

Д.В. Шиянов¹, Г.С. Евтушенко^{1,2}, В.Б. Суханов¹

Влияние масштабирования вводимой мощности на характеристики CuBr+Ne- и CuBr+Ne+H₂-лазеров

¹ *Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

² *Томский политехнический университет*

Поступила в редакцию 21.12.2005 г.

Показана возможность увеличения средней мощности излучения (с потерей в кпд) отпаянных CuBr+Ne- и CuBr+Ne+H₂-лазеров среднего размера при масштабировании мощности накачки. Установлено, что с увеличением удельной вводимой мощности накачки увеличивается давление оптимальной добавки H₂, при которой мощность генерации максимальна.

Введение

Энергетические характеристики лазеров на парах меди (ЛПМ) — кпд и мощность генерации — во многом зависят от уровня вводимой в газоразрядную трубку (ГРТ) энергии накачки [1, 2]. На практике часто необходимо обеспечить работу лазера в стационарном режиме либо с высоким кпд, либо с максимальной средней мощностью излучения. Для решения этой задачи приходится варьировать мощность накачки. Для конкретной ГРТ, использующей режим саморазогрева, это представляет определенную трудность.

Успешный эксперимент в этом плане был проведен Милдреном с коллегами для лазера на парах меди с улучшенной кинетикой [3]. Для поддержания стационарного теплового режима при увеличении вводимой мощности от 6 до 9 кВт авторы [3] уменьшали толщину теплоизолятора. При этом средняя мощность излучения в трубке средних размеров (диаметр 1,75 см, длина 100 см, соответственно рабочий объем 0,24 л) достигала 90 Вт, при кпд примерно 1%.

В данной работе перед нами стояли следующие задачи:

- экспериментально исследовать возможность масштабирования мощности накачки в CuBr+Ne- и CuBr+Ne+H₂-лазерах среднего размера (без прокачки буферного газа);
- выяснить влияние различных уровней накачки на КПД и среднюю мощность генерации;
- определить оптимальные значения давления H₂ при различных уровнях накачки;
- провести сравнительный анализ полученных результатов с характеристиками ЛПМ при близких параметрах накачки.

Методика эксперимента

Исследование энергетических характеристик CuBr-лазера с добавкой и без добавки H₂ в зависи-

мости от мощности накачки проводилось с ГРТ диаметром 2,6 см и длиной 76 см. Конструкция ГРТ являлась саморазогревной [4, 5] и позволяла подключать к ней манометр деформационного типа (цена деления шкалы — 0,01 торр) для определения давления, добавляемого H₂. Подача H₂ в ГРТ осуществлялась из баллона через магистраль. В качестве буферного газа использовался Ne.

При возбуждении лазера не проводились работы по оптимизации импульса накачки, т.е. не использовались специальные схемы по увеличению напряжения и сжатию импульса. Применялась обычная схема прямого разряда рабочей емкости типа КВИ-3 на ГРТ с помощью тиратрона ТГИ1-1000/25 с водяным охлаждением. Для коммутации мощностей более 3 кВт использовалась схема поочередного запуска двух тиратронов.

Регистрация импульсов тока, напряжения и генерации проводилась с помощью пояса Роговского, малоиндуктивного делителя на резисторах типа ТВО и коаксиального фотоэлемента ФК-22. Регистрируемые сигналы подавались на осциллограф Tektronix TDS 3032. Мощность излучения контролировалась измерителем мощности ИМО-2, а температура стенки ГРТ — хромель-алюмелевой термопарой.

Масштабирование мощности от 1 до 5 кВт, потребляемой ГРТ от источника питания, производилось сначала для CuBr+Ne-, а затем и для CuBr+Ne+H₂-лазера приблизительно на одних и тех же частотах следования импульсов и при одинаковом напряжении источника путем изменения рабочей емкости. Температура стенки ГРТ при мощностях накачки 1, 3 и 5 кВт сохранялась постоянной за счет изменения слоя теплоизолятора ГРТ. Измерения проводились при низких — 25 торр и высоких — 100 торр давлениях Ne.

