

04:07

Характеристики субмикросекундного поперечного разряда в смесях гелия с молекулами N_2 , CO и атомами ксенона

© А.К. Шуаибов, А.И. Дащенко, А.А. Сенишин, В.С. Шевера

Ужгородский государственный университет, Украина

Поступило в Редакцию 5 мая 1997 г.

Проведено исследование электрических и оптических характеристик поперечного разряда среднего давления в типичных рабочих средах инфракрасных СО-лазеров. Разряд зажигался в системе непрофилированных электродов "сетка-плоскость" с автоматической УФ предьонизацией коронным разрядом и имел апертуру 2×3 см. Частота следования импульсов находилась в пределах 1–10 Hz, длительность импульсов тока $\leq 0.5 \mu s$, давление рабочих смесей было в диапазоне 10–100 кПа. Изучались импульсы напряжения тока поперечного разряда, а также спектральные и временные характеристики излучения плазмы на смесях $N_2:CO$, He: $N_2:CO$, He: $N_2:CO:Xe$ в УФ и видимом диапазоне длин волн.

Электроразрядные СО-лазеры, работающие в области $\lambda \lambda$ 5.0–5.5 μm , с самого начала исследований и разработок [1] представляли интерес для технологических применений, как и лазеры на молекулах CO_2 . Меньшая длина волны генерации, чем в CO_2 -лазерах, делает их более перспективными для технологических применений, но до последнего времени это сдерживалось необходимостью охлаждения рабочих сред СО-лазеров до азотных температур [2]. В настоящее время использование электрического разряда среднего давления с высокой частотой следования импульсов накачки позволило создать относительно простые электроразрядные СО-лазеры, работающие и при комнатных температурах. Так в СО-лазере с СВЧ накачкой достигнут КПД — 13.5%, средняя мощность генерации 100–250 W при $T = 300^\circ K$ [3]. Энергетические и спектральные характеристики данного СО-лазера сильно зависели от концентрации Xe в смеси He: $N_2:CO:Xe:O_2$. Основное внимание при исследовании таких лазеров уделялось исследованию энергетических и спектральных характеристик плазмы в инфракрасной (ИК) области спектра [4,5], а в видимой и

УФ областях они исследованы мало. Для рабочих сред CO_2 -лазеров результаты подобных исследований описаны в работах [6,7].

В настоящей работе приведены результаты исследования электрических и оптических характеристик субмикросекундного поперечного разряда среднего давления на смесях $\text{N}_2:\text{CO}$, $\text{He}:\text{N}_2:\text{CO}$ и $\text{He}:\text{N}_2:\text{CO}:\text{Xe}$ в спектральном диапазоне 250–600 nm.

1. Эксперименты проводились на модуле с поперечным разрядом. Использовалась система фотоэлектрической регистрации импульсов излучения плазмы, тока и напряжения на электродах. Поперечный разряд зажигался в системе непрофилированных электродов "плоскость–сетка" с площадью рабочей поверхности 3×30 cm и межэлектродным расстоянием 2 cm. Предыонизация осуществлялась импульсным коронным разрядом между остриями иголок и сеткой. Разряд зажигался от инвертирующей LC-схемы с основной рабочей емкостью — 90 nF и обострительной — 2 nF. Коммутатором в схеме служил тиратрон ТГИИ 2500/50. Частота следования импульсов тока находилась в пределах 1–10 Hz. Для питания системы УФ предыонизации использовался импульсный коронный разряд конденсатора $C = 0.47$ nF на промежуток "иголки–сетка", который автоматически зажигался на 50–150 ns раньше объемного. Спектры излучения плазмы изучались при помощи монохроматора МДР-2, ФЭУ "Фотон" и самописца КСП-4. Регистрация импульсного излучения плазмы велась с использованием электронного линейного умножителя ЭЛУ-14 ФС и осциллографа БЛОП-04.

2. На рис. 1 приведен типичный спектр излучения плазмы поперечного разряда на смеси $\text{He}:\text{N}_2:\text{CO}:\text{Xe}$. Наиболее интенсивное излучение молекул и их ионов в разряде на смеси $\text{N}_2:\text{CO}$ зафиксировано на переходах: $\text{CO}(b^3\Sigma^+ - a^3\Pi)$, $\text{CO}(d^3\Delta_1 - a^3\Pi)$, $\text{CO}(a^3\Sigma^+ - a^3\Pi)$, $\text{CO}(B - A)$, $\text{N}_2(C - B)$, $\text{CN}(B - X)$, $\text{NO}(\beta, \gamma\text{-системы})$, $\text{N}_2^+(B - X)$ и $\text{OH}(A - X)$. С уменьшением содержания молекул азота в двойной смеси увеличивается интенсивность излучения полос системы Ангстрема $\text{CO}(B - A)$ по сравнению с полосами системы $\text{N}_2(C - B)$ и интенсивность излучения радикала CN на λ 388 nm. В поперечном разряде на смеси $\text{He}:\text{N}_2:\text{CO} = 20:4.8:1.6$ kPa характер спектра излучения менялся: в диапазоне $\lambda\lambda$ 250–280 nm появлялись полосы излучения ионов $\text{CO}^+(B - X)$, увеличивалась интенсивность излучения молекул N_2 и CO в видимой области, УФ полос $\text{NO}(\beta, \gamma\text{-системы})$ и полосы $\text{CN}(B - X)$. Появление полос излучения ионов CO^+ обусловлено процессами Пеннинг-ионизации молекул CO метастабильными атомами He [8].

