

ЭФФЕКТЫ АНИЗОТРОПИИ СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГОФРИРОВАННОГО СИЛЬНОТОЧНОГО РАЗРЯДА

© Г.Н.Алферов, Г.И.Смирнов

Впервые представлены результаты исследований эффектов анизотропии спонтанного излучения гофрированного сильноточного разряда в плазме ионных лазеров. Обнаруженные эффекты анизотропии обусловлены продольной неоднородностью гофрированного плазменного шнура.

Интерес к физике сильноточного разряда в существенной мере связан с тем, что плазма сильноточного разряда является активной средой ионных лазеров, оказавшихся наиболее мощными источниками когерентного излучения в коротковолновой области спектра [1]. Основные представления о структуре сильноточного разряда в плазме ионных лазеров изложены в [2-5]. Использование в лазерах на ионах аргона разрядных трубок с переменным сечением [6,7], формирующих так называемый гофрированный разряд, позволило резко увеличить срок службы лазеров и мощность их генерации в ультрафиолетовой (УФ) области спектра, получить новые линии УФ генерации. Дальнейший прогресс в улучшении выходных параметров ионных лазеров возможен на основе детального анализа свойств и оптимизации параметров гофрированного разряда. В настоящей работе впервые представлены результаты исследований эффектов анизотропии спонтанного излучения гофрированного сильноточного разряда в плазме ионных лазеров.

Использованная в экспериментах разрядная трубка непрерывного аргонового лазера состояла из молибденовых секций, запрессованных в алюминиевую матрицу. Схема взаимного расположения секций изображена на рис. 1. Здесь же показаны направления, вдоль которых проводились измерения продольных и поперечных распределений интенсивности спонтанного излучения разряда I_s . Расстояние между секциями составляло $L = 12$ мм при диаметре экрана $D = 10$ мм и диаметре диафрагмы $d = 3$ мм. Экран имел прорезь шириной 1.5 мм, через которую и проводились измерения продольного распределения спонтанного излучения гофрированного сильноточного разряда.

Для регистрации интенсивности спонтанного излучения использовалась традиционная конденсорная схема, позволяющая получить пространственное разрешение не хуже

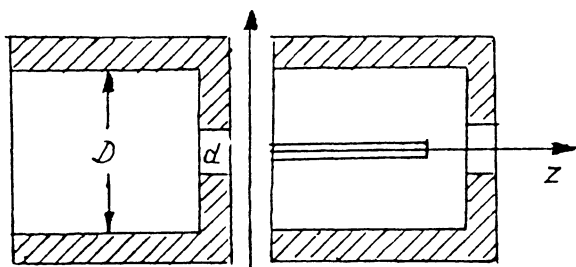


Рис. 1. Схема расположения секций разрядной трубки.

1 мм. Измерительная система размещалась на двухкоординатном столике.

Разрядная трубка была помещена в соленоид, создающий постоянное продольное магнитное поле H . Измерения спонтанного излучения магнитоактивной плазмы проводились при значениях $H = 150$ и 300 Э. Ток разряда поддерживался равным 50 \AA .

На рис. 2 приведены типичные продольные распределения интенсивности спонтанного излучения разряда I_s (в условиях безразмерных единиц) для одной секции. Кривые 1 и 2 получены в случае, когда спектральный диапазон регистрируемого излучения был ограничен только областью чувствительности измерительной аппаратуры 320–650 нм. При этом кривая 2 отвечает значению $H = 150$ Э. Зависимости 3 и 4 получены при использовании светофильтра, пропускающего излучение в диапазоне длин волн 460–530 нм. Именно в этой области спектра находятся наиболее интенсивные линии спонтанного излучения однократно ионизованного аргона. Кривая 4 измерена при $H = 150$ Э.

Анизотропия спонтанного излучения гофрированного сильноточного разряда обусловлена его неоднородностью, которая характеризуется уменьшением концентрации ионов и электронов вблизи оси плазменного столба и соответствующим увеличением концентрации нейтральных атомов по мере удаления от диафрагмы. И условия постоянства тока в квазинейтральной плазме следует оценка для концентраций электронов n_e и однократных ионов n_i в центральной части секции:

$$n_i \simeq n_e \simeq n_e^0 d^2 / D^2 \ll n_e^0 \simeq n_i^0. \quad (1)$$

Данное условие в гофрированном разряде связано с неоднородностью продольной компоненты электрического поля. Здесь и далее индексом 0 выделены параметры газоразрядной плазмы вблизи диафрагмы. Именно падению концентрации ионов при удалении от диафрагмы отвечает уменьшение интенсивности спонтанного излучения, отображаемое кривыми 3, 4.

