

02;03;04;10;12

©1995

РАЗЛОЖЕНИЕ CS_2 В НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОМ ОБЪЕМНОМ РАЗРЯДЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Г.В.Денисов, Ю.Н.Новоселов, И.Е.Филатов

Сероуглерод является экологически вредным побочным продуктом ряда производств, в частности производства вискозы. Удаление этой примеси из газообразных промышленных выбросов позволит значительно снизить вредность таких производств, улучшить экологическую обстановку в целом. Известно, что сжигание CS_2 в чистом кислороде приводит к разрушению этой молекулы с образованием продуктов CO_2 и SO_2 . Этот процесс является хорошо изученным для смесей O_2-CS_2 низкого давления, поскольку используется в химическом СО-лазере для создания инверсной населенности на колебательных переходах молекулы СО [¹⁻⁵]. Показано, что процессы в этом лазере могут носить цепной характер. При электроразрядном воздействии цепь реакций инициируется атомом кислорода, который возникает при диссоциации молекулы кислорода электронным ударом. Представляет интерес исследовать возможность осуществления цепного механизма разложения CS_2 при атмосферном давлении газовой смеси, где основным компонентом является молекула азота.

В настоящем сообщении приведены результаты экспериментов по разложению CS_2 в смеси, моделирующей состав промышленных выбросов, в импульсном несамостоятельном разряде, инициируемом пучком электронов.

Эксперименты выполнялись на установке, аналогичной [6].

Разряд зажигался в смеси $N_2:O_2:CS_2 = 89:10:1$ атмосферного давления в промежутке длиной $d = 1$ см между плоским стальным анодом и катодом из мелкоячеистой сетки, через которую в газ инжестировался электронный пучок. Источником инициирующих разряд электронов является малогабаритный ускоритель "РАДАН" [7], генерирующий пучок с энергией электронов ~ 180 кэВ, током ~ 800 А и длительностью импульса 3 нс при частоте следования импульсов 10 Гц. Объем, занимаемый разрядом, составил 8 см³ при общем объеме всей газоразрядной камеры 3 л. Для питания разряда использовалась батарея

конденсаторов емкостью 13.2 нф, заряжаемая до напряжения $U_0 = 0.5-10$ кВ. Ток и напряжение разряда регистрировались цифровым осциллографом С9-27. Осциллограммы имели типичный для несамостоятельного разряда вид, аналогичный приведенным в [6]. Длительность импульса тока на уровне 0.5 не превышала 200 нс.

Зажигание разряда осуществлялось сериями импульсов от 100 до 700. Изменение концентрации CS_2 фиксировалось во всем объеме газоразрядной камеры. Определение состава газовой смеси проводилось до и после серии импульсов облучения с помощью газового хроматографа ЛХМ-8МД на трехметровой колонке, заполненной сорбентом марки "СИЛОХРОМ С-120". Газовая смесь на всем протяжении эксперимента эффективно перемешивалась встроенным вентилятором по замкнутому контуру.

В качестве конечных продуктов разложения CS_2 в азотно-кислородной среде, аналогично [1-5], зафиксированы CO_2 , SO_2 и S_2 .

В опытах обнаружено линейное снижение концентрации CS_2 в зависимости от числа импульсов облучения, т. е. введенной в разряд энергии.

Линейный характер уменьшения концентрации CS_2 наблюдался во всем применяемом диапазоне напряжений.

При проведении опытов наибольший интерес представляла величина затрат энергии ϵ на разложение одной молекулы CS_2 , которая определялась как $\epsilon = (W_{II} + W_p)n/e[\Delta CS_2]$, где W_{II} , W_p — удельная энергия, вкладываемая в газ пучком и разрядом соответственно, n — количество импульсов в серии облучения, e — заряд электрона, $[\Delta CS_2]$ — изменение концентрации примеси во всем объеме камеры за серию импульсов облучения. Ошибка измерения ϵ не превышала 0.1.

Известно, что на разрыв связей $CS-S$ необходимо затратить 4.1 эВ, $C-S$ — 7.5 эВ [3], а для диссоциации молекулярного кислорода — 5.1 эВ [8]. На рис. 1 приведена зависимость $\epsilon(U_0)$, где U_0 — зарядное напряжение. Видно, что при воздействии на смесь только электронного пучка и при малых напряжениях затраты ϵ составляют величину ~ 0.6 эВ/мол, что существенно меньше приведенных выше значений. Причиной снижения затрат ϵ может быть реализация цепного механизма аналогично [1-5]. Увеличение напряжения приводит к росту ϵ и при $U_0 = 10$ кВ затраты увеличиваются до 30 эВ/мол. Вероятно, что увеличение вводимой энергии с повышением напряжения в разряде выше 3-4 кВ не приводит к интенсификации протекания цепного механизма.

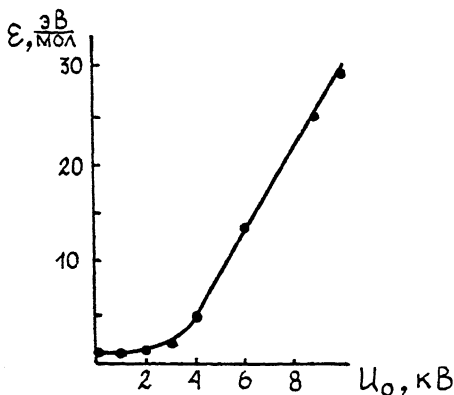


Рис. 1. Зависимость затрат энергии ϵ на разложение одной молекулы CS_2 от зарядного напряжения U_0 .

