

## МАКЕТ УСИЛИТЕЛЯ ДИСКОВОГО ЛАЗЕРА С ЖИДКОСТНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Бобков Максим Анатольевич (oefimova@otd13.vniief.ru),  
Кострикин Александр Владимирович*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Импульсно-периодические лазеры в ближней инфракрасной области спектра с частотой следования импульсов от 0,1 до 1 кГц, длительностью одиночного импульса от единиц до сотен пикосекунд при его энергии в десятки и сотни миллиджоулей активно разрабатываются в различных лабораториях.

Такие источники света находят широкое применение в технологических целях лазерной спектроскопии, медицине, при измерении расстояний. [1–3]

Макет усилителя дискового лазера предназначен для отработки режимов жидкостного охлаждения дисковых элементов лазера и определения aberrаций лазерного излучения, появляющихся при прохождении последним усилителя с жидкостным охлаждением и торцевой лазерно-диодной резонансной накачкой на длине волны  $\lambda_{\text{нак}} = 885$  нм. Разработка и испытания макета усилителя – ключевой этап в разработке лазерной системы в целом, поскольку эти мероприятия определяют принципиальный облик одного из важнейших ее узлов.

Представлено подробное описание конструкции макета усилителя, обоснованы технические решения и выбор материалов. Функциональная часть усилителя состоит из дисковых активных элементов, материал – алюмоиттриевый гранат, легированный неодимом. Накачка осуществляется матрицами лазерных диодов по торцам дисковых элементов. Лазерный пучок – круглый,  $\varnothing 15$  мм.

**Ключевые слова:** импульсно-периодический лазер, лазерная спектроскопия, лидар, усилитель, лазерно-диодная резонансная накачка, дисковый активный элемент.

## MODEL OF DISK LASER AMPLIFIER WITH FLUID COOLING OF ACTIVE ELEMENTS

*Bobkov Maxim Anatolyevich (oefimova@otd13.vniief.ru), Kostrikin Alexander Vladimirovich*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

Pulse-periodic lasers with near-field IR spectrum range and pulse repetition rate of 0.1 up to 1 kHz, single pulse width of one up to hundreds picoseconds and energy of tens up to hundreds mJ are actively developed in various labs.

These light sources are extensively applied for technological purposes, in laser spectroscopy, medicine, measurements of distance. [1–3]

A model of a disk laser amplifier is designed for optimizing the modes of fluid cooling of laser disk components and control of laser beam aberrations which spring up when the beam passes through the amplifier with fluid cooling and laser-diode end resonant pumping on wave length of  $\lambda = 885$  nm. Development and testing of the amplifier is a crucial phase in development of a laser system as a whole because they define the fundamental layout of its most important construction units.

The paper presents a detailed description of the amplifier model design, gives reasons for technical solutions made and materials selected. Functionally, the amplifier consists of disk active components; The material is Nd:YAG. Pumping is performed by a laser diode matrix at the ends of disk active components. The laser beam is round with a 15 mm diameter.

**Key words:** pulse-periodic laser, laser spectroscopy, lidar, amplifier, laser-diode resonant pumping, disk active components.

## Введение

Импульсно-периодические лазеры в ближней ИК области спектра с частотой следования импульсов от 0,1 до 1 кГц, длительностью одиночного импульса от единиц до сотен пикосекунд при его энергии в десятки и сотни миллиджоулей активно разрабатываются в различных лабораториях. Такие источники света находят широкое применение в технологических целях лазерной спектроскопии, медицине. [1–3]

В начале 2019 года в ИЛФИ РФЯЦ-ВНИИЭФ было выдвинуто предложение о разработке импульсно-периодического дискового лазера на активной среде Nd:YAG с диодной накачкой. Подобные схемы накачки описаны в [4–6].

Принципиальная блок-схема лазера приведена на рис. 1.

