

Спектральные особенности эрбий-иттербиевых лазерных сред

М.В. Богданович^a, А.А. Бойко^c, Л.И. Буров^b, А.И. Енжиевский^a,
А.С. Красковский^f, А.В. Мудрый^d, Е.В. Подденежный^e, А.Г. Рябцев^a,
Г.И. Рябцев^a, Л.Л. Тепляшин^c, М.А. Щемелев^a

^a *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*
e-mail: ryabtsev@dragon.bas-net.by

^b *Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

^c *Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

^d *Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

^e *Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,*
Гомель, Беларусь

^f *ОАО "Пеленг", Минск, Беларусь*

Spectral peculiarities of the Er, Yb: boro-silico-phosphate glass laser transversally pumped by laser diode arrays have been studied at a free-running lasing regime. Spectral-luminescent characteristics of the sol-gel derived sodium-boro-silicate glass and the ortho-vanadate crystal co-doped by erbium and ytterbium ions are presented. Optical characteristics obtained for the sol-gel derived sodium-boro-silicate glass as well as the ortho-vanadate crystal are compared with that for Er, Yb: boro-silico-phosphate glass.

Ключевые слова: эрбий-иттербиевая активная среда, диодная накачка, спектры люминесценции и генерации, золь-гель технология.

1. Введение

Твердотельные лазеры на основе эрбий-содержащих активных сред с диодной накачкой – перспективные источники излучения в условно безопасном для глаз спектральном диапазоне 1,5–1,6 мкм [1–3]. Для их успешного применения в дальнометрии, лазерной локации, медицине необходимы активные материалы, обладающие лучшими оптическими и термомеханическими свойствами, по сравнению со свойствами существующих в настоящее время сред [4]. Возможными путями решения поставленной задачи является выращивание новых лазерных кристаллов, легированных эрбием и иттербием [4, 5], а также разработка золь-гель технологии получения эрбий-иттербиевых лазерных стекол [6, 7]. Золь-гель методика дает возможность уменьшить температуру спекания и повысить химическую однородность образцов, при этом значительно расширяется возможный набор используемых стеклянных матриц.

Одной из проблем спектроскопии структурно-разупорядоченных сред является установление их спектрально-структурных корреляций, поскольку спектры люминесценции и поглощения данных материалов характеризуются широкими неоднородно-уширенными полосами. Такого рода исследования, как правило, проводятся с применением методов селективной лазерной спектроскопии, позволяющих селективно возбуждать различные типы оптических центров в структурно-разупорядоченной матрице [8].

Цель настоящей работы состояла в изучении спектральных свойств боро-силико-фосфатного стекла (БСФС), соактивированного ионами эрбия и иттербия, в условиях свободной генерации при поперечной диодной накачке. Изучены спектрально-люминесцентные свойства натрий-боро-силикатного стекла (НБСС), изготовленного по золь-гель технологии, и кристалла ортованадата иттрия (YVO₄), соактивированных ионами эрбия и иттербия. Исследованные образцы перспективны для использования в качестве активных элементов твердотельных лазеров с продольной и поперечной диодной накачкой, излучающих в условно безопасном для глаз спектральном диапазоне 1,5–1,6 мкм.

2. Эксперимент

Исследование спектральных характеристик БСФС в условиях свободной генерации проводилось с использованием образцов, изготовленных в Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН [9]. Концентрация ионов Er^{3+} и Yb^{3+} в БСФС составляла $5 \cdot 10^{19}$ и $4 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ соответственно. Резонатор лазера длиной 750 мм состоял из глухого сферического зеркала с радиусом кривизны 500 мм и плоского выходного зеркала с коэффициентом отражения 98%. Возбуждение активной БСФС среды производилось мощными лазерными диодными линейками, излучающими на длине волны $\approx 950 \text{ нм}$. Спектры генерации и люминесценции регистрировались ПЗС-линейкой с фоточувствительными элементами на основе InGaAs, установленной на выходе спектральной дифракционной камеры.

НБСС было получено с использованием непрямого золь-гель метода [10], включающего получение композиционного коллоида с использованием аэросила А-380, солей: натрийтетраборно кислого и нитратов алюминия, эрбия и иттербия. Стабилизация коллоида осуществлялась путем доведения рН до 6–7 ед. с последующей сушкой и термообработкой. Концентрация ионов Er^{3+} и Yb^{3+} в полученном стекле составляла $2,5 \cdot 10^{18}$ и $7,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

Измерение спектров поглощения БСФС и НБСС образцов осуществлялось с применением спектрофотометра CARY-500. Спектры возбуждения НБСС измерялись с помощью монохроматора МДР-12 (сканирование длины волны излучения возбуждения), монохроматора МДР-23 (выделение линии регистрации) и InGaAs фотодиода (измерение интенсивности люминесценции).

