

Многокаскадный оптический усилитель с коррекцией параметров усиливаемого лазерного пучка термонаведенными линзами активных элементов

М. В. Богданович^{1,2)}, А. В. Григорьев¹⁾, В. Н. Дудиков^{1,2)}, А. Г. Рябцев^{1,2)},
Г. И. Рябцев¹⁾, П. О. Татура^{1,2)}, Л. Л. Тепляшин¹⁾, М. А. Щемелев¹⁾

¹⁾ Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: ifanbel@ifanbel.bas-net.by

²⁾ ГНПО “Оптика, микроэлектроника и лазерная техника”, Минск, Беларусь,
e-mail: oelt@oelt.basnet.by

Исследованы характеристики многокаскадного оптического усилителя лазерного пучка, пространственные параметры которого корректируются термооптическими линзами, формирующимися в активных элементах каждого усилительного каскада. В качестве активных элементов усилителя использовались кристаллы Nd:YAG, накачиваемые по поперечной схеме блоками лазерных диодов. Устранение линз-компенсаторов позволяет уменьшить общие оптические потери усилителя и его геометрические показатели.

Ключевые слова: многокаскадный оптический усилитель; термолинза; кристалл Nd:YAG; поперечная диодная накачка.

Multistage optical amplifier with correction of parameters of the amplified laser beam by thermal lenses of active elements

M. V. Bogdanovich^{1,2)}, A. V. Grigor'ev¹⁾, V. N. Dudikov^{1,2)}, A. G. Ryabtsev^{1,2)},
G. I. Ryabtsev¹⁾, P. O. Tatura^{1,2)}, L. L. Teplyashin¹⁾, M. V. Shchemelev¹⁾

¹⁾ Institute of Physics of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: ifanbel@ifanbel.bas-net.by

²⁾ SSPA “Optics, Optoelectronics and Laser Technology”, Minsk, Belarus,
e-mail: oelt@oelt.basnet.by

Characteristics of a multistage optical amplifier of a laser beam, the spatial parameters of which are corrected by a thermal lens formed in the active elements of each amplifier cascade, have been studied. The crystals Nd:YAG pumped by the laser diode units in accordance with the transversal scheme were used as the amplifier active elements. Elimination of the compensator lenses makes it possible to reduce the overall optical losses of the amplifier and its geometric parameters.

Keywords: multistage optical amplifier; thermal lens; Nd:YAG crystal; transversal diode pump.

Введение

Один из подходов, привлекаемых для решения проблемы увеличения мощностных/энергетических параметров современных твердотельных лазеров с поперечной диодной накачкой (ТЛПДН), заключается в применении схемы, в соответствии с которой маломощный, с относительно высокой степенью однородности поперечного сечения пучок задающего лазера последовательно усиливается одним, двумя или большим числом каскадов оптического усиления [1–3]. Это позволяет

формировать мощные непрерывные или импульсные потоки излучения ТЛПДН с высокими качественными показателями и высокими частотами повторения импульсов.

На условия согласования характеристик задающего лазера и каскада/каскадов оптического усилителя большое влияние оказывают термолинзы [4], возникающие в активных элементах (АЭ) усилителя под воздействием проходящего лазерного излучения. С целью минимизации термооптических искажений между каскадами усилителя, как правило, устанавливаются линзы–компенсаторы, параметры и положение которых задаются пространственными характеристиками формируемого пучка, конструктивными особенностями резонатора и т. п. [5]. Как результат, общие размеры усилителя с линзами–компенсаторами увеличиваются, возрастают оптические потери и усложняется процедура юстировки лазерной системы.

Настоящая работа посвящена исследованию многокаскадной усилительной лазерной системы с поперечной диодной накачкой АЭ, включающей в себя задающий Nd:YAG, а также два или более каскада оптического усиления. Коррекция пространственных характеристик формируемого пучка лазерного излучения осуществлялась путем компенсации термооптических искажений каждого каскада термолинзами последующих каскадов. Путем моделирования и экспериментально изучены оптические параметры Nd:YAG лазерной системы с пятью каскадами оптического усиления.

