

Измерение спектров поглощения монокристаллического слоя производилось на двулучевом спектрофотометре Cary 5000 Varian при комнатной температуре. Спектральная ширина щели спектрофотометра составляла 0,9 нм. Спектр поглощения хорошо согласуется со спектром объемного кристалла Er,Yb:YAB (рис. 2) [3].

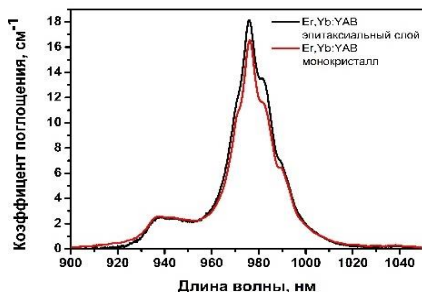


Рисунок 2 – Спектр поглощения эпитаксиального слоя Er,Yb:YAB в сравнении с монокристаллом

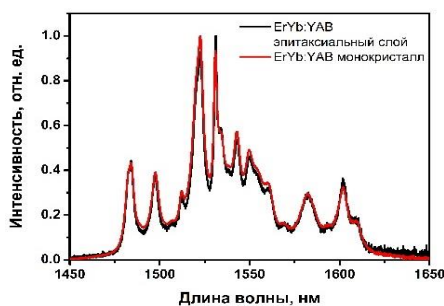


Рисунок 3 – Спектр люминесценции эпитаксиального слоя Er,Yb:YAB в сравнении с монокристаллом

Возбуждение люминесценции осуществлялось InGaAs лазерным диодом, излучающим на длине волны 975 нм. Излучение лазерного диода фокусировалось с помощью линзы на поверхность исследуемого образца, который был расположен под углом. Возбуждаемое излучение люминесценции, промодулированное механическим прерывателем светового потока с частотой ~650 Гц, собиралось с помощью широкоапертурной линзы на входной щели монохроматора (МДР-23). Излучение регистрировалось чувстви-

тельным фотоприемником (Hamamatsu G5851). Сигнал с фотоприемника обрабатывался синхронным усилителем (Stanford Research Systems SR810), на который также подавался опорный сигнал от модулятора. Управление процессом сканирования и регистрация сигнала осуществлялось с помощью компьютера. Спектры люминесценции эпитаксиальных пленок и кристаллов Er,Yb:YAB в области 1,5 мкм приведены на рис. 3. Спектры пленок в точности повторяют форму спектров кристаллов.

Исследование кинетики затухания люминесценции верхнего лазерного уровня $^4I_{13/2}$ иона Er^{3+} на длине волны 1530 нм проводилось при возбуждении лазерными импульсами длительностью 20 нс с длиной волны 975 нм. Кривая затухания люминесценции хорошо аппроксимировалась моноэкспоненциальной зависимостью с характерным временем жизни 320 ± 15 мкс. Измерения кинетики люминесценции показали соответствие времен затухания возбужденных уровней пленок и соответствующих времен в кристаллических образцах.

Результаты исследований показывают, что эпитаксиальные монокристаллические слои Er,Yb:YAB обладают спектроскопическими свойствами близкими свойствам монокристаллов Er,Yb:YAB и перспективны для получения лазерной генерации.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 19-12-00235.

Литература

1. Leonyuk, N. I. Growth and characterization of $RM_3(BO_3)_4$ crystals / N. I. Leonyuk, L. I. Leonyuk // Prog. Cryst. Growth Charact. – 1995. – Vol. 31. – P. 179–278.
2. Volkova, E. A. Thin Films and Glass–Ceramic Composites of Huntite Borates Family: A Brief Review / E. A. Volkova, D. A. Naprasnikov, N. I. Leonyuk // Crystals. – 2010. – Vol. 10. – P. 487.
3. Tolstik, N. Er,Yb:YAl₃(BO₃)₄ – efficient 1.5 μm laser crystal / N. Tolstik [et al.] // Appl. Phys. – 2009. – Vol. 97(2). – P. 357–362.

УДК 621.375.826

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ Er,Yb:GdMgB₅O₁₀

Горбаченя К.Н.¹, Кисель В.Э.¹, Лазарчук А.И.¹, Митина Д.Д.², Мальцев В.В.², Копорулина Е.В.², Волкова Е.А.², Кулешов Н.В.¹

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

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Москва, Российская Федерация

Аннотация. Исследованы спектроскопические свойства кристаллов гадолиний-магниевого пентабората, легированных ионами Er^{3+} и Yb^{3+} . Определены спектры поперечных сечений поглощения. Исследованы кинетики люминесценции, определено время жизни энергетического уровня $^4I_{13/2}$ иона эрбия

Ключевые слова: спектроскопические свойства, кристалл, пентаборат, эрбий, иттербий.

SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF Er,Yb:GdMgB₅O₁₀ CRYSTALS
**Gorbachenya K.¹, Kisel V.¹, Lazartchuk A.¹, Mitina D.², Maltsev V.², Koporulina E.²,
 Volkova E.², Kuleshov N.¹**

Center for Optical Materials and Technologies of BNTU
Minsk, Belarus
Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russia

Abstract. Spectroscopic properties of Er³⁺,Yb³⁺:GdMgB₅O₁₀ were investigated. Absorption cross-section polarized spectra were determined. The luminescence kinetics was investigated, lifetime of erbium ⁴I_{13/2} was determined.

Key words: spectroscopic properties, crystal, pentaborate, erbium, ytterbium.

Адрес для переписки: Кисель В.И., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: VEKisel@bntu.by

Лазерное излучение с длиной волны 1,5–1,6 мкм имеет ряд достоинств, интересных для широкого практического применения в лазерной дальнометрии, медицине, системах оптической локации. Основными требованиями, которые предъявляются к эрбий-иттербиевым материалам для получения эффективной лазерной генерации в области 1,5 мкм, являются:

- эффективное поглощение излучения накачки ионами иттербия и последующий эффективный перенос энергии от ионов иттербия к ионам эрбия;

- быстрая безызлучательная релаксация с уровня ⁴I_{11/2} ионов эрбия на верхний лазерный уровень ⁴I_{13/2};

- высокий квантовый выход люминесценции с уровня ⁴I_{13/2} [1].

Наиболее полно указанным требованиям соответствуют фосфатные стекла, легированные ионами эрбия и иттербия. Однако основным недостатком использования фосфатных стекол с ионами эрбия и иттербия в качестве лазерных сред является их низкая теплопроводность (0,85 Вт/м·К) и, как следствие, низкий порог теплового разрушения в лазерах с непрерывной накачкой. Поэтому поиск кристаллической матрицы с ионами эрбия и иттербия, удовлетворяющей приведенным спектроскопическим требованиям для получения эффективной лазерной генерации в спектральной области около 1,5 мкм и имеющей высокую теплопроводность, является актуальной задачей.

В данной работе представлены результаты исследований спектроскопических свойств кристаллов гадолиний-магниевого пентабората, легированных ионами эрбия и иттербия – Er³⁺,Yb³⁺:GdMgB₅O₁₀ (GMBO).

Монокристаллы Er,Yb:GMBO (Er = 2,0 ат.%, Yb = 11 ат.%) были выращены методом SGDS (solution growth on dipped seeds) из высокотемпературного раствора-расплава на основе тримоллибдата калия K₂Mo₃O₁₀ (ТМК) [2].

В ходе предварительных экспериментов оптимальное соотношение ТМК/GMBO определялась по таким показателям как температура кри-

сталлизации, выход и качество спонтанных кристаллов. Монокристаллы Er,Yb:GMBO выращивались в платиновых тиглях емкостью 250 мл также с использованием двух типов затравок – небольших, или «точечных», размером до 0,5×0,5×1,5 мм, и «объемных», более крупных – для определения температуры насыщения раствора-расплава. Эксперимент проводился в интервале температур 900–800°C со скоростями охлаждения 1–1,5°C/сут., в результате были получены монокристаллы Er,Yb:GMBO оптического качества с размерами ~ 20×20×10 мм (рис. 1).

Для исследований спектров поглощения в поляризованном свете из кристаллов Er,Yb:GMBO были изготовлены пластинки, ориентированные вдоль главных осей оптической индикатрисы кристалла N_m , N_p , N_g . Измерение производилось при комнатной температуре на двухлучевом спектрофотометре Varian CARY 5000 в двух спектральных областях: 850–1100 нм, соответствующей энергетическим переходам ²F_{7/2}→²F_{5/2} ионов иттербия и ⁴I_{15/2}→⁴I_{11/2} ионов эрбия, и 1400–1650 нм, соответствующей энергетическому переходу ⁴I_{15/2}→⁴I_{13/2} ионов эрбия.

