

УДК 621.375.826

**НОВЫЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ
С ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ НА ИХ ОСНОВЕ: РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ**
Кисель В.Э., Горбаченя К.Н., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В.

*НИЦ оптических материалов и технологий Белорусского национального технического университета,
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Приведен обзор основных направлений научно-исследовательских работ НИЦ оптических материалов и технологий. Рассмотрены основные полученные результаты, показаны последние инновационные разработки.

Ключевые слова: лазер, кристаллический материал, эрбий, иттербий, разработка, применение.

**NEW CRYSTALLINE LASER MATERIALS AND BASED ON IT LONGITUDINALLY
PUMPED SYSTEMS: DEVELOPMENT AND APPLICATION**

Kisel V., Gorbachenya K., Yasukevich A., Kuleshov N.

*Center for Optical Materials and Technologies of Belarusian National Technical University
Minsk, Republik of Belarus*

Abstract. The review of the main areas of research work of the Research Center for Optical Materials and Technologies was presented. The main obtained research results were considered, the latest innovative developments were shown.

Key words: laser, crystalline material, erbium, ytterbium, development, application.

*Адрес для переписки: Кисель В.Э., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: vekisel@bntu.by*

Основным направлением научно-исследовательских работ НИЦ оптических материалов и технологий филиала БНТУ НИПИ является разработка новых лазерных материалов и твердотельных лазерных систем с диодной накачкой на их основе. Наибольшее распространение получили лазерные излучатели спектрального диапазона около 1 мкм и 1,5 мкм на основе иттербий и эрбий содержащих материалов, соответственно. Подобные лазеры имеют широкий круг практических применений в различных областях науки и техники от изучения быстропротекающих процессов в различных наноматериалах до прецизионной обработки различных материалов и систем локации и дальнометрии.

Основные результаты выполнения научных исследований за последние годы в области лазерной техники и новых материалов:

– проведен цикл работ по спектроскопии ионов Yb^{3+} в кристаллах алюминатов $LuAlO_3$, $YAlO_3$, $CaYAlO_4$ и $CaGdAlO_4$; ванадатов YVO_4 ; боратов $YAl_3(BO_3)_4$ и $GdAl_3(BO_3)_4$; вольфраматов $KY(WO_4)_2$ и $KGd(WO_4)_2$; гранатов $Y_3Al_5O_{12}$ [1–4]; исследованы особенности создания компактных импульсных лазерных систем на основе материалов, легированных ионами Er^{3+} с продольной диодной накачкой, работающие в режиме пассивной модуляции добротности с насыщающимися поглотителями на кристаллах $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ [5];

– разработаны новые высокоэффективные активные и пассивные лазерные материалы на основе указанных кристаллов, а выпуск кристаллов вольфраматов, ванадатов и магний-алюминиевой

шпинели освоен отечественными предприятиями (завод «Оптик», г. Лида, НПП «Соликс», Минск);

– разработаны эффективные лазерные системы с продольной диодной накачкой, работающие в различных режимах генерации (непрерывные лазеры, лазеры с пассивной и активной модуляцией добротности, фемтосекундные лазеры с пассивной синхронизацией мод) и усилении chirпированных ультракоротких импульсов.

Для большинства исследованных материалов лазерная генерация при продольной диодной накачке продемонстрирована впервые в мире, а для известных лазерных материалов, таких как кристаллы вольфраматов $KY(WO_4)_2$ и $KGd(WO_4)_2$ получена генерация фемтосекундных импульсов с рекордным сочетанием выходных параметров излучения, а также разработаны лазеры, работающие в режиме активной модуляции добротности со средними высокими средними выходными мощностями и рекордной оптической эффективностью генерации, что представляет существенный интерес для применений в микрообработке и маркировке различных материалов.

Регенеративное усиление chirпированных фемтосекундных импульсов в лазерных системах на основе кристаллов ванадатов, боратов и алюминатов, легированных трехвалентными ионами иттербия Yb^{3+} , реализовано впервые в мире.

