

УДК 621.373.826.038.823

В. Г. Гладышев, И. В. Наливайко, К. Г. Фолин

(Новосибирск)

**ИСТОЧНИК МОЩНОГО ОДНОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА
ДЛЯ СИСТЕМ СКОРОСТНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ***

Разработан лабораторный образец источника гладких импульсов на длине волны 0,6943 мкм длительностью от 1 до 10 мкс, с шириной спектра 10^{-3} см $^{-1}$ (одна продольная мода задающего лазера на рубине) и с энергией в импульсе до 0,7 Дж.

Для непрерывной регистрации быстрого изменения скорости в системах высокоточных измерений параметров процессов длительностью 10^{-4} — 10^{-6} с (ударные волны, детонация, баллистика, скорость в потоках газов, жидкостей, взвесей) необходимо сочетание высокой мощности излучения с высокой когерентностью при длительностях излучения в видимом диапазоне от единиц до сотен микросекунд. В настоящее время в системах скоростной интерферометрии используются в основном газовые лазеры, позволяющие в одночастотном режиме после усиления получать мощность до 10^2 Вт.

Отсутствие на отечественном и зарубежном рынках одночастотных твердотельных лазеров, генерирующих в видимом диапазоне импульсы длительностью от микросекунды и выше, объясняется специфическими особенностями динамики их генерации, сильно затрудняющими управление параметрами их излучения. Краткая характеристика механизмов проявления этих особенностей и соответствующая библиография приведены в нашей работе [1], в которой сообщалось о получении одночастотной генерации рубинового лазера в режиме гладкого импульса длительностью $\leq 5 \cdot 10^{-6}$ с и мощностью до 10 кВт.

Как отмечалось, например, в [2], повышение мощности видимого излучения при сохранении одночастотной генерации в этом диапазоне длительностей открывает блестящие перспективы (возможность работы в условиях диффузного, на порядки величины снижающегося с развитием исследуемого процесса, отражения; возможность многоканальной регистрации, использования наиболее эффективной методики измерений с применением интерферометра Фабри — Перо, в том числе отображающего, что позволяет производить измерения скорости на большой площади с разрешением во времени).

В настоящей работе приводятся результаты, показывающие возможность повышения на порядок мощности одночастотной генерации предложенного в [1] рубинового лазера, без ухудшения спектрально-кинетических характеристик излучения.

В ходе эксперимента выяснилось, что невозможно решить данную задачу путем увеличения размеров активного стержня, поскольку неизбежное при этом снижение его оптической однородности приводило к срыву одночастотной генерации и хаотизации ее кинетики. Попытке использовать регенеративный

* Работа выполнена в рамках МНТП «Оптика. Лазерная физика».

усилитель воспрепятствовала высокая чувствительность задающего генератора к воздействию рассеянного от входного зеркала усилителя излучения. Использование оптической развязки (поляриод и четвертьволновая пластинка) резко снижало эффективность из-за сильной поляризационной анизотропии усиления рубина.

Приемлемым оказался вариант многопроходного усилителя. Принципиальная оптическая схема источника приведена на рис. 1. В квантроне усилителя использован активный стержень РЛП диаметром 0,8 см, с длиной активной части 12 см и плотностью ионов $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ см}^3$. С увеличением размера стержня снижается его оптическая однородность. Это, как выяснилось, приводило к снижению воспроизводимости из-за влияния рассеянного назад излучения на задающий генератор. Кроме того, возрастала неоднородность поперечного распределения усиленного излучения, что нежелательно, поскольку полученная энергия в импульсе позволяет надеяться на возможность применения источника не только в интерферометрии, но и в голографических методиках с короткими экспозициями.

С целью определения оптимального числа проходов и оптимального диаметра пучка на различных проходах было проведено в балансном приближении численное моделирование процесса усиления. Необходимые для численного анализа данные о величине пассивных потерь (ρ) в активном стержне и уровне инверсной населенности к началу усиления (n_0) получались из эксперимента с однопроходным усилителем в режиме слабого сигнала, а также из дальнейшего расчета по методике, описанной в [3]. Получены значения: $n_0 \approx 8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $\rho \approx 0,03 \text{ см}^{-1}$.

