

**КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕННИНГОВСКОГО Ne-H₂ ЛАЗЕРА (λ = 585 нм),
НАКАЧИВАЕМОГО ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

В.И. Держиев, А.Г. Жидков, А.В. Коваль, С.И. Яковленко

Построена кинетическая модель пеннинговского плазменного Ne лазера в смеси Ne-H₂, накачиваемой электронным пучком. Выполнены расчеты параметров плазмы и характеристик генерации желтой линии Ne (λ = 585,3 нм) в нестационарном режиме накачки, удовлетворительно согласующиеся с экспериментальными данными.

Пеннинговский плазменный лазер [1, 2] впервые был запущен в июле 1984 г. [3] при накачке электронным пучком смесей Ne-H₂ (Ne-Ar, He-Ne-Ar) на переходе 2p₁-1s₂ (λ = 585,3 нм) атома неона. Импульсная генерация (λ = 585,3 нм) также получена в послесвечении электрического разряда [4] и при накачке электронным пучком от промышленного рентгеновского аппарата МИРА-2 при уникально низком энергокладе [5]. Несмотря на интенсивные экспериментальные исследования пеннинговского плазменного лазера (ППЛ) на атоме неона [6], в литературе отсутствуют удовлетворительные расчеты релаксации смеси Ne-H₂, что объясняется недостатком данных о константах скоростей элементарных плазмохимических процессов.

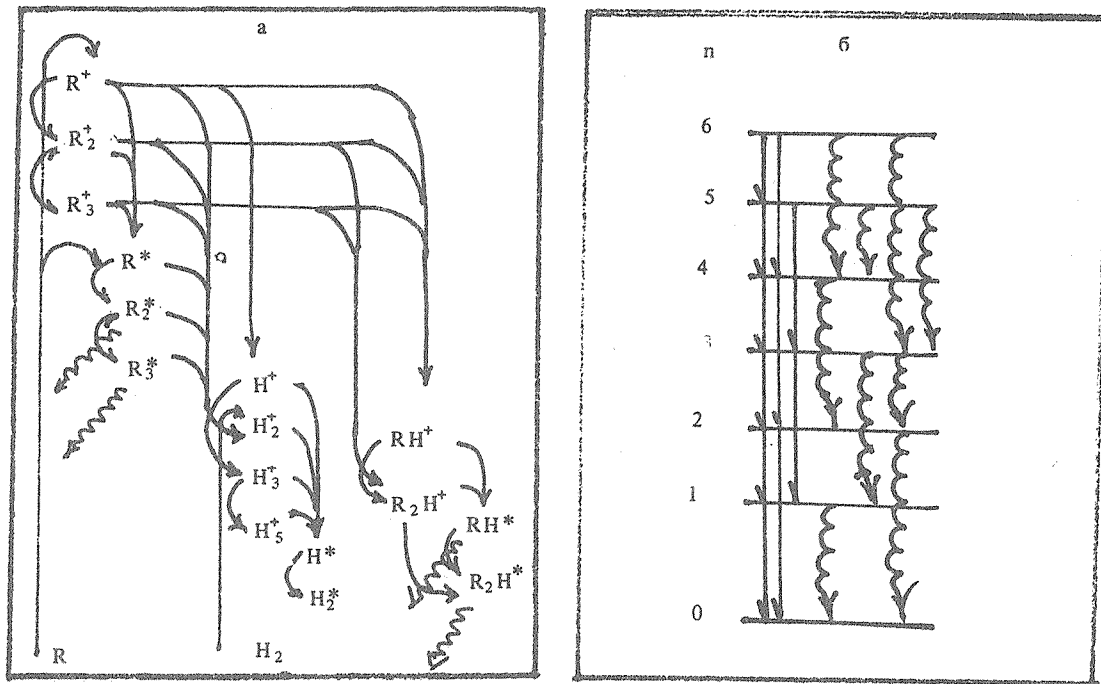


Рис. 1. а) Схема основных релаксационных процессов в активной среде Ne-H₂ (R=Ne); б) схема поуровневой кинетики атома неона Ne* (n) (значениям n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 соответствуют состояния ¹S₀; $\sum_{i=3}^5 1s_i$; 1s₂; $\sum_{i=9}^{10} 2p_i$; 2p₁; 2s₁; 3s₁; стрелкой обозначены столкновительные переходы с участием атомов и электронов, волнистой линией – радиационные переходы.

