

04:07;12

©1995

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗЛУЧАЮЩИХ МИКРОШНУРОВ ПЛАЗМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОТКРЫТЫХ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТА

В.В.Иванов, В.Б.Саенко, Г.Б.Рулев

Для развития новых фотохимических технологий в микроэлектронике, медицине и экологии [1,2] необходимы широкоапертурные источники ультрафиолетового излучения (УФ) открытого типа, интенсивно излучающие в спектральном диапазоне 100–400 нм. К наиболее эффективным источникам УФ, работающим в окружающей воздушной атмосфере или в рабочей смеси газов фотохимического реактора, можно отнести многоазорный сильноточный разряд короткой длительности [3,4].

Нами создан и успешно применяется [1,3] источник ультрафиолетового излучения на основе сетки сильноточных импульсных разрядов. Достоинством источника является то, что на его основе можно создавать излучатели с произвольной геометрией и площадью поверхности. На рис. 1 приведен спектр излучения плазменного источника, работающего в воздушной среде и оптимизированного для использования в целях медицинской стерилизации [5].

Мы предположили, что основой функционирования широкоапертурных источников ультрафиолетового излучения (УФ) открытого типа является образование микропинчей плазмы с высокими значениями электронной температуры, окруженные слоем относительно холодного, слабо излучающего воздуха. Такие микропинчи могут образовываться после пробоя воздушного промежутка, начальная стадия развития которого подробно описана в [6].

Оценка энерговыклада, осуществляемого за время развития УФ излучения при максимальном токе разряда 1.5 кА и скорости нарастания тока $dI/dt \approx 1 \cdot 10^{10}$ А/с, показывают, что плазма внутри искрового канала может быть равномерно нагрета до $T \approx 1-2.5$ эВ, что соответствует максимуму излучения в диапазоне 100–250 нм. В дальнейшем плазма остывает за счет разлета. Характерное время разлета, которое должно соответствовать длительности импульса жесткого УФ излучения $\tau = r/v_s \approx 0.5$ мкс, где v_s — скорость звука в нагретом газе, а r — радиус плазменного канала. Такая оценка совпала по порядку величины со

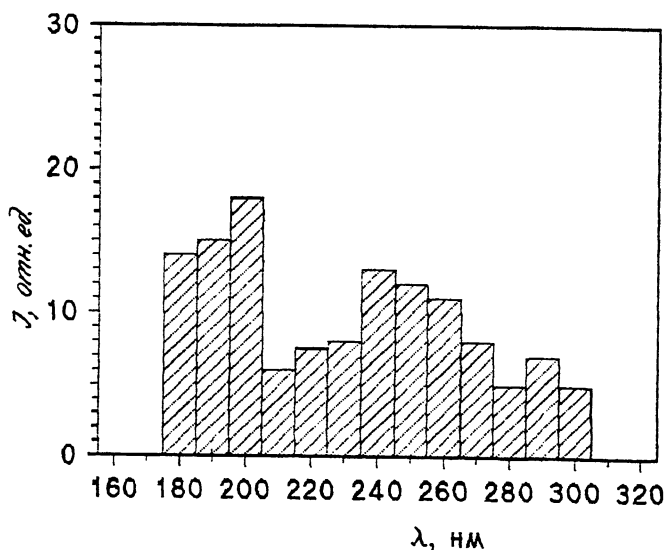


Рис. 1. Спектр излучения плазменного УФ источника.

временем излучения, зарегистрированным экспериментально. Характерный размер плазменного канала $r = 0.2$ мм получен из анализа теневых фотографий, сделанных в поле излучения медного лазера [3].

Был проведен численный расчет, моделирующий развитие микропинчей. Эта модель основана на предположении однородности распределения плотности электронов по радиусу вплоть до границы разряда. Захват в разряд холодных масс газа рассчитывался в соответствии с работой [7] с учетом потоков тепла за счет электронной теплопроводности и переизлучения.