В результате численного анализа принят вариант трехпроходного усилителя с диаметром пучка 0,15, 0,2 и 0,35 см на первом, втором и третьем проходах соответственно. Объемы усиления в активной среде на двух первых проходах вписывались, несколько перекрываясь между собой, в объем усиления на третьем проходе. Периферийные области активной среды использовались при этом неполностью из-за необходимости угловой «развязки» лучей. Дальнейшее увеличение числа проходов снижало воспроизводимость из-за влияния на задающий генератор рассеянного назад излучения, повышало уровень усиленной суперлюминесценции, не приводя к существенному увеличению мощности полезного сигнала.

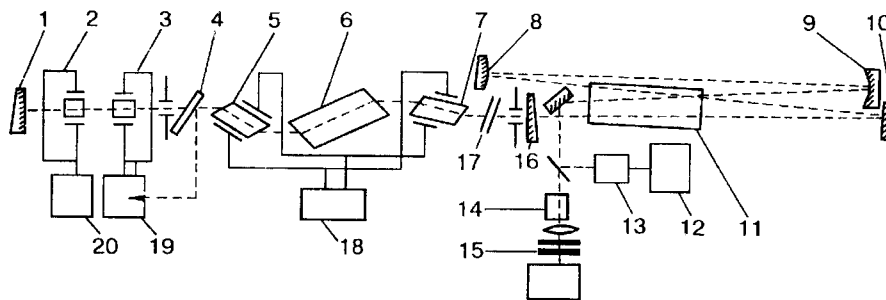


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема источника:

1 — плотное зеркало задающего лазера; 2 — электрооптический модулятор добротности; 3 — электрооптический модулятор, обеспечивающий отрицательную обратную связь; 4 — светофильтр КС-14; 5, 7 — фазовые электрооптические модуляторы; 6 — активный стержень задающего лазера; 8, 9 — зеркала телескопа; 10 — плоское поворотное зеркало; 11 — активный стержень усилителя; 12 — запоминающий осциллограф; 13 — фотоумножитель; 14 — оптическая поляризационная развязка; 15 — измерительный интерферометр и скоростной фоторегистратор ФЭР-7; 16 — выходное зеркало задающего лазера с коэффициентом отражения 0,25; 17 — интерферометр-селектор; 18 — генератор синусоидального напряжения 5 МГц; 19 — фотозлемент и усилитель сигнала отрицательной обратной связи; 20 — генератор экспоненциального импульса, управляющего модулятором добротности

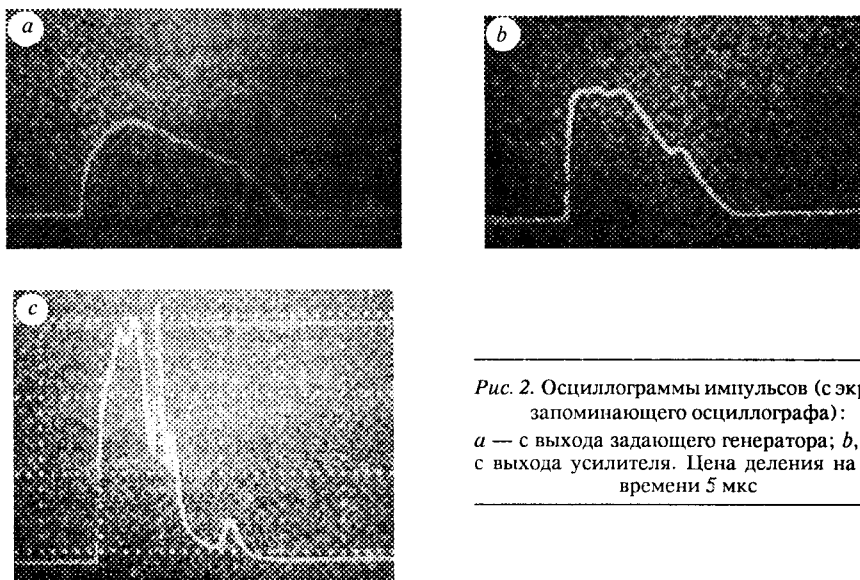


Рис. 2. Осциллограммы импульсов (с экрана запоминающего осциллографа):
a — с выхода задающего генератора; *b, c* — с выхода усилителя. Цена деления на оси времени 5 мкс

В оптической схеме усилителя (см. рис. 1) использовались поворотные зеркала с коэффициентами отражения 0,99 и зеркальный телескоп, расширяющий апертуру пучка после второго прохода. Энергия накачки усилителя составляла 2,5 кДж. Накачка осуществлялась двумя ксеноновыми лампами ИФП-2000 в двухэллипсном отражателе.

