

Секция 4. ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ, ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.3.038.825.2

CONTINUOUS WAVE AND PASSIVELY Q-SWITCHED Er,Yb:GdMgB₅O₁₀
MICROCHIP LASERS

Gorbachenya K.¹, Volkova E.², Maltsev V.², Koporulina E.², Kisel V.¹

¹Center for Optical Materials and Technologies, Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

²Department of Crystallography and Crystal Chemistry, Moscow State University
Moscow, Russian Federation

Abstract. We demonstrate continuous wave and passively Q-switched Er,Yb:GdMgB₅O₁₀ microchip lasers emitting in the spectral range of 1.5–1.6 μm. A maximal output power of 220 mW was obtained at 1568 nm at absorbed pump power of 2.3 W with the slope efficiency of 18 %. By using of MBE-grown Cr:ZnS thin layer as a saturable absorber laser pulses with duration of 24 ns and energy of 3 μJ at the repetition rate of 50 kHz were obtained at the wavelength of 1568 nm.

Key words: erbium, borate crystals, microchip laser, passively Q-switched laser.

МИКРОЧИП ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Er,Yb:GdMgB₅O₁₀, РАБОТАЮЩИЕ В
НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ И РЕЖИМЕ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ
Горбаченя К. Н.¹, Волкова Е. А.², Мальцев В. В.², Копорулина Е. В.², Кисель В. Э.¹

¹НИЦ оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, Московский государственный университет
Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе продемонстрированы выходные характеристики микрочип лазеров на основе кристаллов Er,Yb:GdMgB₅O₁₀, работающих в непрерывном режиме и режиме пассивной модуляции добротности в спектральной области 1,5–1,6 мкм. Максимальная выходная мощность 220 мВт получена на длине волны 1568 нм при поглощенной мощности накачки 2,3 Вт и дифференциальной эффективности 18 % непрерывном режиме генерации. При использовании тонкого слоя Cr:ZnS в качестве насыщающегося поглотителя реализован режим пассивной модуляции добротности, получены лазерные импульсы с длительностью 24 нс, энергий 3 мкДж и частотой следования 50 кГц на длине волны 1568 нм.
Ключевые слова: эрбий, кристаллы боратов, микрочип лазер, режим пассивной модуляции добротности.

Адрес для переписки: Горбаченя К. Н., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: gorby@bntu.by

Lasers emitting in the 1.5–1.6 μm spectral range are widely used in rangefinders and LIDAR systems. For compact rangefinders cheap and reliable pulsed laser sources with low power consumption for integration into handheld devices are used. For application in rangefinding systems with pulse accumulation technique lasers should emit pulses with high average output power and repetition rate of kHz ranges. Passive Q-switching is one of the most simple and reliable method to achieve abovementioned requirements.

The oxoborate crystals co-doped with erbium and ytterbium ions were shown as promising candidates for 1.5–1.6 μm passively Q-switched lasers with high average power and pulse repetition rates [1]. Distinguishing characteristic of these hosts compared with widely used phosphate glasses is a high thermal conductivity. The most efficient laser operation in continuous-wave mode was demonstrated for huntite-type Er,Yb:REAl₃(BO₃)₄ (RE=Y, Gd, Lu) [2] and pentaborate Er,Yb:REMgB₅O₁₀ (RE=Y, La, Gd) [3] crystals. For the Er,Yb:GdMgB₅O₁₀ crystal, passively

Q-switched laser operation was demonstrated using Co:MgAl₂O₄ crystal as one of the most widespread saturable absorbers for 1.5 μm lasers. However, long laser pulses with duration up to 215 ns and repetition rate not exceeding of 42 kHz were obtained [4]. Recently, we presented the growth technique of Er,Yb:GdMgB₅O₁₀ (GMBO) crystal as well as its spectroscopic and laser properties in continuous-wave mode [3]. In this Letter, laser performance of Er,Yb:GMBO crystal in Q-switched regime of operation by the usage of MBE-grown Cr:ZnS thin layer as saturable absorber is presented [5].

Er,Yb:GMBO (Er = 2.0 at.%, Yb = 11 at.%) crystal was grown by high-temperature solution growth on dipped seeds technique from K₂Mo₃O₁₀ flux. As a result, visually macrodefect-free Er,Yb:GMBO single crystal with a size of 24×15×12 mm was grown. The Er,Yb:GMBO crystal is characterized by the spectroscopic properties necessary for efficient laser operation in the spectral range of 1.5–1.6 μm. The maximal absorption cross-section of 1.5·10⁻²⁰ cm² is observed at 976 nm for polarization E//N_g. The energy

transfer efficiency from ytterbium to erium ions achieves 90 %. The emission cross-section was found to be $0.7 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^2$ at the laser wavelength of 1568 nm for polarization of $E//N_m$ [3].

