

Частотно-энергетические и усилительные характеристики CuCl-лазера с внутренним реактором

© Д.В. Шиянов,^{1,2} М.В. Тригуб,^{1,2} В.Б. Суханов,² Г.С. Евтушенко,¹ В.В. Власов¹

¹Томский политехнический университет,
634050 Томск, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,
634021 Томск, Россия
e-mail: trigub@tpu.ru

(Поступило в Редакцию 22 апреля 2014 г.)

Представлено описание нового способа создания паров рабочего вещества для лазеров на переходах атомов металлов. Проведены исследования частотно-энергетических и усилительных характеристик CuCl-лазера, возбуждаемого барьерным разрядом. Использование такого способа возбуждения позволило увеличить срок службы активного элемента, так как при использовании внутренних электродов происходило их быстрое разрушение вследствие взаимодействия с хлором. Полученные зависимости показали, что подобная конструкция позволяет создавать лазеры с выходными параметрами, не уступающими традиционным лазерам на парах галогенидов металлов, а усилительные характеристики аналогичны известным активным элементам.

Введение

Настоящая работа продолжает цикл исследований лазеров на парах галогенидов металлов с внутренним реактором, которые были разработаны в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН [1–4].

Интерес к лазерам на парах металлов и их галогенидов стимулирован рядом новых применений. В первую очередь в качестве усилителей яркости [5,6] в скоростных лазерных мониторах для визуализации объектов и быстропротекающих процессов, скрытых от наблюдения мощной фоновой засветкой [7,8].

Термин „лазер на парах галогенидов металлов (ЛПГМ) с внутренним реактором“ подразумевает, что наработка рабочего вещества — галогенида металла происходит в активной зоне отпаянной газоразрядной трубки (ГРТ) непосредственно во время ее работы, т.е. ГРТ работает в режиме „генератора соли“. Этот способ основан на взаимодействии в разряде галогена в чистом виде (Br_2 , Cl_2 , I_2) с кусочками металла, расположенными в канале ГРТ, с дальнейшей диссоциацией галогенида металла и возбуждением атомов металла. Генератор галогена (галогеноводорода) осуществляет контроль концентрации вводимого галогена в ГРТ в широких пределах, что дает возможность, в отличие от гибридного лазера [9], работать в отпаянном режиме.

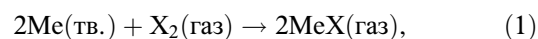
В наших работах [1–4] была получена генерация на переходах атомов меди и марганца в ГРТ объемом 90–150 см³ с указанным способом создания паров рабочего вещества. В качестве галогена использован йод и бром. При этом использовались как традиционная, так и емкостная накачки [10]. Результаты исследований характеристик этих лазеров показали, что активные элементы ЛПГМ с внутренним реактором, работающие

в режиме „генератора солей“, будут обладать следующими преимуществами перед известными аналогами:

- Простота и безопасность в получении безводных галогенидов (в ЛПГМ рабочее вещество готовится отдельно и потом загружается в ГРТ).
- Поддержание рабочей концентрации галогена в активной среде осуществляется при более низких температурах, чем в стандартных ЛПГМ.
- Появляется возможность создания солей нескольких металлов в одной ГРТ.
- При условии жесткой фиксации металла в рабочей зоне, например в виде колец, появляется возможность работы ГРТ и в вертикальном положении, поскольку отсутствует жидкая фаза галогенида металла.
- Уменьшается время выхода лазера на рабочий режим.
- Благодаря отпаянному режиму работы, в отличие от гибридных лазеров, такая система становится мобильной.

Принцип действия лазеров на парах галогенидов металлов с внутренним реактором

Кинетика образования галогенида металла в ГРТ с внутренним реактором, его диссоциация и возбуждение атомов металла заключаются в следующем. При нагреве отрезка с галогеном галоген (X) поступает в рабочую зону ГРТ, где на поверхности металла (Me) происходят реакции с образованием галогенида металла по одному из типов:



Затем происходит диссоциация молекулы MeX электронным ударом на Me и X с дальнейшим возбуждением атома Me в соударениях с электронами на верхний резонансный лазерный уровень, с которого осуществляется излучательный переход на метастабильный уровень атома металла.

