

09

Усилитель яркости на парах бромида меди с увеличенной длительностью импульса

© М.В. Тригуб^{1,2}, В.В. Власов², С.Н. Торгаев^{1,2,3},
Г.С. Евтушенко^{1,2}

¹ Томский политехнический университет

² Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

³ Томский государственный университет

E-mail: trigub@tpu.ru

Поступило в Редакцию 6 апреля 2017 г.

Представлены результаты разработки и применения усилителя яркости изображений на парах бромида меди для задач визуализации объектов, находящихся на расстояниях более 5 м от регистрирующей аппаратуры. Увеличение длительности импульса сверхизлучения (усиления) достигнуто за счет уменьшения частоты следования импульсов накачки (до 3 кГц) и повышения накопительной емкости (до 3.4 нФ), что увеличивает импульсный энерговыход. Показана принципиальная возможность создания активных оптических систем с усилителями яркости (лазерных мониторов) для визуализации объектов и процессов, находящихся на большом расстоянии от системы регистрации.

DOI: 10.21883/PJTF.2017.18.45029.16816

Использование активных сред лазеров на переходах атомов металлов в качестве усилителей яркости изображений является одной из перспективных областей их применения. Оптические системы с такими усилителями яркости используются для визуализации процессов, экранированных различной фоновой засветкой, с целью получения новых фундаментальных знаний или для контроля параметров наблюдаемого процесса [1–3]. Лазерный монитор является одним из вариантов такой активной оптической системы [4]. Расширение задач, решаемых с помощью лазерных мониторов, связано с модификацией характеристик активных сред усилителей яркости, которые в свою очередь определяют некоторые параметры лазерного монитора. Например, частота следования импульсов (ЧСИ) определяет предельное временное раз-

решение лазерного монитора, длительность импульса сверхсветимости (усиления) определяет предельную дистанцию между наблюдаемым объектом и усилителем яркости. Как было показано в работе [5], использование CuBr-усилителя яркости, типичная длительность по основанию которого составляет 40 ns, не позволяет получить качественное изображение объекта, расположенного на расстоянии более 3 м. Одним из вариантов увеличения дистанции до объекта наблюдения является использование бистатического лазерного монитора [6]. Такая схема лишена некоторых недостатков традиционной моностатической схемы, но требует применения двух активных элементов с системами накачки и синхронизации. Другим методом увеличения предельной дистанции между объектом наблюдения и усилителем яркости в лазерном мониторе является увеличение длительности импульса сверхизлучения. Возможность получения „длинного“ импульса излучения (до 320 ns по основанию) показана в работе [7]. Очевидно, что параметры газоразрядной трубки (ГРТ) усилителя яркости должны обеспечивать формирование качественного изображения на его выходе. Поэтому необходимо использовать ГРТ с диаметром не менее 0.5 см. С использованием ГРТ диаметром 5 см была получена длительность импульса сверхизлучения (усиления) 100 ns [8]. На основе данного усилителя яркости был реализован лазерный монитор, в котором удалось визуализировать объекты, расположенные на расстоянии 10 м. При этом временная зависимость усиления и передачи контраста в таких усилителях яркости до сих пор не изучена. О временной зависимости усиления и оптимальной временной задержке сообщается в работе [9] для усилителя яркости с типичной длительностью.

В настоящей работе представлены результаты разработки и экспериментального исследования усилителя яркости на парах бромида меди с длительностью импульса, увеличенной до 100 ns. Использовался активный элемент CuBr-лазера со следующими параметрами ГРТ: длина активной зоны 90 см и диаметр 5 см. Конструкция ГРТ и схема накачки с импульсным зарядом рабочей емкости описаны в [8]. Использование внешнего нагревателя стенки ГРТ позволяет стабилизировать температуру активного элемента при изменении вводимой энергии в активную среду. За счет этого обеспечивается стационарный тепловой режим при изменении параметров накачки. Накачка осуществлялась в двух режимах. Параметры для первого (с типичной ЧСИ) были следующими: ЧСИ составляла 15 kHz, емкость накопительного конденсатора —