На рис. 2 приведены осциллограммы входного (*a*) и усиленного (*b*) импульсов. В случае (*b*) излучение на входе фотоумножителя ослаблялось примерно на порядок сильнее, чем в случае (*a*). Видно, что длительность импульса по полувысоте несколько сокращается. При энергии входного импульса 0,25 Дж (определялась уровнем накачки, до которого сохранялась воспроизводимость спектрально-кинетических характеристик излучения задающего генератора) энергия выходного составляла 0,7 Дж (погрешность измерителя энергии ИКТ-1Н в этом диапазоне — 10 %). Уверенно наблюдалась возможность коррекции формы импульса за счет эффекта насыщения, что полезно для применений, поскольку позволяет получать интервал близкой к постоянной экспозиции до 5 мкс.

На рис. 3 приведена шелевая развертка интерферограммы спектра усиленного импульса, полученная с помощью скоростного фоторегистратора ФЭР-7. Область дисперсии измерительного эталона Фабри — Перо составляла $0,05 \text{ см}^{-1}$ (нижняя часть интерферограммы размыта из-за дефекта зеркал измерительного эталона).

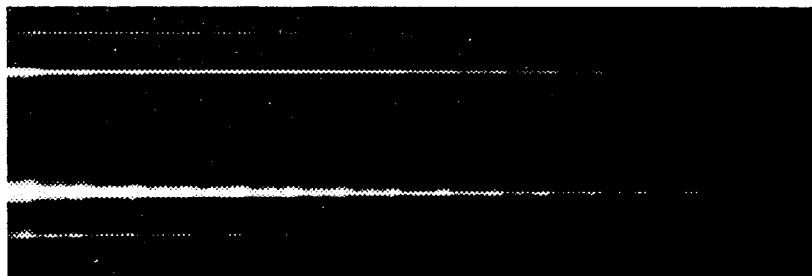


Рис. 3. Шелевая развертка спектра выходного импульса

Такой одночастотный гладкий импульс при аккуратной настройке оптической системы наблюдался в среднем в восьми импульсах генерации из каждых десяти. В остальных импульсах наблюдалось беспорядочное чередование, как правило, двух мод задающего генератора (межмодовый интервал $\sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$), сопровождающееся изменением формы импульса (рис. 2, *с* получен при меньшем, чем рис. 2, *б* ослаблении на входе фотоэлемента).

Указанная воспроизводимость достигалась при использовании в усилителе наиболее однородного из имеющихся у нас активного стержня (далеко не высокого качества: паспортная неоднородность $1,1 \cdot 10^{-5}$). При использовании более неоднородных стержней воспроизводимость падала. Для понимания причин такой зависимости существенна следующая деталь. При удалении оптической развязки (см. 14 на рис. 1) между усилителем и измерительным интерферометром всегда наблюдалась генерация типа приведенной на рис. 2, *с*. При этом на выходе задающего генератора импульс был еще более изрезанным. Отмеченные особенности свидетельствуют о том, что снижение воспроизводимости определяется влиянием на режим генерации задающего лазера рассеянного назад излучения. Причины столь высокой чувствительности (оптическая схема усилителя не содержала нормальных лучу отражающих поверхностей, а рассеяние на микронеоднородностях осуществляется в угол порядка 2π) авторам пока не ясны.

Итак, реализован лабораторный вариант источника видимого одночастотного излучения (одна продольная мода задающего генератора, ширина спектра $< 10^{-3} \text{ см}^{-1}$) длительностью от 1 до 10 мкс (изменение длительности достигалось регулировкой усиления в цепи отрицательной обратной связи и скорости включения добротности задающего лазера), с энергией в импульсе до 0,7 Дж и мощностью до 100 кВт. Установлено, что полученная воспроизводимость одночастотной генерации ($\sim 80\%$) может быть улучшена при использовании активных стержней с более высокой оптической однородностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладышев В. Г., Фолин К. Г. Одночастотная генерация рубинового лазера в режиме мощных импульсов микросекундного диапазона // Квантовая электроника. 1991. 18. С. 1286.
2. McMillan, Goosman D. R. et al. Velocimetry of fast surfaces using Fabry — Perot interferometry // Rev. Sci. Instrum. 1988. N 1. P. 3.
3. Avisonis P. V., Grotbeck R. L. Experimental and theoretical ruby laser amplifier dynamics // J. Appl. Phys. 1966. 37. P. 687.

Поступила в редакцию 14 мая 1996 г.