

# Nd:GGG ДИСКОВЫЙ ЛАЗЕР С ТРЕХПУЧКОВОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ И ВЫРОЖДЕННЫМ РЕЗОНАТОРОМ С ОДНОКАНАЛЬНЫМ ВЫВОДОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

Д. А. Николаев<sup>1</sup>, В. Б. Цветков<sup>1,2</sup>, А. И. Шаматова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

Использование дисковых активных элементов (ДАЭ) в значительной степени позволило уменьшить влияние термонаведенных оптических эффектов на выходные параметры излучения мощных твердотельных лазеров [1]. Дальнейшее улучшение параметров лазера возможно при использовании многопучковой оптической накачки ДАЭ [2] и резонаторов вырожденной конфигурации [3]. При этом возможна реализация схемы, в которой все проходы внутрирезонаторного излучения через активный диск будут лежать в пределах областей пятен накачки [3].

Целью настоящей работы являлось исследование энергетических и пространственных характеристик Nd:GGG дискового лазера с трехпучковой диодной накачкой и с резонатором вырожденного типа, имеющим один канал вывода излучения из резонатора.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Дисковый активный элемент представляет собой кристалл Nd:GGG диаметром 50 мм и толщиной 1,5 мм с концентрацией ионов равной  $Nd^{3+} \approx 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Схема резонатора лазера и геометрический ход лучей в нем представлен на рис. 2. Резонатор был образован плоским зеркалом М1 с коэффициентом отражения  $R > 99,5 \%$  на длинах волн 1062 нм и 808 нм и промежуточным высокоотражающим зеркалом М2. Однопучковый вывод излучения из резонатора реализован за счет использования выходного полупрозрачного зеркала М3. Соотношение длины резонатора  $L_1 = 50$  мм к радиусу кривизны зеркала М2  $r_2 = 200$  мм составляло  $1/4$ . При этом любой луч автоматически возвращался на свою начальную траекторию после 6 круговых обходов резонатора ( $T^6 = 1$ , где  $T$  – ABCD-матрица кругового обхода резонатора, а  $1$  – единичная матрица), а после трех круговых обходов любой луч трансформировался в луч, симметричный самому себе относительно оси резонатора  $S$  ( $T^3 = -1$ ).

Накачка лазера осуществлялась 3-мя лазерными диодными модулями (ЛДМ на рис. 1) с длинами волн излучения 808 нм. Фокусирующая система проецировала выходные торцы оптических волокон на поверхность ДАЭ в пятна с радиусами по уровню  $1/e^2$ , равными 298 мкм (верхнее пятно накачки), 258 мкм (среднее пятно) и 265 мкм (нижнее пятно накачки). Расстояние между пятнами на ДАЭ составляло 6,3 мм.

В качестве выходного зеркала использовались зеркала с различными коэффициентами пропускания на длине волны 1062 нм: 2 %, 6 % и 12 %. Работа велась в непрерывном и квазинепрерывном режимах. В последнем случае использовался механический прерыватель (П на рис. 1), представляющий собой вращающийся диск с отверстием. Частота вращения диска составляла 2,5 Гц. Ослабление средней мощности накачки при работе прерывателя равнялось 11. Зависимости выходной мощности лазера  $P_{\text{out}}$  от мощности накачки  $P_{\text{abs}}$ , поглощенной в ДАЭ, показаны на рис. 3. Наибольший КПД лазера равный 38 % (дифференциальный КПД – 44 %) был достигнут при использовании зеркала с коэффициентом пропускания 12 % и прерывателя. Падение выходной мощности в непрерывном режиме было связано с влиянием термонаведенной линзы в активной среде.

Также исследовались пространственные характеристики излучения. При этом рассматривалось поперечное распределение интенсивности излучения на экране Э (рис. 1), расположенном в фокальной плоскости собирающей линзы Л. Зависимость полной расходимости излучения  $2\theta$  по уровню 0,5 от поглощенной в ДАЭ мощности излучения накачки  $P_{\text{abs}}$  приведена на рис. 4. Расходимость излучения составляла  $2\theta \approx 2,9$  мрад. При этом расчетное значение расходимости  $2\theta$  для одномодового пучка составляло 2,4 мрад.

