

# Механизм генерации стимулированного излучения на переходе $5s^2 2D_{5/2} - 5p^2 P_{3/2}$ Cd II при аномально низких температурах активной среды

А.В.Карелин

Обсуждается механизм генерации стимулированного излучения на переходе атомарного иона Cd II с  $\lambda = 441.6$  нм в припороговой температурной области, когда нельзя пренебречь вкладом распыления пленки чистого металлического кадмия заряженными продуктами ядерных реакций. На основании сравнения расчетных и экспериментальных данных получен суммарный усредненный коэффициент распыления кадмия продуктами ядерной реакции  ${}^3\text{He}(n, p)^3\text{T}$ , равный 10.8 атом./акт.

**Ключевые слова:** активная среда, ядерная накачка, лазер, смесь He–Cd, коэффициент распыления.

В работе [1] сообщается о генерации стимулированного излучения атомарного иона Cd II на переходе  $5s^2 2D_{5/2} - 5p^2 P_{3/2}$  с  $\lambda = 441.6$  нм в смеси He–Cd высокого давления, возбуждаемой заряженными продуктами ядерной реакции  ${}^3\text{He}(n, p)^3\text{T}$ , которая стимулирована потоком тепловых нейтронов от реактора ВИР-2М, при аномально низких температурах активной среды (АС)  $T_g = 162$  и  $206$  °С, нехарактерных для этого лазера [2, 3]. При таких температурах концентрация насыщенных паров кадмия составляет  $[\text{Cd}] = 4.8 \times 10^{11}$  и  $7 \times 10^{12}$  см<sup>-3</sup> соответственно. Эффект генерации автор [1] объясняет исключительно эмиссией вторичных возбужденных ионов, находящихся на верхнем рабочем уровне и возникающих в результате бомбардировки металлического кадмия ядерными частицами. При этом он не пытается объяснить наблюдаемый факт с позиций подробной кинетической модели такой АС [2–5]. Цель настоящей работы – восполнить этот пробел.

На рис.1 и 2 представлены расчетные временные зависимости выходной мощности и концентрации нейтральных атомов кадмия для  $T_g = 162$  и  $206$  °С без учета и с учетом распыления металлической пленки чистого кадмия заряженными продуктами ядерной реакции, которое приводило к инжекции нейтральных атомов в АС. Присутствие вредных примесей и паразитное поглощение в запыленных зеркалах не учитывалось. Усредненное значение суммарного коэффициента распыления кадмия  $S$  на один акт ядерной реакции (т. е. на две заряженные частицы) в литературе отсутствует, и потому оно оценивалось на основе сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными из работы [1] при  $T_g = 162$  °С (рис.1,б) (выходная мощность лазерного излучения  $P \approx 3$  мВт) и составило 10.8 атом./акт. Полученное значение  $S$ , в принципе, неплохо согласуется с имеющимися данными для других металлов и первичных ионов (разброс значений от 1 до 12 атом./ион [6]).

Из рис.1 и 2 следует, что распыление нейтральных атомов кадмия заряженными продуктами ядерных реак-

