УДК 535.37

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННОГО ИТТЕРБИЙ-ЭРБИЕВОГО ФОСФАТНОГО СТЕКЛА

© 2007 г. **В. А. Асеев**[*]; **А. И. Игнатьев**[*]; **Н. В. Никоноров**[*], доктор физ.-мат. наук; **А. К. Пржевуский**[*], доктор физ.-мат. наук; **Е. М. Федорова**[*]; **Ю. К. Федоров**[**], канд. техн. наук

[*] НИИ "Оптоинформатика", Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

[**] НИТИОМ ВНЦ "ГОИ им. С.И. Вавилова", Санкт-Петербург

E-mail: Aseev@oi.ifmo.ru

Разработана методика регистрации спектров люминесценции лазерных стекол при разных температурах. Экспериментально исследовано влияние нагрева на контур люминесценции высококонцентрированного иттербий-эрбиевого фосфатного стекла для основного лазерного перехода на 1,5 мкм. Показано, что при увеличении температуры эффективное сечение вынужденного излучения в максимуме линейно уменьшается и ширина контура увеличивается.

Коды OCIS: 140.3070, 140.3380, 140.3500.

Поступила в редакцию 02.04.2007.

Введение

На протяжении нескольких последних лет в телекоммуникациях и телеметрии активно используются волноводные усилители и микролазеры, активной средой которых является фосфатное стекло, активированное ионами Er^{3+} и Yb^{3+} [1, 2]. При разработке таких устройств решаются задачи, в первую очередь связанные с их миниатюризацией, повышением эффективности и увеличением мощности. Решение этих задач возможно при увеличении концентрации ионов активаторов и мощности накачки. В свою очередь, увеличение мощности накачки может приводить к деформации (искажению) спектра люминесценции (и, соответственно, усилению), что в конечном итоге будет влиять на работу усилителя (лазера). Так, в работе [3] обнаружено, что при высоком уровне накачки ($N_2/N > 30\%$, где N_2 – населенность на метастабильном уровне $^4I_{13/2}$ и N – концентрация ионов эрбия) спектр люминесценции эрбиевых стекол деформируется. Авторы этой работы объясняли такое искажение спектра нагревом активной среды, что может сильно изменять характеристики высококонцентрированных планарных волноводных усилителей и микролазеров, которые работают без принудительного охлаждения. Нагрев может приводить как к искажению волнового фронта вследствие наведения термической линзы, так и к изменению контура сечения вынужденного излучения. Целью настоящей работы являлось исследование влияния нагрева на люминесцентные характеристики высококонцентрированного иттербий-эрбиевого фосфатного стекла.

Объект исследования и методика эксперимента

В качестве объекта исследования использовался образец иттербий-эрбиевого фосфатного стекла с типичными для лазерных стекол концентрациями ионов активаторов иттербия $N_{Yb} = 19\times10^{20}$ см$^{-3}$ и эрбия $N_{Er} = 0{,}5\times10^{20}$ см$^{-3}$. Образец представлял собой плоскопараллельную пластинку размером 10×10×3 мм.

В работе были исследованы изменения спектров люминесценции образца при различных температурах. Для этого была создана термоячейка, позволяющая изменять температуру в пределах 25–300 °С. Термоячейка замкнутого объема представляла собой термоизолированный цилиндр, закрытый кварцевыми пластинами с торцов, служащими в качестве окон для ввода и вывода излучения. Внутри термоячейки располагался образец в держателе на термоизолирующей подставке. Градиент температуры на образце составлял не более 1 °С. Контрольная термопара (платина–платина–родий), с помощью которой задавалась температура, вводилась внутрь термоячейки и подключалась к цифровому термоконтроллеру. Точность поддержания температуры составляла 1 °С. Измерительная термопара (хромель–алюмель) располагалась непосредственно в зоне контакта держателя и образца. Точность измерения температуры составляла 0,1 °С.

Для записи спектров люминесценции использовалась экспериментальная установка (рис. 1).

