

## He-Cd-ЛАЗЕР С $\lambda=442, 534, 538$ НМ, НАКАЧИВАЕМЫЙ НАНОСЕКУНДНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

В.И. Д е р ж и е в, А.Г. Ж и д к о в, А.В. К а р е л и н,  
Д.Ю. Н а г о р н ы й, В.С. С к а к у н,  
В.Ф. Т а р а с е н к о, А.Ф. Ф е д е н е в,  
С.И. Я к о в л е н к о

1. Несмотря на то что генерация в He-Cd смеси при накачке электрическими разрядами [1] и ядерными осколками [2] исследуется уже давно, практически нет данных по накачке электронными пучками. Имеется только сообщение [3], что при пучковой накачке была получена генерация на Cd I и Cd II в ближней ИК области, а также слабая генерация на зеленых линиях ( $\lambda=534$  и  $538$  нм). В данной работе получена эффективная генерация как на синей (442 нм) так и на зеленых (534; 538 нм) линиях при накачке электронным пучком от малогабаритного ускорителя РАДАН-150 [4]. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. (Расчетная модель построена на основе работы [5]).

2. Для накачки He-Cd смеси использовалась схема с поворотом и фокусировкой электронного пучка импульсным магнитным полем (подробнее см. [6]). Центральная часть лазерной камеры нагревалась; длина нагреваемой области составляла 40 см. Объем нагреваемой области был примерно вдвое меньше объема лазерной камеры. Во всех экспериментах применялся буферный газ гелий, который предварительно напускался в холодную лазерную камеру. Указанные ниже давления гелия даны для холодного газа.

Диаметр вводимого в среду пучка электронов составлял 1.5 см, плотность тока  $j \approx 100$  А/см<sup>2</sup>, длительность импульса накачки по основанию  $\tau_{\text{НАК}} \approx 10$  нс, энергия электронов за фольгой  $U \approx 100$  кэВ. Применялся внутренний резонатор, образованный диэлектрическими зеркалами. Мощность и временные характеристики генерации определялись с помощью калиброванного фотодиода ФЭК-22, и осциллографа С8-12. Спектр излучения снимался с помощью спектрографа, для выделения отдельных линий генерации использовались светофильтры.

3. Проводились расчеты нестационарной кинетики He-Cd-смеси и интенсивности генерируемого излучения. Рассчитывались концентрации ионов и возбужденных состояний He<sup>+</sup>, He<sub>2</sub><sup>+</sup>, He<sup>+</sup>, He<sub>2</sub><sup>+</sup>, Cd<sup>+</sup>, Cd<sup>+</sup>, Cd<sup>\*\*</sup>, а также электронная температура Te при заданных: давлении p; газовой температуре T и характеристиках накачки. Всего учитывалось ~ 40 реакций и переходы между 13-ю возбужденными состояниями Cd II.

Наиболее важными каналами заселения верхних рабочих состояний  $4d^{10} 4f^{2F}_{7/2, 5/2}$  и  $4d^9 5s^2 3D_{5/2}$  являются соответ-

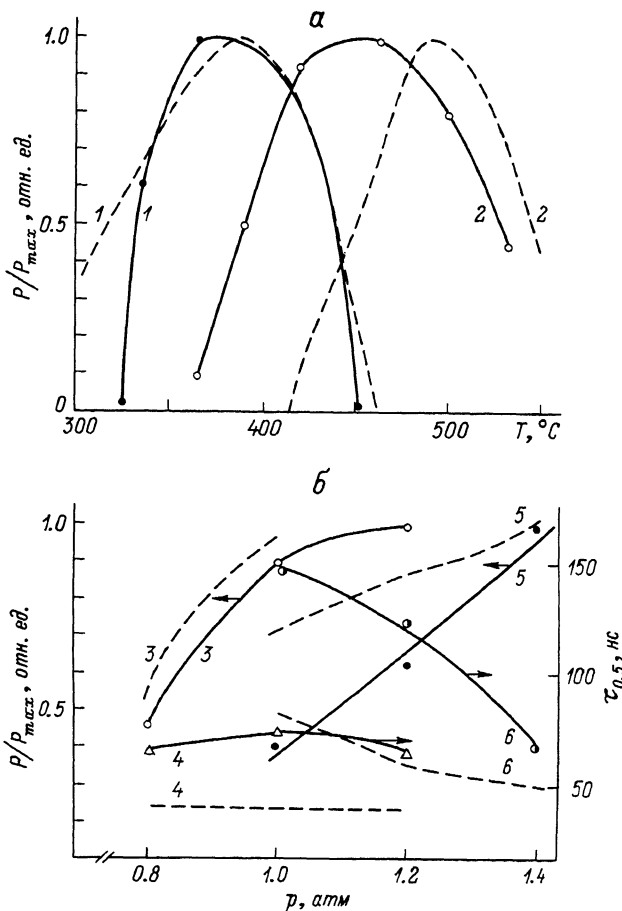


Рис. 1. Зависимость генерационных характеристик от температуры газа  $T$  (а) и давления холодного гелия (б): кривые 1, 2, 3, 5 дают пиковую мощность генерации, нормированную на максимальное значение; кривые 4, 6 – длительность генерации на полувысоте (1, 5, 6 – синяя линия, 2, 3, 4 – зеленые линии). Пунктиром нанесены результаты расчетов.