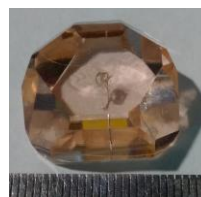


Рисунок 1 – Внешний вид кристалла Er,Yb:GMBO

На рис. 2 приведены спектры поперечных сечений поглощения кристалла Er,Yb:GMBO в спектральной области 850–1100 нм (переход ²F_{7/2}→²F_{5/2} ионов иттербия и переход ⁴I_{15/2}→⁴I_{11/2} ионов эрбия). Максимальное значение поперечного сечения поглощения составляет $1,5 \times 10^{-20}$ см² на длине волны 975 нм для поляризации E//N_g.

На рис. 3 представлены спектры поперечных сечений поглощения в спектральной области 1400–1650 нм. В спектре наблюдается ряд интенсивных полос поглощения с пиками на различных длинах волн в спектральной области 1400-

1650 нм с максимальным поперечным сечением поглощения до $1,1 \times 10^{-20}$ см² на длине волны 1515 нм для поляризации излучения E/N_m .

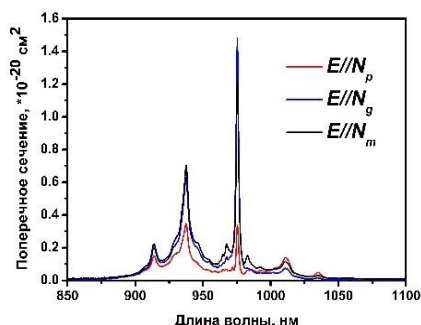


Рисунок 2 – Спектр поперечных сечений поглощения в области около 1 мкм

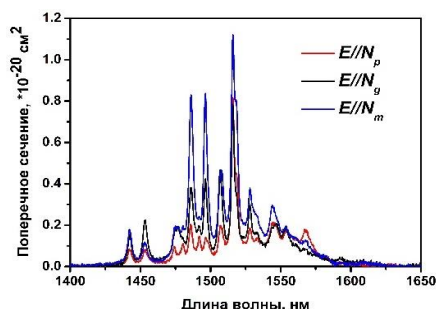


Рисунок 3 – Спектр поперечных сечений поглощения в области около 1,5 мкм

Целью проведения измерений кинетик люминесценции было определение времени жизни возбужденного состояния $^4I_{13/2}$ ионов эрбия в кристалле Er,Yb:GMBO. Для возбуждения люминесценции использовалась длина волны около 976 нм. Для всей серии измерений затухание люминесценции в области 1,5 мкм хорошо описывалось одноэкспоненциальной

функцией, время жизни уровня $^4I_{13/2}$ ионов эрбия составило 440 ± 20 мкс (рис. 4).

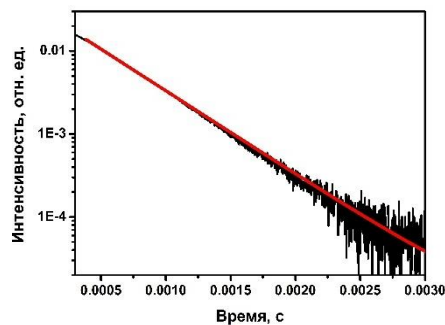


Рисунок 4 – Кинетика затухания люминесценции в области около 1.5 мкм

Проведенные исследования спектроскопических свойства кристаллов Er,Yb:GMBO свидетельствуют о перспективности их использования в качестве активной среды лазеров спектрального диапазона 1,5–1,6 мкм, работающих в непрерывном режиме генерации и режиме пассивной модуляции добротности.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 19-12-00235.

Литература

1. Gorbachena, K. N. High efficient continuous-wave diode-pumped Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ laser / K. N. Gorbachena // Opt. Lett. – 2013. – Vol. 38. – P. 2446–2448.
2. Спектрально-люминесцентные свойства кристаллов иттрий-магниевого пентабората, легированных ионами Er³⁺ и Yb³⁺ / К.Н. Горбаченя [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2020. – Т. 87, № 6. – С. 918–924.

УДК 528.8.042

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗМЕННОГО ДЕФЛЕКТОРА ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА

Гусаров И.Е.¹, Владимиров В.Д.¹, Калугин А.И.²

¹ ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова»

² Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН

Ижевск, Российская Федерация

Аннотация. Приведена методика расчета параметров призмного дефлектора (число граней, габаритные размеры). Выполнены расчеты призмных дефлекторов в зависимости от углов сканирования и числа граней. Установлены особенности разработки и применения призмных дефлекторов в устройствах лазерного сканирования.

Ключевые слова: лазерное сканирование, сканер, призмный дефлектор.