

- [7] E i b s c h u t z M., L i n e s M.E. // Phys. Rev. B. 1973. V. 7. P. 4907.
- [8] Дорошев В.Д., Ковтун Н.М., Селезнев В.Н., Сирюк В.М., Украинцев Э.Н. ФТТ. 1975. Т. 17. С. 514.
- [9] Камзин А.С., Русаков В.П. // ПТЭ. 1988. Т. 5. С. 55.
- [10] Камзин А.С., Григорьев Л.А. Конференция по применению мессбауэровской спектроскопии в материаловедении, Тезисы, Ижевск, 1989.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
3 февраля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15

12 августа 1990 г.

04; 10

© 1990

ПУЧКОВЫЙ *He-Zn* ЛАЗЕР НА $\lambda=610$ НМ
С ПЕННИНГОВСКОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ
СТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКОЙ

А.В. Карелин, Д.Ю. Нагорный,
В.Ф. Тарасенко, С.И. Яковленко

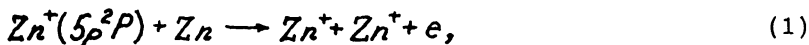
1. В последнее время существенно возрос интерес к лазерам на парах металлов, накачиваемых электронным пучком [1-5]. Применение для накачки электронного пучка позволяет увеличить рабочее давление в объеме активной среды, что наиболее перспективно для создания широкоапертурных лазерных систем большой мощности. В данной работе сообщается о первом получении генерации на оранжевой линии (610.3 нм) в смеси *He-Zn* при накачке наносекундным электронным пучком и приводятся результаты теоретического моделирования генерации, показывающие, что очистка нижнего лазерного уровня осуществляется за счет реакции Пеннинга и столкновений с электронами.

2. Накачка смеси *He-Zn* осуществлялась от ускорителя РАДАН-220 [6], электронный пучок инжектировался в лазерную камеру под углом 30° и фокусировался импульсными магнитами, установка подробнее описана в [4]. Внутренний диаметр лазерной камеры составлял 14 мм, длина нагреваемой области равнялась 40 см. Полный объем кюветы был примерно в 1.5 раза больше объема нагреваемой области лазерной камеры. Применялся буферный газ гелий, который предварительно напускался в холодную лазерную камеру. Указанные ниже давления гелия даны для холодного газа. Плотность тока пучка в активной области состав-

$\sim 10 \text{ A/cm}^2$, а его длительность 10 нс по основанию. Использовался внутренний резонатор, образованный диэлектрическими зеркалами. Амплитудно-временные характеристики генерации определялись с помощью калиброванного фотодиода ФЭК-22 и осциллографа С8-12. Спектр излучения снимался спектрографом ИСП-51.

3. Проводилось численное моделирование релаксации He-Zn плазмы, возбуждаемой пучком электронов с приведенными выше параметрами. Использовалась усовершенствованная кинетическая модель, разработанная в [7-9] и входящая в комплекс программ для расчета характеристик плазменных лазеров „ПАЗЕР-1“ [9]. Рассчитывались концентрации ионов и возбужденных состояний He^+ , He_2^+ , He^* , He_2^* , Zn^+ , Zn_2^+ , Zn^{*+} , Zn^* , концентрация электронов N_e , а также температуры электронов T_e и газа T , выходной мощности лазерного излучения и КПД генерации по отношению к энергии, вложенной в активную среду при заданных: концентрациях цинка и гелия (N_{Zn} и N_{He}), начальной газовой температуре и характеристиках накачки. Кроме активного состояния иона Zn II рассматривалось 14 возбужденных состояний ($4p^2P_{1/2, 3/2}$, $3d^2D_{3/2, 5/2}$, $5s^2S_{1/2}$, $5p^2P_{1/2, 3/2}$, $4d^2D_{3/2, 5/2}$, $6s^2S_{1/2}$, $5d^2D_{3/2, 5/2}$, $4f^2F_{5/2, 7/2}$) и одно эффективное состояние - атома Zn I , составленное из двух метастабильных и одного долгоживущего состояния триплета $4s4p^3P_{0, 1, 2}$.