В межимпульсный период происходят релаксации активной среды: 1) девозбуждение метастабильных атомов металла в соударениях с медленными электронами в основное состояние, 2) диффузия, с последующей дезактивацией метастабильных атомов на стенке ГРТ, 3) образование исходной молекулы галогенида металла путем окислительной реакции типа



Техника эксперимента

В работе использована ГРТ диаметром 2 см и длиной 50 см с двумя вариантами конструктивного исполнения электродных узлов. В первом случае ГРТ оснащалась внутренними электродами (стандартная накачка), а во втором — внешними электродами (емкостная накачка). Подробно конструкции ГРТ описаны в работах [2].

В канал ГРТ равномерно загружались шесть кусочков меди в виде пластин ($15 \times 5 \times 1$ мм). В качестве источника хлора использовался порошок дихлорида меди, который помещался в отдельный отросток. При определенной температуре отростка с CuCl_2 в канале ГРТ поддерживалась необходимая концентрация хлора. Для накачки использовалась схема прямого разряда рабочей емкости (типа КВИ-3 в случае традиционной накачки) и собственной емкости электродов (в случае емкостной накачки) через ГРТ. Величина собственной емкости электродов, рассчитанная по схеме цилиндрического конденсатора, составляла 700 пФ. В качестве коммутатора использовался таситрон ТГУ1-1000/25. Роль буферного газа выполнял неон. Температура стенки ГРТ контролировалась с помощью хромель-алюмелевой термопары.

Измерение электрических характеристик разряда осуществлялось с помощью датчика тока PersonTM 8450, датчика напряжения Tektronics P6015A и осциллографа LeCroy Wave Jet 324. Импульсы излучения фиксировались с помощью ФК-19. Мощность излучения измерялась измерителем Ophir 20C-SH.

В работе исследовались зависимости мощности генерации исследуемой ГРТ от давления буферного газа, мощности накачки, температуры стенки ГРТ и частоты следования импульсов (ЧСИ), а также проведено исследование усилительных характеристик.

Результаты эксперимента

Исследование частотно-энергетических характеристик CuCl -лазера с внутренними электродами показало схо-

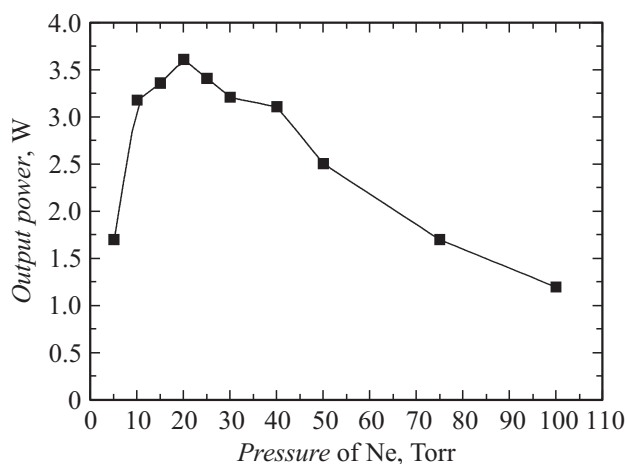


Рис. 1. Зависимость мощности генерации CuCl -лазера с внутренним реактором от давления буферного газа Ne.

жие результаты с полученными нами ранее для лазеров на парах бромидов и иодидов меди с внутренним реактором со сравнимым объемом ГРТ и идентичными условиями накачки [2,3]. Однако срок службы такой системы оказался недолгим. Ограничения в данном случае связаны с более агрессивным поведением хлора, который вступал в химические реакции с материалами электродов и загрязнял их. Это, в свою очередь, приводило к шнурованию разряда и в дальнейшем к срыву генерации. Поэтому основные результаты получены для ГРТ с внешними электродами.

