

УДК 621.373.826

Исследование усилительных характеристик CuBr-лазера

М.В. Тригуб^{1,2}, Г.С. Евтушенко², В.О. Троицкий^{1*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

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

Поступила в редакцию 16.12.2015 г.

Представлены результаты исследования усилительных характеристик CuBr-лазера. Исследовалось влияние потерь в канале обратной связи неустойчивого резонатора телескопического типа с боковым выводом излучения. Показана возможность выделения отдельной линии генерации лазера за счет использования полосовых фильтров в канале обратной связи. Определены интегральные коэффициенты усиления для каждой линии.

Ключевые слова: CuBr-лазер, неустойчивый резонатор, усилительные характеристики; CuBr laser, unstable cavity, gain characteristics.

Введение

В настоящее время лазерные системы широко используются для визуализации быстропротекающих процессов и прецизионной микрообработки материалов. Наибольшее распространение для решения данных задач получили твердотельные лазеры, в том числе волоконные. Наряду с этим газовые лазеры, в частности на парах металлов и их галогенидов, имеют ряд преимуществ. В частности, CuBr-лазер позволяет осуществлять прецизионную микрообработку металлов с высокой точностью [1]. Кроме того, среда этого лазера обладает уникальными свойствами для построения систем визуализации быстропротекающих процессов, экранированных фоновой засветкой [2, 3]. Одна из особенностей CuBr-лазера – это генерация одновременно на двух линиях. Для более точной обработки изделий и для задач визуализации зачастую необходимо выделять только одну линию генерации. Достигнуть этого можно за счет использования полосовых светофильтров. Однако такой подход приводит к потерям и на выделяемой линии. При использовании относительно недорогих фильтров потери могут достигать 10–20%, что является недопустимым, особенно учитывая невысокий практический КПД данного лазера [4]. Из-за того что лазеры на парах металлов имеют достаточно высокий коэффициент усиления, было сделано предположение, что потери полезного сигнала можно уменьшить, если использовать фильтр в канале обратной связи (ОС) лазера внутри резонатора.

Это также позволит снизить эксплуатационные требования к фильтру, поскольку на него будет воздействовать излучение меньшей мощности.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Были проведены исследования усилительных характеристик CuBr-лазера с активным теплоизолятором [5]. Диаметр активной зоны усилителя составлял 50 мм, длина 900 мм, давление буферного газа неона 25 торр. Возбуждение активной среды осуществлялось источником питания с импульсным зарядом рабочей емкости и ее разрядом на газоразрядную трубку через тиратрон [6]. Мощность излучения регистрировалась с помощью ОРННР 20С-SH и с используемым неустойчивым резонатором составляла 12 Вт. Для проведения экспериментов применяли нейтральные светофильтры (НС), белые стекла (БС) и полосовые светофильтры с максимумом коэффициента пропускания на линии 578,2 нм, с максимумом на линии 510,6 нм. Для всех фильтров были измерены коэффициенты ослабления K_0 на желтой и зеленой длинах волн генерации лазера.

Исследование влияния потерь в цепи обратной связи на мощность генерации проводилось в схеме с неустойчивым резонатором телескопического типа с боковым выводом излучения. Такой резонатор обеспечивает расходимость пучка, близкую к дифракционной, и в силу этого представляет наибольший практический интерес. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

Дифрагма 9 диаметром 1 мм позволяла избавиться от фонового низкокогерентного излучения.

* Максим Викторович Тригуб (trigub@tpru.ru); Геннадий Сергеевич Евтушенко (evt@tpru.ru); Владимир Олегович Троицкий (qel@iao.ru).

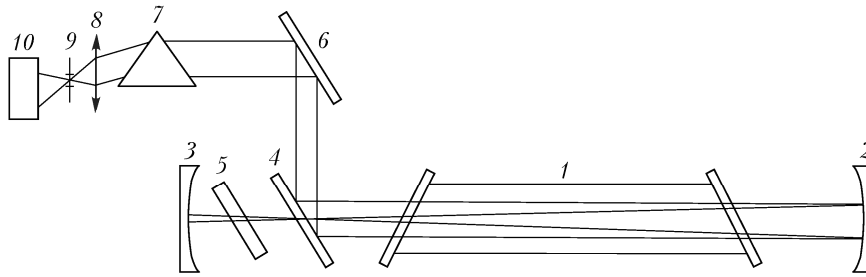


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – газоразрядная трубка; 2, 3 – сферические зеркала (фокус 200 и 5 см соответственно); 4 – поворотное зеркало с отверстием диаметром 1 мм; 5 – светофильтр; 6 – поворотное зеркало; 7 – призма; 8 – линза; 9 – диафрагма; 10 – измеритель мощности