При расчете расширения учитывались инерция, давление нейтральных и заряженных компонент плазмы, а также давление газа вне пинча. Расширение пинча предполагалось дозвуковым, что не противоречит экспериментальным данным о скорости расширения пинча во время излучения им ультрафиолета. Температуры ионов и электронов в разряде считались различными. Радиальные скорости ионов, атомов и электронов считались одинаковыми в силу большого сечения перезарядки ионов азота и кислорода и квазинейтральности плазмы. Учитывалось также отклонение скорости ионизации атомов азота и кислорода от неравновесной. Излучение плазмы в такой системе оказывается частично запертым. В связи с этим нами использовалась модель излучения пинча, учитывающая возможное запираение излучения в отдельных частотных интервалах.

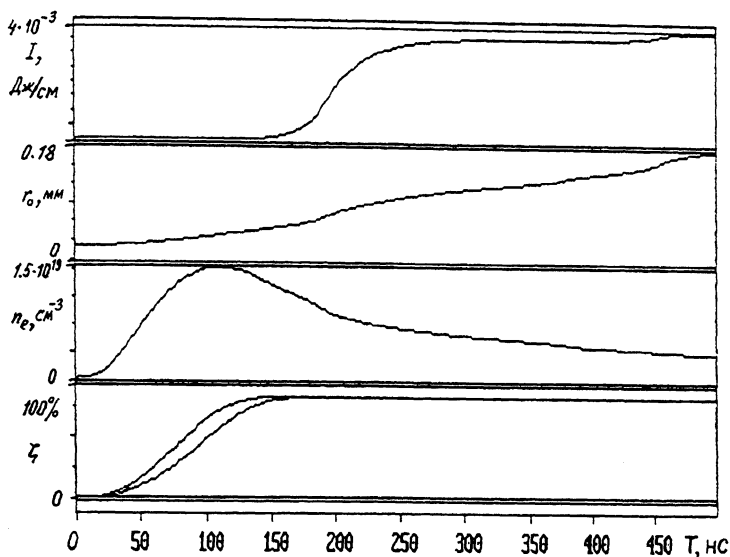


Рис. 2. Результаты расчета интенсивности излучения I , радиуса плазменного канала r_0 , концентрации электронов n_e и степени ионизации ζ от времени для разряда с $I_{\max} = 1.5$ кА и скоростью нарастания тока $dI/dT = 10^{10}$ А/с.

На рис. 2 представлены некоторые результаты расчетов варианта разряда с параметрами $dI/dt(t=0) = 10^{10}$ А/с, $r_0 = 0.02$ см, $I_{\max} = 1.5 \cdot 10^3$ кА. как следует из представленных данных, на первых 100 нс расширение плазменного столба незначительно, оно сдерживается инерцией. При дальнейшем увеличении плотности плазмы начинается увеличение радиуса канала разряда, скорость которого достигает максимума примерно на 120 нс. Плотность электронов растет за счет ионизации и падает за счет расширения плазменного столба. В результате на 70 нс она достигает максимума с $n_e = 1.5 \cdot 10^{19}$ см $^{-3}$.

Сравнение результатов расчетов и экспериментов (рис. 1 и 2) показывает разумность гипотезы микропипчевой природе высокоинтенсивного коротковолнового ультрафиолетового излучения в широкоапертурных источниках типа [1,3]. Создание достаточно простой модели процессов, происходящих в таких устройствах, открывает возможность управления спектральным составом излучения путем расчета соответствующих электрических и временных параметров внешней LCR-цепи.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 94-02-05359-а).

Список литературы

- [1] *Заболотных А.В., Саенко В.Б.* // Вестн. Сер. 3. Физика, астрономия. 1989. Т. 30. В. 4. С. 32.
- [2] *Саенко В.Б., Рулев Г.Б.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 21.
- [3] *Абросимов Г.В., Саенко В.Б.* // Квантовая электроника. 1990. Т. 12. В. 2. С. 150.
- [4] *Levine I.S., Javan A.* // Appl. Phys. Lett. 1973. V. 22. N 55.
- [5] *Саенко В.Б., Рулев Г.Б.* // Конверсия. 1993. В. 6. С. 32.
- [6] *Райзер Ю.П.* Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
- [7] *Федотов И.П.* Автореф. канд. дис. М., 1989.

Научно-исследовательский
институт ядерной физики
Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
19 декабря 1994 г.