Thin films of Cr-doped ZnS were deposited using the high purity materials (99.999% purity) in the UHV MBE deposition system at base pressure of $\sim 4 \cdot 10^{-9}$ Torr and thermal evaporation. As a result high-quality polycrystalline films transparent through the visible and infrared regions were obtained. Film thickness was kept in the range 2 to 8 μm with Cr content varied from 0.11 to 0.39 at. %.

The experimental setup of Q-switched laser experiments is demonstrated in Figure 1. As a pump source a fiber-coupled laser diode emitting near 976 nm was used. The pump beam was focused into 120 μm spot ($1/e^2$ intensity) inside the crystal. An active element - Er,Yb:GMBO N_p -cut crystal with the thickness of 1.5 mm was antireflection coated for both pump and lasing wavelengths. The saturable absorber Cr(0.1 at. %):ZnS crystalline layer with the thicknesses of 5.8 μm , corresponding to initial transmission of 98.8 % at the laser wavelength of 1568 nm, was deposited on 1 mm-thick $\varnothing 5$ mm sapphire substrate, while the output coupler with transmission of 2% at the laser wavelength was deposited on the second side of sapphire substrate. The input mirror (HR@1.5 μm + HT@0.98 μm) was also deposited on $\varnothing 5$ mm sapphire substrate.

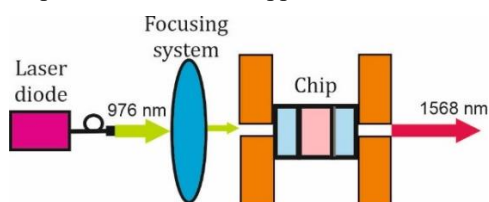


Figure 1 – The setup for Q-switched laser experiments

Input mirror, active element, saturable absorber were set in a «chip» (Figure 2) mechanically by the usage of copper holder with the hole at the center to permit passing of pump and laser beams. The geometrical cavity length was 2.5 mm.

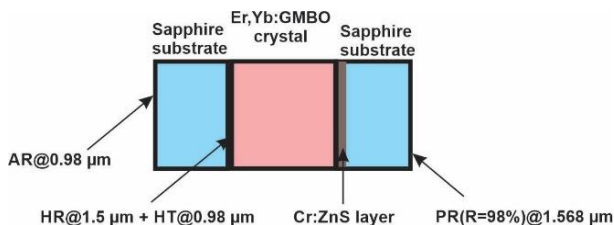


Figure 2 – The characterization of the chip

At first, continuous-wave (CW) laser experiments were carried out. For this goal the sapphire substrate with deposited Cr:ZnS was changed to sapphire substrate with the deposited output coupler coating with the transmission of 2% at the laser wavelength. As a result the maximal output power of 220 mW was obtained at 1568 nm at 2.3 W of absorbed pump

power with the slope efficiency of 18 %. Input-output characteristics of CW Er,Yb:GMBO laser is presented in the Figure 3.

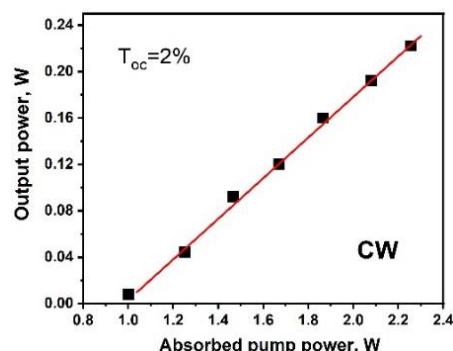


Figure 3 – Output characteristics of CW Er,Yb:GMBO microchip laser

Laser pulses with an energy of 3 μJ and duration of 24 ns were obtained at the wavelength of 1568 nm. The maximal repetition rate was as high as 50 kHz when the incident pump power was 9 W. The laser radiation was linearly polarized ($E//N_m$). The spatial profile of the output beam was TEM_{00} mode with $M^2 < 1.2$. The oscilloscope traces of the shortest single Q-switched pulse and corresponding pulse train are shown in Figure 4.

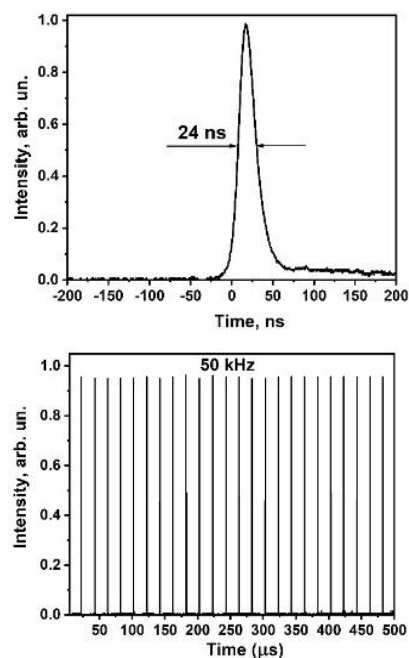


Figure 4 – Oscilloscope traces

References

1. Monolithic 1.5 μm Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ eye-safe laser / K. N. Gorbachenya [et al.] // Opt. Mat. – 2019. – V. 88. – P. 60–66.
2. High efficient continuous-wave diode-pumped Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ laser / K. N. Gorbachenya [et al.] // Opt. Lett. – 2013. – V. 38. – P. 2446–2448.
3. Growth, spectroscopic characterization and continuous-wave laser operation of Er,Yb:GdMgB₅O₁₀

crystal / K. N. Gorbachenya [et al.] // Inorganics. – 2024. – № 12. – P. 240–249.