Люминесценция эрбия возбуждалась излучением полупроводникового лазера с длиной волны $\lambda = 975$ нм (LDD-10, ЗАО "Полупроводниковые

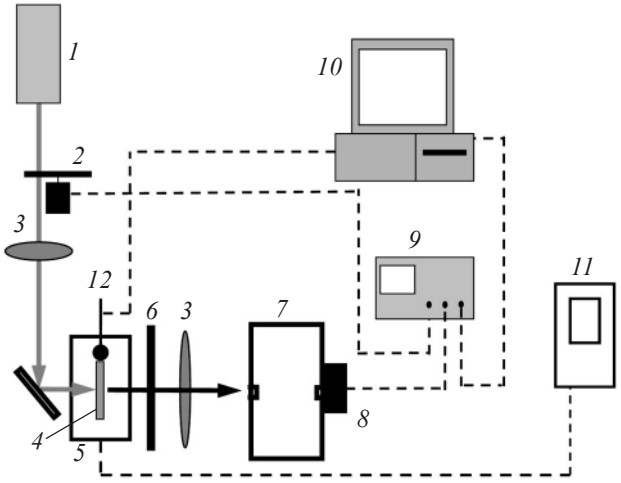


Рис. 1. Схема установки для записи спектров люминесценции. *1* – лазер, *2* – модулятор, *3* – фокусирующая линза, *4* – образец, *5* – термоячейка, *6* – спектральный фильтр, *7* – монохроматор, *8* – приемник, *9* – усилитель, *10* – компьютер, *11* – программатор, *12* – измерительная термопара.

приборы") *1*, модулированным механическим модулятором с частотой 10 Гц. Сигнал люминесценции образца *4*, находящегося в термоячейке *5*, температура которой задавалась с помощью программатора *11* и контролировалась термопарой *12*, регистрировался с помощью монохроматора (модель Acton-300, Acton Research Corporation) *7* и приемника InGaAs (модель ID-441, Acton Research Corporation) *8* в диапазоне 1400–1700 нм. Сигналы от приемника усиливались и обрабатывались с помощью цифрового синхронного усилителя (модель SR850 фирмы "Stanford Research Systems"). Для устранения влияния накачки на вид спектров люминесценция в образцах возбуждалась полупроводниковым лазером небольшой мощности ≈30 мВт.

Методика измерений состояла в следующем. Измерялся исходный ("эталонный") спектр люминесценции $f(\lambda)^{Э}$ при температуре 25 °C. Далее температура увеличивалась на 25 °C и удерживалась в течение 20 минут. Выдержка применялась для достижения минимальных градиентов температуры внутри замкнутого объема термоячейки. Затем записывался следующий спектр люминесценции. Спектры люминесценции, полученные при различных температурах, нормировались на их площадь. Путем вычитания "эталонного" спектра $f(\lambda)^{Э}$ люминесценции из спектра, полученного при высокой температуре $f(\lambda)^{T}$, были построены разностные кривые $\Delta f(\lambda) = f(\lambda)^{T} - f(\lambda)^{Э}$, которые позволяют судить об изменениях формы контуров при различных температурах.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 показаны спектры люминесценции, зарегистрированные при разных температурах.

Видно, что увеличение температуры приводит к искажению контура люминесценции: эффективное сечение вынужденного излучения в максимуме линейно уменьшается и ширина контура увеличивается. Величина таких искажений проявляется более наглядно в разностных кривых $\Delta f(\lambda)$, показанных на рис. 3.

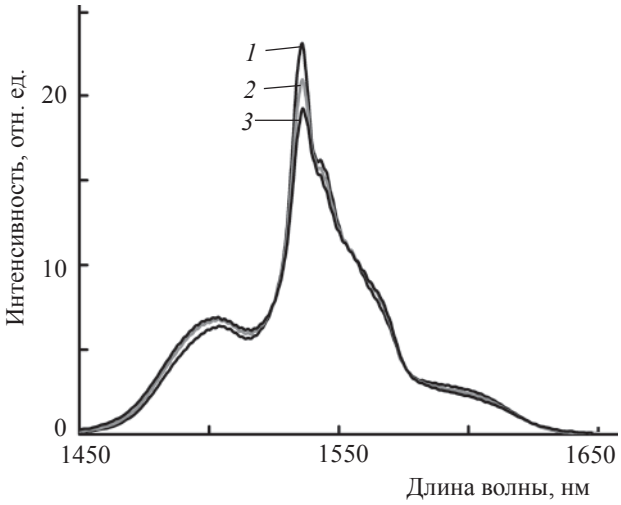


Рис. 2. Изменение формы спектра люминесценции перехода ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов эрбия от температуры. Спектры люминесценции нормированы на их площадь. *1* – 25, *2* – 100, *3* – 200 °C. $N_{Er} = 0{,}5\times10^{20}$ см$^{-3}$.