На рис. 1 показана зависимость средней мощности излучения исследуемого лазера от давления буферного газа Ne. Рабочие параметры указаны на графике. Мощность накачки P_{pump} определялась как потребляемая от сети источником питания и составляла 1200 W, ЧСИ составляла 27 kHz, температура внешней стенки ГРТ поддерживалась на уровне 650°C . Результаты показывают, что область оптимальных давлений буферного газа-неона аналогична давлениям обычных лазеров на парах галогенидов меди [11] и гибридных медных лазеров [9] и составляла 20–40 Torr.

Важным параметром работы подобных активных элементов является температура стенки ГРТ. Поэтому поведение мощности генерации в зависимости от температуры стенки ГРТ изучалось для тех же условий возбуждения по частоте и мощности накачки, что и в предыдущем случае (рис. 2).

Из приведенных зависимостей видно, что область оптимальных рабочих температур лазера на парах хлорида меди с внутренним реактором соответствует температурам широко распространенных CuBr - и CuHyBrID -лазеров, а также CuBr -лазеру с внутренним реактором [3] (650°C и выше).

На рис. 3 показана зависимость выходной мощности от средней мощности накачки при давлении Ne 30 Torr и температуре стенки ГРТ 650°C .

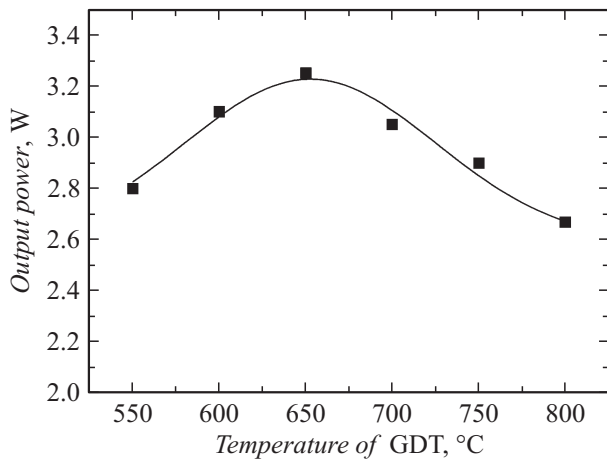


Рис. 2. Зависимость мощности генерации от температуры стенки ГРТ.

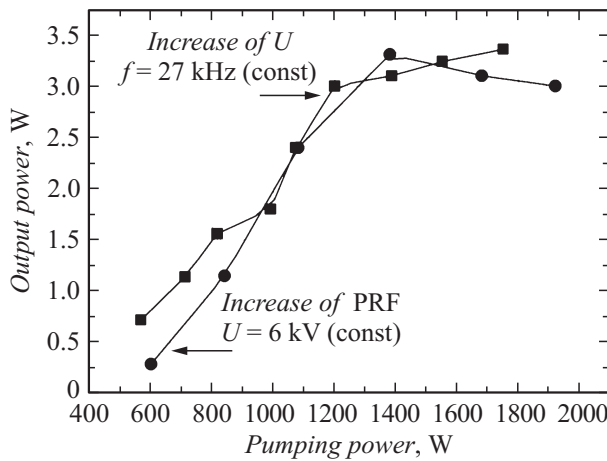


Рис. 3. Зависимость мощности генерации CuCl-лазера с внутренним реактором от мощности накачки.

Увеличение мощности накачки осуществлялось либо увеличением напряжения на выходе выпрямителя при постоянной ЧСИ, либо увеличением ЧСИ при постоянном напряжении. В первом случае ЧСИ фиксировалось на уровне 27 kHz и увеличивалось напряжение на выпрямителе с 4 до 7 kV. При этом потребляемый источником питания ток менялся от 120 до 250 mA. Во втором случае фиксировалось напряжение на уровне 6 kV, а ЧСИ увеличивалась с 15 до 50 kHz. В этом случае ток изменялся от 100 до 315 mA.

Как видно из рис. 3, при определенном уровне мощности накачки наступает насыщение выходной мощности при изменении ЧСИ. Аналогичная картина с насыщением мощности наблюдалась ранее для CuBr-лазера [12]. Возможно, это связано в одном случае с ограничением напряжения, обусловленным возможностями источника накачки, а в другом — с высокой частотой 50 kHz. Частично это подтверждает зависимость мощности генерации лазера от ЧСИ, приведенная на рис. 4. В экс-

перименте давление неона составляло 30 Torr, мощность накачки 1200 W, температура стенки ГРТ 650°C.

