

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ Yb:YAG ЛАЗЕР С БОЛЬШОЙ СРЕДНЕЙ И ПИКОВОЙ МОЩНОСТЬЮ

И. И. Кузнецов, С. А. Чижов, Д. С. Трунов, Н. И. Карпов, О. В. Палашов

Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия

Лазеры высокой пиковой мощности сегодня активно применяются для исследований в области физики экстремальных оптических полей и высоких плотностей энергий. Успешно продемонстрировано ускорение заряженных частиц, генерация вторичного излучения рентгеновского и ТГц излучения и многое другое. Однако для практического применения данных разработок требуется повышение средней мощности источников, или частоты следования импульсов, которая определяет производительность процессов. Например, для создания лазерно-плазменного источника рентгена для литографии требуются импульсные лазеры с энергией импульсов от 100 мДж и средней мощностью до 10 кВт. В лазерных ускорителях для достижения потоков заряженных частиц, сопоставимых с традиционными ускорителями, требуются фемтосекундные лазеры с энергией более 30 Дж и средней мощностью около 0,5 МВт. Одновременное повышение пиковой и средней мощности является нетривиальной задачей, так как при этом к системе предъявляются противоречащие друг другу требования. Требуется обеспечить не только эффективное запасание и извлечение импульсов большой энергии, но и эффективное охлаждение активной среды из-за высокой частоты следования импульсов. Ключевую роль здесь играет геометрия активного элемента (АЭ).

Перспективным способом повышения пиковой и средней мощности лазера является использование многоканальной лазерной схемы с когерентным сложением каналов. Метод заключается в разделении лазерного пучка на несколько реплик, усилении реплик в различных усилителях, и последующем когерентном сложении в единый пучок, что достигается за счет контроля фазы излучения каждой реплики. Метод обрел широкую популярность в области волоконных лазеров [1], применялся в области непрерывных лазеров экстремально высокой средней мощности (>100 кВт) [2] и в лазерных системах экстремально высокой пиковой мощности [3]. Метод может быть очень эффективен для лазеров с одновременно высокой пиковой и средней мощностью, однако, на сегодняшний день есть лишь несколько пионерских результатов. Ключевой проблемой является создание идентичных каналов, что отягощается сильным влиянием тепловых эффектов.

В данной работе мы предлагаем новую архитектуру многоканального лазерного усилителя, позволяющую значительно упростить задачу размножения каналов. Идея заключается в усилении сразу нескольких пучков в одном АЭ, когда пучки располагаются симметрично относительно оси АЭ и вдоль его охлаждаемой боковой поверхности. При этом АЭ эффективно охлаждается через боковую поверхность, так как источники тепла распределены в непосредственной близости к ней, а все пучки находятся в симметричных условиях, что обеспечивает эквивалентность каналов. На основе представленной геометрии реализована МОРА лазерная система с 4-х канальным Yb:YAG усилителем и с когерентным сложением каналов, схема которой приведена на рис. 1.

Для разделения сигнала на 4 реплики использован дифракционный оптический элемент. АЭ изготовлен из кристалла Yb:YAG в форме прямоугольного параллелепипеда, а сигнальные пучки проходят вдоль его ребер. Разработана 4-х канальная система торцевой диодной накачки. Для фазирования каналов разработан цифровой контроллер, максимизирующий мощность в центральной доле суммарного пучка, используя алгоритм «восхождения к вершине».

На сегодняшний день в такой системе достигнута энергия импульсов >17 мДж при средней мощности ~20 Вт. Реализовано когерентное сложение каналов по принципу «плиточной апертуры» с 57% мощности в центральной доле пучка. Фазовые флуктуации в каналах, в основном сосредоточенные в полосе до 10 Гц, эффективно подавлены цифровым контроллером. Относительное стандартное отклонение остаточных флуктуаций целевой функции составило ~1%.

Следующим шагом будет осуществлено увеличение энергии импульсов в каждом канале до ~50 мДж (что было успешно продемонстрировано в одноканальном стержневом «усилителе расходящегося пучка», предложенном в [4]), а также увеличение числа каналов до 16-ти.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-12-00199, <https://rscf.ru/project/23-12-00199/>.

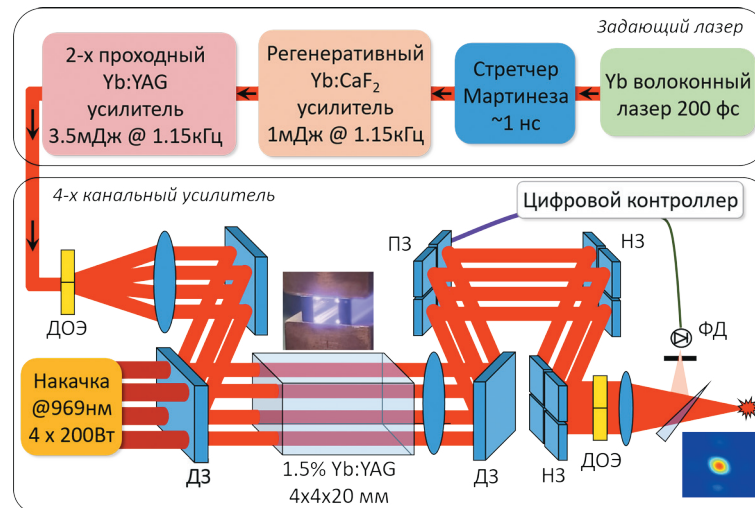


Рис. 1. Оптическая схема лазерной системы:

ДОО – дифракционный оптический элемент, ДЗ – дихроичные зеркала, НЗ – настроечные зеркала,
ПЗ – зеркала на пьезоактуаторах, ФД – фотодиод

Литература

1. **Stark, H.** Pulses of 32 mJ and 158 fs at 20-kHz repetition rate from a spatiotemporally combined fiber laser system [Text] / H. Stark, M. Benner, J. Buldt et al. // Optics Letters. – 2023. – Vol. 48. – P. 3007–3010.
2. **Goodno, G. D.** Coherent combination of high-power, zigzag slab lasers [Text] / G. D. Goodno, H. Komine, S. J. McNaught et al. // Optics Letters. – 2006. – Vol. 31. – P. 1247–1249.
3. **Khazanov, E.** eXawatt Center for Extreme Light Studies [Text] / E. Khazanov, A. Shaykin, I. Kostyukov et al. // High Power Laser Sci. Eng. – 2023. – Vol. 11. – e78.
4. **Kuznetsov, I.** Yb:YAG diverging beam amplifier with 20 mJ pulse energy and 1.5 kHz repetition rate [Text] / I. Kuznetsov, S. Chizhov, and O. Palashov // Opt Lett. – 2023. – Vol. 48. – P. 1292–1295.