Призма 7 использовалась для разделения линий 510,6 и 578,2 нм. Сначала проводились измерения мощности на каждой линии при отсутствии фильтров (P_{\max}) с помощью измерителя мощности 10. Затем фильтры с различными коэффициентами ослабления располагались в канале ОС резонатора под малым углом к оси резонатора, что позволяло избежать паразитных отражений. Измерялась мощность излучения для каждой линии при использовании фильтра внутри резонатора P_{ϕ} . Для каждого случая определялось отношение P_{ϕ}/P_{\max} . Зависимость этого отношения от ослабления фильтра приведена на рис. 2 (сплошные кривые). Штриховыми кривыми показаны значения коэффициента при расположении фильтров после резонатора.

Точками показаны значения, полученные при использовании полосовых фильтров на каждой из двух длин волн генерации лазера в канале ОС. Пропускание фильтра на линии 510,6 нм равно 65%. При расположении его в канале ОС выходная мощность составляет 98,5% от максимальной мощности генерации на этой линии. При расположении нейтрального светофильтра с таким же коэффициентом пропускания (НС1) в канале ОС выходная мощность составила 95% от максимальной мощности. Уменьшение пропускания в канале ОС до 55% фильтром НС7 приводит к уменьшению мощности всего на 10% от максимальной.

Пропускание фильтра на линии 578,2 нм составляет 92%, введение его в канал ОС привело к снижению мощности генерации на 1%. Аналогичный коэффициент пропускания на линии 578,2 нм имеет фильтр БС5, его введение в канале ОС привело к снижению мощности на 2,5%. При расположении фильтров НС1 и НС7 в канале ОС мощность генерации на линии 578,2 нм равна 88 и 78% от максимальной мощности соответственно. Интересен факт, что использование полосового фильтра всегда позволяло получить несколько большую мощность, нежели фильтра с аналогичным пропусканием во всем диапазоне.

Видно, что потери в канале ОС влияют на выходную мощность на линии 578,2 нм сильнее, чем на 510,6 нм. Следует предположить, что это связано с различным коэффициентом усиления среды для данных линий. Было решено провести исследование интегрального коэффициента усиления при различном уровне входного сигнала P_{in} . Схема измерений

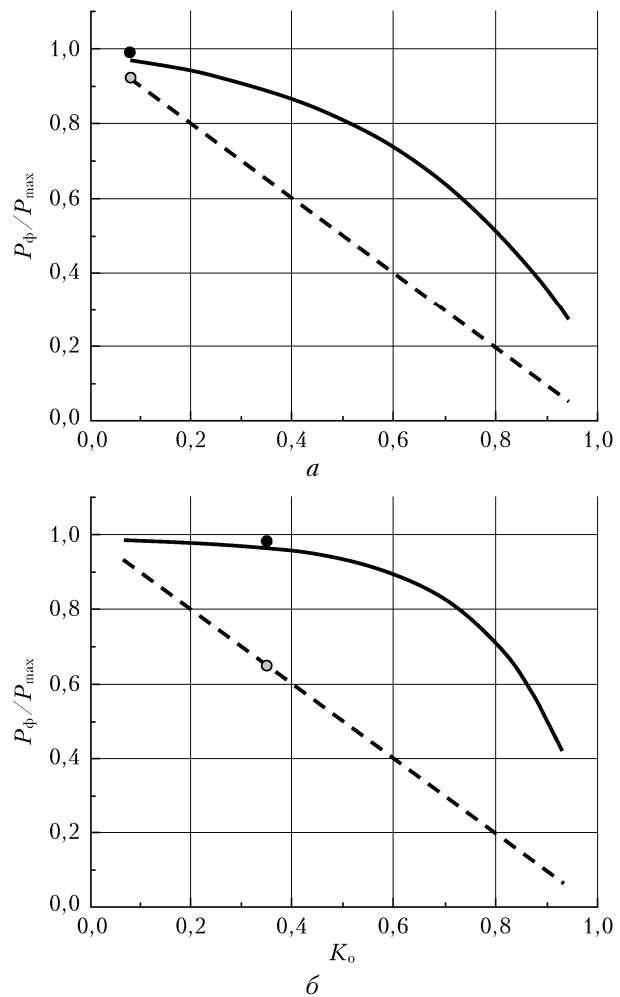


Рис. 2. Зависимость отношения мощностей при различном пропускании фильтра в цепи обратной связи: а – для линии 578,2 нм; б – для линии 510,6 нм

аналогична описанной в [7] и представляет собой систему «задающий генератор – усилитель мощности». За счет использования нейтральных светофильтров обеспечивался различный уровень входного сигнала. Результаты измерений представлены на рис. 3, по оси ординат отложен коэффициент усиления, определяемый как отношение в логарифмическом масштабе выходной мощности усилителя к входной.

