

## ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДАЛЬНОГО ИК-ДИАПАЗОНА

*Р. А. Зорин, С. Д. Великанов, К. В. Воронцов, Н. Г. Захаров, В. Б. Коломеец, В. И. Лазаренко,  
А. С. Надеждин, Н. И. Николаев, Г. Н. Номаконов, С. Н. Сильков, Ю. Н. Фролов*

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

Когерентные источники дальнего ИК-диапазона, генерирующие излучение в спектральном окне прозрачности атмосферы от 8 до 12 мкм, обладают значительным потенциалом применения в задачах экологического мониторинга. К перспективной технологии создания подобных излучателей следует отнести параметрическое преобразование излучения твердотельных лазеров [1]. Указанный подход позволяет разрабатывать когерентные источники дальнего ИК-диапазона, которые, с одной стороны, выгодно отличаются от классических  $\text{CO}_2$ -лазеров по своим эксплуатационным характеристикам, а с другой – превосходят по мощности излучения современные квантово-каскадные лазеры.

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по генерации когерентного излучения дальнего ИК-диапазона за счет преобразования излучения гольмиевого лазера в параметрическом генераторе света (ПГС). Представлены результаты экспериментов по генерации когерентного излучения дальнего ИК-диапазона за счет параметрического преобразования излучения гольмиевого лазера в нелинейном кристалле  $\text{ZnGeP}_2$ . Дифференциальная эффективность преобразования двухмикронного излучения гольмиевого лазера в дальний ИК диапазон достигала величины 20 % при оптическом КПД 8,5 %, что свидетельствует о значительной доле 35 % преобразованных квантов накачки. Длительность импульса параметрической генерации по полувысоте составила 21 нс.

Концепция построения экспериментального стенда, предназначенного для экспериментальных исследований преобразования излучения гольмиевого лазера в спектральный диапазон от 8 до 10 мкм, следует принципам, изложенным в работе [2]. Оптическая схема стенда представлена на рис. 1.

Излучение волоконного тулиевого лазера **1**, после прохождения входного окна **2**, фокусируется линзой **3** в кристалл  $\text{Ho:YAG}$  **5** через дихроичное зеркало **4**. Резонатор гольмиевого лазера образован тремя зеркалами: дихроичным зеркалом **4**, глухим зеркалом **6** и выходным сферическим зеркалом **10**. В целях реализации импульсно-периодического режима работы лазерного источника применяется акустооптический модулятор **7**. Спектральная селекция длин волн излучения гольмиевого лазера обеспечивается плоскопараллельной пластинкой **8**. Излучение

гольмиевого лазера фокусируется линзой **11** через входное зеркало **13** в нелинейно-оптический кристалл  $\text{ZnGeP}_2$  **14**. Резонатор ПГС состоит из трех зеркал: входного **13** и двух выходных плоских зеркал **15** и **16**. С помощью поворотных зеркал **17** и **18** выходное излучение ПГС направляется через оптику выходного телескопа **20** на выходное окно **19**.