Определение оптимального давления добавки H₂ (когда мощность излучения максимальна) при различных уровнях накачки происходило следующим образом. Для каждого фиксированного значения мощности накачки проводилось несколько

измерений. В холодную откачанную ГРТ подавался H_2 при давлении 0,1 торр, затем закачивался Ne при давлении 25 торр и измерялась мощность излучения. Далее при этом же давлении буферного газа вся процедура повторялась снова, но давление добавки H_2 каждый раз увеличивалось с шагом 0,05 торр. Таким образом определялась оптимальная величина добавки, приводящая к максимуму выходной мощности.

Результаты эксперимента

Возбуждение лазера с увеличением мощности, отбираемой от выпрямителя, сопровождалось уменьшением слоя теплоизолятора на ГРТ. Нарастание мощности происходило за счет повышения тока от 180 до 800 мА вследствие увеличения рабочей емкости. Для наглядности в таблице приведены параметры возбуждения ГРТ при давлении Ne 25 торр и добавке H_2 с давлением 0,35 торр.

Параметры накачки CuBr+Ne+ H_2 -лазера при различных мощностях накачки

$P_{ист}$, кВт	$C_{раб}$, пФ	f , кГц	U , кВ	J , А	$P_{уд}$, Вт/см ³
1	660	18,5	6	0,18	2,5
3	1566	17	6	0,5	7,5
5	1700	17,5	6,2	0,8	12,5

Ранее в [6] нами было установлено, что при напряжении питания 6–7 кВ и мощности, потребляемой от источника 1–1,5 кВт, оптимальная добавка H_2 в данной ГРТ равнялась 0,35 и 0,25 торр при давлении Ne 25 и 100 торр соответственно. Эти значения добавки и были выбраны при масштабировании накачки CuBr+Ne+ H_2 -лазера.

Во время работы CuBr+Ne-лазера в отсутствие водорода при мощностях накачки более 3 кВт появлялись трудности с вводом энергии в ГРТ. Тиратроны начинали работать со сбоем. Поэтому приходилось тщательно подбирать напряжения накалов катода и генератора водорода. Особенно сильно это проявлялось при рабочем давлении буферного газа 25 торр. С повышением давления Ne до 100 торр увеличивалось сопротивление разряда и улучшалось согласование ГРТ с генератором накачки и тем самым облегчалась работа схемы.

Кроме того, работа лазера при мощностях накачки 5 кВт сопровождалась сильным нагревом электродов ГРТ (особенно катода), поэтому требовалось их принудительное охлаждение. По этой причине не удалось выполнить подробные исследования энергетических характеристик лазера в таком режиме, поскольку ГРТ приходилось отключать после достижения какого-то максимального значения выходной мощности накачки.

На рис. 1,а приведены результаты, отражающие поведение мощности излучения CuBr-лазера при рабочем давлении Ne 25 торр без добавки и с добавкой H_2 в зависимости от мощности накачки. Видно, что при увеличении вводимой удельной мощности в пять раз (с 2,5 до 12,5 Вт/см³) мощность излучения увеличивается почти вдвое, а ве-

дение в активную среду добавки H_2 еще более чем в два раза повышает выходную мощность.

