

УДК 535:371.623

Активная среда на парах бромида марганца с внутренним реактором при частоте следования импульсов до 100 кГц

М.В. Тригуб^{1,2}, Д.В. Шиянов^{1,2}, В.Б. Суханов¹, Г.С. Евтушенко^{2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Поступила в редакцию 15.10.2013 г.

Представлены результаты исследования частотно-энергетических характеристик лазера на парах бромида марганца с оригинальным способом создания паров рабочего вещества, т.е. с внутренним реактором. Проведены исследования зависимости средней мощности генерации от различных условий. Определены температура стенки газоразрядной трубки и давление буферного газа, при которых наблюдается максимум мощности генерации. Показано, что подобный активный элемент по характеристикам не уступает элементам с традиционным способом создания паров рабочего вещества. Впервые получена частота следования импульсов 100 кГц для среды на переходах атома марганца. В качестве усилителя яркости в активных оптических системах использован активный элемент, проведено исследование усилительных характеристик.

Ключевые слова: лазеры на парах галогенида марганца, внутренний реактор, высокочастотные усилители яркости, лазерный монитор; Mn halide vapor lasers, inner reactor, high-frequency brightness amplifiers, laser monitor.

Введение

Лазеры на парах металлов и их соединений имеют ряд достоинств, которые позволяют использовать их для решения некоторых научно-технических задач: обработка материалов, неразрушающий контроль, фотодинамическая терапия и др. [1]. На сегодняшний день перед разработчиками лазеров этого класса стоят задачи, от успешного решения которых зависит конкурентоспособность лазеров на парах металлов. В первую очередь, это увеличение срока службы активных элементов и разработка более простых конструкций, не уступающих традиционным газоразрядным трубкам (ГРТ) лазеров на парах галогенидов металлов. Во-вторых, повышение частоты следования импульсов (ЧСИ) излучения в активных элементах с апертурой более 1,5 см, что необходимо для разработки высокоскоростных диагностических комплексов – лазерных мониторов [2, 3].

В лаборатории квантовой электроники ИОА СО РАН была предложена новая конструкция активных элементов, получившая название «лазеры на парах галогенидов металлов с внутренним реактором» [4]. Ряд исследований таких активных элементов (ГРТ) был представлен в работах [4–6], где в качестве рабочего металла использовалась медь. Одним из пре-

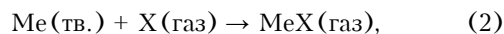
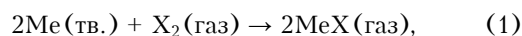
имуществ подобных ГРТ является возможность замены рабочего металла, что невозможно для традиционных лазеров на парах галогенидов металлов. Замена обеспечит изменение спектра излучения активного элемента. Преимущества предложенной конструкции активных элементов описаны в [5].

В настоящей статье представлены данные по исследованию частотно-энергетических и усилительных характеристик MnBr-лазера с внутренним реактором. Описаны результаты построения макета активной оптической системы (АОС) с использованием активной среды данного лазера.

ГРТ с внутренним реактором

Рассмотрим принцип получения паров рабочего вещества в активной среде ГРТ с внутренним реактором. На рис. 1 показана конструкция ГРТ с традиционным способом возбуждения (внутренние электроды).

В рабочем канале располагаются кусочки металла. За счет нагрева генератора галогена в рабочем канале образуется газообразный галоген. При его взаимодействии с твердым металлом происходит образование паров галогенида металла по одному из типов:



где Me – металл; X – галоген. Диссоциация молекулы MeX происходит за счет электронного удара,

* Максим Викторович Тригуб (trigub@tpu.ru); Дмитрий Валерьевич Шиянов; Виктор Борисович Суханов; Геннадий Сергеевич Евтушенко (ime@tpu.ru).