4. Passively Q-switched Er,Yb:GdMgB₅O₁₀ pulse laser at 1567 nm / Y. Chen [et al.] // OSA Continuum. – 2019. – № 2. – P. 3598–3603.

5. Spectral-luminescent properties of vapor deposited Cr:ZnS thin films and their application as saturable absorbers for 1.5- μ m erbium lasers / N. Tolstik [et al.] // Opt. Mater. Express. – 2018. – № 8. – P. 522 – 530.

УДК 621.384.4

МОЩНЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ УФ-ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Аладов А. В.¹, Закгейм А. Л.¹, Иванова А. Е.^{1,2}, Черняков А. Е.¹

¹НТЦ микроэлектроники РАН

²СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлены результаты разработки и исследований мощного светодиодного излучателя ближнего УФ-спектра ($\lambda = 370$ нм) для агрофизических применений. Исследованы особенности мощностных и спектральных характеристик при работе в режиме больших уровней возбуждения – выходная оптическая мощность до 8,5 Вт. С помощью тепловизионной техники оценены тепловые параметры светодиодного модуля. Оптическая схема излучателя на основе светодиодной матрицы формирует заданную кривую силы света и однородную облученность засвечиваемого поля.

Ключевые слова: светодиод, УФ-излучение, спектральные характеристики, агрофизика.

HIGH-POWER LED UV EMMITTER FOR AGROPHYSICAL APPLICATIONS

Aladov A.¹, Zakgeim A.¹, Ivanov A.^{1,2}, Chernyakov A.¹

¹SHM R&E Center, RAS

²ETU «LETI»

Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper presents the results of development and research of a powerful LED emitter of the near UV spectrum ($\lambda = 370$ nm) for agrophysical applications. The features of the power and spectral characteristics are investigated in the mode of high excitation levels - output optical power up to 8.5 W. Thermal imaging equipment is used to evaluate the thermal parameters of the LED module. The optical scheme of the emitter based on the LED matrix forms a given luminous intensity curve and uniform irradiance of the illuminated field.

Key words: ED, UV radiation, spectral parameters, agrophysics.

Адрес для переписки: Аладов А. В., ул. Политехническая, 26, г. Санкт-Петербург 194021, Российская Федерация, e-mail: aaladov@mail.ioffe.ru

Введение. В последние годы в технологии выращивания растений в условиях искусственного освещения широко внедряются светодиодные источники света с легко регулируемыми спектральными и мощностными характеристиками освещения. Одной из главных задач в этом случае является управление световой средой с целью повышения эффективности продукционного процесса растений, обусловленного, в частности, фоторегуляцией с помощью излучения ближнего ультрафиолетового (УФ) диапазона. Воздействие УФ-излучения на растения демонстрирует усиление фотосинтеза и роста, а также повышение питательности растений, производя антиоксидантные соединения [1], кроме того, оно запускает ряд фоторецепторов [2]. Критохром, фитохром и, в меньшей степени, фитохром вызывают ряд изменений, в том числе увеличение выработки хлорофилла, формирование более крупных листьев, улавливающих больше света, и открытие устьиц на листьях, пропускающих больше углекислого газа [3].

Спектры излучения современных мощных УФ-светодиодов хорошо соответствуют основным тре-

бования по воздействию этого излучения на растения. Светодиоды, наряду с увеличенным сроком службы, сниженным потреблением электроэнергии, позволяют управлять световыми параметрами по заданному алгоритму. В данной работе на основе светодиодной матрицы СВМ-120-UV Luminus (США) разработан и исследован УФ-излучатель, предназначенный для фитотронных установок, используемых в Агрофизическом научно-исследовательском институте РАН (Санкт-Петербург).

В качестве элементной базы вышеприведенная матрица с длиной волны в максимуме $\lambda = 370$ нм (рисунок 1) использовалась для создания управляемого источника света.

Матрица площадью $3,5 \times 4,5$ мм² состоит из 12 параллельно включенных излучающих кристаллов на теплоотводящем основании, допускающем входной ток до 18 А и входную мощность до 80 Вт.

Детальные измерения электрических, световых и спектральных параметров проводились с помощью комплекса «OL770-LED High-speed Test and Measurement System» (Optronic Lab), а тепловых параметров с помощью тепловизора «Свифт», разработки ИФП СО РАН.