

УДК 621.373.826

О ПРИРОДЕ ПАРАЗИТНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В Cd-ЛАЗЕРЕ ($\lambda = 325,0$ нм)

А. В. Карелин, Р. В. Широков

Построена кинетическая модель лазера на смеси He-Cd- CCl_4 с накачкой жестким ионизатором. Изучены механизмы влияния добавки CCl_4 на развитие релаксационных процессов в He-Cd- CCl_4 -плазме и на получение генерации на переходе $4d^9 5s^2 \ ^2D_{3/2} \rightarrow 4d^{10} 5p^2 \ ^2P_{1/2}$ иона кадмия с длиной волны 325,0 нм. Показано, что мощное паразитное поглощение в среде на данной длине волны обусловлено высокой концентрацией метастабильных атомов $Cd^(5p^3 P_2)$.*

Среди лазеров на парах металлов II группы с накачкой жестким ионизатором гелий-кадмиевый лазер представляет наибольший интерес, поскольку обладает наименьшим порогом генерации и наибольшим КПД в сочетании с достаточно короткими длинами волн генерации ($\lambda = 325,0; 441,6; 533,7$ и $537,8$ нм на переходах иона кадмия) [1]. Кроме того, в нем привлекает внимание принципиальная возможность создания достаточно эффективного лазера с ядерной накачкой на переходе с длиной волны, лежащей в УФ области спектра ($\lambda = 325,0$ нм).

В данной работе нас интересует, в основном, возможность получения квазистационарной генерации в условиях ядерной накачки на переходе $4d^9 5s^2 \ ^2D_{3/2} \rightarrow 4d^{10} 5p^2 \ ^2P_{1/2}$ в ионе кадмия с длиной волны 325,0 нм. Ранее на основании результатов численного моделирования [1, 2] отмечалось, что пороговая плотность потока нейтронов для него составляет $\approx 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при давлении He-Cd-смеси 2-3 атм и температуре 360-400°C, а максимальный КПД лазера не может превышать 0,2%. Высокий порог генерации и относительно низкий КПД были обусловлены девозбуждением верхнего рабочего уровня буферным газом гелием и мощным паразитным поглощением рабочего

излучения, величины которых были оценены на основе сравнения результатов теоретического моделирования с экспериментами по электронно-пучковой накачке [2 – 4]. Однако природа этого паразитного поглощения определена не была. Далее, в работе [5], было сделано предположение, что паразитное поглощение на этом переходе может быть обусловлено атомами кадмия на переходе с $\lambda = 325,25$ нм. После этого в [1] было показано, что сечение поглощения на этом переходе и заселенность поглощающих состояний могут достигать значительной величины.

Появление новых экспериментальных результатов [6 – 8], где была получена генерация на переходе с $\lambda = 325,0$ нм при накачке пучком электронов длительностью около 45 мкс, моделирующим передний фронт реакторного импульса в условиях ядерной накачки, заставило нас вернуться к некоторому пересмотру и уточнению созданной ранее кинетической модели *He-Cd* лазера [1 – 4], особенно в части, касающейся паразитного поглощения. Основанием для этого послужило то обстоятельство, что, как отмечается в [6, 7], срыв генерации на переходе с $\lambda = 325,0$ нм в смеси *He-Cd* происходит во время действия пучка. При добавлении же в смесь 1 *морр* CCl_4 срыв генерации отсутствует и импульс лазерного излучения заканчивается одновременно с окончанием импульса накачки [8]. Таким образом, было продемонстрировано улучшение генерационных характеристик лазера при введении в активную среду примеси CCl_4 .

В связи с этим в данной работе проводится теоретическое исследование влияния паразитного поглощения и примеси CCl_4 на развитие плазменных процессов в *He-Cd*-смеси и обсуждение конкретных механизмов этого влияния.

При описании кинетики *He-Cd*-плазмы учитывалось свыше 30 компонент, в том числе 3 возбужденных состояния атома кадмия и 17 возбужденных состояний иона кадмия. На рис. 1 изображена упрощенная схема плазмохимических реакций, учитываемых в модели. В основу была положена кинетическая модель *He-Cd* лазера, развитая нами ранее [1 – 4]. Отличительной особенностью является, кроме всего прочего, более детальное рассмотрение релаксационного потока через возбужденные уровни атома кадмия $5s5p^3P_{2,1,0}$ и учет паразитного поглощения излучения с $\lambda = 325,0$ нм атомами кадмия на переходе $5p^3P_2 \rightarrow 7s^3S_1$ (325,25 нм) с сечением $2,1 \cdot 10^{-17}$ см². Для описания влияния примеси CCl_4 на кинетику активной среды в модель дополнительно введено 18 компонент производных от CCl_4 . Полное число плазмохимических реакций, с учетом поуровневой кинетики, достигает 300. В расчетах использовался комплекс программ "ПЛАЗЕР" [2].