1. Моделирование, эксперимент

Моделирование параметров усиливаемого лазерного пучка выполнялось с использованием компьютерной программы, позволяющей рассчитать траекторию слабо расходящегося гауссова лазерного пучка при прохождении через активные элементы каскадов усилителя (пучок задающего лазера подается на вход первого каскада усиления). В качестве исходных параметров были взяты диаметр выходного пучка задающего лазера, фокусные расстояния термонаведенных линз, размеры входных и выходных апертур каждого из каскадов, оптические параметры активных элементов. Полученные численные данные позволили определить геометрию взаимного расположения каскадов усиления, обеспечивающей заполнение излучением объема АЭ каждого каскада усилителя на уровне не менее 90 %. Анализируя различные варианты оптической схемы было установлено, что наибольшая степень компактности достигается в оптической схеме, представленной на рис. 1. Ее особенностью является попарное размещение каскадов усиления, следующих за каскадом номер 1, как, например, каскады под номерами 3 и 4 или 5 и 6.

В соответствии с модельной оптической схемой была изготовлена экспериментальная установка. В качестве задающего лазера использовался непрерывный многомодовый Nd:YAG лазера с поперечной диодной накачкой, генерирующий на длине волны 1064 нм излучение мощностью 90 Вт. В модулях усилителей использовались активные элементы длиной 70 мм и диаметром 3 мм. Поперечная накачка каждого активного элемента осуществлялась тремя непрерывными блоками лазерных диодов мощностью 45 Вт каждый.

Взаимное расположение отдельных элементов системы задавалось результа-

тами моделирования, выполненного для случая, когда величины всех фокусных расстояний термооптических линз F_i определялись экспериментально. Измерение значения F_i выполнялось отдельно для каждого каскада усилителя. С этой целью на вход измеряемого каскада, возбуждаемого на уровне 135 Вт, направлялся близкий к параллельному луч и находилась точка его фокусировки. Как установлено, все пять исследованных каскадов характеризуются приблизительно одинаковыми значениями $F_i \approx 210$ мм.

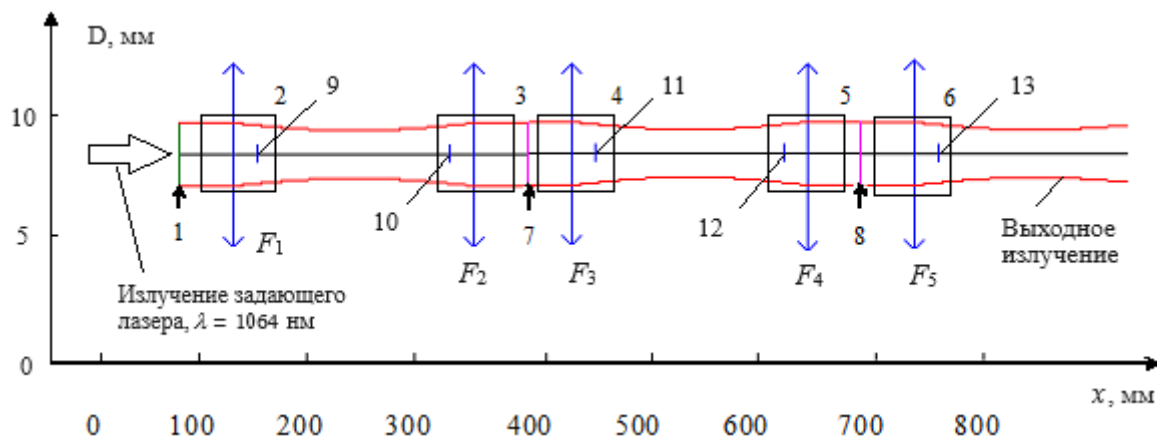


Рис. 1. Оптическая схема исследованной многокаскадной лазерной системы: 1 – положение передней грани выходного зеркала задающего Nd:YAG лазера, диаметр пучка 2,75 мм; 2, 3, 4, 5 и 6 – каскады оптического усилителя, АЭ на основе Nd:YAG кристалла, 7 и 8 – диаметры D_7 и D_8 , равные 2,75 мм, параллельных пучков между каскадами 3,4 и 5,6; 9,10 – фокусы термолинз F_2 и F_1 соответственно; 11,12 – фокусы термолинз F_4 и F_3 соответственно; 13 – фокус термолинзы каскада, следующего за каскадом 6

Распределение излучения в сечении пучка задающего лазера, а также на входе и выходе каждого усилительного каскада анализировалось прибором визуального контроля *Spiricon SP620 U*. На рис.2 в качестве примера представлены поперечные сечения лазерного пучка на входе и на выходе каскада усилителя номер 2. Аналогичные картины сечений получены для всех 5 исследованных каскадов.