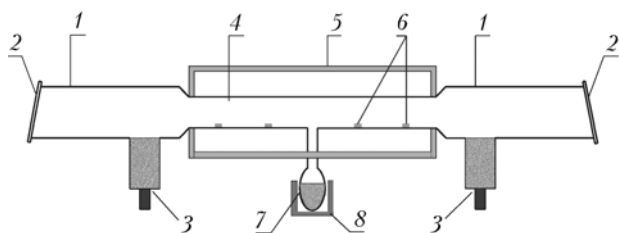


Рис. 1. Конструкция газоразрядных трубок лазеров на парах галогенидов металлов: 1 – кварцевая трубка; 2 – выходные окна; 3 – электроды; 4 – рабочий канал; 5 – нагревательный элемент рабочей зоны; 6 – металл; 7 – генератор галогена; 8 – нагревательный элемент генератора галогена

что приводит к образованию паров металла Me и галогена X с дальнейшим возбуждением атома Me в соударениях с электронами на верхний резонансный лазерный уровень. Более подробно механизмы описаны в работе [5]. Как видно, механизм образования паров рабочего вещества схож с процессами, которые протекают в гибридных лазерах [7], где осуществляется прокачка $\text{HBr} + \text{Ne}$ через активную среду. Отличительной особенностью ГРТ с внутренним реактором является то, что все процессы протекают в отпаянной ГРТ, заполненной буферным газом Ne с дозированными добавками галогена.

Частотно-энергетические характеристики MnBr -лазера

В исследовании использовалась ГРТ диаметром 2 см и длиной 50 см. Кусочки марганца равномерно располагались по каналу ГРТ. В качестве источника брома брали порошок дибромида меди, который помещался в отдельный отросток. При определенной температуре отростка с CuBr_2 в канале ГРТ поддерживалась необходимая концентрация брома. Для накачки применяли схему прямого разряда рабочей емкости через ГРТ. В качестве коммутатора использовали таситрон ТГУ1-1000/25.

В рамках исследований максимальная мощность излучения, суммарная по ИК- и видимой областям спектра, составила 1 Вт. Основная доля излучения приходилась на линии 534,1; 542 и 1290 нм. В этом эксперименте частота следования импульсов равнялась 20 кГц, рабочая емкость 565 пФ, давление буферного газа Ne 20 мм рт. ст., а мощность накачки поддерживалась на уровне 1000–1200 Вт. При этих же условиях накачки исследовалась зависимость мощности излучения от давления буферного газа Ne. Результаты представлены на рис. 2.

Оптимальная область давлений лежит в диапазоне 20–30 мм рт. ст., что совпадает с оптимальными давлениями буферного газа для большинства лазеров на парах галогенидов металлов.

Частотно-энергетические характеристики лазеров на парах галогенидов металлов в значительной степени обусловлены температурным режимом ГРТ. На рис. 3, а приведена зависимость суммарной выходной мощности (видимая и ИК-области) от температуры стенки ГРТ, которая изменялась за счет использования внешнего нагревателя. Мощность накачки

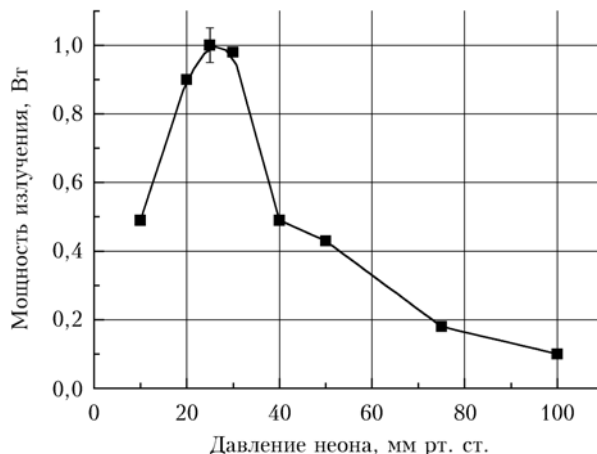


Рис. 2. Влияние давления неона на выходную мощность исследуемого MnBr -лазера с внутренним реактором

была постоянной. Экспериментально установлено, что рабочая температура MnBr -лазера с внутренним реактором, необходимая для эффективного образования паров брома марганца, выше, чем у CuBr -, CuCl -лазеров, и составляет 780–800 °С. На рис. 3, б представлена зависимость суммарной выходной мощности от мощности накачки, потребляемой источником питания.

