

УДК 535.374

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАЦИИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЭРБИЕВЫХ МИКРОЛАЗЕРОВ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

И.Н. Дубинкин, М.В. Иночкин, Н.И. Лонцакова, В.В. Назаров, Д.Ю. Сачков,
Л.В. Хлопонин, В.Ю. Храмов

Впервые реализована генерация малогабаритного Er:YLF-лазера с диодной накачкой в режиме пассивной модуляции добротности резонатора, осуществляемой при помощи кристалла $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$, получены моноимпульсы с энергией 2,9 мДж и длительностью 30 нс на длине волны 2,81 мкм.

Ключевые слова: эрбий, лазер, селективная накачка, $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$, пассивная модуляция добротности.

Исследование процессов генерации эрбиевых кристаллов в области 3 мкм представляет интерес в связи с перспективностью использования излучения данного спектрального диапазона в области медицины. В рамках настоящей работы продолжены исследования параметров генерации малогабаритного лазера на кристалле Er:YLF с диодной накачкой, работающего в режиме пассивной модуляции добротности [1]. В качестве пассивного затвора использован перспективный кристалл $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$. В экспериментах достигнуто значение импульсной мощности 100 кВт, что, по сведениям авторов, на данный момент является наилучшим результатом времени для малогабаритных Er:YLF с диодной накачкой.

Для экспериментов с диодной накачкой был выбран кристалл Er:YLF, так как время жизни мультиплета $^4I_{11/2}$, являющегося верхним лазерным уровнем трехмикронного перехода иона Er^{3+} , в данном кристалле (4 мс) существенно превышает соответствующие времена жизни в кристаллах YAG (0,1 мс) и YSGG (2 мс). Схема экспериментального лазера приведена на рис. 1. В качестве источника накачки использовалась матрица лазерных диодов 1, рассчитанная на работу в импульсно-периодическом режиме при длительности импульса до 1 мс. Импульсная мощность излучения матрицы при максимальном токе накачки составляла 700 Вт, средняя длина волны излучения – 975 нм при температуре корпуса матрицы 25°C, ширина спектра в рабочем режиме была порядка 6 нм.

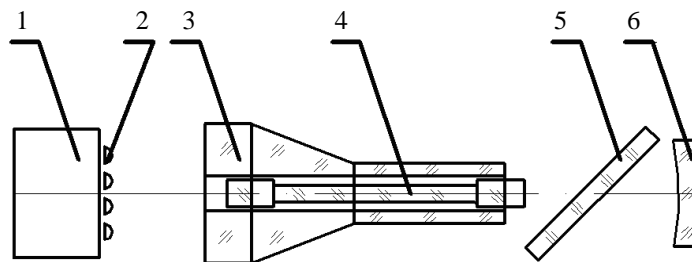


Рис. 1. Схема экспериментального Er:YLF-лазера с системой продольно-поперечной накачки активной среды: 1 – матрица лазерных диодов; 2 – микролинзы; 3 – призма полного внутреннего отражения; 4 – активный элемент (Er:YLF); 5 – $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$ -затвор; 6 – выходное зеркало

Активный элемент лазера 4 (Er:YLF) имел форму цилиндра с размерами $\text{Ø}2 \times 35$ мм. Концентрация активатора составляла 15% ат. На один из торцов активного элемента было нанесено диэлектрическое покрытие, выполняющее роль глухого зеркала для излучения генерации и просветляющего покрытия для излучения накачки. На второй торец было нанесено просветляющее покрытие.

Ввод излучения накачки в активный элемент осуществлялся по продольно-поперечной схеме, реализованной при помощи системы призм полного внутреннего отражения 3. Для наилучшего согласования диаграммы направленности излучения матрицы диодов накачки с геометрией осветительной призмы на выходном окне матрицы 1 были установлены микролинзы 2, коллимирующие излучение вдоль быстрой оси излучения лазерных диодов. Согласно результатам численного моделирования эффективность данной схемы осветителя составляла не менее 70%. Охлаждение активного элемента и диодной матрицы осуществлялось проточной водой.

Резонатор лазера был образован плоским глухим зеркалом, напыленным на торце активного элемента, и внешним сферическим выходным зеркалом 6. Длина резонатора составляла 10 см. В экспериментах использовался пассивный затвор, выполненный в виде плоскопараллельной пластины толщиной 1,85 мм. Начальное пропускание излучения π -полязации, падающего на затвор под углом Брюстера (68°), составляло 0,88 (на длине волны 2,81 мкм). Материалом затворов служили монокристаллы $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$, выращенные из паровой фазы методом свободного роста на монокристаллическую затравку с использованием химического транспорта в водороде [2]. Легирование ионами Fe^{2+} осуществлялось непосредственно в процессе роста.

