

09;15

Бистатистический лазерный монитор

© М.В. Тригуб^{1,2}, С.Н. Торгаев^{1,2}, Г.С. Евтушенко²,
В.О. Троицкий¹, Д.В. Шиянов^{1,2}

¹ Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

² Томский политехнический университет, Томск

E-mail: trigub@tpu.ru

Поступило в Редакцию 11 февраля 2016 г.

Представлен макет бистатистического лазерного монитора на основе активных сред на парах бромида меди, позволяющего получать изображения объектов и быстропротекающих процессов, удаленных от устройства наблюдения на значительное расстояние, в реальном масштабе времени. В схеме использованы два активных элемента. Один выполнял функцию подсветки объекта наблюдения, второй использовался как усилитель яркости изображения.

На сегодняшний день весьма актуальным является вопрос разработки систем для исследования быстропротекающих процессов, протекающих в области взаимодействия высококонцентрированных потоков энергии с веществом. Основным методом визуализации таких процессов является лазерная подсветка с различными способами пассивной фильтрации получаемых изображений [1]. Такой подход имеет ряд ограничений, связанных с интенсивностью засветки и расстоянием до наблюдаемого процесса (объекта). Для исследования процессов, протекающих в условиях широкополосной фоновой засветки, хорошо зарекомендовали себя активные оптические системы с усилителями яркости изображения (лазерные мониторы) на основе лазерных сред на парах металлов. Как показали проведенные оценки, лазерные мониторы на основе активной среды на парах бромида меди позволяют визуализировать процессы, экранированные засветкой с яркостной температурой свыше $2 \cdot 10^4$ К и временным разрешением до $2 \cdot 10^{-5}$ [2]. Такие системы использовались для исследования различных процессов. В частности, в работах [3,4] монитор применялся для изучения процессов, протекающих на поверхности угольных электродов, в работах [5,6] — аналогичных при лазерной сварке металла и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза соответственно.

Следует отметить, что в перечисленных и других подобных работах использовался так называемый самоспряженный (моностатический) вариант активной оптической системы. Отличительной особенностью этого варианта построения является то, что один активный элемент выполняет как функцию источника подсветки объекта, так и функцию усилителя яркости его изображения [7]. Как следствие, это предполагает визуализацию объектов, расположенных в непосредственной близости от монитора.

В работе [8] предложен вариант оптической системы, в которой функции подсветки и усиления выполняют два разных активных элемента, что позволяет независимо регулировать уровни освещенности объекта и усиления, изменять расстояние до объекта наблюдения.

В данной работе представлены результаты разработки и использования активной оптической системы — бистатического лазерного монитора (БЛМ) на основе активной среды CuBr-лазера, в том числе для визуализации удаленных объектов. При этом использованы современные высокоскоростные регистраторы, которые в полной мере позволяют использовать достоинства высокочастотных усилителей яркости для визуализации быстропротекающих процессов.

Структурная схема БЛМ представлена на рис. 1. В разработанном БЛМ в качестве источника подсветки использован CuBr-лазер с неустойчивым телескопическим резонатором с боковым выводом излучения [9], с газоразрядной трубкой (ГРТ) длиной активной зоны 90 см и диаметром 5 см. В качестве усилителя яркости использована активная среда с тем же диаметром 5 см, но длиной 50 см. Конструкция ГРТ и схема накачки с импульсным зарядом рабочей емкости описаны в работе [9]. В качестве коммутатора использован тиратрон ТГИ1-1000/25. Для временного согласования работы усилителя и осветителя применена схема синхронизации, обеспечивающая возможность плавного изменения задержек запуска тиратронов. Типичная длительность импульсов излучения (усиления) составляла 20–40 ns (по основанию). Максимальное временное разрешение активной оптической системы составляет $2 \cdot 10^4$ frames/s и ограничивается частотой следования импульсов (ЧСИ) усилителя яркости и подсвечивающего лазера.

