

УДК 621.3.038.825.2

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ $\text{Er}^{3+}, \text{Yb}^{3+}:\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ МИКРОЧИП-ЛАЗЕР С ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Горбаченя К.Н.¹, Кисель В.Э.¹, Ясюкевич А.С.¹, Кулешов Н.В.¹, Мальцев В.В.², Леонюк Н.И.²

¹Научно-исследовательский центр оптических материалов и технологий БНТУ
г. Минск, Республика Беларусь

²МГУ им. М. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Представлены генерационные характеристики микрочип-лазера на кристалле $\text{Er}, \text{Yb}:\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ в режиме пассивной модуляции добротности для применения в дальнометрии. При использовании кристалла $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ в качестве пассивного затвора максимальная средняя выходная мощность составила 315 мВт на длине волны 1522 нм с длительностью импульсов 5 нс и энергией 5,25 мкДж при частоте следования 60 кГц. (E-mail: gorby@bntu.by)

Ключевые слова: лазер, микрочип, эрбий, дальномер, пассивная модуляция добротности.

Введение

Внимание разработчиков лазерных систем для дальнометрии привлекает излучение спектральной области 1,5–1,6 мкм. Во-первых, оно является сравнительно безопасным для глаз. Такая особенность обусловлена достаточно высоким коэффициентом поглощения в этой области внешних элементов светопреломляющей системы глаза (роговицы и хрусталика), благодаря чему лишь малая доля падающей энергии достигает чувствительной сетчатки. Во-вторых, излучение в области 1,5–1,6 мкм области обладает малыми потерями при прохождении через атмосферу. Сегодня существует ряд лазерных источников, излучающих в спектральной области 1,5–1,6 мкм: диодные лазеры, ВКР-лазеры, параметрические генераторы света. Однако наибольшее практическое распространение получили твердотельные лазеры на основе фосфатных стекол с ионами Er и Yb, отличающиеся относительной простотой, компактностью и возможностью работы в режиме модулированной добротности, необходимом для получения импульсов короткой длительности. На данных активных средах при использовании полупроводниковых зеркал с насыщением поглощения (SESAM) [1], кристаллов $\text{Co}^{2+}:\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}$ [2], $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_3$ [3], $\text{Co}^{2+}:\text{ZnSe}$ [3] в качестве пассивных затворов эрбиевых микролазеров получены лазерные импульсы с энергией 1–15 мкДж,

длительностью 1,2–10 нс и частотой следования 0,5–30 кГц. Основным недостатком, ограничивающим применение эрбиевых стекол в системах с непрерывной диодной накачкой, является низкая теплопроводность матрицы (теплопроводность фосфатных стёкол составляет 0,85 Вт/м·К). Для снятия таких ограничений актуальным является использование кристаллических матриц для активации ионами Er и Yb. На сегодняшний день режим пассивной модуляции добротности реализован на кристаллах $\text{Er}, \text{Yb}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ [4], $\text{Er}, \text{Yb}:\text{GdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ [5], $\text{Er}, \text{Yb}:\text{YVO}_4$ [6], и получены лазерные импульсы с энергией 1–4 мкДж, длительностью 5–150 нс и частотой следования до 29 кГц. В данной работе для повышения эффективности генерации, энергии импульсов и частоты их следования и, как следствие, увеличения предельной дальности измерений расстояний, уменьшения погрешности и сокращения времени измерений в качестве активной среды использовался кристалл $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (YAB), активированный ионами Er^{3+} и Yb^{3+} , который характеризуется достаточно высоким значением теплопроводности (7,7 Вт/м·К вдоль оси *a* и 6,6 Вт/м·К вдоль оси *c*) [7, 8].

Экспериментальные результаты и обсуждение

Для проведения лазерных экспериментов в непрерывном режиме генерации использовался плоско-параллельный резонатор, состоящий из

входного плоского зеркала 3 с коэффициентом отражения на длине волны генерации $R > 99,9\%$ и коэффициентом пропускания $T > 97\%$ на длине волны накачки, активного элемента 4 и выходного зеркала с коэффициентом пропускания $T = 3\%$ на длине волны генерации, нанесённого на поверхность активного элемента. Активный элемент 4 – кристалл Er (1,5 ат. %), Yb(12 ат. %):YAB толщиной 2 мм, вырезанный перпендикулярно оси c , был закреплен на ра-

диаторе с термоэлектрическим охлаждением 5. Накачка осуществлялась InGaAs лазерным диодом 1, излучающим на длине волны около 976 нм, с максимальной мощностью 25 Вт и оптоволоконным выходом (диаметр волокна 105 мкм с числовой апертурой 0,22). Излучение диода коллимировалось и фокусировалось на активном элементе системой 2 из двух линз с фокусными расстояниями 100 и 80 мм (рисунок 1).

