

04;07;09

©1993

ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ РАЗРЯДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МАЛЫХ ПРИМЕСЕЙ ФРЕОНОВ В ВОЗДУХЕ

Ю.Ф.Колесниченко, Д.В.Хмара

Проблема разрушения малых примесей фреонов СВЧ разрядом в воздухе, активно изучающаяся последнее время [1-3], тесно связана с проблемой оперативного мониторинга состава обрабатываемых сред. В настоящей работе представлены результаты экспериментов, в которых исследовались спектры излучения СВЧ разряда в воздухе, содержащем примеси фреонов.

Эксперименты проводились на установке, аналогичной описанной в [4] по следующей схеме. Сходящийся пучок СВЧ волн частотой 7 ГГц фокусировался внутрь вакуумной камеры, заполненной смесью воздуха и фреона. В области фокуса СВЧ пучка устанавливался инициатор разряда — метелка из металлических проволок. Излучение разряда попадало через иллюминатор на собирающее зеркало, которое фокусировало его на входную щель монохроматора МДР-23. Прошедшее через монохроматор излучение детектировалось фотоэлектронным умножителем ФЭУ-79. Сигнал с ФЭУ поступал в систему цифровой регистрации (АЦП и IBM PC).

Эксперименты проводились в следующих условиях: плотность мощности СВЧ излучения в центре пятна фокусировки составляла $W = 0.9 - 26$ кВт/см², длительность СВЧ импульса $\tau = 150 - 740$ мкс, давление в вакуумной камере $P = 40 - 750$ Тор, удельное содержание фреонов $\eta = 10^{-6} - 1$. Состав спектров излучения СВЧ разряда исследовался в воздухе и в воздухе с примесями CF_2Cl_2 (фреон-12) или $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$ (фреон-114). Измерения проводились в интервале длин волн $\lambda = 3500 - 4300$ Å. Развитие СВЧ разряда в условиях экспериментов носило преимущественно стримерный характер: разряд представлял собой пространственно неоднородное образование, состоящее из отдельных каналов пробоя — стримеров.

На рис. 1 показаны типичные спектрограммы, полученные фотометрированием импульсно-периодического (с частотой 1 Гц) СВЧ разряда при сканировании по λ со скоростью ≈ 3 Å/с. Регистрация производилась в момент окон-

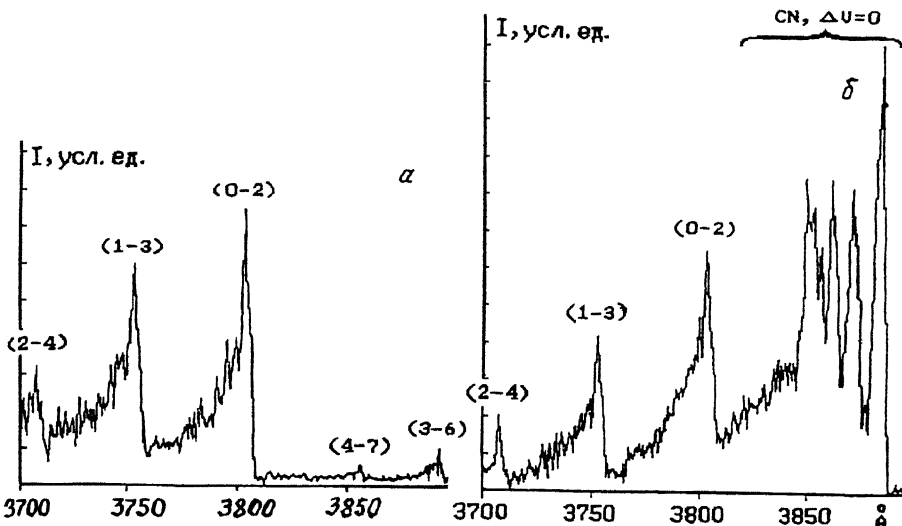


Рис. 1. Спектрограммы излучения СВЧ разряда ($W = 6.5 \text{ кВт/см}^2$, $\tau = 740 \text{ мкс}$, $P = 100 \text{ Тор}$). a — воздух; b — воздух с примесью $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$ $\eta = 7.5 \cdot 10^{-3}$. В скобках указаны электронно-колебательные полосы второй положительной системы азота.

чения каждого СВЧ импульса. В чистом воздухе (рис. 1, a) доминируют электронно-колебательные полосы второй положительной системы азота $C_{\text{П}}^3 - B_{\text{П}}^3$. Примесь фреона (рис. 1, b) приводит к появлению в спектре дополнительной составляющей — системы полос $B^2 \sum - X^2 \sum$ радикала CN (зафиксированы группы полос с секвенциями $\Delta v = +1, 0, -1$).

Была исследована интенсивность излучения (1) $\text{CN}(B^2 \sum - X^2 \sum)$ в зависимости от удельного содержания фреонов. Измерения проводились на длине волны, соответствующей максимуму интенсивности перехода $\lambda = 0 - 0$. Результаты измерений для двух диапазонов $\eta \geq 10^{-1}$ и $\eta \leq 10^{-2}$ показаны на рис. 2.