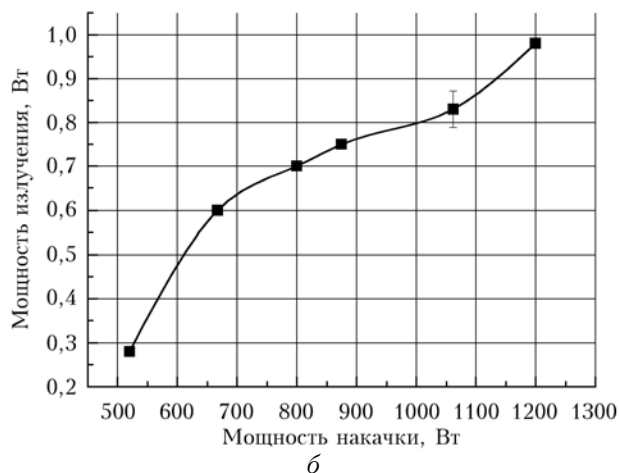
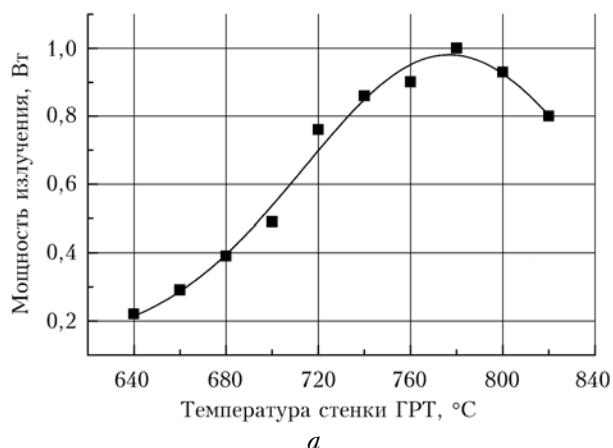


Рис. 3. Зависимость мощности генерации от температуры стенки ГРТ (а) и от мощности накачки (б)

Аналогичная картина наблюдалась ранее для CuBr-лазера и CuBr-, CuCl-лазеров с внутренним реактором [5]. Отсутствие максимума говорит о возможности дальнейшего увеличения выходной мощности за счет повышения мощности накачки без перегрева ГРТ.

Одной из областей применения активных сред на парах металлов являются АОС с усилителями яркости [1, 8]. Наибольшее распространение в них получили активные среды на переходах атома меди, однако возможность проведения диагностики одновременно в ИК- и видимой областях спектра делает среду MnBr-лазера перспективной в качестве усилителя яркости. В этой связи важным является разработка высокочастотных активных элементов. Исследование частотных характеристик MnBr-лазера с внутренним реактором показало возможность достижения ЧСИ излучения 100 кГц (рис. 4). Результат получен при следующих условиях: мощность накачки 1200 Вт, давление неона 25 мм рт. ст., температура стенки ГРТ 780 °С.

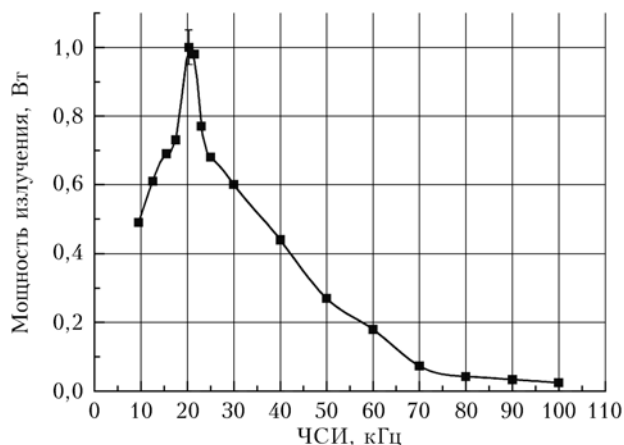


Рис. 4. Зависимость мощности излучения от ЧСИ излучения

Данное значение на сегодняшний день является максимальным для лазера на самоограниченных переходах атома марганца. Ограничения по дальнейшему увеличению ЧСИ связаны с возможностями источника питания. Следует отметить, что добавка HBr в активную среду, возможно, приведет к увеличению выходной мощности и позволит повысить максимальную ЧСИ.