В настоящей работе построена кинетическая модель для смеси Ne-H₂, накачиваемой электронным пучком. В модель включены следующие компоненты: ионы Ne⁺, Ne₂⁺, Ne₃⁺, NeH⁺, Ne₂H⁺; возбужденные состояния атомов и молекул: Ne(3s), Ne(2s), Ne(2p₁), Ne(2p₂ - 2p₁₀), Ne(1s₂), Ne(1s₃ - 1s₅), Ne₂^{*}, Ne₃^{*}, NeH^{*}, Ne₂H^{*}, H^{*}, H₂(v); учтены также ионы H⁺, H₂⁺, H₃⁺, H₅⁺. Схема основных релаксационных процессов показана на рис. 1. Константы скоростей основных плазмохимических реакций представлены в работе /8/. Энергобаланс Ne-H₂ плазмы рассчитывался так же, как в случае He-Ne-Ar смеси /7/. Дополнительно учитывалось охлаждение электронов плазмы при возбуждении колебательных степеней свободы молекулы водорода. Этот процесс приводит к понижению температуры электронов и, соответственно, увеличивает рекомбинационный поток на верхний рабочий уровень перехода Ne(2p₁) - Ne(1s₂) на линии λ = 585,3 нм. Совместно с уравнениями баланса числа частиц рассматривались уравнения для газовой T и электронной T_e температур /7, 8/. Учитывались акты ионизации и возбуждения электронами пучка, процессы тройной и диссоциативной рекомбинации; реакции конверсии ионов, Пеннинга, перезарядки; ионизации возбужденных состояний неона при столкновениях с электронами плазмы, спонтанные и вынужденные радиационные переходы. Для расчета генерационных характеристик желтой линии (λ = 585,3 нм) рассматривалась поуровневая кинетика атома Ne /7, 8/. Уравнение для интенсивности излучения, решаемое совместно с уравнениями баланса, рассматривалось в приближении однородного поля резонатора. Расчеты проводились с использованием пакета программ PLASER-1 на ЭВМ ЕС-1060, 1055.

Основным механизмом заселения верхнего рабочего состояния является диссоциативная рекомбинация Ne₂^{*}. Распад состояний обусловлен самотушением Ne и доминирующей реакцией Пеннинга на молекуле H₂. Последний процесс формирует инверсную заселенность рабочего перехода (2p₁ - 1s₂). Скорость распада верхнего рабочего состояния 2p₁ в три раза меньше, чем для нижнего 1s₂ /9/. Результаты расчетов параметров плазмы и генерационных характеристик линии λ = 585,3 нм неона в смеси Ne-H₂ представлены на рис. 2 и 3.

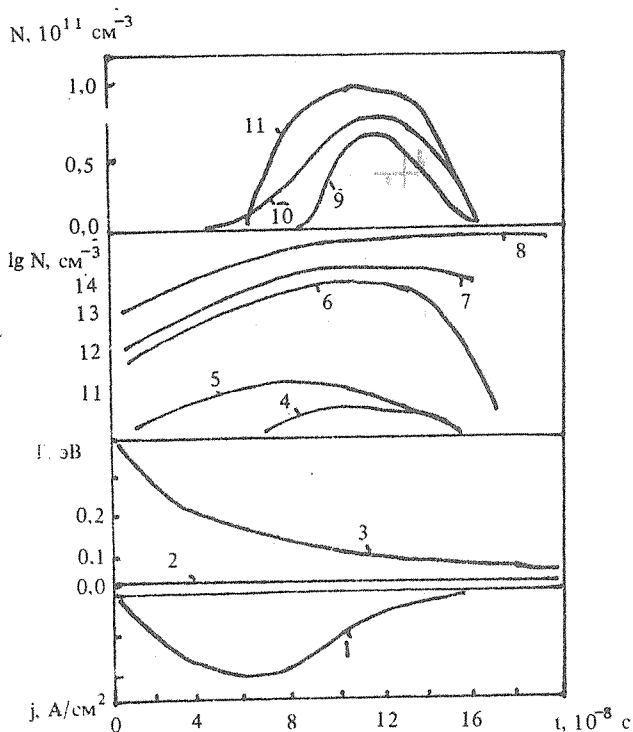


Рис. 2. Временная зависимость параметров T, T_e, N_e и основных реагентов в плазме Ne-H₂, накачиваемой электронным пучком: p = 0,27 атм; Ne : H₂ = 2 : 1; кривыми обозначены j (1), T (2), T_e (3), [Ne(2s)]/g(2s) (4), [Ne₂^{*}] (5), [Ne⁺] (6), N_e (7), [H₂(v)] (8), [Ne(3s)]/g(3s) (9), [Ne(1s₂)]/g(1s₂) (10), [Ne(2p₁)]/g(2p₁) (11).