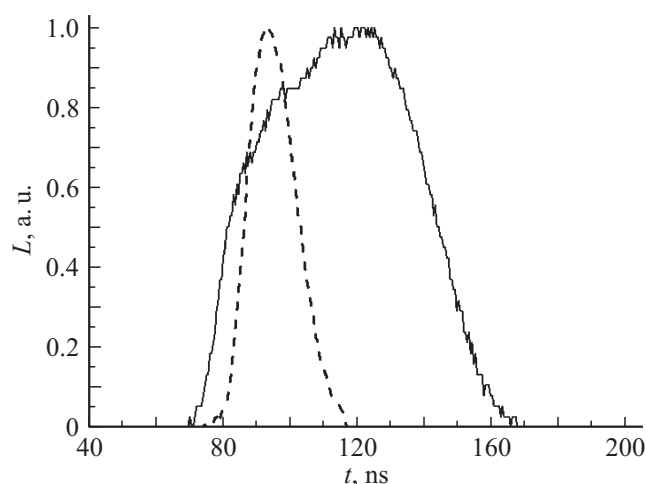


Рис. 1. Импульсы сверхизлучения при различных режимах возбуждения: при типичной ЧСИ (штриховая линия) и пониженной ЧСИ (сплошная линия).

0.75 нФ, амплитуда напряжения на конденсаторе — 12 кВ, мощность, потребляемая источником от сети — 1.2 кВт. Второй режим возбуждения (с пониженной ЧСИ) использовался для получения „длинного“ импульса, при этом рабочая частота снижалась до 3 кГц, накопительная емкость составляла 3.4 нФ, максимальное напряжение на конденсаторе оставалось неизменным. В обоих случаях в активную среду добавлялся НВг, что приводило к стабилизации разряда. Диаграммы импульсов сверхизлучения представлены на рис. 1.

Видно, что изменение условий возбуждения позволяет получить увеличение длительности сверхсветимости. При этом средняя мощность в режиме генератора (с плоскопараллельным резонатором) уменьшилась практически в 3 раза относительно возбуждения с типичной ЧСИ. Увеличение длительности излучения наблюдалось в достаточно малом интервале напряжений на рабочей емкости. Энергия, запасаемая в конденсаторе в режиме пониженной ЧСИ, в 4.5 раза больше, чем для случая с типичной ЧСИ. Такие условия возбуждения позволили увеличить длительность импульса сверхизлучения в 2 раза. Следует отметить, что снижение энерговклада при частотах 10–20 кГц за