3. Результаты и обсуждение

Как показано в [11], в спектре излучения лазера на основе БСФС с диодной накачкой одновременно могут наблюдаться группы узких линий генерации в пределах ИК-полосы люминесценции ($\approx 1,5 \text{ мкм}$), соответствующей переходу ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ иона Er^{3+} . Общее количество линий при достаточно высоком уровне накачки может превосходить максимально возможное число компонент штарковского расщепления в полосе ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ (8 компонент). Это объясняется проявлением в спектре генерации нескольких оптических центров с индивидуальными наборами компонент штарковского расщепления.

На рис. 1 приведены характерные спектры генерации лазера на БСФС, работающего в режиме свободной генерации. Спектры получены при одной и той же мощности накачки при различных внутрирезонаторных потерях, которые изменялись посредством разъюстировки резонатора лазера. Как следует из рис. 1, с изменением величины потерь в излучении лазера проявляются различные группы узких линий, перекрывающие практически весь диапазон длин волн ИК-полосы люминесценции в окрестности $\approx 1,5 \text{ мкм}$.

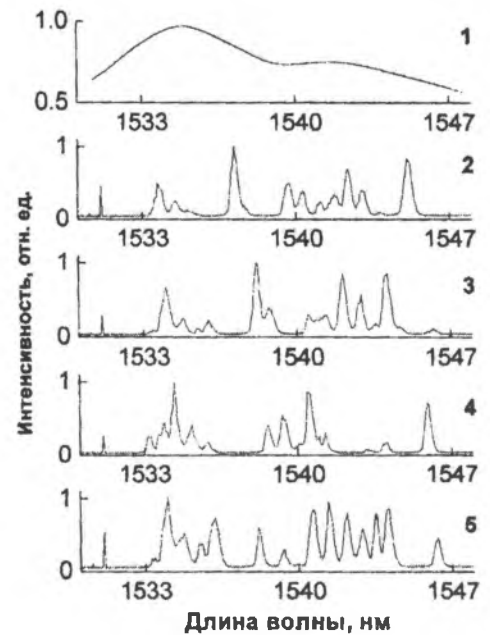


Рис. 1. Спектры люминесценции и генерации Er, Yb БСФС: (1) спектр люминесценции, (2)–(5) спектры генерации, соответствующие различным внутрирезонаторным потерям.

На основании анализа полученных спектров генерации, часть из которых представлена на рис. 1, можно заключить, что в спектре генерации проявляются 8 групп линий, соответствующих различным компонентам штарковского расщепления. Отдельные линии в каждой из этих групп относятся к различным типам оптических центров. В исследованном нами образце БСФС проявляются, по крайней мере, 6 типов оптических центров.

На рис. 2 а представлены спектры поглощения и возбуждения (длина волны регистрации 1,53 мкм) образца НБСС в спектральном диапазоне 860–1050 нм для оптических переходов $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ и $^2F_{7/2} \rightarrow ^2F_{5/2}$ ионов эрбия и иттербия соответственно.

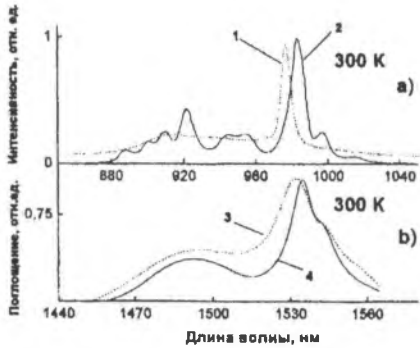


Рис. 2. (а) Спектры поглощения (1) и возбуждения (2) НБСС, (б) спектры поглощения НБСС (3) и БСФС (4).

Максимум спектра возбуждения НБСС смещен в длинноволновую область относительно максимума спектра поглощения. Данный факт, по-видимому, связан с процессами ап-конверсии, характерными для ионов эрбия, которые препятствуют эффективному заселению верхнего лазерного уровня $^4I_{13/2}$ при возбуждении НБСС излучением с длиной волны, соответствующей максимуму спектра поглощения. Из анализа спектра возбуждения следует, что наиболее оптимальной длиной волны излучения накачки для данного образца НБСС является ≈ 983 нм.

На рис. 2 б представлены спектры поглощения НБСС и БСФС в спектральном диапазоне 1440–1580 нм, соответствующие переходу $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ ионов эрбия. Максимум

спектра поглощения НБСС смещен в коротковолновую область относительно максимума спектра поглощения БСФС, при этом полуширина полосы поглощения для НБСС превосходит полуширину для БСФС.

На рис. 3 а приведены спектры люминесценции БСФС при 300 К и НБСС при 300 и 77 К. При комнатной температуре полоса люминесценции НБСС в спектральной области $\approx 1,5$ мкм характеризуется большей полушириной, по сравнению с полосой люминесценции БСФС. С понижением температуры до 77 К наблюдается уменьшение полуширины спектра люминесценции НБСС, которая становится сравнимой с полушириной спектра люминесценции БСФС при комнатной температуре.