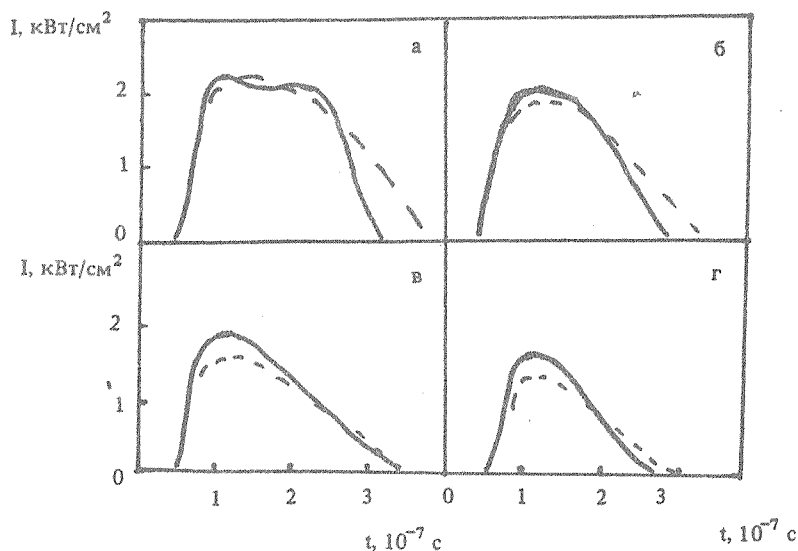


Рис. 3. Осциллограммы импульсов генерации смеси $\text{Ne-H}_2 = 1 : 1$ при различных давлениях $p = 1,2$ (а), 1 (б), $0,6$ (в), $0,4$ (г) атм; — — экспериментальные данные /3/; - - - - расчет при токе пучка $j = 40 \text{ A/cm}^2$, энергии электронов $E_e = 150 \text{ кэВ}$, длине импульса накачки $\tau = 120 \text{ нс}$, активной длине $L = 42 \text{ см}$, $V = 200 \text{ см}^3$, $r_2 = 95 \%$, $r_1 = 98 \%$.

Температура электронов плазмы Ne-H_2 ниже, чем в смеси Ne-Ne-Ar [7, 9] того же давления, что формирует инверсию на переходе $2p_1 - 1s_2$ уже во время действия пучка накачки. Зависимость пиковой мощности генерации от содержания Ne-H_2 в смеси иллюстрирует рис. 3. Поведение кривой определяется конкуренцией механизмов перезарядки ионов Ne^+ , Ne_2^+ , Ne_3^+ на H_2 , пеннинговской ионизации, самотушением при формировании инверсной заселенности и ростом I_{sat} с увеличением Ne в смеси. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными в широком диапазоне условий накачки и экспериментальных параметров (давлений, составов смеси) генерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудзенко Л. И., Яковленко С. И. Препринт ФИАН № 158, М., 1969; ЖЭТФ, 59, 1863 (1970); Гудзенко Л. И., Земцов Ю. К., Яковленко С. И. Письма в ЖЭТФ, 12, 244 (1970).
2. Гудзенко Л. И., Яковленко С. И. Плазменные лазеры. М., Атомиздат, 1978.
3. Бункин Ф. В. и др. Квантовая электроника, 12, 245 (1985).
4. Schmieder D. et al. Optics Comms., 36, 223 (1981).
5. Бункин Ф. В. и др. Квантовая электроника, 12, 1993 (1985).
6. Бункин Ф. В. и др. Изв. АН СССР, сер. физич., 50, 1064 (1986).
7. Держиев В. И. и др. Препринт ИОФАН № 233, М., 1987; Квантовая электроника, 15, 108 (1988).
8. Держиев В. И. и др. Препринт МИФИ № 16, М., 1988.
9. Пастор А. А., Романов Л. А., Сердобинцев П. Ю. Вестник ЛГУ, 10, 102 (1984); Борисов В. Б. и др. В сб. "Элементарные процессы при столкновении атомных и молекулярных частиц", изд. Чувашского госуниверситета, Чебоксары, 1987, с. 12.