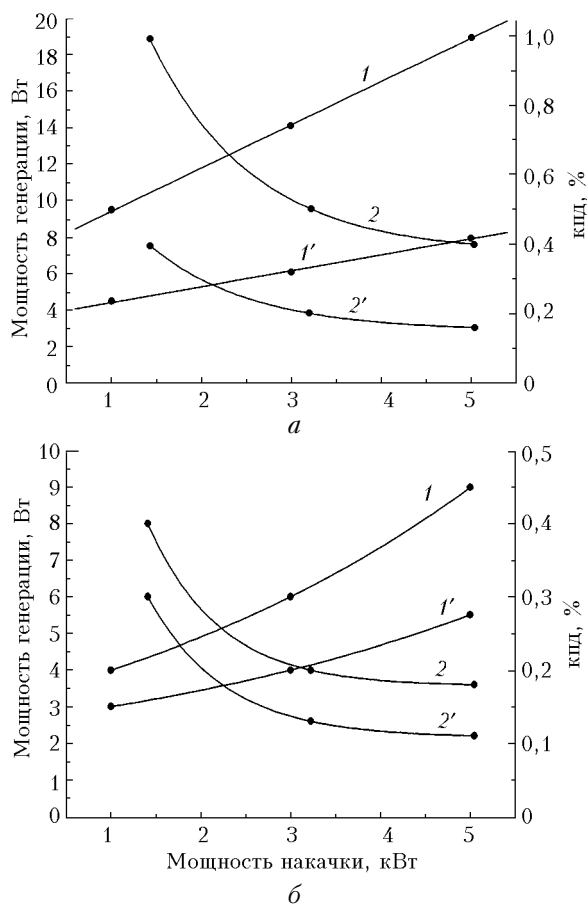


Рис. 1. Зависимость мощности излучения (1) и кпд (2) CuBr+Ne+ H_2 -лазера, а также мощности излучения (1') и кпд (2') CuBr+Ne-лазера от мощности накачки: а – давление буферного газа Ne 25 торр; б – 100 торр

На рис. 1 показано поведение кпд для рассмотренных случаев. При добавке H_2 кпд тоже увеличивается более чем в два раза, но с увеличением мощности накачки он снижается вдвое.

Аналогичная картина наблюдалась и тогда, когда давление Ne составляло 100 торр (рис. 1,б), только мощности генерации и кпд были гораздо меньше, чем при давлении Ne 25 торр. Мы считаем, что это происходит из-за недостатка напряжения на разрядном промежутке [6].

Кроме того, нами были установлены оптимальные давления добавляемого H_2 в CuBr+Ne+ H_2 -лазер при накачке 1, 3 и 5 кВт. Из рис. 2 отчетливо видно, что при больших энергокладах требуются большие давления добавок, т.е. область оптимальных давлений смещается от 0,3 (при 1 кВт) до 0,4 торр (5 кВт). Вероятно, это объясняется тем, что повышение энергоклада в нашем случае связано с увеличением потребляемого тока. Следовательно, повышаются концентрация электронов и ее предимпульсное значение. Таким образом, можно заключить, что для эффективной релаксации плазмы в послесвечении необходимо большее количество водорода.

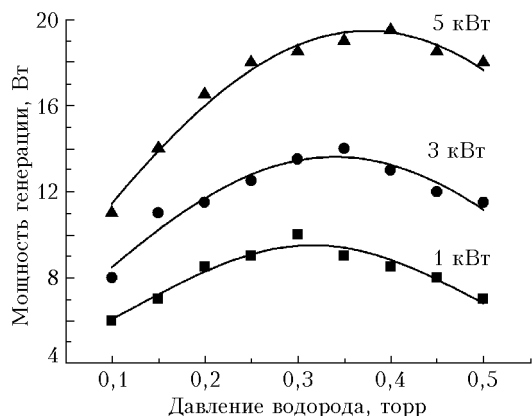


Рис. 2. Зависимость мощности генерации CuBr+Ne-лазера от давления добавляемого водорода при различных уровнях мощности накачки. Давление буферного газа Ne 25 торр