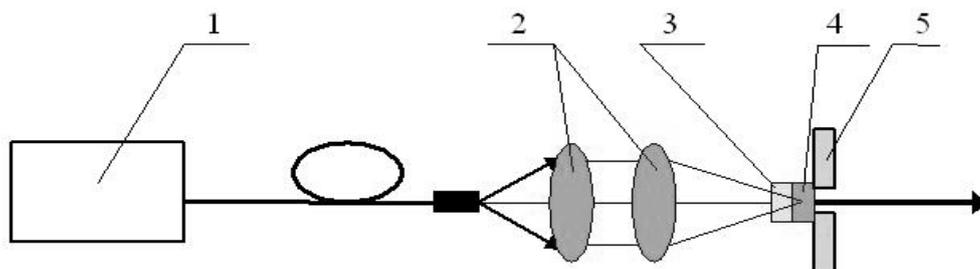


Рисунок 1 – Схема установки для лазерных экспериментов в непрерывном режиме генерации: 1 – лазерный диод; 2 – фокусирующая система; 4 – активные элементы; 3 – входное плоское зеркало; 5 – радиатор с термоэлектрическим охлаждением

В непрерывном режиме генерации было получено лазерное излучение с максимальной выходной мощностью 800 мВт на длине волны 1602 нм и дифференциальной эффективностью по отношению к поглощенной мощности накачки 16 % (рисунок 2). При увеличении поглощенной мощности накачки наблюдалось снижение роста выходной мощности лазера, что свидетельствует о сильном влиянии термических эффектов в кристалле. В целях уменьшения влияния термических эффектов в активном элементе были проведены лазерные эксперименты с квазинепрерывной накачкой, для чего в канал накачки вводился механический модулятор со скважностью 20 %. Максимальная пиковая мощность выходного излучения составила 2 Вт на длине волны 1602 нм. Дифференциальная эффективность генерации по поглощенной мощности накачки при этом составила 19 %.

Для проведения лазерных экспериментов в режиме пассивной модуляции добротности в схеме экспериментальной установки входное зеркало было заменено на пассивный затвор. В качестве пассивного затвора использовался кристалл магний-алюминиевой шпинели, легированный ионами кобальта ($\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$) толщиной 0,75 мм с начальным пропусканием

98,5 % на длине волны 1520 нм. Входное зеркало было нанесено на поверхность пассивного затвора. Максимальная средняя выходная мощность в режиме пассивной модуляции добротности составила 315 мВт на длине волны 1522 нм и дифференциальной эффективностью по отношению к поглощенной мощности накачки 11 %. Частота следования импульсов варьировалась от 10 до 60 кГц при изменении поглощенной мощности излучения накачки от пороговой (2,7 Вт) до 6,25 Вт (рисунок 3).

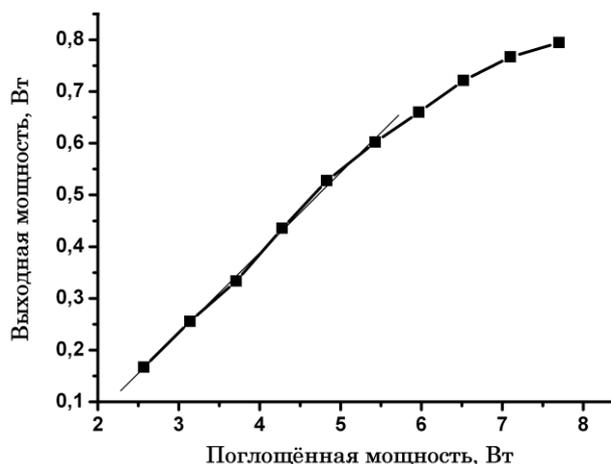


Рисунок 2 – Выходная характеристика лазера в непрерывном режиме генерации

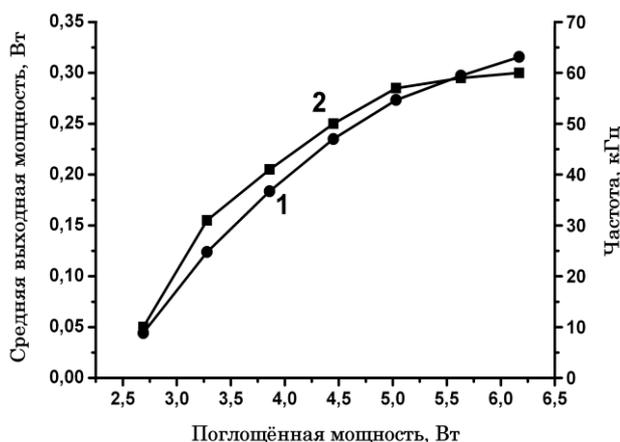


Рисунок 3 – Зависимости средней выходной мощности (1) и частоты следования импульсов (2) от поглощенной мощности накачки

Значения длительности и энергии импульсов изменялись в пределах 5–8 нс и 4–5,25 мкДж, соответственно (рисунок 4). Моделирование работы микроchip-лазера на основе балансных уравнений показало вполне удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментально измеренных характеристик выходного излучения.

