

02:04:07

Исследование распада молекул фреона–12(14) в поперечном наносекундном разряде

© А.К. Шуаибов

Ужгородский государственный университет

Поступило в Редакцию 7 мая 1998 г.

Приводятся результаты исследования характеристик поперечного наносекундного разряда в фреоне-12 и 14 (молекулы CF_2Cl_2 и CCl_4) при давлении 1–3 кПа. Изучались спектры излучения плазмы в области 200–600 нм, ресурсные и временные характеристики излучения продуктов распада фреонов. Энергетическая цена распада молекулы CF_2Cl_2 не превышает 10–20 eV/mol, что совпадает с соответствующими данными для микроволнового разряда. Данный разряд представляет интерес для применения в системах очистки воздуха от примесей фреонов, являющихся главной причиной образования озонных дыр.

Загрязнение атмосферы Земли фреонами стало в последнее время одной из главных причин образования озонных дыр [1]. Для локальной очистки атмосферы возможно применение нескольких типов самостоятельных разрядов. Так, в [2,3] изучался распад молекул CF_2Cl_2 в искре мощного CO_2 -лазера, поверхностном и микроволновом разрядах. В поперечном наносекундном разряде (ПНР) такие исследования не проводились. Дополнительный интерес к изучению фреоновой плазмы в условиях ПНР связан с применением молекул CF_2Cl_2 и CCl_4 в электро-разрядных эксимерных лазерах и лампах [4,5]. В данных устройствах они служат в качестве галогенносителей, распад которых определяет эффективность и ресурс работы эксимерного излучателя.

В настоящей работе проведено исследование характеристик поперечного наносекундного разряда в среде CF_2Cl_2 и CCl_4 при общем давлении ≤ 3 кПа. Изучались спектры излучения плазмы, ресурсные и временные характеристики излучения продуктов распада фреонов.

ПНР на фреонах зажигался в объеме $18 \times 2.2 \times 0.7$ см, где 2.2 см — межэлектродное расстояние. Применялась автоматическая искровая предыонизация межэлектродного промежутка. Разряд зажигался

при помощи системы перезаряда основной емкости $C_1 = 30 \text{ nF}$ на обострительную $C_0 = 9.4 \text{ nF}$. Коммутатором служил водородный тиратрон ТГИШ 1000/25. Излучение плазмы анализировалось при помощи монохроматора MDR-2 с дифракционной решеткой 1200 штр/мм, ФЭУ "Фотон", электронного линейного умножителя 14-ФС и осциллографа БЛОР-04. Более детально система возбуждения разряда и регистрации характеристик плазмы описана в [6,7]. Энерговклад в ПНР составлял $0.1\text{--}0.5 \text{ J/cm}^3$. При малом содержании фреона-12 ($P \leq 0.5 \text{ kPa}$) и $U = 5\text{--}12 \text{ kV}$ зажигался однородный разряд зеленого цвета, переходящий при $U \geq 12 \text{ kV}$ в контрагированное состояние (плотный набор тонких светящихся нитей, однородно заполнявших большую часть разрядного объема). При увеличении давления фреона-12 ПНР в области анода состоял из плотного набора коротких зеленых вспышек, а в большей части межэлектродного промежутка зажигался однородный разряд синего цвета. Основное внимание в данной работе уделялось исследованию ПНР при повышенной плотности фреонов.

Типичные спектры излучения плазмы ПНР приведены на рис. 1. В УФ области наблюдалась интенсивная линия 247.9 nm $\text{Cl}(2p - 3s)$, полосы $\text{N}_2(\text{C} - \text{B})$, $\text{CN}(\text{B} - \text{X})$, а в видимой — полосы Свана $\text{C}_2(\text{A} - \text{X})$. Для молекул CF_2Cl_2 характерной является широкая полоса с максимумом при $280\text{--}300 \text{ nm}$. Подобная полоса, линия Cl и полосы $\text{C}_2(\text{A} - \text{X})$ наблюдались и в спектрах излучения плазмы микроволнового разряда [2,3]. При наработке $10^3\text{--}10^4$ импульсов ПНР амплитуда и ширина данной полосы уменьшались, что может служить индикатором скорости распада молекул CF_2Cl_2 . В спектрах излучения ПНР на CCl_4 подобная широкая полоса с максимумом при 470 nm , наблюдающаяся в разряде постоянного тока при малом давлении CCl_4 ($P \leq 0.05 \text{ kPa}$) [8], отсутствует. Это указывает на высокую эффективность полного распада молекул CCl_4 в ПНР, так как причины появления полосы с $\lambda_{\text{max}} = 470 \text{ nm}$ связывают с возбуждением продуктов распада $\text{CCl}_4 : \text{CCl}_3, \text{C}_2\text{Cl}_4$. Аналогичные продукты распада молекул CF_2Cl_2 могут быть ответственны за появление полосы с $\lambda_{\text{max}} = 280\text{--}300 \text{ nm}$ в спектре (1) (рис. 1).