ственно: реакции переразрядки с  $He^+$  и  $He_2^+$  (накачки зеленых линий); а также пеннинговская реакция с возбуждением при столкновениях  $Cd$  и  $He^X$  (накачка синей линии). Впрочем, заметный вклад в накачку синей линии вносит и реакция перезарядки. Очистка нижних рабочих уровней  $4d^{10}5d^2D_{5/2,3/2}$  и  $4d^{10}5p^2P_{3/2}$  происходит в основном за счет радиационных переходов. Существенную роль

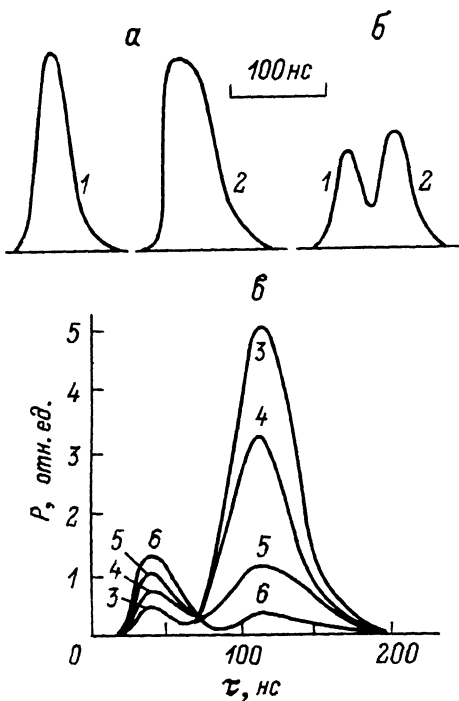


Рис. 2. Временные характеристики генерации: а) и б) – осциллограммы генерации на зеленых (1) и синей (2) линии в оптимальных условиях для каждой линии (а) и в условиях одновременной генерации (б); в) – результаты теоретических расчетов мощности генерации. Пропускная способность выходного зеркала резонатора 15%  $T=440$  °С (Кривая 3); 450 °С (4); 465 °С (6). Первый импульс – зеленые линии, второй импульс – синяя линия.

играют деэксцитирующие столкновения с гелием ( $5^2P_{3/2} - 5^2P_{1/2}$ ,  $4d^9 5s^2 \ ^2D_{3/2} - \ ^2D_{5/2}$ ). Это, в частности, приводит к срыву инверсии на переходе  $4d^9 5s^2 \ ^2D_{3/2} - 4d^{10} 5p^2P_{1/2}$  (325 нм) в плотной среде.

4. Генерация на синей линии имеет место при более низких температурах  $T \approx 330$  °С и линейно растет с давлением в диапазоне  $p \approx 0.8-1$  атм (см. рис. 1). При температурах 350–450 °С генерация наблюдалась и на синей и на двух зеленых линиях. При  $T > 400$  °С преобладали зеленые линии. Падение генерации с ростом температуры обусловлено уходом рабочих состояний в молекулу  $Cd_2^+$ . Начальное возрастание интенсивности синей линии с увеличением  $T$  обусловлено увеличением накачки за счет увеличения плотности паров, а зеленых линий – тем, что скорость реакции перезарядки растет с увеличением температуры.

Ввиду малой длительности накачки генерации имела место только в послесвечении (рис. 2). При этом максимум мощности излучения зеленых линий достигается раньше, чем для синей линии (см. рис. 2, в). Дело в том, что вероятность радиационного перехода у синей линии на два порядка меньше, чем зеленых линий. Поэтому для генерации на синей линии требуется большая заселенность верхнего рабочего уровня и большее время для накопления этой заселенности.

Из двух зеленых линий более мощной была с  $\lambda = 538$  нм, т. к. у нее больше суммарная скорость спонтанного перехода. Длительность генерации на зеленых линиях практически не зависела от давления (см. рис. 1, б), поскольку время релаксации ионов гелия определяется в этих условиях в основном плотностью паров кадмия. Длительность же генерации на синей линии падала с ростом давления, поскольку метастабиль гелия  $\text{He}^*$  с повышением давления быстрее образуют молекулу  $\text{He}_2^*$ , которая затем радиационно распадается.

Максимальные мощности излучения были получены при пропускании выходного зеркала 50% и составили 200 Вт для синей, 400 Вт для зеленых линий. Оценки КПД относительно энергии инжектированной в активную область дают 0.1%. Максимальный теоретический КПД по вложенной энергии составляет 0.16% для синей и 0.08% для зеленых линий.

Авторы благодарят С.Н. Атамася, Е.Л. Латуша, М.Ф. Сэма за создания устройства для нагрева лазерной камеры и полезную дискуссию.

## Л и т е р а т у р а

- [1] Справочник по лазерам. Под ред. А.Н. Прохорова, т. 1, М.: Сов. радио, 1978, с. 64.
- [2] М и с ь к е в и ч А.И. и др. Письма в ЖТФ, 1980, т. 6, в. 13, с. 818-820.
- [3] R o s s a J.J., M a n c i n i H.L., W e r n s - m a n B. - IEEE J. of Quant. Electron., 1986, v. QE-22, No. 4, p. 509-514.
- [4] Е л ь ч а н и н о в А.С., Ш п а к В.Г., Ю р и к е Я.Я., Я л а н д и н М.И. - Дефектоскопия, 1984. № 12, с. 68-73.
- [5] Д е р ж и е в В.И., Ж и д к о в А.Г., К а р е л и н А.В., Я к о в л е н к о С.И., - Препринт ИОФАН, № 51, 1987.
- [6] Б у н к и н Ф.В., Д е р ж и е в В.И., М е с я ц Г.А. и др. - Квантовая электроника, 1985, т. 12, с. 1983.

Институт общей физики  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
15 июля 1987 г.