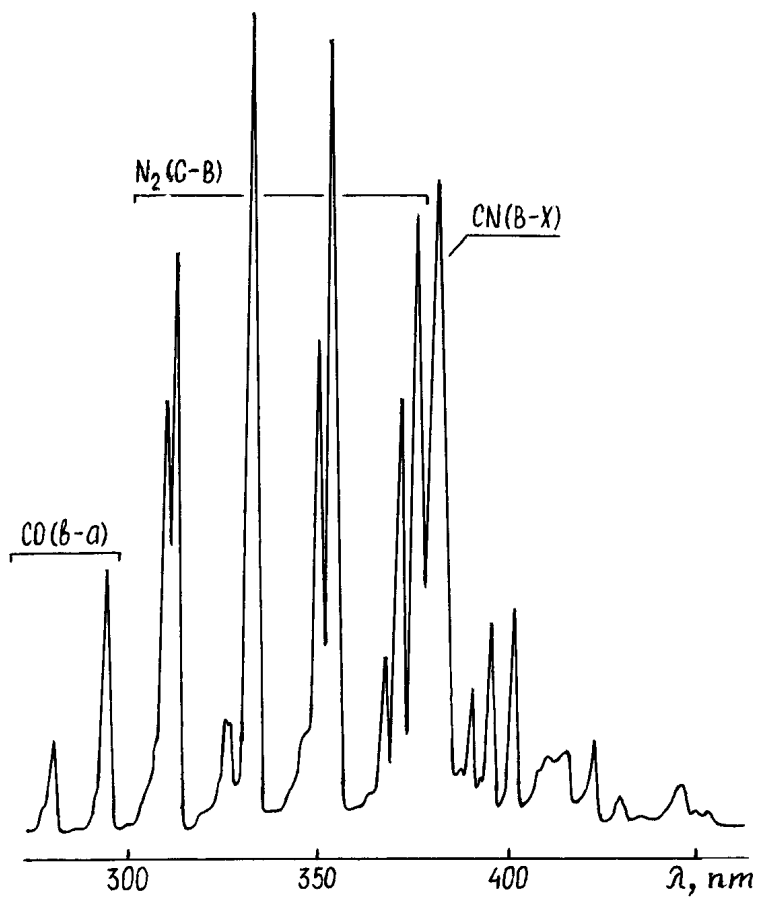


Рис. 1. Обзорный спектр излучения плазмы поперечного разряда в смеси He:N₂:CO:Xe = 8.1:3.2:1.6:0.4 кПа.

3. Осциллограммы импульсов напряжения, тока и излучения на переходах молекул приведены на рис. 2. Длительность основного импульса напряжения по основанию составляла 100 ns, а тока ≤ 500 ns. Импульсы излучения на переходах молекул азота и окиси углерода характеризовались длительным послесвечением. Первый короткий максимум импуль-

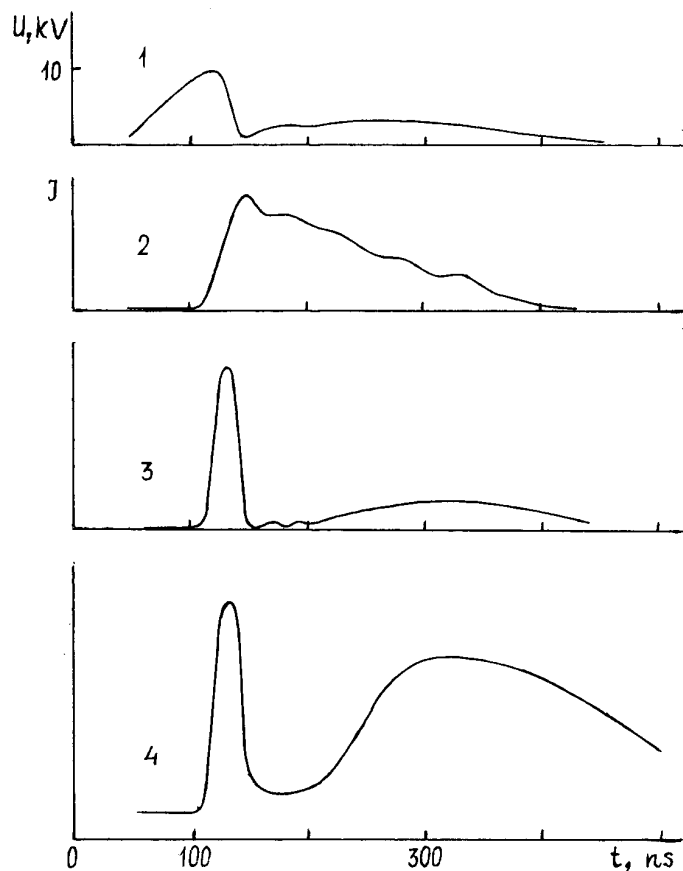
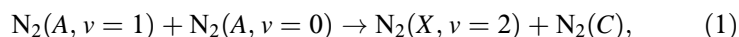