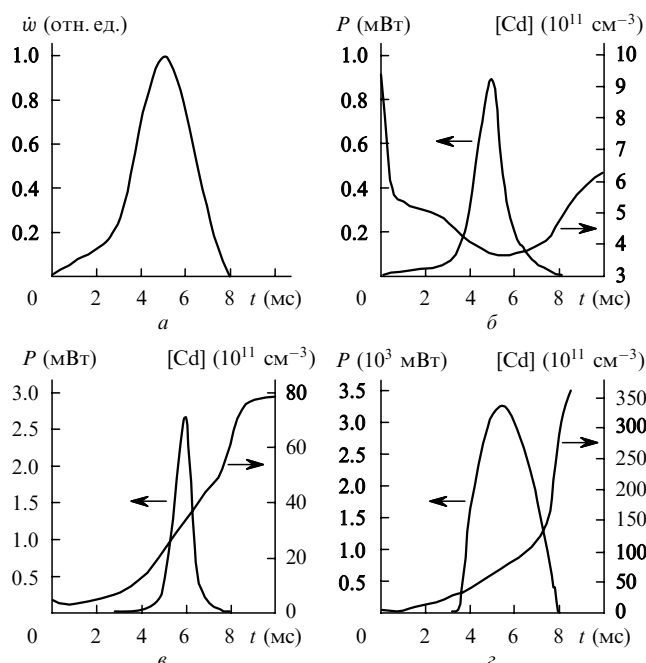


Рис.1. Временные зависимости относительной плотности мощности накачки  $\dot{w}$  (а), мощности генерации  $P$  и концентрации атомов кадмия  $[\text{Cd}]$  без учета распыления при плотности потока тепловых нейтронов  $\Phi = 2.8 \times 10^{15}$  нейтр.·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> (плотность мощности накачки  $w = 34$  Вт/см<sup>3</sup>) в максимуме импульса накачки (одно зеркало глухое, другое – с коэффициентом отражения  $R = 99.8\%$ ) (б), а также с учетом распыления при  $\Phi = 2.8 \times 10^{15}$  (в) и  $1.68 \times 10^{16}$  нейтр.·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> ( $w = 204$  Вт/см<sup>3</sup>) (г). В случаях в и г для обоих зеркал  $R = 99.8\%$ , а измерение мощности происходит только с одного торца кюветы. Температура активной среды  $T_g = 162$  °С, ее длина 50 см, длина резонатора 80 см, диаметр кюветы 2.2 см,  $[{}^3\text{He}] = 2.3 \times 10^{19}$  см<sup>-3</sup>.

ций играет основную роль при  $T_g = 162$  °С (генерация возможна и без учета распыления (рис.1,б), но при более плотном резонаторе), и заметную роль – при  $T_g = 206$  °С (рис.2). А из рис.3 следует, что при  $T_g = 260$  °С учет распыления уже не сказывается на результате и концентрация нейтральных атомов кадмия определяется только давлением насыщенных паров при соответствующей температуре. Зависимость мощности лазерного излучения от температуры АС в припороговой области приведена на рис.4. Превышение расчетной выходной мощности

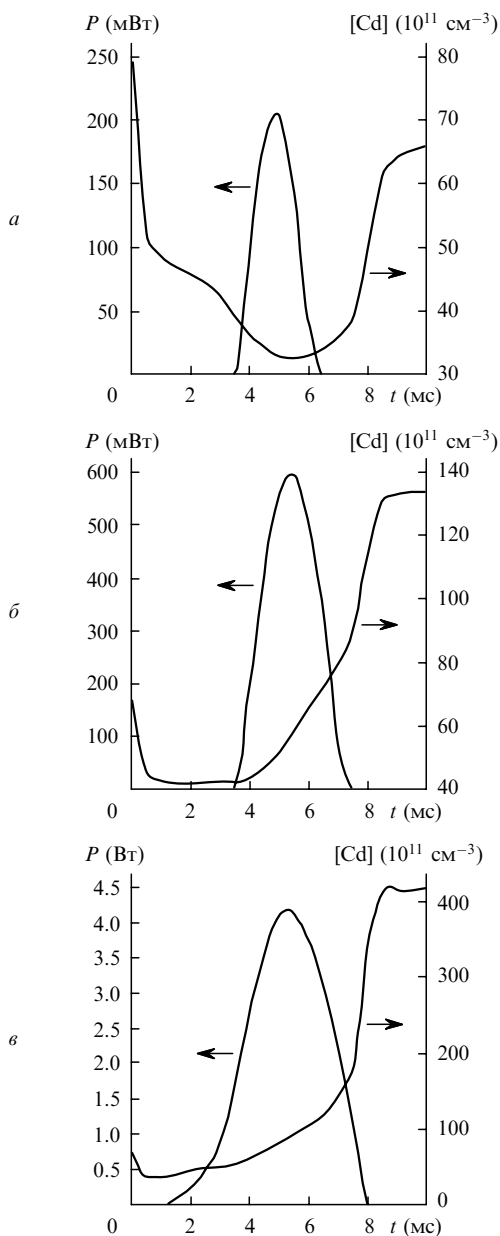


Рис.2. Временные зависимости  $P$  и  $[Cd]$  без учета распыления при  $\Phi = 2.8 \times 10^{15}$  нейтр. $\cdot$ см $^{-2}$  $\cdot$ с $^{-1}$  (а), с учетом распыления при  $\Phi = 2.8 \times 10^{15}$  (б) и  $1.68 \times 10^{16}$  нейтр. $\cdot$ см $^{-2}$  $\cdot$ с $^{-1}$  (в);  $R = 99.8\%$ ,  $T_g = 206^\circ\text{C}$ ,  $[^3\text{He}] = 2.3 \times 10^{19}$  см $^{-3}$ .