Измерение яркости данной полосы в зависимости от количества разрядных импульсов показало, что она выходит на уровень — $0.5I_{\text{max}}$ после $4 \cdot 10^3$ импульсов. Такое количество импульсов примерно соответствует распаду всех молекул фреона-12, находящихся в разрядной камере, или трансформации их в другие соединения. При давлении 1.2 kPa и

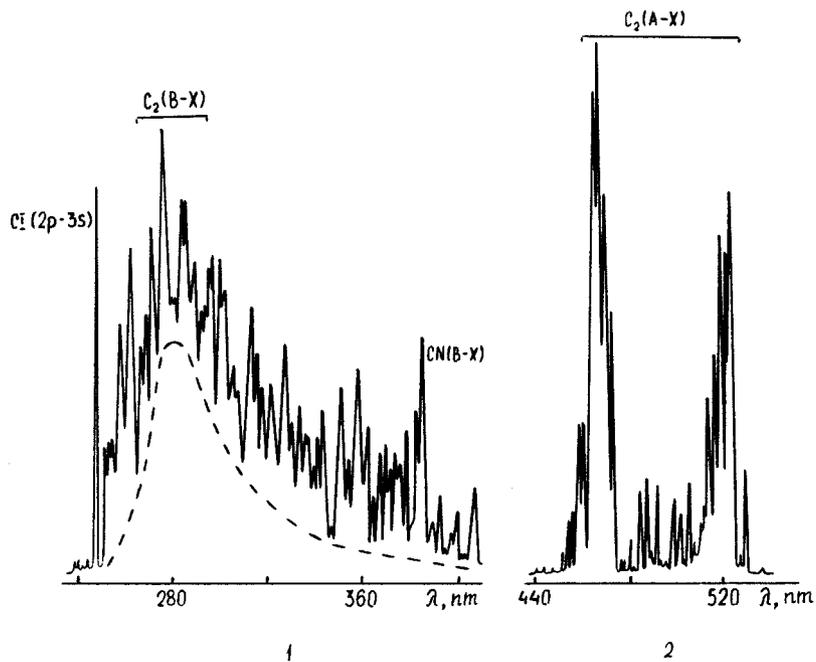


Рис. 1. Спектры излучения плазмы поперечного наносекундного разряда в фреоне-12 и фреоне-14 при $P = 1.2$ кПа.

$n = 5 \cdot 10^3$ pulse (с учетом удельного энерговклада в плазму и пассивного объема разрядной камеры) энергозатраты на распад молекулы фреона-12 составляют 10–20 eV/mol, что практически совпадает с соответствующими данными для микроволнового разряда [2].

Осциллограммы напряжения, тока и излучения плазмы ПНР приведены на рис. 2. Особенностью ПНР во фреонах является наличие значительной напряженности на электродах во время всего энерговклада в среду, аналогично разряду с допробойным ионизационным размножением электронов в смеси Ne/SF₆ [9]. Излучение на переходах $C_2(A-X)$ и $CN(B-X)$ плавно возрастает и достигает максимума при полном снятии напряжения с межэлектродного промежутка. Это указывает на наличие рекомбинационных механизмов заселения или на образование