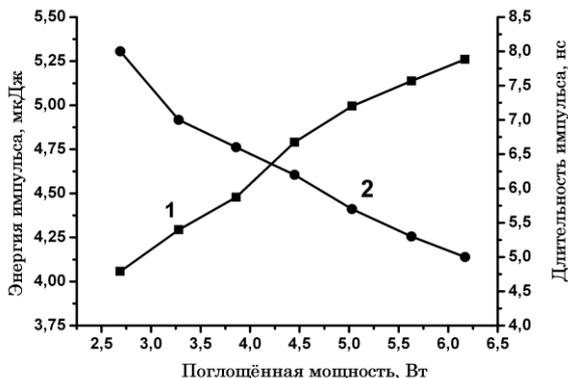


Рисунок 4 – Зависимости энергии (1) и длительности импульсов (2) от поглощенной мощности накачки

Заключение

Представлен микроchip-лазер на основе кристалла иттрий-алюминиевого бората, соактивированного ионами Er^{3+} и Yb^{3+} . В непрерывном режиме генерации достигнута выходная мощность 800 мВт на длине волны 1602 нм при поглощённой мощности накачки 7,7

Вт. В режиме пассивной модуляции добротности с использованием кристалла $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ в качестве пассивного затвора получена средняя мощность 315 мВт на длине волны 1522 нм с длительностью импульсов 5 нс и энергией 5,25 мкДж при частоте следования 60 кГц.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения высокочастотных $\text{Er}, \text{Yb}:\text{YAB}$ микроchip-лазеров в составе портативных лазерных дальномеров, работающих в условно безопасном спектральном диапазоне 1,5–1,6 мкм по методу накопления отраженных сигналов.

Список использованных источников

1. Fluck, R. Eyesafe pulsed microchip laser using semiconductor saturable absorber mirrors / R. Fluck, R. Haring, R. Pascotta [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 1998. – Vol. 72, № 25. – P. 3273–3275.
2. Thony, Ph. 1.55 μm passive Q-switched microchip laser / Ph. Thony, B. Ferrand, E. Molva // OSA Proceedings on Advanced Solid-State Lasers. – 998. – Vol. 19. – P. 150.
3. Kisel, V.E. Passive Q switches for a diode-pumped erbium glass laser / V.E. Kisel, V.G. Shcherbitskii [et al.] // Quantum Electronics – 2005. – Vol. 35, № 37. – P. 611–614.
4. Georgiou, E. 1.65- μm Er,Yb:YAG diode-pumped laser delivering 80-mJ pulse energy / E. Georgiou [et al.] // Opt. Engineering – 2005. – Vol. 44, № 6. – P. 064202.
5. Hellstrom, J. Passive Q-switching at 1,54 μm of an Er,Yb: $\text{GdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ laser with a $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ saturable absorber / J. Hellstrom, G. Karlsson, V. Pasiskevicius [et al.] // Appl. Phys. B. – 2005. – Vol. 81, № 1. – P. 49–52.
6. Tolstik, N.A. Spectroscopy, continuous-wave and Q-switched diode-pumped laser operation of Er,Yb:YVO₄ crystal / N.A. Tolstik, A.E. Troshin, S.V. Kurilchik [et al.] // Appl. Phys. B. – 2007. – Vol. 86, № 2. – P. 275–278.
7. Tolstik, N.A. Er,Yb:YAl₃(BO₃)₄-efficient 1.5 μm laser crystal / N.A. Tolstik, V. E. Kisel, N. V. Kuleshov [et al.] // Appl. Phys. B. – 2009. – Vol. 97. – P. 357–362.
8. Tolstik, N.A. Excited state absorption, energy levels, and thermal conductivity of Er³⁺:YAB / N.A. Tolstik, G. Huber, V.V. Maltsev [et al.] // Appl. Phys. B. – 2008. – Vol. 92. – P. 567–571.

Gorbachenya K.N., Kisel V.E., Yasukevich A.S., Kuleshov N.V., Maltsev V.V., Leonyuk N.I.

High repetition rate microchip Er³⁺, Yb³⁺:YAl₃(BO₃)₄ diode-pumped laser

Diode-pumped passively Q-switched microchip Er,Yb:YAl₃(BO₃)₄ laser for range-finding has been demonstrated. By using a Co²⁺:MgAl₂O₄ as a saturable absorber TEM₀₀-mode Q-switched average output power of 315 mW was demonstrated at 1522 nm with pulse duration of 5 ns and pulse energy of 5,25 μJ at a repetition rate of 60 kHz. (E-mail: gorby@bntu.by)

Key words: laser, microchip, erbium, range finder, passively q-switched.

Поступила в редакцию 26.07.2012.