Из сравнения выходных характеристик, полученных нами для CuBr+Ne- и CuBr+Ne+H₂-лазеров (объем 400 см³), с ЛПМ приблизительно такого же объема — «Кристалл» LT 40Cu (объем 350 см³), видно, что CuBr-лазер с добавкой H₂ даже при $P_{уд} = 12,5 \text{ Вт/см}^3$ уступает по мощности ЛПМ. При вводимой удельной мощности в разряд, равной 11 Вт/см³, мощность излучения стандартного ЛПМ LT 40Cu составляет 40 Вт [2], а CuBr-лазера — в два раза меньше. Вместе с тем, реализуя такую же мощность (4 кВт) для накачки активного элемента CuBr-лазера существенно большего объема (до 4 л), можно получить выходную мощность более 40 Вт и значительно больший КПД [7–9]. Отметим, что приведенные в [2] мощности для ЛПМ получены по схеме Блюмляйна с удвоением напряжения и сжатием импульса накачки.

Заключение

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать следующие выводы.

— Изменение эффективности теплоизоляции активного элемента CuBr-лазера, в том числе отпаянного варианта, дает возможность варьировать в широких пределах мощность накачки и вдвое

увеличивать выходную мощность излучения (правда, с потерей в КПД).

— С увеличением мощности накачки растет величина оптимальной добавки водорода.

— Преимущества лазера на парах бромиды меди с активными добавками по сравнению со стандартным ЛПМ будут более заметны для активных элементов больших объемов.

1. Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А., Климовский И.И. Молодых Э.И. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. М.: Науч. книга, 1998. 544 с.
2. Лябин Н.А., Чурсин А.Д., Угольников С.А., Королева М.Е., Казарян М.А. Разработка, производство и применение отпаянных лазеров на парах меди и золота // Квант. электрон. 2001. Т. 31. № 3. С. 191–202.
3. Withford M.J., Brown D.J.W., Mildren R.P., Carman R.J., Marshall G.D., Piper J.A. Advances in copper laser technology: kinetic enhancement // Progr. in Quantum Electron. 2004. V. 28. P. 165–196.
4. Активный элемент лазера на парах галогенида металла: Пат. 2243619. Россия, МПК⁷, H 01 S 3/03. Евтушенко Г.С., Суханов В.Б., Шиянов Д.В., Чернышев А.И.; НИУ Институт оптики атмосферы СО РАН. № 2003104898. Заявл. 18.02.2003. Оpubл. 27.12.2004. Бюл. № 36.
5. Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Андриенко О.С. Экспериментальное исследование влияния добавок HBr на генерационные характеристики CuBr-лазера // Квант. электрон. 2004. Т. 34. № 7. С. 625–629.
6. Shiyonov D.V., Evtushenko G.S., Sukhanov V.B., Fedorov V.F. Influence of gas mixture content and pumping conditions on CuBr+Ne+H₂ (HBr) vapor laser performance // Proc. SPIE. 2006 (в печати).
7. Елаев В.Ф., Лях Г.Д., Пеленков В.П. CuBr-лазер со средней мощностью генерации свыше 100 Вт // Оптика атмосф. и океана. 1989. Т. 2. № 11. С. 1228–1229.
8. Astadjov D.N., Dimitrov K.D., Jones D.R., Kirkov V.K., Little C.E., Sabotinov N.V., Vuchkov N.K. Copper Bromide Laser of 120-W Average Output Power // IEEE J. Quantum Electron. 1997. V. 33. N 5. P. 705–709.
9. Евтушенко Г.С., Костыря И.Д., Суханов В.Б., Шиянов Д.В. Особенности накачки лазера на парах меди и бромиды меди // Квант. электрон. 2001. Т. 31. № 8. С. 704–708.

D.V. Shiyonov, G.S. Evtushenko, V.B. Sukhanov. Effect of scaling input power on CuBr+Ne- and CuBr+Ne+H₂-laser parameters.

A possibility of increasing the average output power (with a loss in efficiency) of the middle-size sealed-off CuBr+Ne- and CuBr+Ne+H₂-laser systems with input power scaling is shown. It was determined that with the increasing of specific input power the optimal pressure of hydrogen additive for the maximum lasing became higher.