Провал мощности в диапазоне частот 32–37 kHz может быть вызван резонансными процессами в ГРТ.

Для использования активных элементов лазеров в качестве усилителей яркости [13] необходимо проведение исследований усилительных характеристик. Основной характеристикой является коэффициент усиления входного сигнала за один проход в активной среде. Схема эксперимента выглядела следующим образом. У лазера убирали резонатор и использовали лишь одно зеркало для задания уровня входного сигнала. Уровень входного сигнала изменялся за счет использования нейтральных светофильтров. На рис. 5 приведена зависимость коэффициента усиления за один проход при различном уровне входного сигнала в логарифмическом масштабе.

Как видно, усиление слабого сигнала достигает 85 dB, что соответствует активным элементам на переходах атома меди с традиционным способом создания паров рабочего вещества [13]. При этом наблюдается спад усиления при увеличении уровня входного сигнала, что свидетельствует о насыщении активной среды. Зависи-

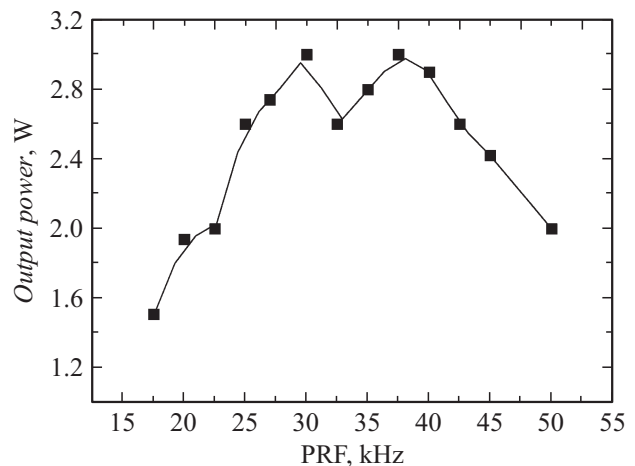


Рис. 4. Поведение мощности излучения CuCl-лазера с внутренним реактором при изменении частоты следования импульсов.

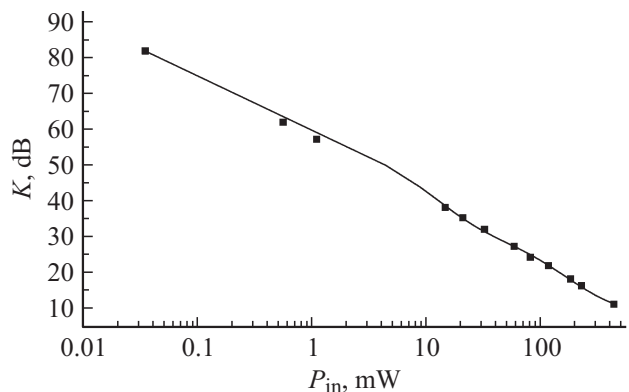


Рис. 5. Зависимость усиления за один проход от уровня входного сигнала.

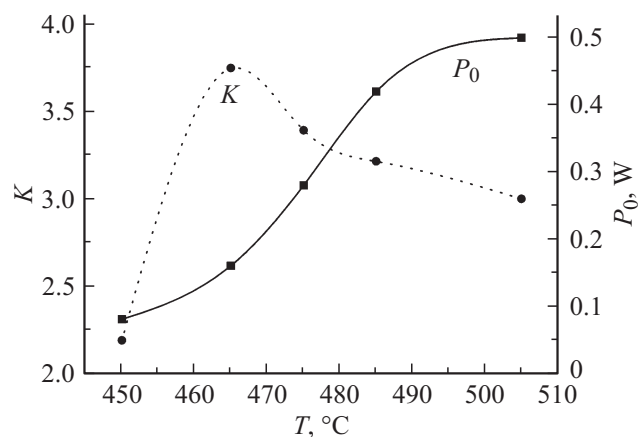


Рис. 6. Зависимость усилительных характеристик от концентрации паров рабочего вещества.