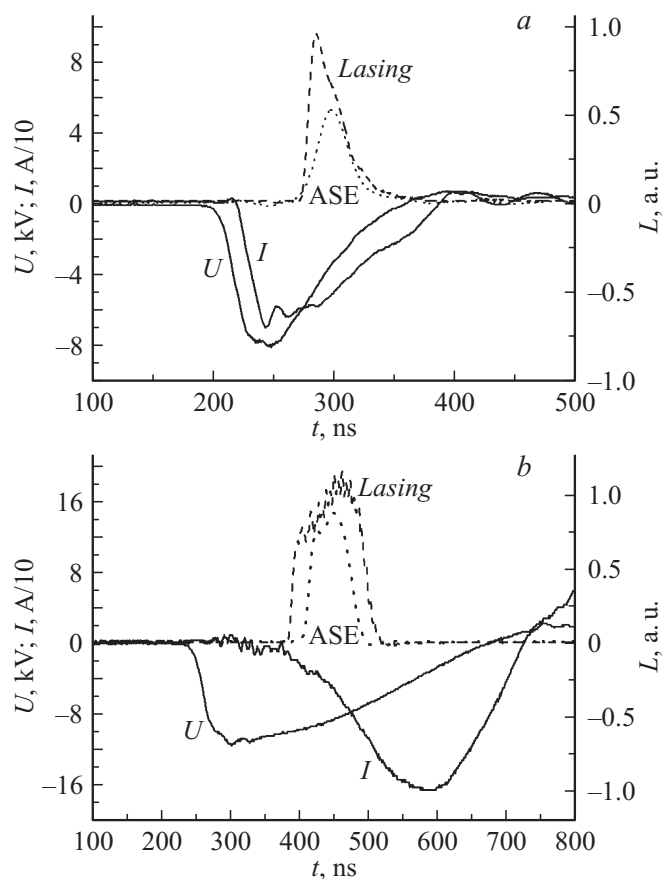


Рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения на ГРТ (U), тока через ГРТ (I), импульса сверхизлучения (ASE) и генерации ($Lasing$) при типичной (a) и пониженной (b) ЧСИ.

счет понижения напряжения или величины накопительной емкости не приводит к увеличению длительности импульса. На рис. 2 представлены осциллограммы импульсов тока и напряжения на ГРТ, а также импульсы сверхизлучения (ASE) и генерации ($Lasing$) в режиме типичной (a) и пониженной (b) ЧСИ. Импульсы ASE и $Lasing$ указаны в относитель-

ных единицах (L, a. u.). На рисунках значение тока разделено на 10 для удобства отображения в одних осях с напряжением. Задержка начала развития тока относительно напряжения свидетельствует о малой предимпульсной концентрации электронов в среде. Импульс излучения значительно смещен относительно максимума тока через ГРТ, результатом этого является снижение средней мощности излучения. Очевидно, что такой режим работы малоэффективен при использовании среды в качестве генератора (лазера). Эффективность возбуждения среды при понижении частоты также оказалась ниже. Энергия, вводимая в среду до окончания импульса сверхизлучения, составила 27 мДж для рис. 2, *a* (на интервале времени от 200 до 340 ns) и 69 мДж для рис. 2, *b* (на интервале времени от 200 до 500 ns), а суммарная энергия составила 30 и 170 мДж соответственно.

Увеличение длительности импульса сверхизлучения позволяет проводить визуализацию объектов в схеме лазерного монитора при их расположении на расстояниях, превышающих 5 м [8]. Для проверки возможности получения таких изображений была собрана схема лазерного монитора [4], изображение в котором формировалось с помощью ахроматического объектива с фокусным расстоянием $F = 25$ см и апертурой 5.5 см. В качестве наблюдаемого объекта использовалась щель монохроматора МДР-23. Изображение строилось на входе коаксиального фотоэлемента ФК-22 для регистрации оптических импульсов. На рис. 3 показаны импульсы сверхизлучения и усиленных изображений при различных расстояниях между объектом и усилителем яркости.

Увеличение дистанции приводит к задержке поступления входного сигнала, несущего изображение, на вход усилителя яркости. Результатом этого являлось значительное снижение яркости получаемого изображения, а также снижение контраста. При дистанции 10 м контраст уменьшался в 3 раза. При дальнейшем увеличении дистанции изображение объекта было неразличимо на экране из-за наличия фона (усиленного спонтанного излучения). Объясняется это тем, что энергия усиленного изображения сопоставима с энергией фона, который также попадал на экран. При этом видно, что при расстоянии 6 м между объектом наблюдения и усилителем яркости импульс усиленного сигнала имеет большую амплитуду, контраст изображения при этом также был максимальным. Это свидетельствует о том, что существует оптимальная задержка между началом импульса сверхсветимости и поступлением входного сигнала на вход усилителя яркости. В данном