Усилительные характеристики MnBr-лазера

Для эффективного использования среды в качестве усилителя яркости важно изучить усилительные характеристики, определяющие качество получаемых изображений в лазерных мониторах. Для этого из схемы лазера были удалены зеркала резонатора, что обеспечило работу в режиме сверхсветимости. Зависимость эффективного коэффициента однопроходового усиления (определяется по отношению мощности однопроходового излучения к мощности сверхсвети-

мости) и мощности сверхсветимости от температуры генератора галогена приведена на рис. 5. В эксперименте ЧСИ соответствует максимальной мощности 1 Вт генерации и составляет 20 кГц.

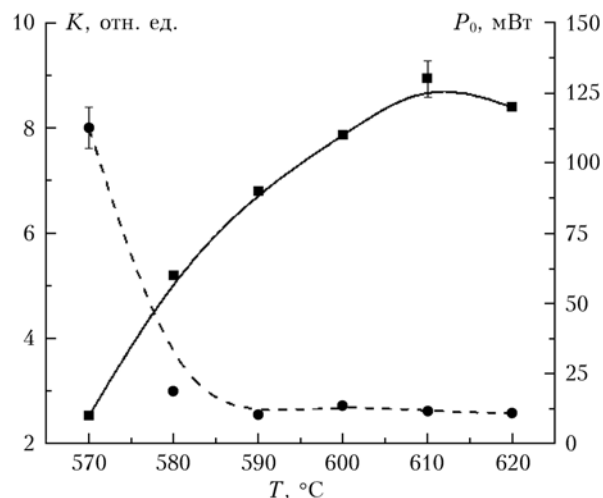


Рис. 5. Зависимость однопроходового усиления K (штриховая кривая) и мощности сверхсветимости P_0 (сплошная) от температуры генератора галогена

Наибольшее усиление получено при малых концентрациях рабочего вещества (область «низких» температур), однако при этом сверхсветимость имеет очень малые значения, что вызвано низким уровнем входного сигнала усилителя. Аналогичные результаты были получены для активных сред с традиционной накачкой и традиционным способом создания паров рабочего металла.

Результаты визуализации тестового объекта — металлической сетки (в зеленой области спектра) — при указанных температурах при использовании лазерного проекционного микроскопа [8] с исследуемым усилителем яркости приведены на рис. 6.

Полученные данные свидетельствуют, что наиболее контрастные изображения наблюдаются при температурах генератора галогена, которые ниже температур, обеспечивающих максимум мощности генерации, т.е. при малых концентрациях рабочего вещества. Максимальный контраст соответствует температурам генератора галогена 580–590 °С, в то время как максимальная мощность наблюдается при больших температурах. Дальнейшее увеличение температуры приводит к увеличению фона и снижению усиления (см. рис. 5), что, в свою очередь, снижает контраст.

Для сравнения качества изображений, получаемых в активных оптических системах с усилителями яркости на переходах атомов меди и марганца, были построены лазерные мониторы на их основе и проведена визуализация тестового объекта. Результаты приведены на рис. 7. Оценка качества изображений проводилась исходя из распределения яркости пикселей по белой линии (рис. 7, б, г), которые определялись с помощью специализированного программного обеспечения ImageJ [9], подробно описанного в [8].

