

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ He-Zn ЛАЗЕРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

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

Построена кинетическая модель He-Zn лазера высокого давления с накачкой за счет объемной ионизации. Проведено численное моделирование релаксации He-Zn плазмы, исследована возможность формирования инверсии на переходах иона Zn II.

Лазеры на переходах ионов металлов второй группы таблицы Менделеева (Be, Mg, Ca, Zn, Sr, Cd, Ba, Hg) известны давно /1/. В последнее время к ним вновь проявляется интерес в связи с возможностью накачки смесей паров этих металлов с инертными газами при высоком давлении жесткими ионизаторами (электронными пучками и заряженными продуктами ядерных реакций) /2, 3/. В данной работе приводятся результаты численного моделирования релаксации He-Zn плазмы высокого давления ($p \approx 1-3$ атм), возбуждаемой пучком высокоэнергетичных электронов ($E \approx 100$ кэВ). Плотность тока принималась равной 100 А/см², диаметр пучка 1,5 см, длительность накачки по основанию 10 нс. Такие параметры характерны для малогабаритного ускорителя РАДАН-150 /4/.

Проводились расчеты нестационарной кинетики и мощности генерируемого излучения. Рассчитывались концентрации ионов и возбужденных состояний He^+ , He_2^+ , He^* , He_2^* , Zn^+ , Zn_2^+ , Zn^{+*} , Zn^* , концентрация электронов N_e , а также электронная температура T_e при заданных концентрациях цинка и гелия (N_{Zn} и N_{He}), газовой температуре T и характеристиках накачки. Всего рассматривалось 35 плазмохимических реакций, 13 возбужденных состояний иона Zn II ($4p^2P_{1/2, 3/2}$; $3d^9 4s^2 S_{3/2, 5/2}$; $5s^2 S_{1/2}$; $5p^2 P_{1/2, 3/2}$; $4d^2 D_{3/2, 5/2}$; $5d^2 D_{3/2, 5/2}$; $4f^2 F_{5/2, 7/2}$) и одно эффективное состояние атома ZnI, составленное из двух метастабильных и одного долгоживущего состояния триплетта Zn $4s4p^3 P_{0, 1, 2}$ с общей вероятностью распада $3,28 \cdot 10^4$ с⁻¹. Основными реакциями накачки состояний $3d^9 4s^2 D_{3/2, 5/2}$ являются реакции Пеннинга и перезарядки



а для уровней с конфигурацией $3d^1 n/m$ реакция перезарядки



Поскольку парциальные скорости реакции перезарядки с участием иона He_2^+ неизвестны, то для (2) они принимались равными (1) (по аналогии с кадмием /5, 6/).

Система уравнений релаксации плазмы решалась с использованием комплекса программ PLASER /7/. Наиболее перспективными с точки зрения получения лазерной генерации в He-Zn смеси представляются переходы между бейтлеровскими ($3d^9 4s^2 D$) и $4p^2 P$ уровнями иона Zn II. Это связано с большим различием во временах жизни этих уровней, несмотря на то, что нижние уровни резонансно связаны с основным состоянием иона и подвержены реабсорбции резонансного излучения. На рис. 1 представлены зависимости выходной мощности и КПД (пунктир) для перехода с $\lambda = 747,9$ нм ($4s^2 D_{5/2} - 4p^2 P_{3/2}$) в зависимости от температуры активной среды. Температурная зависимость имеет оптимум в области $T \approx 450 - 490$ °С. Спад мощности с ростом температуры объясняется интенсивным уводом ионов из верхнего рабочего состояния в реакции



с последующей диссоциативной рекомбинацией.