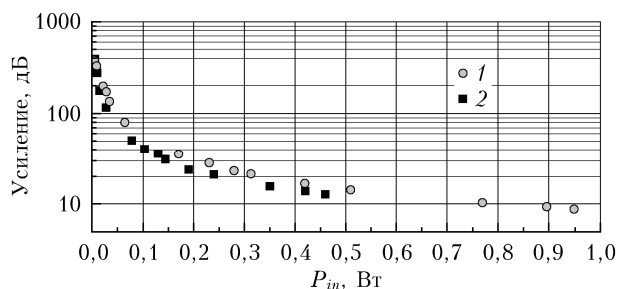


Рис. 3. Интегральный коэффициент усиления для линии 510,6 (1) и 578,2 нм (2)

Из результатов измерений видно, что усиление на линии 510,6 нм больше, чем на линии 578,2 нм. Насыщение коэффициента усиления для линии 578,2 нм наступает при меньшем входном сигнале, чем для линии 578,2 нм. В частности, коэффициент усиления уменьшается в 2 раза при мощности входного сигнала 13 мВт для линии 578,2 нм и при 26 мВт для линии 510,6 нм. Именно это является причиной меньшего влияния потерь в канале ОС на выходную мощность для линии 510,6 нм, чем для 578,2 нм.

Заключение

Таким образом показано, что использование полосовых фильтров в канале обратной связи неустойчивого резонатора телескопического типа позволяет выделять необходимую линию генерации CuBr-лазера без уменьшения мощности генерации. При этом требования к фильтру (коэффициент пропускания, допустимая плотность мощности) существенно ниже, чем при использовании его после резонатора. Введение в канал обратной связи фильтра с пропусканием 50% приводит к уменьшению мощности генерации на 10% для линии 510,6 нм и на 20% для линии 578,2 нм.

Меньшее влияние потерь в резонаторе на мощность генерации на линии 510,6 нм в сравнении

с линией 578,2 нм объясняется меньшим значением мощности, при котором происходит насыщение коэффициента усиления. Показано, что коэффициент усиления снижается в 2 раза при мощности входного сигнала 13 мВт для линии 578,2 нм и 26 мВт для 510,6 нм.

Данный способ выделения отдельной линии генерации будет использован для построения бистатистических лазерных мониторов, а также в задачах микрообработки материалов.

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

1. Лябин Н.А. Создание современных промышленных лазеров и лазерных систем на парах меди для прецизионной микрообработки материалов: Автореф. ... дис. д-ра техн. наук. М., 2014. 36 с.
2. Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyonov D.V. Laser monitor for non-destructive testing of materials and processes shielded by intensive background lighting // Rev. Sci. Instrum. 2014. V. 85, iss. 3. 033111 (5 p.). DOI: 10.1063/1.4869155.
3. Бужинский Р.О., Савранский В.В., Земсков К.И., Исаев А.А., Бужинский О.И. Наблюдение объектов в условиях сильной фоновой засветки от плазмы // Прикладная физ. 2009. № 3. С. 96–98.
4. Little C.E. Metal Vapor Lasers: Physics, Engineering & Applications. Chichester (UK): Willey, 1998. 620 p.
5. Андриченко О.С., Губарев Ф.А., Димаки В.А., Иванов А.И., Левицкий М.Е., Суханов В.Б., Троицкий В.О., Федоров В.Ф., Филонов А.Г., Шиянов Д.В. Лазеры на парах бромида меди нового поколения // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 10. С. 999–1009.
6. Тригуб М.В., Огородников Д.Н., Димаки В.А. Исследование источника накачки лазера на парах металлов с импульсным зарядом рабочей емкости // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 12. С. 1112–1115.
7. Gubarev F.A., Trigub M.V., Troitsky V.O., Sukhanov V.B. Gain characteristics of large volume CuBr laser active media // Opt. Commun. 2011. V. 284, iss. 10–11. P. 2565–2568.

M.V. Trigub, G.S. Evtushenko, V.O. Troitsky. Investigation of the CuBr laser gain characteristics.

In this paper, the investigation results of gain characteristics of a CuBr laser with an unstable cavity are shown. The effect of the losses in the feedback channel of the unstable telescopic resonator with lateral output radiation was investigated. The possibility of allocating one laser wavelength through the use of band-pass filters in the cavity feedback channel was demonstrated.