

КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХеСІ ЛАЗЕРА В СМЕСИ Ar-Xe-CCl₄

А.М. Бойченко, В.И. Держиев, А.Г. Жидков, С.И. Яковленко

Представлена кинетическая модель активной среды ХеСІ лазера в смеси Ar-Xe-CCl₄, накачиваемого электронным пучком. Приведено сравнение модели с имеющимися экспериментами.

Эксплексный ХеСІ лазер исследуется уже сравнительно давно. В последнее время практически везде в качестве хлороносителя используется молекула НСІ и существуют хорошие кинетические модели с данным донором хлора [1, 2]. В начальный период исследований ХеСІ лазера часто брали молекулу ССІ₄ в качестве хлороносителя, иногда ее используют и сейчас. Численные же модели для ХеСІ лазера в смеси с ССІ₄, по-видимому, отсутствуют. Тем не менее, в связи с все более широким распространением ХеСІ лазера в различных областях исследования, а также при работе с большими установками не менее важный аспект приобретает проблема выбора менее токсичного хлороносителя. Поэтому необходимо уметь моделировать работу ХеСІ лазера для конструирования установок с данным донором хлора. В данной работе рассматривается ССІ₄ как менее токсичная молекула, чем НСІ.

Основная совокупность констант скоростей реакций с участием реагентов, общих для смесей Ar-Xe-НСІ и Ar-Xe-CCl₄, взята из [1, 2]. Основным каналом заселения эксплексных молекул является реакция ион-ионной рекомбинации, поэтому особо остановимся на константе прилипания электрона к молекуле ССІ₄ с образованием иона СІ⁻,



так как данная реакция по нашему мнению является основным каналом образования иона СІ⁻ в среде. Сечение прилипания данного процесса приведено в [3] для очень узкой области энергии вблизи нуля, поэтому константу данной реакции мы оценивали исходя из экспериментально известных зависимостей тока

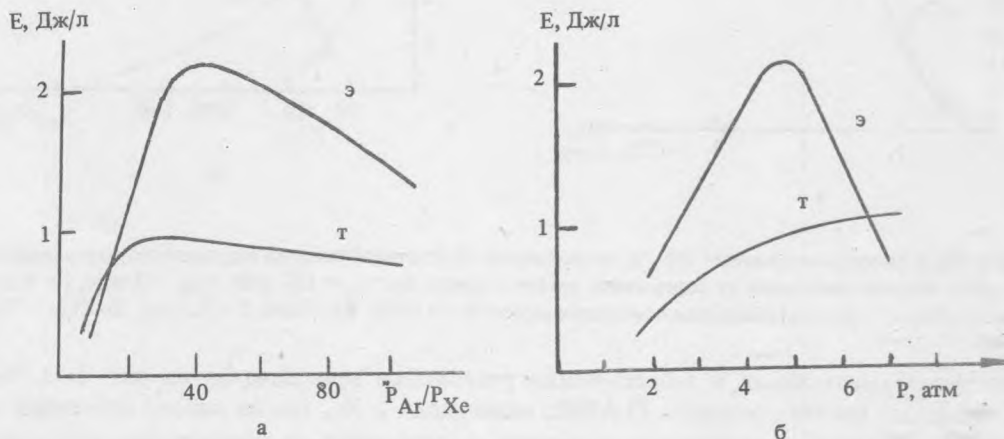


Рис. 1. Расчетные (т) и экспериментальные (э) зависимости: а) удельной энергии излучения от содержания Хе в смеси при давлении $P = 5$ атм, $\text{Xe}:\text{CCl}_4 = 75:1$; б) удельной энергии от давления для смеси $\text{Ar}:\text{Xe}:\text{CCl}_4 = 2000:75:1$ при $E_e = 300$ кэВ, $\tau_{1/2} = 0,25$ нс, $j = 75$ А/см² ($\nu_{\text{Xe}} = 3,2 \cdot 10^9$ с⁻¹), камера диаметром 2 см, длиной 20 см, коэффициенты отражения зеркал $R_1 = 100\%$, $R_2 = 7\%$ (в расчетах $R_2 = 50\%$).