Очевидно, что принцип действия БЛМ аналогичен системе генератор–усилитель мощности (иное название МОРА-система) [10], исследованию которой посвящено большое количество работ. Как было показано ранее, временное рассогласование между началом импульса

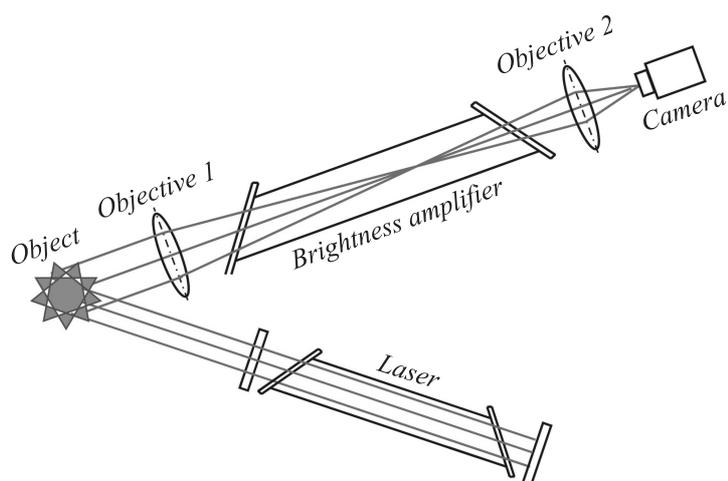


Рис. 1. Схема бистатистического лазерного монитора.

сверхизлучения усилителя и моментом поступления входного сигнала определяет эффективность МОРА-системы (см., например, [11]). Следует предположить, что такой эффект будет наблюдаться и при усилении яркости изображения, т.е. существует оптимальный момент поступления сигнала на вход усилителя яркости, при котором изображение будет иметь максимальный контраст и при этом минимальные искажения. В рамках данной работы этот эффект не исследовался и оптимальный временной сдвиг между импульсами возбуждения генератора и усилителя определялся исходя из максимума мощности генерации на выходе усилителя яркости. Для определения этого сдвига оптическая схема модифицировалась — вместо объекта мы располагали зеркало с коэффициентом отражения 90%, из схемы убирались объективы, вместо скоростной камеры-регистратора располагался измеритель мощности Ophir 20C-SH. При оптимальной задержке и мощности входного сигнала 130 mW мощность на выходе усилителя яркости составила 3 W. Увеличение задержки на 10 ns приводило к снижению мощности генерации в 1.5 раза.

На рис. 2 представлены осциллограммы оптических импульсов сигнала, отраженного от объекта наблюдения, сверхизлучения усили-

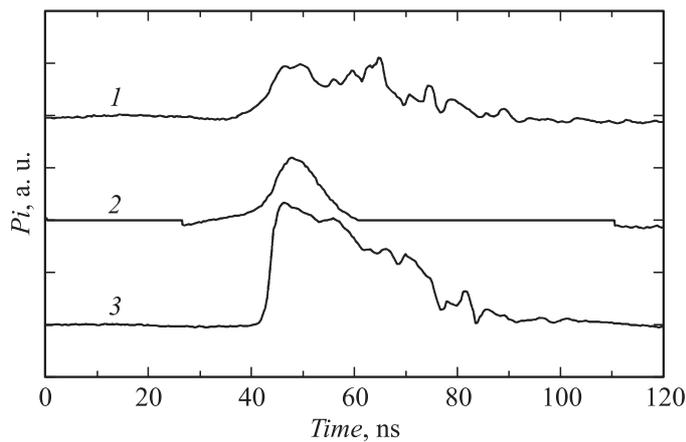


Рис. 2. Осциллограммы импульсов отраженного объектом излучения подсветки (1), сверхизлучения усилителя (2) и усиленного изображения (3), ЧСИ усилителя и лазера-осветителя составляет 20 kHz.

теля при отсутствии входного сигнала и усиленного изображения при оптимальной задержке,

Далее была проведена визуализация тестового объекта, в качестве которого выбрана металлическая монета. При удалении объекта до 4 м от усилителя яркости (в отсутствие подсветки) изображение на камере не формировалось. Связано это с малой длительностью импульса сверхизлучения усилителя и с низким уровнем входного сигнала, поступающего на вход усилителя яркости при освещении объекта его собственным сверхизлучением. При включении подсветки изображение надежно регистрировалось. На рис. 3 представлены результаты визуализации объекта и распределение интенсивности пикселей по указанной белой линии. Рис. 3, *a* соответствует режиму, когда усилитель яркости выключен, а рис. 3, *b* — с включенным усилителем яркости. Регистрация изображения осуществлялась с помощью высокоскоростной камеры Fastec HiSpec 1 в „покадровом“ режиме [2]. Следует отметить, что увеличение задержки на 10 ns не приводит к существенному изменению контраста, что связано, на наш взгляд, с работой усилителя яркости в режиме насыщения.