Впервые разработаны и нашли применения в системах локации микрочип-лазеры на кристаллах иттрий-алюминиевого граната с трехвалентными ионами иттербия, работающие в режиме непрерывной генерации с высокими выходными

мощностями. Установлены преимущества иттербий-содержащих материалов по сравнению с традиционными для спектральной области около 1 мкм неодим-содержащими кристаллами для применения в лазерных системах с прямой диодной накачкой работающих в широком температурном диапазоне от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ без системы принудительной стабилизации температуры отдельных частей излучателя. Серийный выпуск данных лазерных излучателей освоен ОАО «Пеленг» для использования в системах управления движущимися объектами.

Сотрудниками НИЦ ОМТ разработана оригинальная схема осевой продольной накачки, обладающая пространственной, спектральной и поляризационной независимостью излучения накачки и генерации, что обеспечивает получение генерации излучения с минимальным квантовым дефектом между длинами волн накачки и генерации, что представляет существенный интерес для квазитрехуровневых лазерных материалов, имеющих полосы поглощения и генерации в рамках переходов между различными шарковскими компонентами двух мультиплетов.

Сотрудниками НИЦ ОМТ налажен выпуск кристаллов магний-алюминиевой шпинели, легированной ионами Co^{2+} (рис. 1), являющихся наиболее эффективным материалом для использования в качестве насыщающихся поглотителей эрбиевых лазеров условно безопасного для глаз спектрального диапазона около 1,5 мкм.



Рисунок 1 – Кристаллы магний-алюминиевой шпинели, легированной ионами Co^{2+}

В рамках выполнения НИР совместно с ОАО «Пеленг» разработана линейка лазерных излучателей на основе эрбиевого стекла с продольной диодной накачкой, работающих в режиме пассивной модуляции добротности на базе которых ОАО «Пеленг» освоен выпуск современных импульсных лазерных дальномеров. Предложен принцип построения таких систем, обеспечивающий значительное снижение энергопотребления излучателя по сравнению с лазерами, имеющими боковую схему накачки.

Основными направлениями инновационных разработок НИЦ ОМТ являются:

- разработка новых активных и пассивных кристаллических материалов для твердотельных лазеров, работающих в различных режимах генерации;

- разработка лазерных систем генерации и усиления ультракоротких световых импульсов с диодной накачкой;

- разработка микролазеров и микрочип лазеров с использованием новых лазерных материалов для применений в системах локации и дальнометрии.

Указанные разработки востребованы предприятиями Беларуси (ОАО «Пеленг», УП «НТЦ ЛЭМТ» БелОМО, заводом «Оптик» г. Лида, НПП «Соликс», ЗАО «Солар ЛС» и др.).

Литература

1. $\text{Yb}^{3+}:\text{LuAlO}_3$ crystal as a gain medium for efficient broadband chirped pulse regenerative amplification / A. Rudenkov [et al.] // *Opt. Lett.* – 2017. – Vol. 42. – P. 2415–2418.
2. $\text{Yb}^{3+}:\text{CaYAlO}_4$ -based chirped pulse regenerative amplifier / A. Rudenkov [et al.] // *Opt. Lett.* – 2016. – Vol. 41. – P. 2249–2252.
3. Efficient high-power femtosecond $\text{Yb}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ laser / A.A. Kovalyov [et al.] // *Laser Phys. Lett.* – 2015. – Vol. 12, 075801.
4. Eye-safe 1.55 μm passively Q-switched Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ diode-pumped laser / K. N. Gorbachenya [et al.] // *Optics Letters.* – 2016. – Vol. 41. – P. 918–921.
5. Monolithic 1.5 μm Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ eye-safe laser / K. N. Gorbachenya [et al.] // *Optical Materials.* – 2019. – Vol. 88. – P. 60–66 (2019).