Cl^- от энергии электронов при их взаимодействии с молекулой CCl_4 . Ток образовавшихся отрицательных ионов, также как и сечение, проинтегрированное по энергии, практически не зависят от температуры газа /4/, поэтому мы не будем учитывать вклада колебательного возбуждения CCl_4 в процесс прилипания электрона к этой молекуле. Однако этот ток пропорционален константе прилипания электрона к CCl_4 , поэтому энергетическая зависимость этой константы взята такой же, как и зависимость тока от энергии электрона /5/ с нормировкой K ($T_e = 300 \text{ K}$) = $2,95 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3/\text{с}$ /3/.

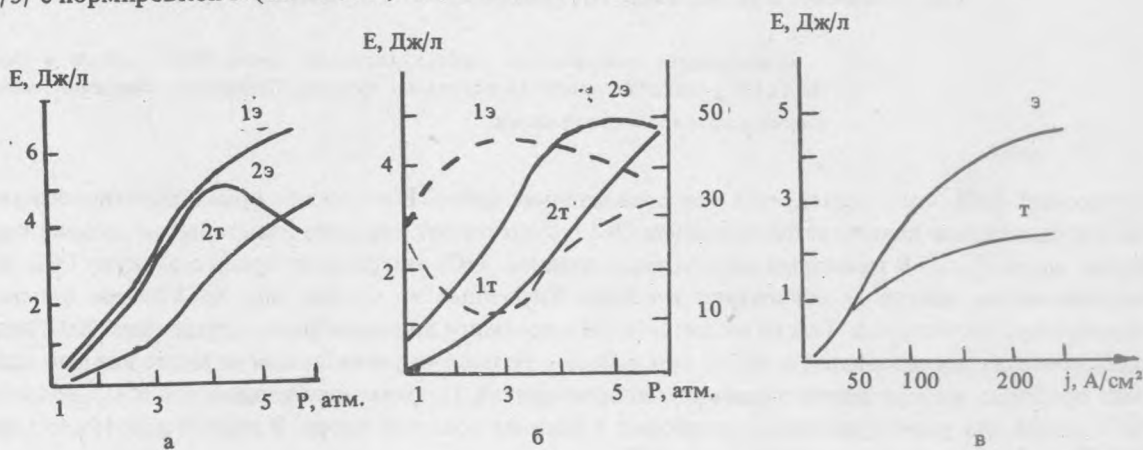


Рис. 2. Расчетные (г) и экспериментальные (э) /8/ зависимости: а) удельной энергии излучения от давления смеси $\text{Ar}:\text{Xe}:\text{CCl}_4 = 3200:100:1$ (1) и $1600:100:1$ (2); б) длительности импульса излучения на полувысоте (1) и удельной энергии излучения (2) от давления для смеси $\text{Ar}:\text{Xe}:\text{CCl}_4 = 1600:50:1$; в) удельной энергии излучения от плотности тока пучка электронов для смеси $\text{Ar}:\text{Xe}:\text{CCl}_4 = 2000:50:1$ при $P = 4 \text{ атм}$ и $E_e = 150 \text{ кэВ}$, $\tau_{1/2} = 25 \text{ нс}$, $j = 250 \text{ А/см}^2$ ($\nu_{\text{Xe}} = 2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$), камера диаметром 2 см, длиной 20 см, коэффициенты отражения зеркал $R_1 = 100\%$, $R_2 = 7\%$ (в расчетах $R_2 = 50\%$).