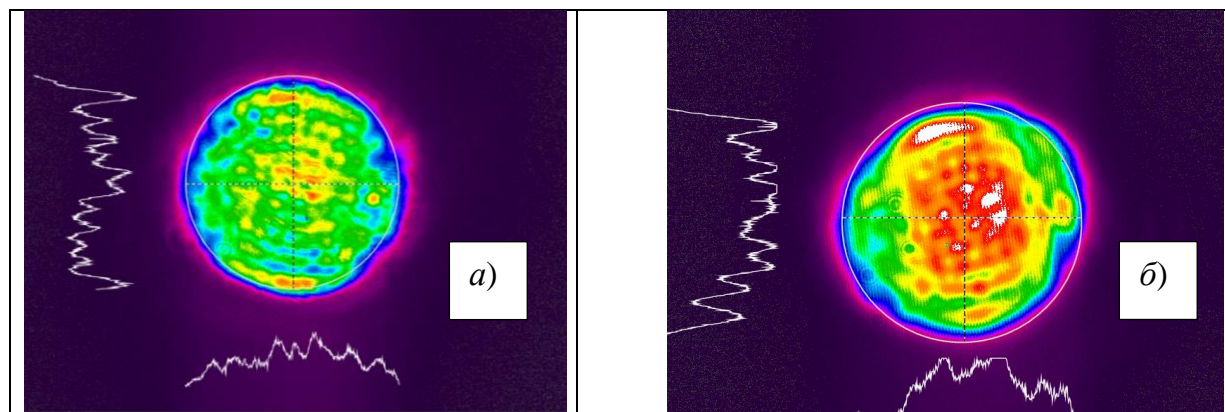


Рис. 2. Поперечное сечение лазерного пучка на входе, диаметр $D_{\text{лаз}} = 2,59$ мм, (а) и на выходе, $D_{\text{лаз}} = 2,76$ мм (б) из второго каскада оптического усилителя

При подаче на вход первого каскада усиления излучения задающего лазера мощностью 90 Вт, на входе пятого каскада зарегистрировано излучение мощностью 233 Вт.

2. Обсуждение результатов, заключение

Полученные данные позволяют заключить, что многокаскадная лазерная усилительная система может быть реализована по схеме, согласно которой наводимые в активных элементах термооптические линзы могут быть использованы для осуществления взаимосвязи между отдельными каскадами усиления. Это позволяет уменьшить оптические потери для усиливаемого пучка, а также общие габариты системы, так как между ее отдельными каскадами не устанавливаются линзы–компенсаторы,

В процессе выполнения экспериментов был изготовлен макет пятикаскадной усилительной схемы с 4-мя двухлинзовыми разделительными компенсаторами, которые устанавливались между каждым каскадом усиления. При сравнимых выходных мощностных показателях оптические потери макета на 16 %, а его линейные размеры на 13 % превышали аналогичные параметры представленной выше многокаскадной лазерной усилительной системы.

В заключение можно отметить, что многокаскадный оптический усилитель лазерного пучка, пространственные параметры которого корректируются термооптическими линзами, формирующимися в активных элементах каждого усилительного каскада, перспективен также для применения в импульсных системах. К актуальным задачам дальнейших исследований, несомненно, следует отнести проблему функционирования многокаскадного оптического усилителя в широком интервале рабочих температур, решение которой, во многом, связано с изучением параметров термооптических линз в условиях изменения характеристик внешней среды.

Благодарности

Работа финансировалась частично в рамках проекта БРФФИ № Ф 22УЗБ-007 от 04.05.2022 г.

Библиографические ссылки

1. 1J 500 Hz MOPA solid-state laser pumped by diodes / Ch. Tang [et. al.] // Solid-State Lasers and Amplifiers ed. by A. Sennaroglu, J. G. Fujimoto and C. R. Pollok; Proc. of SPIE. 2004. Vol. 5460. P. 353 – 357.
2. Beam quality active control of a slab MOPA solid-state laser / X. Rujian [et. al.] // High-Power Laser Systems and Applications; Proc. of SPIE. 2015. Vol. 9255. P. 9255Y-1 – 9255Y-8.
3. 500 Hz, 47.1, sub-nanosecond MOPA laser system / Y. Zhou [et. al.] // Optics and Laser Technology. 2021. Vol. 134. Art. 106592.
4. Мезенов А. В. Термооптика твердотельных лазеров / А. В. Мезенов, Л. Н. Сомс, А. И. Степанов. Ленинград, “Машиностроение”. 1986. 199 с.
5. Носов П. А. Компенсация термооптических искажений активных элементов твердотельных лазеров / П. А. Носов // Изв. ВУЗОВ. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 12. С. 1161–1168.