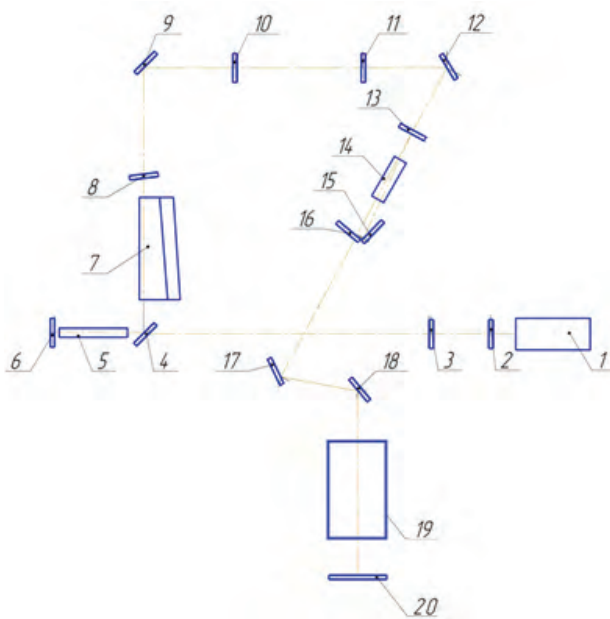


Рис. 1. Оптическая схема экспериментального стенда: 1 – тулиевый лазер; 2 – входное окно; 3 – линза; 4 – зеркало дихроичное; 5 – кристалл  $\text{Ho:YAG}$ ; 6 – зеркало глухое; 7 – акустооптический модулятор; 8 – селектор; 9 – зеркало поворотное; 10 – зеркало выходное; 11 – линза; 12 – зеркало поворотное; 13 – зеркало входное ПГС; 14 – кристалл ПГС; 15 – зеркало глухое ПГС; 16 – зеркало выходное ПГС; 17 – зеркало поворотное; 18 – зеркало поворотное; 19 – оптика выходного телескопа; 20 – выходное окно

На рис. 2 представлена приведенная в относительных единицах зависимость мощности импульсно-периодической генерации гольмиевого лазера от мощности непрерывной накачки, при частоте повторения импульсов 20 кГц.

На рис. 3. представлена осциллограмма импульса генерации гольмиевого лазера. Из рисунка видно, что длительность импульса гольмиевого лазера по полувысоте составляет ~ 33 нс.

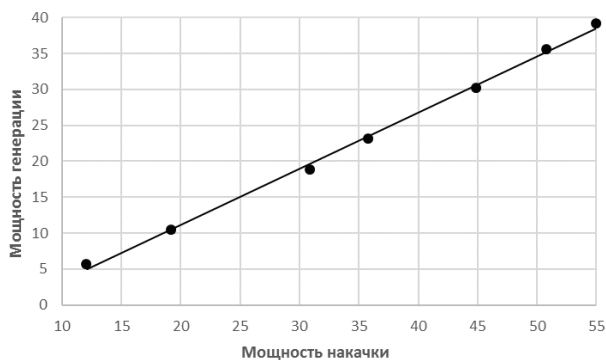


Рис. 2. Зависимость мощности импульсно-периодической генерации гольмиевого лазера от мощности накачки

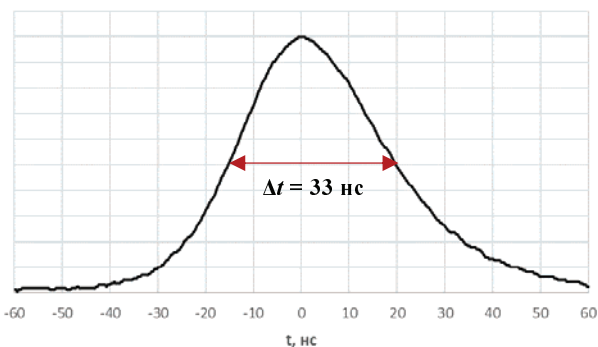


Рис. 3. Осциллограмма импульса генерации гольмиевого лазера

Как следует из данных эксперимента, оптический КПД гольмиевого лазера достигает 71 % при дифференциальной эффективности  $\sim 78$  %. Лазер с указанными характеристиками является не только уникальным гольмиевым излучателем в России, но и превосходит большинство зарубежных аналогов.

Излучение гольмиевого лазера используется для накачки ПГС с целью генерации импульсно периодического излучения с частотой 20 кГц в спектральном диапазоне от 8 до 10 мкм.

Спектр генерации выходного излучения ПГС представлен на рис. 4.

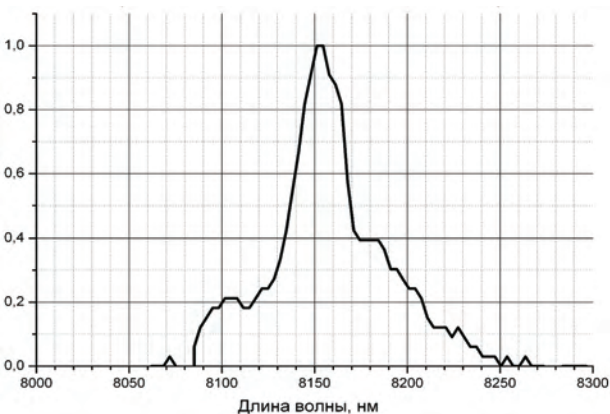


Рис. 4. Спектр параметрической генерации

Из рис. 4 видно, спектр параметрической генерации находится в спектральном диапазоне от 8 до 10 мкм.