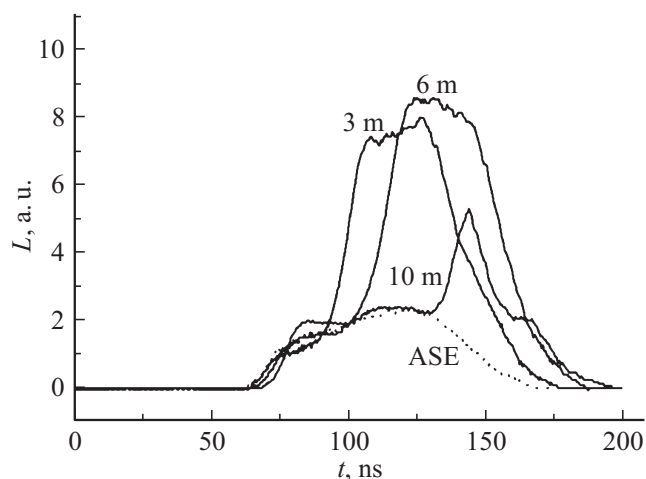


Рис. 3. Импульс сверхсветимости ASE (пунктирная линия) и усиленного сигнала при различном расстоянии между объектом и входом усилителя яркости (сплошные линии).

случае оптимальная задержка составила 36 ns, что соответствует времени 100 ns на рис. 3. Очевидно, что при этом входной сигнал поступает в активную среду в момент, когда усиление максимально.

Таким образом, увеличение длительности импульса сверхсветимости усилителя яркости до 100 ns позволило увеличить дистанцию между объектом наблюдения и усилителем яркости до 10 m, при этом контраст получаемых изображений оставался достаточным для их математического анализа. Увеличение длительности сверхсветимости достигалось за счет снижения ЧСИ и повышения импульсного энерговклада, при этом эффективность среды в качестве генератора значительно ниже, чем при типичной ЧСИ. Показано наличие оптимальной задержки между началом импульса сверхсветимости и моментом поступления отраженного от объекта сигнала. В условиях нашего эксперимента она составила 36 ns. В этом случае сигнал поступает на вход усилителя яркости в момент времени, когда усиление среды близко к своему максимальному значению.

Работа выполнена в рамках продолжения исследований по проекту Российского научного фонда № 14-19-00175.

Список литературы

- [1] Бужинский Р.О., Савранский В.В., Земсков К.И., Исаев А.А., Бужинский О.И. // Прикладная физика. 2009. № 3. С. 96–98.
- [2] Buzhinskij O.I., Vasiliev N.N., Moshkunov A.I., Slivitskaya I.A., Slivitsky A.A. // Fusion Eng. Design. 2002. V. 60. P. 141–155.
- [3] Prokoshev V.G., Abramov D.V., Danilov S.U., Shishin S.I., Chizhov A.V., Arakelian S.M. // Laser Phys. 2011. V. 11. N 11. P. 1167–1171.
- [4] Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyanov D.V. // Rev. Sci. Instrum. 2014. V. 85. N 3. P. 033111 (1–5).
- [5] Тригуб М.В., Федоров К.В., Евтушенко Г.С. // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 09. С. 850–853.
- [6] Тригуб М.В., Торгаев С.Н., Евтушенко Г.С., Троицкий В.О., Шиянов Д.В. // Письма в ЖТФ. 2016. Т. 42. В. 12. С. 51–56.
- [7] Губарев Ф.А., Федоров В.Ф., Федоров К.В., Шиянов Д.В., Евтушенко Г.С. // Квантовая электроника. 2016. Т. 46. № 1. С. 57–60.
- [8] Trigub M.V., Fedorov K.V., Vlasov V.V., Evtushenko G.S. // Proc. of the 17th Int. Conf. of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices: Novosibirsk, 30 June–4 July 2016. Novosibirsk: NSTU, 2016. P. 295–299.
- [9] Gubarev F.A., Li L., Klenovskii M.S., Shiyanov D.V. // Appl. Phys. B: Lasers and Optics. 2016. V. 122. N 1. P. 1–7.