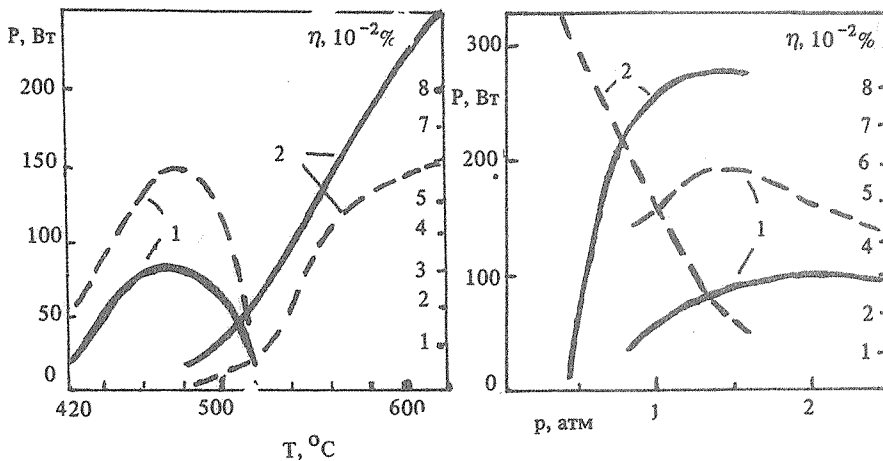


Рис. 1. Зависимость выходной мощности лазерного излучения P и КПД активной среды η (пунктир) от температуры газа: 1 - $\lambda = 747,9$ нм, $N_{\text{He}} = 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $R = 85\%$; 2 - $\lambda = 758,8$ нм, $N_{\text{He}} = 1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $R = 50\%$.

Рис. 2. Зависимость выходной мощности лазерного излучения P от КПД активной среды η (пунктир) от давления гелия: 1 - $\lambda = 747,9$ нм, $T = 480$ °C, $R = 85\%$; 2 - $\lambda = 758,8$ нм, $T = 610$ °C, $R = 50\%$.

Нижнее рабочее состояние нечувствительно к этой реакции вследствие большой вероятности радиационного распада. На рис. 2 представлена зависимость выходной мощности и КПД от концентрации буферного газа (гелия). Видно, что имеется оптимум в районе концентраций $N \approx 1$ Амага, причем только по выходной мощности, а КПД монотонно падает с ростом N_{He} . Это связано с тем, что с ростом концентрации гелия растет энергозатрат на единицу объема, однако при этом уширяется линия и растет вероятность увода ионов в реакции (4). Два последних обстоятельства приводят к падению КПД, а конкуренция с первым приводит к образованию оптимума по выходной мощности.

Таким образом, в результате численного моделирования релаксации He-Zn плазмы установлено, что из переходов между уровнями с конфигурацией $3d^{10}n/m$ наиболее перспективным является переход $5p^2P_{3/2} - 5s^2S_{1/2}$ ($\lambda = 758,8$ нм). В результате численного моделирования He-Zn лазера высокого давления с накачкой электронным пучком установлено, что оптимальные параметры активной среды для перехода с $\lambda = 747,9$ нм следующие: $T = 450 - 490$ °C, $N_{\text{He}} \approx 1$ Амага. КПД среды не превышает 0,1%. Для перехода с $\lambda = 758,8$ нм оптимальные условия генерации: $T \geq 500$ °C, $N_{\text{He}} \approx 0,5$ Амага. На других переходах инверсия либо отсутствует, либо слаба во всех расчетных диапазонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по лазерам. Под ред. А.М. Прохорова, т. 1, М., Сов. радио. 1978, с. 184.
2. Миськевич А. И. и др., Письма в ЖТФ, 6, 818 (1980).
3. Росса J. J., Mancini H. L., Wernsman B. IEEE J. of Quant. Electron., QE-22, 509 (1986).
4. Ельчанинов А. С. и др. Дефектоскопия, № 12, 68 (1984).
5. Держиев В. И. и др. Препринт ИОФАН № 51, М., 1987.
6. Держиев В. И. и др. Препринт ИОФАН № 282, М., 1987.
7. Держиев В. И. и др. Препринт ИОФАН № 281, М., 1987.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 23 марта 1988 г.