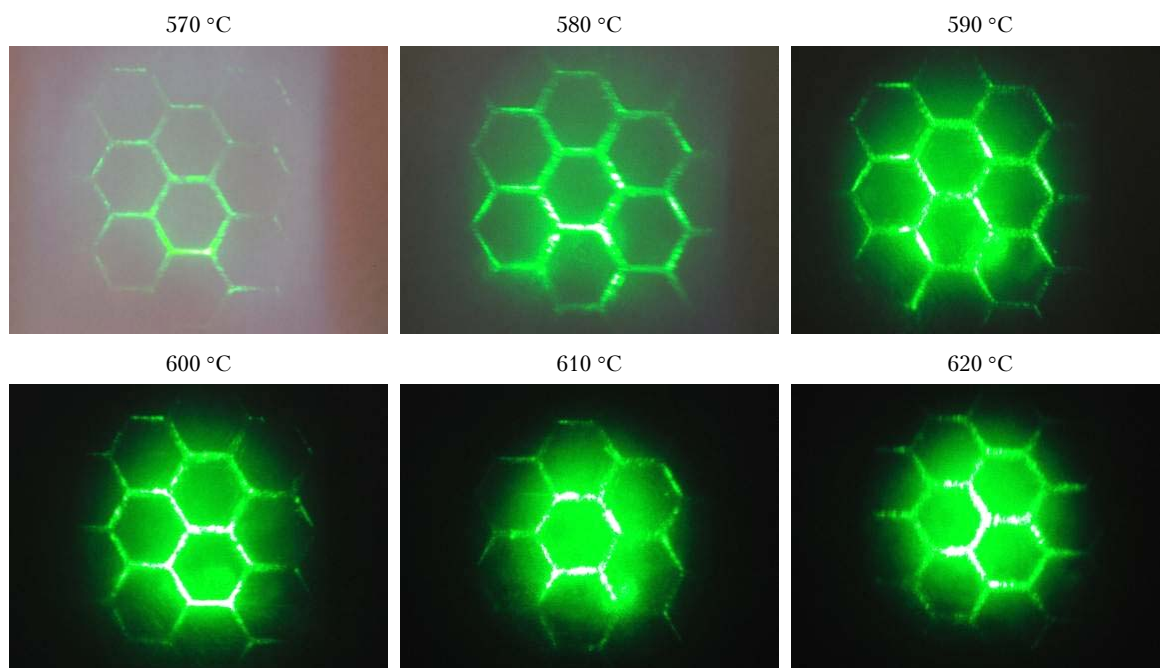


Рис. 6. Изображения тестового объекта, полученные в АОС с усилителем яркости на переходах атома марганца при различной температуре генератора галогена

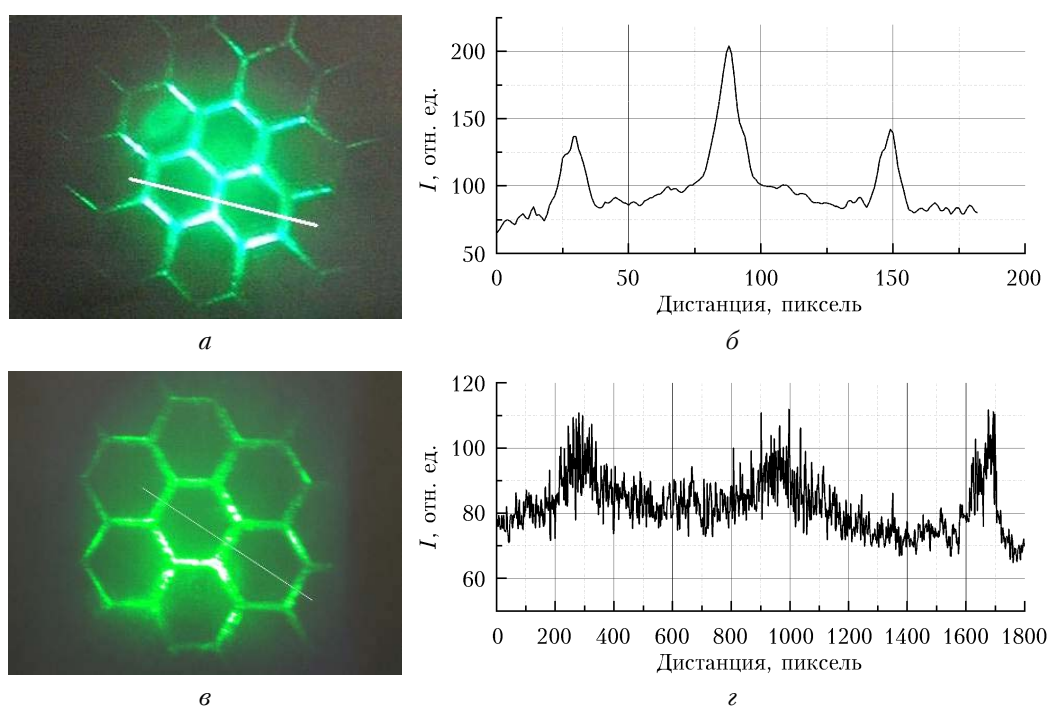


Рис. 7. Изображения, получаемые в АОС с усилителем яркости на переходах атома меди (а) и марганца (в), и распределение интенсивности пикселей (б, г) по белой линии