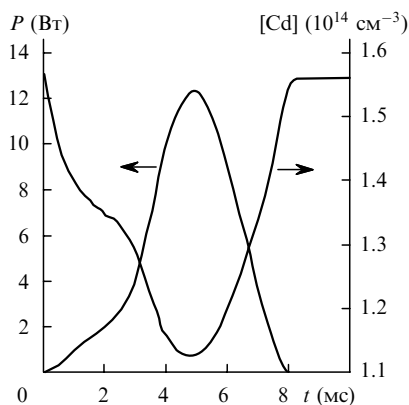


Рис.3. Временные зависимости  $P$  и  $[Cd]$  с учетом распыления при  $\Phi = 2.8 \times 10^{15}$  нейтр. $\cdot$ см $^{-2}$  $\cdot$ с $^{-1}$ ,  $R = 99.8\%$ ,  $T_g = 260^\circ\text{C}$ ,  $[^3\text{He}] = 2.3 \times 10^{19}$  см $^{-3}$ .

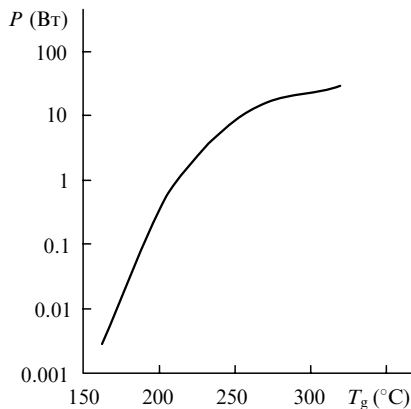
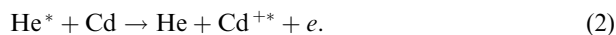
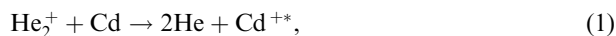


Рис.4. Температурная зависимость максимальной выходной мощности генерации  $P$  с учетом распыления при  $\Phi = 2.8 \times 10^{15}$  нейтр. $\cdot$ см $^{-2}$  $\cdot$ с $^{-1}$ ,  $R = 99.8\%$ ,  $[^3\text{He}] = 2.3 \times 10^{19}$  см $^{-3}$ .

над экспериментальной обусловлено, по-видимому, ростом концентрации вредных примесей в эксперименте при более высоких температурах и запылением зеркал резонатора.

Во всех случаях механизм создания инверсии остается прежним. Под действием жесткого ионизатора образуются ионы  $\text{He}^+$  и возбужденные атомы гелия  $\text{He}^*$ . Затем атомарные ионы гелия в реакциях трехчастичной конверсии образуют молекулярные ионы  $\text{He}_2^+$ . После этого в реакциях перезарядки и Пеннинга заселяются различные состояния иона кадмия, в том числе и бейтлеровские уровни:



Очистка нижних уровней – радиационная.

Таким образом, расчеты с использованием подробной нестационарной кинетической модели He–Cd-лазера с накачкой жестким ионизатором [2–5] показали, что в области anomalно низких температур АС, когда распылением металлической пленки кадмия пренебречь нельзя, кинетика релаксационных процессов и механизм создания инверсии остаются неизменными. Привлечение механизма эмиссии вторичных ионов в состоянии  $5s^2\ ^2D_{5/2}$  [1] бесполезно, особенно если учесть, что суммарный по всем состояниям коэффициент  $\beta$  вторичной ионной эмиссии Cd примерно такой же, как и у Au, и не превышает  $10^{-4}$  ион./ион [6]. Расчет по нашей модели показывает, что даже при самых оптимистических предположениях об эффективности образования ионов  $\text{Cd}^{++}$  в состоянии  $5s^2\ ^2D_{5/2}$ , равной  $10^{-4}$  ион./акт, вторичная ионная эмиссия не дает никакого заметного вклада в мощность генерации даже при anomalно низкой температуре АС.

1. Миськевич А.И. *Квантовая электроника*, **32** (9), 803 (2002).
2. Карелин А.В., Яковленко С.И. *Квантовая электроника*, **20** (7), 631 (1993).
3. Карелин А.В., Синянский А.А., Яковленко С.И. *Квантовая электроника*, **24** (5), 387 (1997).
4. Karelin A.V., Shirokov R.V. *Laser Phys.*, **7**, 1045 (1997).
5. Карелин А.В., Широков Р.В. *Квантовая электроника*, **25** (10), 917 (1998).
6. *Физические величины. Справочник*. Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова (М.: Энергоатомиздат, 1991, с. 591).