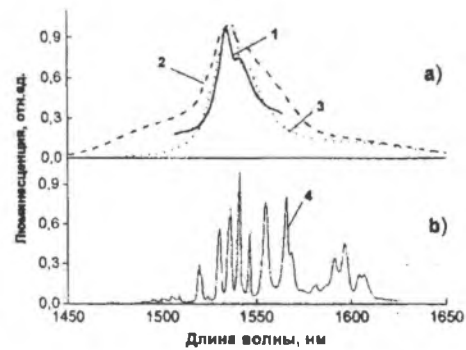


Рис. 3. Спектры люминесценции: (а) БСФС при $T = 300$ К (1), НБСС при $T = 300$ К (2), НБСС при $T = 77$ К (3), (б) Er, Yb: YVO₄ при $T = 77$ К (4).

На рис. 3 б приведен спектр люминесценции кристалла Er³⁺, Yb³⁺: YVO₄, измеренный при температуре 77 К. Для него характерно наличие интенсивной длинноволновой полосы в спектральной области 1,6 мкм. Данная полоса практически не проявляется в спектрах люминесценции БСФС и НБСС. Предварительные данные свидетельствуют о возможности использования ее для получения генерации на длинах волн порядка 1,6 мкм.

4. Заключение

В данной работе исследованы спектральные характеристики БСФС с ионами Er^{3+} и Yb^{3+} в условиях генерации. Установлено, что при варьировании условий генерации, например, посредством изменения оптических потерь, происходит изменение спектрального состава излучения: проявляются различные наборы узких линий, перекрывающие широкий диапазон длин волн вблизи $\approx 1,5$ мкм. В спектрах генерации лазера на БСФС наблюдалось до 8 групп линий, соответствующих различным компонентам штарковского расщепления. Отдельные линии внутри каждой из групп соответствовали различным типам активных центров. В образце БСФС зарегистрировано по крайней мере 6 типов оптических центров.

Исследованы спектрально-люминесцентные характеристики НБСС, изготовленного по золь-гель технологии, и кристалла ортованадата иттрия соактивированных эрбием и иттербием. Стекло, изготовленное по золь-гель технологии, обладает схожими с БСФС спектрально-люминесцентными свойствами и может быть использовано в качестве активных элементов твердотельных лазеров с диодной накачкой, излучающих в условно безопасном для глаз спектральном диапазоне 1,5–1,6 мкм. Наличие интенсивной длинноволновой полосы в спектре люминесценции Er^{3+} , Yb^{3+} : YVO_4 свидетельствует о принципиальной возможности расширения спектрального диапазона генерируемого излучения до 1,6 мкм.

Литература

1. Абазадзе А. Ю., Быков В. Н., Зверев Г. М., Плешков А. А., Симаков В. А. Высокоэффективный мини-лазер с импульсной поперечной полупроводниковой накачкой для безопасной лазерной дальнометрии. Квантовая электроника. 2002. Т. 32, № 3. С. 210–212.
2. Denker B. I., Galagan B. I., Osiko V. V., Sverchkov S. E. Materials and components for miniature diode-pumped 1.5 μm erbium glass lasers. Laser Phys. 2002. Vol. 12, No. 4. P. 697–701.
3. Georgiou E., Musset O., Boquillon J., Denker B., Sverchkov S. 50 mJ/30 ns FTIR Q-switched diode-pumped Er: Yb:glass 1.54 μm laser. Optics Commun. 2001. No. 198. P. 147–153.
4. Mierczyk Z., Kwasny M., Kopczynski M., Gietka A., Lukasiewicz T., Frukacz Z., Kisielewski J., Stepien R., Jedrzejewski K. Er^{3+} and Yb^{3+} doped active media for 'eye safe' laser systems. J. Alloys and Compounds. 2000. No. 300–301. P. 398–406.
5. Sokolska I., Heumann E., Kuck S., Lukasiewicz T. Laser oscillation of Er^{3+} : YVO_4 and Er^{3+} , Yb^{3+} : YVO_4 crystals in the spectral range around 1.6 μm . Appl. Phys. B. 2000. No. 71. P. 893–896.
6. Sokolnicki J., Urbanski B., Legendziewicz J. Investigation of Er, Er: Yb and Er: Tm systems in silica sol-gels. J. Alloys and Compounds. 2000. No. 300–301. P. 450–455.
7. Maeda N., Wada N., Onoda H., Maegawa A., Kojima K. Spectroscopic properties of Er^{3+} in sol-gel derived ZrO_2 films. Thin Solid Films. 2003. No. 445. P. 382–386.
8. В. В. Осико. Лазерные материалы. Избранные тр. М., 2002.
9. Sverchkov Y. E., Denker B. I., Maximova G. V., Osiko V. V., Sverchkov S. E. Proc. SPIE Solid-State Lasers III. 1992. Vol. 1627. P. 37–41.
10. Подденежный Е. Н., Бойко А. А. Золь-гель синтез оптического кварцевого стекла. Гомель, 2002. 210 с.
11. Ryabtsev G. I., Bezyazychnaya T. V., Parastchuk V. V., Ryabtsev A. G., Bogdanovich M. V., Yenzhyieuski A. I., Teplyashin L. L., Kuznetsova V. V., Petrovich I. P., Kraskovskii A. S., Titovez S. N. Spectral and temporal properties of diode-pumped Er, Yb: glass laser. Optics Commun. 2005 (in press).