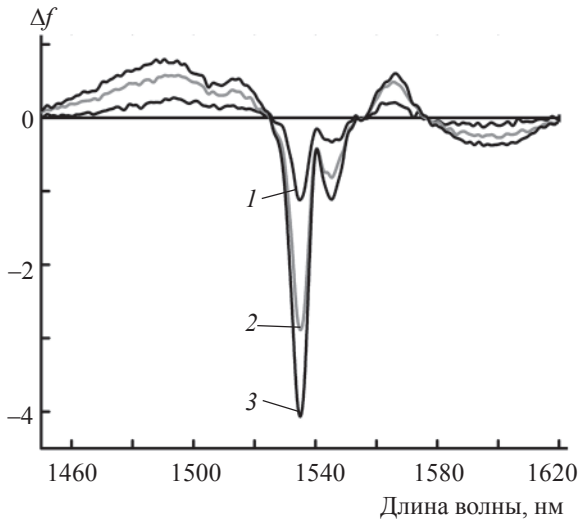


Рис. 3. Разностные кривые спектров люминесценции при различных температурах. *1* – 50, *2* – 125, *3* – 200 °C. $N_{Er} = 0{,}5\times10^{20}$ см$^{-3}$.

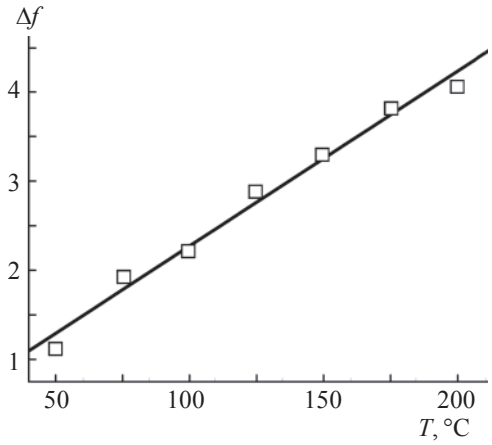


Рис. 4. Влияние температуры образца на максимум разностных кривых спектров люминесценции.

На рис. 4 приведена зависимость изменения разности контуров в максимуме от нагрева образца $\Delta f(\lambda = 1535$ нм).

Указанный максимум линейно растет с увеличением температуры. Причиной такого искажения контура является нарушение равновесия электронных переходов между уровнями $^4I_{13/2}$ и $^4I_{15/2}$ иона эрбия с увеличением температуры. То есть нагревание приводит к термическому перераспределению возбуждений по штарковским подуровням верхнего и нижнего состояний. На метастабильном уровне $^4I_{13/2}$ количество излучательных переходов с нижних штарковских подуровней уменьшается, а с верхних – увеличивается.

Выводы

В работе исследовано влияние нагрева на контур люминесценции высококонцентрированного иттербий-эрбиевого фосфатного стекла. Обнаружено, что при увеличении температуры происходит искажение спектров люминесценции для основного лазерного перехода на 1,5 мкм. Показано, что при увеличении температуры эффективное сечение вынужденного излучения в максимуме линейно уменьшается и ширина контура увеличивается. Причиной искажения контура люминесценции является нарушение равновесия электронных переходов между уровнями $^4I_{13/2}$ и $^4I_{15/2}$ иона эрбия. Полученные результаты необходимо учитывать при разработке микролазеров и планарных оптических усилителей света на основе высококонцентрированных иттербий-эрбиевых стекол.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы” по лоту 4 (мероприятие 1.3 Программы)”, шифр 2007-3-1.3-24-01-177, государственный контракт № 02.513.11.3100, а также в рамках реализации в СПбГУ ИТМО инновационной образовательной программы “Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Desurvire E.* Erbium-doped Fiber Amplifiers // New York, Wiley, 1994.
2. *Lunter S.G., Fyodorov Yu.K.* Development of erbium laser glasses // Proc. F. Simp. Light Materials, Laser Technology Material for Optic Telecommun. 1994. V. 2. P. 327–333.
3. *Nikonorov N., Przhevuskii A., Lunter S.* Effect of heating on spectral characteristics of Er-doped laser glasses // Proc. SPIE. 1999. V. 3622. P. 144–152.