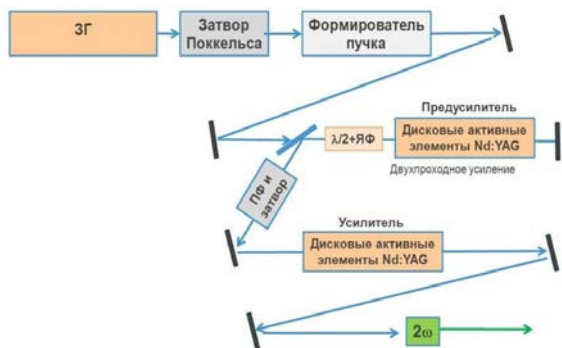


Рис. 1. Блок-схема предлагаемой лазерной системы

## Назначение

Макет предусилителя дискового лазера (предусилитель) предназначен для отработки режимов жидкостного охлаждения дисковых элементов лазера и определения aberrаций лазерного излучения (ЛИ), появляющихся при прохождении ЛИ усилителя с жидкостным охлаждением и торцевой лазерно-диодной резонансной накачкой на длине волны  $\lambda_{\text{нак}} = 885$  нм. Разработка и испытания макета усилителя – ключевой этап в разработке лазерной системы в целом, поскольку эти мероприятия определяют принципиальный облик одного из важнейших ее узлов.

## Постановка задачи и исходные данные

Функциональная конфигурация предусилителя показана на рис. 2.

Предусилитель состоит из дисковых активных элементов (ДАЭ), материал – алюмоиттриевый гранат, легированный неодимом (Nd:YAG). Модуль состоит из 20 ДАЭ, расположенных под углом Брюстера к падающему усиливаемому излучению. Толщина одного ДАЭ – 1 мм. Накачка осуществляется матрицами лазерных диодов. Лазерный пучок – круглый.

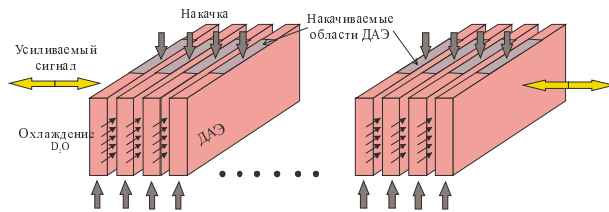


Рис. 2. Конфигурация предусилителя

Не накачиваемые области ДАЭ необходимы для гомогенизации потока охлаждающей жидкости. Охлаждающая жидкость протекает в зазоре шириной  $\approx 0,5$  мм между ДАЭ.

Накачка осуществляется через световоды с диаметром выходного торца  $\varnothing 0,8$  мм. С каждой стороны ДАЭ расположено 7 световодов.

## Общая компоновка макета

Предусилитель конструктивно состоит из кассеты, корпуса и крышек корпуса. Из-за наличия жидкости, которая потенциально может вызвать коррозию, материалом металлических частей выбрана нержавеющая сталь 12X18Н10Т. Материалом ДАЭ выбрано фосфатное стекло. Материалом остальных оптических элементов выбрано стекло К8. Корпус с крышками обеспечивает герметизацию изделия, так же на корпусе, друг напротив друга, расположены штуцеры для подключения chillера и отвода охлаждающей жидкости. Общий вид (в разрезе) предусилителя показан на рис. 3.