Описание экспериментальной установки и полученные с ее помощью результаты ис-

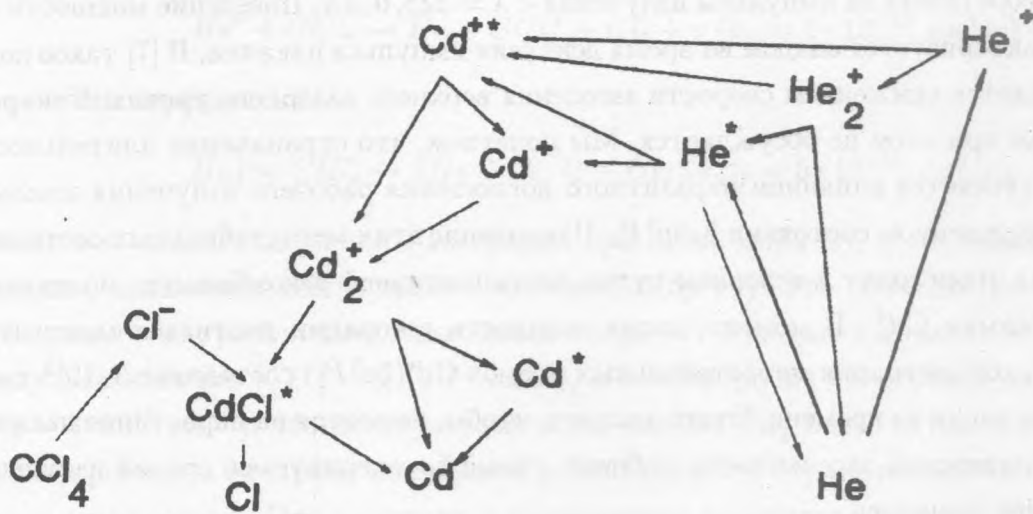


Рис. 1. Схема плазмотимических реакций в смеси He-Cd-CCl₄.

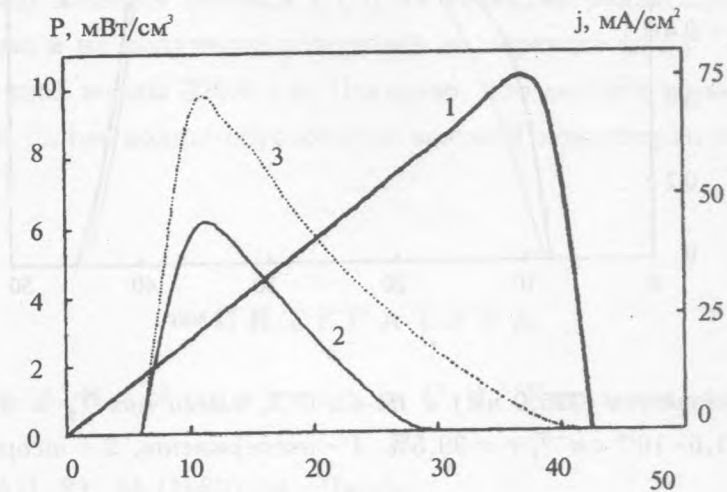


Рис. 2. Импульсы накачки пучком электронов (1) и генерации ($\lambda = 325,0$ нм) в He-Cd смеси при $T_g = 375^\circ C$, $[He] = 2,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $\tau = 99,5\%$: эксперимент (2) и теория (3).

следования He-Cd лазера с длиной волны 325,0 нм приведены в [6, 7]. Моделирование плазмотимических процессов, происходящих в He-Cd-смеси под действием слаботочно-

го электронного пучка, дало следующие результаты. На рис. 2 показаны экспериментальный и теоретический импульсы излучения с $\lambda = 325,0$ нм. Поведение мощности генерации характеризуется спадом во время действия импульса накачки. В [7] такое поведение объясняется снижением скорости заселения верхнего лазерного уровня. Конкретный механизм при этом не обсуждается. Мы полагаем, что ограничение длительности импульса объясняется влиянием паразитного поглощения рабочего излучения атомами кадмия в возбужденном состоянии $5s5p^3P_2$. Накопление этих метастабильных состояний атома кадмия происходит в основном путем диссоциативной рекомбинации молекулярных ионов кадмия Cd_2^+ . В момент, когда мощность генерации достигает максимума ($t = 10$ мкс), концентрация метастабильных атомов $Cd^*(5p^3P_2)$ составляет $3 \cdot 10^{12}$ см $^{-3}$ и продолжает расти во времени. Этого хватает, чтобы, несмотря на нарастание накачки и величины инверсной заселенности рабочих уровней, генерируемое средой излучение эффективно поглощалось.