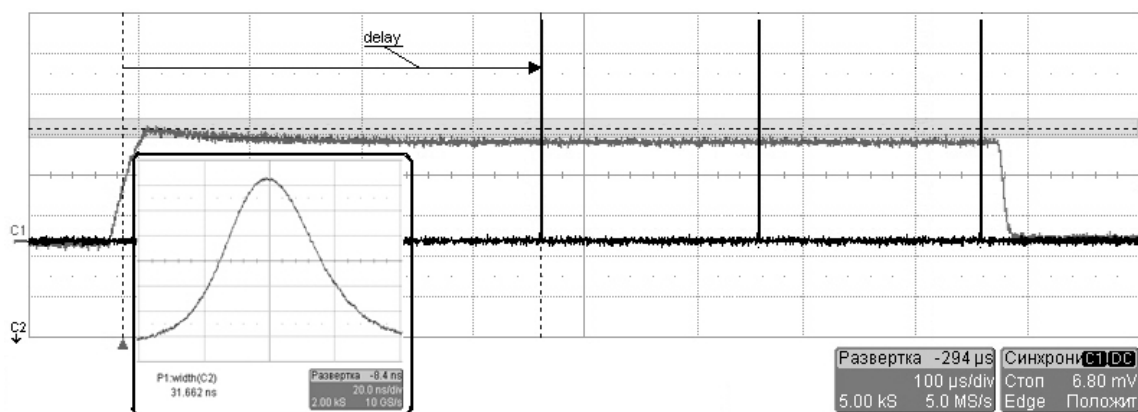


Рис. 2. Осциллограмма импульса генерации Er:YLF-лазера в режиме пассивной модуляции добротности резонатора затвором на кристалле Fe²⁺:ZnSe

Предварительные эксперименты показали, что применение неселективного выходного зеркала б с близкими коэффициентами отражения в области 2,6–2,9 мкм приводит к последовательной генерации импульсов излучения на трех длинах волн: 2,66 мкм, 2,71 мкм и 2,81 мкм. Для получения импульсов генерации лазера только на длине волны 2,81 мкм, наиболее близкой к центру пика поглощения воды в составе биотканей [3], в резонатор лазера должен быть установлен спектрально-селективный элемент, увеличивающий потери для длин волн, лежащих в коротковолновой области контура усиления. В качестве такого элемента может быть использовано выходное зеркало б с селективным коэффициентом отражения в требуемой области спектра. Коэффициент отражения селективного зеркала б, примененного в данной работе, на рабочей длине волны 2,81 мкм составлял 0,92, монотонно убывая в коротковолновой области спектра до значения 0,5 на длине волны 2,66 мкм.

В эксперименте были получены моноимпульсы с энергией 2,9 мДж, длительностью 30 нс (рис. 2) и пиковой мощностью 96 кВт. Длина волны генерации составляла 2,81 мкм. Время задержки начала генерации относительно начала импульса накачки составляло 450 мкс. При увеличении длительности импульса накачки до 800 мкс наблюдалась генерация серии из трех моноимпульсов общей энергией 6,7 мДж.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы», грант № РНП 2.1.2/4302.

1. Akimov V.A., Frolov M.P., Korostelin Yu.V., Kozlovsky V.I., Landman A.I., Podmar'kov Yu.P., Voronov A.A. Vapour growth of II-VI single crystals doped by transition metals for mid-infrared lasers // Phys.Stat.Sol. (c). – 2006. – V. 3. – № 4. – P. 1213–1216.
2. Shori R.K., Walston A.A., Stafsudd O.M., Fried D., Walsh J.T. Quantification and Modeling of the Dynamic Changes in the Absorption Coefficient of Water at $\lambda = 2,94 \mu\text{m}$ // IEEE J. on selected topics in quant. electron. – 2001. – V. 7(6). – P. 959–970.
3. Жилина В.С., Сачков Д.Ю., Храмов В.Ю. О многочастотной генерации Er:YLF-лазера с диодной накачкой и пассивным Fe:ZnSe-затвором // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – Т. 66. – № 2. – С. 124.

Дубинкин Илья Николаевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, ilyadubinkin@mail.ru

Иночкин Михаил Владимирович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, m_inochkin@mail.ru

Лонцакова Наталья Игоревна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, Tasha271264@yandex.ru

Назаров Вячеслав Валерьевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, v_v_nazarov@mail.ru

Сачков Дмитрий Юрьевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, dsachkov@gmail.com

Хлопонин Леонид Викторович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, l_khloponin@yahoo.com

Храмов Валерий Юрьевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, vkhramov@gmail.com