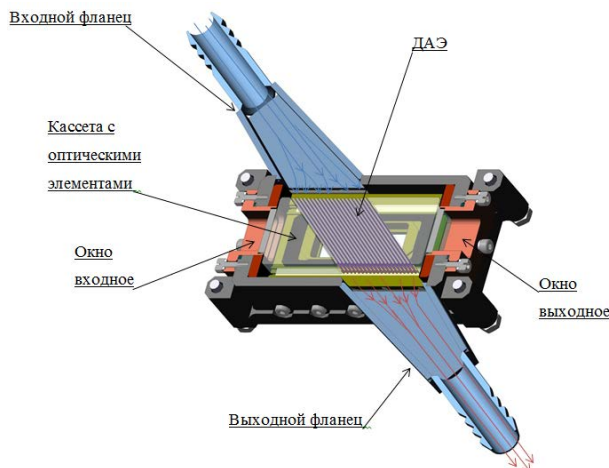


Рис. 3. Общий вид предусилителя в разрезе

Функциональная часть устройства представляет собой кассету с двадцатью ДАЭ и двумя клиньями и представлена на рис. 4. ДАЭ входят в пазы, расположенные в четырех направляющих, находящихся в двух стенках кассеты (рис. 5). Фиксация ДАЭ производится резиновыми уплотнениями, прилегающими к боковой стенке. Для обеспечения регулировки зазоров между входным и выходным окнами

и клиньями в кассете предусмотрены резиновые прокладки между боковыми и торцевыми стенками. Уменьшение зазора производится затяжкой винтов.

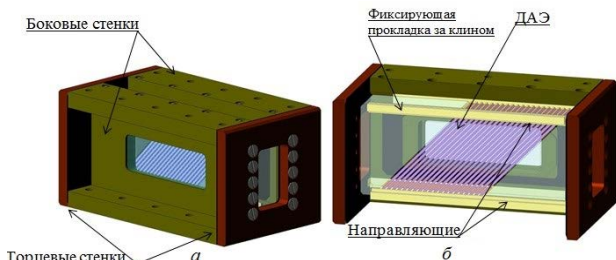


Рис. 4. Кассета: а – в сборе, б – со скрытой боковой стенкой (направляющие сохранены)

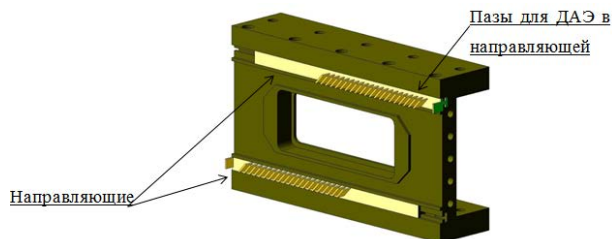


Рис. 5. Направляющая для ДАЭ на боковой стенке

Кассета спроектирована таким образом (см. рис. 6), чтобы обеспечить между ДАЭ, клиньями и окнами минимальный зазор, позволяет ЛИ проходить через предусилитель с минимально возможными искажениями. Пространство между входным и выходным окнами, ДАЭ и клиньями из материала К8 в рабочем режиме заполнено охлаждающей жидкостью с показателем преломления максимально близким к показателю преломления материала дисковых элементов, это нерегулируемый зазор между ДАЭ. Зазор между клиньями и входными и выходными окнами регулируется, величину зазора можно корректировать затяжкой винтов на торцевой стенке.

Усилители дисковых лазеров при накачке значительно нагреваются (до 99 % энергии накачки может уходить в тепловые потери), что вызывает термические деформации изделия и, как следствие, непостоянство геометрии, неравномерность накачки и, в крайних случаях, разрушение оптики. Отличительной же особенностью предусилителя является эффективное расчетное охлаждение дисковых элементов ламинарным потоком жидкости.

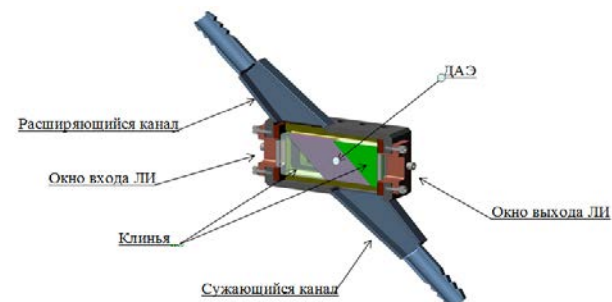


Рис. 6. Наполнение внутреннего объема макета усилителя

Для подвода и вывода излучения на переднем и заднем торцах устройства расположены герметизированные окна (см. рис. 7), углубляющиеся в конструкцию для минимизации расстояния между оптическими элементами.

