

### КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ Хе ЛАЗЕРА НА СМЕСИ Ar-Xe, НАКАЧИВАЕМОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

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

*Построена кинетическая модель активной среды на ИК переходах атома Хе в смеси Ar-Xe, накачиваемой жестким ионизатором, хорошо описывающая генерационные характеристики лазера в широком диапазоне мощности накачки.*

Впервые генерация на ИК переходах атома Хе в смеси Ar-Xe была получена в разряде, инициированном электронным пучком /1 – 3/. Затем генерация была осуществлена при накачке продуктами ядерных реакций /4/, электронным пучком /5, 6/, при комбинированной накачке – электронным пучком в разряде /7/. Во всех режимах продемонстрирована высокая эффективность (КПД ~ 1 – 3%) Хе лазера /8/. В этой связи представляет интерес разработка кинетической модели Хе лазера, справедливой в широком диапазоне мощностей накачки. Это важно еще и потому, что в работах /1 – 8/ нет единой точки зрения на механизмы заселения верхних рабочих уровней.

В данной работе на основе комплекса программ "Плазер-1" построена кинетическая модель Хе лазера ( $\lambda = 1,73; 2,63; 2,65 \text{ мкм}$ ) в смеси Ar-Xe, накачиваемой жестким ионизатором. Модель включает уравнения баланса ионов  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{Ar}^+_2$ ,  $\text{ArXe}^+$ ,  $\text{Xe}^+$ ,  $\text{Xe}^+_2$ , возбужденных атомных и молекулярных состояний  $\text{Ar}^*$ ,  $\text{Ar}^{**}$ ,

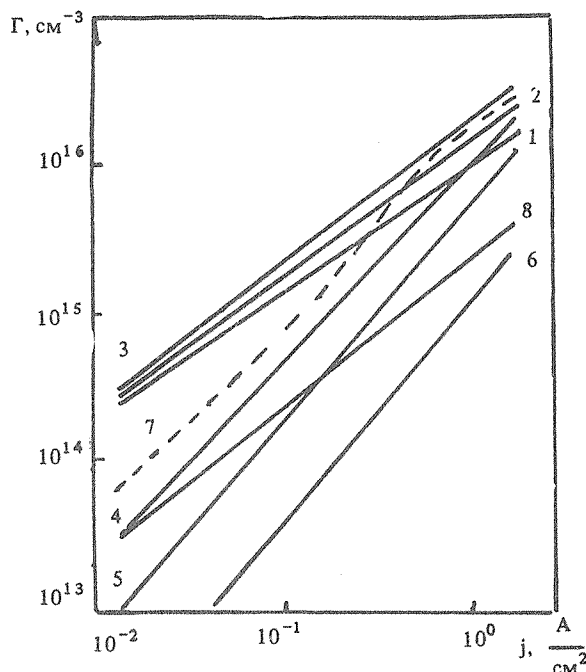


Рис. 1. Зависимость суммарных релаксационных потоков от плотности тока накачки при  $p = 4 \text{ атм}$ ,  $[\text{Xe}]/[\text{Ar}] = 1 - 1,3\%$ . 1 – 3 – поток диссоциативной рекомбинации (ДР)  $\Gamma_{\text{Xe}^+_2}$ ; 4 – 6 – поток ДР  $\Gamma_{\text{ArXe}^+}$ , 8 – поток при передаче возбуждения от Ar к Хе, 7 – экспериментальные измерения потока /10/. Константа замещения  $k = 10^{-11} \text{ см}^3/\text{с}$  – 1, 4;  $10^{-10}$  – 2, 5;  $7 \cdot 10^{-10}$  – 3, 6.

$\text{ArXe}^*$ ,  $\text{Ar}_2^*$ ,  $\text{Xe}_2^*$ ,  $\text{Ar}_2^*$  и 13 возбужденных состояний атома Xe ( $1s_i$ ,  $2p_i$ ,  $3d_i$ ). Всего учитывается 280 плазмохимических реакций, в том числе перемешивание возбужденных состояний атома Xe электронами и атомами. Модель включает также уравнения энергобаланса для электронной и газовой температур и уравнения формирования лазерного излучения с указанными выше длинами волн.

При излучении на длине волны  $\lambda = 1,73$  мкм ( $3d_2 - 2p_9$ ) заселение верхнего рабочего состояния  $3d_2$  атома Xe идет в процессах диссоциативной рекомбинации ионов  $\text{Xe}_2^+$ ,  $\text{ArXe}^+$ ; при передаче возбуждения с  $\text{Ar}^m$  на Xe; при прямом и ступенчатом возбуждении атомов Xe; в ходе тройной рекомбинации. Все эти процессы учтены в модели. При накачке электронным пучком основными являются три первых механизма накачки. На рис. 1 приведены результаты расчетов суммарных релаксационных потоков диссоциативной рекомбинации  $\text{ArXe}^+$ ,  $\text{Xe}_2^+$  и передачи возбуждения для различных значений тока накачки. Разные кривые соответствуют рас-