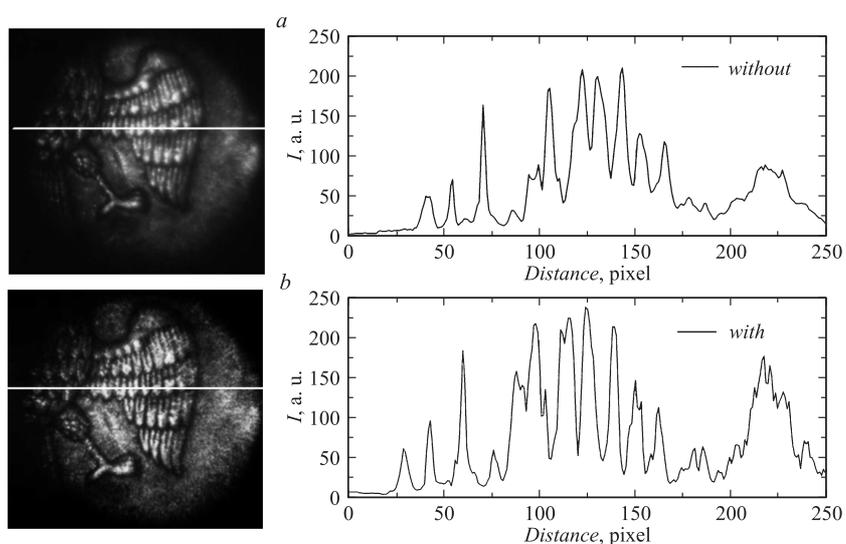


Рис. 3. Изображения тестового объекта, полученные без усилителя яркости (*a*) и с ним (*b*).

Как видно из результатов визуализации, наличие усилителя яркости приводит к некоторому изменению относительного контраста изображения. Что свидетельствует, по-видимому, об искажениях, вносимых усилителем яркости в получаемые изображения. В качестве процесса, сопровождающегося фоновой засветкой, было визуализировано горение бенгальской свечи со скоростью съемки 10^4 frames/s.

Таким образом, в работе впервые продемонстрирована возможность создания бистатического лазерного монитора на основе активной среды на парах бромида меди. Показана возможность визуализации удаленных объектов (процессов) с временным разрешением до $5 \cdot 10^{-5}$ s. Вопрос же искажений, вносимых лазерным монитором, пусть и не очень значимых, требует дальнейшего изучения.

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

Список литературы

- [1] *Colin E. Webb, Julian D.C. Jones. Handbook of Laser Technology: Applications.* IoP Publishing, 2004. 1180 p.
- [2] *Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyarov D.V.* // *Rev. Sci. Instrum.* 2014. V. 85. P. 033 111-5.
- [3] *Prokoshev V.G., Abramov D.V., Danilov S.U., Shishin S.I., Chizhov A.V., Arakelian S.M.* // *Laser Physics.* 2011. V. 11. N 11. 2011. P. 1167–1171.
- [4] *Абрамов Д.В., Аракелян С.М., Галкин А.Ф., Квачева Л.Д., Климовский И.И., Кононов М.А., Михалицын Л.А., Кучерик А.О., Прокошев В.Г., Савранский В.В.* // *Письма в ЖЭТФ.* 2006. Т. 84. В. 5. С. 315–319.
- [5] *Yermachenko V.M., Kuznetsov A.P., Petrovskiy V.N., Prokopova N.M., Streltsov A.P., Uspenskiy S.A.* // *Laser Physics.* 2011. V. 21. N 8. P. 1530–1537.
- [6] *Юсупов Р.А., Китлер В.Д., Кирдяшкин А.И., Тригуб М.В., Евтушенко Г.С.* // *Изв. вузов. Физика.* 2013. Т. 56. № 9/3. С. 226–228.
- [7] *Земсков К.И., Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г.* // *Квантовая электроника.* 1974. Т. 1. № 1. С. 14–15.
- [8] *Исаков В.К., Калугин М.М., Парфенова Е.Н., Потанов С.Е.* // *ЖТФ.* 1983. Т. 53. В. 4. С. 704–714.
- [9] *Gubarev F.A., Troitskiy V.O., Trigub M.V., Sukhanov V.B.* // *Opt. Commun.* 2011. V. 284. N 10–11. P. 2565–2568.
- [10] *Little C.E. Metal Vapor Lasers: Physics, Engineering & Applications.* Chichester (UK): John Willey & Sons Ltd., 1998. 620 p.
- [11] *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.