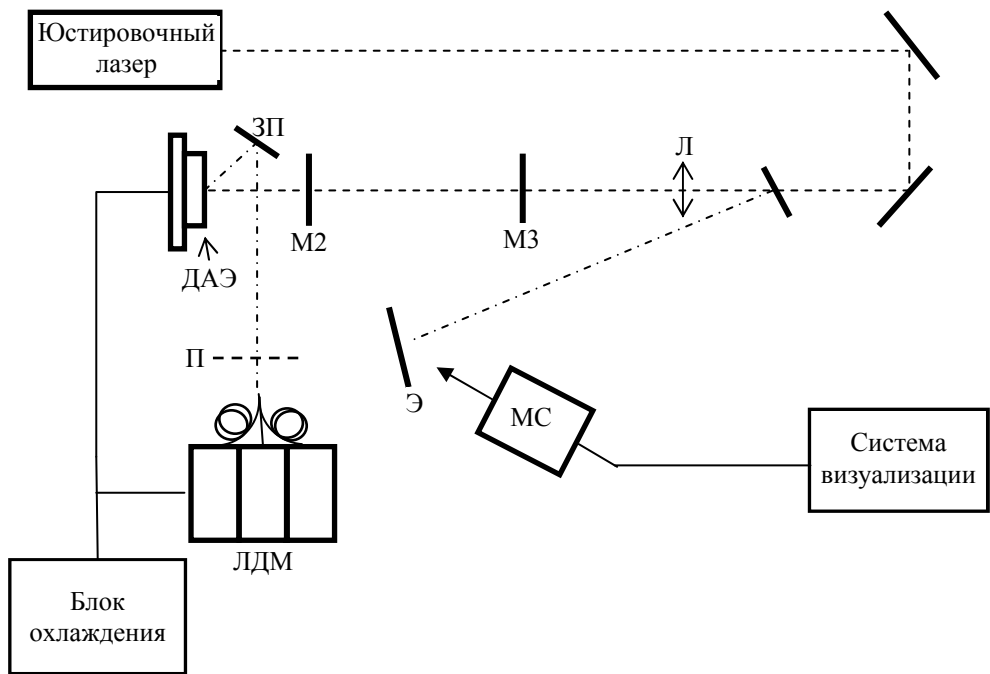


Рис. 1. Оптическая схема экспериментальной установки: ДАЭ – дисковый активный элемент, ЛДМ – система из трех отдельных лазерных диодных модулей, МС – микроскоп, П – механический прерыватель излучения накачки, Л – линза  $D = +1 \text{ м}^{-1}$ , Э – экран, ЗП – зеркало поворотное, М2 и М3 – промежуточное и выходное зеркала резонатора

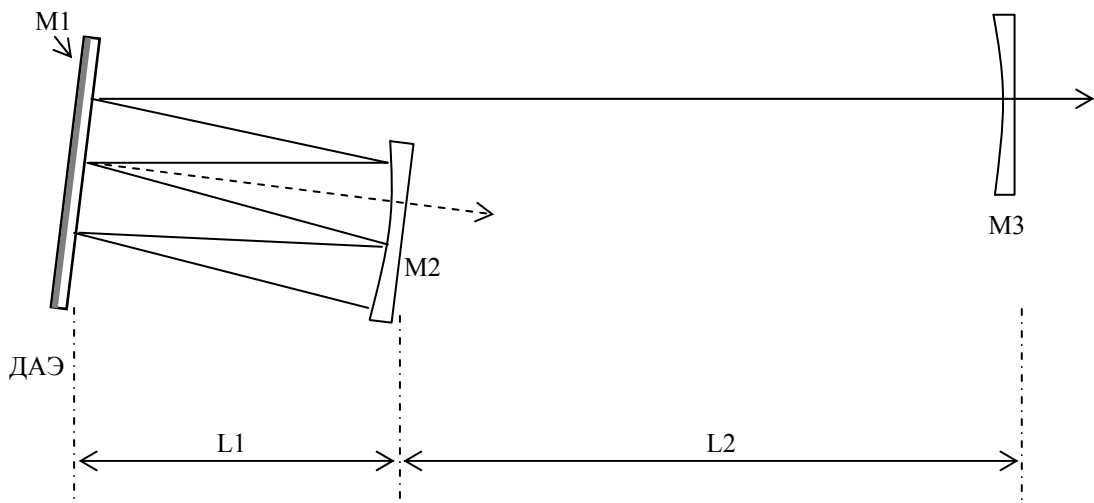


Рис. 2. Схема резонатора и геометрический ход лучей в нем.  $L1 = 50 \text{ мм}$ ,  $L2 = 100 \text{ мм}$