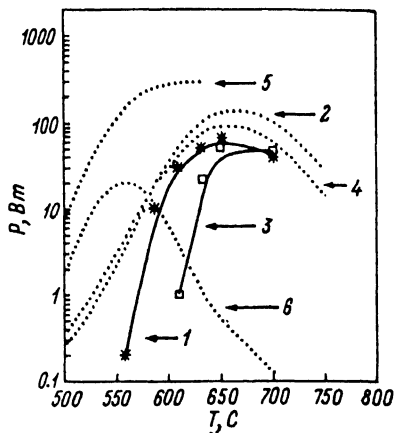
Рассматривались переходы с длинами волн $\lambda=492$; 610.3 и 758.8 нм. Накачка уровней $5d^2D_{3/2, 5/2}$ осуществляется в реакции перезарядки $\text{He}^+ + \text{Zn} \rightarrow \text{He} + \text{Zn}^+(5d^2D)$, затем в процессе неупругих соударений электроны перемешивают состояния $5d^2D$ и $4f^2F$, накачивая таким образом верхний рабочий уровень перехода с $\lambda=492$ нм. Уровень $5p^2P$ накачивается в процессах радиационного распада и электронного девозбуждения уровней $5d^2D$ и $6s^2S$. Очистка нижних рабочих уровней переходов с $\lambda=758.8$ и 492 нм радиационная, а для перехода с $\lambda=610.3$ нм при невысоких плотностях накачки в реакции Пеннинга на собственном атоме:



с ростом энерговклада к этому каналу добавляется девозбуждение электронами уровня $5p^2P_{3/2}$ на уровень $4d^2D_{5/2}$, имеющий высокую вероятность радиационного распада.

4. Сравнение результатов экспериментальных и теоретических исследований приведены на рис. 1 и 2. Наличие оптимумов по температуре обусловлено конкуренцией роста накачки на верхний рабочий уровень с ростом концентрации лазерно-активной компоненты и девозбуждения верхнего рабочего уровня в реакции Пеннинга типа (1) на собственном атоме. Различие во временах жизни и потоках накачки обуславливает отличие оптимальных рабочих температур для различных переходов. Расчеты показывают, что пороговая плотность тока пучка для переходов с $\lambda=492$ и 758.8 нм составляет $j \approx 50$ и 20 A/cm^2 соответственно. Значи-

Рис. 1. Зависимости мощности генерации $He-Zn$ лазера от температуры активной среды (сплошные линии - эксперимент, пунктир - расчет): 1, 2 - $P_{He} = 0.3$ атм, $\lambda = 610.3$ нм, $j = 10$ А/см²; 3, 4 - $P_{He} = 0.5$ атм, $\lambda = 610.3$ нм, $j = 10$ А/см²; 5 - $P_{He} = 0.5$ атм, $\lambda = 492$ нм, $j = 100$ А/см²; 6 - $P_{He} = 0.5$ атм, $\lambda = 758.8$ нм, $j = 30$ А/см².
Отражение выходного зеркала $R = 20\%$.



тельное различие между расчетной и экспериментальной кривыми при давлении гелия $P_{He} \sim 0.5$ атм возможно обусловлено малой энергией электронов пучка, попадающих в лазерную камеру.

В процессе численного моделирования установлено, что выходная мощность лазерного излучения для перехода с $\lambda = 610.3$ нм растет с ростом плотности тока пучка вплоть до 1000 А/см² почти линейно. Не очень ярко выраженная тенденция к насыщению обусловлена электронным девозбуждением верхнего рабочего уровня.

