

## МОДЕЛЬ ЛАЗЕРА НА ФОТОДИССОЦИАТИВНОМ ПЕРЕХОДЕ ЭКСИПЛЕКСА NeF\* (108 нм)

В.И. Держиев, А.Г. Жидков, О.В. Середа, С.И. Яковленко

*Построена кинетическая модель релаксации Ne-F<sub>2</sub> смеси, накачиваемой электронным или ионным пучком. Показано, что при мощной накачке (0,5 ÷ 5 кДж/л за 50 нс) в смеси [Ne]:[F<sub>2</sub>] = 1000:3 возможна генерация с КПД до 7 ÷ 15%.*

Эмиссия на переходе NeF\* (108 нм) предсказана в работе /1/ и наблюдалась в /2/ при накачке Ne-F<sub>2</sub> смеси электронным пучком. В данной работе построена кинетическая модель и показана возможность создания эффективного NeF лазера.

Реализация NeF лазера существенно осложняется тем, что верхнее рабочее В-состояние пересекается с ридберговским состоянием <sup>4</sup>П. Из данных работы /3/ следует, что точка пересечения рабочего и разлетного терма находится сравнительно далеко от дна ямы ( $r_{\text{пер}} = 2,6 \text{ \AA}$ ,  $r_{\text{рав}} = 1,93 \text{ \AA}$ , разность энергии между дном ямы и точкой пересечения термов  $\Delta E = 1,1 \text{ эВ}$ ). Однако по мнению авторов /4/ скорость преддиссоциации NeF\* достаточно велика ( $2 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$ ) и значительно превосходит скорость радиационного распада  $A = 4,2 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$  /1/. Далее показано, что это приводит к требованию высокой удельной мощности накачки, но не закрывает возможности получения генерации с КПД по вложенной энергии до 7 ÷ 15%.

Кинетическая модель содержит уравнения баланса ионов Ne<sup>+</sup>, Ne<sub>2</sub><sup>+</sup>, F<sup>-</sup>, возбужденных атомных и молекулярных состояний Ne\*, Ne\*\*, Ne<sub>2</sub><sup>\*</sup>, F\*, F<sub>2</sub><sup>\*</sup>, NeF\*, Ne<sub>2</sub>F\*, а также уравнения для температур электронов T<sub>e</sub> и тяжелых частиц T, всего 13 уравнений. При исследовании генерационных характеристик уравнения баланса частиц и теплового баланса решались совместно с уравнением для интенсивности излучения, причем резонатор характеризовался декрементом затухания излучения. Учитывалось всего 56 реакций по данным работ /1–5/. Основные каналы релаксации, приводящие к наполнению верхнего рабочего состояния эксиплекса NeF\*, обусловлены ион-ионной рекомбинацией Ne<sup>+</sup> и F<sup>-</sup>, Ne<sub>2</sub><sup>+</sup> и F<sup>-</sup>. При высокой газовой температуре существенную роль играет реакция



При попытках получения генерации на NeF\* естественно использовать высокие плотности смеси, поскольку тушение рабочего состояния с химических реакций несущественно на фоне преддиссоциативного распада вплоть до P = 5 атм. Кроме того, мы ориентировались на накачку ионным пучком, аналогичным применявшемуся в работе /6/ для накачки смесей Ne-Kr-F<sub>2</sub> и Kr-F<sub>2</sub>. Поэтому расчеты проведены для давления P = 5 атм и частоты ионизации  $\nu = 10^3 \div 10^5 \text{ с}^{-1}$  при длительности импульса на полувывсоте  $\tau_{0,5} = 50 \text{ нс}$ . Это соответствует ионному току  $j_p = 1,6 \div 160 \text{ А/см}^2$  или электронному току  $j_e = 10^2 \div 10^4 \text{ А/см}^2$ , и удельному энергозатрату  $E_H = 50 \div 5000 \text{ Дж/л}$ .