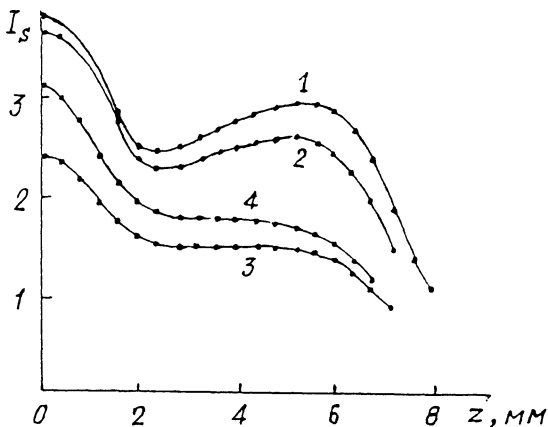


Рис. 2. Контуры продольного распределения интенсивности спонтанного излучения гофрированного сильноточного разряда для одной секции: 1 — $H = 0$; 2 — $H = 150 \text{ Э}$; 3 — $H = 0$, светофильтр; 4 — $H = 150 \text{ Э}$, светофильтр.

С другой стороны, в плазме аргонового лазера температура электронной компоненты T_e гораздо больше температур ионной и нейтральной компонент T_i, T_a . Поэтому качественно рост концентрации нейтральных атомов n_a при удалении от диафрагмы можно описывать соотношением [3,8]:

$$n_a \simeq n_a^0 + n_e^0 T_e / T_a. \quad (2)$$

Оно справедливо для сильно неизотермичной плазмы ионных лазеров ($T_i, T_a < T_e$) и при возможном росте степени ионизации вблизи диафрагмы [2,8]. Таким образом, спонтанное излучение нейтральных атомов аргона усиливается по мере удаления от диафрагмы, о чем свидетельствует появление локальных максимумов на контурах продольного распределения суммарных значений I_s , представленных кривыми 1, 2.

Результаты экспериментов показывают, что существенное уменьшение интенсивности спонтанного излучения ионов происходит при удалении от диафрагмы на расстояние, примерно равное ее диаметру d . Отсюда следует, что для оптимизации параметров лазера с разрядом данного типа диафрагмы секций необходимо разнести на расстояние около $2d$.

Зависимости 2 и 4, а также измерения поперечного распределения интенсивности спонтанного излучения при $H = 0, 150$ и 300 Э указывают на эффективное сжатие гофрированного плазменного шнура под действием магнитного поля с сохранением отмеченных эффектов анизотропии

разряда в сглаженной форме. Магнитное сжатие гофрированного сильноточного разряда несколько нивелирует различия контуров продольного распределения концентраций заряженных и нейтральных частиц плазмы.

Обнаруженные и исследованные эффекты анизотропии спонтанного излучения гофрированного сильноточного плазменного шнура позволяют оптимизировать и контролировать параметры разрядов данного типа, имеющих многообразные приложения в физике и наукоемких технологиях.

Список литературы

- [1] Алферов Г.Н., Донин В.И., Юршин Б.Я. // Письма в ЖЭТФ. 1973. Т. 18. С. 629-631.
- [2] Пендин Л.Д. // ЖТФ. 1973. Т. 43. С. 1595-1602.
- [3] Алферов Г.Н., Драчев В.П., Кузнецов Е.А., Мезенцев В.К., Смирнов Г.И. // Физика плазмы. 1988. Т. 14. С. 604-611.
- [4] Алферов Г.Н., Драчев В.П., Мезенцев В.К., Смирнов Г.И. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. С. 945-951.
- [5] Смирнов Г.И., Телегин Г.Г. // Физика плазмы. 1991. Т. 17. С. 253-256.
- [6] Патент США № 4378600. 1983.
- [7] Патент США № 4719638. 1988.
- [8] Шапиро Д.А. // ЖТФ. 1989. Т. 59. С. 35-42.

Институт полупроводников
СО РАН
Новосибирск

Поступило в Редакцию
12 января 1996 г.
В окончательной редакции
27 июня 1996 г.