Осциллограмма импульса генерации ПГС представлена на рис. 5. Из рис. 5 видно, что длительность импульса параметрической генерации по полувысоте составила  $\sim 21$  нс.

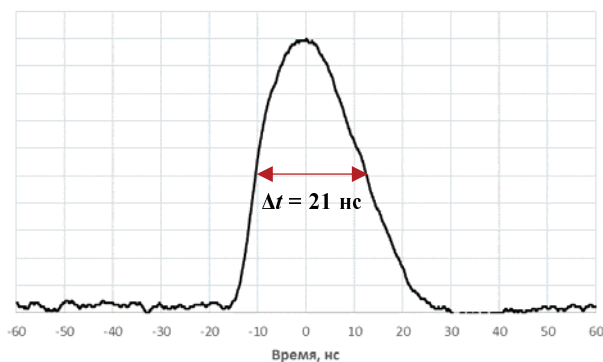


Рис. 5. Осциллограмма импульса параметрической генерации

Приведенная в относительных единицах зависимость мощности импульсно-периодической генерации в спектральном диапазоне от 8 до 10 мкм от мощности накачки представлена на рис. 6.

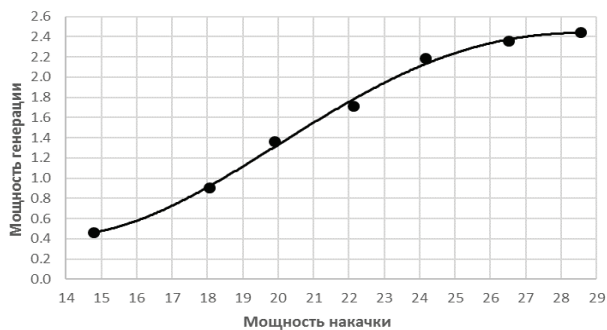


Рис. 6. Зависимость мощности генерации в спектральной области от 8 до 10 мкм от мощности накачки

Как следует из данных эксперимента, оптический КПД параметрической генерации в спектральной области от 8 до 10 мкм достиг величины 8,5 % при максимальной дифференциальной эффективности  $\sim 20$  %.

Величина оптического КПД, чье низкое абсолютное значение обуславливается квантовым дефектом ( $\lambda_n = 2$  мкм /  $\lambda_r = 8$  мкм), свидетельствует о значительной доле  $\sim 35$  % преобразованных квантов накачки.

Расходимость излучения в спектральном диапазоне от 8 до 10 мкм определялась путем измерения диаметра пучка в фокусе отражающего зеркала с металлическим покрытием. Расходимость излучения составила  $\sim 7$  угл. мин. по уровню 0,5 энергии при диаметре выходной апертуры 12 мм.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по генерации когерентного излучения дальнего ИК-диапазона за счет параметрического преобразования излучения голь-

миевого лазера в нелинейном кристалле  $\text{ZnGeP}_2$ . Оптический КПД параметрической генерации в спектральной области от 8 до 10 мкм достиг величины 8,5 % при максимальной дифференциальной эффективности ~20 %. Расходимость излучения составила ~7 угл. мин. по уровню 0,5 энергии при диаметре выходной апертуры 12 мм. Созданный в рамках данной работы полностью твердотельный лазерный источник дальнего ИК диапазона, обладающий указанными характеристиками, не имеет аналогов в России и сравним по параметрам с лучшими зарубежными образцами.

## Литература

1. Lippert E., Fonnum H., Haakestad M. W. // Laser source with high pulse energy at 3–5  $\mu\text{m}$  and 8–12  $\mu\text{m}$  based on nonlinear conversion in  $\text{ZnGeP}_2$  // Proc. of SPIE. 2014. Vol. 9251. P. 92510D-1.
2. Илькаев Р. А., Гаранин С. Г., Лазаренко В. И. и др. Параметрический генератор света среднего ИК-диапазона на основе кристалла  $\text{ZnGeP}_2$  с накачкой лазерным пучком на длине волны 2,1 мкм // Proceeding of Mid-Infrared Coherent Sources, Barcelona, 2005. P.214–216.