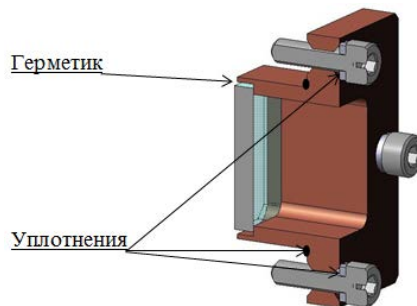


Рис. 7. Окно для подвода и отвода излучения

Герметизация корпуса предусилителя обеспечивается следующим образом – кассета располагается внутри сварного корпуса и закрывается крышками с уплотнениями (см. рис. 8), после чего осуществляется стяжка двух крышек 4 шпильками. Уплотнение окон происходит при помощи прокладок.

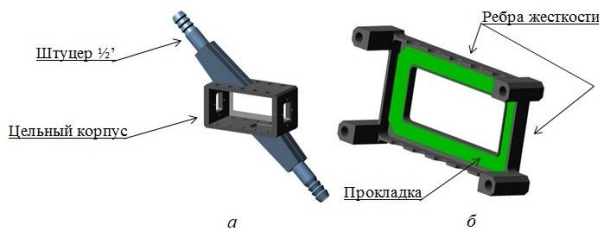


Рис. 8. Элементы корпуса и предусилителя: а – сварной корпус, б – крышка с прокладкой

## Изготовление и испытания

Макет был успешно изготовлен и испытан в начале 2020 года. Фотография макета представлена на рис. 9.

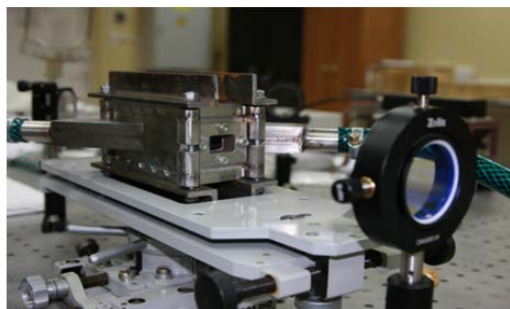


Рис. 9. Фотография макета дискового усилителя на экспериментальном стенде

Исследование искажений пучка в фокальной плоскости линзы с водой было проведено успешно, их результаты на рис. 10.



Рис. 10. Распределение интенсивности с пространственным профилем в фокальной плоскости линзы

### Заключение

Макет усилителя обеспечивает 20 последовательных проходов дисковых активных элементов ЛИ.

Охлаждение дисковых активных элементов обеспечивает более предсказуемое поведение как элементов, так и ЛИ.

Макет усилителя позволяет в короткие сроки испытать различные способы накачки.

В изделии совмещены решения оптических, гидравлических, конструкторских и технологических задач.

1. Michalowski A., Qin Y., Weber R., Graf T., Bosch R. Theoretical and experimental studies of ultra-short pulsed laser drilling of steel. *Laser Sources and Applications II*, edited by Mackenzie J. I., Jelínková H., Taira T., Ahmed M. A. // *Proc. of SPIE Vol. 9135, 91350R* © 2014 SPIE.

2. Jian C., Liu C., Shang S. et al. A review of ultrafast laser materials micromachining // *Optics & Laser Technology*, 2013. Vol.46. P.88–102.

3. O'Neill W., Li K. High-Quality Micromachining of Silicon at 1064 nm Using a High-Brightness MOPA-Based 20-W Yb Fiber Laser // *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2009. Vol. 15. P. 462.

4. Ахманов С. А., Выслоух В. А., Чиркин А. С. *Оптика фемтосекундных лазерных импульсов*. М.: Наука, 1988.

5. Беспалов В. Г., Козлов С. А., Крылов В. Н. *Фемтосекундная оптика и фемтотехнологии*. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010.

6. Звелто О. *Принципы лазеров: Пер. с англ. 3-е перераб. и доп. изд.* М.: Мир, 1990.