Визуально качество изображений, получаемых с усилителем яркости на парах $MnBr$, ниже, чем при работе с усилителем на переходах атомов меди. Это проявляется как в более низком локальном контрасте, так и в «зашумленности» изображения. Возможно, это связано с особенностями переходов атома марганца и с режимом работы усилителя яркости,

который необходимо более тщательно исследовать для оптимизации получаемых изображений.

Заключение

Проведенные нами исследования показали, что лазер на парах бромида марганца с внутренним

реактором по частотно-энергетическим и усилительным характеристикам не уступает лазерам на парах галогенидов металлов с традиционным способом создания паров рабочего вещества. Исследуемый MnBr-лазер с внутренним реактором показал стабильную работу в течение длительного времени.

Предложенная конструкция активного элемента является перспективной для разработки отпаянных лазеров на переходах различных металлов (Cu, Mn, Pb и др.) и позволяет оперативно производить замену рабочего металла.

Впервые для активной среды на самоограниченных переходах атома марганца удалось достичь ЧСИ 100 кГц, что позволит проводить визуализацию быстротекущих процессов с временным разрешением до 10^{-5} с.

Дальнейшие исследования будут связаны с влиянием добавки HBr на частотно-энергетические и усилительные характеристики среды MnBr-лазера, а также с изучением спектральных характеристик излучения.

1. Little C.E. Metal Vapour Lasers. Physics, Engineering & Applications. UK, Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1998. 620 p.

2. Оптические системы с усилителями яркости // Труды ФИАН / Под ред. Г.Г. Петраш. М.: Наука, 1991. Т. 206. 152 с.
3. Тригуб М.В., Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А., Торгаев С.Н. Лазерный монитор с возможностью кадровой регистрации изображений // Контроль. Диагностика. 2011. Спец. вып. С. 140–143.
4. Шиянов Д.В., Суханов В.Б. Особенности работы ЛПИМ с внутренним реактором галогенида металла: Тезисы докл. // Лазеры на парах металлов. Лоо, 20–24 сентября 2010 г. С. 96.
5. Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Ткаченко Н.Ю. Лазер на парах подида меди с внутренним реактором // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 8. С. 721–726.
6. Тригуб М.В., Шиянов Д.В., Евтушенко Г.С. Усилительные характеристики активного элемента лазера на парах хлорида меди с внутренним реактором // Изв. вузов. Физ. 2012. Т. 55, № 10. С. 46–50.
7. Jones D.R., Maitland A., Little C.E. A high-efficiency 200 W average power copper HуBrID laser // IEEE J. Quantum Electron. 1994. V. 30, N 10. P. 2385–2390.
8. Тригуб М.В., Дашинамаева Е.З., Евтушенко Г.С. Определение микроперемещений объекта с помощью математической обработки изображений, получаемых в лазерном микроскопе // Оптика атмосфер. и океана. 2013. Т. 26, № 10. С. 881–885.
9. ImageJ [Электронный ресурс]. URL: <http://rsbweb.nih.gov/ij/>

M.V. Trigub, D.V. Shiyarov, V.B. Sukhanov, G.S. Evtushenko. MnBr vapor active medium with the inner reactor at 100 kHz PRF.

In this paper, the frequency and energy characteristics of a MnBr vapor laser with the inner reactor, i.e., with gas vapors being produced within a gas discharge tube, and the dependence of the average output power on different parameters are studied. The values of the GDT wall temperature and buffer gas pressure required for obtaining the maximum output power are determined. It is shown that the active elements of this kind are as good as the elements with a conventional way of gas vapor production. For a medium on transitions of Mn atoms, the PRF of 100 kHz is obtained for the first time. The results of using the active element as a brightness amplifier in active optical systems are also presented, and the research of amplifying characteristics is carried out.