Рис. 2. Осциллограммы напряжения (1), тока (2) и излучения на λ 337 nm $N_2(C - B)$ (3), λ 388 nm $CN(B - X)$ (4) поперечного разряда в смеси $He:N_2:CO=8.5:3.2:1.6$ кПа.

сов излучения на электронно-колебательных переходах молекул N_2 и CO возникал на переднем фронте импульса тока и имел длительность ≤ 30 ns, а длительность второго максимума по основанию достигала 200–300 ns. Для излучения на переходах радикала CN послесвечение почти полностью отсутствовало (рис. 2). Первый максимум импульса

излучения появлялся на переднем фронте импульса тока поперечного разряда и связан с возбуждением верхних состояний молекул N_2 , CO прямым электронным ударом. Второй максимум излучения возникал на спаде тока поперечного разряда и, вероятно, связан с взаимодействием метастабильных молекул между собой. Наибольшая площадь второго максимума послесвечения на переходах $N_2(B - X)$ была в разряде на смеси $N_2:CO$, а наименьшая в смеси $He:N_2:CO:Xe$. Поскольку основным источником заселения состояния $N_2(C)$ в послесвечении разряда является ассоциативный обмен [9,10]:



то добавки легкоионизируемой примеси (атомов Xe) приводят к спаду плотности метастабильных молекул азота и к уменьшению интенсивности излучения на переходах $N_2(C - B)$ в послесвечении разряда.

4. Во всех рабочих средах электроразрядного CO-лазера получен однородный разряд с апертурой 2×3 см, что позволит проводить моделирование условий возбуждения CO-лазера с СВЧ накачкой при низких частотах повторения импульсов и комнатной температуре. Существенного нагревания газовых смесей в условиях эксперимента не наблюдалось, что было видно из слаборазвитой вращательной структуры излучения на переходах 2^+ системы N_2 . В сильнообогащенных гелием средах однородность разряда сохранялась до давлений 1–1.5 atm.

Таким образом, исследование характеристик поперечного разряда среднего давления на смесях $N_2:CO$ и $He:N_2:CO(Xe)$ показало, что в системе непрофилированных электродов с импульсной коронной предыонизацией возможно получение однородного объемного разряда с апертурой 6 см²; созданная система возбуждения разряда позволяет изучать процессы возбуждения электронных состояний молекул N_2 и CO, являющихся каналом паразитных потерь мощности накачки разряда в инфракрасных CO-лазерах; небольшие добавки ксенона к рабочим средам CO-лазеров приводили к спаду температуры электронов, что проявлялось в уменьшении интенсивности второго максимума излучения на переходах $N_2(C - B)$ и $CO(b - a)$.

Выражаем благодарность В.В. Скубеничу за помощь в интерпретации спектров излучения плазмы.

Список литературы

- [1] *Соболев Н.Н., Соковиков В.В.* // Квантовая электроника. 1972. № 4(10). С. 3–24.
- [2] *Блинов В.В., Вакуленко В.М., Ковш И.Б., Усанов Ю.Я.* // Итоги науки и техники. Электроника. М., 1991. Т. 28. 135 с.
- [3] *Sato S., Shimizu K., Shimamoto K.* // Opt. Lett. 1994. V. 19. N 10. P. 719–721.
- [4] *Kanazawa H., Matsuzaka F., Uehara M., Kasua K.* // IEEE. J. Quant. Electr. 1994. V. 30. N 6. P. 1448–1454.
- [5] *Аверин А.П., Бельков В.А., Готов Е.П., Гольшиков А.Н.* и др. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 9. С. 1856–1859.
- [6] *Гуревич Д.В., Канатенко М.А., Подмошенский И.В.* // ЖПС. 1986. Т. 44. № 6. С. 908–915.
- [7] *Кучинский А.А., Люблин Б.В., Шеверев В.А.* // ЖПС. 1986. Т. 45. № 3. С. 364–369.
- [8] *Колоколов Н.Б., Благогов А.Б.* // УФН. 1993. Т. 163. Вып. 3. С. 55–77.
- [9] *Голубовский Ю.Б., Тележко В.М.* // ТВТ. 1984. Т. 22. № 5. С. 996–999.
- [10] *Куркин С.М., Шашков В.М.* // ТВТ. 1984. Т. 22. № 5. С. 999–1002.