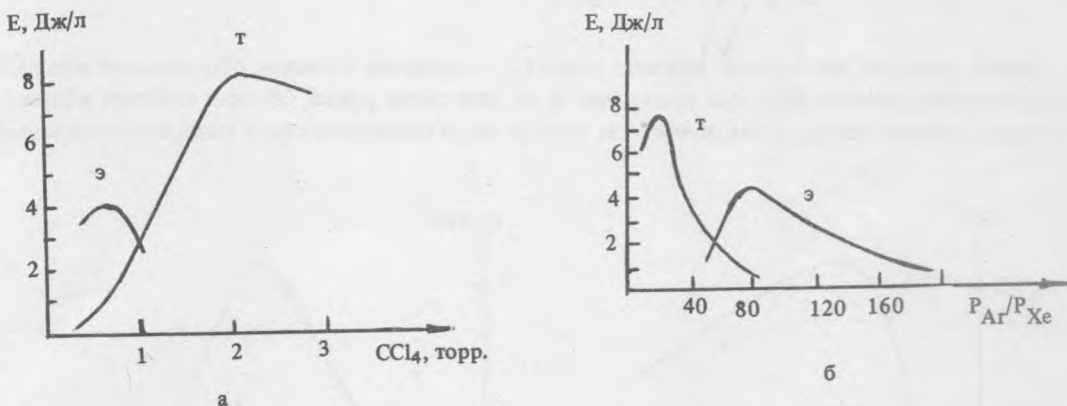


Рис. 3. Расчетные (г) и экспериментальные (э) /9/ зависимости: а) удельной энергии излучения от парциального давления CCl_4 и б) удельной энергии излучения от содержания аргона в смеси при $E_e = 150 \text{ кэВ}$, $\tau_{1/2} = 2 \text{ мкс}$, $j = 8 \text{ А/см}^2$ ($\nu_{\text{Xe}} = 750 \text{ с}^{-1}$), камера длиной 1 м, коэффициенты отражения зеркал $R_1 = 100\%$, $R_2 = 40\%$, $P = 2,5 \text{ атм}$, $\text{Xe}:\text{CCl}_4 = 50:1$.

Сравнение экспериментальных и теоретических результатов представлено на рис. 1–3. Вычисления проведены с помощью пакета программ PLASER, описанного в /6/, где на основе известных плазмохимических реакций и сечений вынужденного излучения и поглощения на компонентах среды вычислялись в "нульмерном" приближении переноса излучения выходные энергетические характеристики смеси. Видно, что расчетные значения выходной энергии и оптимальных концентраций реагентов смеси отличаются от экспериментальных в 2–3 раза. Это является не столь удручающим, если учесть, что на рисунках проводится сравнение с экспериментами, в которых резко различаются начальные условия. Например, частота ионизации по ксенону изменяется в интервале $\nu_{\text{Xe}} = 7,5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$, длительность импульса накачки

на полувысоте $\tau_{0,5} = 25$ нс — 2 мкс, давление $P = 1-8$ атм. Слабым местом данной модели, на наш взгляд, является неучет сечения прилипания электрона к CCl_4 с образованием различных отрицательных ионов (не только Cl^-), сечения прилипания к продуктам этой реакции, например, к CCl_3 , а также каналов образования молекулы XeCl^* с участием этих ионов. Необходимо дальнейшее изучение этих реакций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lewin L. A. et al. IEEE J. Quant. Electron., QE-17, 2282 (1981).
Kannari F. et al. IEEE J. Quant. Electron., QE-19, 1587 (1983).
2. Бойченко А. М. и др. Квантовая электроника, 16, 278 (1989).
Бойченко А. М. и др. Препринт ИОФАН № 37, М., 1988.
3. Chutjian A., Alajajian S.Y. Phys. Rev., A31, 2885 (1985).
4. Spence D., Schulz G. J. J. Chem. Phys., 58, 1800 (1973).
5. Scheunemann H. H., Illenberger E., Baumgärtel H. Ber. Bunsenges. Phys. Chem., 84, 580 (1980).
6. Бойченко А. М. и др. Препринт ИОФАН № 282, М., 1987.
7. Бычков Ю. И. и др. Письма в ЖТФ, 3, 1233 (1977).
8. Лосев В. Ф., Тарасенко В. Ф., Бычков Ю. И. Квантовая электроника, 6, 1561 (1979).
9. Бычков Ю. И. и др. Квантовая электроника, 10, 1510 (1983).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 21 мая 1990 г.