался для всех исследованных инертных газов в диапазоне давлений горения разряда: $P_{He} \leq 6$, $P_{Ne} \leq 15$, $P_{Ar} \leq 1,3$, $P_{Xe} \leq 0,7$, $P_{Kr} \leq 1,1$ атм. Тот факт, что свечение в области скин-слоя и внутренней области наблюдается на различных линиях, свидетельствует о различных механизмах возбуждения. Важной особенностью является то, что во внутренней области плазмы возбуждаются линии, являющиеся рабочими для различных смесей газовых лазеров.

Представляет интерес исследовать влияющее на механизмы возбуждения линий состояние плазмы, которое определяется из соотношения n_e и T_e по формуле Саха [6]. На рис. 2 приведено радиальное распределение электронной концентрации в разряде для двух газов. Видно, что величина n_e практически одинакова и в скин-слое, и во внутренней области. В отличие от ширины контура H_β , по которому определялось n_e , интенсивность свечения H_β быстро спадала вне скин-слоя, как показано на рис. 2. В случае гелия для приведенной на рис. 2 величины n_e из формулы Саха следует, что в термодинамически равновесной плазме электронная температура $T_e^{\text{равн}} \approx 0,95$ эВ. Однако измерение показало, что в скин-слое $T_e = 1,1$ эВ, а во внутренней области $T_e = 0,3$ эВ. Таким образом, плазма скин-слоя является ионизационно-неравновесной ($T_e > T_e^{\text{равн}}$), в то время как внутренняя область плазмы является рекомбинационно-неравновесной или переохлажденной ($T_e < T_e^{\text{равн}}$).

Значит, в условиях проведенного эксперимента в СВЧ-разряде реализуются два различных механизма возбуждения спектральных линий: электронным ударом в скин-слое и релаксационными процессами в плазме внутренней области. Оба механизма используются в газовых лазерах высокого давления [1], однако последний

более интересен, поскольку возбуждаемый объем не ограничивается скин-слоем и в эксперименте по крайней мере в 2 раза превышал величину последнего.

Для определения эффективности данного способа возбуждения активных сред на примере Ne—Xe—CCl₄-смеси (1000 : 50 : 1, $P = 1$ атм), используемой в эксимерном XeCl-лазере [7], было исследовано радиальное распределение интенсивности свечения молекулы XeCl* на рабочей длине волны 308 нм. Результаты приведены на рис. 2. Видно, что найденный режим создания квазистационарно-рекомбинирующей в ходе воздействия СВЧ-импульса плазмы приводит к более эффективному возбуждению молекулы XeCl* во внутренней области СВЧ-разряда. Величина электронной концентрации в данной области достигает $10^{15} - 10^{16}$ см⁻³, т.е. лежит в диапазоне значений, необходимых для работы газовых лазеров [8].

Таким образом, по-видимому, впервые в мощном импульсном СВЧ-разряде атмосферного давления нами получена квазистационарно-рекомбинирующая плазма. Это свидетельствует о том, что мощный импульсный СВЧ-разряд может быть использован для возбуждения активной среды плазменных лазеров наряду с пучками ускоренных частиц, потоками жестких квантов, послесвечением электрического разряда и разлетом лазерной плазмы [9].

В заключение авторы благодарят за помощь при подготовке и проведении эксперимента И.И. Муравьева, А.М. Янчарину, С.В. Разина, П.И. Чумерина.

Томский политехнический институт
им. С.М. Кирова

Поступило
10 XII 1985

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудзенко Л.И., Яковленко С.И. Плазменные лазеры. М.: Атомиздат, 1978. 252 с.
2. Батенин В.М. СВЧ-разряды и непрерывное излучение плотной низкотемпературной плазмы. Автореф. докт. дис. М., ИВТАН СССР, 1975. 35 с.
3. Диденко А.Н., Юшков Ю.Г. Мощные СВЧ-импульсы наносекундной длительности. М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
4. Александров А.Ф., Рухадзе А.А. Физика сильноточных электроразрядных источников света. М.: Атомиздат, 1976. 184 с.
5. Грим Г. Уширение спектральных линий в плазме. М.: Мир, 1976. 491 с.
6. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1976. 198 с.
7. Тарасенко В.Ф. В кн.: Инжекционная газовая электроника. Новосибирск: Наука, 1982. 289 с.
8. Плазма в лазерах/Под ред. Дж. Бекефи. М.: Энергоиздат, 1982. 412 с.
9. Бункин Ф.В., Держиев В.И., Яковленко С.И. — Квантовая электроника, 1981, т. 8, № 8, с. 1621–1649.

УДК 621.378.9:535.82

Ф И З И К А

Ю.Д. ДУМАРЕВСКИЙ, К.И. ЗЕМСКОВ, М.А. КАЗАРЯН, Н.Ф. КОВТОНЮК,
Л.В. МЕДВЕДЕВА, Г.Г. ПЕТРАШ, академик А.И. САВИН

ПРОЕЦИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА БОЛЬШОЙ ЭКРАН С ПОМОЩЬЮ СТРУКТУР МДП-ЖК И КВАНТОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Проблема формирования фотографических и телевизионных изображений на большом экране, предназначенном для массовых аудиторий, и по настоящее время остается актуальной. Известные системы отображения информации на большой экран типа "Эйдофор", "Рутикон" и др. обладают целым рядом недостатков, в связи с чем ведется интенсивный поиск более совершенных решений [1].

Одним из перспективных решений этой проблемы является использование в системах проекционного типа преобразователей изображений на структурах ме-