Расчеты показывают (рис. 1), что пиковые коэффициенты усиления оказываются достаточно большими ( $\kappa = 9 \text{ м}^{-1}$  при  $E_H = 500 \text{ Дж/л}$ ,  $\kappa = 1,8 \text{ см}^{-1}$  при  $E_H = 5 \text{ кДж/л}$ ). При мощной накачке  $\nu = 10^5 \text{ с}^{-1}$  ( $E_H = 5 \text{ кДж/л}$ ) усиление начинает срывать еще на фронте импульса пучка из-за повышения газовой температуры и, соответственно, увеличения скорости фотоассоциации\*. Следующий из расчетов оптимальный состав смеси [Ne]:[F<sub>2</sub>] = 1000:3 близок к данным работы /2/ для интенсивности спонтанного излучения (1000:1,8).

\* По поводу срыва инверсии фотодиссоциативного перехода за счет перегрева газа см. /7, 8/.

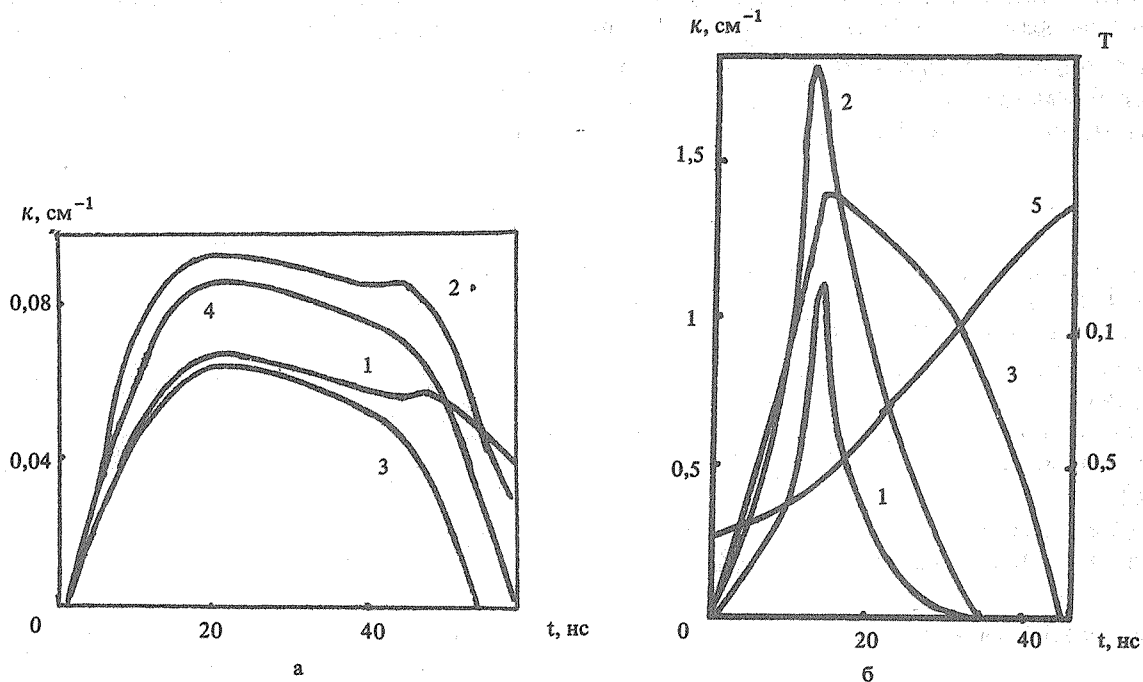


Рис. 1. Зависимость коэффициента усиления от времени при  $\nu = 10^4 \text{ с}^{-1}$  (а),  $10^5 \text{ с}^{-1}$  (б);  $P = 5 \text{ атм}$ ,  $[\text{Ne}] = 1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ : 1 -  $[\text{Ne}]:[\text{F}_2] = 1000:1$ , 2 -  $1000:3$ , 3 -  $1000:10$ , 4 -  $1000:3$  (сечения фотопоглощения увеличены вдвое и отсутствует реакция  $\text{Ne}_2\text{F}^* + \text{Ne} = \text{NeF}^* + 2\text{Ne}$ ), 5 - зависимость от времени газовой температуры  $T$ .