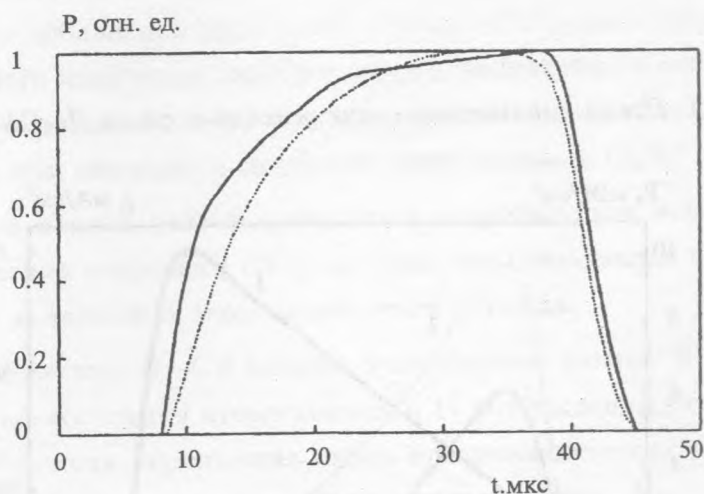
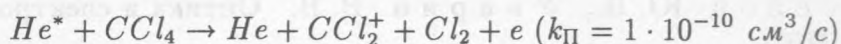


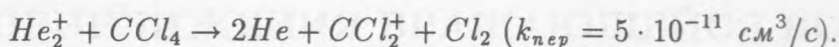
Рис. 3. Импульс генерации (325,0 нм) в He-Cd- CCl_4 смеси при $T_g = 375^\circ C$, $[He] = 2,7 \times 10^{19}$ см $^{-3}$, $[CCl_4] = 3,6 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$, $r = 99,5\%$: 1 - эксперимент, 2 - теория.

Сравнение результатов эксперимента [8] и теоретических расчетов для He-Cd лазера с добавлением примеси CCl_4 представлено на рис. 3. При добавлении CCl_4 наблюдается большее запаздывание импульса генерации, чем в отсутствие примеси. Это объясняется перехватом релаксационного потока с ионов He^+ , He_2^+ и атомов He^* на молекулы примеси CCl_4 и ее компоненты. Отмечается также некоторое запаздывание расчетного импульса генерации относительно экспериментального, которое может быть объяснено

несколько завышенными коэффициентами скоростей реакции Пеннинга



и реакции перезарядки



Появление квазистационарной генерации при добавлении CCl_4 обусловлено, в первую очередь, снижением концентрации атомов $\text{Cd}^*(5p^3P_2)$. Это объясняется тем, что концентрация электроотрицательных ионов хлора Cl^- в плазме настолько велика (к концу импульса накачки $[\text{Cl}^-] = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$), а концентрация электронов настолько мала ($N_e = 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$), что молекулярные ионы кадмия Cd_2^+ более активно вступают в реакции тройной и бинарной ион-ионной рекомбинации с отрицательными ионами хлора, чем с электронами. Это приводит к уменьшению концентрации ионов Cd_2^+ и, соответственно, снижению скорости образования паразитных атомов в ходе диссоциативной рекомбинации ионов Cd_2^+ .

Таким образом, построена кинетическая модель лазера на смеси He-Cd-CCl_4 с накачкой жестким ионизатором. Проведено численное моделирование активной среды, изучены механизмы влияния добавки CCl_4 на развитие релаксационных процессов в He-Cd-CCl_4 -плазме и на получение генерации на переходе $4d^95s^2D_{3/2} \rightarrow 4d^{10}5p^2P_{1/2}$ иона кадмия с длиной волны 325,0 нм. Показано, что мощное паразитное поглощение в среде на данной длине волны обусловлено высокой концентрацией метастабильных атомов $\text{Cd}^*(5p^3P_2)$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карелин А. В., Яковленко С. И. Квантовая электроника, **20**, N 7, 631 (1993).
- [2] Труды ИОФАН, **21**, 44 (1989), М., Наука.
- [3] Горюнов Ф. Г., Держиев В. И., Жидков А. Г. и др. Письма в ЖТФ, **14**, 18 (1988).
- [4] Горюнов Ф. Г., Держиев В. И. и др. Квантовая электроника, **16**, 10 (1989).
- [5] Барышева А. М., Бочков А. В., Бочкова Н. В. и др. Оптика и спектроскопия, **73**, 87 (1992).

- [6] Новоселов Ю. Н., Уварин В. В. ЖТФ, **65**, в. 4, 189 (1995).
- [7] Новоселов Ю. Н., Уварин В. В. Оптика и спектроскопия, **78**, N 6, 1004 (1995).
- [8] Новоселов Ю. Н., Уварин В. В. Письма в ЖТФ, **21**, в. 23, 15 (1995).

Поступила в редакцию 6 февраля 1997 г.