5. Таким образом, в данной работе впервые получена генерация на переходе с $\lambda = 610.3$ нм в смеси $He-Zn$ высокого давления при накачке наносекундным электронным пучком. Показано, что данный лазер имеет комбинированный радиационный и столк-

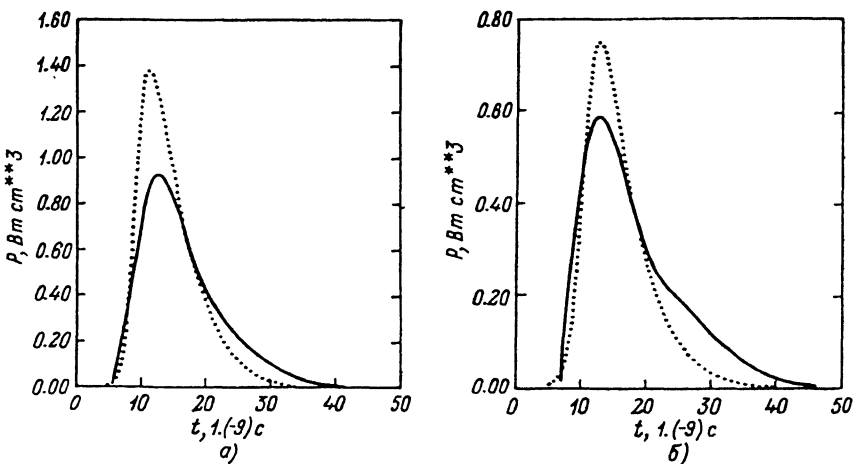


Рис. 2. Временные развертки импульсов генерации (сплошные линии - эксперимент, пунктир - расчет) на $\lambda = 610.3$ нм и при $P_{He} = 0.3$ атм: а) $T = 650$ °С, б) $T = 620$ °С.

новительный механизм очистки нижнего уровня. В лазере высокого давления преобладает очистка в реакции Пеннинга на собственном атоме в сочетании с электронным девозбуждением, а в лазерах низкого давления – электронное девозбуждение в сочетании с радиационным распадом.

Удовлетворительное согласие экспериментальных и расчетных данных позволило сделать вывод, что при достаточно высокой плотности накачки $j \geq 30 \text{ А/см}^2$ рассмотренный лазер имеет широкий диапазон рабочих температур в области 620–800 °С. Максимальный расчетный КПД по вложенной энергии достигается при плотности тока пучка $j=200 \text{ А/см}^2$ и составляет $\eta \approx 0.4\%$.

Порог генерации для переходов с $\lambda=492$ и 758.8 нм достигается при более высоких плотностях тока пучка, а КПД активной среды существенно ниже и не превышает 0.1%.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Рыбалов А.М., Солдатов А.Н., Соломонов В.И., Шарабанин Е.В., Муратов В.М., Калинин Н.К. // ПТЭ. 1986. № 4. С. 127.
- [2] Росса J.J., Мансини H.L., Вернштайн В. // IEEE J. of Quant. Electron. 1986. V. QE-22. No. 4. P. 509–514.
- [3] Держиев В.И., Жидков А.Г., Карелин А.В., Нагорный Д.Ю., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Феденев А.В., Яковленко С.И. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 1. С. 18–21.
- [4] Бугаев С.П., Горюнов Ф.Г., Нагорный Д.Ю., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Феденев А.В. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. В. 3. С. 744–747.
- [5] Горюнов Ф.Г., Держиев В.И., Жидков А.Г., Карелин А.В., Нагорный Д.Ю., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Феденев А.В., Яковленко С.И. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. В. 10. С. 2039–2046.
- [6] Ельчанинов А.С., Шпак В.Г., Юрике Я.Я., Яландин М.И. // Дефектоскопия. 1984. № 12. С. 68.
- [7] Карелин А.В. // Препринт ИОФАН № 21, М., 1988. 33 с.
- [8] Держиев В.И., Жидков А.Г., Карелин А.В., Яковленко С.И. // Краткие сообщения по физике ФИАН СССР. 1988. № 7. С. 29–30.
- [9] Плазменные лазеры видимого и ближнего УФ диапазонов / Под ред. С.И. Яковленко. Тр. ИОФАН, т. 21, М.: Наука, 1989. 142 с.