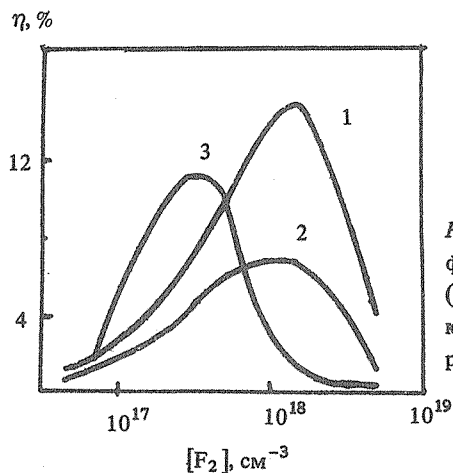


Рис. 2. Зависимость КПД NeF лазера (по вложенной энергии) от плотности фтора при  $P = 5 \text{ атм}$ ,  $[\text{Ne}] = 1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ,  $\tau_{0,5} = 50 \text{ нс}$ ; 1, 2 -  $\nu = 10^5 \text{ с}^{-1}$  ( $E_{\text{H}} = 5 \text{ кДж/л}$ ), 3 -  $\nu = 10^4 \text{ с}^{-1}$  ( $E_{\text{H}} = 0,5 \text{ кДж/л}$ ). Кривые 2 и 3 соответствуют расчету с увеличенными вдвое сечениями фотопоглощения и исключена реакция  $\text{Ne}_2\text{F}^* + \text{Ne} = \text{NeF}^* + 2\text{Ne}$ .

Расчеты генерационных характеристик (для резонатора длиной 30 см с одним глухим зеркалом, а другим, пропускающим 50% излучения) показывают, что в этих условиях при малой накачке  $\nu = 10^3 \text{ с}^{-1}$ ,  $E_{\text{H}} = 50 \text{ Дж/л}$  генерации нет. При сильной накачке КПД по вложенной энергии достигает 10–15% (рис. 2). Анализировалось влияние некоторых параметров модели на выход рабочего излучения. Увеличение вдвое используемых значений сечений фотопоглощения ( $\sigma_{\text{F}} = 1,3 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$ ,  $\sigma_{\text{F}_2} = 1,5 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$ ) и исключение из рассмотрения реакции (1) привело к уменьшению вдвое максимального значения КПД.

Таким образом, расчеты показывают, что при достаточно мощной накачке  $\nu = 10^4 - 10^5 \text{ с}^{-1}$  ( $j_e = 10^3 - 10^4 \text{ А/см}^2$ ,  $j_p = 16 - 160 \text{ А/см}^2$ ,  $E_{\text{H}} = 0,5 \div 5 \text{ кДж/л}$  при  $\tau_{0,5} = 50 \text{ нс}$ ) возможна эффективная генерация с КПД до 7 ÷ 15% в смеси  $[\text{Ne}]:[\text{F}_2] = 1000:3$ . Чтобы обеспечить большие удельные энерговклады

перспективно использовать ионный пучок, который эффективен при накачке бинарных смесей /6/. Можно также использовать сильноточный электронный пучок ( $j_e \sim 1 - 10 \text{ кА/см}^2$ ) и коротковолновое электромагнитное излучение. Разбавление Ne-F<sub>2</sub> смеси гелием должно улучшить условия генерации за счет снижения газовой температуры и ускорения релаксации по электронным колебательным состояниям. Оценки показывают, что примеси O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O не должны превышать соответственно  $10^{15}$ ,  $10^{17}$ ,  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Winter N. W., Bender C. F., Rescigno T. N. J. Chem. Phys., 67, 3122 (1977).
2. Rice J. K., Hays A. K., Woodworth J. R. Appl. Phys. Lett., 31, 31 (1977).
3. Ewing J. J., Brau C. A. Phys. Rev., A12, 129 (1975).
4. McDaniel E. W. et al. Compilation of data relevant to nuclear pumped lasers. Report H-78-1, Alabama, 1978.
5. Huestis D. L. et al. J. Chem. Phys., 69, 5133 (1978).
6. Артеев М. С. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 48, 2321 (1984); Квантовая электроника, 13, 2191 (1986).
7. Гудзенко Л. И., Шелепин Л. А., Яковленко С. И. УФН, 114, 27 (1974).
8. Гудзенко Л. И., Яковленко С. И. Плазменные лазеры. М., Атомиздат, 1978.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 15 октября 1987 г.