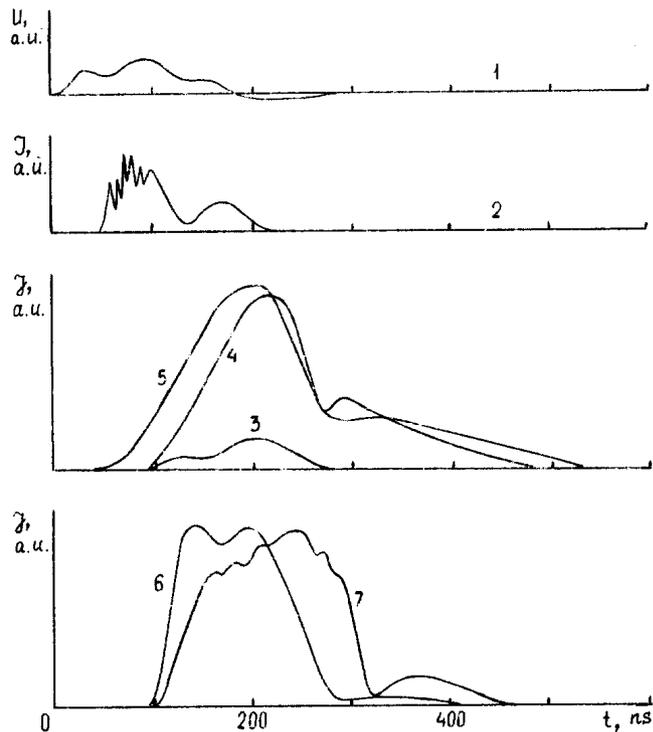


Рис. 2. Осциллограммы напряжения (1), тока (2) и излучения (3–7) разряда в фреоне-14 при $P = 1.2 \text{ kPa}$ и $U = 12 \text{ kV}$: 3 — $247.9 \text{ Cl}(2p-3s)$, 4 — $466.9 \text{ C}_2(\text{A-X})(6-5)$, 5 — $516.5 \text{ C}_2(\text{A-X})(0-0)$, 6 — $337.1 \text{ N}_2(\text{C-B})(0-0)$, 7 — $388.3 \text{ nm CN}(\text{B-X})(0-0)$.

молекул C_2^* и CN^* в реакциях с участием возбужденных атомов углерода, что видно из корреляции во времени излучения $\text{C}_2(\text{A-X})$ $\text{CN}(\text{B-X})$ и $\text{Cl}(2p-3s)$ (рис. 2).

Излучение на переходах молекулы азота (присутствующих в небольшом количестве в остаточном газе) характеризовалось осциллограммой с двумя максимумами, сдвинутыми относительно максимумов тока-накачки. Это обусловлено столкновительными механизмами заселения $\text{N}_2(\text{C})$ в условиях настоящего эксперимента.

Таким образом, исследование поперечного наносекундного разряда во фреонах показало, что при $P = 0.5-3$ кРа он существует в форме пространственно-однородного разряда, подобного разряду с допробойным ионизационным размножением электронов; распад молекул CF_2Cl_2 происходит за $\leq 5 \cdot 10^3$ pulse при удельных энергозатратах 10–20 eV/mol, что совпадает с энергозатратами в микроволновом разряде.

Список литературы

- [1] Аскарян Г.А., Батанов Г.М., Грицинин С.И. и др. // ЖТФ. 1996. Т. 66. N 3. С. 19–27.
- [2] Ахведиани З.Г., Бархударов Э.М., Гелашвили и др. // Физика плазмы. 1996. Т. 22. N 5. С. 470–477.
- [3] Грицинин С.И., Косый С.И., Мисакян М.А. и др. // Физика плазмы. 1997. Т. 23. N 3. С. 264–272.
- [4] Костин М.Н., Тарасенко В.Ф., Федоров А.И. // ЖТФ. 1980. Т. 50. В. 6. С. 1227–1230.
- [5] Luches A., Nassisi V., Perrone M.R. // Opt. Commun. 1984. V. 51. N 5. P. 315–318.
- [6] Шубаинов А.К., Неймет Ю.Ю., Ходанич А.И., Шевера В.С. // Опт. и спектр. 1993. Т. 75. № 4. С. 713–716.
- [7] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Миня А.И. // УФЖ. 1998. Т. 43. N 1. С. 27–32.
- [8] Кравченко Ю.С., Осадчук В.С., Сергиенко А.Ф. и др. // ТВТ. 1987. Т. 25. N 1. С. 151–154.
- [9] Шуаибов А.К. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. N 1. С. 85–90.