Как показали эксперименты, примесь фреонов приводит к появлению в СВЧ разряде простейшего углеродсодержащего соединения CN, что дает основание говорить о глубоком (вплоть до полного) разрушении молекул фреонов. Энергия разрыва связей молекул фреонов составляет 15–18 Эв: протекание столь энергоемких процессов свидетельствует в пользу того, что глубокая деструкция фреонов происходит в стримерах — наиболее энергонасыщенных областях СВЧ разряда.

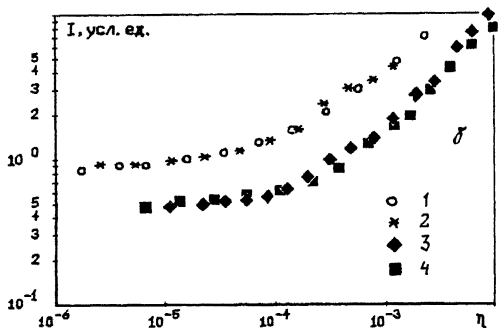
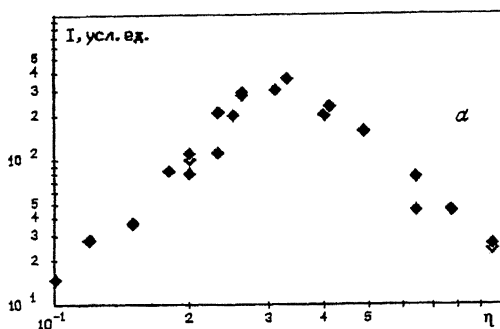


Рис. 2. Интенсивность излучения из области разряда I на длине волны перехода $CN(B^2 \sum - X^2 \sum, \nu = 0 - 0)$ в зависимости от удельного содержания фреона ($W = 6.5 \text{ кВт/см}^2, \tau = 740 \text{ мкс}$): а — $P = 40 \text{ Тор}$, примесь $C_2F_4Cl_2$; б — $P = 750 \text{ Тор}$, 1 — CF_2Cl_2 , 2 — $C_2F_4Cl_2$ и $P = 100 \text{ Тор}$, 3 — CF_2Cl_2 , 4 — $C_2F_4Cl_2$.

Зависимость $I(\eta)$ при $\eta \geq 10^{-1}$ (рис. 2,а), по-видимому, отражает влияние примесей фреонов на динамику разряда, кинетику процессов разрушения фреонов и образования $CN(B^2 \sum)$. Максимум I при $\eta \simeq 0.3$ может указывать на то, что в цепочке образования $CN(B^2 \sum)$ из исходных компонентов — воздуха и фреона, лимитирующей стадией является реакция с общим третьим (а по фреону — первым) порядком.

Удельные содержания фреонов $\eta \leq 10^{-2}$ не влияют на динамику разряда, что подтверждается прямой пропорцией между I и η при $\eta \simeq 10^{-3} - 10^{-2}$ (рис. 2,б), причем зависимости $I(\eta)$ для CF_2Cl_2 и $C_2F_4Cl_2$ идентичны несмотря на различное содержание углерода в этих фреонах. При $\eta \simeq 10^{-4}$ интенсивность $CN(B^2 \sum - X^2 \sum, \nu = 0 - 0)$ уменьшается до уровня, сравнимого с интенсивностью частично перекрывающей полосы $N_2(C^3\Pi_u - B^3\Pi_g, \nu = 3 - 6)$. Этим

обусловлен выход кривой $I(\eta)$ на "полку" при $\eta \approx 5 \cdot 10^{-5}$. Представляется, что подбор режимов СВЧ разряда с целью подавления заселения $N_2(C^3P_u)$ и адсорбционная спектроскопия CN позволят снизить уровни η выхода на "полку".

Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы:

1. Спектры излучения СВЧ разряда в воздухе с примесями фреонов показывают образование радикала CN, возможное лишь при глубоком разрушении молекул фреонов (вплоть до свободных атомов углерода).

2. Учитывая высокую энергоемкость процессов глубокого разрушения молекул фреонов, естественно предположить, что их разрушение происходит в стримерах.

3. Выявлена связь между интенсивностью излучения $CN(B^2 \Sigma - X^2 \Sigma)$ и содержанием примесей фреонов в воздухе с $\eta \geq (5 - 10) \cdot 10^{-5}$, что позволяет говорить о возможном способе диагностики малых примесей фреонов путем возбуждения исследуемой среды СВЧ разрядом с измерением наработки СТ средствами эмиссионной или абсорбционной спектроскопии.

Авторы благодарны Н.А.Батуровой, А.Н.Воронину, Б.П.Королеву и М.М.Носачу за помощь, оказанную при проведении экспериментов, а также В.Г.Бровкину за полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] Аскаръян Г.А., Батанов Г.М., Баргударов А.Э. и др. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 55. В. 9. С. 500-504; Физика плазмы. 1992. Т. 18. В. 9. С. 1198-1210.
- [2] Александров Н.Л., Вахрамеев К.А., Добкин С.В., Сон Э.Е. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. Вып. 23. С. 73-77.
- [3] Колесниченко Ю.Ф., Хмара Д.В. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. Вып. 10. С. 36-41.
- [4] Бацких Г.И., Хворостяной Ю.И. // Радиотехника и электроника. 1992. Т. 37. В. 2. С. 311-316.

Московский
радиотехнический
институт РАН

Поступило в Редакцию
30 сентября 1993 г.