Подобный характер зависимости $\epsilon(U_0)$ коррелирует с данными, представленными на рис. 2, где приведена зависимость количества удаленных молекул CS_2 от зарядного напряжения суммарной вложенной в газ энергии за серию импульсов облучения ~ 70 Дж. Ошибка измерений $[\Delta\text{CS}_2]$ не превышала 0.05. Видно, что при малых U_0 количество удаленных молекул значительно, а при увеличении напряжения оно снижается. Поскольку при этом растет и энергозатрат W_p , значение ϵ повышается.

Цепной механизм разложения CS_2 [1,2] инициируется реакцией диссоциации кислорода



В слабых электрических полях $U_0 \sim 100\text{--}1000$ В/см. Энергия разряда эффективно расходуется на колебательное возбуждение O_2 [9]. Это предполагает участие по реакции (1) молекул O_2^* , что повышает эффективность наработки атомарного кислорода. Возможно, именно с этим связано некоторое увеличение количества удаленных молекул при $U_0 \sim 500$ В/см (рис. 2). При этом степень очистки смеси от CS_2 $\eta = [\Delta\text{CS}_2]/[\text{CS}_2]_0$, где $[\text{CS}_2]_0$ — начальная концентрация молекул примеси, достигает значения $\eta \sim 85\%$. Ясно, что в случае обработки рядом всего газового объема суммарная энергия, необходимая для достижения такой степени очистки, может быть существенно ниже, чем 70 Дж.

Образование атомарного кислорода возможно также в реакции диссоциативного прилипания



где M — молекула O_2 или N_2 [10].

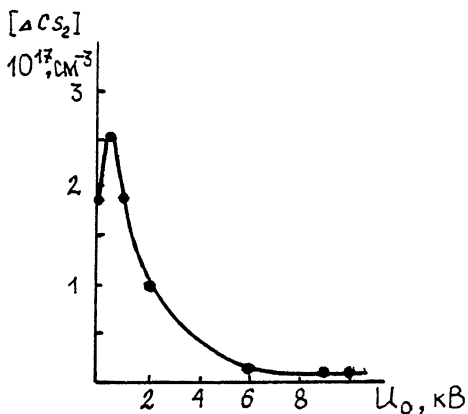


Рис. 2. Количество удаленных молекул $[\Delta CS_2]$ в зависимости от U_0 . Начальная концентрация $[CS_2] = 2.9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

С увеличением зарядного напряжения, т. е. напряженности поля в разряде, происходит снижение значения $[\Delta CS_2]$. Причиной этого могут являться различные конкурирующие реакции, приводящие к снижению концентрации атомарного кислорода как в разрядке, так и в рекомбинирующей плазме. Такими реакциями могут быть образование озона, окислов азота $[^{11}]$ и др.

Полученные в данной работе результаты, безусловно, требуют более подробных исследований для уточнения механизмов разложения CS_2 , однако они позволяют сделать следующие выводы. Разрушение CS_2 эффективно протекает при невысокой $\sim 500 \text{ В/см}$ напряженности поля в разряде. Вероятной причиной этого является реализация в ионизированном воздухе цепного механизма, аналогично $[^{1-5}]$, обеспечивающего величину энергетических затрат на разложение одной молекулы $CS_2 \sim 0.6 \text{ эВ}$ при обработке разрядом лишь небольшой части всего газового объема.

Список литературы

- [1] Бронфин Б. Джеффферс В. // Химические лазеры. М., Мир, 1980. С. 703-756.
- [2] Елецкий А.В. // УФН. 1981. Т. 134. В. 2. С. 237-278.
- [3] Бубякин Г.В., Елецкий А.В., Папуловский В.Ф. // УФН. 1972. Т. 106. В. 4. С. 723-731.
- [4] Wittig C., Hassler J.C., Coleman P.D. // J. Chem. Phys. 1971. V. 55. N 12. P. 5523-5532.
- [5] Jeffers W.Q., Ageno H.Y. // Appl. Phys. Letts. 1975. V. 27. N 4. P. 227-229.
- [6] Кузнецов Д.Л., Новоселов Ю.Н., Старовойтов М.Ю. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 16. С. 6-9.

- [7] *Ельчанинов А.С., Котов А.С., Шпак В.Г. и др.* // Электронная техника. Сер. 4. 1987. В. 2. С. 33-37.
- [8] *Хьюбер К.-П., Герцберг Г.* Константы двухатомных молекул. М.: Мир, 1984. Ч. 2. С. 82.
- [9] *Александров Н.Л., Высикайло Ф.И., Исламов Р.Ш. и др.* // ТВТ. 1981. Т. 19. № 1. С. 22-27.
- [10] *Месси Г.* Отрицательные ионы. М.: Мир, 1979. 754 С.
- [11] *Русанов В.Д., Фридман А.А., Шолин Г.В.* // Химия плазмы. М.: Атомиздат, 1978. С. 222-241.

Поступило в редакцию
29 мая 1995 г.