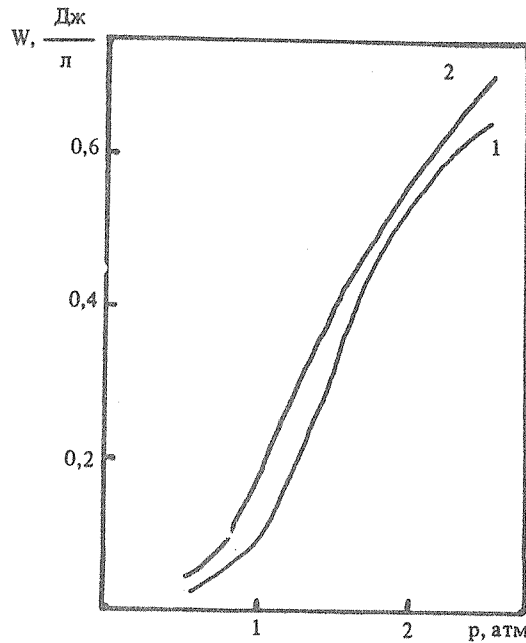


Рис. 2. Зависимость энергосъема от давления смеси  $\text{Ar} : \text{Xe} = 1 : 75$  при  $j = 6 \text{ A/cm}^2$ ,  $\tau_{0,5} = 0,7$  мкс: 1 – эксперимент /5/, 2 – расчет.

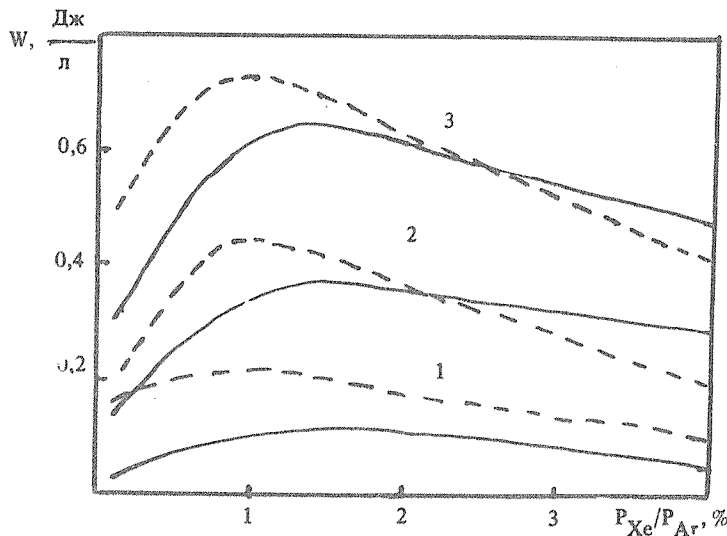


Рис. 3. Зависимость удельного энергосъема от состава смеси при  $j = 6 \text{ A/cm}^2$ ,  $\tau_{0,5} = 0,7$  мкс и давлениях 1 атм (1), 1,5 атм (2), 2,5 атм (3): сплошные линии – эксперимент /5/, пунктир – расчет.

четам с разными константами замещения  $\text{ArXe}^+ + \text{Xe} \rightarrow \text{Xe}_2^+ + \text{Ar}$ , которые в литературе варьируются от  $10^{-11}$  /9/ до  $7 \cdot 10^{-10}$  /2/. На том же рисунке дано значение эффективного потока накачки  $\Gamma_\Sigma$  состояния  $3d_2$ , необходимого для обеспечения экспериментальных характеристик генерации /10/. Как видно из рисунка, при плотностях тока накачки  $j \sim 0,5 \text{ А/см}^2$  высокий КПД  $\gg 2\%$  может обеспечить только диссоциативная рекомбинация иона  $\text{Xe}_2^+$ . С ростом плотности тока накачки возрастает вклад рекомбинации иона  $\text{ArXe}^+$ , что видно из поведения зависимости  $\Gamma_\Sigma$  и потока рекомбинации  $\text{Xe}_2^+$  от  $j$ .

Расчеты характеристик генерации в широком диапазоне плотностей тока накачки и сравнение их с данными экспериментов /5, 6, 10/ показало, что наилучшее согласие с экспериментом (по давлению, составу смеси и накачке) обеспечивается при константе замещения  $10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$  и эффективности заселения состояния  $3d_2$ :  $\Gamma_{\text{ArXe}^+(3d_2)}/\Gamma_{\text{ArXe}^+} = 0,6$ ;  $\Gamma_{\text{Xe}_2^+(3d_2)}/\Gamma_{\text{Xe}_2^+} = 0,3$ ;  $\Gamma_{\text{Ar}^*(3d_2)}/\Gamma_{\text{Ar}^*} = 0,1$ . На рис. 2, 3 приведены результаты расчетов зависимостей характеристик генерации линии  $\lambda = 1,73 \text{ мкм}$  от давления и состава смеси, а также сравнение с экспериментом /5/.

Построенная модель обеспечивает согласие с экспериментами /4, 5/ с точностью до коэффициента  $\sim 2$  в широком диапазоне параметров смеси и накачки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Newman L. A., De Temple T. A. Appl. Phys. Lett., 27, 678 (1975).
2. Lawton S. A. et al. J. Appl. Phys., 50, 3888 (1979).
3. Лосев В. Ф., Тарасенко В. Ф. Квантовая электроника, 7, 663 (1980).
4. Воинов А. М. и др. ДАН СССР, 245, 80 (1979); Письма в ЖТФ, 7, 1016 (1981).
5. Басов Н. Г. и др. Письма в ЖТФ, 8, 590 (1982).
6. Бычков Ю. И. и др. Письма в ЖТФ, 8, 837 (1982).
7. Basov N. G. et al. IEEE J. Quant. Electr., QE-19, 126 (1983).
8. Басов Н. Г. и др. Квантовая электроника, 11, 1722 (1984).
9. Cannari F. et al. IEEE J. Quant. Electr., QE-19, 1587 (1983).
10. Басов Н. Г. и др. Квантовая электроника, 13, 1543 (1986).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 19 декабря 1988 г.