мость усилительных характеристик (мощности сверхсветимости и коэффициента однопроходового усиления K) от концентрации паров рабочего вещества приведена на рис. 6. Коэффициент однопроходового усиления определялся как отношение мощности однопроходового излучения к мощности сверхизлучения [13].

Температура генератора галогена, соответствующая максимуму мощности сверхсветимости (505°C) соответствует максимуму средней мощности генерации лазера. При использовании в режиме усилителя яркости целесообразно снижать температуру генератора до 470°C , так как в этом режиме удастся получить более контрастные изображения [14]. Аналогичные зависимости были получены ранее для лазера на переходах атома марганца при использовании аналогичной конструкции [4].

Заключение

Проведенное сравнение показало, что CuCl-лазер с внутренним реактором по выходным параметрам не уступает стандартному CuBr-лазеру [3], а также CuI-лазеру с внутренним реактором [2] такого же объема. Он показал стабильную работу в течение длительного времени при разных условиях накачки. Основную роль в увеличении срока службы этого лазера сыграло использование емкостной накачки с изолированными от активной среды электродами. Следовательно, подобная конструкция может быть использована для создания лазеров и усилителей яркости для АОС.

Стоит отметить, что в настоящей работе не использовались добавки водорода, галогеноводородов, которые, как известно, значительно увеличивают энергетические характеристики CuBr, CuCl-лазеров [11,15], а также CuBr-лазера с внутренним реактором [3]. В дальнейшем планируется проведение подобных исследований.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

Список литературы

- [1] Gubarev F., Evtushenko G., Sukhanov V.B., Shiyarov D. // Proc. of the XVIII International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers and High Power Lasers. Sofia, Bulgaria, 2010.
- [2] Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Ткаченко Н.Ю. // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. С. 721–726.
- [3] Шиянов Д.В., Суханов В.Б. Докл. V Всероссийская конф. „Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине.“ Новосибирск, Россия, 2013. С. 280–282.
- [4] Тригуб М.В., Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С. // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 04. С. 321–325.
- [5] Евтушенко Г.С., Тригуб М.В., Губарев Ф.А., Торгаев С.Н., Шиянов Д.В. // Контроль. Диагностика. 2013. № 13. С. 42–45.
- [6] Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyarov D.V. // Rev. Sci. Instrum. 2014. Vol. 85. P. 033111-1–033111-5.
- [7] Бужинский Р.О., Савранский В.В., Земсков К.И., Исаев А.А., Бужинский О.И. // Прикладная физика. 2009. № 3. С. 96–98.
- [8] Yermachenko V.M., Kuznetsov A.P., Petrovskiy V.N., Prokopyova N.M., Strel'tsov A.P., Uspenskiy S.A. // Laser Phys. 2011. Vol. 21. N 8. P. 1530–1537.
- [9] Jones D.R., Maitland A., Little C.E. // IEEE J. Quantum Elect. 1994. Vol. 30. N 10. P. 238–2390.
- [10] Gubarev F.A., Sukhanov V.B., Evtushenko G.S., Fedorov V.F., Shiyarov D.V. // IEEE J. Quantum Elect. 2009. Vol. 45. N 2. P. 171–177.
- [11] Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Андриенко О.С. // Квант. электрон. 2004. Т. 34. № 7. С. 625–629.
- [12] Шиянов Д.В., Евтушенко Г.С., Суханов В.Б. // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19. № 2–3. С. 221–223.
- [13] Оптические системы с усилителями яркости / Под ред. Г.Г. Петраша. М.: Наука, 1991. 152 с. (Труды ФИАН, Т. 206).
- [14] Trigub M.V., Shiyarov D.V., Evtushenko G.S. // Russ. Phys. J. 2013. Vol. 55. N 10. P. 1152–1156.
- [15] Sabotinov N.V., Vuchkov N.K., Astad'jov D.N. // Opt. Commun. 1993. Vol. 95. N 1–3. P. 55–56.