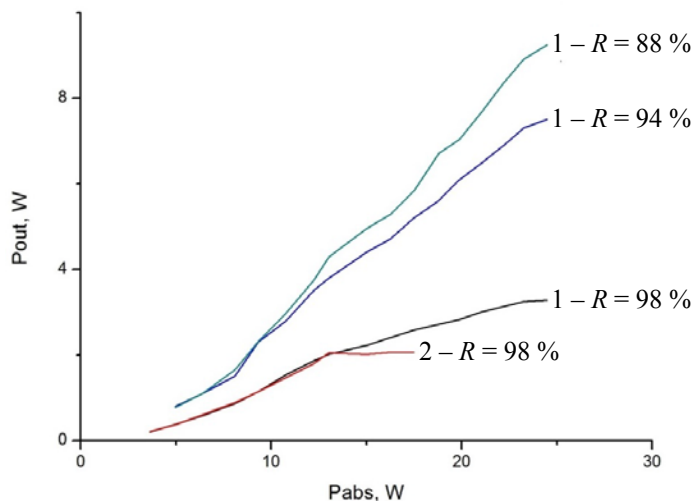


Рис. 3. Зависимость выходной мощности лазера от мощности, поглощенной в ДЭ при различных значениях коэффициента отражения выходного зеркала  $R$ : 1 – в присутствии прерывателя, 2 – непрерывный режим генерации

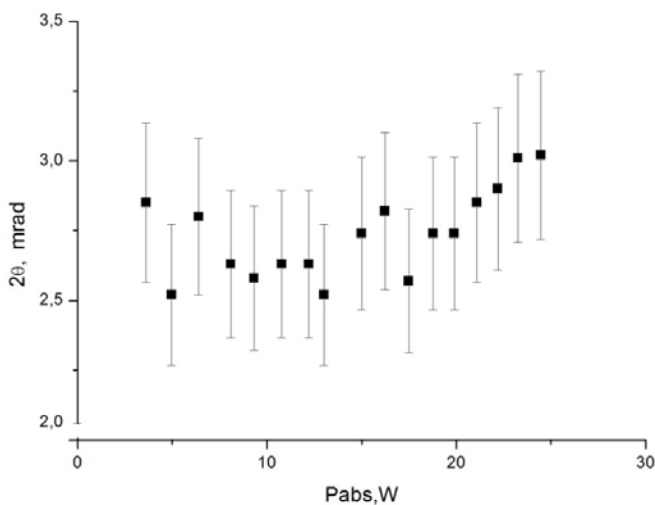


Рис. 4. Зависимость расходимости пучка  $2\theta$  от поглощенной в ДЭ мощности излучения накачки

### Заключение

Исследован дисковый лазер с трехпучковой диодной накачкой с вырожденной конфигурацией резонатора с одноканальным выводом излучения. Изучены энергетические и пространственные характеристики лазера при непрерывном и квазинепрерывном режимах генерации. Максимальный КПД генерации составил 38 % (дифференциальный КПД – 44 %). Параметр пучка  $M^2$  был примерно равен 1,2.

### Список литературы

1. Giesen A., Hugel H., Voss A., Wittig K., Brauch U. Opower H. Appl. Phys. B58, 365 (1994).
2. Гарнов С. В., Михайлов В. А., Серов Р. В., Смирнов В. А., Цветков В. Б., Щербаков И. А. Квантовая электроника, 37, 10, 910 (2007).
3. Николаев Д. А., Пивкина М. Н., Цветков В. Б. Прикладная фотоника, 2, 1, 44-52 (2015).